

**Stephanie Kramer-Schadt, Moritz Wenzler,
Pierre Gras und Felix Knauer**

Habitatmodellierung und Abschätzung der potenziellen Anzahl von Wolfsterritorien in Deutschland



Habitatmodellierung und Abschätzung der potenziellen Anzahl von Wolfsterritorien in Deutschland

Stephanie Kramer-Schadt
Moritz Wenzler
Pierre Gras
Felix Knauer



Titelbild: Zwei Jährlinge und fünf Welpen des Rudels mit Zentrum auf dem Truppenübungsplatz Munster im Juli 2013 (S. Koerner/lupovision.de)

Adressen der Autorin und der Autoren:

Stephanie Kramer-Schadt Leibniz Institut für Zoo- und Wildtierforschung (IZW),
Department Ökologische Dynamiken, Berlin
Technische Universität Berlin, Institut für Ökologie, Berlin

Moritz Wenzler Leibniz Institut für Zoo- und Wildtierforschung (IZW),
Department Ökologische Dynamiken, Berlin
Humboldt Universität Berlin, Abteilung für Biogeographie, Berlin

Pierre Gras Leibniz Institut für Zoo- und Wildtierforschung (IZW),
Department Ökologische Dynamiken, Berlin

Felix Knauer Forschungsinstitut für Wildtierkunde und Ökologie, Abteilung
Conservation Medicine, Vetmeduni Vienna, Wien, Österreich

Fachbetreuung DBBW:

Gesa Kluth LUPUS Institut für Wolfsmonitoring und -forschung in Deutschland
Ilka Reinhardt Dorfau 9, 02979 Spreetal OT Spreewitz

Projektleitung Dokumentation- und Beratungsstelle Wolf (DBBW):

Herrmann Ansorge Senckenberg Museum für Naturkunde Görlitz
Am Museum 1, 02826 Görlitz

Fachbetreuung BfN:

Sandra Balzer Fachgebiet II 1.1 „Zoologischer Artenschutz“
Katharina Steyer

Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (FKZ 3515 82 4100) „Dokumentations- und Beratungsstelle Wolf“ im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz, gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU).

Diese Veröffentlichung wird aufgenommen in die Literaturdatenbank „DNL-online“ (www.dnl-online.de).

Das BfN-Skript kann unter <http://www.bfn.de/skripten.html> heruntergeladen werden.

Institutioneller Herausgeber: Bundesamt für Naturschutz
Konstantinstr. 110
53179 Bonn
URL: www.bfn.de

Der institutionelle Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des institutionellen Herausgebers übereinstimmen.



Diese Schriftenreihe wird unter den Bedingungen der Creative Commons Lizenz Namensnennung – keine Bearbeitung 4.0 International (CC BY - ND 4.0) zur Verfügung gestellt (<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/deed.de>).

ISBN 978-3-89624-294-5

DOI 10.19217/skr556

Bonn - Bad Godesberg 2020

Inhaltsverzeichnis

Einführung und Zusammenfassung der Studie	4
1 Einleitung	7
1.1 Anlass und Ziel der Studie	7
1.2 Stand des Wissens	8
1.3 Fragestellung	9
2 Material und Methoden	10
2.1 Umweltdaten	10
2.2 Wolfsdaten	11
2.3 Statistische Modellierung	15
2.4 Abschätzung der Anzahl an Wolfsterritorien	16
3 Ergebnisse	17
4 Diskussion	25
5 Danksagung	28
6 Anhang	29

Einführung und Zusammenfassung der Studie „Habitatmodellierung und Abschätzung der potenziellen Anzahl von Wolfsterritorien in Deutschland“

Innerhalb Europas sind in den letzten drei Jahrzehnten Wölfe in Gebiete zurückgekehrt, wo sie ehemals vorkamen und einst ausgerottet wurden, und damit auch nach Deutschland. Im Jahr 2000 konnte nach mehr als 150 Jahren der erste Nachwuchs von Wölfen in Deutschland nachgewiesen werden. Seitdem nimmt der Wolfsbestand stetig zu. Für das Monitoringjahr 2018/2019 wurden in den Bundesländern 105 Rudel, 29 Paare und 11 territoriale Einzeltiere nachgewiesen (Stand 02.04.2020, DBBW). Aktuell erstrecken sich die Territorien in einem Band von Ostsachsen nordwestlich bis an die Nordsee. Vereinzelt wurden außerdem Wolfsterritorien in Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz, Nordrhein-Westfalen, Schleswig-Holstein und Thüringen nachgewiesen.

Beiderseits der deutsch-polnischen Grenze befindet sich das größte zusammenhängende Vorkommensgebiet der sog. mitteleuropäischen Flachlandpopulation. Ausgehend von dieser Population wandern Wolfsindividuen u.a. nach Belgien, Luxemburg, in die Niederlande sowie nach Dänemark und Tschechien ab.

Seit 1992 ist der Wolf nach europäischem Recht streng geschützt und sowohl eine prioritäre Art als auch eine Art von gemeinschaftlichem Interesse (Anhänge II und IV der Fauna-Flora-Habitat Richtlinie). Gemäß Bundesnaturschutzgesetz wird der Wolf in Deutschland als streng geschützte Art geführt. In Folge des strengen Schutzstatus auf europäischer und nationaler Ebene konnten sich die ersten Wolfsterritorien in Westpolen und in der Lausitz um die Jahrtausendwende etablieren. Aufgrund hoher Siedlungsdichte und intensiver Landnutzung wurde die ehemals kleinteilige Kulturlandschaft in großen Teilen Deutschlands von einer strukturärmeren Kulturlandschaft abgelöst. Dennoch können Wölfe sich im Zuge der Wiederbesiedlung diesen Gegebenheiten anpassen.

Auch für die Menschen in Deutschland stellt die Wiederbesiedlung durch den Wolf eine neue Situation dar. Beispielsweise nehmen mit der Bestandszunahme und Ausbreitung die wolfsverursachten Schäden an Weidetieren zu. Die meisten Übergriffe von Wölfen auf Weidetiere gibt es vor allem dort, wo Wölfe sich in neuen Territorien etablieren und die Schaf- und Ziegenhalter sich noch nicht auf deren Anwesenheit eingestellt haben. Daher haben alle Flächenbundesländer Managementpläne bzw. Leitlinien zum Wolf erlassen. Hierbei sind Maßnahmen, die Konflikte im Vorfeld minimieren oder potentielle Schäden begrenzen, ein wichtiger Bestandteil. Die Bundesländer unterstützen die Weidetierhaltenden durch die z.T. vollständige Finanzierung von Herdenschutzmaßnahmen wie etwa elektrische Zäune oder Herdenschutzhunde. Auch das Monitoring von Wölfen, Hinweise zum Umgang mit auffälligen Wölfen sowie Zuständigkeiten und Handlungsschemata sind wichtige Bestandteile der Managementpläne der Bundesländer.

Das Bundesamt für Naturschutz (BfN) und das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) haben von Anfang an die Rückkehr des Wolfes nach Deutschland durch verschiedene Forschungsvorhaben begleitet. So wurden wissenschaftliche Studien u.a. zur Abwanderung und Ausbreitung von Wölfen in Deutschland beauftragt, Fachkonzepte zum Monitoring und Management erarbeitet und gemeinsame Standards von Bund und Ländern entwickelt. Auch wurden Tagungen durchgeführt und eine grenzübergreifende Zusammenarbeit begonnen. Durch die Einrichtung der Dokumentations- und Beratungsstelle des Bundes zum Thema Wolf (DBBW) Anfang 2016 wurde dem Bedarf der Länder an bundesweit aufgearbeiteten, aktuellen Informationen zum Wolf sowie der Beratung in allen Belangen des Wolfsmanagements angesichts der Wiederbesiedlung entsprochen.

Mit der zunehmenden Ausbreitung sowie positiven Entwicklung der deutschen Wolfsvorkommen besteht seitens der Länder aber auch die Notwendigkeit, die Managementmaßnahmen regelmäßig und vorausschauend an die zu erwartende Situation anzupassen. Zu diesen Maßnahmen zählen etwa das Monitoring sowie insbesondere die Förderung und Umsetzung des Herdenschutzes in der Fläche. Um abzuschätzen, welche Gebiete in Deutschland für Wölfe geeigneten Lebensraum (Habitat) darstellen, baten die Länder auf der 89. Umweltministerkonferenz im November 2017 in Potsdam den Bund um eine derartige Analyse. Basierend auf den errechneten Habitateignungskarten sollte zudem die mögliche Anzahl von Wolfsterritorien in Deutschland abgeschätzt werden. Das BfN hat die DBBW mit der Durchführung dieser Studie beauftragt.

Diese Analyse liegt mit der **Studie „Habitatmodellierung und Abschätzung der potenziellen Anzahl von Wolfsterritorien in Deutschland“** in diesem Band der BfN-Skripten vor (BfN-Skript 556). Sie untersucht die derzeit von Wölfen in Deutschland besiedelten Habitate und deren Eigenschaften, um daraus abzuleiten, welche Gebiete in Deutschland potenziell für Wölfe geeignet sind.

Die Umweltbedingungen, unter denen Wölfe in früheren Zeiten gelebt haben, weichen stark von denen der modernen Kulturlandschaften ab: Einst war der Wolf das am weitesten verbreitete Säugetier der Erde; bis auf wenige Ausnahmen wie etwa Eiswüsten oder einige Inseln besiedelten Wölfe die gesamte nördliche Hemisphäre. Durch ihr hohes Anpassungspotential an unterschiedliche Lebensräume werden Wölfe als sogenannte Habitatgeneralisten bezeichnet. Wölfe sind territoriale Tiere und leben in einem Rudel, welches meist aus beiden Elterntieren und deren Nachkommen der letzten zwei bis drei Jahre besteht. Im Alter von 11 bis 24 Monaten verlassen die meisten Wölfe ihr Elternterritorium. Wichtig u.a. für die Jungenaufzucht sind in jedem Territorium Rückzugsräume vor Menschen, speziell in der Kulturlandschaft. Wölfe verteidigen ihr Revier gegen andere Wölfe, sodass sich vergleichsweise wenige Wölfe auf großer Fläche verteilen. Die Größe der Territorien hängt vor allem von der verfügbaren Nahrung ab. Ein Wolfsterritorium muss mindestens so groß sein, dass die Elterntiere jedes Jahr genug erbeuten können, um den Nachwuchs großzuziehen. In Mitteleuropa liegen die in Studien ermittelten Reviergrößen oft zwischen 100-350 km², in Deutschland bei ca. 200 km² (s. Kap. 1.1 Anlass und Ziel der Studie).

Zum allerersten Mal wurde für die vorliegende Habitatmodellierung auf originär in Deutschland erhobene Daten zurückgegriffen und nicht alleinig auf Expertenmodelle oder Extrapolationen statistischer Analysen anderer Länder (Kap. 1.2, Stand des Wissens). Als Datengrundlage wurden alle bekannten Wolfsterritorien seit dem Jahr 2000 sowie die Telemetriedaten von allen bislang in Deutschland besiedelten Wolfsindividuen verwendet (s. Kap. 5, Danksagung). Speziell Telemetriedaten liefern die notwendigen Informationen zur Habitatnutzung, welche eine Grundvoraussetzung für die Entwicklung geeigneter Habitatmodelle und somit für robuste Aussagen zum verfügbaren Wolfshabitat in Deutschland darstellt.

Durch die Ermittlung der Habitatpräferenz, also welche Habitate Wölfe bevorzugen, kann die potenzielle Eignung von bisher noch nicht von Wölfen besiedelten Gebieten mittels statistischer Verfahren errechnet werden. Hierfür wurden von den Autorinnen und Autoren der Habitatmodellierung zwei verschiedene statistische Modelle herangezogen, die dem aktuellen Stand der Forschung entsprechen und Standardverfahren darstellen (Kap. 2.3, Statistische Modellierung). Zwei Modelle wurden genutzt, um durch den Vergleich der Analyseergebnisse der beiden Modelle auf die Robustheit der Aussagen schließen zu können. Die Ergebnisse der relativen Habitateignung waren bei beiden Modellen sehr ähnlich und zeigen, dass vor allem die Umweltvariablen Landnutzung, Einwohnerdichte sowie die Entfernung zu Siedlungen und Straßen Einfluss auf die Habitateignung haben. So sind etwa Großstädte wie z.B. Berlin und Hamburg, Ballungsräume wie z.B. Halle/ Leipzig und ein

Großteil von Nordrhein-Westfalen entsprechend ihrer Habitateignung für die Etablierung von Wolfsterritorien schlecht geeignet. Gebiete mit einer sehr guten Eignung liegen u.a. in den bayerischen Alpen, entlang der tschechischen Grenze, in den Mittelgebirgen sowie verstreut in Nordostdeutschland (s. Kap. 3, Ergebnisse).

