



Master Thesis

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

zum Thema

**„Die Verbreitung der Alpenfledermaus
(*Hypsugo savii*) in Zentral- und Südosteuropa“
Verbreitungsmodelle im Lichte von Klima und Urbanisierung**

vorgelegt von

Ulrich Hüttmeir BSc
103220, UNIGIS MSc Jahrgang 2015

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

Wien, 29.12.2017

Eigenständigkeitserklärung

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

Wien, 29. Dezember 2017

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'U. Hüttmeir', with a long horizontal stroke extending to the right.

Ulrich Hüttmeir

Zusammenfassung

Die Alpenfledermaus (*Hypsugo savii*) ist eine kleine Fledermausart, deren europäischer Verbreitungsschwerpunkt im Mittelmeerraum liegt. In den drei Jahrzehnten ab Mitte der 1980er Jahre konnte in Zentral- und Südosteuropa eine Ausbreitung dieser Art in Richtung Norden festgestellt werden.

Als Ursachen von Arealausweitungen Richtung Norden werden bei anderen Fledermausarten der Klimawandel und die fortschreitende Urbanisierung genannt. Die Änderung von Umweltbedingungen durch diese beiden Faktoren kann die geografische Ausprägung der fundamentalen Nische einer Art erweitern und in weiterer Folge zu einer Ausbreitung führen.

In dieser Arbeit wurden chronologische Daten zu Klima und Urbanisierung verwendet, um die verschiedenen Stadien der Ausbreitung der Alpenfledermaus zu modellieren. Auf Basis der entstandenen Ausbreitungsmodelle wurde die Eignung der verwendeten Parameter diskutiert .

Als Basis für die Modellierungen diente eine Datensammlung von 1045 Nachweisen der Alpenfledermaus aus Zentral- und Südosteuropa aus dem Zeitraum von 1955 bis 2014. Als Klimaparameter wurden in verschiedenen Zeitperioden die durchschnittliche Temperatur, die durchschnittliche tägliche Temperaturschwankung und der durchschnittliche Niederschlag (jeweils für Sommer- und Winterhalbjahr) verwendet, als Maßstab für Urbanisierung wurden aus Satellitenbildern entstandene Karten zur Intensität der Nachtbeleuchtung verwendet.

Die Modellierungen wurden mit fünf verschiedenen Kombinationen von Parametern und sieben verschiedenen Zeitperioden vorgenommen. Für die Modellierung wurde die Methode der Maximum-Entropie im Programm Maxent verwendet.

Die Validierung der Modelle zeigte für einen Großteil der Modelle eine akzeptable, aber selten eine hervorragende Güte. Die Beiträge der einzelnen Parameter variierten sowohl zwischen auf unterschiedlichen Parameter-Kombinationen basierenden Modellen als auch zwischen den unterschiedlichen Zeitperioden enorm und in einer Weise, die für eine sinnvolle biologische Interpretation schwierig war. Die Modelle spiegelten die Ausbreitung der Alpenfledermaus mit Ausnahme des ersten Zeitschrittes nur ungenügend wider.

Als mögliche Faktoren, die zu einer Verbesserung der Modelle führen könnten, wurden die Berücksichtigung eines Bias bei Fundorten und Nachweismethoden, die Hinzunahme von weiteren Umweltparametern bei der Modellierung und einige methodische Möglichkeiten innerhalb der Maximum-Entropie-Methode diskutiert.

Schlagwörter: Alpenfledermaus, *Hypsugo savii*, Ausbreitung, Klimawandel, Urbanisierung, Modellierung, Maxent, Maximum Entropie

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	5
1.1	Biologie der Alpenfledermaus (<i>Hypsugo savii</i>).....	5
1.2	Verbreitung und Ausbreitung.....	7
1.3	Ausbreitungsursachen.....	8
1.4	Zielsetzung.....	10
2	Material & Methoden.....	11
2.1	Datengrundlagen.....	11
2.1.1	Verbreitungsdaten und Untersuchungsgebiet.....	11
2.1.2	Klimadaten.....	20
2.1.3	Nachtlicht.....	23
2.1.4	Sonstige Daten.....	24
2.2	Aufbereitung der Daten für Modellierung.....	25
2.2.1	Verbreitungsdaten.....	25
2.2.2	Umweltparameter.....	26
2.2.3	Korrelation von Rasterdaten.....	29
2.3	Modellierung.....	32
2.3.1	Grundsätzliche Überlegungen.....	32
2.3.2	Maxent.....	34
2.3.3	Vorgehensweise.....	36
3	Ergebnisse.....	38
3.1	Überblickstabelle.....	38
3.2	Verbreitungsdaten 1955 bis 1990.....	39
3.3	Verbreitungsdaten 1991 bis 2000.....	41
3.4	Verbreitungsdaten 1955 bis 2000.....	44
3.5	Verbreitungsdaten 2001 bis 2010.....	47
3.6	Verbreitungsdaten 1955 bis 2010.....	50
3.7	Verbreitungsdaten 2011 bis 2014.....	53
3.8	Verbreitungsdaten 1955 bis 2014.....	56
4	Diskussion.....	59
4.1	Ergebnisse Modellierung.....	59
4.1.1	Modelle mit Klimadaten Sommer.....	59
4.1.2	Modelle mit Klimadaten Sommer und Nachtlicht.....	59
4.1.3	Modelle mit Klimadaten Winter.....	60
4.1.4	Modelle mit Klimadaten Winter und Nachtlicht.....	60
4.1.5	Modelle mit Klimadaten Sommer & Winter und Nachtlicht.....	61
4.1.6	Resümee Modelle.....	61
4.2	Datengrundlagen - Methodik.....	63
4.2.1	Verbreitungsdaten.....	63
4.2.2	Umweltparameter.....	64
4.2.3	Methode Modellierung.....	64
5	Quellen.....	66
5.1	Literatur.....	66
5.2	Internet-Links.....	70
5.3	Software.....	70

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Alpenfledermaus (<i>Hypsugo savii</i>). Foto: Dietmar Nill.....	5
Abbildung 2 Verbreitung der Alpenfledermaus (Ausschnitt aus der IUCN Redlist – Verbreitungskarte; Juste & Paunović 2016). Braune Flächen: gesicherte Vorkommen, grau strichlierte Flächen: nicht gesicherte Vorkommen.	7
Abbildung 3 Untersuchungsgebiet und Länder innerhalb des Gebiets mit (grün hinterlegt) und ohne (grau hinterlegt) Verbreitungsdaten. AL = Albanien, AT = Österreich, BA = Bosnien-Herzegowina, BG = Bulgarien, CZ = Tschechische Republik, DE = Deutschland, EL = Griechenland, HR = Kroatien, HU = Ungarn, IT = Italien, MD = Moldavien, ME = Montenegro, MK = Mazedonien, PL = Polen, RO = Rumänien, RS = Serbien, SI = Slowenien, SK = Slowakei, TR = Türkei, UA = Ukraine, VA = Vatikanstadt, (nicht dargestellt: SM = San Marino). Verwaltungsgrenzen: © EuroGeographics.....	12
Abbildung 4 Histogramm der (bereinigten) Anzahl der Nachweise pro Jahrzehnt (N=1049).....	13
Abbildung 5 Balkendiagramm der Anzahl der Nachweise nach Ländern (N=1049). Länderkürzel siehe Abbildung 3.....	14
Abbildung 6 Balkendiagramm der nach Jahreszeit aufgeschlüsselten Nachweise der Alpenfledermaus (N=1049).	15
Abbildung 7 Nachweise der Alpenfledermaus im Untersuchungsgebiet aus den Jahren 1955 bis 1990 (N = 62). Länderkürzel siehe Abbildung 3. Verwaltungsgrenzen: © EuroGeographics.....	16
Abbildung 8 Nachweise der Alpenfledermaus im Untersuchungsgebiet aus den Jahren 1955 bis 2000 (N = 140). Länderkürzel siehe Abbildung 3. Verwaltungsgrenzen: © EuroGeographics.....	17
Abbildung 9 Nachweise der Alpenfledermaus im Untersuchungsgebiet aus den Jahren 1955 bis 2010 (N = 770). Länderkürzel siehe Abbildung 3. Verwaltungsgrenzen: © EuroGeographics.....	18
Abbildung 10 Nachweise der Alpenfledermaus im Untersuchungsgebiet aus den Jahren 1955 bis 2014 (N = 1045). Länderkürzel siehe Abbildung 3. Verwaltungsgrenzen: © EuroGeographics.....	19
Abbildung 11 Zusammenführung monatlicher Klimadaten aus NetCDF-Dateien in eine Raster-Datei im „Model Builder“ von ArcMap am Beispiel der durchschnittlichen Maximaltemperatur im Sommerhalbjahr 1981.....	22
Abbildung 12 Ergebnis der Zusammenführung von Klimadaten nach dem in Abbildung 11 dargestellten Ablauf mit der durchschnittlichen Maximaltemperatur im Sommer 1981.....	22
Abbildung 13 Ergebnis der Zusammenführung der Nachtlicht-Rasterdaten von 1992 bis 2000.....	23
Abbildung 14 Beispiel für einen zur Modellierung vorbereiteten Klimaparameter (Durchschnittliche Tagestemperatur während der Sommermonate 1981-1990). Die farbliche Symbolik und Legende sind hier zur besseren Anschaulichkeit ergänzt.....	27
Abbildung 15 Beispiel für einen zur Modellierung vorbereiteten Nachtlicht-Parameter (Durchschnittliche Nachtlicht der Jahre 2001-2010).....	28
Abbildung 16 Die Schritte vom Ausschneiden des Untersuchungsgebietes bis zur Ausgabe als ESRI-ASCII Format wurden im „Model Builder“ automatisiert.....	28
Abbildung 17 Korrelationskoeffizienten für die bearbeiteten Layer der unterschiedlichen Zeitintervalle. NL = Nachtlicht, zu den klimatischen Faktoren siehe Tabelle 1. Grau hinterlegt: Korrelationskoeffizient > 0,85 bzw. < -0,85. Dunkelgrau hinterlegt: Korrelationskoeffizient > 0,90 bzw. < -0,90.....	30
Abbildung 18 Programmfenster von Maxent. Verbreitungsdaten und Umweltparameter werden hier ebenso festgelegt wie grundsätzliche Einstellungen zur Modellierung und zur Darstellung der Ergebnisse (Output).....	35
Abbildung 19 „Receiver Operating Curve (ROC)“ und Werte der „Area Under Curve (AUC)“ als Ergebnis der Modellierung am Beispiel „Verbreitungsdaten 2001-2010, Klimadaten Sommer und Nachtlicht“ (siehe Tabelle 9 und Abbildung 23a).....	37
Abbildung 20 Verbreitungsmodelle für die Alpenfledermaus mit Verbreitungsdaten 1955-1990, Klimadaten 1981-1990, Nachtlicht 1992: a =Klimadaten Sommer, b = Klimadaten Sommer plus Nachtlicht, c= Klimadaten Winter, d = Klimadaten Winter plus Nachtlicht, e= Klimadaten Sommer & Winter plus Nachtlicht. Verwaltungsgrenzen: © EuroGeographics.....	40
Abbildung 21 Verbreitungsmodelle für die Alpenfledermaus mit Verbreitungsdaten 1991-2000, Klimadaten 1991-2000, Nachtlicht 1992-2000: a =Klimadaten Sommer, b = Klimadaten Sommer plus Nachtlicht, c= Klimadaten	

Winter, d = Klimadaten Winter plus Nachtlicht, e= Klimadaten Sommer & Winter plus Nachtlicht. Verwaltungsgrenzen: © EuroGeographics.....	43
Abbildung 22 Verbreitungsmodelle für die Alpenfledermaus mit Verbreitungsdaten 1955-2000, Klimadaten 1991-2000, Nachtlicht 1992-2000: a =Klimadaten Sommer, b = Klimadaten Sommer plus Nachtlicht, c= Klimadaten Winter, d = Klimadaten Winter plus Nachtlicht, e= Klimadaten Sommer & Winter plus Nachtlicht. Verwaltungsgrenzen: © EuroGeographics.....	46
Abbildung 23 Verbreitungsmodelle für die Alpenfledermaus mit Verbreitungsdaten 2001-2010, Klimadaten 2001-2010, Nachtlicht 2001-2010: a =Klimadaten Sommer, b = Klimadaten Sommer plus Nachtlicht, c= Klimadaten Winter, d = Klimadaten Winter plus Nachtlicht, e= Klimadaten Sommer & Winter plus Nachtlicht. Verwaltungsgrenzen: © EuroGeographics.....	49
Abbildung 24 Verbreitungsmodelle für die Alpenfledermaus mit Verbreitungsdaten 1955-2010, Klimadaten 1991-2000, Nachtlicht 1992-2000: a =Klimadaten Sommer, b = Klimadaten Sommer plus Nachtlicht, c= Klimadaten Winter, d = Klimadaten Winter plus Nachtlicht, e= Klimadaten Sommer & Winter plus Nachtlicht. Verwaltungsgrenzen: © EuroGeographics.....	52
Abbildung 25 Verbreitungsmodelle für die Alpenfledermaus mit Verbreitungsdaten 2011-2014, Klimadaten 2011-2014, Nachtlicht 2011-2013: a =Klimadaten Sommer, b = Klimadaten Sommer plus Nachtlicht, c= Klimadaten Winter, d = Klimadaten Winter plus Nachtlicht, e= Klimadaten Sommer & Winter plus Nachtlicht. Verwaltungsgrenzen: © EuroGeographics.....	55
Abbildung 26 Verbreitungsmodelle für die Alpenfledermaus mit Verbreitungsdaten 1955-2014, Klimadaten 2011-2014, Nachtlicht 2011-2013: a =Klimadaten Sommer, b = Klimadaten Sommer plus Nachtlicht, c= Klimadaten Winter, d = Klimadaten Winter plus Nachtlicht, e= Klimadaten Sommer & Winter plus Nachtlicht. Verwaltungsgrenzen: © EuroGeographics.....	58

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Temperatur- und Niederschlagsparameter sowie deren Einheiten.....	20
Tabelle 2 Zur weiteren Bearbeitung vorliegende Klimadaten-Layer (Abkürzungen siehe Tabelle 1), Art der Zusammenfassung und Einheit der Rasterfelder-Werte.....	21
Tabelle 3 Räumliche Begrenzung des Referenzrasters.....	26
Tabelle 4 Übersicht über die erstellten Modelle für die verschiedenen Zeitabschnitte und die Einbeziehung verschiedener Parameter sowie Verweis auf die Abbildungen der Modelle.....	36
Tabelle 5 Übersicht über die erstellten Modelle für die verschiedenen Zeitabschnitte und die Einbeziehung verschiedener Parameter sowie Verweis auf die Abbildungen der Modelle.....	38
Tabelle 6 Übersicht der Ergebnisse (AUC-Werte und Beitrag der Variablen zur Modellierung) für den Datensatz 1955-1990.....	39
Tabelle 7 Übersicht der Ergebnisse (AUC-Werte und Beitrag der Variablen zur Modellierung) für den Datensatz 1991-2000.....	41
Tabelle 8 Übersicht der Ergebnisse (AUC-Werte und Beitrag der Variablen zur Modellierung) für den Datensatz 1955-2000.....	44
Tabelle 9 Übersicht der Ergebnisse (AUC-Werte und Beitrag der Variablen zur Modellierung) für den Datensatz 2001-2010.....	47
Tabelle 10 Übersicht der Ergebnisse (AUC-Werte und Beitrag der Variablen zur Modellierung) für den Datensatz 1955-2010.....	50
Tabelle 11 Übersicht der Ergebnisse (AUC-Werte und Beitrag der Variablen zur Modellierung) für den Datensatz 2011-2014.....	53
Tabelle 12 Übersicht der Ergebnisse (AUC-Werte und Beitrag der Variablen zur Modellierung) für den Datensatz 1955-2014.....	56

1 Einleitung

1.1 Biologie der Alpenfledermaus (*Hypsugo savii*)

Die Alpenfledermaus, *Hypsugo savii* (Bonaparte, 1837), ist eine kleine Fledermausart (Abbildung 1) aus der Familie Vespertilionidae, deren Kopf-Rumpf-Länge rund 5 cm und deren Flügelspannweite etwa 22 cm beträgt (Schober & Grimmberger 1998). Ihr Körpergewicht beträgt zwischen 5 g und 9 g (Dietz et al. 2016).



Abbildung 1 Alpenfledermaus (*Hypsugo savii*). Foto: Dietmar Nill.

Die primären Jagdlebensräume der Alpenfledermaus sind mediterrane Karstgebiete mit mosaikartiger Kulturlandschaft, die einen hohen Anteil an mediterraner Gebüschvegetation aufweist. Gewässer, Offenland, Waldränder und Siedlungen, oftmals in der Nähe von Felsen und Felsgebieten, werden regelmäßig zu Jagd genutzt (Žibrat 2009, Dietz et al. 2016). In Städten ist sie auch in dicht verbauten Stadtgebieten (Hüttmeir et al. 2010) und an Straßenlaternen jagend (Žibrat 2009) anzutreffen.

Die ursprünglichen Sommerquartiere der Alpenfledermaus sind Felsspalten (Horáček & Benda

2011, Kipson 2014), sekundäre Quartier-Typen sind Spalten an Gebäuden wie Mauerfugen, Hohlräume zwischen Dachziegeln oder Dehnungsfugen zwischen Gebäudeteilen (z. B. Žibrat 2009, Horáček & Benda 2011, eigene Beobachtungen).

Über ihre Winterquartiere ist wenig bekannt. Horáček & Benda (2011) vermuten, dass tiefe Felsspalten als Winterquartiere dienen. Analog dazu ist vorstellbar, dass die Alpenfledermäuse unter Umständen auch in Spalten an Gebäuden überwintern können.

Über Wanderungen zwischen Sommer- und Winterquartieren ist nichts bekannt (Dietz et al. 2016). Hutterer et al. (2005) bezeichnen das Migrationsverhalten der Alpenfledermaus als unbekannt, vermuten aber fallweise Wanderungen. Einzelne Funde nördlich des Verbreitungsgebietes werden als Indizien für Migration gedeutet (Fisher 1998), wenngleich Horáček & Benda (2011) bei diesen Funden von „umherschweifenden“ und verfrachteten Individuen sprechen.

1.2 Verbreitung und Ausbreitung

Das Vorkommen der Alpenfledermaus erstreckt sich über weite Teile der Paläarktis. Ausgehend von Nordafrika über die Iberische Halbinsel und die Anrainerländer des Mittelmeeres und des Schwarzen Meeres zieht sich das Areal über den Nahen Osten über den Kaukasus bis zum Mittleren Osten und die Länder nördlich des Mittleren Ostens (Usbekistan, Tadschikistan).



Abbildung 2 Verbreitung der Alpenfledermaus (Ausschnitt aus der IUCN Redlist – Verbreitungskarte; Juste & Paunović 2016). Braune Flächen: gesicherte Vorkommen, grau strichlierte Flächen: nicht gesicherte Vorkommen.

In Europa war in den letzten Jahrzehnten eine Ausweitung des genutzten Areals nach Norden hin zu beobachten (z. B. beschrieben in Reiter et al. 2010 und Uhrin et al. 2015). In Zentral- und Südosteuropa erfolgten sukzessive Nachweise in immer nördlicheren Regionen und im Gegensatz zu den vereinzelt Zufallsfunden früherer Zeiten (Fisher 1998, Horáček & Benda 2011) verdichten sich mit der Zeit die Nachweise in den neu besiedelten Gebieten (Abbildung 7 bis Abbildung 10, Daten von Uhrin et al. 2015).

In Österreich gab es außer historischen Nachweisen aus dem 19. Jahrhundert die ersten Alpenfledermaus-Nachweise ab 1985 in Klagenfurt und seit 1995 in Graz und auch in Wien (Spitzenberger 1997). In Zuge einer Untersuchung der Fledermausfauna Wiens von 2007 bis 2010 (Hüttmeir et al. 2010) konnte die Alpenfledermaus im verbauten Stadtgebiet nahezu flächendeckend festgestellt werden und ist somit eine der am Häufigsten nachgewiesenen Fledermausarten Wiens. Ab der Jahrtausendwende erfolgten dann auch Nachweise westlich von und nördlich von Wien (Reiter et al. 2010).

1.3 Ausbreitungsursachen

Die Größe und Lage der Verbreitungsgebiete von Pflanzen- und Tierarten werden durch den Einfluss von Umweltfaktoren auf die Populationsdynamik dieser Arten bestimmt (Lomolino et al. 2010). Nach dem Konzept von Hutchinson (1957) bildet die Summe der Umweltfaktoren, unter deren Bedingungen eine Art erfolgreich reproduziert, die „ökologische Nische“ dieser Art. Die ökologische Nische kann als multidimensionaler Raum verstanden werden, in dem jeder Faktor eine Dimension bildet. Diese fundamentale Nische bestimmt das potenzielle Verbreitungsgebiet einer Art, das jedoch nicht immer mit der tatsächlichen Verbreitung der Art übereinstimmen muss. Denn geografische Bedingungen (z. B. historische oder aktuelle Ausbreitungsbarrieren) oder ökologische Interaktionen (z. B. Konkurrenz oder Räuber-Beute-Beziehungen) können das potenzielle Verbreitungsgebiet einschränken. Konzeptionell entspricht das tatsächliche Verbreitungsgebiet der „realisierten“ Nische, die nur ein Teil der fundamentalen Nische ist (Lomolino et al. 2010).

Im Rahmen dieses Nischenkonzeptes kann es verschiedene Möglichkeiten geben, welche die Arealausweitung einer Art erklären. Es kann sich das realisierte dem potenziellen Verbreitungsgebiet annähern, indem die oben beschriebenen geografischen oder ökologischen Einschränkungen entfallen. Es können sich Umweltbedingungen ändern, sodass das potenzielle (und realisierte) Verbreitungsgebiet größer wird. Durch genetische Veränderungen oder Verhaltensänderungen kann sich die fundamentale Nische einer Art verändern oder erweitern, was eine Arealausweitung zur Folge haben kann.

Im Zuge des Klimawandels ändern sich vordergründig die „Klima-Dimensionen“ der ökologischen Nische und beeinflussen damit die geografische Ausprägung der fundamentalen Nische. In Zentral- und Südosteuropa hat sich z. B. die durchschnittliche Jahrestemperatur zwischen 1960 und 2015 um $0,3^{\circ}\text{C}$ pro Jahrzehnt zugenommen und der sommerliche Niederschlag verringerte sich im selben Zeitraum um 5 bis 10 mm pro Jahrzehnt (European Environment Agency 2016). Die Annahme, dass die Klimaerwärmung die Ausbreitung von Arten nach Norden ermöglicht, wurde mittlerweile für eine Reihe von Tier- und Pflanzenarten bestätigt (siehe z. B. die zusammenfassende Darstellung von Rabitsch et al. 2013).

Die Auswirkungen des Klimawandels auf Fledermäuse können unterschiedlicher Natur sein. Es wird diskutiert, wie die unmittelbar (proximat) wirkenden Effekte auf die Physiologie, Phänologie, Quartiere und Jagdhabitats (z. B. Adams & Hayes 2008, Adams 2010 oder Sherwin et al. 2013) sich langfristig auf Areale, Populationsgrößen und Aussterbewahrscheinlichkeiten auswirken (z. B. Rebelo et al. 2010, Bilgin et al. 2012 und Übersichtsdarstellung in Jones & Rebelo 2013).

In Europa wurden in den letzten Jahrzehnten für einige Arten Arealausweitungen in Richtung Norden beobachtet. Die Ausbreitung der Rauhhaufledermaus (*Pipistrellus nathusii*) in Großbritannien wurde von Lundy et al. (2010) direkt mit ansteigenden Temperaturen durch den Klimawandel in Verbindung gebracht. Für die Weißbrandfledermaus (*Pipistrellus kuhlii*) konnte auf

europäischem Maßstab ebenso eine nördlich gerichtete Arealausweitung beobachtet werden (Sachanowicz et al. 2006, Ancillotto et al. 2016). Sachanowicz et al. (2006) bezweifeln die Änderungen der Umweltfaktoren infolge des Klimawandels als Ursache der Ausbreitung. Vielmehr sehen sie die Ursachen in einer hohen Verhaltensplastizität der Weißbrandfledermaus, die eine schnelle Anpassungsfähigkeit an städtische Lebensräume mit sich bringt und eine generelle Ausbreitung durch die zunehmende Urbanisierung (das Anwachsen von städtisch geprägten Gebieten, vgl. Antrop 2004) begünstigt. Ancillotto et al. (2016) diskutieren als Ausbreitungsursache eine Kombination aus den beiden Faktoren Klimawandel und Urbanisierung, wobei letztere für ihre Modellierungen einen vergleichsweise geringen Erklärungswert hatte. Auch für die Alpenfledermaus interpretieren Uhrin et al. (2015) eine Mischung aus Synanthropie und Klimawandel als Ursachen für die Ausbreitung der letzten Jahrzehnte, wobei in ihrer Diskussion der Anpassung an urbane Lebensräume der bedeutendere Anteil zukommt.

Urbanisierung kann im Konzept der ökologischen Nische mehrere Dimensionen betreffen. Städte sind in der Regel wärmer und trockener als die umgebende Region. Sie bieten einen hohen Strukturreichtum, der einen positiven Effekt auf Quartier-Angebot und die verfügbaren Jagdlebensräume haben kann. Darüber hinaus können Städte für manche Tierarten sicherer sein, da unter Umständen potenzielle Prädatoren nicht in die Städte vordringen (Reichholf 2007).

Die Effekte von Urbanisierung auf Fledermäuse sind naturgemäß artspezifisch und können positiv oder negativ auf die verschiedenen Arten wirken (Russo & Ancillotto 2015). Die Weißbrandfledermaus, welche eine ähnliche Ausbreitungsgeschichte wie die Alpenfledermaus hat, profitiert von der Urbanisierung: Kolonien in Städten haben frühere Geburten und mehr Jungtiere als Kolonien im Umfeld von Städten (Ancillotto et al. 2015).

Im Lichte der bisherigen Kenntnisse kann angenommen werden, dass Klima(-erwärmung) und Urbanisierung (bzw. Anpassung an Urbanisierung) auch wichtige Faktoren für die Arealerweiterung der Alpenfledermaus Richtung Norden sind.

