

Wie viel hessischen Wald braucht die Bechsteinfledermaus (*Myotis bechsteinii*) – Einfluss der Datengrundlage auf Habitatmodelle und Konsequenzen für die Windenergieplanung

Von NINA I. BECKER und JORGE A. ENCARNÇÃO

Mit 4 Abbildungen

Abstract

As part of the Renewable Energy Act the development of wind power is being expanded in Germany. It is difficult, however, to find conflict-free locations for new wind energy plants. To minimize conflicts special areas are designated as priority areas. To reduce the impact of new plants on the public urban areas are mostly avoided and many installations are moved into the forest. These forest sites can also be important habitats for forest-dwelling bats. The installation and operation of wind plants can therefore pose a threat not only by directly injuring bats due to strikes of the blades but also by habitat loss. Temperate bats are strictly protected by law and the European Union is obliged to protect them. Habitat suitability modeling could be a valuable tool to identify conflict-free locations for wind energy plants. The quality of the modeling, however, depends on data quality. In this study we compared two models that differ in the level of detail used. The first coarse model is implemented with freely accessible data on landuse and climate for whole Hesse. In the detailed model data on forest inventory are added. Due to data availability and high costs these data are only added for Middle Hesse. As species presence points we used roosting locations of reproducing female *Myotis bechsteinii*. The coarse model should adequately depict species distribution. The detailed model should furthermore be able to visualize actual species occurrence. Both models had good accuracy (AUC coarse and detailed: 0.9) and a low relative error (coarse: 28 %, detailed: 26 %). The coarse model predicted that for *M. bechsteinii* optimal habitats include a high percentage of deciduous or mixed forest, low amount of coniferous forest, low precipitation (< 180 mm), an optimal spring temperature of 11-12°C, and are at low elevations (200-300 m). These criteria are found in 4627 km² (52 %) of forest in Hesse but just 437 km² (5 %) are optimally suited. In addition to these factors the detailed model identified the age of beech and oaks (optimal for both >140 years) as an important factor influencing habitat suitability for *M. bechsteinii*. The coarse model predicted 64 % of forest suitable in Middle Hesse and the detailed model reduces this to 26 %. Optimal habitats are reduced from 6 % to 3 % of forest area in Middle Hesse. The detailed model performed better in predicting actual species occurrence as 16 new species records could be found based on the predicted habitat suitability. The designated priority areas for the installation of new wind energy parks cover 139 km² of forest (2611 km²) in Middle Hesse. Of these the coarse model predicted 58 % as suitable and 34 % as optimal habitat for *M. bechsteinii*. Now using the detailed model as a basis the suitable habitat would be reduced by 5 %

and the optimal habitat by 19 % when all areas are used for installations. To summarize the coarse model is suitable for conservation efforts but it overestimates suitable habitat. The detailed model can accurately predict species occurrence and is an effective tool for an assessment of the conflict potential between wind parks and bat occurrence.

Zusammenfassung

Die Installation von Windenergieanlagen schreitet in Deutschland zügig voran, jedoch sind konfliktarme Standorte schwer zu finden. Um Konflikte mit der Öffentlichkeit in siedlungsreichen Gebieten zu vermeiden, verlagert sich die Anlage von neuen Windenergieanlagen (WEA) häufig in den Wald, der ansonsten hauptsächlich forstwirtschaftlich genutzt wird. Diese Wälder können jedoch auch wichtige Habitate für waldbewohnende Fledermausarten sein, welche durch die Installation und Operation von neuen Windturbinen nicht nur durch Kollision sondern auch durch Habitatverlust stark beeinträchtigt werden können. Europäische Fledermäuse sind jedoch gesetzlich streng geschützt und die EU ist verpflichtet zu ihrem Schutz beizutragen. Habitateignungskarten könnten eine essentielle Hilfe in der konfliktminimierenden Planung von neuen Windenergieanlagen sein. Die Qualität solcher Karten hängt jedoch stark von der verwendeten Datenqualität ab. Diese Studie vergleicht die Genauigkeit und Zuverlässigkeit von Habitateignungskarten im Wald auf zwei Detailebenen. Das erste bundesweite Modell für Hessen nutzte frei verfügbare klimatische und geographische Daten sowie Landnutzungsdaten. Im zweiten regionalen Modell für Mittelhessen wurden darüber hinaus detailreiche Forsteinrichtungsdaten verwendet. Die Modelle wurden basierend auf Quartiernachweisen reproduzierender Weibchen der waldbewohnenden Bechsteinfledermaus (*Myotis bechsteinii*) erstellt. Laut unserer Hypothese sollte das Modell, welches die frei verfügbaren, aber detailarmen Daten verwendet, ausreichend für eine Darstellung der Verbreitung der Bechsteinfledermaus sein. Das detailreichere Modell sollte jedoch besser das aktuelle Vorkommen abbilden. Beide Modelle zeigten eine sehr gute Aussagekraft mit einem geringen relativen Fehler. Das detailarme Modell überschätzte erwartungsgemäß das Vorkommen geeigneter Habitate. Durch die realistische Abbildung des aktuellen Artvorkommens ist das detailreiche Modell jedoch sehr gut für eine konfliktminimierende Planung von neuen Windturbinen im Wald geeignet.