Basierend auf der relativen Habitateignung wurde in der vorliegenden Studie zusätzlich die Anzahl der potentiellen Wolfsterritorien in Deutschland geschätzt. Als Grundannahme wurde eine Territoriumgröße von 200 km² zugrunde gelegt, da dies der aktuellen durchschnittlichen Territoriengröße in Deutschland entspricht. Sind die Territorien kleiner oder größer, kann die Anzahl der abgeschätzten Territorien dementsprechend variieren. Für die Abschätzung der möglichen Anzahl an Wolfsterritorien wurden die Ergebnisse der beiden angewandten statistischen Modelle sowie zusätzlich zwei verschiedene statistische Schwellenwerte herangezogen, um eine ausreichende Fehlerbreite in der Vorhersage der potentiellen Territorien abbilden zu können (s. Kap. 2.4, Abschätzung der Anzahl an Wolfsterritorien). Bei der Abschätzung der Anzahl der Territorien ist zu beachten, dass diese gewissen Varianzen unterliegen. So zeigen die Ergebnisse je nach Schwellenwert und Modell ein geschätztes Potential für ca. 700-1400 Wolfsterritorien. Hierbei kann es sich um Einzeltiere, Paare oder auch Rudel handeln (s. Kap. 3, Ergebnisse).

Bei der Angabe der Territorien handelt es sich jedoch keinesfalls um eine Zielgröße für eine deutschlandweite Bestandsentwicklung und deren Management. Vielmehr sollen die Ergebnisse das mögliche Potential der verfügbaren Wolfshabitate darstellen und so die Bundesländer bei der Planung und Anpassung ihres Wolfsmanagements unterstützen.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass je nach Modell und Schwellenwert große Teile Deutschlands geeignete Lebensräume für mögliche Wolfsterritorien aufweisen (s. Kap. 3, Ergebnisse und Abb. 11). Damit besteht in vielen Gebieten in Deutschland die Möglichkeit, dass im Zuge der Ausbreitung weitere Territorien gegründet werden. Aufgrund der Territorialität von Wölfen wird dabei langfristig in bestimmten Gebieten die Anzahl der Territorien und somit auch die Anzahl von Wölfen stagnieren bzw. um einen bestimmten Wert fluktuieren. Die Ergebnisse der Studie zeigen zudem, dass in Deutschland grundsätzlich in allen Landschaften mit durchziehenden oder in Teilen mit territorialen Wölfen gerechnet werden muss. Da den Ergebnissen eine Vielzahl von Berechnungen und Annahmen zugrunde liegen, kann mittels der Habitatmodellierung nicht jedes einzelne zukünftige Territorium exakt vorhergesagt werden. Die Berechnungen zeigen jedoch eine hohe Kongruenz von modellierten und tatsächlich besiedelten Wolfsterritorien. Dennoch kann eine Ansiedlung von Wölfen in weniger oder nicht geeigneten Gebieten nicht kategorisch ausgeschlossen werden. Die Ergebnisse der Studie besitzen daher auch keine Vorhersagekraft, sondern zeigen vielmehr das derzeit mögliche Potential für die Etablierung von Wolfsterritorien in geeignetem Lebensraum auf (s. Kap. 4, Diskussion). Dagegen stellen die Daten des bundesweiten jährlichen Monitorings (www.dbb-wolf.de) das tatsächliche Vorkommen von Rudeln, Paaren und territorialen Einzeltieren für das jeweilige Monitoringjahr dar, welche nach einheitlichen Standards in den Bundesländern erhoben werden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie liefern den für das Wolfsmanagement zuständigen Behörden und Institutionen die notwendigen Informationen, um eine vorausschauende Anpassung ihrer Maßnahmen zu ermöglichen. Insbesondere der Förderung und Umsetzung von Herdenschutzmaßnahmen zur Sicherung der Weidetiere vor Wolfsübergriffen kommt eine maßgebende Rolle zu. Daher wird die frühzeitige Umsetzung effektiver Herdenschutzmaßnahmen durch Weidetierhaltende auch für die Gebiete empfohlen, in denen bislang noch keine Wolfsterritorien vorhanden sind, um Nutztierübergriffe zu vermeiden.

Katharina Steyer und Sandra Balzer

1 Einleitung

Mit der zunehmenden Ausbreitung des Wolfs (*Canis lupus*) in Deutschland benötigen die zuständigen Behörden wissenschaftliche Grundlagen und genauere Abschätzungen der zukünftig zu erwartenden Situation, um ihr Maßnahmenpaket für das Management möglichst genau im Voraus entwickeln zu können. Habitatauswahlkarten und die darauf aufbauende Abschätzung der potenziellen Anzahl und der räumlichen Verbreitung von Wolfsterritorien sind hier wichtige Grundlagen.

Inzwischen liegen dank verschiedener Projekte (Tab. 7) gute Daten zur individuellen Raumnutzung (Telemetriedaten) in Deutschland und die Daten zur räumlichen Verortung aller Wolfsterritorien auf der Grundlage eines bundesweiten Monitorings vor. Dies sind beides Datensätze ohne systematische Fehler, da die Lokalisationen bei den Telemetriedaten unabhängig vom Habitattyp erhoben werden und die Verortung der Wolfsterritorien keine Stichprobe, sondern die komplette Grundgesamtheit darstellt. Damit ist es möglich, mit in Deutschland gewonnenen Daten Vorhersagen für Deutschland zu entwickeln. Daher ist es nicht mehr nötig, in anderen Ländern entwickelte Modelle (Tab. 1) auf Deutschland zu extrapolieren, wie es in anderen Studien bereits erfolgt ist. Zusätzlich stehen weitere Daten, wie die räumliche Lage von Totfunden, zur Verfügung, die allerdings u.U. ein verzerrtes Bild der Präsenz von Wölfen darstellen.

Habitatmodellierungen für bestimmte Tierarten können grundsätzlich auf zwei verschiedene Wege erfolgen: Liegen genügend Kenntnisse über eine Art im Allgemeinen, aber keine Daten für ein bestimmtes Gebiet vor, kommen nur sog. Expertenmodelle in Frage. Liegen jedoch genügend geeignete Daten für ein bestimmtes Gebiet vor, lassen sich statistische Modelle benutzen. Dabei werden Habitatpräferenzen statistisch geschätzt und daraus die Habitatauswahl berechnet. In dieser Studie können Habitatauswahl und Habitatpräferenz mit folgenden Informationen ermittelt werden: Die Telemetriedaten zum Wolf in Verbindung mit Habitat- und Landnutzungsdaten ergeben die Habitatnutzung für dieses Gebiet, d.h. den vom telemetrierten Individuum genutzten Bereich. Um aus der in einem Gebiet beobachteten Habitatnutzung auf die Eignung anderer Gebiete zu schließen, muss die sog. Habitatpräferenz oder -selektion ermittelt werden. Dabei geht es um das Verhältnis von vorhandenem zu genutztem Habitat. Unter der Annahme, dass die Präferenzen für bestimmte Habitattypen über einen weiten Bereich von Landschaften konstant und unabhängig sind, lässt sich damit die potenzielle Eignung vorhersagen. Die Habitatauswahl leitet sich direkt aus den Präferenzen ab. Umso stärker ein Habitattyp präferiert wird, desto höher ist seine Eignung.

1.1 Anlass und Ziel der Studie

Wesentliche Ziele der hiermit vorgelegten Habitatmodellierung sind eine flächenbezogene Abschätzung der Habitatauswahl und darauf aufbauend eine Abschätzung der möglichen Anzahl und räumlichen Verteilung von Wolfsterritorien in Deutschland. Die kartenmäßige Darstellung soll im 10x10 km² Raster erfolgen, als Territoriengröße soll eine durchschnittliche Größe von 200 km² angenommen werden. Dies ist die durchschnittliche Territoriengröße, die von Territorien in Deutschland bekannt ist¹.

¹ BMUB 2015: Bericht des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit zur Lebensweise, zum Status und zum Management des Wolfes (*Canis lupus*) in Deutschland. Deutscher Bundestag Ausschuss für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: 79 S. Ausschussdrucksache 18(16)313 zum Fachgespräch am 4.11.15. Abrufbar unter <https://www.bundestag.de/>

1.2 Stand des Wissens

Der Wolf ist insgesamt eine viel beforschte Art und entsprechend umfangreich ist das Wissen über Verhalten, Nahrung, Reproduktion, Ausbreitung o.ä. Aus Gebieten, die mit Deutschland ungefähr vergleichbar sind, liegen einige Studien zu Habitatpräferenzen vor. Die in Tab. 1 aufgeführten Studien sind empirische Studien, in denen Daten zu Wölfen in den jeweiligen Regionen gesammelt und ausgewertet wurden. Studien aus rein alpinen Gebieten sind in dieser Zusammenstellung nicht berücksichtigt.

Tab. 1: Übersicht über verschiedene Habitateignungsmodelle für Wölfe in Europa (Stand 12/2019).

Land	Variable im Endmodell	Einfluss	Zitat
Polen	Waldanteil	+	Jedrzejewski et al. 2004. Diversity Distrib. 10: 225-233
	Waldfragmentation	-	
	Autobahndichte	-	
Polen	Waldanteil	++	Jedrzejewski et al. 2008. Anim. Cons. 11: 377-390
	Wiesenanteil	+	
	Anteil Feuchtgebiete	+	
	Straßendichte	-	
Italien (Apennin)	Waldanteil	+	Massolo und Meriggi. 1998. Ecology 71: 97-107
	Wilddichte und -diversität	+	
	menschlicher Einfluss	-	
Italien (Apennin), extrapoliert ins Wallis (Schweiz)	Wilddiversität	+	Glenz et al. 2001. Lands. Urban Plan. 55: 55-65
	Anteil Siedlungsflächen*	-	
	Einwohnerdichte	-	
	Ackerland*	-	

* Im Vergleich zum Wald

Gemein ist allen Modellen ein negativer Effekt des menschlichen Einflusses, und in drei der vier Modelle besteht ein positiver Zusammenhang vom Waldanteil im Gebiet und der Nutzung durch Wölfe (s. Tab. 1). Diese Modelle lassen sich auf Deutschland übertragen und würden wahrscheinlich in sehr ähnlichen Habitateignungskarten resultieren. Das Modell von Jedrzejewski et al. (2008) wurde bereits 2010 auf Deutschland übertragen (Knauer, s. Kap. 6 im Bericht des BMUB 2015¹). Darüber hinaus gibt es weitere Habitateignungsmodelle für Deutschland, die anderen Ansätzen folgen und nicht datenbasiert sind: ein Expertenmodell (Hertweck, 2006²), Übertragungen aus anders strukturierten Gebieten (Eggermann, 2009³) und regelbasierte Modelle (Fechter und Storch, 2014⁴). Die Ergebnisse dieser Modelle unterscheiden sich sehr deutlich voneinander und von den in Tab. 1 aufgeführten datenbasierten Modellen.

² Hertweck (2006) in Reinhardt, I., Kluth, G. (2007): Leben mit Wölfen. Leitfaden für den Umgang mit einer konfliktträchtigen Tierart in Deutschland. BfN-Skript 201. Bundesamt für Naturschutz Bonn.

³ Eggermann, J. (2009): Der Einfluss der Habitatfragmentierung durch anthropogene Strukturen auf den Wolf (*Canis lupus*). Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Biologie und Biotechnologie – Dissertation: 115 S.

⁴ Fechter, D., Storch, I. (2014): How many wolves (*Canis lupus*) fit into Germany? The role of assumptions in predictive rule-based habitat models for habitat generalists. PLoS one 9 (7): e101798.

1.3 Fragestellung

In dieser Studie wird der Frage nachgegangen, wo sich für Wölfe geeigneter Lebensraum in Deutschland befindet und wie viele Territorien nach heutigem Wissensstand dort vorhanden sein könnten. Die Frage nach den geeigneten Gebieten schließt auch die Charakterisierung dieses Lebensraums sowie seine Fragmentierung ein. Die potenzielle Anzahl und räumliche Verteilung von Wolfsterritorien lässt sich nicht mit einer Karte und einer einfachen Zahl beantworten. Es wird auch Gebiete geben, in denen die Eignung grenzwertig und die Vorhersage entsprechend unsicher ist. Diese Gebiete werden möglicherweise nur von Zeit zu Zeit besiedelt sein. Auch können Modelle nicht jeden Einzelfall abbilden. Umgekehrt bedeutet dies, dass nicht vorhergesagte Einzelfälle nicht die Gültigkeit des Modells in Frage stellen.

2 Material und Methoden

Zur Erreichung der Ziele werden verfügbare Daten zur Raumnutzung der Wölfe (Telemetriedaten) mit topographischen Daten und Daten zur Landnutzung verschnitten, und mit Hilfe von statistischen Verfahren wird die relative Habitatpräferenz ermittelt. Die dafür wichtigen Telemetriedaten wurden von den Bundesländern zu Verfügung gestellt, und es konnten Daten von allen bis dato in Deutschland durchgeführten Telemetrieprojekten (Abb. 1 und 2) genutzt werden. Mit Hilfe der bundesweiten Informationen über besetzte Territorien (Abb. 3; DBBW 2018; www.dbb-wolf.de) wurde die untere Grenze der Habitateignung bestimmt, d.h. ob eine Rasterzelle für ein potenzielles Territorium geeignet ist oder nicht (binäre Klassifizierung; Details siehe Kapitel 2.4 „Abschätzung der Anzahl an Wolfsterritorien“).

2.1 Umweltdaten

Die Umweltdaten wurden im Rasterformat genutzt. Jede Raster- oder Gridzelle war 100x100 m groß, was der höchsten Auflösung der vorhandenen Datensätze entspricht. Auf Grundlage der bekannten Habitatpräferenzen von Wölfen in Europa sowie basierend auf den Ergebnissen der Studien in Tabelle 1 wurden folgende Umweltvariablen verwendet:

Tab. 2: Verwendete Umweltvariablen.