1.4 Zielsetzung

Die Arealausweitung der Alpenfledermaus soll in Verbreitungsmodellen in verschiedenen Zeitabschnitten dargestellt werden. Ausgehend von der Annahme, dass Klimawandel und Urbanisierung die treibenden Faktoren der Arealausweitung sind, werden die Verbreitungsmodelle anhand der verfügbaren Klima- und Urbanisierungsdaten erstellt.

Zusammengefasst wird folgende Hypothese formuliert:

Klimawandel und Urbanisierung sind treibende Faktoren der Arealerweiterung der Alpenfledermaus und können daher als Basis für Verbreitungsmodelle verschiedener Zeiträume dienen.

Anhand der Ergebnisse der Modellierungen (Modellgüte & Beiträge der einzelnen Parameter) wird der Erklärungswert der Parameter, die Klimawandel und Urbanisierung repräsentieren, diskutiert.

2 Material & Methoden

2.1 Datengrundlagen

2.1.1 Verbreitungsdaten und Untersuchungsgebiet

Die verwendeten Verbreitungsdaten wurden bereits für eine Publikation über den Status der Alpenfledermaus in Zentral- und Südost-Europa zusammengestellt (Uhrin et al. 2015).

Die in Uhrin et al. (2015) publizierten 1187 Nachweise aus 14 Ländern (Abbildung 3) wurden einer kritischen Durchsicht unterzogen: Datensätze mit mangelhaften Zeitangaben (nicht nachvollziehbare Fundjahre oder Jahreszeiten) wurden ebenso entfernt wie Nachweise, die außerhalb der geschlossenen Verbreitungsgebiete lagen. Letzteres betraf Funddaten von der Krim und aus dem westlichsten Österreich (Tirol und Vorarlberg), die nicht im biogeographischen Zusammenhang mit den bekannten südosteuropäischen Populationen gesehen werden (vgl. Reiter et al. 2010). Nach diesem ersten Filterprozess verblieben 1089 Nachweise in der Datensammlung.

Insektenfressende Fledermäuse halten in Europa während der Wintermonate Winterschlaf, da in den kalten Monaten des Jahres keine oder zu wenig Nahrung vorhanden ist. In physiologischer und ökologischer Hinsicht ist der Zeitraum des Winterschlafes klar von der aktiven Periode des Jahres abgegrenzt. Winterquartiere unterscheiden sich oft von Sommerquartieren, da auch die mikroklimatischen Ansprüche zwischen aktiver Phase und Winterschlaf voneinander abweichen (Altringham 2011). Die Entfernung zwischen Sommer- und Winterquartieren kann je nach Fledermausart wenige Kilometer oder bis zu mehreren hundert Kilometer betragen (Hutterer et al. 2005).

Für die Alpenfledermaus fehlen Angaben zur Art ihrer Winterquartiere (Horáček & Benda 2011). Daher ist auch nichts über Wanderungen zwischen Sommer- und Winterquartieren bekannt (Dietz et al. 2016, siehe Kapitel 1.1).

Aufgrund der Wissenslücken bezüglich Überschneidungen von sommerlichen mit winterlichen Verbreitungsgebieten wurden alle Winternachweise aus dem Datensatz entfernt, sodass schlussendlich 1049 Nachweise als Basis für die Arbeit dienten.

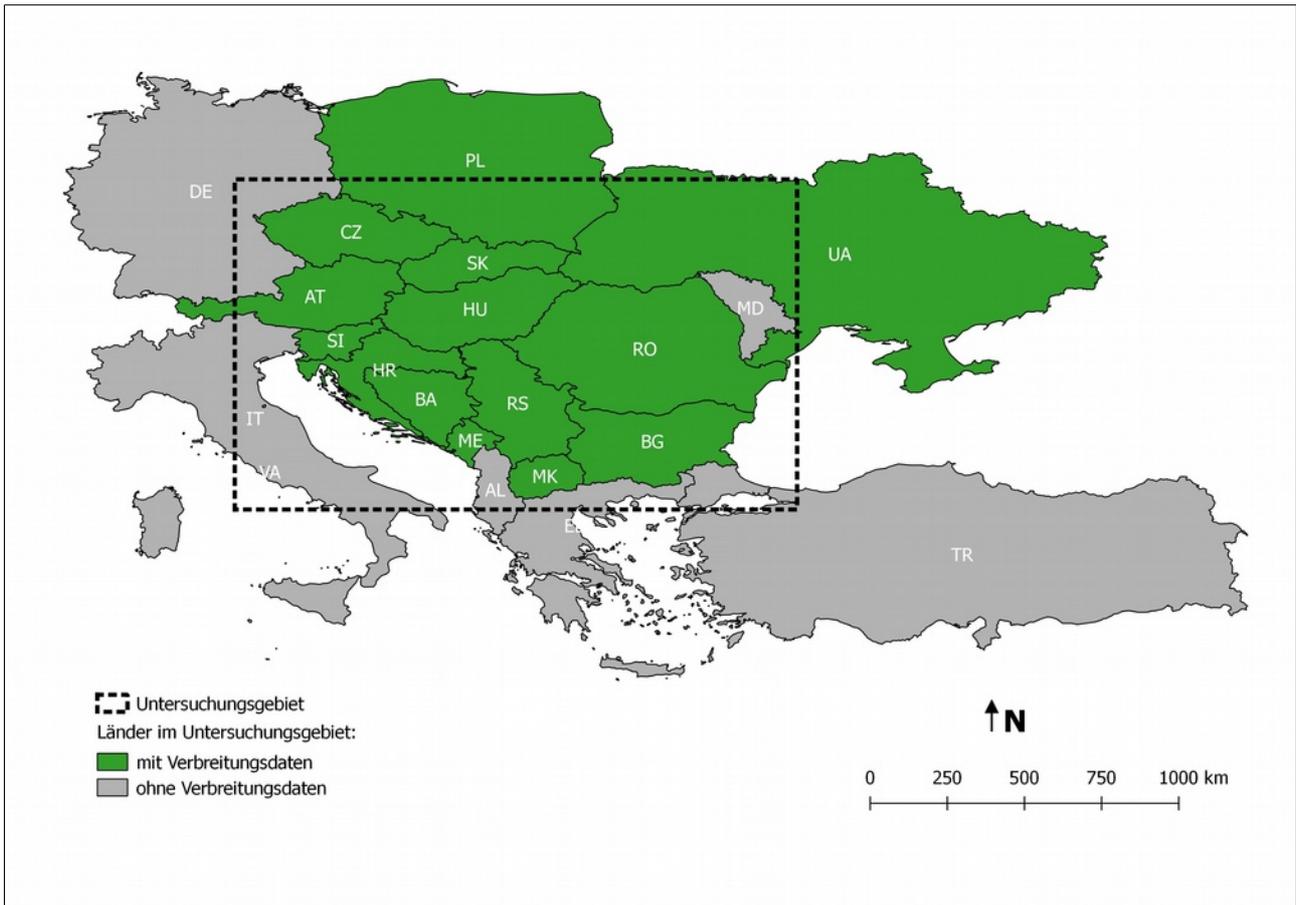


Abbildung 3 Untersuchungsgebiet und Länder innerhalb des Gebiets mit (grün hinterlegt) und ohne (grau hinterlegt) Verbreitungsdaten. AL = Albanien, AT = Österreich, BA = Bosnien-Herzegowina, BG = Bulgarien, CZ = Tschechische Republik, DE = Deutschland, EL = Griechenland, HR = Kroatien, HU = Ungarn, IT = Italien, MD = Moldavien, ME = Montenegro, MK = Mazedonien, PL = Polen, RO = Rumänien, RS = Serbien, SI = Slowenien, SK = Slowakei, TR = Türkei, UA = Ukraine, VA = Vatikanstadt, (nicht dargestellt: SM = San Marino). Verwaltungsgrenzen: © EuroGeographics.

Unter Berücksichtigung der so ausgewählten Verbreitungsdaten wurde das Untersuchungsgebiet definiert: es erstreckt sich von 11,5° bis 30,0° östlicher Länge und von 40,5° bis 51,5° nördlicher Breite (siehe strichlierter Rahmen in Abbildung 3 bzw. Kapitel2.2.2). Am Untersuchungsgebiet haben 22 Staaten Anteile, wobei aus 14 Staaten tatsächlich auch Verbreitungsdaten der Alpenfledermaus vorlagen (Abbildung 3).

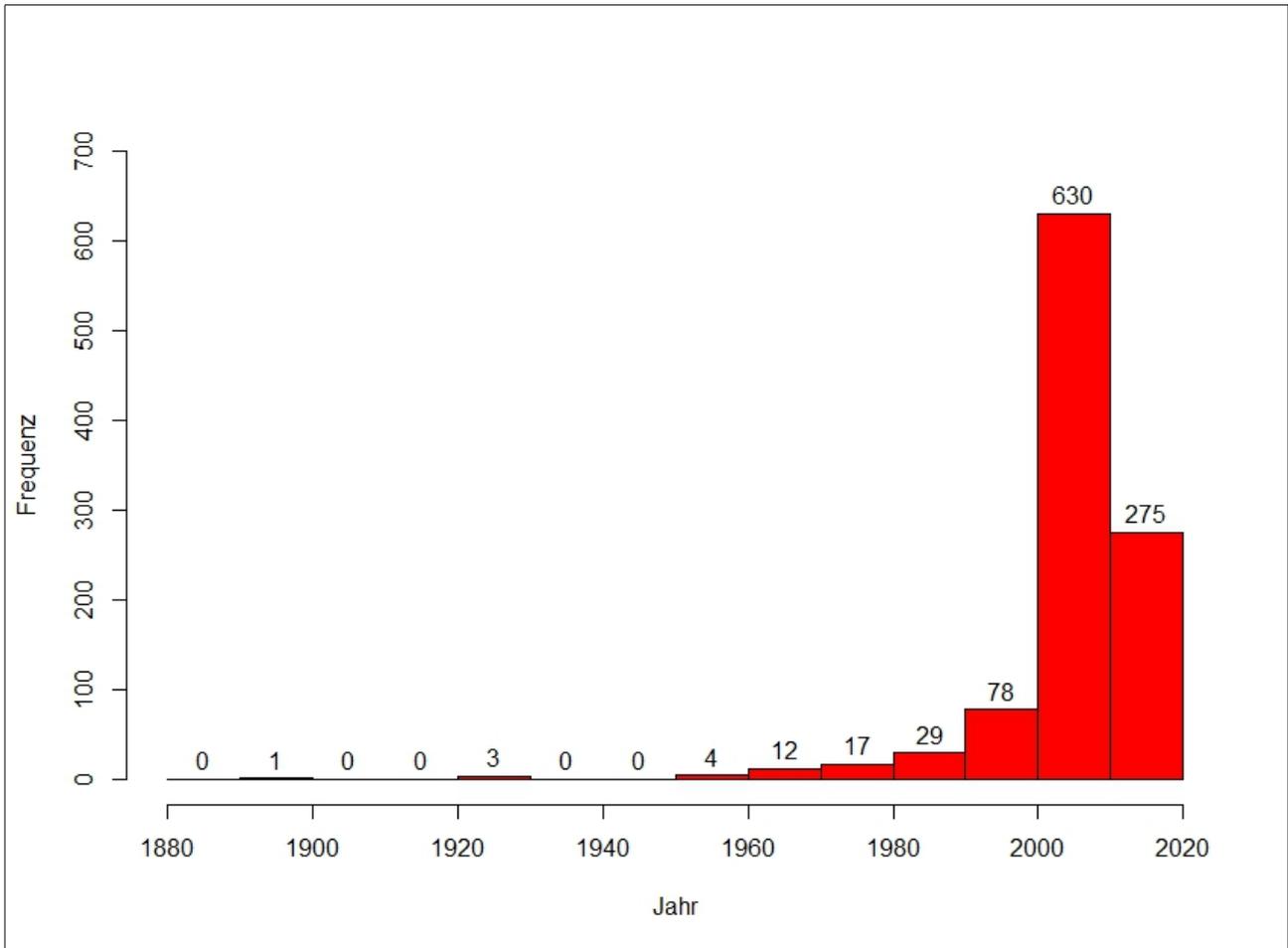


Abbildung 4 Histogramm der (bereinigten) Anzahl der Nachweise pro Jahrzehnt ($N = 1049$)

Die zeitliche Verteilung der Nachweise der Alpenfledermaus ist im Histogramm der Abbildung 4 dargestellt. Die Zunahme der zeitlichen Nachweise ist speziell ab den letzten beiden Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts zu erkennen. Die höchste Anzahl (60 % aller Daten) gibt es im Jahrzehnt 2001 bis 2010. Im letzten, nur vier Jahre umfassenden Zeitabschnitt (2011 bis 2014), wurden immerhin rund ein Viertel (26 %) aller Nachweise erbracht.

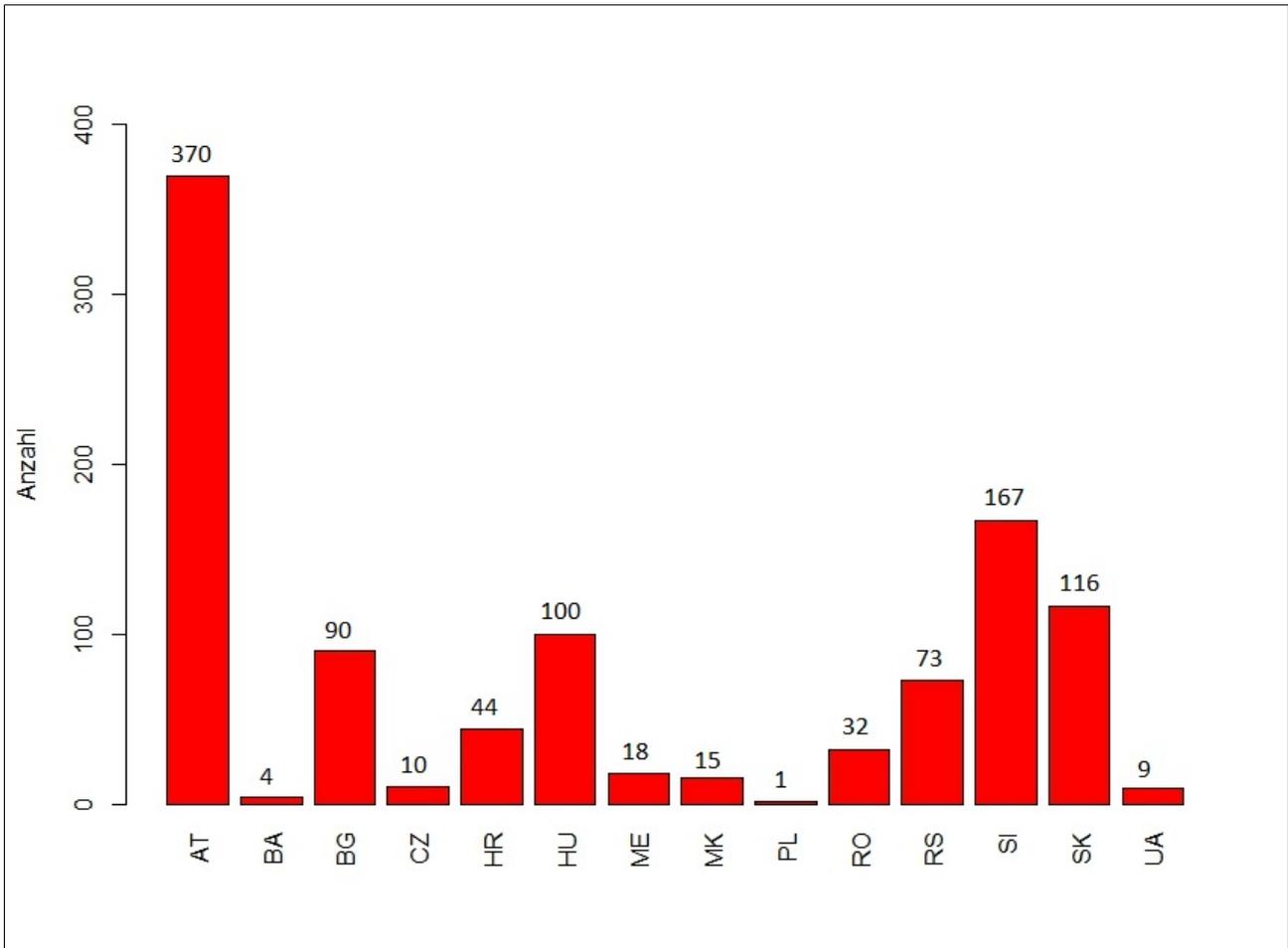


Abbildung 5 Balkendiagramm der Anzahl der Nachweise nach Ländern (N=1049). Länderkürzel siehe Abbildung 3.

Die Aufschlüsselung der Nachweise nach Ländern zeigt einen großen Datenanteil aus Österreich (370 Nachweise / 35 %), gefolgt von Slowenien (167/16) und Slowakei (116/11). Weniger als zehn Nachweise gab es aus der Ukraine (ohne Krim; 9 Nachweise, kleiner als 1 %), Bosnien-Herzegowina (4) und Polen (1).

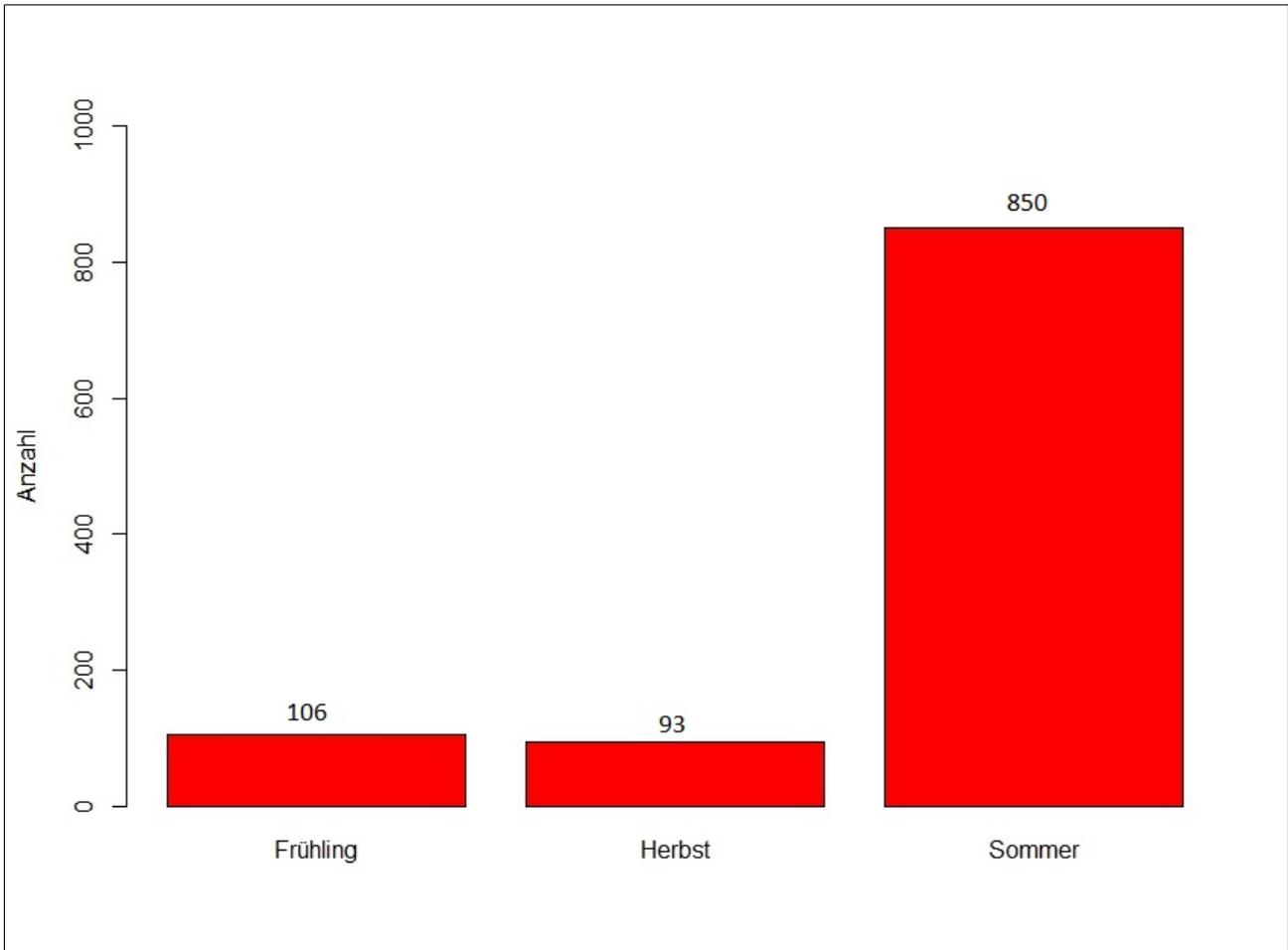


Abbildung 6 Balkendiagramm der nach Jahreszeit aufgeschlüsselten Nachweise der Alpenfledermaus ($N=1049$).

Die jahreszeitliche Verteilung der Nachweise (Abbildung 6) zeigt einen deutlichen Schwerpunkt von Nachweisen im Sommer, aus dem mit rund 81 % der überwiegende Teil der Funddaten stammt. Die restlichen Daten stammen zu etwa gleich großen Teilen aus dem Frühling (rund 10 %) und aus dem Herbst (rund 9 %).

Die bearbeiteten Nachweise werden in Abbildung 7 bis Abbildung 10 räumlich und in verschiedenen Zeitabschnitten (kumulativ) dargestellt.

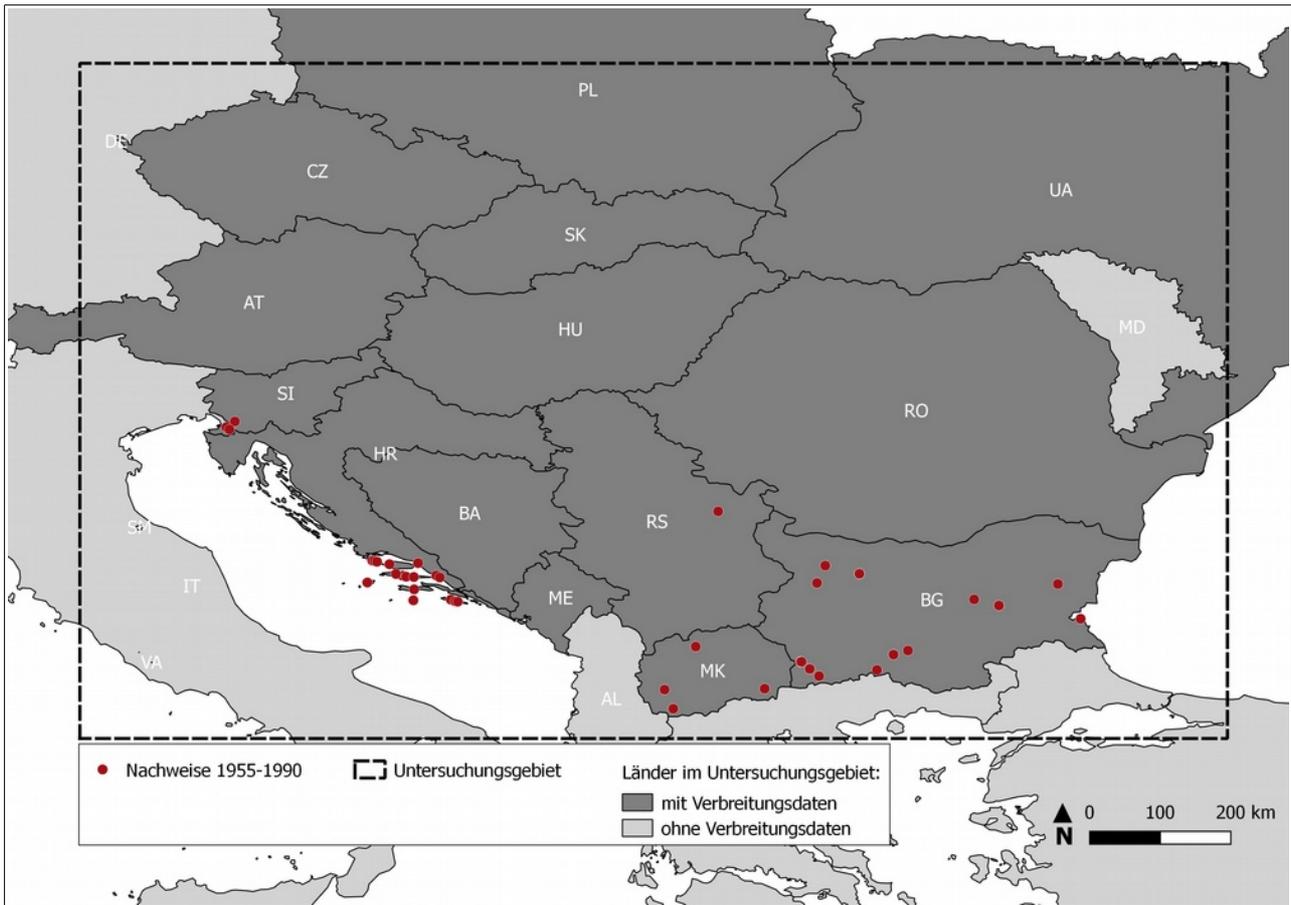


Abbildung 7 Nachweise der Alpenfledermaus im Untersuchungsgebiet aus den Jahren 1955 bis 1990 ($N = 62$). Länderkürzel siehe Abbildung 3. Verwaltungsgrenzen: © EuroGeographics.

Die Nachweise der Alpenfledermaus von 1955 bis 1990 stammen vor allem aus der Region der Adriaküste und aus südosteuropäischen Ländern. Alle Fundorte befinden sich südlich der Donau, die nördlichsten Nachweise liegen in Slowenien (Abbildung 7).