-
- Einwohnerdichte (Einwohner/km²)¹
 - Human FootPrint ²– ein Index für die anthropogenen Störungen in der Landschaft, errechnet aus bebauter Fläche, Einwohnerdichte, Stromverteilungsnetzen, Acker- und Weideland, Straßen, Bahnlinien und Wasserstraßen
 - Landnutzung: CORINE land cover – europäische Daten zur Landnutzung³
 - Distanz zu Siedlungsgebieten (in m)⁴
 - Distanz zu Straßen (in m)⁵
-

Die Auflösung beträgt jeweils 100m, beim Human FootPrint 1000m (hier wurde der Wert herunter gerechnet, d.h. der gleiche Wert für jede der 100m Grid-Zellen innerhalb des 1000m-Rasters genommen).

¹ <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/population-density-disaggregated-with-CORINE-land-cover-2000-2#tab-metadata> – abgerufen am 30.08.2018

² <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.67> – abgerufen am 05.09.2018

³ <https://land.copernicus.eu/pan-european/CORINE-land-cover/clc-2012?tab=download> abgerufen am 03.09.2018

⁴ <https://land.copernicus.eu/pan-european/GHSL/european-settlement-map/esm-2012-release-2017-urban-green?tab=metadata> – abgerufen am 08.10.2018

⁵ Basis-DLM des Bundesamt für Kartografie, http://www.geodatenzentrum.de/geodaten/gdz_rahmen.gdz_div?gdz_spr=deu&gdz_user_id=0, errechnet am IZW – abgerufen am 30.08.2018

Die europäischen Daten zur Landnutzung (CORINE land cover) liegen in 46 verschiedenen Klassen vor und wurden zu sieben Klassen zusammengefasst (Tab. 3), so dass sie möglichst einheitliche Bedingungen aus Sicht der Wölfe abbilden. Die Umweltvariablen wurden vor der statistischen Modellierung auf Multikollinearität getestet. Dieser Fall liegt nicht vor (Pearson's $|r| < 0.7$ in allen paarweisen Korrelationen).

Tab. 3 Klassifizierung der 46 Habitattypen (siehe Anhang A1) im CORINE land cover-Datensatz zu sieben Haupttypen.

Beschreibung	Klasse	Anmerkung
Siedlungen	1	
Ackerland	2	
Weingärten und Obstplantagen	2	Wurde aufgrund zu geringen Vorkommens zur Klasse 2 hinzugefügt
Wald	4	
Weiden	5	
Grünland mit Deckung ¹	6	
Vegetationsfreie Gebiete	7	
Wasser	8	

¹ z.B. Moore, Heiden und Sukzessionsflächen

In einer Tabelle wurde jedem Ortungspunkt der Telemetriedaten ein Wert zu Einwohnerdichte, Human FootPrint, Landnutzung, Distanz zu Siedlungsgebieten und Distanz zu Straßen zugeordnet. Gleiches geschieht dann später mit den Zufallspunkten (s. Kap. 2.3 Statistische Modellierung). Damit ist mithilfe komplexer statistischer Verfahren ein statischer Vergleich zwischen den Zufallspunkten, die das Habitatangebot beschreiben, und den Ortungspunkten, die die tatsächliche Nutzung beschreiben, möglich. Ein solches Modell ist statisch, weil es keine Auskunft über die tatsächliche Besiedelung der Lebensräume sowie die Populationsdynamik treffen kann.

2.2 Wolfsdaten

Es liegen für Deutschland Telemetriedaten von 22 Wölfen vor. Die Besendungen wurden bislang nur in Nord- und Ostdeutschland durchgeführt. Diese standen alle für die Analyse zur Verfügung, wobei ein Individuum verhaltensauffällig war (MT6) und die Daten eines weiteren Wolfes fast ausschließlich aus der Phase der Abwanderung stammten. Die Daten dieser beiden Tiere wurden ausgeschlossen, so dass Daten von 20 Wölfen für die Modellierung verwendet wurden. Einige Tiere waren in einem Teil der Zeit, in der sie besendert waren, ebenfalls abgewandert. Von diesen Tieren wurden nur Daten verwendet, die im Bereich des elterlichen Territoriums oder in den von diesen Tieren neu etablierten Territorien lagen. Die Daten der Wanderungen wurden nicht für die Analyse verwendet, da diese keine Aussagen zur Habitatpräferenz innerhalb von Territorien zulassen. Die Wölfe wurden in Sachsen, Sachsen-Anhalt, Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen besendert (Abb. 2) und lieferten zwischen gut zwei Monaten und fast zwei Jahren Ortungsdaten (Abb. 1). Die Daten wurden wie oben beschrieben bereinigt, und danach standen zwischen 117 und 2620 Lokalisationen pro telemetriertem Individuum zur Verfügung. Der Median der Territoriengröße, ermittelt mit dem MCP95 (minimum convex polygon; s.u.) der einzelnen territorialen Tiere, die stellvertretend für ein Rudel stehen, beträgt knapp 400 km².

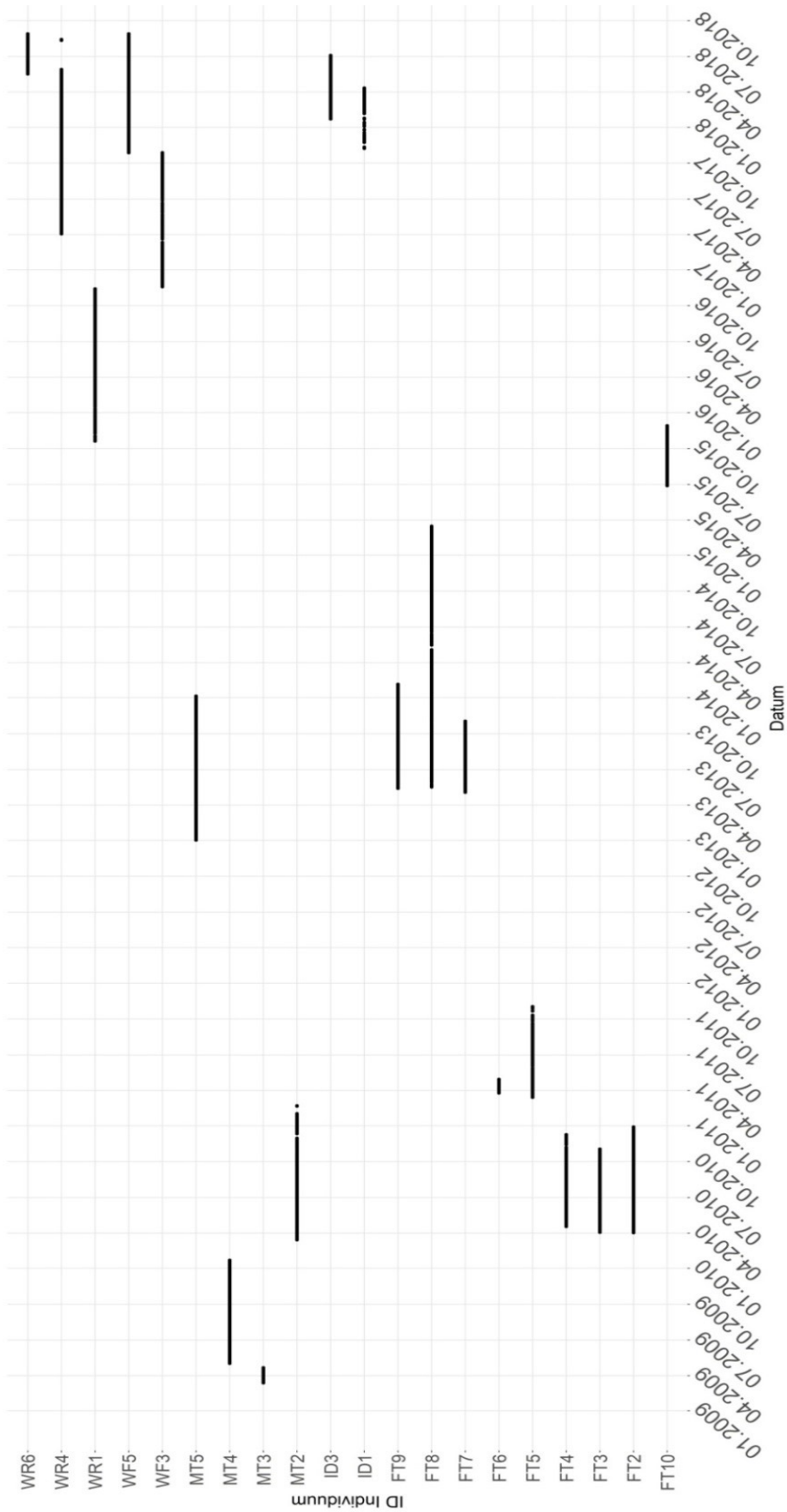


Abb. 1: Die Zeitdauer, für die Telemetriedaten pro Individuum vorliegen, schwankt etwa zwischen 2 Monaten und 2 Jahren.

Das MCP95 ist das kleinstmögliche Polygon mit 95% aller Ortungspunkte. Dieses Polygon spiegelt zwar nicht genau das wirkliche Streifgebiet wider, stellt aber die Fläche dar, in der fast alle (genau 95%) der Ortungen des Einzeltiers liegen. Einzelne Datenpunkt-Ausreißer, entstanden z. B. durch Exkursionen der Tiere in ein angrenzendes Gebiet, werden dadurch ausgeschlossen. Zudem ist der hier ermittelte Wert nicht gleichzusetzen mit der Territoriumsgröße, da hier auch Daten von Jungwölfen eingingen, deren Streifgebiet deutlich über das eigentliche Territorium ihrer Eltern hinausgehen kann.

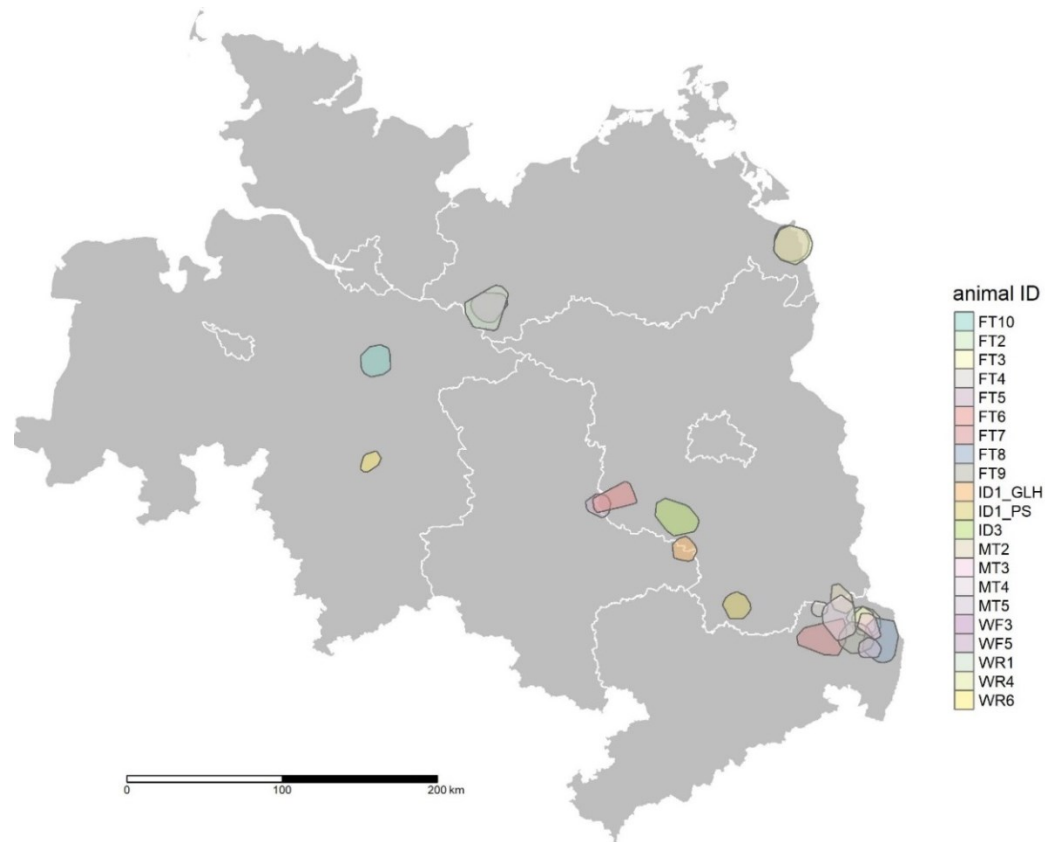


Abb. 2: Räumliche Verteilung der MCP95s (minimum convex polygon) von bei der Modellierung einbezogenen telemetrierten Wölfen. Bisher sind nur in Nord- und Ostdeutschland Wölfe besendert worden. ID1 führte einen Territoriumswechsel durch und ist daher zweimal vertreten.

Darüber hinaus stehen die über die Zeit von der Dokumentations- und Beratungsstelle des Bundes zum Thema Wolf (DBBW; alle Angaben unter www.dbb-wolf.de abrufbar) ermittelten Wolfsterritorien zur Verfügung – dies sind über das Monitoring ermittelte grobe Mittelpunkte von Territorien, um die ein Kreis mit Radius von 8 km gezogen wird (Abb. 3). Daher wurden im Folgenden DBBW-Territorien von MCP95-Territorien unterschieden. Beide Territorientypen werden für die statistische Modellierung herangezogen. Die DBBW-Territorien lagen für diese Studie in zwei verschiedenen Zeiträumen aus dem Monitoringjahr 2018/19 vor, da im Laufe der Modellierarbeiten neue Territorien gemeldet wurden bzw. zum früheren Zeitpunkt das laufende Monitoringjahr noch nicht abgeschlossen war. Die Daten für den ersten Zeitraum werden im Folgenden mit 2018 a (Stand DBBW 15.10.2018: 106 Territorien; genutzt zur Modellierung, s.u. und Abb. 3) und 2018 b bezeichnet (Stand DBBW 30.01.2020: entspricht den zusätzlichen Erkenntnissen zum Monitoringjahr 2018/19 mit Stand 30.01.2020 mit 38 zusätzliche Territorien, also insgesamt 144 Territorien; genutzt zur retrospektiven Berechnung, wie viele Territorien vom finalen Modell korrekt vorhergesagt wurden; s. Abb. 11).

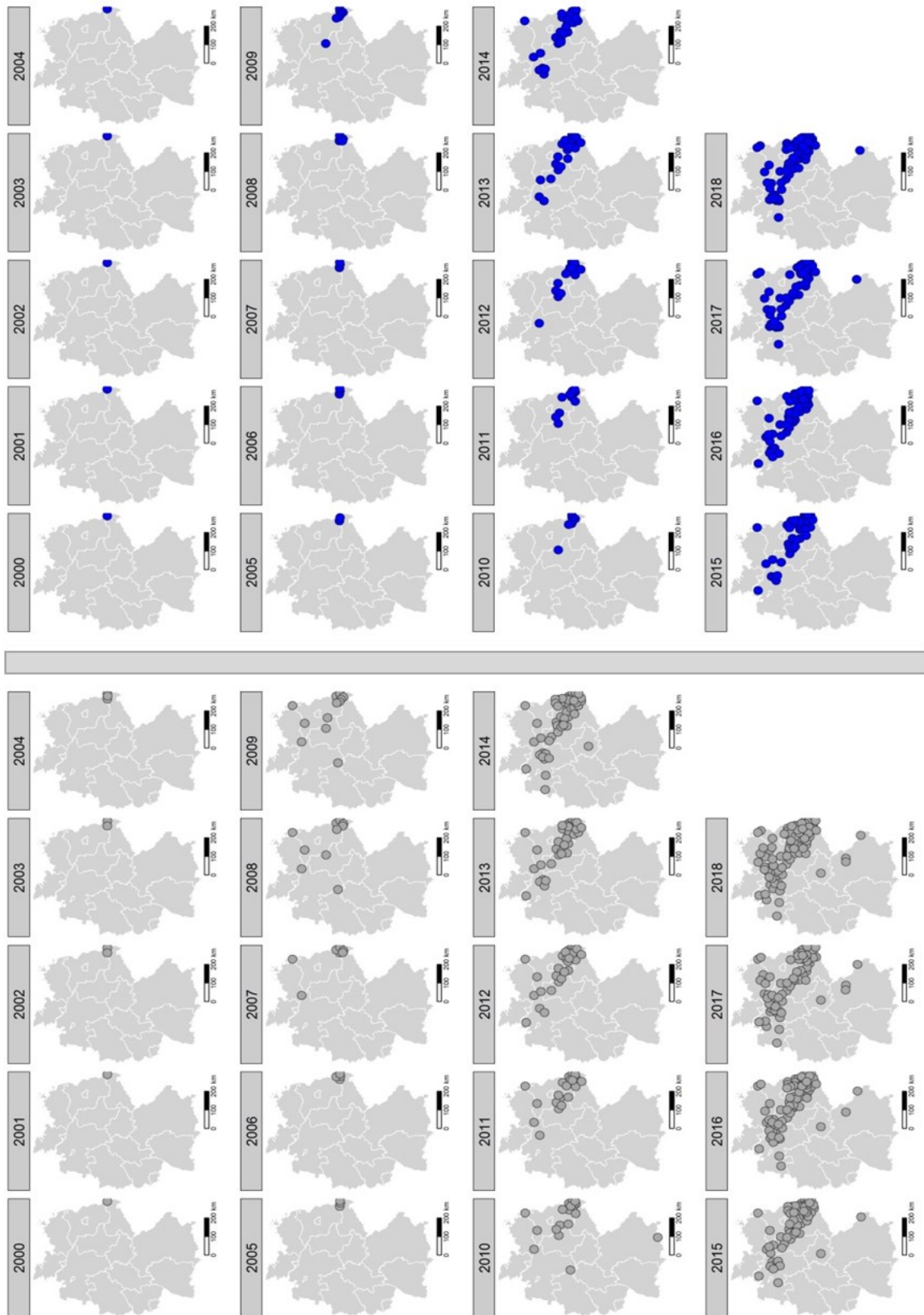


Abb. 3: Alle Wolfsterritorien (grau) und Wolfsterritorien mit Reproduktion (blau) von 2000 bis 2018 in Deutschland nach DBBW (Stand 2018 a).

2.3 Statistische Modellierung

Es wurden zwei grundsätzlich unterschiedliche statistische Ansätze gewählt. Der Grund dafür ist, dass beide Verfahren Vor- und Nachteile haben, und in einem Vergleich der Ergebnisse beider Ansätze sich die Robustheit der Ergebnisse erkennen lässt. Weichen die Ergebnisse beider Verfahren deutlich voneinander ab, so sind sie mit großer Unsicherheit behaftet. Sind die Ergebnisse jedoch weitgehend identisch, kann man viel Vertrauen in sie haben. Dies ist in der angewandten Forschung besonders wichtig, da die Ergebnisse direkte Konsequenzen für das Management haben können. Beide Verfahren beruhen aber auf der multivariaten Kontrastierung der Umweltvariablen von Telemetrie- gegen Zufallspunkte.

Das erste Verfahren ist MaxEnt (maximum entropy⁵) und ist eine Klassifikationsmethode auf Basis des maschinellen Lernens. Hier werden die Habitattypen, in denen die Telemetriepunkte liegen, mit Habitattypen verglichen, in denen räumlich gleichverteilte Zufallspunkte liegen, die den ‚Hintergrund‘, also die Landnutzungsbedeckung in ganz Deutschland beschreiben. Um eine Verzerrung (‚bias‘) der Schätzung zu vermeiden, wurden hier mit einer 100 Mal höheren Wahrscheinlichkeit Zufallspunkte aus den DBBW-Territorien gezogen (Stand 2018 a), und zwar mit einem Radius von 10 km um den Territoriumsmittelpunkt, um noch einen Puffer um das Territorium herum zu haben (normalerweise beträgt der Radius 8 km zur Abgrenzung eines Territoriums). Konzentrieren sich die Telemetriepunkte auf wenige Habitattypen, ergeben sich sehr klare Aussagen. Sind die Telemetriepunkte fast gleichmäßig über die Habitattypen verteilt, ist die Aussagekraft des Modells beschränkt, da kaum eine Trennung zwischen Telemetriepunkt und Zufallspunkt gezogen werden kann. Ein mögliches Bewertungskriterium für die Aussagekraft des Modells ist der AUC-Wert (area under the curve). Dieser sollte deutlich größer als 0,5 und möglichst nahe an 1 sein. Das Modell wird zunächst mit 80% der Telemetriedaten gerechnet, während die verbleibenden 20% als Testdaten verwendet werden. Es wurden verschiedene Variablenkombinationen verwendet und die AUC-Werte verglichen.

Das zweite Modell ist ein Regressionsmodell der Gruppe der generalisierten linearen gemischten Modelle (GLMM) mit einer binomialen abhängigen Variable. Das Verfahren ist auch als „logistische Regression“ bekannt. Die Individuen werden hier als zufällige Effekte modelliert. Dies dient nur der Kontrolle der korrelierten Datenstruktur. Regressionsmodelle sind insgesamt flexibler als Ansätze wie MaxEnt und erlauben auch das Einbeziehen von Interaktionen zwischen Variablen und von Variablen mit nicht-linearen oder nicht-parametrischen Effekten oder von zirkulären Daten.

Auch beim GLMM-Modell werden die Telemetriepunkte mit Zufallspunkten verglichen. Diese stammen bei dieser Methode aus dem tatsächlichen Aufenthaltsraum der Tiere, der sich aus dem MCP *aller* Telemetrieortungen (MCP100) zuzüglich eines 1 km-Puffers ergibt und somit Angebot mit Nutzung vergleicht. Die Modelle errechnen für jede Rasterzelle (100x100 m) eine Habitateignung für den Wolf, die aus Darstellungsgründen für 10x10 km-Rasterzellen gemittelt werden. Beim GLMM erfolgt die Selektion über den AIC-Wert (**A**kaike **I**nformation **C**riterion). Dieser Schätzer wägt die Modelgüte gegen die Anzahl der verwendeten Variablen ab. Je kleiner der AIC-Wert, desto besser ist das Modell. Das Modell mit allen Variablen war hier das Modell, das die Daten am besten erklärt (Ergebnisse, s.u.).

⁵ Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E. (2006): Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231–259.

2.4 Abschätzung der Anzahl an Wolfsterritorien

Um nach der statistischen Modellierung, die eine Eignungskarte mit Werten zwischen 0 und 100% potentieller relativer Eignung liefert, einen Schätzwert für die mögliche Anzahl an Wolfsterritorien in Deutschland zu erhalten, wird nach einem Schwellenwert der Habitateignung gesucht, oberhalb dessen der Großteil der gegenwärtigen DBBW-Territorien (Abb. 3) erklärbar ist. Dazu wird der Mittelwert mit Standardabweichung und Konfidenzintervall der errechneten Habitateignung der Rasterzellen der 2018a DBBW-Territorien (Stand 15.10.2018) ermittelt (s. Abb. 3). Alle 10x10 km-Zellen oberhalb des Schwellenwertes (z. B. Mittelwert minus eine Standardabweichung) werden dann als geeignet (1) und Zellen unterhalb des Schwellenwertes als ungeeignet (0) markiert (binäre Klassifizierung). In ungeeigneten Zellen können sich durchaus gelegentlich Wolfsterritorien etablieren. Jedoch sollte dies die Ausnahme bleiben.

Als Alternative dazu wurde die untere Grenze des 95%-Konfidenzintervalls als Schwellenwert benutzt. Bei dem zweiten Ansatz wird die geeignete Habitatfläche um einiges größer, da mehr Zellen als geeignet eingestuft werden. Da ein mögliches Wolfsterritorium in dieser Modellrechnung mindestens 200 km² umfassen muss, müssen zwei geeignete 100 km²-Zellen nebeneinander liegen. Die Anzahl möglicher Territorien ergibt sich dann aus der Hälfte der Anzahl geeigneter 10x10 km-Rasterzellen. Durch diese Halbierung kann es geschehen, dass Gegenden mit Territorien entstehen, die aus aneinander liegenden geeigneten Zellen mit ungerader Anzahl bestehen, was zu einer Verringerung der tatsächlichen Anzahl an Territorien führen könnte. Allerdings trat der Fall sehr selten auf (s. Abb. 9 und 10) und würde ggf. die möglichen Territorienzahlen reduzieren.

Aus den Karten der besten MaxEnt- und GLMM-Modelle wurden zwei Konsensuskarten erstellt. Dazu wurde für jede Rasterzelle bestimmt, ob sie bei keinem, einem oder beiden Modellen vorhergesagt wurde. Dies wurde sowohl für das Modell mit dem Mittelwert minus Standardabweichung als unterem Schwellenwert als auch für das Modell mit der unteren Grenze des 95%-Konfidenzintervalls als Schwellenwert durchgeführt.

3 Ergebnisse

In beiden statistischen Ansätzen wurden die jeweils besten Modelle selektiert. Bei MaxEnt erfolgt dies über den AUC-Wert, da hier keine AIC-Werte verfügbar sind. Je mehr Variablen sich im Modell befinden, desto besser gelingt die Trennung zwischen Telemetrie- und Zufallspunkten. AUC-Werte zwischen 0.7 und 0.8 deuten bereits auf eine gute Aussagekraft hin, also auf eine starke Diskriminierung der Daten in Zufalls- oder Telemetriepunkte (Tab. 4).

Tab. 4: AUC-Werte für verschiedene MaxEnt-Modelle. Kursiv: bestes Modell (DistSiedlung: Distanz zur nächsten Siedlung, DistStraße: Distanz zur nächsten Straße).

Modell	AUC Training	AUC Test
<i>Landnutzung + HumanFootPrint + Einwohnerdichte + DistSiedlung + DistStraße</i>	0.763	0.755
Landnutzung + Einwohnerdichte + DistSiedlung + DistStraße	0.751	0.738
Landnutzung + HumanFootPrint	0.738	0.702

Es ist zu erwarten, dass der AUC-Wert vom Trainingsdatensatz höher ist als vom Testdatensatz, da mit dem Trainingsdatensatz das Modell geschätzt wurde. Die geringe Abweichung zwischen beiden Werten (AUCs der Trainings- bzw. Testdaten) zeugt von einer robusten Modellierung (Tab. 4). Um das beste GLMM-Modell mit dem besten MaxEnt-Modell vergleichen zu können, wurde neben dem AIC-Wert hier ebenfalls der AUC-Wert berechnet (Abb. 4).