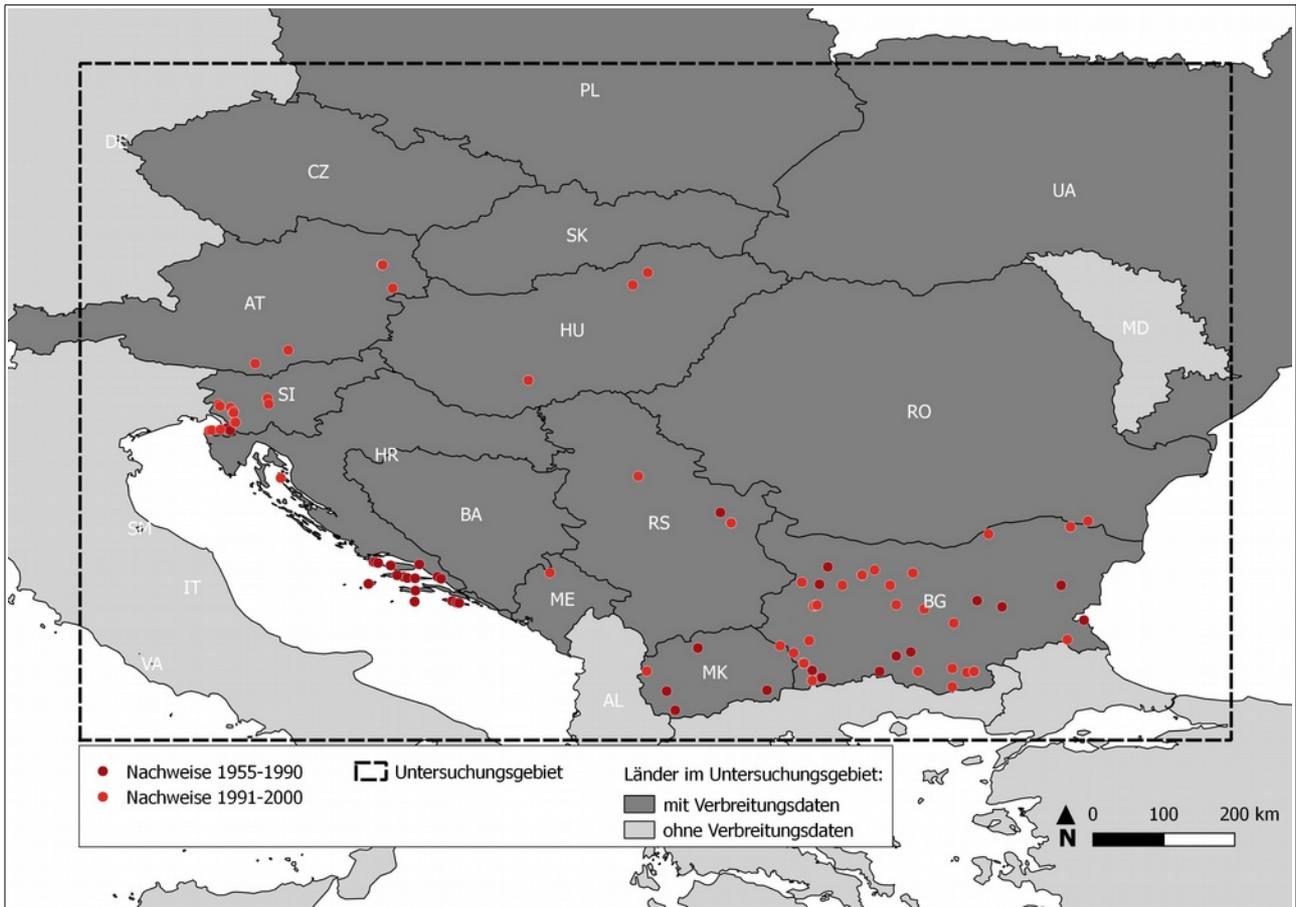


Abbildung 8 Nachweise der Alpenfledermaus im Untersuchungsgebiet aus den Jahren 1955 bis 2000 ($N = 140$). Länderkürzel siehe Abbildung 3. Verwaltungsgrenzen: © EuroGeographics.

In den Jahren 1991 bis 2000 kommen Fundorte nördlich der Donau hinzu. Die nördlichsten Nachweise finden sich nun in Österreich und Ungarn. Eine Verdichtung der Nachweise ist in Bulgarien und Slowenien zu beobachten (Abbildung 8).

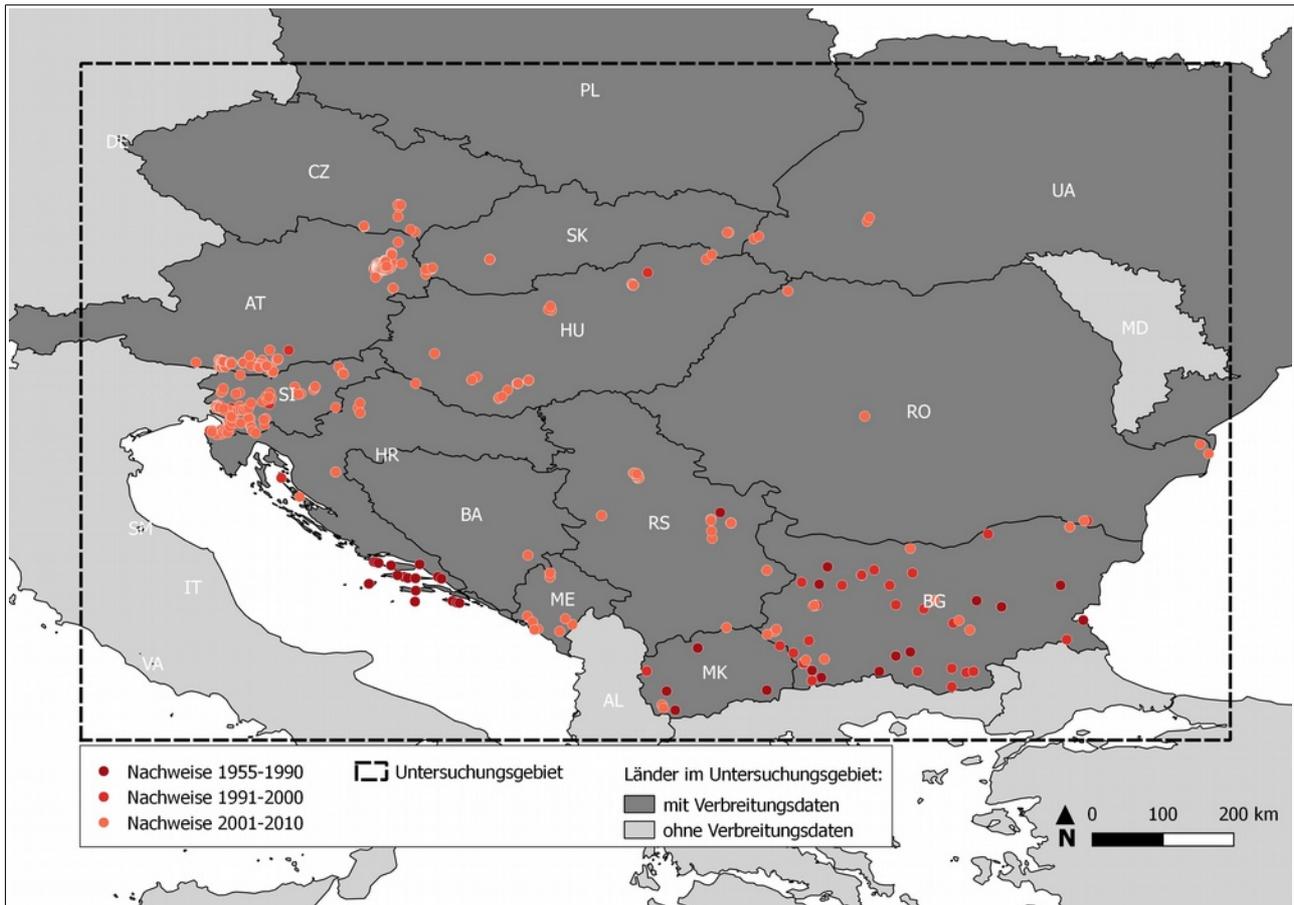


Abbildung 9 Nachweise der Alpenfledermaus im Untersuchungsgebiet aus den Jahren 1955 bis 2010 ($N = 770$). Länderkürzel siehe Abbildung 3. Verwaltungsgrenzen: © EuroGeographics.

Mit den Daten aus den Jahren 2001 bis 2010 setzt sich die zweigleisige Entwicklung fort. Einerseits verdichten sich die Nachweise in den bereits bekannten Verbreitungsgebieten (besonders in Slowenien und Teilen Österreichs). Andererseits kann eine weitere Ausbreitung der Fundorte nach Norden festgestellt werden. Die nördlichsten Punkte liegen nun in der Tschechischen Republik, in der Slowakei und in der Ukraine (Abbildung 9).

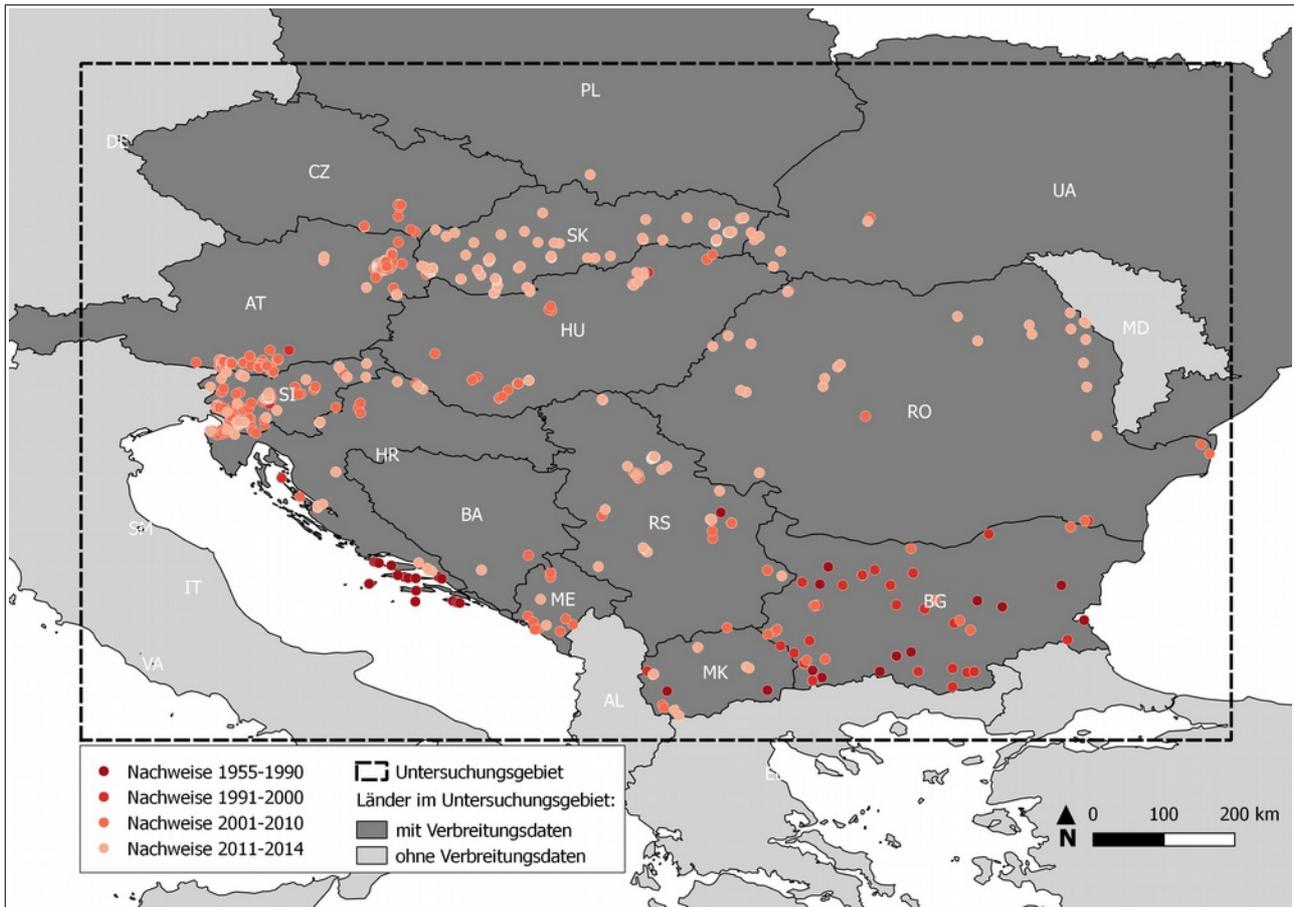


Abbildung 10 Nachweise der Alpenfledermaus im Untersuchungsgebiet aus den Jahren 1955 bis 2014 ($N = 1045$). Länderkürzel siehe Abbildung 3. Verwaltungsgrenzen: © EuroGeographics.

Wie in den vorangegangenen Jahrzehnten sind auch mit den zusätzlichen Daten aus den Jahren 2011 bis 2014 weitere Verdichtung und Nordausbreitung festzustellen. Besonders in Serbien, Rumänien, Slowenien und in der Slowakei kommen Nachweise dazu. Die Nordausbreitung findet weiterhin statt, was am ersten Fundort in Polen festgestellt werden kann (Abbildung 10).

Eine kritische Diskussion der Verbreitungsdaten hinsichtlich ihres Bias durch Bearbeitungsdichte oder Entwicklungen in der Methodologie findet in Kapitel 4.2.1 statt.

2.1.2 Klimadaten

Die Datengrundlagen für die Klimaparameter (siehe Tabelle 1) stammen von der Climate Research Unit („CRU“) der University of East Anglia, welche als CRU Time Series („CRU TS“) für die Jahre 1901 bis 2014 auf einer monatlichen Basis und in einer räumlichen (Raster-)Auflösung von 0,5 Grad vorliegen (Harris et al. 2014). Der Rasterdatensatz wurde durch Interpolation von weltweit auf Landflächen verteilten Klimastationen erstellt. Die entsprechende Methodik ist in Harris et al. (2014) dokumentiert.

Tabelle 1 Temperatur- und Niederschlagsparameter sowie deren Einheiten.

Abkürzung	Beschreibung	Einheit
DTR	Tägliche Temperatur Schwankungsbreite („Diurnal temperature range“)	° C
FRS	Frosttage („Frost days“)	Tage
PRE	Niederschlag („Precipitation“)	mm/Monat
TMP	Tagesmitteltemperatur („Daily mean temperature“)	° C
TMN	Durchschnittliche monatliche Minimaltemperatur („Monthly average minimum temperature“)	° C
TMX	Durchschnittliche monatliche Maximaltemperatur („Monthly average maximum temperature“)	° C

Die Datensätze der CRU TS Version 3.23 (Internet-Quelle siehe Kapitel 5.2) sind als „Network Common Data Form“ („net CDF“) in Blöcken von 10 Jahren (mit Ausnahme der Jahre 2011 bis 2014) zusammengefasst.

Da die Alpenfledermaus wie alle zentraleuropäischen Fledermausarten einen Winterschlaf hält (Dietz et al. 2016) ist es sinnvoll, zunächst die verschiedenen Klimaparameter entsprechend der Aktivitätsperioden der Fledermäuse zu trennen. Daher wurden alle Datensätze (außer dem Parameter FRS) in ein Sommerhalbjahr (mit den Monaten April bis Oktober) und ein Winterhalbjahr (November bis März) aufgeteilt (Tabelle 2). Praktisch erfolgte diese Aufteilung im Zuge der Umwandlung von vom netCDF-Format in ein Rasterformat (siehe unten).

Tabelle 2 Zur weiteren Bearbeitung vorliegende Klimadaten-Layer (Abkürzungen siehe Tabelle 1), Art der Zusammenfassung und Einheit der Rasterfelder-Werte.

Datensatz	Zusammenfassung	Einheit
DTR S	Sommerhalbjahr (Durchschnitt der Monate: April bis September)	° C
DTR W	Winter (Durchschnitt der Monate: Jänner bis März & Oktober bis September)	° C
FRS	Summe der Monate Jänner bis Dezember	Tage
PRE S	Sommerhalbjahr (Durchschnitt der Monate: April bis September)	mm
PRE W	Winter (Durchschnitt der Monate: Jänner bis März & Oktober bis September)	mm
TMP S	Sommerhalbjahr (Durchschnitt der Monate: April bis September)	° C
TMP W	Winter (Durchschnitt der Monate: Jänner bis März & Oktober bis September)	° C
TMN S	Sommerhalbjahr (Durchschnitt der Monate: April bis September)	°C
TMN W	Winter (Durchschnitt der Monate: Jänner bis März & Oktober bis September)	°C
TMX S	Sommerhalbjahr (Durchschnitt der Monate: April bis September)	° C
TMX W	Winter (Durchschnitt der Monate: Jänner bis März & Oktober bis September)	° C

Die Daten der in Tabelle 2 angeführten Klimaparameter wurden in einen Layern zusammengefasst, die jeweils den Durchschnitt von zehn Jahren repräsentieren. Lediglich für die Jahre 2011 bis 2014 wurde ein kleineres Zeitintervall (4 Jahre) verwendet. Somit liegen Layer für die Jahre 1981-1990, 1991-2000, 2001-2010 und 2011-2014 vor.

Für die Überführung der Daten vom Format „net CDF“ in ein Rasterformat (TIFF = „Tagged Image File Format“) steht im Programm ArcMap das Werkzeug „Make Net CDF Raster Layer (Multidimension Tools)“ zur Verfügung.

Die Berechnung der Layer entsprechend der angeführten Überlegungen (Mittelwerte von Zeitabschnitten, Trennung Sommer- und Winterhalbjahr) erfolgte über einen im „Model Builder“ von ArcMap erstellten Ablauf. Mit dem Werkzeug „Make Net CDF Raster“ wurden die monatlichen Datensätze extrahiert und in ein Rasterformat überführt. Gemäß der Zusammenstellung in Tabelle 2 erfolgte über das Werkzeug „Raster Calculator“ zunächst eine jährliche Zusammenfassung (siehe Beispiel in Abbildung 11 und Abbildung 12) und dann eine Berechnung des Durchschnitts aller Parameter für die jeweiligen Zeitintervalle.

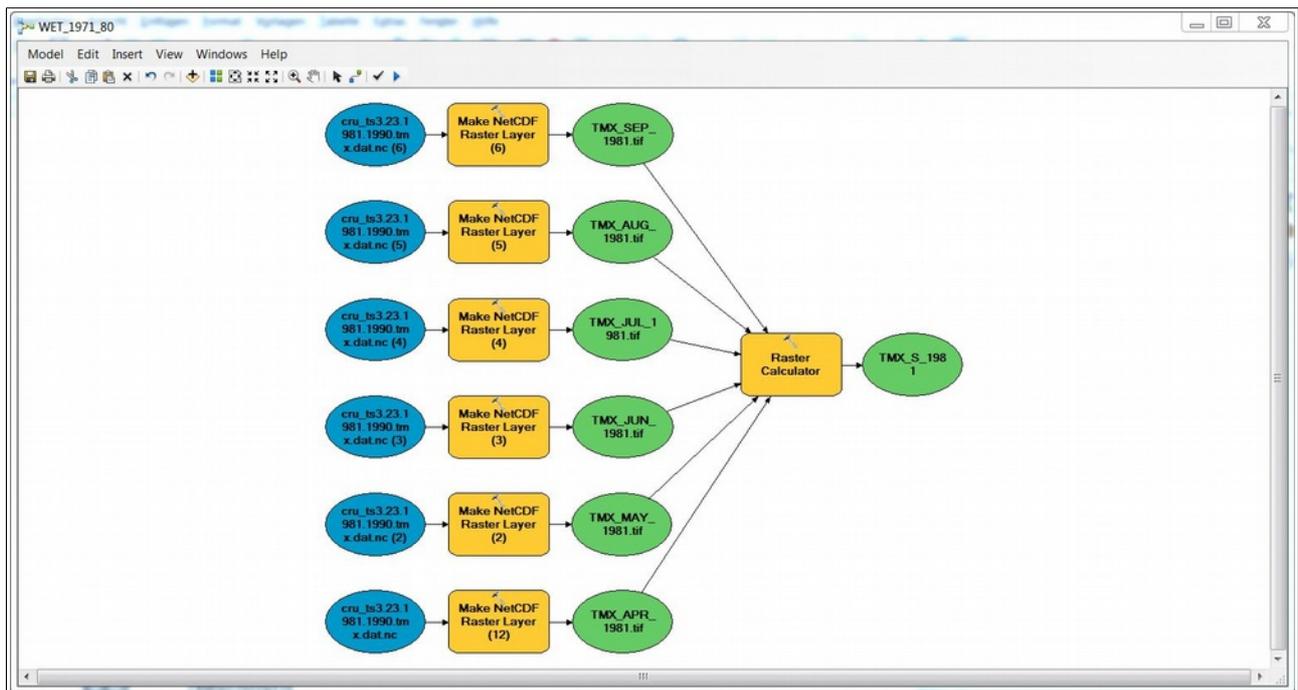


Abbildung 11 Zusammenführung monatlicher Klimadaten aus NetCDF-Dateien in eine Raster-Datei im „Model Builder“ von ArcMap am Beispiel der durchschnittlichen Maximaltemperatur im Sommerhalbjahr 1981.

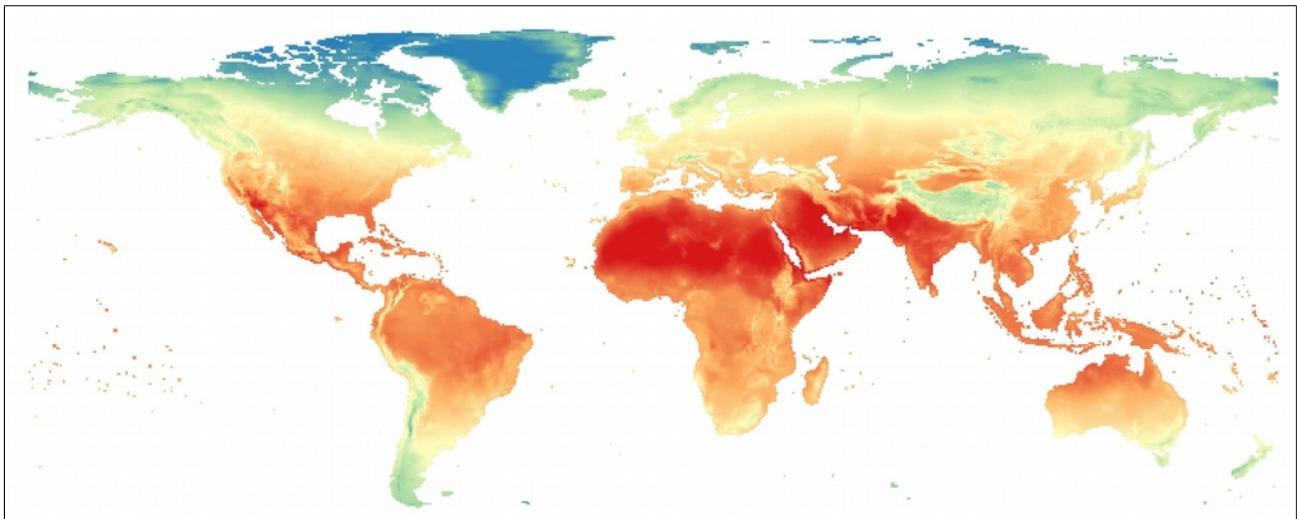


Abbildung 12 Ergebnis der Zusammenführung von Klimadaten nach dem in Abbildung 11 dargestellten Ablauf mit der durchschnittlichen Maximaltemperatur im Sommer 1981.

Nach Durchführung der Berechnungen lagen alle in Tabelle 2 angeführten Parameter für alle vier Zeitintervalle als Rasterformat in weltweiter Ausdehnung in der Auflösung 0,5 Grad vor.

2.1.3 Nachtlicht

Als indirekter Gradmesser für die Urbanisierung wurde die nächtliche Beleuchtung verwendet, die aus Satelliten-Daten weltweit verfügbar ist.

Die Zeitserien mit Nachtlicht-Layern wurden vom Portal der „National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)“ (Internet-Quelle siehe Kapitel 5.2) heruntergeladen. Die zugrundeliegenden Daten wurden im Zuge des „Defense Meteorological Satellite Program (DMSP)“ von der „US Air Force Weather Agency“ gesammelt und vom „National Geophysical Data Center“ der NOAA aufbereitet.

Für jedes Kalenderjahr von 1992 bis 2013 liegt ein Rasterdatensatz mit weltweiter Ausdehnung (Ausnahme Polargebiete größer 75 Grad bzw. kleiner -65 Grad) in einer Auflösung von 30 Sekunden vor. Die Pixelwerte (1-63) repräsentieren die Werte für beständiges Nachtlicht. Für die Berechnung der Werte wurden Einflüsse wie Mondlicht, Sonnenlicht und anderer astronomische Effekte exkludiert. Ebenso wurden nur wolkenfreie Aufnahmen für die Analyse verwendet (National Geophysical Data Center, undat.).

Analog zu den Klimadaten wurden die Nachtlicht-Rasterdaten der einzelnen Jahre mit dem „Raster Calculator“ (ArcMap) zu größeren Zeitintervallen zusammengefasst. Für die Zeiträume 1992 bis 2000, 2001 bis 2010 und 2011 bis 2013 wurde jeweils eine Rasterdatei mit den durchschnittlichen Jahreswerten erstellt (siehe Abbildung 13).

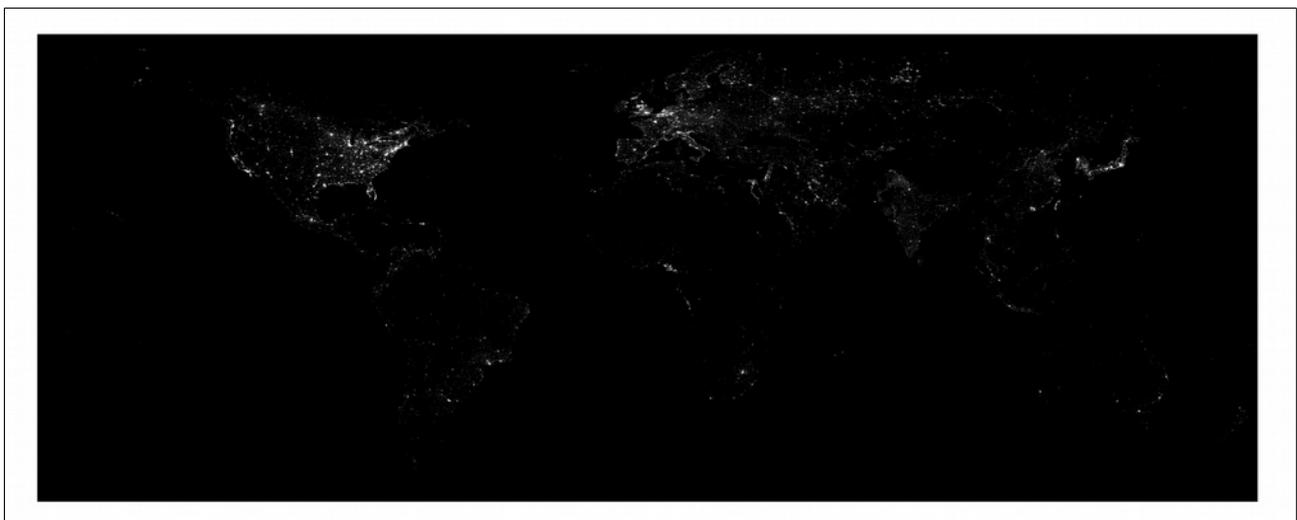


Abbildung 13 Ergebnis der Zusammenführung der Nachtlicht-Rasterdaten von 1992 bis 2000.