Tab. 5: Selektion der GLMMs nach AIC. „Response“ ist die abhängige Variable (1 bei Telemetriepunkt, 0 bei Zufallspunkt). Der Term „(1 | Wolf_ID)“ gibt an, dass das Individuum zur Vermeidung einer verzerrten Schätzung durch Autokorrelation als Zufallseffekt modelliert wird. Kursiv: bestes Modell.

Modell	AIC	delta AIC	Pseudo-R ²
<i>response ~ Landnutzung * (HumanFootPrint + Einwohnerdichte + DistSiedlung + DistStraße) + (1 Wolf_ID)</i>	370074	0	0.38
response ~ Landnutzung * (Einwohnerdichte + DistStraße) + (1 Wolf_ID)	376012	5938	0.30
response ~ Landnutzung * (Einwohnerdichte + DistSiedlung) + (1 Wolf_ID)	377657	7583	0.31
response ~ Landnutzung * HumanFootPrint + (1 Wolf_ID)	382789	12715	0.23
response ~ (1 Wolf_ID)	413757	43683	0.00

Im Folgenden werden die Ergebnisse der beiden statistischen Ansätze (jeweils des besten Modells) zum besseren Vergleich nebeneinander gezeigt. Links befindet sich jeweils das MaxEnt-Ergebnis, rechts das GLMM-Ergebnis. Abb. 4 legt nahe, dass MaxEnt besser zwischen Vorkommensdaten (Telemetriepunkt) und Hintergrund (Zufallspunkt) zu diskriminieren scheint. Allerdings sind die Datensätze beider Modelle verschieden, da die Zufallspunkte unterschiedlich bestimmt wurden.

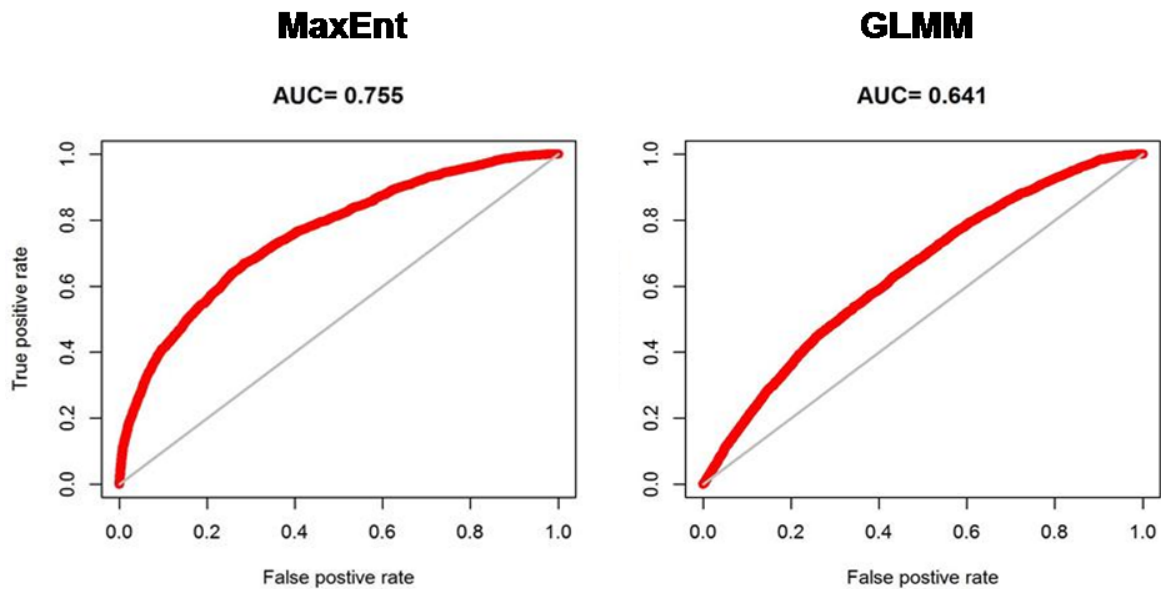


Abb. 4: ROC (receiver operating characteristic)-Kurven mit AUC-Werten für beide statistische Ansätze. ROC-Kurven zeigen die korrekte Klassifikation (y-Achse) gegen falsche Klassifikation (x-Achse) von Modell-Vorhersagen je nach Schwellenwert. Links: MaxEnt-Verfahren, Rechts: GLMM-Verfahren.

In Abb. 5 ist die relative Habitateignung angegeben. Dies ist für jedes Modell die vorhergesagte Wahrscheinlichkeit für eine untersuchte Rasterzelle, dass in ihr ein Telemetrie punkt und kein Zufallspunkt liegt. Diese Wahrscheinlichkeit ist also relativ zum untersuchten Datensatz und gibt damit nicht die absolute Wahrscheinlichkeit an, dass eine bestimmte Zelle von einem Wolf besucht wird oder dass sich dort Wölfe dauerhaft niederlassen. Die konkreten Werte können daher auch nur relativ zueinander verglichen werden. Erst wenn für jedes Modell separat der Schwellenwert aus den realen Territorien (Stand 2018a) errechnet wurde, werden die Modelle vergleichbar (Abb. 6).

Die Ergebnisse beider Modellieransätze (MaxEnt und GLMM) sind sehr ähnlich (Abb. 5). Die besten Gebiete liegen verstreut in Nordostdeutschland, dem östlichen Niedersachsen, entlang der tschechischen Grenze (sowohl in Sachsen, als auch in Bayern), im Spessart und in den bayerischen Alpen. Insgesamt scheinen auch alle Mittelgebirge und weite Teile Norddeutschlands als gut geeignet (orange, Abb. 5). Besonders schlecht geeignete Gebiete (dunkelviolett, Abb. 5) befinden sich um die Großstädte (Berlin, Hamburg, München), in Ballungsräumen (z.B. Rhein-Main, Großraum Stuttgart, Halle/Leipzig), den Börden und dem Großteil von Nordrhein-Westfalen. Basierend auf dem 10x10 km Euro-Grid (siehe www.dbb-wolf.de) wurde die relative Habitateignung der zur Euro-Gridzelle gehörigen 100x100 m Zellen (Abb. 5) gemittelt, und aus den mit 2018a (Stand 15.10.2018) DBBW-Territorien belegten Zellen die Schwellenwerte berechnet, die dem Mittelwert der relativen Habitateignung und Standardabweichung sowie dem Konfidenzintervall entsprechen. Basierend auf diesen Ergebniskarten (Abb. 6) wurde die binäre Klassifizierung angewendet, die in geeignete und ungeeignete Rasterzellen für potenzielle Territorien klassifiziert (Abb. 7, 8).

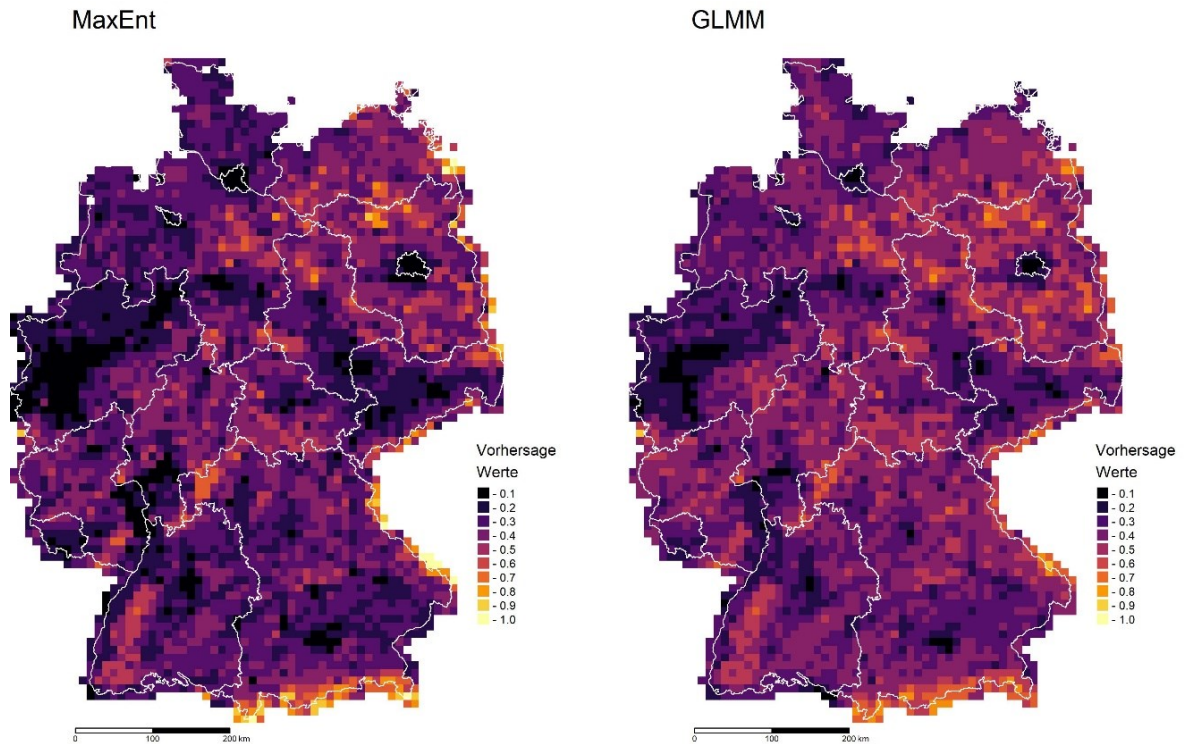


Abb. 5: Relative Habitateignung für Wölfe in Deutschland (von gelb – sehr gut bis schwarz – sehr schlecht).

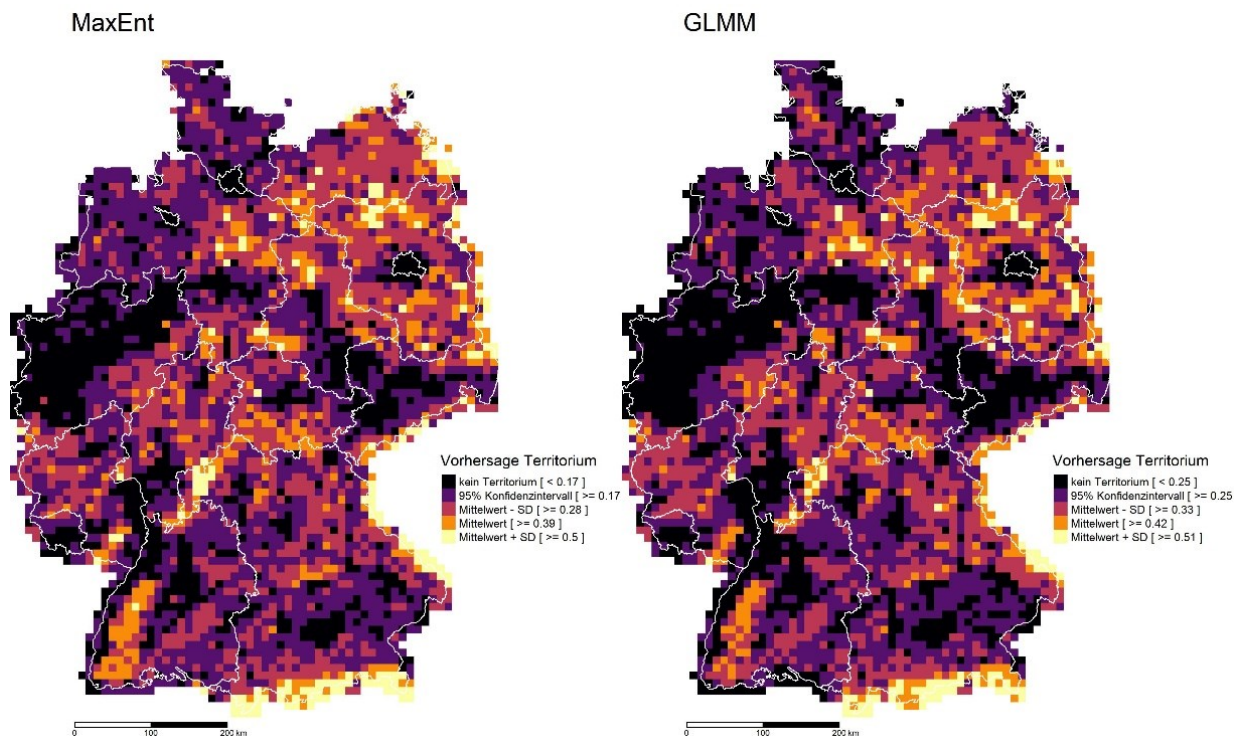


Abb. 6: Vorhersage der Eignung für Wolfsterritorien (von gelb – sehr gut bis schwarz – sehr schlecht) mit Schwellenwerten aus Mittelwert und Standardabweichung bzw. Konfidenzintervall aus DBBW-Territorien (Stand 2018a).

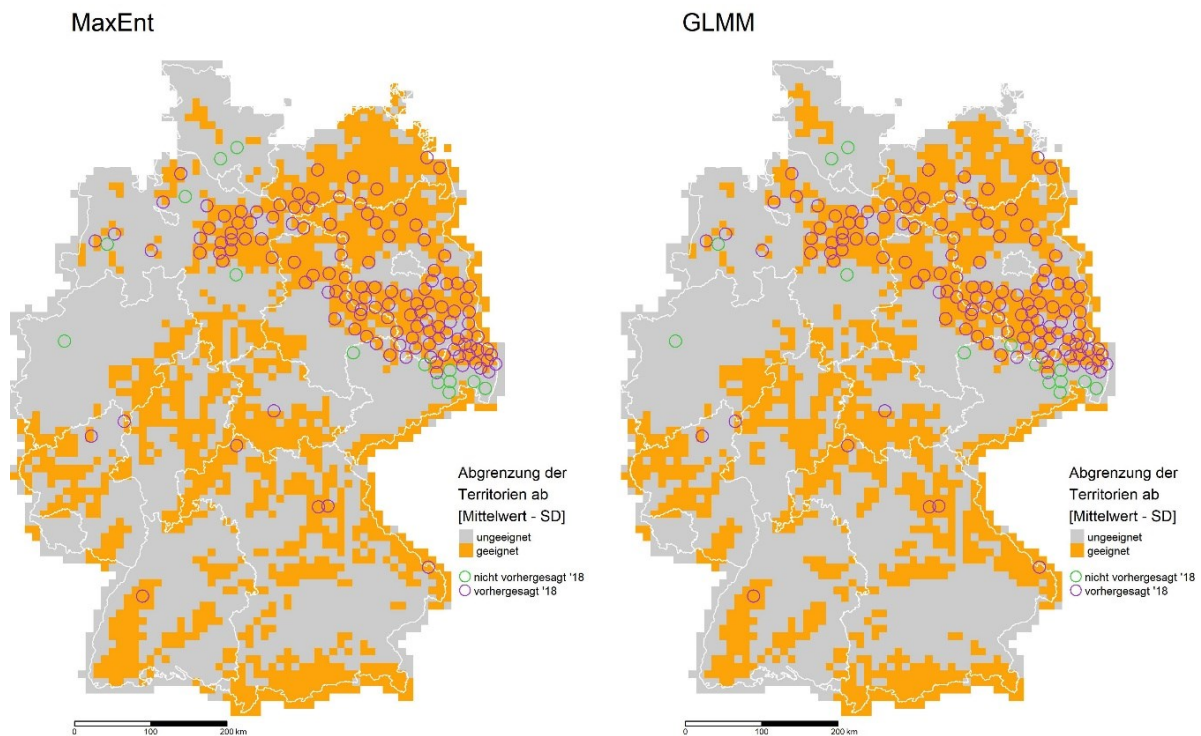


Abb. 7: Vorhergesagte Flächen, die Wolfsterritorien aufweisen können (orange Flächen) und Darstellung nachgewiesener etablierter Wolfsterritorien (Kreise) aus dem Monitoringjahr 2018 b (Stand 30.01.2020). Als unterer Schwellenwert für die vorhergesagte Fläche wurde der Mittelwert minus eine Standardabweichung genommen. Die grünen Kreise sind Territorien, die außerhalb der Vorhersage unseres Modells liegen (d. h. weniger als 25% Flächenüberlappung mit den vorhergesagten Territorien aufweisen).

Der in Abb. 7 benutzte Ansatz mit einer unteren Grenze von Mittelwert minus einer Standardabweichung lässt einen gewissen Fehler in der Vorhersage zu. Ca. 16% der tatsächlich vorhandenen Wolfsterritorien sollten dabei statistisch gesehen in nicht geeigneten Gebieten liegen (+/- eine Standardabweichung vom Mittelwert deckt ca. 68% der vorhergesagten Werte bei einer Normalverteilung ab. Eine Normalverteilung ist hier näherungsweise gegeben). Die Übereinstimmung von DBBW-Territorien mit vorhergesagten Gebieten wurde so berechnet, dass mindestens 25% der Fläche des DBBW-Territoriums, d.h. ein Kreis mit einem Radius von 8 km um den Territoriumsmittelpunkt, die vorhergesagten Flächen überlappen muss. Von den 144 Territorien im Monitoringjahr 2018 b (Stand 30.01.2020) liegen tatsächlich auch 14 Territorien in beiden Modellen außerhalb der vorhergesagten Flächen, die meisten davon in Sachsen. Es ist zu beachten, dass von diesen 144 DBBW-Territorien 38 nicht in die Modellierung der Zufallspunkte bzw. in die Abgrenzung des Schwellenwertes mit eingeflossen sind und eine unabhängige Validierung darstellen.

In Abb. 8 wurde die untere 95%-Konfidenzgrenze als unterer Schwellenwert benutzt. Damit sollten etwa 97,5% der Rudelterritorien innerhalb der vorhergesagten Fläche liegen. Tatsächlich liegen nur zwei (MaxEnt links) bzw. drei (GLMM rechts) der im Monitoringjahr 2018 b (Stand 30.01.2020) bereits vorhandenen 144 Territorien außerhalb dieser vorhergesagten Flächen. Bei den beiden bzw. drei Territorien außerhalb der vorhergesagten Flächen spielen besondere Situationen eine Rolle, z.B. ein sehr kleines, aber sehr gutes Rückzugsgebiet umgeben von Agrarsteppe oder Randgebiete um bestehende Populationschwerpunkte herum.

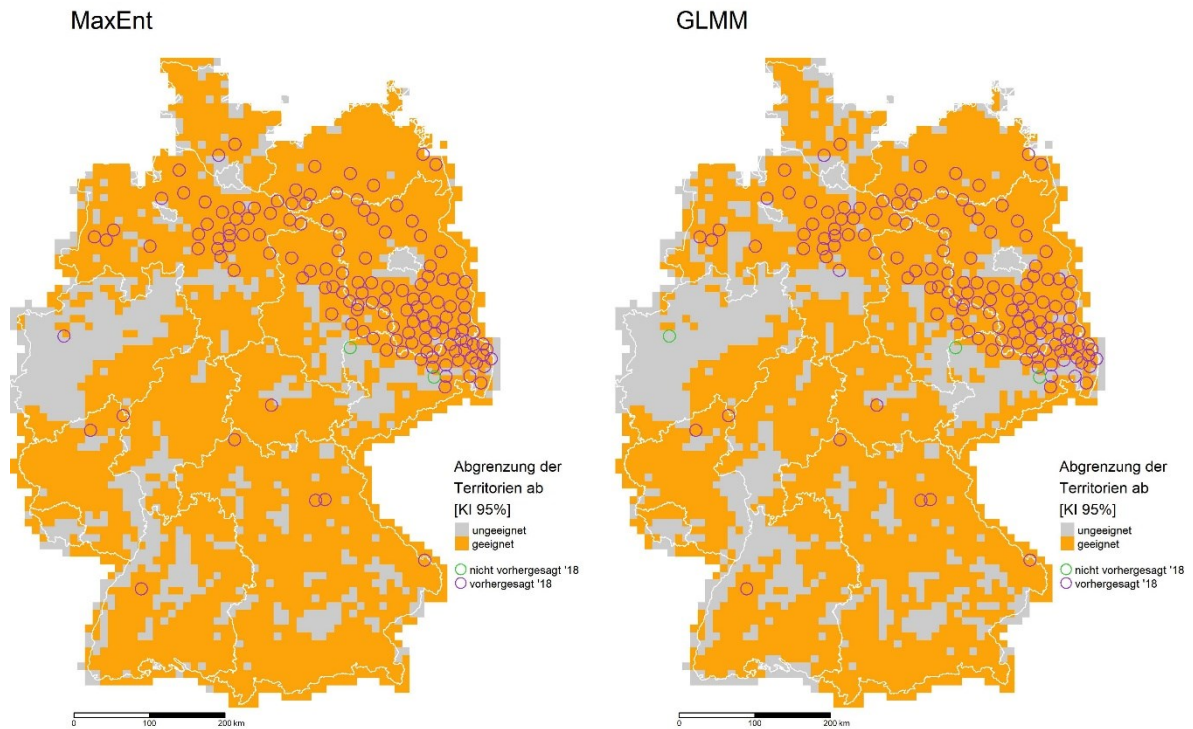


Abb. 8: Vorhergesagte Flächen, die Wolfsterritorien aufweisen können (orange Flächen) und Darstellung nachgewiesener etablierter Territorien (Kreise) aus dem Monitoringjahr 2018 b (Stand 30.01.2020). Als unterer Schwellenwert für die vorhergesagte Fläche wurde die untere Grenze des 95%-Konfidenzintervalls verwendet. Die grünen Kreise sind Territorien, die außerhalb der Vorhersage des Modells liegen (Mindestüberlappung 25%, siehe Text).

Die Konsenskarte 1 (Abb. 9) zeigt die robuste Schätzung der potenziellen Territorien in dieser Studie bei Anwendung des Mittelwertes minus einer Standardabweichung als Schwellenwert (orange). Die schwarz gefärbten Rasterzellen werden nur vom MaxEnt-Modell vorhergesagt, und die rot gefärbten Rasterzellen werden nur vom GLMM-Modell vorhergesagt. Bei einer Mindestüberlappung von 25% (s. o.) werden 13 Territorien nicht vorhergesagt (bei 50% wären es 22, bei 75% 39). Die Konsenskarte 2 (Abb. 10) zeigt die robuste Schätzung der potenziellen Territorien in dieser Studie bei Anwendung des unteren Konfidenzintervalles als Schwellwert (orange). Lediglich zwei Territorien sind bei einer 25%-Überlappung nicht vorhergesagt (3 bei 50%, 7 bei 75%). Es sind nur wenige Rasterzellen, die nur von einem der Modelle als geeignet vorhergesagt werden (schwarz bzw. rot gefärbte Rasterzellen in Abb. 9 und 10), und diese sind weitgehend gleichmäßig über die geeigneten Gebiete in Deutschland verteilt. In Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern sowie im Süden Baden-Württembergs scheint es kleinere Häufungen von diesen Rasterzellen zu geben.

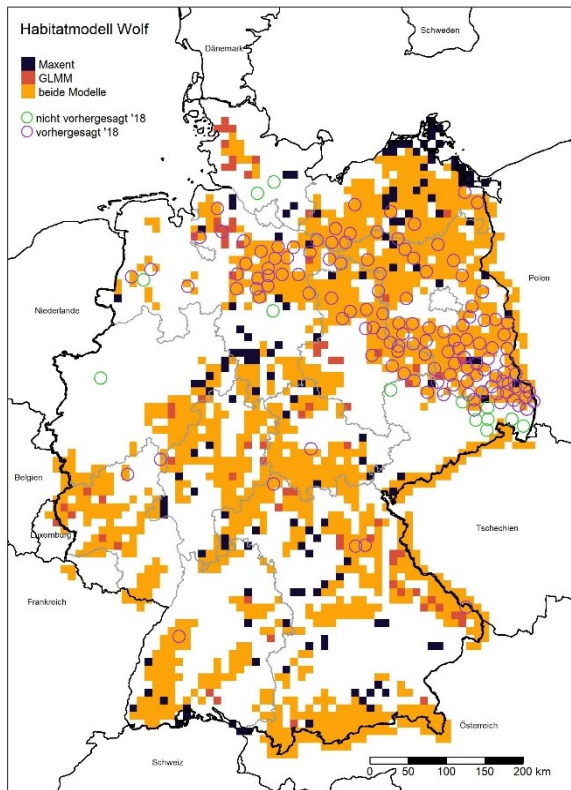


Abb. 9: Konsenskarte aus dem MaxEnt- und dem GLMM-Modell auf der Basis der Karten in Abb. 7 (unterer Schwellenwert ist der Mittelwert minus eine Standardabweichung).

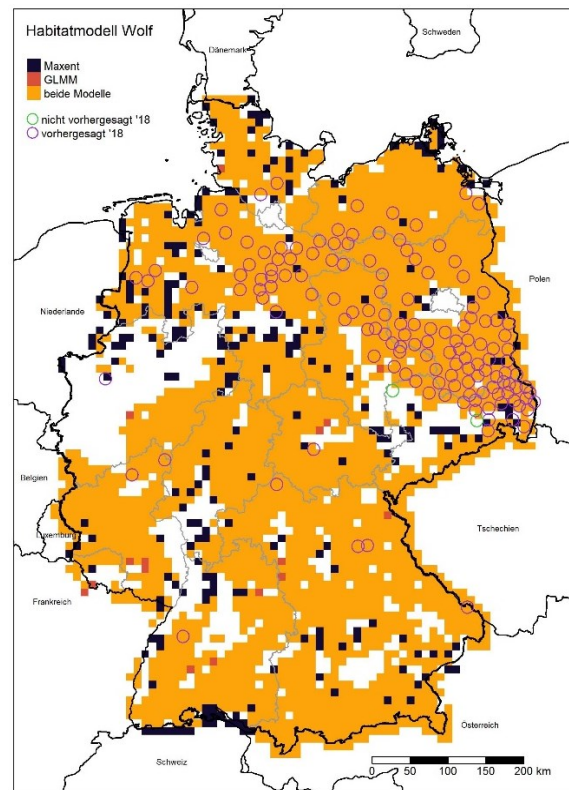


Abb. 10: Konsenskarte aus dem MaxEnt- und dem GLMM-Modell auf der Basis der Karten in Abb. 8 (unterer Schwellenwert ist die untere Grenze des 95%-Konfidenzintervalls).