2.1.4 Sonstige Daten

Die Ländergrenzen (Referenzjahr 2014) in den Abbildungen stammen von der Europäischen Kommission – Eurostat/GISCO (Geographische Informationen und Karten - „Eurogeographics“) und wurden im Maßstab 1: 3 Millionen als „Personal GDB“ heruntergeladen (Internet-Quelle siehe Kapitel 5.2).

2.2 Aufbereitung der Daten für Modellierung

2.2.1 Verbreitungsdaten

Die Verbreitungsdaten waren für die Modellierung in einer einfachen Textdatei (CSV-Format, „comma separated values“) darzustellen, in der in drei Spalten lediglich die Art (in diesem Fall nur eine Art, *Hypsugo savii*), die östliche Länge und die nördliche Breite angegeben sind:

```
Species,Long,Lat
Hypsugo savii,17.481242,42.762199
Hypsugo savii,17.550928,42.735502
Hypsugo savii,24.849377,41.933216
Hypsugo savii,16.134582,43.041207
Hypsugo savii,16.876841,42.751314
Hypsugo savii,16.888598,42.929725
```

Die Fundortkoordinaten mussten im gleichen Koordinatensystem wie die verschiedenen Rasterdaten der Umweltparameter (Klima & Nachtlicht) vorliegen. Für diese Arbeit wurden die Daten von Uhrin et al. (2015) verwendet, die bereits im Koordinatensystem WGS84 (EPSG:4326) im Format Grad-dezimal vorlagen.

Das Vorhandensein von Nachweisen mit identen Koordinaten bzw. von mehreren Nachweisen innerhalb einer Rasterzelle der Umweltparameter wurde mit der entsprechenden Voreinstellung des Programms Maxent überprüft. Duplikate wurden gegebenenfalls von der Analyse automatisch exkludiert (Phillips 2010).

Die Verbreitungsdaten ab 1955 wurden zunächst in vier Dateien vorbereitet, welche die Nachweise aus den Zeitintervallen 1955-1990, 1991-2000, 2001-2010 und 2011-2014 beinhalten. Darüber hinaus wurden drei Dateien erstellt, in denen die Daten kumulativ ergänzt wurden: 1955-2000, 1955-2010 und 1955-2014 (siehe auch Abbildung 7 bis Abbildung 10).

Auf die vier Nachweise vor 1955 (siehe Abbildung 4) wurde aufgrund ihrer großen zeitlichen Entfernung von den verfügbaren Umweltparametern (Klima ab 1981, Nachtlicht ab 1992) verzichtet.

2.2.2 Umweltparameter

Die Parameter (Klima, Nachtlicht) mussten in Rasterdateien mit einheitlichem Raster (Rasterausdehnung, Rasterzellenlänge &-breite) sowie im gleichen Koordinatensystem wie die Verbreitungsdaten vorliegen.

Als Grundlage diente ein selbst erzeugter Raster mit Rasterfeldern von 3 Minuten Seitenlänge, was im zentralen Untersuchungsgebiet einer Ausdehnung von rund 3,9 km mal 5,6 km entspricht. Für die Alpenfledermaus liegen keine Studien zur Raumnutzung vor. Nahe verwandte Arten wie die etwas kleineren Zwerg- und Mückenfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus* und *Pipistrellus pygmaeus*) haben einen durchschnittlichen nächtlichen Aktionsradius von 1,5 km bzw. 1,7 km um ihr Quartier (Davidson-Watts & Jones 2006). Weißbrandfledermäuse (*Pipistrellus kuhlii*), die ähnlich groß sind wie die Alpenfledermaus, entfernen sich bei ihren Jagdflügen maximal rund drei bis vier Kilometer von ihrem Quartier (Maxinová et al. 2016). Nimmt man für die Alpenfledermaus ähnliche nächtliche Aktionsradien an wie für die drei genannten Arten, werden diese durch die ausgewählte Größe der Rasterzellen gut abgebildet.

Die räumliche Begrenzung orientiert sich im Westen und Norden an den Grenzen der Tschechischen Republik, im Osten an Rumänien und im Süden an der südlichen Grenze Mazedoniens, wodurch sich die in dokumentierten Ausmaße des Referenzrasters ergeben (siehe auch Kapitel 2.1.1).

Tabelle 3 Räumliche Begrenzung des Referenzrasters.

Minimum Östliche Länge	11,5°
Maximum Östliche Länge	30,0°
Minimum Nördliche Breite	40,5°
Maximum Nördliche Breite	51,5°

Die Raster-Dateien mussten für die Bearbeitung in Maxent im ESRI-ASCII-Format vorliegen, in dem zunächst die Anzahl der Spalten („ncols“), die Anzahl der Reihen („nrows“), die östliche Länge der unteren linken Ecke der Rasterdatei („xllcorner“), die nördliche Breite der unteren linken Ecke der Rasterdatei („yllcorner“), die Zellengröße („cellsize“) und die Bezeichnung der Felder ohne Daten („NODATA_value“) beschrieben werden. Dann folgen die Werte für die einzelnen Rasterfelder:

```
ncols      370
nrows     220
xllcorner  11,5
yllcorner  40,5
cellsize   0,05
NODATA_value -9999
9,841666 9,841666 9,841666 9,841666 9,841666 ...
```

Die Konvertierung der im „TIF“-Format vorliegenden Rasterdateien erfolgte in ArcMap über das Werkzeug „Raster to ASCII“.

Alle verwendeten Rasterdateien der Klimaparameter wurden zunächst mit dem Werkzeug „Clip“ auf das einheitliche Format (Tabelle 3) zugeschnitten. Die Reduzierung der Rasterzellengröße von 0,5 Grad auf 3 Minuten (= 0,05 Grad) erfolgte mit dem ArcMap-Werkzeug „Resample“ mit der Technik „Nearest Neighbor“, da von einer größeren Einheit (0,5 Grad) auf eine kleiner Einheit umgerechnet wird. Die Auflösung der Klimadaten wird dadurch naturgemäß nicht höher, entspricht dann aber den technischen Vorgaben von Maxent, das eine einheitliche Rastergröße aller Umweltparameter benötigt.

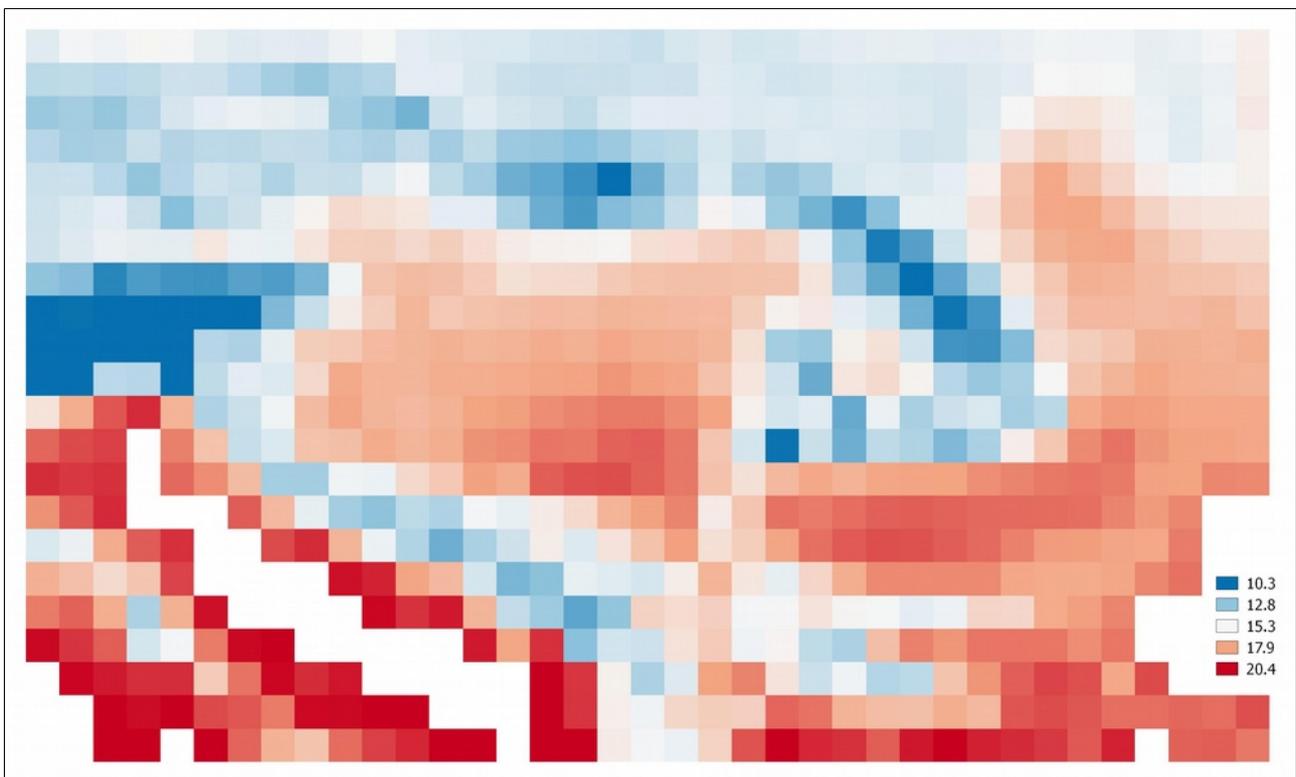


Abbildung 14 Beispiel für einen zur Modellierung vorbereiteten Klimaparameter (Durchschnittliche Tagestemperatur während der Sommermonate 1981-1990). Die farbliche Symbolik und Legende sind hier zur besseren Anschaulichkeit ergänzt.

Die Rasterdaten zum Nachtlicht wurden entsprechend der Zeitperioden zusammengeführt und ebenfalls auf das einheitliche Format zurechtgeschnitten („Clip“). Das Resampling (vom 30 Sekunden Raster zum 3 Minuten Raster) erfolgte mit der Methode „Cubic Convolution“, die für kontinuierliche Daten gute Ergebnisse erzielt.



Abbildung 15 Beispiel für einen zur Modellierung vorbereiteten Nachtlcht-Parameter (Durchschnittliche Nachtlcht der Jahre 2001-2010).

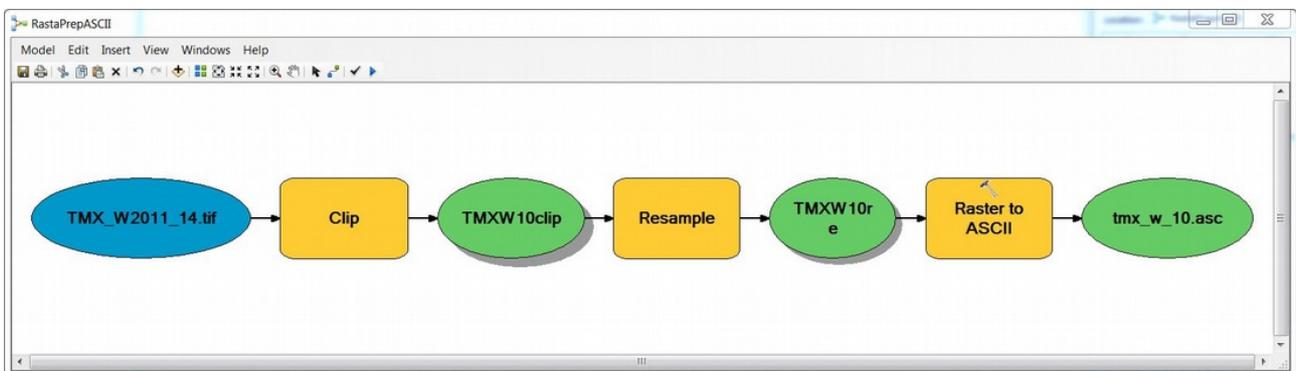


Abbildung 16 Die Schritte vom Ausschneiden des Untersuchungsgebietes bis zur Ausgabe als ESRI-ASCII Format wurden im „Model Builder“ automatisiert.

Alle Schritte vom Ausschneiden (Clip) bis zur Überführung in das ESRI-ASCII-Format wurden im „Model Builder“ (ArcMap) angeordnet und durchgeführt (Abbildung 16).

2.2.3 Korrelation von Rasterdaten

Bei der Verwendung von verschiedenen Umweltparametern ist darauf zu achten, dass die verschiedenen Parameter nicht stark miteinander korrelieren (Merrow et al. 2013). Starke Korrelation kann zu überangepassten, verengten Modellen führen (Peterson et al. 2011). Manche Einstellungen in Maxent (zum Beispiel „Product Features“ mit Berechnungen von Produkten verschiedener Parameter) können die negativen Effekte von miteinander korrelierenden Rasterlayern verstärken, weshalb Merrow et al. (2013) unbedingt eine Überprüfung solcher Korrelationen empfehlen.

Material & Methoden

1981-1990												
	NL*	FRS	PRE S	PRE W	TMN S	TMN W	TMP S	TMP W	TMX S	TMX W	DTR S	DTR W
NL*	1,000	-0,094	0,012	0,009	0,035	0,106	0,001	0,082	-0,028	0,057	-0,138	-0,148
FRS		1,000	0,594	-0,239	-0,936	-0,989	-0,887	-0,982	-0,805	-0,952	0,025	0,007
PRE S			1,000	0,441	-0,669	-0,533	-0,724	-0,538	-0,740	-0,531	-0,369	-0,057
PRE W				1,000	0,039	0,332	-0,042	0,342	-0,110	0,343	-0,340	0,074
TMN S					1,000	0,892	0,973	0,892	0,906	0,870	0,082	0,034
TMN W						1,000	0,827	0,987	0,734	0,952	-0,103	-0,040
TMP S							1,000	0,854	0,979	0,861	0,310	0,208
TMP W								1,000	0,784	0,988	0,017	0,119
TMX S									1,000	0,815	0,495	0,350
TMX W										1,000	0,133	0,268
DTR S											1,000	0,755
DTR W												1,000
1991-2000												
	NL*	FRS	PRE S	PRE W	TMN S	TMN W	TMP S	TMP W	TMX S	TMX W	DTR S	DTR W
NL*	1,000	-0,123	-0,020	0,004	0,029	0,137	0,015	0,121	-0,003	0,104	-0,079	-0,081
FRS		1,000	0,536	-0,192	-0,925	-0,991	-0,882	-0,983	-0,799	-0,954	0,074	-0,099
PRE S			1,000	0,591	-0,633	-0,480	-0,675	-0,466	-0,693	-0,442	-0,326	0,024
PRE W				1,000	-0,004	0,265	-0,084	0,282	-0,161	0,292	-0,391	0,150
TMN S					1,000	0,883	0,975	0,881	0,909	0,860	0,038	0,119
TMN W						1,000	0,826	0,988	0,733	0,955	-0,142	0,075
TMP S							1,000	0,848	0,979	0,850	0,257	0,265
TMP W								1,000	0,776	0,990	-0,035	0,228
TMX S									1,000	0,799	0,450	0,385
TMX W										1,000	0,065	0,366
DTR S											1,000	0,664
DTR W												1,000
2001-2010												
	NL*	FRS	PRE S	PRE W	TMN S	TMN W	TMP S	TMP W	TMX S	TMX W	DTR S	DTR W
NL*	1,000	0,481	0,525	-0,324	0,575	-0,424	-0,623	-0,425	-0,639	-0,417	-0,269	-0,037
FRS		1,000	0,589	-0,242	-0,942	-0,991	-0,896	-0,983	-0,815	-0,954	0,116	-0,012
PRE S			1,000	0,435	-0,679	-0,532	-0,720	-0,518	-0,727	-0,493	-0,254	0,059
PRE W				1,000	0,057	0,317	-0,040	0,321	-0,127	0,318	-0,433	0,047
TMN S					1,000	0,904	0,975	0,903	0,910	0,882	-0,017	0,053
TMN W						1,000	0,844	0,988	0,753	0,955	-0,184	-0,011
TMP S							1,000	0,867	0,979	0,869	0,205	0,200
TMP W								1,000	0,795	0,989	-0,080	0,142
TMX S									1,000	0,818	0,399	0,326
TMX W										1,000	0,021	0,285
DTR S											1,000	0,668
DTR W												1,000
2011-2014												
	NL*	FRS	PRE S	PRE W	TMN S	TMN W	TMP S	TMP W	TMX S	TMX W	DTR S	DTR W
NL*	1,000	-0,123	0,016	0,032	-0,002	0,139	-0,022	0,127	-0,038	0,112	-0,083	-0,066
FRS		1,000	0,457	-0,341	-0,896	-0,989	-0,829	-0,980	-0,729	-0,943	0,133	0,019
PRE S			1,000	0,475	-0,612	-0,384	-0,674	-0,395	-0,695	-0,395	-0,356	-0,080
PRE W				1,000	0,102	0,421	-0,013	0,416	-0,114	0,400	-0,459	-0,012
TMN S					1,000	0,845	0,970	0,851	0,897	0,834	0,041	0,069
TMN W						1,000	0,760	0,985	0,649	0,944	-0,212	-0,047
TMP S							1,000	0,796	0,977	0,809	0,281	0,239
TMP W								1,000	0,709	0,987	-0,089	0,124
TMX S									1,000	0,747	0,479	0,376
TMX W										1,000	0,031	0,284
DTR S											1,000	0,712
DTR W												1,000

Abbildung 17 Korrelationskoeffizienten für die bearbeiteten Layer der unterschiedlichen Zeitintervalle. NL = Nachtlicht, zu den klimatischen Faktoren siehe Tabelle 1. Grau hinterlegt: Korrelationskoeffizient $> 0,85$ bzw. $< -0,85$. Dunkelgrau hinterlegt: Korrelationskoeffizient $> 0,90$ bzw. $< -0,90$.

Diese Überprüfung erfolgte in ArcMap mit dem Werkzeug „Band Collection Statistics“, das neben Standard-Statistiken für die einzelnen Layer (Rasterdateien der Umweltparameter) auch Kovarianz- und Korrelationsmatrizes erzeugt (Abbildung 17).

Der Parameter „Anzahl Frosttage“ (FRS) korreliert mit fast allen Temperaturparametern (außer tägliche Temperaturspannweite) sehr stark. Ebenso korrelieren die verschiedenen Temperaturdaten (wiederum außer der täglichen Temperaturspannweite) untereinander erheblich.

Der Parameter FRS wird nicht zur Modellierung verwendet. Die Temperaturfaktoren wurden reduziert, da kurzfristige Extremtemperaturen, wie sie in den Parametern TMN (Minimaltemperatur, siehe Tabelle 1) und TMX (Maximaltemperatur, siehe Tabelle 1) repräsentiert werden, von Fledermäusen in der Regel durch entsprechende Verhaltensweisen (Lethargie, Erhöhen der Körpertemperatur oder Aufsuchen verschieden temperierter Hangplätze, siehe Altringham 2011) gut kompensiert werden. Deshalb sind diese beiden Faktoren sehr wahrscheinlich nicht maßgeblich für das Vorkommen einer Fledermausart und wurden exkludiert.

Die tägliche Durchschnittstemperatur (TMP Sommer & Winter) geben in Kombination mit der täglichen Temperaturspannweite DTR (Sommer & Winter) ein gutes Maß für Temperaturverhältnisse in einer bestimmten Region, weshalb diese Temperaturparameter für die Modellierung verwendet wurden.

Die Daten zum Niederschlag korrelieren mit keinen anderen Parametern. Niederschlagsmengen können in trockenen Regionen maßgeblich für den Reproduktionserfolg von Fledermäusen sein (Adams & Hayes 2008, Adams 2010), weshalb dieser Parameter für die Modellierung ausgewählt wurde.

2.3 Modellierung

2.3.1 Grundsätzliche Überlegungen

Für die Modellierung der Verbreitung von Arten („Species Distribution Models“ – SDM) stehen viele Ansätze zur Verfügung (zusammenfassende Darstellungen z. B. in Guisan & Thuiller 2005 oder Peterson et al. 2011). Unter anderem hängt die Entscheidung für die Methode der Modellierung erheblich von der Art der verfügbaren Verbreitungsdaten ab (Phillips et al. 2006).

Viele der üblichen statistischen Verfahren (z. B. „Generalized Linear Models“ - GLM) benötigen für ihre korrekte Anwendung neben den systematisch erhobenen Fundpunkten der Anwesenheit auch Punkte der sicheren Abwesenheit (Absenz). Diese Voraussetzung fehlt bei Verbreitungsdaten oftmals (Peterson et al. 2011). Besonders bei Datensammlungen aus verschiedenen Quellen (zum Beispiel Sammlungen von naturwissenschaftlichen Museen oder elektronischen Datenbanken) sind die Methoden der Datensammlung oft nicht bekannt und lassen keine gesicherte Rückschlüsse auf Absenzen zu, sodass gesicherte Aussagen nur über die Anwesenheit, aber nicht über die Absenz von Individuen der untersuchten Art getroffen werden können (Elith et al. 2006).

Speziell bei Fledermäusen mit ihrer nächtlichen Aktivität, ihrer hohen Mobilität und ihren versteckten Quartieren sind der Methodik zur Erfassung von Vorkommen oft enge Grenzen gesetzt (z. B. Kunz & Parsons 2009). Verschiedene Erfassungsmethoden weisen unterschiedliche Selektivitäten für die vorkommenden Arten auf, sodass die mit verschiedenen Methoden erhobenen Arten an einem Standort differieren können (Flaquer et al. 2007).

Besonders sichtbar wird diese Problematik bei einigen methodenkritischen Arbeiten zur automatisierten akustischen Erfassung von Fledermausrufen (durch Aufnahme und Analyse der Echoortungsrufe). Hohe Variabilität zwischen Erhebungsnächten über die ganze Saison (Bruckner 2014), die Standortwahl und die Anzahl von Geräten an einem Standort (Froidevaux et al. 2014, Kubista & Bruckner 2017) oder Unsicherheiten in der Bestimmung der Fledermausrufe (z. B. Fritsch & Bruckner 2014) können die Möglichkeiten für falsche Absenzen („false negatives“) drastisch erhöhen.

Aufgrund dieser für die Tiergruppe speziellen Unsicherheiten und dem Fehlen oder der Uneinheitlichkeit von Absenz-Daten bei Datensammlungen aus verschiedenen Quellen wird bei Modellierungen der Verbreitung von Fledermausarten zumeist mit Methoden gearbeitet, die ausschließlich auf Anwesenheitsdaten basieren (z. B. Lundy et al. 2010, Sattler et al. 2007). Der Großteil der Verbreitungsmodelle für Fledermäuse wird mit der im Programm „Maxent“ implementierten Maximum-Entropie-Methode erstellt (z. B. Rebelo et al. 2010, Bilgin et al. 2012, Cooper-Bohannon et al. 2016). Seit 2007 scheint diese Methode zur Modellierung von Verbreitungen von Fledermäusen in Publikationen auf und seit 2012 ist sie die in den Veröffentlichungen dominierende Methode (Razgour et al. 2016).

In der vorliegenden Arbeit sind die verwendeten Verbreitungsdaten eine Zusammenstellung aus unterschiedlichsten Quellen (Uhrin et al. 2015), die keine Rückschlüsse auf die Absenzen zulassen. Demgemäß mussten die Modellierungen auf Basis einer Methode erfolgen, die ausschließlich mit Anwesenheits-Daten („presence-only“) arbeitet. Aufgrund der relativ guten Beurteilung der Methode (Elith et al. 2006), aber auch wegen der relativ einfachen Handhabung wurden die Verbreitungsmodelle in dieser Arbeit mit Maxent erstellt.

2.3.2 Maxent

Maximum-Entropie ist eine Methode, die entwickelt wurde, um auch auf Basis unvollständiger Informationen Voraussagen treffen zu können (Jaynes 1957). Phillips et al. (2004, 2006) entwickelten basierend auf der Maximum-Entropie-Methode das Programm „Maxent“, mit dem die Verbreitung von Arten lediglich mit Anwesenheits-Daten modelliert werden kann:

„Die Idee von Maxent besteht darin, eine Zielwahrscheinlichkeit abzuschätzen, indem die Wahrscheinlichkeitsverteilung der maximalen Entropie ermittelt wird (d. h. die am weitesten verteilt ist oder am nächsten zu gleichförmig ist), abhängig von einem Satz von Beschränkungen, die unsere unvollständige Information über die Zielverteilung darstellen.“ (Phillips et al. 2006)

„Die verfügbaren Informationen über die Zielverteilung stellen sich häufig als eine Reihe von reellwertigen Variablen dar, die als ‚Features‘ bezeichnet werden. Die Beschränkungen bestehen darin, dass der erwartete Wert jedes Features mit seinem empirischen Durchschnitt übereinstimmen sollte.“ (Phillips et al. 2006)

Die Zielwahrscheinlichkeit bedeutet hier die Wahrscheinlichkeit eines Auftretens einer Art an einem bestimmten Ort (d.h. in einem Pixel des Untersuchungsrasters). Die Beschränkungen werden von den Umweltparametern abgeleitet.

Vereinfacht kann Maxent so beschrieben werden, dass Maxent eine Liste von Verbreitungspunkten auswählt, die in einem benutzerdefinierten Untersuchungsgebiet liegen, welches durch (in Gitterzellen unterteilte) Umweltparameter beschrieben wird. Aus dieser Landschaft extrahiert Maxent eine Stichprobe von Hintergrundpunkten (= Rasterzellen ohne Fundorte), die mit den Eigenschaften der Rasterzellen der Fundorte (= Präsenzzellen resp. -zellen) verglichen werden (nach Merrow et al. 2013).