Die zusammenfassende Darstellung in Abbildung 11 zeigt die potentielle Eignung von Gebieten in Deutschland für die Etablierung von Wolfsterritorien, die basierend auf Telemetriedaten sesshafter Wölfe ermittelt und auf 10x10 km hochskaliert wurde. Die farbliche Abstufung zeigt Ergebnisse zweier statistischer Modellierverfahren und Modelle, die die Unsicherheit in der Prognose enthalten. Die Modelle ‚Mittelwert – Standardabweichung‘ berücksichtigen einen Schwellenwert, der einen Fehler von bis zu 16% der vorhergesagten Territorien zulässt, die ‚95% Konfidenzintervall‘-Modelle lediglich einen Fehler von 2,5%. Der Schwellenwert wurde anhand eines Teildatensatzes der Territorien des Monitoringjahrs 2018/19 ermittelt (Territorien 2018a). Die Kreise zeigen die Territorienmittelpunkte der nachgewiesenen Territorien des gesamten Monitoringjahrs 2018/19 (Stand 30.01.2020, Territorien 2018b). Die Modelle zeigen auch für den Gesamtdatensatz des Monitoringjahrs eine sehr gute Übereinstimmung der durch die Berechnungen vorhergesagten Territorien mit den tatsächlich nachgewiesenen Territorien im Monitoringjahr 2018/19. Die beiden Abstufungen in ‚ein Modell‘ bzw. ‚beide Modelle‘ zeigen die Übereinstimmung bzw. Abweichungen der Modelle. Stimmen diese zwischen den beiden Modellen überein, ist in diesen Gebieten die Vorhersage robust.

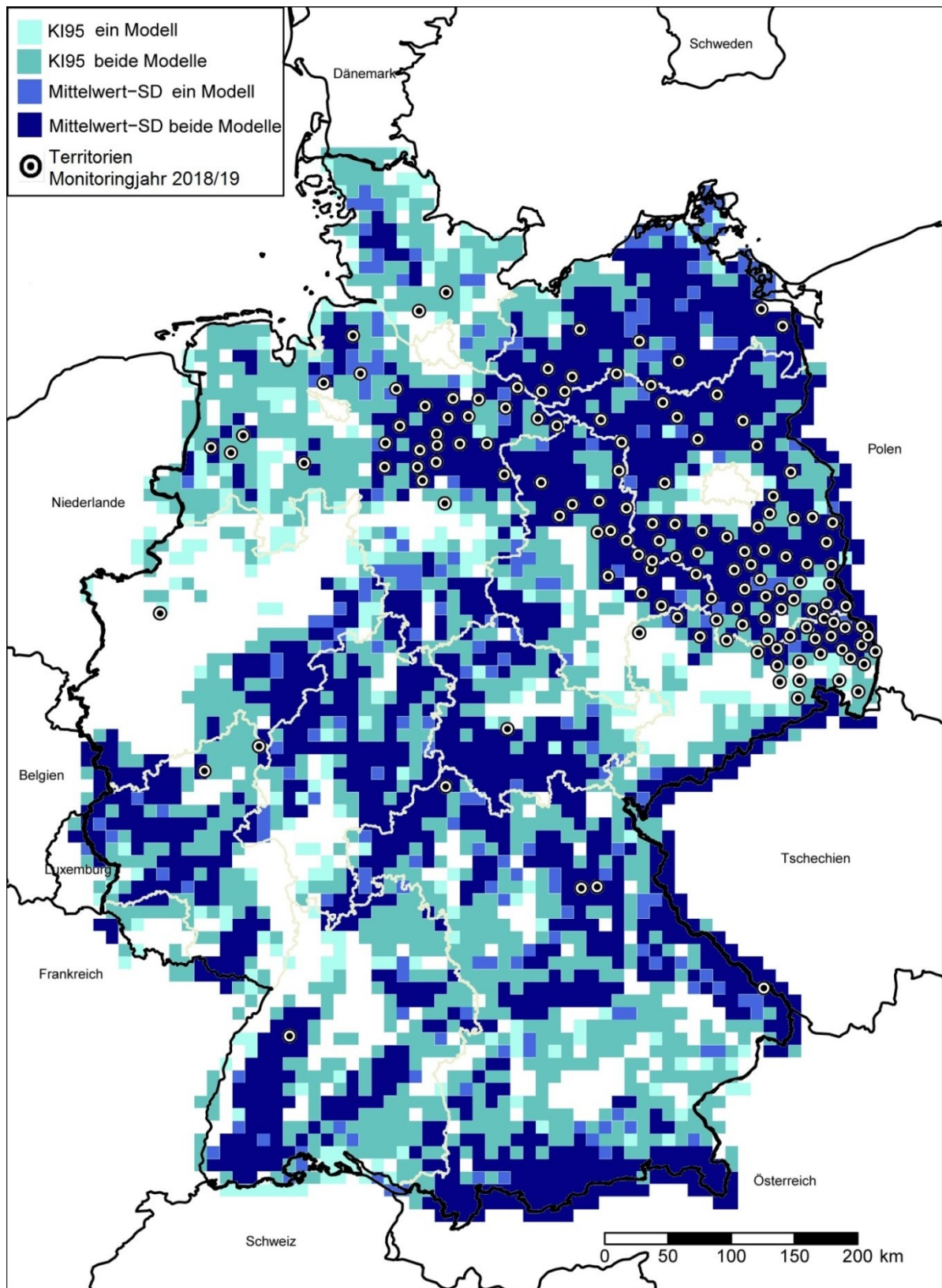


Abb. 11: Konsenskarte der Habitateignung aus den beiden statistischen Modellen und den beiden Schwellenwerten. Die schwarzen Kreise stellen die DBBW-Territorien für das Monitoringjahr 2018/19 dar (Stand 2018 b), KI: Konfidenzintervall 95%, Mittelwert-SD: Mittelwert minus Standardabweichung.

Insgesamt lässt sich sagen, dass wahrscheinlich weite Teile Deutschlands eine Eignung für Wolfsterritorien aufweisen und dass damit eine entsprechend hohe Anzahl an Wolfsrudeln in Deutschland leben könnte, wobei wir von maximal einem Rudel pro berechnetem Territorium ausgehen, für das wir die unterste Größengrenze berücksichtigt haben. In den Ausbreitungsgebieten wie im westlichen Niedersachsen oder in Bayern scheinen die Wölfe bisher noch stärker gute Gebiete zu selektieren (die Territorien liegen fast alle in geeigneten Flächen der Abb. 7), während es in Sachsen reproduzierende Rudel gibt, die außerhalb der von den Modellen vorhergesagten geeigneten Flächen der Abb. 7 und 8 liegen. Nach diesen neuen Analysen von in Deutschland erhobenen Daten ist davon auszugehen, dass in Deutschland für 700-1400 Wolfsterritorien (je nach Berechnung, s. Tab. 6) geeigneter Lebensraum vorhanden ist. Das gilt unter der Annahme, dass die Territoriengröße bei etwa 200 km² liegt.

Tab. 6: Vorhergesagte Anzahl der Territorien, basierend auf einer Territoriengröße von 200 km², nach den beiden Ansätzen und den beiden Schwellenwerten (Konfidenzintervall 95%, Mittelwert – SD) innerhalb Deutschlands. Verbindungsterritorien in Nachbarländern wurden nicht mit einberechnet. Die Farbangaben beziehen sich auf Abb. 9 und 10. Diese Zahlen sind nicht absolut und können um diese Werte schwanken, da die Zufallspunktverteilungen auf Simulationen beruhen, die jedes Mal leicht verschieden ausfallen.*

Statistischer Ansatz	Konfidenzintervall 95% (Abb. 10)	Mittelwert minus Standardabweichung (Abb. 9)
MaxEnt (orange + schwarz)	1407	726
GLMM (orange + rot)	1303	697
Konsensus (alle: orange, schwarz + rot)	1415	764
Konsensus (nur beide Modelle: nur orange)	1391	719
Konsensus* (GLMM allein: nur rot)	8	39
Konsensus* (MaxEnt allein: nur schwarz)	126	75

*Es handelt sich um Faustzahlen für zusätzliche Territorien. Die einzelnen Flächen hängen nicht zusammen und würden keine Territorien ergeben.

4 Diskussion

In dieser Studie wurden die potenziell geeigneten Lebensräume für den Wolf in Deutschland und damit die potenzielle Anzahl an Territorien deutlich höher geschätzt als in einer früheren Studie (Knauer 2015¹). Während bisher von einem Habitatpotenzial für etwa 440 Territorien als Maximalzahl für Deutschland ausgegangen wurde, zeigt diese Studie, die ausschließlich auf in Deutschland erhobenen Daten basiert, dass es weit mehr geeignete Räume in Deutschland gibt, in denen Wölfe geeigneten Lebensraum finden könnten. Nach heutigem Wissensstand beläuft sich die Zahl potenzieller Territorien (bei einer Territoriengröße von 200 km²) auf eine Spanne von 700 und 1400, die grundsätzlich Platz für die entsprechende Anzahl von Rudeln bieten. Während das ältere Modell eine stärkere Habitatbindung der Art zum Lebensraum Wald zugrunde legte, bestätigt das Modell dieser Studie die Beobachtungen im Wolfsmonitoring der letzten Jahre. Gerade jüngste Entwicklungen in Sachsen deuten darauf hin, dass Wölfe auch reine Agrarlandschaften besiedeln können, wenn es partiell Rückzugsgebiete gibt, in denen sie ungestört den Tag verbringen können. Dies deckt sich mit Studien aus Spanien, wo Wölfe in Agrarsteppen leben und trotz der intensiven menschlichen Nutzung der Landschaft überleben können⁶.

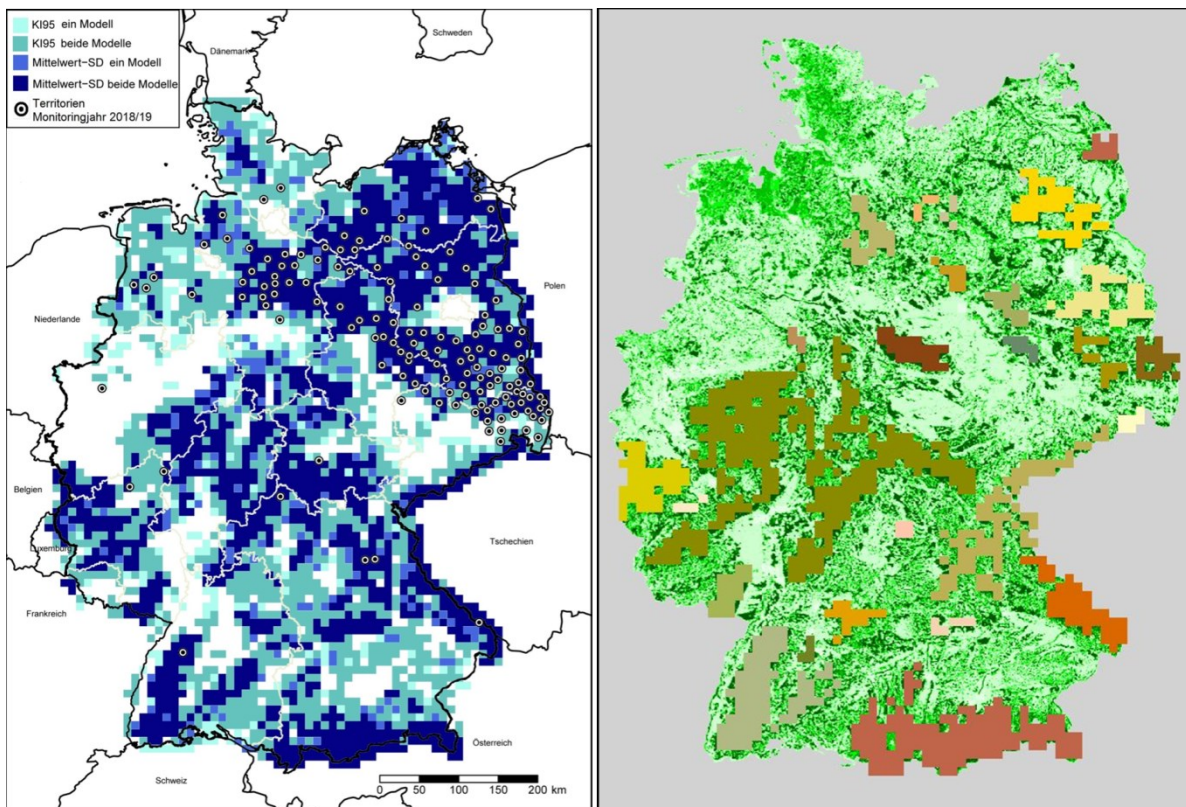


Abb. 12: Vergleich der Habitatauswertungskarten dieser und einer früheren Studie (Knauer 2015¹). Links die Konsenskarte in dieser Studie (s. Abb. 11, Kreise: Territorien Monitoringjahr 2018/19, KI: Konfidenzintervall 95%, Mittelwert-SD: Mittelwert minus Standardabweichung), rechts die Karte der früheren Studie von Knauer (2015¹), in der jeweils Bereiche geeigneter Habitate einheitlich gefärbt sind (Hintergrund der rechten Karte: je dunkler das grün, desto besser ist das Gebiet geeignet).