Die erwähnten Einschränkungen können mit verschiedenen „Feature Classes“ bestimmt werden. Während „Linear features“ einfach das Mittel der Werte der Präsenzzellen auf die Hintergrundzellen überträgt, berücksichtigen „Quadratic features“ auch die Variabilität der Präsenzzellen. „Product features“ berücksichtigen Kovarianzen verschiedener Parameter und in „Threshold -“ und „Hinge Features“ können verschieden generierte Schwellenwerte berücksichtigt werden (Phillips 2010).

Merrow et al. (2013) empfehlen für einfache und damit besser interpretierbare Modelle auf die „Product features“ zu verzichten. „Threshold -“ und „Hinge features“ sollen nur dann zur Anwendung kommen, wenn etwa biologische Limits (z. B. Minimaltemperatur) bekannt sind.

Im Programm ist ebenfalls vorgesehen einen gewissen Anteil der Präsenzzellen nicht in die Modellierung einfließen zu lassen, sondern mit diesen Punkten das Modell zu überprüfen.

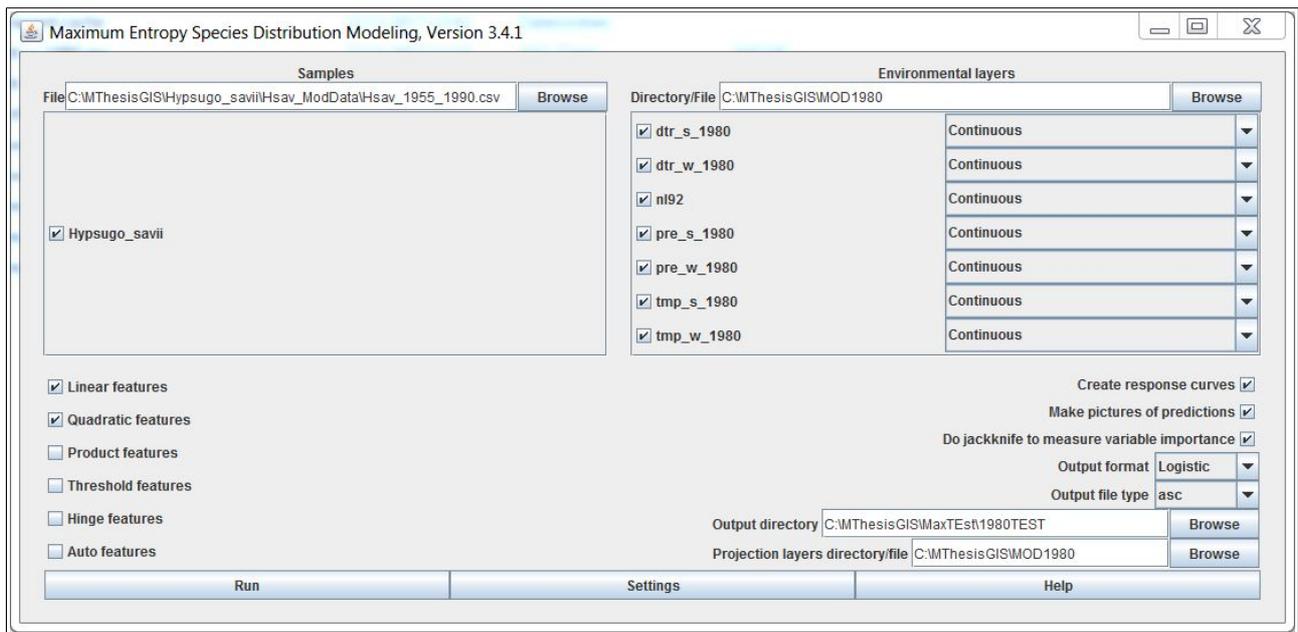


Abbildung 18 Programmfenster von Maxent. Verbreitungsdaten und Umweltparameter werden hier ebenso festgelegt wie grundsätzliche Einstellungen zur Modellierung und zur Darstellung der Ergebnisse (Output).

2.3.3 Vorgehensweise

Die Modellierung der Verbreitung der Alpenfledermaus erfolgte auf Basis von Verbreitungsdaten aus fünf verschiedenen Zeiträumen (beschrieben in Kapitel 2.2.1). Für jeden Zeitraum wurden fünf Modelle mit jeweils unterschiedlichen Umweltparametern erstellt: 1. Klimadaten Sommer, 2. Klimadaten Sommer & Nachtlicht, 3. Klimadaten Winter, 4. Klimadaten Winter & Nachtlicht, 5. Klimadaten Sommer und Winter & Nachtlicht.

In Tabelle 4 sind alle Kombinationen (mit Hinweisen auf die Abbildungen in Kapitel 3) dargestellt.

Tabelle 4 Übersicht über die erstellten Modelle für die verschiedenen Zeitabschnitte und die Einbeziehung verschiedener Parameter sowie Verweis auf die Abbildungen der Modelle.

Zeitraum Verbreitungs- daten	Zur Modellerstellung verwendete Parameter				
1955-1990 Abbildung 20	Klimadaten Sommer 1981-1990	Klimadaten Sommer 1981-1990 Nachtlicht 1992	Klimadaten Winter 1981-1990	Klimadaten Winter 1981-1990 Nachtlicht 1992	Klimadaten Sommer & Winter 1981-1990 Nachtlicht 1992
1955-2000 Abbildung 21	Klimadaten Sommer 1991-2000	Klimadaten Sommer 1991-2000 Nachtlicht 1992-2000	Klimadaten Winter 1991-2000	Klimadaten Winter 1991-2000 Nachtlicht 1992-2000	Klimadaten Sommer & Winter 1991-2000 Nachtlicht 1992-2000
1955-2010 Abbildung 22	Klimadaten Sommer 2001-2010	Klimadaten Sommer 2001-2010 Nachtlicht 2001-2010	Klimadaten Winter 2001-2010	Klimadaten Winter 2001-2010 Nachtlicht 2001-2010	Klimadaten Sommer & Winter 2001-2010 Nachtlicht 2001-2010
1955-2014 Abbildung 23	Klimadaten Sommer 2011-2014	Klimadaten Sommer 2011-2014 Nachtlicht 2011-2013	Klimadaten Winter 2011-2014	Klimadaten Winter 2011-2014 Nachtlicht 2011-2013	Klimadaten Sommer & Winter 2011-2014 Nachtlicht 2011-2013
1991-2000 Abbildung 24	Klimadaten Sommer 1991-2000	Klimadaten Sommer 1991-2000 Nachtlicht 1992-2000	Klimadaten Winter 1991-2000	Klimadaten Winter 1991-2000 Nachtlicht 1992-2000	Klimadaten Sommer & Winter 1991-2000 Nachtlicht 1992-2000
2001-2010 Abbildung 25	Klimadaten Sommer 2001-2010	Klimadaten Sommer 2001-2010 Nachtlicht 2001-2010	Klimadaten Winter 2001-2010	Klimadaten Winter 2001-2010 Nachtlicht 2001-2010	Klimadaten Sommer & Winter 2001-2010 Nachtlicht 2001-2010
2011-2014 Abbildung 26	Klimadaten Sommer 2011-2014	Klimadaten Sommer 2011-2014 Nachtlicht 2011-2013	Klimadaten Winter 2011-2014	Klimadaten Winter 2011-2014 Nachtlicht 2011-2013	Klimadaten Sommer & Winter 2011-2014 Nachtlicht 2011-2013
Indizierung in den Abbildungen	a	b	c	d	e

Für alle in Tabelle 4 angeführten Kombinationen wurden die gleichen Einstellungen verwendet. Es wurden nur „Linear -“ und „Quadratic Features“ eingesetzt. Die Verbreitungsdaten wurden zufällig (vom Programm) in 75 % Trainingspunkte (für die Erstellung des Modells) und 25 % Testpunkte (zur Überprüfung des Modells) aufgeteilt.

Als Ergebnisse der Modellierung wird jedem Pixel ein Wert für die Wahrscheinlichkeit des Vorkommens zwischen null und eins zugewiesen (Phillips 2010).

Zur Validierung des Modelles wird unter anderem die „Receiver Operating Curve (ROC)“ erzeugt. Dabei wird jeweils für die Trainings- und Testdaten der Anteil der Wahr-Positiven auf der vertikalen Achse gegen den Anteil der Falsch-positiven Werte auf der X-Achse eingetragen. Die Fläche unter den Kurven (Area Under Curve, AUC) gilt als Maß für die Leistungsfähigkeit eines Modells (Pearce & Ferrier 2000). Der AUC-Wert kann zwischen null und eins liegen, wobei ein Wert von 0,5 ein total zufälliges Modell beschreibt und der Wert eins ein perfektes Modell beschreibt (Elith et al. 2006). Ein AUC-Wert höher als 0,7 wird von Fielding & Bell (1997) als gutes Modell interpretiert.

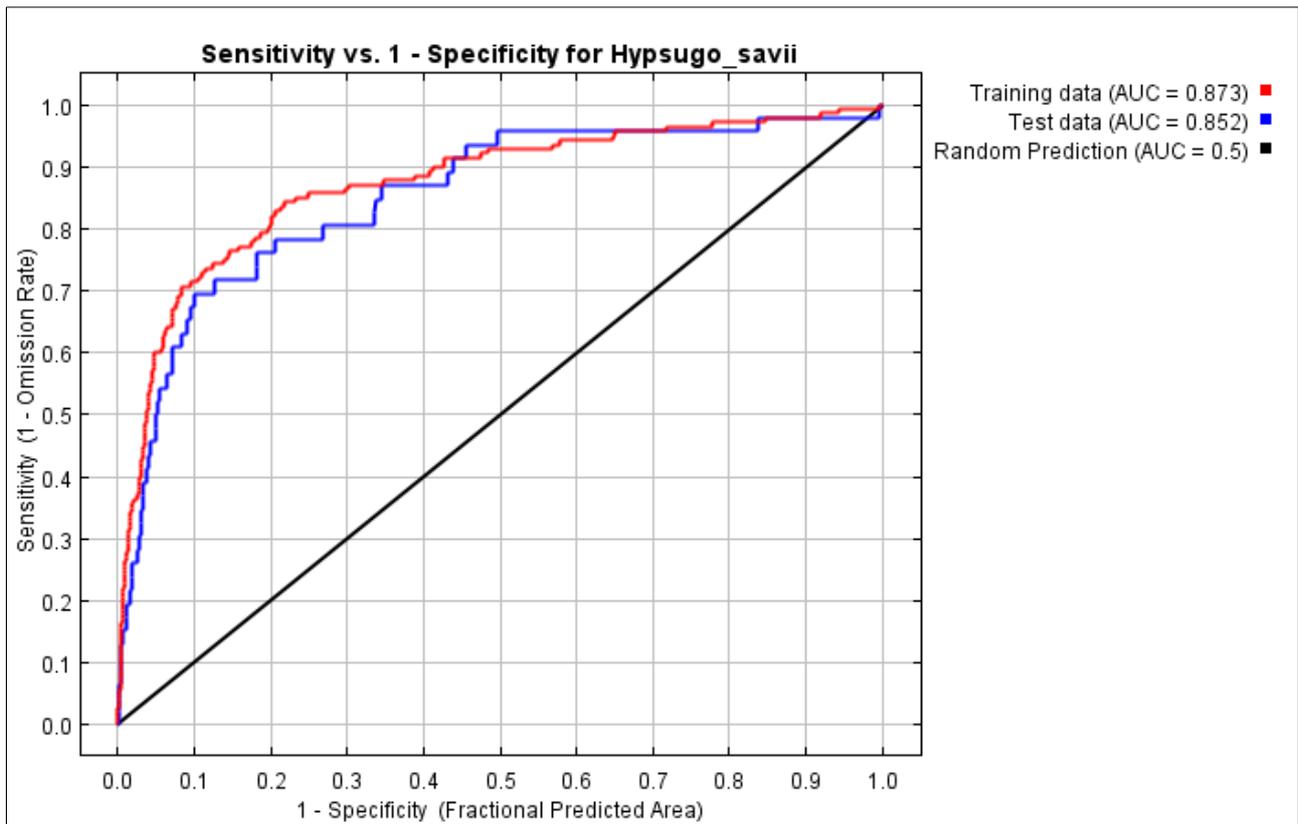


Abbildung 19 „Receiver Operating Curve (ROC)“ und Werte der „Area Under Curve (AUC)“ als Ergebnis der Modellierung am Beispiel „Verbreitungsdaten 2001-2010, Klimadaten Sommer und Nachtlicht“ (siehe Tabelle 9 und Abbildung 23a).

Maxent liefert darüber hinaus eine Schätzung der relativen Beiträge der Umweltparameter zum Modell, die im Zuge der Erstellung des Modelles errechnet werden (Phillips 2010).

3 Ergebnisse

3.1 Überblickstabelle

Tabelle 5 Übersicht über die erstellten Modelle für die verschiedenen Zeitabschnitte und die Einbeziehung verschiedener Parameter sowie Verweis auf die Abbildungen der Modelle.

Zeitraum Verbreitungs- daten	Zur Modellerstellung verwendete Parameter				
1955-1990 Abbildung 20	Klimadaten Sommer 1981-1990	Klimadaten Sommer 1981-1990 Nachtlcht 1992	Klimadaten Winter 1981- 1990	Klimadaten Winter 1981- 1990 Nachtlcht 1992	Klimadaten Sommer & Winter 1981-1990 Nachtlcht 1992
AUC Training	0,650	0,676	0,781	0,788	0,824
AUC Test	0,684	0,678	0,781	0,776	0,811
1991-2000 Abbildung 21	Klimadaten Sommer 1991-2000	Klimadaten Sommer 1991-2000 Nachtlcht 1992-2000	Klimadaten Winter 1991- 2000	Klimadaten Winter 1991- 2000 Nachtlcht 1992-2000	Klimadaten Sommer & Winter 1991-2000 Nachtlcht 1992-2000
AUC Training	0,692	0,723	0,758	0,792	0,798
AUC Test	0,664	0,783	0,765	0,833	0,840
1955-2000 Abbildung 22	Klimadaten Sommer 1991-2000	Klimadaten Sommer 1991-2000 Nachtlcht 1992-2000	Klimadaten Winter 1991- 2000	Klimadaten Winter 1991- 2000 Nachtlcht 1992-2000	Klimadaten Sommer & Winter 1991-2000 Nachtlcht 1992-2000
AUC Training	0,648	0,681	0,738	0,761	0,763
AUC Test	0,666	0,730	0,718	0,795	0,790
2001-2010 Abbildung 23	Klimadaten Sommer 2001-2010	Klimadaten Sommer 2001-2010 Nachtlcht 2001-2010	Klimadaten Winter 2001- 2010	Klimadaten Winter 2001- 2010 Nachtlcht 2001-2010	Klimadaten Sommer & Winter 2001-2010 Nachtlcht 2001-2010
AUC Training	0,780	0,873	0,784	0,886	0,881
AUC Test	0,802	0,852	0,790	0,860	0,862
1955-2010 Abbildung 24	Klimadaten Sommer 2001-2010	Klimadaten Sommer 2001-2010 Nachtlcht 2001-2010	Klimadaten Winter 2001- 2010	Klimadaten Winter 2001- 2010 Nachtlcht 2001-2010	Klimadaten Sommer & Winter 2001-2010 Nachtlcht 2001-2010
AUC Training	0,737	0,797	0,743	0,821	0,919
AUC Test	0,703	0,768	0,715	0,796	0,786
2011-2014 Abbildung 25	Klimadaten Sommer 2011-2014	Klimadaten Sommer 2011-2014 Nachtlcht 2011-2013	Klimadaten Winter 2011- 2014	Klimadaten Winter 2011- 2014 Nachtlcht 2011-2013	Klimadaten Sommer & Winter 2011-2014 Nachtlcht 2011-2013
AUC Training	0,673	0,874	0,714	0,888	0,756
AUC Test	0,694	0,832	0,669	0,870	0,792
1955-2014 Abbildung 26	Klimadaten Sommer 2011-2014	Klimadaten Sommer 2011-2014 Nachtlcht 2011-2013	Klimadaten Winter 2011- 2014	Klimadaten Winter 2011- 2014 Nachtlcht 2011-2013	Klimadaten Sommer & Winter 2011-2014 Nachtlcht 2011-2013
AUC Training	0,737	0,806	0,747	0,813	0,770
AUC Test	0,689	0,764	0,745	0,806	0,783
Indizierung in den Abbildungen	a	b	c	d	e

3.2 Verbreitungsdaten 1955 bis 1990

Die Modelle, welche mit den Verbreitungsdaten von 1955-1990 mit verschiedenen Umweltparametern erstellt wurden, weisen für den Test-Datensatz AUC-Werte zwischen 0,678 und 0,811 auf. Den höchsten AUC-Wert zeigt das Modell, in dem alle Parameter eingeflossen sind (Tabelle 6 e), die niedrigsten Werte weisen die beiden Modelle (Tabelle 6 a & b) auf, welche auf den Sommer-Klimadaten basieren.

Tabelle 6 Übersicht der Ergebnisse (AUC-Werte und Beitrag der Variablen zur Modellierung) für den Datensatz 1955-1990.

Modellgüte					
	Klimadaten Sommer	Klimadaten Sommer Nachtlicht	Klimadaten Winter	Klimadaten Winter Nachtlicht	Klimadaten Sommer & Winter Nachtlicht
	a	b	c	d	e
AUC Training	0,650	0,676	0,781	0,788	0,824
AUC Test	0,684	0,678	0,781	0,776	0,811
Beitrag der Umweltparameter					
	Klimadaten Sommer	Klimadaten Sommer Nachtlicht	Klimadaten Winter	Klimadaten Winter Nachtlicht	Klimadaten Sommer & Winter Nachtlicht
	a	b	c	d	e
TMP Sommer	97,5	90,1	-	-	3,2
TMP Winter	-	-	45,9	45,2	38,3
PRE Sommer	2,3	2,1	-	-	3,3
PRE Winter	-	-	49,5	49,0	49,8
DTR Sommer	0,2	0,1	-	-	0
DTR Winter	-	-	4,5	4,6	3,8
Nachtlicht	-	7,7	-	1,2	1,5

Der Beitrag der Umweltparameter weist bei den beiden ersten Modellen (Tabelle 6 a & b) einen Schwerpunkt bezüglich der durchschnittlichen Sommertemperatur auf, bei allen anderen Modellen trägt der winterliche Niederschlag rund 50 % zum Modell bei und die mittlere Temperatur im Winter rund 40 % bis 45 %. Alle anderen Parameter sind bei letzteren Modellen mit geringem Anteil beteiligt.

Das grobe Verbreitungsmuster (Rasterzellen mit Werte über 0,75) ist jedoch bei allen fünf Modellen ungefähr gleich, nämlich um den Mittelmeer- bzw. Adriaraum angeordnet (siehe Abbildung 20).

Ergebnisse

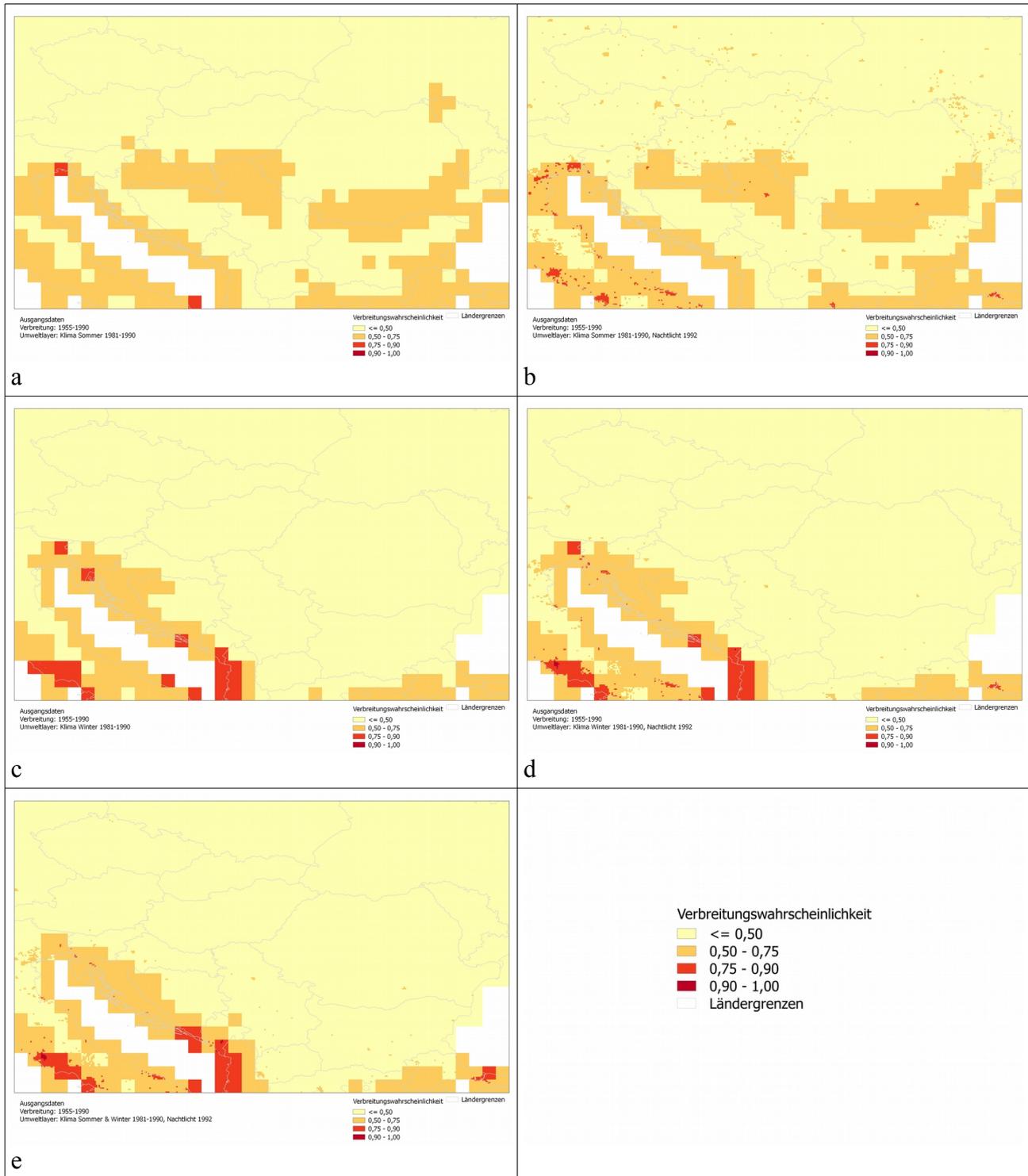


Abbildung 20 Verbreitungsmodelle für die Alpenfledermaus mit **Verbreitungsdaten 1955-1990**, Klimadaten 1981-1990, Nachtlicht 1992: a = Klimadaten Sommer, b = Klimadaten Sommer plus Nachtlicht, c = Klimadaten Winter, d = Klimadaten Winter plus Nachtlicht, e = Klimadaten Sommer & Winter plus Nachtlicht. Verwaltungsgrenzen: © EuroGeographics.

3.3 Verbreitungsdaten 1991 bis 2000

Basierend auf den Verbreitungsdaten von 1991-2000 weisen die verschiedenen Modelle AUC-Werte bei den Testdaten zwischen 0,664 und 0,840 auf. Die höchsten AUC-Werte hat das Modell, in dem alle Parameter eingeflossen sind und jenes, das Klimadaten des Winters mit Nachtlicht kombiniert (Tabelle 7 e & d). Den niedrigsten Wert weist das Modell auf, welches auf den Klimadaten des Sommers basiert (Tabelle 7 a).

Tabelle 7 Übersicht der Ergebnisse (AUC-Werte und Beitrag der Variablen zur Modellierung) für den Datensatz 1991-2000.

Modellgüte					
	Klimadaten Sommer	Klimadaten Sommer Nachtlicht	Klimadaten Winter	Klimadaten Winter Nachtlicht	Klimadaten Sommer & Winter Nachtlicht
	a	b	c	d	e
AUC Training	0,692	0,723	0,758	0,792	0,798
AUC Test	0,664	0,783	0,765	0,833	0,840
Beitrag der Variablen					
	Klimadaten Sommer	Klimadaten Sommer Nachtlicht	Klimadaten Winter	Klimadaten Winter Nachtlicht	Klimadaten Sommer & Winter Nachtlicht
	a	b	c	d	e
TMP Sommer	39,2	17,4	-	-	13,4
TMP Winter	-	-	39,1	25,8	13,9
PRE Sommer	38,2	19,8	-	-	0
PRE Winter	-	-	28,2	16,8	19,5
DTR Sommer	22,7	15,6	-	-	1,8
DTR Winter	-	-	32,7	21,1	17,4
Nachtlicht	-	47,2	-	36,3	34,1

Der Beitrag der Umweltparameter verteilt sich beim ersten Modell zu etwa gleichen Teilen auf Sommertemperaturen und Sommerniederschläge (je rund 40 %), der Rest entfällt auf die Temperatur-Spannweite (Tabelle 7 a). Bei Einbeziehung des Nachtlichts (Tabelle 7 b) verschiebt sich der Anteil auf knapp 50 % Nachtlicht, die drei Klimaparameter teilen sich zu etwa gleichen Teilen auf.

Bei den Modellen mit den Klimadaten des Winters teilen sich die Beiträge der drei Parameter nahezu gleich auf (Tabelle 7 c). Bei Einbeziehung des Nachtlicht-Parameters zeigt sich wieder eine starke Verschiebung hin zum Nachtlicht (rund 36 %, Tabelle 7 d).

Bei Einbeziehung aller Parameter in das Modell (Tabelle 7 e) weist das Nachtlicht einen Beitrag

von rund 34 % auf, Niederschlag und Temperaturschwankung im Sommer sind fast gleich null und alle anderen Parameter weisen prozentual ungefähr gleich große Anteile auf.

Das grobe Verbreitungsmuster (Rasterzellen mit Werte über 0,75) ist bei den beiden Modellen, denen nur Klimadaten zugrunde liegen, ungefähr gleich. Bei den Modellen mit Einbeziehung des Nachtlicht-Parameters ist deutlich zu erkennen, wie sich das Gebiet des potenziellen Vorkommens durch zusätzliche städtische Bereiche erweitert (siehe Abbildung 21).