⁶ Blanco, J.C., Cortés, Y. (2007): Dispersal patterns, social structure and mortality of wolves living in agricultural habitats in Spain. *Journal of Zoology*, 273: 114-124. doi:10.1111/j.1469-7998.2007.00305.x

Trotzdem zeigt diese Studie auch Gemeinsamkeiten mit der früheren Modellierung (Abb. 12). Die Mittelgebirge und die Alpen einschl. des Vorlands werden in beiden als geeignet ausgewiesen. Der große Unterschied besteht im Flachland des gesamten Nordens. Während in der Studie von Knauer¹ diese Gebiete als weitgehend ungeeignet für die Etablierung von Wolfsrudeln ausgewiesen sind, zeigt die aktuelle Studie sehr viele potenzielle Wolfsterritorien, insbesondere in Mecklenburg-Vorpommern.

Betrachtet man die Karten mit der unteren Grenze des 95%-Konfidenzintervalls als Schwellenwert (Abb. 8 und 10, 11), sind landschaftliche Muster kaum noch zu erkennen. Der Großteil Deutschlands scheint geeignet zu sein. In der aktuellen wissenschaftlichen Literatur ist vor allem noch die Arbeit von Fechter und Storch (2014⁴) mit verschiedenen Modellvarianten relevant. Fechter und Storch errechneten beispielhaft für verschiedene Grundannahmen über die Habitateignung verschiedener Landnutzungsklassen Territorienzahlen von 154 bis 1769 für Deutschland, was aber aufgrund der hohen Ungenauigkeit der Vorhersage für das Wolfsmanagement in Deutschland nur geringen praktischen Nutzen hat.

In der aktuellen Studie konnten erstmals Telemetriedaten aus Deutschland genutzt werden, was die Aussagekraft der Vorhersagen gegenüber früheren Modellen deutlich erhöht. Allerdings liegen bisher nur aus vergleichsweise wenigen Territorien Telemetriedaten vor. Außerdem sind nicht alle Landschaftsräume durch Telemetriedaten abgedeckt, weshalb eine Extrapolation in das übrige Deutschland noch immer mit einer gewissen Unsicherheit behaftet ist. Die Telemetriedaten stammen zudem ausschließlich aus dem ost- und norddeutschen Flachland, wodurch das Modell potenziell naturräumliche Gegebenheiten aus Sachsen überinterpretieren könnte. Trotzdem wurden Mittelgebirge oder alpine Gebiete durch das Modell als sehr geeignet vorhergesagt. Diese Eignung kommt auf Grund des hohen Anteils grüner Infrastruktur und der geringeren menschlichen Infrastruktur in gebirgigen Landschaften zustande (Einfluss der Variable ‚Human Footprint Index‘). Gebirgige Landschaften scheinen in Europa teilweise von Wölfen gern besiedelt zu werden, z.B. die Karpaten, die Dinariden oder der Apennin. Allerdings sind dies in den dortigen Landschaften auch die waldreichsten und vom Menschen am wenigsten genutzten Gebiete. Wolfsgebiete in Polen, Spanien oder Schweden sind dagegen häufig flach und offensichtlich als Lebensraum genauso geeignet. Deshalb war es auch sinnvoll, Variablen wie Seehöhe oder Hangneigung nicht im Modell zu verwenden. Je nachdem, wo die Telemetriedaten erhoben worden sind, könnte dies sonst auch zur Vorhersage der Meidung topographisch flacher Gebiete führen. Jedoch gab auch eine Habitatstudie aus den Alpen keinen Hinweis auf die Bevorzugung steiler oder hoch gelegener Gebiete. Gebiete mit sehr hohem Felsanteil wurden sogar gemieden (Marucco 2009⁷).

Eine Stärke der hier gerechneten Modelle sind die verwendeten Habitatdaten. Dies betrifft sowohl die für die Berechnungen herangezogenen Landnutzungsdaten des CORINE land cover als auch die Distanzmaße zu Straßen und Siedlungen und der Human FootPrint Index. Diese Daten sind nach jetzigem Wissensstand geeignet, die für Wölfe relevanten Landschaftsparameter abzubilden. Daten zu den Beutetierdichten konnten in dieser Studie nicht berücksichtigt werden. Diese liegen in Deutschland nicht flächendeckend vor.

Die Beutetierdichten variieren sicher gebietsweise in Deutschland. Gemessen an den Abschusszahlen sind sie insgesamt im europäischen Vergleich sehr hoch (Massei et al. 2014⁸). Es ist daher davon auszugehen, dass in allen Gebieten genügend Beutetiere vor-

⁷ Marucco, F. (2009): Spatial population dynamics of recolonizing wolves in the Western Alps. University of Montana, Missoula, College of Forestry and Conservation – Dissertation.

⁸ Massei, G. et al. (2015): Wild boar populations up, numbers of hunters down? A review of trends and implications for Europe. *Pest. Manag. Sci.*, 71: 492-500. doi:10.1002/ps.3965

handen sind, um eine Besiedlung durch Wölfe zu erlauben. Eine deutliche Auswirkung kann die Beutetierdichte allerdings auf die Territoriengröße haben. Je geringer die Beutetierdichte, desto größer sind die Territorien. Möglicherweise werden zwar die hier vorhergesagten Gebiete alle besiedelt, allerdings kann dann die Anzahl der Territorien in manchen Gebieten durchaus geringer ausfallen, wenn die dortige durchschnittliche Territoriengröße deutlich über 200 km² liegt. Es ist davon auszugehen, dass die Modelle eine robuste Vorhersage liefern, welche Gebiete für Wölfe als Lebensraum geeignet sind. Wie viele Territorien in diesen Gebieten Platz finden könnten, ist dagegen mit einer größeren Unsicherheit behaftet, da dies von der mittleren Territoriengröße abhängt.

Die benutzten statistischen Verfahren entsprechen dem aktuellen Stand der Forschung und sind Standardverfahren. Bei identischer Datenstruktur ist der MaxEnt-Algorithmus etwas mächtiger als eine klassische logistische Regression. In diesem Fall hat allerdings das GLMM-Modell eine komplexere Struktur mit Interaktionen und zufälligen Effekten. Zudem wurden die Zufallspunkte in beiden Modellen unterschiedlich erzeugt. Der höhere AUC-Wert vom MaxEnt-Modell muss deshalb auch kein Hinweis auf eine bessere Vorhersage sein, sondern beschreibt die Diskriminierungsgüte zwischen Telemetrydaten und Zufallspunkten. Insgesamt ist keines der beiden Modelle deutlich besser oder schlechter als das andere. Die Übereinstimmungen in den Ergebnissen beider Modelle überwiegen die Unterschiede bei weitem. Man muss generell beachten, dass Modelle Vereinfachungen sind und die modellierten Territorienzahlen nicht als absolut zu betrachten sind; diese unterliegen immer einer gewissen Schwankung, die beispielsweise durch die Simulation von Daten (die in jeder erneuten Wiederholung der Simulation wieder anders ausfallen würde), aber auch durch die Zusammenfassung in die 10x10 km Rasterzellen des Euro-Grids entstanden ist. Dies bedeutet, dass einzelne zwar tatsächlich auftretende, im Modell aber nicht vorhergesagte Territorien nicht die Güte des Modells widerlegen, sondern durchaus vorkommen können. Ein Modell kann nicht jeden Einzelfall berücksichtigen. Insgesamt ist aber unter Zusammenführung der beiden verwendeten statistischen Modelle eine sehr hohe Kongruenz von modellierten und tatsächlich besiedelten Wolfsterritorien festzustellen, was für die Validität und Güte des verwendeten Modellansatzes spricht (vgl. Abb. 11).

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen vor allem eines: Wölfe sind absolute Habitatgeneralisten, die potenziell fast die gesamte deutsche Landschaft in ihrer Vielfalt nutzen könnten. Für das Management bedeutet dies, dass nicht nur überall mit durchwandernden Wölfen gerechnet werden muss, sondern Wölfe fast überall in Deutschland sesshaft werden könnten. Auch wenn nicht sicher ist, ob und wann und wie detailliert die Vorhersagen wirklich eintreffen, erscheint es sinnvoll, sich auch in den noch nicht von Wölfen besiedelten Gebieten bereits auf deren Rückkehr mit Managementmaßnahmen, insbesondere die Umsetzung von effektiven Herdenschutzmaßnahmen, vorzubereiten.

Ein weiterer Aspekt, der nicht unbeachtet bleiben sollte, ist die Tatsache, dass einige wenige Rudel sich auch außerhalb der vorhergesagten Gebiete angesiedelt haben. Es ist davon auszugehen, dass Wölfe zuerst die am besten geeigneten Gebiete besiedeln und sich dann nach und nach in Gebiete ausdehnen, die dem Habitat nach weniger geeignet sind, jedoch ebenfalls Rückzugsgebiete und eine ausreichende Nahrungsgrundlage bieten.

Dies bedeutet in erster Linie für die verantwortlichen Behörden, sich innerhalb wie außerhalb von potentiell gut geeigneten Gebieten auf eine mögliche Besiedlung durch Wölfe einzustellen.

5 Danksagung

Für diesen Bericht konnte auf Telemetriedaten aller bis Sommer 2018 in Deutschland besenderten Wölfe zurückgegriffen werden (Tab. 7). Dafür gebührt sowohl den Behörden der beteiligten Bundesländer als auch den durchführenden Institutionen und Personen ein besonderer Dank. Mehrere der in Tabelle 7 aufgeführten Projekte wurden finanziell und/ oder personell/ materiell durch weitere Institutionen, Verbände und Stiftungen unterstützt.

Tab. 7: Projekte, aus denen Telemetriedaten zur Verfügung standen.

Bundesland	Projekt	Auftraggeber	Durchführende Institution	Wolf-ID
SN	Pilotstudie zum Abwanderungs- und Ausbreitungsverhalten von Wölfen in Deutschland	BfN	LUPUS Institut	FT2, FT3, FT4, MT2, MT3, MT4
ST	Untersuchung des Raum-Zeitverhaltens von Wölfen in Sachsen-Anhalt	LAU	LUPUS Institut	FT5, FT6
SN	Projekt Wanderwolf	SMUL	LUPUS Institut	FT7, FT8, FT9, MT5
MV	Projekt 1: Wolfstelemetrie in Mecklenburg-Vorpommern	ML/OJB & LJV-MV	TU Dresden	WR1, WF2, WF3, WR6
	Projekt 2: Untersuchung zum Einfluss des Wolfes auf Schalenwild, mit Schwerpunkt Damwild	ML/OJB & LJV-MV & DJV & Freundeskreis Freilebender Wölfe	TU Dresden	WR4, WF5
NI	Besenderungsprojekt Munster	MU	LUPUS Institut	FT10, MT6
ST	Interspezifisches Interaktionsverhalten von Rotwild und Wölfen in Sachsen-Anhalt		HNEE / FWWJ	ID1, ID3

Außerdem bedanken wir uns bei Gesa Kluth, Ilka Reinhardt, Frank-Uwe Michler und Norman Stier für das Bereitstellen der Telemetriedaten für diese Studie und bei Ilka Reinhardt, Gesa Kluth, Markus Ritz, Sandra Balzer und Katharina Steyer für hilfreiche Anmerkungen zur Projektdurchführung und zum Endbericht.

6 Anhang

Tab. A 1: Originale CORINE-Kategorien und Reklassifizierung für das Wolfs-Habitatmodell

Beschreibung	Reklassifizierung	Wert
Continuous urban fabric	urban	1
Discontinuous urban fabric	urban	1
Industrial or commercial units	urban	1
Road and rail networks and associated land	urban	1
Port areas	urban	1
Airports	urban	1
Dump sites	urban	1
Construction sites	urban	1
Green urban areas	urban	1
Sport and leisure facilities	urban	1
Non-irrigated arable land	agriculture	2
Permanently irrigated land	agriculture	2
Rice fields	agriculture	2
Annual crops associated with permanent crops	agriculture	2
Complex cultivation patterns	agriculture	2
Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation	agriculture	2
Vineyards	agri_with_cover	2
Fruit trees and berry plantations	agri_with_cover	2
Olive groves	agri_with_cover	2
Agro-forestry areas	forest	4
Broad-leaved forest	forest	4
Coniferous forest	forest	4
Mixed forest	forest	4
Pastures	green_no_cover	5
Salt marshes	green_no_cover	5
Natural grasslands	green_with_cover	6
Moors and heathland	green_with_cover	6
Sclerophyllous vegetation	green_with_cover	6
Transitional woodland-shrub	green_with_cover	6
Inland marshes	green_with_cover	6
Peat bogs	green_with_cover	6
Mineral extraction sites	soil_no_cover	7
Beaches, dunes, sands	soil_no_cover	7
Bare rocks	soil_no_cover	7
Sparsely vegetated areas	soil_no_cover	7
Burnt areas	soil_no_cover	7
Glaciers and perpetual snow	soil_no_cover	7
Salines	water	8
Intertidal flats	water	8
Water courses	water	8
Water bodies	water	8
Coastal lagoons	water	8

Beschreibung	Reklassifizierung	Wert
Estuaries	water	8
Sea and ocean	water	8
NODATA	NA	NA
UNCLASSIFIED LAND SURFACE	NA	NA
UNCLASSIFIED WATER BODIES	NA	NA