Ergebnisse

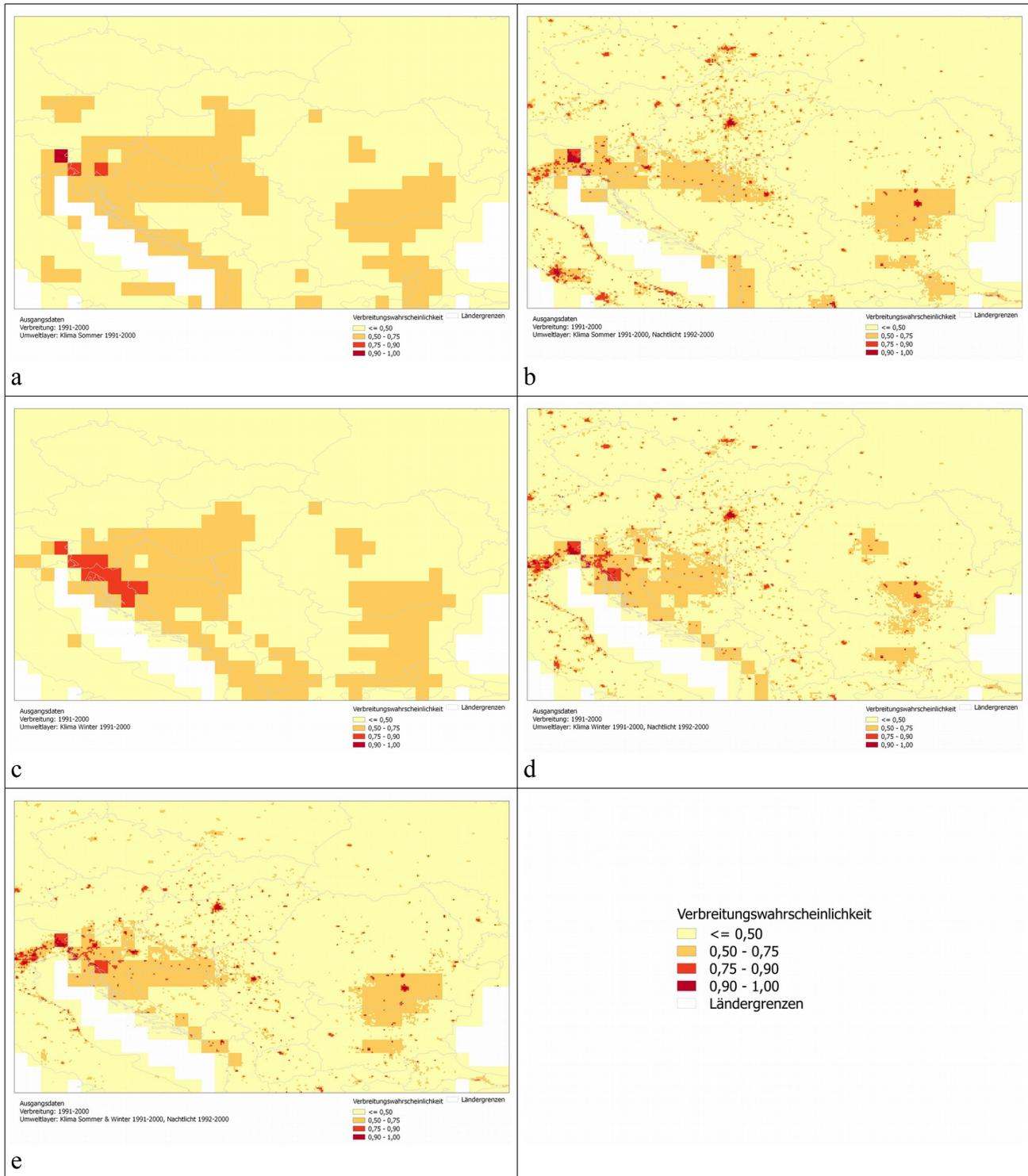


Abbildung 21 Verbreitungsmodelle für die Alpenfledermaus mit **Verbreitungsdaten 1991-2000**, Klimadaten 1991-2000, Nachtlicht 1992-2000: a = Klimadaten Sommer, b = Klimadaten Sommer plus Nachtlicht, c = Klimadaten Winter, d = Klimadaten Winter plus Nachtlicht, e = Klimadaten Sommer & Winter plus Nachtlicht. Verwaltungsgrenzen: © EuroGeographics.

3.4 Verbreitungsdaten 1955 bis 2000

Die Modelle, die auf den kumulativen Verbreitungsdaten von 1955-2000 basieren, weisen bei den Testdaten AUC-Werte zwischen 0,666 und 0,795 auf. Die höchsten AUC-Werte haben die Modelle mit Klimadaten und Nachtlicht Winter sowie jenes, in das alle Parameter eingeflossen sind (Tabelle 8 d & e). Den niedrigsten Wert weist das Modell auf, welches auf den Klimadaten des Sommers basiert (Tabelle 8 a).

Tabelle 8 Übersicht der Ergebnisse (AUC-Werte und Beitrag der Variablen zur Modellierung) für den Datensatz 1955-2000.

Modellgüte					
	Klimadaten Sommer	Klimadaten Sommer Nachtlicht	Klimadaten Winter	Klimadaten Winter Nachtlicht	Klimadaten Sommer & Winter Nachtlicht
	a	b	c	d	e
AUC Training	0,648	0,681	0,738	0,761	0,763
AUC Test	0,666	0,730	0,718	0,795	0,790
Beitrag der Variablen					
	Klimadaten Sommer	Klimadaten Sommer Nachtlicht	Klimadaten Winter	Klimadaten Winter Nachtlicht	Klimadaten Sommer & Winter Nachtlicht
	a	b	c	d	e
TMP Sommer	66,8	44,1	-	-	7,5
TMP Winter	-	-	26,6	14,5	13,5
PRE Sommer	31,9	22,5	-	-	0
PRE Winter	-	-	46,5	37,2	34,7
DTR Sommer	1,3	1,7	-	-	0,6
DTR Winter	-	-	26,9	22,2	19,6
Nachtlicht	-	31,6	-	26,1	24

Der Beitrag der Umweltparameter verteilt sich beim ersten Modell zu rund zwei Dritteln auf Sommertemperatur und zu rund einem Drittel auf Sommerniederschläge (Tabelle 8 a). Bei Einbeziehung des Nachtlichts (Tabelle 8 b) verschiebt sich der Anteil auf knapp 30 % Nachtlicht, die Sommertemperatur und -niederschlag liegen bei 44 % bzw. 23 %.

Bei den Modellen mit den Klimadaten des Winters dominiert der Anteil des Niederschlages, (rund 47 %), Temperatur und Temperaturspannweite sind zu gleichen Teilen vertreten (Tabelle 8 c). Die Einbeziehung des Nachtlicht-Parameters bringt einen Beitrag zum Modell von rund einem Viertel (Tabelle 8 d).

Bei Einbeziehung aller Parameter in das Modell (Tabelle 8 e) weist der Niederschlag im Winter einen Beitrag von rund 35 % auf, das Nachtlicht rund ein Viertel, Niederschlag und

Temperaturschwankung im Sommer sind fast gleich null und alle anderen Parameter reichen von 8 % bis 20 %.

Das grobe Verbreitungsmuster (Rasterzellen mit Werte über 0,75) ist bei den beiden Modellen, denen nur Klimadaten des Sommers zugrunde liegen, ungefähr gleich. Bei den anderen Modellen fehlt das Areal, das sich vom nördlichen Kroatien bis Rumänien zieht. Bei den Modellen mit er Nachtlicht-Komponente sind wiederum die städtischen Bereiche deutlich zu erkennen, die hier nun auch höhere Wahrscheinlichkeiten eines Vorkommens aufweisen (siehe Abbildung 22).

Ergebnisse

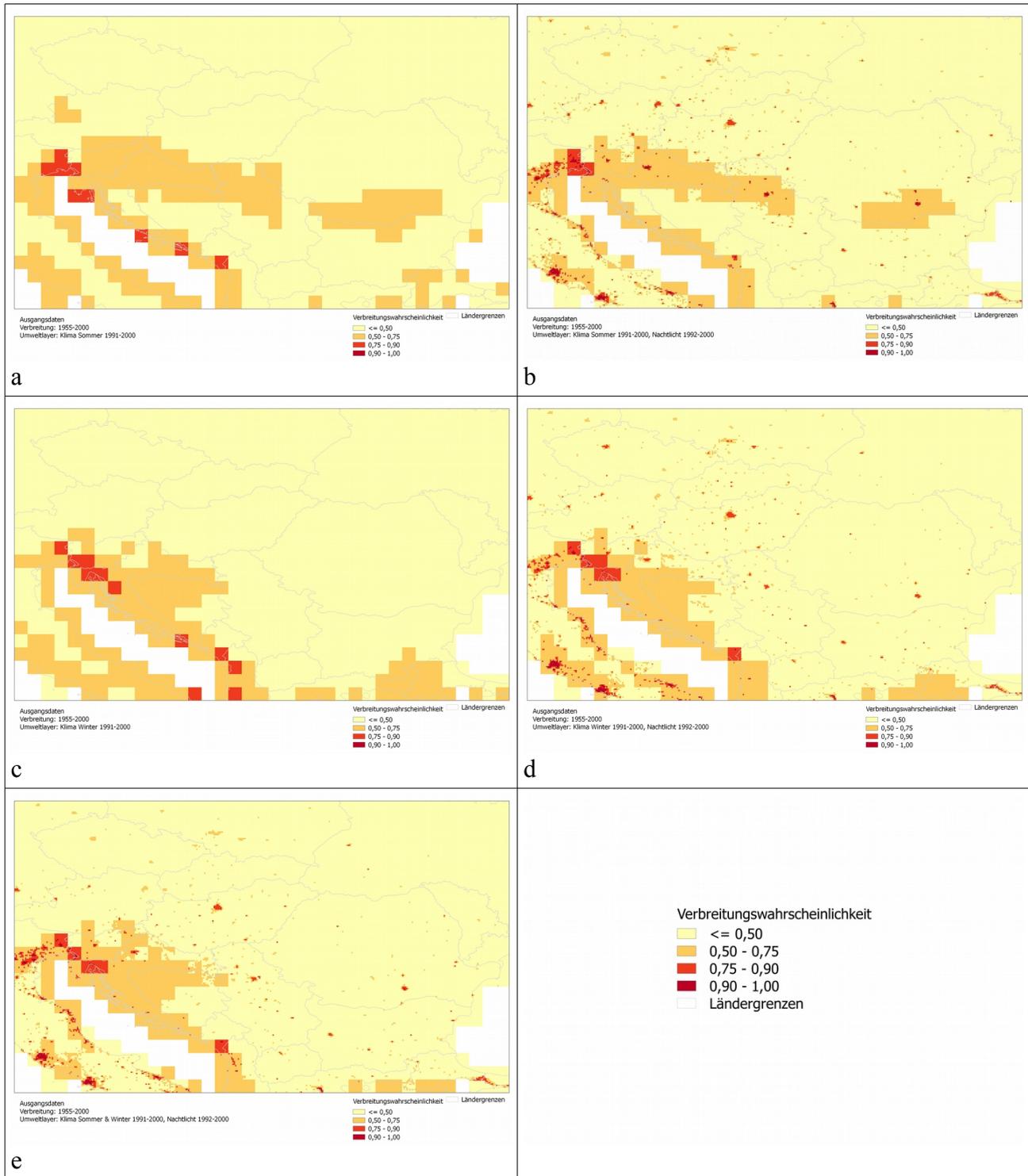


Abbildung 22 Verbreitungsmodelle für die Alpenfledermaus mit **Verbreitungsdaten 1955-2000**, Klimadaten 1991-2000, Nachtlicht 1992-2000: a = Klimadaten Sommer, b = Klimadaten Sommer plus Nachtlicht, c = Klimadaten Winter, d = Klimadaten Winter plus Nachtlicht, e = Klimadaten Sommer & Winter plus Nachtlicht. Verwaltungsgrenzen: © EuroGeographics.

3.5 Verbreitungsdaten 2001 bis 2010

Mit den Verbreitungsdaten von 2001-2010 wurden Modelle erstellt, welche bei den Testdaten AUC-Werte zwischen 0,790 und 0,862 zeigen. Die höchsten, annähernd gleichen AUC-Werte haben die Modelle mit Klimadaten Sommer und Nachtlicht, Klimadaten Winter und Nachtlicht sowie jenes, in dem alle Parameter eingeflossen sind (Tabelle 9 b, d & e). Den niedrigsten Wert weist das Modell auf, welches auf den Klimadaten des Winters basiert (Tabelle 9 c).

Tabelle 9 Übersicht der Ergebnisse (AUC-Werte und Beitrag der Variablen zur Modellierung) für den Datensatz 2001-2010.

Modellgüte					
	Klimadaten Sommer	Klimadaten Sommer Nachtlicht	Klimadaten Winter	Klimadaten Winter Nachtlicht	Klimadaten Sommer & Winter Nachtlicht
	a	b	c	d	e
AUC Training	0,780	0,873	0,784	0,886	0,881
AUC Test	0,802	0,852	0,790	0,860	0,862
Beitrag der Variablen					
	Klimadaten Sommer	Klimadaten Sommer Nachtlicht	Klimadaten Winter	Klimadaten Winter Nachtlicht	Klimadaten Sommer & Winter Nachtlicht
	a	b	c	d	e
TMP Sommer	30,2	4,5	-	-	4,9
TMP Winter	-	-	46,6	15,4	4,5
PRE Sommer	68,8	25,9	-	-	21,2
PRE Winter	-	-	51,5	17,4	4,5
DTR Sommer	0,9	0,9	-	-	0,3
DTR Winter	-	-	1,9	0	0,8
Nachtlicht	-	68,8	-	67,2	63,8

Der Beitrag der Umweltparameter verteilt sich beim ersten Modell zu rund zwei Dritteln auf Niederschlag im Sommer und zu rund einem Drittel auf die mittlere Temperatur im Sommer (Tabelle 9 a). Wird das Nachtlicht miteinbezogen (Tabelle 9 b), verschiebt sich der Anteil auf knapp 70 % des Nachtlichts, der Niederschlag im Sommer liegt bei 26 %. Die Temperaturspannweite trägt zu beiden Modellen nur rund 1 % bei.

Bei den Modellen mit den Klimadaten des Winters betragen die Anteile der Temperatur und des Niederschlages jeweils etwa die Hälfte, die Temperaturspannweite hat mit 2 % einen geringen Anteil (Tabelle 9 c). Mit der Einbeziehung des Nachtlicht-Parameters verschiebt sich der Beitrag hin zu diesem Parameter auf 67 %, der Rest teilt sich zu gleichen Teilen auf Temperatur Winter und Niederschlag Winter auf (Tabelle 9 d).

Bei Einbeziehung aller Parameter in das Modell (Tabelle 9 e) weist das Nachtlicht einen dominanten Beitrag von rund 64 % auf, der Niederschlag im Sommer hat einen Beitrag von 21 %. Alle anderen Parameter bleiben unter 5 % Beitrag.

Das grobe Verbreitungsmuster (Rasterzellen mit Werte über 0,75) unterscheidet sich bei den beiden ausschließlich mit Klimadaten erstellten Modellen vor allem entlang einer Achse, die parallel zur Adriaküste verläuft. Die Modelle mit den Sommerdaten zeigen einen Schwerpunkt im nördlichen Bereich der Achse, während mit den Winterdaten die potenzielle Verbreitung entlang der gesamten Achse relativ gleichmäßig modelliert wird (Abbildung 23).

Bei den anderen Modellen konzentriert sich das Areal um die Regionen, welche hohe Werte für das Nachtlicht aufweisen (siehe Abbildung 23), was durch den hohen Beitrag dieses Parameters zu den Modellen (Tabelle 9) zu erklären ist.

Ergebnisse

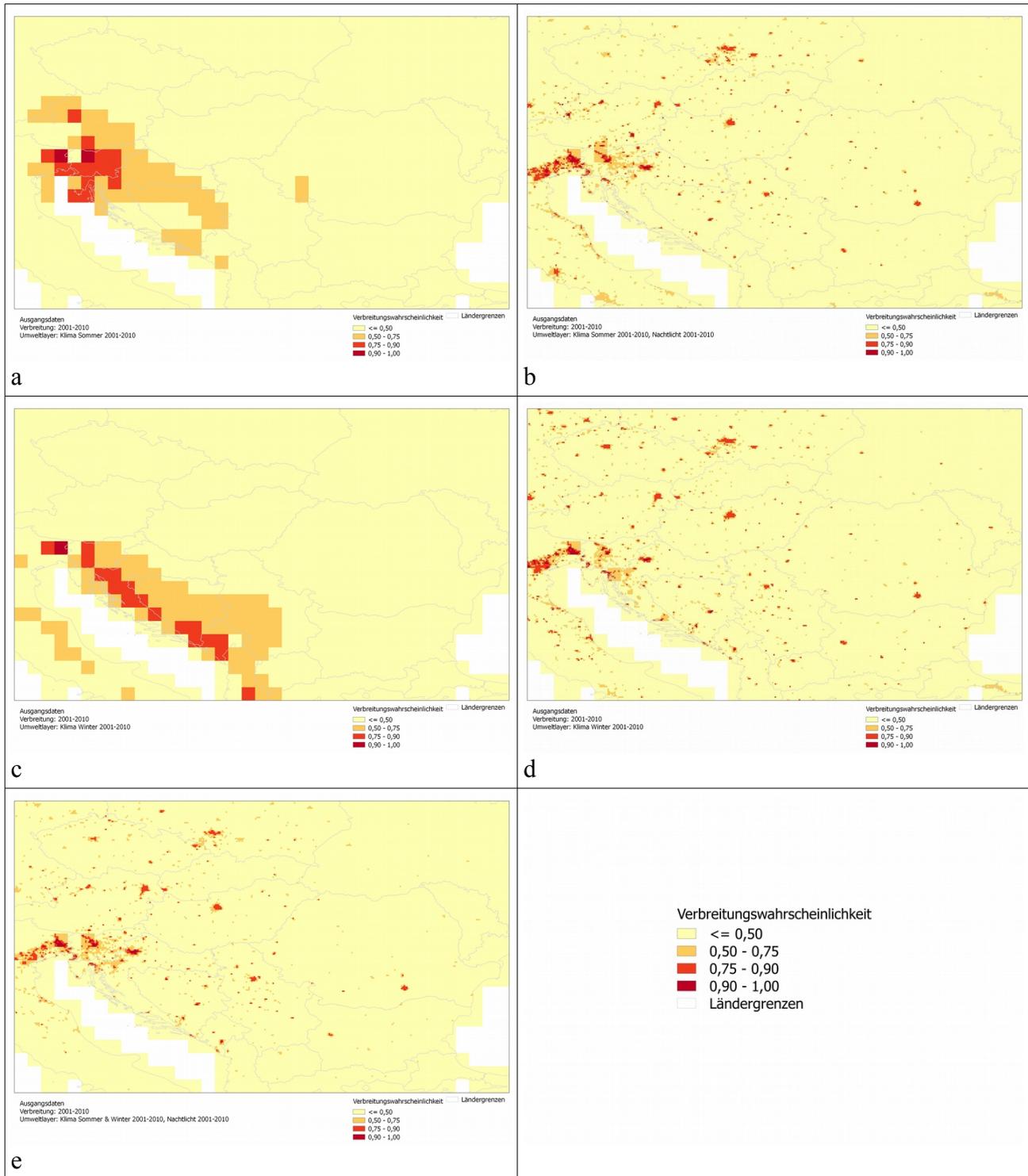


Abbildung 23 Verbreitungsmodelle für die Alpenfledermaus mit **Verbreitungsdaten 2001-2010**, Klimadaten 2001-2010, Nachtlicht 2001-2010: a = Klimadaten Sommer, b = Klimadaten Sommer plus Nachtlicht, c = Klimadaten Winter, d = Klimadaten Winter plus Nachtlicht, e = Klimadaten Sommer & Winter plus Nachtlicht. Verwaltungsgrenzen: © EuroGeographics.

3.6 Verbreitungsdaten 1955 bis 2010

Mit den kumulativen Verbreitungsdaten von 1955-2010 wurden Modelle erstellt, welche bezüglich der Testdaten AUC-Werte zwischen 0,703 und 0,796 aufweisen. Die höchsten, annähernd gleich hohen AUC-Werte haben die Modelle mit Klimadaten Winter und Nachtlicht, sowie jenes in dem alle Parameter eingeflossen sind (Tabelle 10 d & e). Den niedrigsten Wert weisen die Modelle auf, welche auf den Klimadaten des Sommers bzw. Winters basieren (Tabelle 10 a & c).

Tabelle 10 Übersicht der Ergebnisse (AUC-Werte und Beitrag der Variablen zur Modellierung) für den Datensatz 1955-2010.

Modellgüte					
	Klimadaten Sommer	Klimadaten Sommer Nachtlicht	Klimadaten Winter	Klimadaten Winter Nachtlicht	Klimadaten Sommer & Winter Nachtlicht
	a	b	c	d	e
AUC Training	0,737	0,797	0,743	0,821	0,919
AUC Test	0,703	0,768	0,715	0,796	0,786
Beitrag der Variablen					
	Klimadaten Sommer	Klimadaten Sommer Nachtlicht	Klimadaten Winter	Klimadaten Winter Nachtlicht	Klimadaten Sommer & Winter Nachtlicht
	a	b	c	d	e
TMP Sommer	35,3	9,6	-	-	7,0
TMP Winter	-	-	36,0	13,0	3,9
PRE Sommer	64,6	28,6	-	-	12,9
PRE Winter	-	-	64,0	25,7	19,2
DTR Sommer	0,1	0,2	-	-	0
DTR Winter	-	-	0	0,3	0,4
Nachtlicht	-	61,6	-	61,0	56,5

Der Beitrag der Umweltparameter verteilt sich beim ersten Modell zu rund zwei Dritteln auf den Niederschlag im Sommer und zu rund einem Drittel auf die mittlere Temperatur im Sommer (Tabelle 10 a). Bei Einbeziehung des Nachtlichts (Tabelle 10 b) verschiebt sich der Anteil auf rund 61 % Nachtlicht, der Niederschlag im Sommer liegt bei 35 %. Die Temperaturspannweite ist in beiden Modellen vernachlässigbar.

Bei den Modellen mit den Klimadaten des Winters betragen der Anteil der Temperatur rund zwei Drittel und der des Niederschlages rund ein Drittel (Tabelle 10 c). Bezieht man den Nachtlicht-Parameter mit ein, verschiebt sich der Beitrag hin zu diesem Parameter auf 61 %, der Rest teilt sich auf Temperatur Winter (13 %) und Niederschlag Winter (26 %) auf (Tabelle 10 d). Die Temperaturspannweite ist in beiden Modellen vernachlässigbar.

Bei Einbeziehung aller Parameter in das Modell (Tabelle 10 e) weist das Nachtlicht einen dominanten Beitrag von rund 56 % auf, die Parameter Niederschlag Winter (19 %) und Sommer (13 %) weisen noch größere Beiträge auf. Alle anderen Parameter bleiben unter 10 %.

Das grobe Verbreitungsmuster (Rasterzellen mit Werte über 0,75) unterscheidet sich bei den beiden ausschließlich mit Klimadaten erstellten Modellen vor allem entlang einer Achse, die parallel zur Adriaküste verläuft. Die Sommerdaten zeigen einen Schwerpunkt im nördlichen Bereich der Achse während mit den Winterdaten die potenzielle Verbreitung entlang der gesamten Achse relativ gleichmäßig verbreitet ist (Abbildung 24 a & c).

Bei den anderen Modellen konzentriert sich das Areal um die Regionen, welche hohe Werte für das Nachtlicht aufweisen (siehe Abbildung 24 b, d & e), was durch den hohen Beitrag dieses Parameters zu den Modellen (Tabelle 10) zu erklären ist. Eine leichte Konzentration von Gebieten mit höherer Wahrscheinlichkeit eines Vorkommens im Bereich der nördlichen Adria bzw. der südlich der Alpen (Slowenien) erklärt sich vermutlich aus dem Beitrag der Klimadaten des Sommers, die gemeinsam etwa 20 % zum Modell betragen (Tabelle 10 e).

Ergebnisse

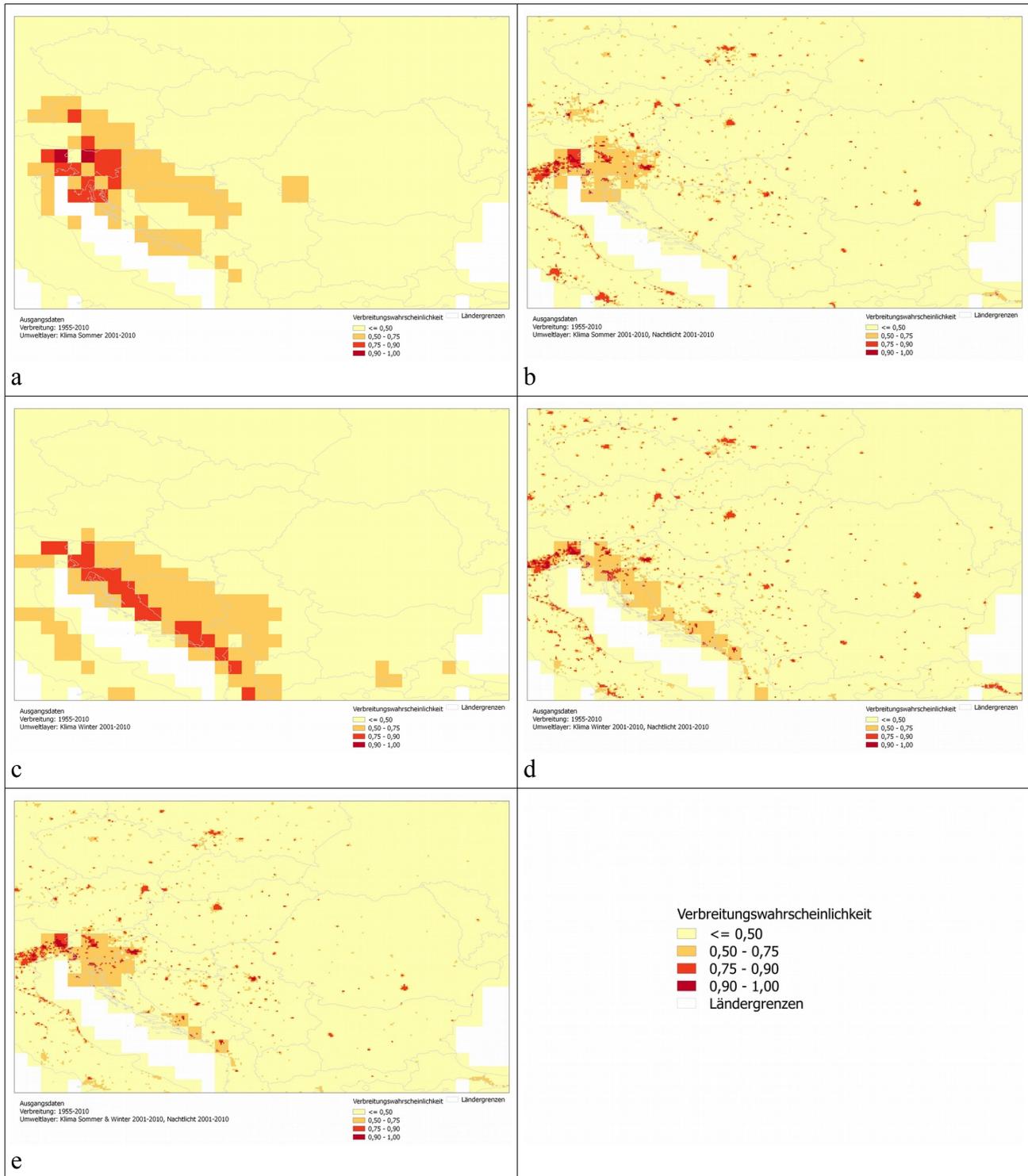


Abbildung 24 Verbreitungsmodelle für die Alpenfledermaus mit **Verbreitungsdaten 1955-2010**, Klimadaten 1991-2000, Nachtlicht 1992-2000: a = Klimadaten Sommer, b = Klimadaten Sommer plus Nachtlicht, c = Klimadaten Winter, d = Klimadaten Winter plus Nachtlicht, e = Klimadaten Sommer & Winter plus Nachtlicht. Verwaltungsgrenzen: © EuroGeographics.

3.7 Verbreitungsdaten 2011 bis 2014

Die Modelle, die auf der Basis der Verbreitungsdaten 1955-2000 basieren, weisen bei den Testdaten AUC-Werte zwischen 0,669 und 0,870 auf. Den höchsten AUC-Wert hat das Modell mit den Klimadaten Winter und Nachtlicht (Tabelle 11 d). Die niedrigsten AUC-Werte weisen die Modelle auf, welche nur auf den Klimadaten (jeweils Sommer und Winter) basieren (Tabelle 11 a & c).

Tabelle 11 Übersicht der Ergebnisse (AUC-Werte und Beitrag der Variablen zur Modellierung) für den Datensatz 2011-2014.

Modellgüte					
	Klimadaten Sommer	Klimadaten Sommer Nachtlicht	Klimadaten Winter	Klimadaten Winter Nachtlicht	Klimadaten Sommer & Winter Nachtlicht
	a	b	c	d	e
AUC Training	0,673	0,874	0,714	0,888	0,756
AUC Test	0,694	0,832	0,669	0,870	0,792
Beitrag der Variablen					
	Klimadaten Sommer	Klimadaten Sommer Nachtlicht	Klimadaten Winter	Klimadaten Winter Nachtlicht	Klimadaten Sommer & Winter Nachtlicht
	a	b	c	d	e
TMP Sommer	5,9	5,4	-	-	0,7
TMP Winter	-	-	45,4	15,0	11,7
PRE Sommer	43,9	23,6	-	-	1,0
PRE Winter	-	-	36,9	20,8	17,3
DTR Sommer	50,2	1,8	-	-	19,4
DTR Winter	-	-	17,8	0,4	2,9
Nachtlicht	-	69,3	-	63,8	47,1

Der Beitrag der Umweltparameter verteilt sich beim ersten Modell zur Hälfte auf die Temperaturspannweite im Sommer, zu 44 % auf den sommerlichen Niederschlag und 6 % auf die Sommertemperatur (Tabelle 11 a). Bei Einbeziehung des Nachtlichts (Tabelle 11 b) verschiebt sich der Anteil auf rund 69 % Nachtlicht, der Niederschlag im Sommer liegt bei 24 % Beitrag. Die Temperaturspannweite und Temperatur haben im zweiten Modell geringe Anteile.

Bei den Modellen mit den Klimadaten des Winters beträgt der Anteil der Temperatur mit 45 % fast die Hälfte. Rund 37 % trägt der Parameter Niederschlag Winter und rund 18 % die Temperaturspannweite im Winter bei (Tabelle 11 c). Mit der Einbeziehung des Nachtlicht-Parameters verschiebt sich der Beitrag in Richtung dieses Parameters auf 64 %, der Rest teilt sich auf Temperatur Winter (15 %) und Niederschlag Winter (21 %) auf. Die Temperaturspannweite ist vernachlässigbar (Tabelle 11 d).

Bei Einbeziehung aller Parameter in das Modell (Tabelle 11 e) weist der das Nachtlicht einen Beitrag von knapp der Hälfte (rund 47 %) auf, die Parameter Niederschlag Sommer (19 %) und Winter (17 %) sowie Temperatur Sommer (12 %) weisen auch noch größere Beiträge auf. Alle anderen Parameter bleiben unter 10 % Beitrag.

Wie bei den vorhergehenden Modellen der Kapitel 3.5 und 3.6 unterscheidet sich das grobe Verbreitungsmuster (Rasterzellen mit Werte über 0,75) bei den beiden ausschließlich mit Klimadaten erstellten Modellen vor allem entlang einer Achse, die parallel zur Adriaküste verläuft. Die Sommerdaten zeigen einen Schwerpunkt im nördlichen Bereich der Achse während mit den Winterdaten die potenzielle Verbreitung entlang der gesamten Achse relativ gleichmäßig verbreitet ist. Dazu kommt noch der Unterschied, dass gegenüber dem Sommer-Modell das Winter-Modell eine große Lücke im Bereich Rumänien aufweist (Abbildung 25 a & c).

Bei den anderen Modellen konzentriert sich das Areal um die Regionen, welche hohe Werte für das Nachtlicht aufweisen (siehe Abbildung 25 b, d & e), was durch den hohen Beitrag dieses Parameters zu den Modellen (Tabelle 11) zu erklären ist.

Ergebnisse

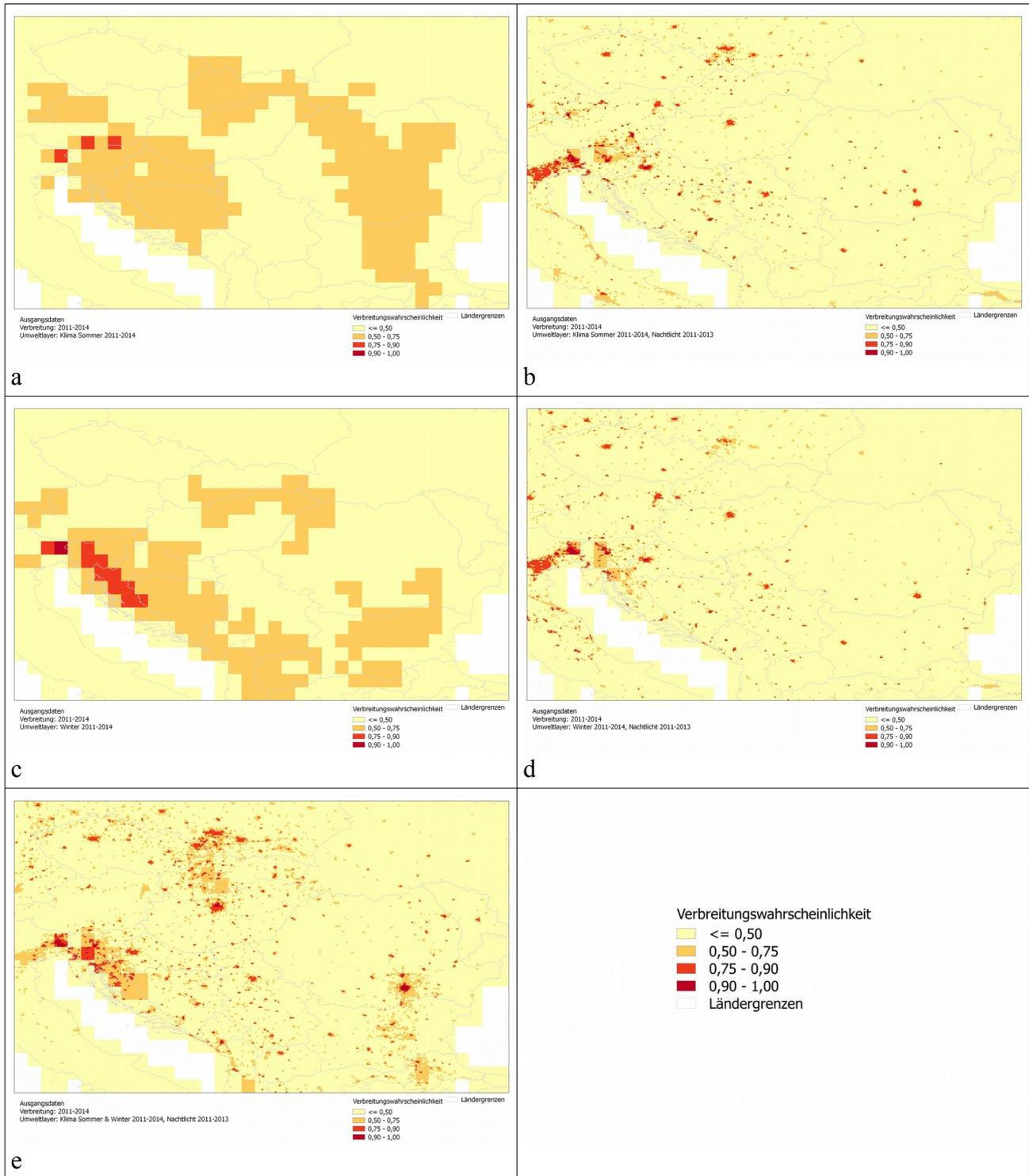


Abbildung 25 Verbreitungsmodelle für die Alpenfledermaus mit **Verbreitungsdaten 2011-2014**, Klimadaten 2011-2014, Nachtlicht 2011-2013: a = Klimadaten Sommer, b = Klimadaten Sommer plus Nachtlicht, c = Klimadaten Winter, d = Klimadaten Winter plus Nachtlicht, e = Klimadaten Sommer & Winter plus Nachtlicht. Verwaltungsgrenzen: © EuroGeographics.

3.8 Verbreitungsdaten 1955 bis 2014

Mit den kumulativen Verbreitungsdaten von 1955-2014 wurden Modelle erstellt, welche bezüglich der Testdaten AUC-Werte zwischen 0,689 und 0,796 aufweisen. Den höchsten AUC-Wert hat das Modell mit Klimadaten Winter und Nachtlicht (Tabelle 11 d). Den niedrigsten Wert weist das Modell auf, welches auf den Klimadaten des Sommers basiert (Tabelle 11 a). Die anderen Modelle weisen eine sehr ähnliche Modellgüte (AUC-Werte 0,745 bis 0,783) auf (Tabelle 11 b, c & d).

Tabelle 12 Übersicht der Ergebnisse (AUC-Werte und Beitrag der Variablen zur Modellierung) für den Datensatz 1955-2014.

Modellgüte					
	Klimadaten Sommer	Klimadaten Sommer Nachtlicht	Klimadaten Winter	Klimadaten Winter Nachtlicht	Klimadaten Sommer & Winter Nachtlicht
	a	b	c	d	e
AUC Training	0,737	0,806	0,747	0,813	0,770
AUC Test	0,689	0,764	0,745	0,806	0,783
Beitrag der Variablen					
	Klimadaten Sommer	Klimadaten Sommer Nachtlicht	Klimadaten Winter	Klimadaten Winter Nachtlicht	Klimadaten Sommer & Winter Nachtlicht
	a	b	c	d	e
TMP Sommer	36,3	11,3	-	-	5,5
TMP Winter	-	-	27,4	11,9	4,3
PRE Sommer	62,8	28,7	-	-	8,3
PRE Winter	-	-	69,8	34,0	20,7
DTR Sommer	0,9	1,6	-	-	6,9
DTR Winter	-	-	2,7	0	1,1
Nachtlicht	-	58,5	-	54,1	53,2

Der Beitrag der Umweltparameter verteilt sich beim ersten Modell zu rund zwei Drittel auf den Niederschlag im Sommer und zu rund einem Drittel auf die Temperatur im Sommer (Tabelle 12 a). Bei Einbeziehung des Nachtlichts (Tabelle 12 b) verschiebt sich der Anteil auf rund 59 % Nachtlicht, der Niederschlag im Sommer liegt bei 29 % Beitrag, die Temperatur Sommer bei 11 %. Die Temperaturspannweite hat in beiden Modellen geringe Anteile.

Beim Modell mit den Klimadaten des Winters dominiert der Beitrag des winterlichen Niederschlages mit 70 %. Die Temperatur Winter trägt rund 27 % und die Temperaturspannweite im Winter rund 3 % zum Modell bei (Tabelle 12 c). Wird der Nachtlicht-Parameter miteinbezogen, verschiebt sich der Beitrag zu diesem Parameter auf 54 %, der Rest teilt sich auf Temperatur Winter (12 %) und Niederschlag Winter (34 %) auf. Die Temperaturspannweite ist vernachlässigbar

(Tabelle 12 d).

Bei Einbeziehung aller Parameter in das Modell (Tabelle 12 e) hat das Nachtlicht mit 53 % den größten Beitrag. Der Parameter Niederschlag Winter hat noch einen nennenswerten Anteil von 21 %, alle anderen Parameter bleiben unter 10 % Beitrag.

Die bereits beobachtete Tendenz, dass sich das grobe Verbreitungsmuster (Rasterzellen mit Werte über 0,75) bei den beiden ausschließlich mit Klimadaten erstellten Modellen vor allem entlang einer Achse unterscheidet, die parallel zur Adriaküste verläuft, setzt sich fort. Die Sommerdaten zeigen einen Schwerpunkt im nördlichen Bereich der Achse während mit den Winterdaten die potenzielle Verbreitung entlang der gesamten Achse relativ gleichmäßig verteilt ist. Dazu kommt noch der Unterschied, dass gegenüber dem Sommer-Modell das Winter-Modell eine große Lücke im Bereich Rumänien hat. (Abbildung 26 a & c).

Bei den anderen Modellen konzentriert sich das Areal um die Regionen, welche hohe Werte für das Nachtlicht aufweisen (siehe Abbildung 26 b, d & e), was durch den hohen Beitrag dieses Parameters zu den Modellen (Tabelle 12) zu erklären ist. In allen drei Modellen ist aber auch zu sehen, dass südlich der Alpen und in den Anrainerländern der nördlichen Adria größer zusammenhängende Flächen mit einer Wahrscheinlichkeit des Vorkommens von 0,5 bis 0,75 auftreten (Abbildung 26 b, d & e).

Ergebnisse

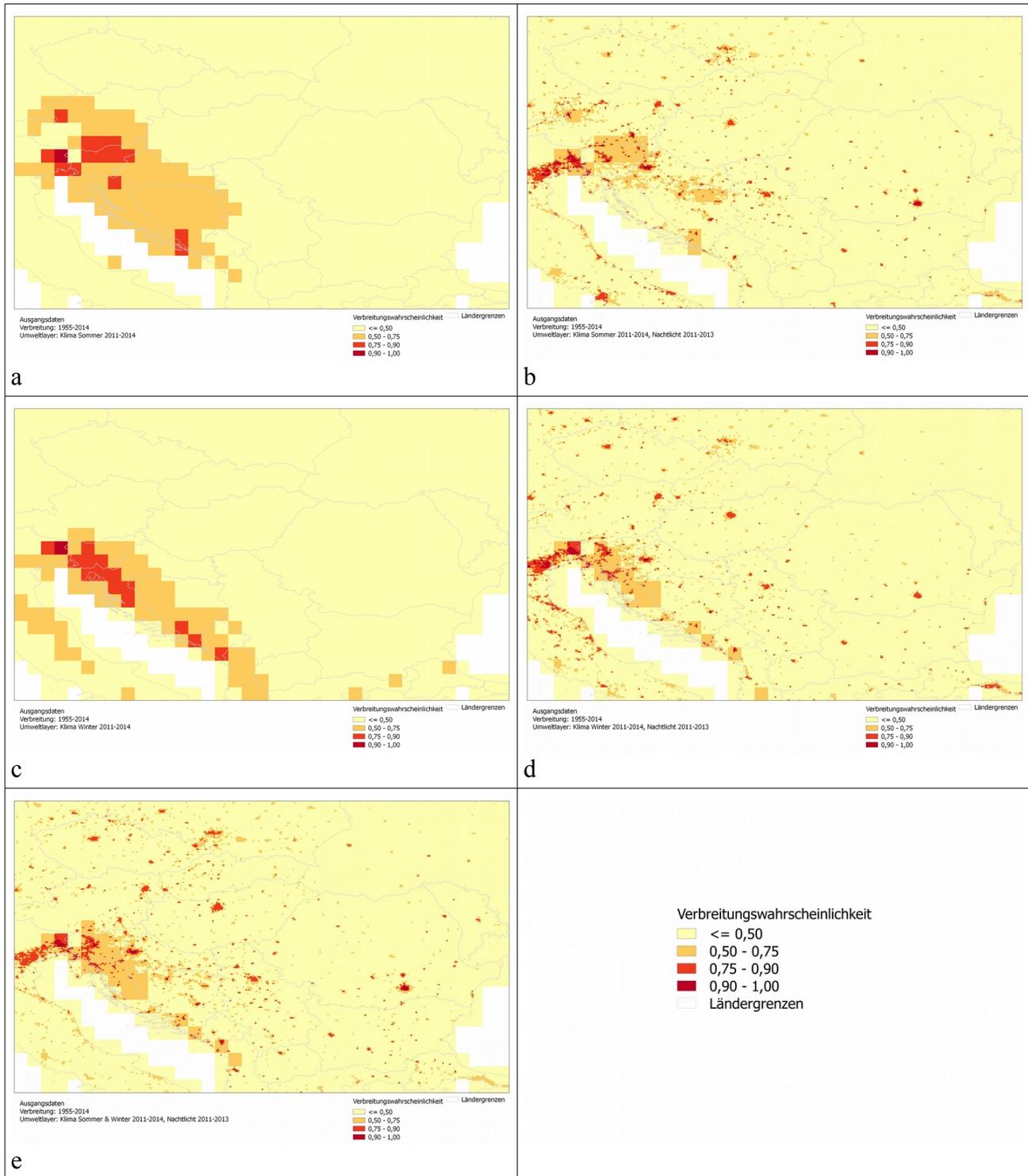


Abbildung 26 Verbreitungsmodelle für die Alpenfledermaus mit **Verbreitungsdaten 1955-2014**, Klimadaten 2011-2014, Nachtlicht 2011-2013: a = Klimadaten Sommer, b = Klimadaten Sommer plus Nachtlicht, c = Klimadaten Winter, d = Klimadaten Winter plus Nachtlicht, e = Klimadaten Sommer & Winter plus Nachtlicht. Verwaltungsgrenzen: © EuroGeographics.

4 Diskussion

4.1 Ergebnisse Modellierung

4.1.1 Modelle mit Klimadaten Sommer

Die Modellierungen, die alleine die Sommer-Klimadaten als Parameter benutzten, hatten für die Testdaten bis auf eine Ausnahme AUC-Werte von rund 0,7 und darunter. Die Ausnahme war das Modell mit den Verbreitungsdaten der Jahre 2001-2010. Den Vorgaben von Fielding & Bell (1997) entsprechend kann die Mehrzahl der Modelle daher nicht als gut bezeichnet werden.

Betrachtet man die jeweiligen Anteile, welche die drei Parameter an den sieben Modellen mit den unterschiedlichen Zeitreihen haben, wird die Frage nach einer sinnvollen biologischen Interpretation der Modelle aufgeworfen (vergleiche jeweils Spalte a in Tabelle 7 bis Tabelle 12). Die einzelnen Parameter können für sich stehend durchaus bedeutende Faktoren für das Vorkommen von Fledermäusen sein. Unwahrscheinlich ist jedoch, dass die einzelnen Parameter in den unterschiedlichen Zeitabschnitten derartig unterschiedliche Einflüsse auf die Verbreitung der Alpenfledermaus haben, wie es der Beitrag der Parameter zur Erstellung des Modells suggeriert.

Die Modellierungen der Verbreitung mit den Sommerdaten zeigen im chronologischen Ablauf keine wesentliche Arealausweitung Richtung Norden und weichen in diesem Sinne auch von den tatsächlichen Nachweisen ab. Diese fehlende Übereinstimmung kann in die Richtung interpretiert werden, dass die zur Modellierung verwendeten Klimadaten des Sommers alleine nicht geeignet sind, die Verbreitung der Alpenfledermaus darzustellen.

4.1.2 Modelle mit Klimadaten Sommer und Nachtlicht

AUC-Werte (der Testdaten) von über 0,7 konnten fast durchwegs bei jenen Modellen erreicht werden, welche Klimadaten des Sommers und Nachtlicht verwenden, sodass hinsichtlich dieser Bewertungsmethode eine akzeptable Güte der Modelle vorliegt.

Dennoch besteht auch hier das Problem der völlig unterschiedlichen Beiträge der einzelnen Parameter zu den Modellen unterschiedlicher Zeitabschnitte, was wie in Kapitel 4.1.1 die Frage nach einer sinnvollen biologischen Interpretation aufwirft. Auffallend ist, dass der Parameter Nachtlicht ab den Zeitperioden nach der Jahrhundertwende immer einen sehr hohen Beitrag von rund 60 % und mehr aufweist. Dafür kann eine zunehmende Synanthropie der Alpenfledermaus als Erklärung dienen, andererseits ist ein Bias innerhalb der Verbreitungsdaten in Richtung vermehrter Nachweise in urbanen Gebiete nicht auszuschließen (vgl. Kapitel 4.2).

Der zum Teil dominante Beitrag des Parameters Nachtlicht schlägt sich naturgemäß deutlich in den Verbreitungsmodellen nieder. Gegenüber dem ersten Zeitabschnitt (1955-1990) ist in allen folgenden Perioden eine deutlich höhere Wahrscheinlichkeit für das Vorkommen der Alpenfledermaus auch in den nördlichen Bereichen des Untersuchungsgebietes zu erkennen, wenngleich dies überwiegend urbane Regionen mit hoher Nachtbeleuchtung betrifft.

4.1.3 Modelle mit Klimadaten Winter

Die Güte der einzig mit Klimadaten des Winters berechneten Modelle kann mit AUC-Werten von durchwegs über 0,7 (mit einer Ausnahme) als akzeptabel bezeichnet werden. Allerdings wird auch hier der Wert von 0,8 von keinem Modell erreicht.

Bei den Beiträgen der Parameter zu den Modellen zeigt sich eine höhere Stabilität vor allem bezüglich Temperatur und Niederschlag, wenngleich die Schwankungsbreite ihrer Beiträge zu den Modellen der verschiedenen Zeitabschnitte noch immer erheblich ist. Eine biologische Erklärung der Beiträge der Parameter kann die notwendigen Bedingungen zum Winterschlaf betreffen (siehe Kapitel 4.1.6). Dennoch bleibt die Variabilität der Beiträge der Parameter zum Modell schwer zu interpretieren.

Die Verbreitungsmodelle bleiben bis auf Nuancen über alle Zeitabschnitte sehr ähnlich und zeigen keine Ausbreitung in die nördlichen Regionen des Untersuchungsgebietes, was angesichts der zugrundeliegenden Nachweise im Norden überraschend ist.

4.1.4 Modelle mit Klimadaten Winter und Nachtlicht

Mit der Kombination der Klimadaten Winter und dem Nachtlicht erreichen die Modelle bei den Testdaten AUC-Werte von knapp unter 0,8 bis knapp unter 0,9. Dies spricht für eine durchwegs hinreichende Modellgüte.

Die Beiträge der Parameter zur Modellierung sind wiederum zwischen den verschiedenen Zeitabschnitten extrem unterschiedlich und damit schwer zu interpretieren. Wie bei den Modellen der Kombination von Klimadaten Sommer und Nachtlicht (Kapitel 4.1.2) wird auch hier der Parameter Nachtlicht ab der Jahrtausendwende dominant (54 bis 67 %).

Diese Dominanz des Nachtlichtes spiegelt sich wie oben auch in den Verbreitungsmodellen wider. Die relativ strikte Verbreitung im adriatischen Raum für die Periode vor 1990 bleibt über alle Zeitabschnitte mehr oder weniger erhalten und die Ausbreitung der potenziellen Vorkommen Richtung Norden beschränkt sich weitgehend auf urbane Gebiete.

4.1.5 Modelle mit Klimadaten Sommer & Winter und Nachtlicht

Die mit allen Parametern berechneten Modelle weisen bei den Testdaten überwiegend AUC-Werte rund um 0,8 auf, deren Güte kann damit als akzeptabel bezeichnet werden.

Die Beiträge der einzelnen Parameter zu den Modellen variieren wie bei fast allen vorangegangenen Parameter-Kombinationen enorm und entziehen sich mit dieser Variabilität weitgehend einer biologischen Erklärung. Erneut kann ab der Jahrtausendwende ein deutlicher Anstieg des Beitrages des Nachtlicht-Parameters beobachtet werden. Ein etwaiger Bias der Daten (Richtung urbaner Nachweise) würde sich in den Modellen, die einen hohen Beitrag des Parameters Urbanisierung haben, niederschlagen.

In den auf allen Parametern basierenden Modellen zeigt sich über die verschiedenen Zeitperioden ein relativ statisches Bild der potenziellen Verbreitung, das in engem Zusammenhang mit dem Vorhandensein städtischer Gebiete (mit entsprechend hohen Werten für Nachtlicht) steht. Einzig in der ersten Zeitperiode weicht das Modell ab und zeigt Schwerpunkte in ländlichen und städtischen Gebieten des südlichen Adria-Raumes.

4.1.6 Resümee Modelle

Die Ausbreitung der Alpenfledermaus kann mit der angewandten Methode und den verwendeten Einstellungen mit den Parametern Klima und Nachtlicht nicht über den ganzen Untersuchungszeitraum zufriedenstellend modelliert werden. Lediglich zwischen dem ersten Zeitabschnitt (1955-1990) und allen späteren Zeitperioden konnten deutliche Unterschiede erkannt werden.

Der Einfluss der Klima-Parameter und der Urbanisierung auf das Vorkommen von Fledermäusen kann für jeden Parameter isoliert betrachtet in einem sinnvollen biologischen Kontext erklärt werden:

Sommertemperaturen und Niederschlag im Sommer beeinflussen den Zeitpunkt der Geburt und die Wachstumsraten von Jungtieren (Sherwin et al. 2013), welche in weiterer Konsequenz entscheidend für das Überleben im ersten Winter sind (Frick et al. 2010). Die Verfügbarkeit von Wasser (als Indikator dafür dient die Niederschlagsmenge) ist ein wichtiger Faktor für erfolgreiche Reproduktion bei Fledermäusen (Adams & Hayes 2008, Adams 2010).

Die Temperaturen im Winter entscheiden über den Energieverbrauch der Individuen (z. B. Boyles et al. 2007 oder Dunbar & Brigham 2010). An wärmeren Tagen im Winter sind Fledermäuse zum Nahrungserwerb auf Jagdflügen unterwegs (Zahn & Kriner 2016). Je mehr warme Tage es im Winter gibt, umso besser lassen sich die Energiereserven für den Winterschlaf verwalten.

Fledermäuse, die nicht in Höhlen, sondern in Geröllhaufen oder anderen exponierteren Quartieren überwintern (Altringham 2011), könnten von höheren Niederschlägen im Winter profitieren, da eine Schneedecke stabilere mikroklimatische Verhältnisse im Winterquartier erzeugt.

Das Nachtlicht ist ein indirektes Maß für Urbanisierung und zeigt somit Regionen an, in welchen etwaige positive Effekte der Urbanisierung auf Fledermäuse (zusammengefasst in Russo & Ancillotto 2015) auftreten können. Das Nachtlicht selbst hat in vielen Aspekten negative Auswirkungen auf Fledermäuse (Stone et al. 2015). Manche Fledermausarten können aber auch von Beleuchtung profitieren, indem sie die vom Licht angezogenen Insekten als Nahrungsquelle erschließen können (z. B. Blake et al. 1994).

Die Beiträge der verschiedenen Parameter variierten zwischen den Zeitabschnitten enorm. Während wie oben beschrieben die einzelnen Parameter für sich gute Erklärungsansätze liefern und bei moderaten Verschiebungen der Beiträge zumindest eine Diskussion über biologische Kausalitäten ermöglichen, können die beobachteten Schwankungen nur schwer interpretiert werden. Die Änderung der Beiträge der Parameter folgt weder einer zeitlichen Tendenz (z. B. linear steigend oder sinkend) noch einem anderen Muster.

Einzig beim Nachtlicht ist zunächst eine Zunahme und dann (ab 2001) ein konstant hoher Beitrag festzustellen. Ancillotto et al. (2016) sehen bei der Ausbreitung der Weißbrandfledermaus überwiegend den Klimawandel als treibenden Faktor, bemerken aber, dass die ersten Funde dieser Art in neuen Regionen immer in urbanen Gebieten gemacht wurden. Sie sehen die Bedeutung der Siedlungsgebiete in einem für ursprüngliche Felsspaltenbewohner attraktiven Angebot an anthropogenen Spaltenquartieren (an Gebäuden). Daraus leiten Ancillotto et al. (2016) ab, dass bei der vom Klimawandel induzierten Ausbreitung zunächst die aufgrund des Quartierangebotes leichter zu besiedelnden Siedlungsgebiete als Trittsteine für weitere Ausbreitung dienen. Analog dazu könnte man die Situation der Alpenfledermaus interpretieren, die auch vermehrt in Städten nachgewiesen wurde (vergleiche Spitzenberger 1997 für Österreich oder Uhrin et al. 2017 für das Untersuchungsgebiet). Demgegenüber steht die nicht unwahrscheinliche Möglichkeit eines Bias in den Verbreitungsdaten, der das Ergebnis der Modellierungen hin zu diesem starken Beitrag des Nachtlichtes verzerrt (siehe Kapitel 4.2).

4.2 Datengrundlagen - Methodik

4.2.1 Verbreitungsdaten

Aus verschiedenen Gründen ist es nicht auszuschließen, dass die Verbreitungsdaten einen Bias aufweisen, der Verzerrungen sowohl im Ausbreitungsweg als auch bei dem festgestellten Schwerpunkt der Daten in urbanen Gebieten (Uhrin et al. 2015) verursacht.

Die technische Entwicklung der Erhebungsmethoden, die zeitliche und räumliche Verteilung der Beobachter, die Verteilung von schwerpunktmäßig untersuchten Gebieten und unterschiedliche Untersuchungsdesigns der verschiedenen Studien können zu einer Verbreitung der Nachweise führen, die nicht mit der tatsächlichen Verbreitung übereinstimmt.

Die Erfassung von Fledermäusen als nachtaktive Tiere, die sich mit Hilfe von Ultraschall orientieren, stellt die Beobachter vor besondere Herausforderungen. Insbesondere die Selektivität verschiedener Erhebungsmethoden (z. B. Walsh & Catto 2004) kann dazu führen, dass Fledermausarten nicht nachgewiesen werden können, obwohl sie prinzipiell in einem Untersuchungsgebiet vorkommen. Als Beispiel sei hier eine Untersuchung aus der Stadt Wien (Hüttmeir et al. 2010) genannt, bei der von der Alpenfledermaus kein einziger Netzfang gelang und nur durch einen Zufallsfund ein Quartier bekannt wurde, aber die bei der Erfassung durch die Aufnahme und Analyse von Ultraschallrufen nahezu flächendeckend im verbauten Stadtgebiet nachgewiesen wurde. Die in den letzten Jahrzehnten ständig verbesserten akustischen Erfassungsmethoden (vgl. Runkel & Gerding 2016) erhöhen naturgemäß die Anzahl der Nachweise von Arten, die zwar akustisch gut, aber mit anderen Methoden nur schwer nachzuweisen sind.

In den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union ist der strenge Schutz der heimischen Fledermäuse durch die Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (Rat der Europäischen Gemeinschaften 1992) gesetzlich geregelt. Aus dieser Richtlinie leiten sich Verpflichtungen zur Überprüfung von Naturverträglichkeit von Projekten und Berichtspflichten zum Erhaltungszustand der Schutzgüter ab. Diese Verpflichtungen führten unter anderem in den vergangenen Jahren zu einem erheblichen Anwachsen der Nachweise von Fledermäusen.

In manchen Regionen ist durch intensivere, aber räumlich beschränkte Untersuchungen eine deutliche Kummulierung der Nachweise erkennbar (siehe etwa Wien und Kärnten in Abbildung 10). Dies wirft das Problem der räumlichen Autokorrelation auf, das in der Bearbeitung keine Berücksichtigung gefunden hat.

Generell kann trotz der zunehmenden Fundpunkte festgehalten werden, dass sich Untersuchungsmethodik und -intensität sowohl zeitlich als auch räumlich stark unterscheiden. Daher kann nicht von einer gleichen Nachweiswahrscheinlichkeit der Alpenfledermaus im gesamten Untersuchungsgebiet ausgegangen werden.

4.2.2 Umweltparameter

Die Beschränkung der Umweltparameter auf das kleine Set von Klimadaten und Nachtlicht kann einen erheblichen Einfluss auf den Erklärungswert der Modelle haben, indem für die Verbreitung der Alpenfledermaus relevante Parameter nicht berücksichtigt wurden.

Denkbar sind etwa Parameter zur Landnutzung und Vegetation, die einen wichtigen Einfluss auf Nahrungsverfügbarkeit haben. Kleine, aber für die Alpenfledermaus bedeutende Landschaftsstrukturen wie Felswände und Steinbrüche (Wieser 2012, Riccabona 2013) können möglicherweise in diesem kontinentalen Maßstab überhaupt nur ungenügend oder gar nicht dargestellt werden.

Ebenso kann die Verfügbarkeit von Wasser zum Trinken (vgl. Adams & Hayes 2008) durch die Niederschlagsparameter nur ungenügend erklärt werden. Hier sind stehende und fließende Gewässer von geringer räumlicher Ausdehnung von großer Bedeutung. Auch hier stehen die Darstellungsmöglichkeiten von relativ kleinen, aber bedeutenden räumlichen Einheiten in einem kontinentalen Maßstab zur Diskussion.

Nicht zuletzt ist anzumerken, dass die Klimadaten nur in relativ grober Auflösung verfügbar waren. Die Berechnung kleinerer Rasterfelder war den technischen Anforderungen zur Verarbeitung in Maxent geschuldet, zog aber naturgemäß keine bessere Auflösung nach sich. Die Rasterfelder der Klimadaten erstrecken sich im zentralen Untersuchungsgebiet über rund 56 km mal 37 km, sodass Besonderheiten von klimatisch kleinräumigen Verhältnissen nicht mehr abgebildet werden können.

Generell liegt die Schwierigkeit bei der Auswahl von Umweltparametern bei der Verfügbarkeit bestimmter Themenfelder und in ihrer räumlichen Auflösung. Im Speziellen kommen beim Programm Maxent noch dazu, in welcher Form bestimmte Parameter entweder als Rasterfelder oder alternativ als Attribute der Nachweispunkte dargestellt werden können (vgl. Phillips 2010).

4.2.3 Methode Modellierung

Die Modellierung mit Maxent hält eine Reihe von Einstellungen bereit, die Möglichkeiten bereitstellen um die Modelle zu verbessern bzw. anzupassen (Phillips & Dudik 2008, Phillips 2010 & Elith et al. 2011, Radosavljevic & Anderson 2014).

Der Bias im Datensatz der Verbreitung kann durch verschiedene Maßnahmen innerhalb der im Programm Maxent vorgesehenen Verfahren oder durch externe Vorbereitung der Daten berücksichtigt und damit der verzerrende Effekt auf die Modelle verringert werden (Anderson & Gonzalez 2011, Syfert et al. 2013).

Merrow et al. (2013) empfehlen die Überprüfung einiger Voreinstellungen und ihre Anpassung

entsprechend der zur Modellierung verfügbaren Datengrundlagen. Die Auswahl des „Background Samples“ (Lebensraumangebot, welches den Bedingungen an Nachweispunkten gegenübergestellt wird), die Einstellungen zur „Regularisation“ (ein Instrument zur Verhinderung von überangepassten Modellen) und auch die Auswahl der „Feature“ Typen (siehe Kapitel 2.3.2) geben Möglichkeiten, die Güte der Verbreitungsmodelle noch entscheidend zu verbessern.

Der Einsatz dieser zusätzlichen Möglichkeiten könnte die Güte der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Modelle verbessern, wenngleich ein Abwägung zwischen zunehmender Komplexität und einer einfachen Interpretation des Modells vorgenommen werden sollte.

5 Quellen

5.1 Literatur

Adams R. A. (2010): Bat reproduction declines when conditions mimic climate change projections for western North America. *Ecology* 91(8): 2437-2445.

Adams R. A. & Hayes M. A. (2008): Water availability and successful lactation by bats as related to climate change in arid regions of western North America. *Journal of Animal Ecology* 77: 115-1121.

Altringham J. D. (2011): *Bats. From Evolution to Conservation*. Oxford University Press, Oxford. 324 S.

Ancillotto L., Tomassini A. & Russo D. (2015): The fancy city life: Kuhl's pipistrelle, *Pipistrellus kuhlii*, benefits from urbanisation. *Wildlife Research* 42: 598-606.

Ancillotto L., Santini L., Ranc N., Maiorano L. & Russo D. (2016): Extraordinary range expansion in a common bat: the potential role of climate change and urbanisation. *The Science of Nature* 103 (3): 1-8.

Anderson R. P. & Gonzalez I. Jr. (2011): Species-specific tuning increases robustness to sampling bias in models of species distributions: An implementation with Maxent. *Ecological Modelling* 222: 2796-2811.

Antrop M. (2004): Landscape change and the urbanization process in Europe. *Landscape and Urban Planning* 67: 9-26.

Bilgin R., Keşişoğlu A. & Rebelo H. (2012): Distribution patterns of bats in the Eastern Mediterranean Region through a climate change perspective. *Acta Chiropterologica* 14 (2): 425-437.

Blake D., Hutson A. M., Racey P. A., Rydell J. & Speakman J. R. (1994): Use of lamplit roads by foraging bats in southern England. *Journal of Zoology* 234: 453-462.

Boyles J. G., Dunbar M. B., Storm J. J., Brack V. Jr. (2007): Energy availability influences microclimate selection of hibernating bats. *Journal of Experimental Biology* 210: 4345-4350.

Bruckner A. (2014): Bat surveillance with stationary automated detectors: what is the role of temporal variability? In: Hutson A. M. & Lina P. H. C. (Hrsg.): XIIIth European Bat Research Symposium, 1. - 5. September 2014, Šibenik, Croatia, Book of Abstracts: 42.

Cooper-Bohannon R., Rebelo H., Jones G., Cotterill F., Monadjem A., Schoeman M. C., Taylor P. & Park K. (2016): Predicting bat distributions and diversity hotspots in southern Africa. *Hystrix, Italian Journal of Mammology* 27 (1).

Davidson-Watts I. & Jones G. (2006): Differences in foraging behaviour in *Pipistrellus pipistrellus* and *Pipistrellus pygmaeus*. *Journal of Zoology* 268: 55-62.

Dietz C., Nill D. & Helversen O. v. (2016): *Handbuch der Fledermäuse. Europa und Nordwestafrika*. 2. Auflage. Franckh-Kosmos Verlag, Stuttgart. 413 S.

Dunbar M. B. & Brigham R. M. (2010): Thermoregulatory variation among populations of bats

along a latitudinal gradient. *Journal of Comparative Physiology B* 180: 885-893.

Elith J., Graham C. H., Anderson R. P., Dudík M., Ferrier S., Guisan A., Hijmans R. J., Huettmann F., Leathwick J. R., Lehmann A., Li J., Lohmann L. G., Loiselle B. A., Manion G., Moritz C., Nakamura M., Nakazawa Y., Overton J. M., Peterson A. T., Phillips S. J., Richardson K., Scachetti-Pereira R., Schapire R. E., Soberón J., Williams S., Wisz M. S. & Zimmermann E. (2006): Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129-151.

Elith J., Phillips S. J., Hastie T., Dudík M., Chee Y. E. & Yates C. J. (2011): A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 17: 43-57.

European Environment Agency (2016): *Climate Change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator based Report*. European Environment Agency, Copenhagen. 419 S.

Fielding A. H., & Bell F. J. (1997): A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation* 24: 38-49.

Fisher C. (1998): Savii's pipistrelle *Pipistrellus savii* in Britain. *Myotis* 36: 77-81.

Flaquer C., Torre I. & Arrizabalaga A. (2007): Comparison of sampling methods for inventory of bat communities. *Journal of Mammology* 88 (2): 526-533.

Frick W. F., Reynolds D. S. & Kunz T. H. (2010): Influence of climate and reproductive timing on demography of little brown bats *Myotis lucifugus*. *Journal of Animal Ecology* 79: 128-136.

Fritsch G. & Bruckner A. (2014): Operator bias in software-aided bat call identification. *Ecology and Evolution* 4 (13): 2703-2713.

Froidevaux J. S. P., Zellweger F., Bollmann K. & Obrist M. (2014): Optimizing passive acoustic sampling of bats in forests. *Ecology and Evolution* 4 (24): 4690-4700.

Guisan A. & Thuiller W. (2005): Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8: 993-1009.

Harris I., Jones P.D., Osborn T.J. & Lister D.H. (2014), Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. *Int. J. Climatol.*, 34: 623–642.

Horáček I. & Benda P. (2011): *Hypsugo savii* (Bonaparte, 1837) – Alpenfledermaus. In: Krapp F. (Hrsg.): *Die Fledermäuse Europas. Ein umfassendes Handbuch zur Biologie, Verbreitung und Bestimmung*. Aula-Verlag, Wiebelsheim: 911-941.

Hutchinson G. E. (1957): Concluding Remarks. *Cold Spring Harbour Symposia on Quantitative Biology* 22: 415-427.

Hutterer R., Ivanova T., Meyer-Cords C. & Rodrigues L. (2005): *Bat Migrations in Europe. A Review of Banding Data and Literature*. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 28. Bundesamt für Naturschutz, Bonn. 162 S.

Hüttmeir U., Bürger K., Wegleitner S. & G. Reiter (2010): *Ergänzende Erhebungen und Einschätzung des Erhaltungszustandes der Fledermäuse in Wien. Endbericht, Umweltschutzabteilung der Stadt Wien*. 110 S.

Jaynes E. T. (1957); *Information Theory and statistical mechanics*. *The Physical Review* 106: 620-630.

Jones G. & Rebelo H. (2013): *Responses of Bats to Climate Change: Learning from the Past and Predicting the Future*. In: Adams A. & Pedersen S. C. (Hrsg.): *Bat Evolution, Ecology and Conservation*. Springer, New York, Heidelberg, Dordrecht & London: 457-478.

- Juste J. & Paunović M. (2016): *Hypsugo savii*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T44856A22072380 (<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T44856A22072380.en>. Aufgerufen am 9.12.2017)
- Kipson M. (2014): The curious case of Savii's pipistrelle, *Hypsugo savii*: new insight on roosting ecology and behaviour from the mediterranean region. In: Hutson A. M. & Lina P. H. C. (Hrsg.): XIIIth European Bat Research Symposium, 1. - 5. September 2014, Šibenik, Croatia, Book of Abstracts: 91.
- Kubista C. E. & Bruckner A. (2017): Within-Site Variability of Field Recordings from Stationary, Passively Working Detectors. *Acta Chiropterologica* 19 (1): 189-197.
- Kunz T. & Parsons S. (Hrsg.), (2009): Ecological and behavioral methods for the study of bats. The Hopkins University Press, Baltimore. 901 S.
- Lomolino M. V. , Riddle M.R., Whittaker R. J. & Brown J. H. (2010): Biogeography. Sinauer, Sunderland. 878 S.
- Lundy M., Montgomery I. & Russ J. (2010): Climate change-linked range expansion of Nathusius' pipistrelle bat, *Pipistrellus nathusii* (Keyserling & Blasius, 1839). *Journal of Biogeography* 37: 2232-2242.
- Maxinova E., Kipson M., Nado L., Hradicka P. & Uhrin M. (2016): Foraging strategy of Kuhl's pipistrelle at the northern edge of the species distribution. *Acta Chiropterologica* 18(1): 215-222.
- Merrow C., Smith M. J. & Silander J. A. Jr. (2013): A practical guide to MaxEnt for Modeling species's distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography* 36: 1058-1069.
- National Geophysical Data Center (undat.): Version 4 DMSP-OLS Nighttime Lights Time Series. Readme.txt – Datei: <https://ngdc.noaa.gov/eog/dmsp/downloadV4composites.html>; aufgerufen am 01.11.2017.
- Pearce J. & Ferrier S. (2000): Evaluating the predictive performance of habitat models developed using logistic regression. *Ecological Modelling* 133: 225-245.
- Peterson A. T., Soberón J., Pearson R. G., Anderson R. P., Martínez-Meyer E., Nakamura M. & Bastos Araújo M. (2011): Ecological Niches and Geographic Distributions. Monographs in Population Biology 49. Princeton University Press, Princeton & Oxford. 314 S.
- Phillips S. (2010): A Brief Tutorial on Maxent. Network of Conservation Educators and Practitioners, Center for Biodiversity and Conservation, American Museum of Natural History: *Lessons in Conservation* 3: 108-135.
- Phillips S. J., Dudík M. & Schapire R. E.. (2004): A maximum entropy approach to species distribution modeling. *Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning*: 655-662.
- Phillips S. J., Anderson R. P. & Schapire R. E. (2006): Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231-259.
- Phillips S. J. & Dudik M. (2008): Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31: 161-175.
- Rabitsch W., Essl F., Kühn I., Nehring S., Zangger A. & Bühler C. (2013): Arealänderungen. In: Essl F. & Rabitsch W. (Hrsg.): Biodiversität und Klimawandel. Auswirkungen und Handlungsoptionen für den Naturschutz in Mitteleuropa. Springer, Berlin & Heidelberg: 59-66.

- Radosavljevic A. & Anderson R. P. (2014): Making better Maxent models of species distributions: complexity, overfitting, and evaluation. *Journal of Biogeography*, 41: 629–643.
- Rat der Europäischen Gemeinschaften (1992): Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Pflanzen und Tiere. *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Reihe L 206*: 7-50.
- Razgour O., Rebelo H., Di Febbraro M. & Russo D. (2016): Painting maps with bats: species distribution modelling in bat research and conservation. *Hystrix, Italian Journal of Mammology* 27 (1): doi 10.4404/hytrix-27.1-11753.
- Rebelo H., Tarroso P. & Jones G. (2010): Predicted impact of climate change on European bats in relation to their biogeographic patterns. *Global Change Biology* 16: 561-576.
- Reichholf J. H. (2007): *Stadtnatur. Eine neue Heimat für Tiere und Pflanzen*. Oekom Verlag, München. 318 S.
- Reiter G., Wegleitner S., Hüttmeir U. & Pollheimer M. (2010): Die Alpenfledermaus, *Hypsugo savii* (Bonaparte, 1837), in Mitteleuropa. *Nyctalus (N.F.)* 15: 158-170.
- Riccabona S. A. (2013): Fledermäuse (Mammalia, Micorchiroptera) an Felswänden und Steinbrüchen im Tiroler Oberinntal. Diplomarbeit Universität Innsbruck. 157 S.
- Runkel V. & Gerding G. (2016): *Akustische Erfassung, Bestimmung und Bewertung von Fledermausaktivität*. Edition Ocotpus, Münster. 168 S.
- Russo D. & Ancillotto L. (2015): Sensitivity of bats to urbanization: A review. *Mammalian Biology* 80 (3): 205-212.
- Sachanowicz K., Wower A. & Bashta A.-T. (2006): Further range extension of *Pipistrellus kuhlii* (Kuhl, 1817) in central and eastern Europe. *Acta Chiropterologica* 8 (2): 543-548.
- Sattler T., Bontadina F., Hirzel A. H. & Arlettaz R. (2007): Ecological niche modelling for two cryptic bat species calls for a reassessment of their conservation status. *Journal of Applied Ecology* 44: 1188-1199.
- Schober W. & Grimmberger E. (1998): *Die Fledermäuse Europas. Kennen, bestimmen, schützen*. Kosmos Verlag, Stuttgart. 265 S.
- Sherwin H. A., Montgomery W. I. & Lundy M. G. (2013): The impact and implications of climate change for bats. *Mammal Review* 43: 171-182.
- Spitzenberger F. (1997): Distribution and range expansion of Savi's bat (*Hypsugo savii*) in Austria. *Zeitschrift für Säugetierkunde* 62: 179-180.
- Stone E. L., Harris S. & Jones G. (2015): Impacts of artificial lights on bats: a review of challenges and solutions. *Mammalian Biology* 80: 213-219.
- Syfert M. M., Smith M. J. & Coomes D. A. (2013): The Effects of Sampling Bias and Model Complexity on the Predictive Performance of MaxEnt Species Distribution Models. *PlosOne* 8 (2): e55158.
- Uhrin M., Hüttmeir U., Kipson M., Estók P., Sachanowicz K., Bücs S., Karapandža B., Paunović M., Presetnik P., Bashta A.-T., Maxinová E., Lehotská B., Lehotský R., Barti L., Csösz I., Szodoray-Paradi F., Dombi I., Görföl T., Boldogh S. A., Jére C., Pocora I., Benda P. (2015): Status of Savi's pipistrelle *Hypsugo savii* (Chiroptera) and range expansion in Central and south-eastern Europe: a review. *Mammal Review* 46: 1-16.

Walsh A. & Catto C. (2004): Survey and monitoring. In: Mitchell-Jones A. J. & McLeish A. P. (Hrsg.): Bat workers' Manual. Joint Nature Conservation Committee, UK: 29-39.

Wieser D. (2012): Die Bedeutung von Felswänden und Steinbrüchen für Fledermäuse. Masterarbeit Universität Graz. 50 S.

Zahn A. & Kriner E. (2016): Winter foraging activity of Central European Vespertilionid bats. *Mammalian Biology* 81 (1): 40-45.

Žibrat U. (2009): Sivijev netopir. *Hypsugo savii* (Bonaparte, 1837). In: Prestnik P., Koselj K. & Zagmajster M. (Hrsg.): Atlas netopirjev (Chiroptera) Slovenije, Atlas of Bats (Chiroptera) of Slovenia. Center za kartografijo favne in flore, Miklavž na Dravskem polju: 88-89.

5.2 Internet-Links

Klimadaten „CRU TS Version 3.23“ :

https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts3.23 (aufgerufen am 18.05.2016)

Maxent 3.4.1:

http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent (aufgerufen am 24.10.2017)

Nachtlicht:

<https://ngdc.noaa.gov/eog/dmsp/downloadV4composites.html> (aufgerufen am 01.11.2017)

Ländergrenzen:

<http://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata/reference-data/administrative-units-statistical-units/countries#countries14> (aufgerufen am 03.11.2017)

Weltweite Verbreitung *Hypsugo savii* - IUCN:

<http://maps.iucnredlist.org/map.html?id=44856> (aufgerufen am 07.12.2017)

5.3 Software

Geografische Informationssysteme: ArcMap 10.4.1 (Esri Inc.)

QGIS 2.18.13 (QGIS Development Team)

Modellierung: Maxent 3.4.1 (Phillips, Dudík, Schapire)

Statistik: R 3.3.2 (The R Foundation for Statistical Computing)

R Studio 1.1.383 (Rstudio, Inc.)

Textverarbeitung & Tabellenkalkulation: LibreOffice 5.3.6 (The Document Foundation)