Keywords

Wind power, *Myotis bechsteinii*, species with responsibility, habitat modeling.

Einleitung

Gefährdete Tierarten sind gesetzlich geschützt. Dieser Schutz ist in der Berner Konvention, der Flora-Fauna-Habitatrichtlinie (FFH-Richtlinie) und dem Bundesnaturschutzgesetz verankert. Arten, die in der FFH-Richtlinie im Anhang II gelistet sind, sind von gemeinschaftlichem Interesse und ihr Schutz bedarf der Auszeichnung besonderer Schutzgebiete. Über diesen legalen Schutz hinaus haben sich die EU-Mitgliedsstaaten verpflichtet den Erhaltungszustand dieser Arten zu dokumentieren und zu ihrem Schutz beizutragen. Dafür müssen die Staaten Daten zur Verbreitung, Populationscharakteristika, Habitatnutzung und Gefährdungen der Arten sammeln. Die FFH-Richtlinie und das assoziierte NATURA-2000 Schutzgebietssystem tragen essentiell zur Erhaltung und Wiederherstellung der biologischen Vielfalt in Europa bei. Um diese Ziele zu verwirklichen, müssen die EU-Mitgliedsstaaten alle sechs Jahre einen Bericht zum Erhaltungszustand der Arten bei der EU-Kommission abgeben.

Das Erneuerbare Energien Gesetz und seine Novellierungen führen zu einem fortschreitenden Ausbau der Erneuerbaren Energien. Dabei wächst der Raumanpruch für die Installation neuer Anlagen. Eine der energieeffizientesten und kostengünstigsten Erneuerbaren Energien stellt die Nutzung der Windenergie dar. Dabei werden Windenergieanlagen (WEA) zumeist in Windparks auf windhöflichen Standorten installiert. Produktive Standorte für WEAs finden sich auch in Wäldern, die jedoch auch gleichzeitig Lebensräume für zahlreiche gefährdete Tierarten darstellen. Bei der Prüfung der Verträglichkeit dieser Standorte im Wald wird meist ein Fokus auf das Kollisionsrisiko,

also das Tötungsverbot, besonders geschützter Arten (§44, Abs. 1 Bundesnaturschutzgesetz) wie z. B. Großvögel oder Fledermäuse gelegt. Jedoch kann der Verlust des Lebensraums eine ebenso bedeutsame Beeinträchtigung der lokalen Populationen darstellen. Laut Bundesnaturschutzgesetz (§44, Abs. 1 BNatschG) ist es ebenfalls verboten die Fortpflanzungs- und Ruhestätten der besonders geschützten Arten zu beschädigen. Aus diesem Grund liegt der Fokus dieser Studie auf dem potentiellen Habitatverlust durch WEAs im Wald.

Die Nutzung von Habitateignungsmodellen zur Einschätzung der Verbreitung von Tieren ist eine international etablierte Methode (GUISAN & THUILLER 2005). Die aus den Modellen resultierenden Habitateignungskarten erlauben es, die Habitatqualität für eine Art und damit ihre Vorkommenswahrscheinlichkeit in einer Landschaft statistisch abzuschätzen (GUISAN & THUILLER 2005). Ebenso sind sie dazu geeignet die treibenden Faktoren für die Habitatwahl bestimmter Arten zu erklären (HIRZEL & LE LAY 2008). Die Aussagekraft der Modelle hängt dabei vom Modelltyp, der Implementierung, aber in besonderem Maße auch von der Qualität der Art- und Landschaftsdaten ab (DORMANN et al. 2008). Dabei resultieren hoch auflösende Daten in sehr detaillierten Modellen (LINDENMAYER et al. 1999; OSBORNE et al. 2001). Allerdings sind solche Daten selten auf der großräumigen Landschaftsebene verfügbar (AUSTIN 2002; GUISAN & THUILLER 2005; BARBOSA et al. 2010) und müssen kosten- und/oder personalaufwendig beschafft werden.

Die Eignung von Habitatmodellen, die keine Detaildaten verwenden, wurde für den Schutz von Vögeln (GOTTSCALK et al. 2007; BRAMBILLA et al. 2009) und großen Säugetieren (ZABALA et al. 2005; LOE et al. 2011) bereits belegt. Jedoch fehlen Informationen über die Eignung solcher Modelle für kleine, schwer

erfassbare Arten wie Fledermäuse. In dieser Studie wird die Effektivität von detailarmen und detailreichen Habitatmodellen verglichen und auf ihre Anwendbarkeit in Bezug auf die Standortwahl für neue WEAs hin überprüft. Dazu werden zwei Modelle entwickelt: eines auf Landschaftsebene mit detailarmen Daten und eines auf Regionalebene mit detailreichen Daten. Folgende Hypothesen liegen der Untersuchung zugrunde: (1) detailarme Modelle und die resultierenden Habitateignungskarten sind aussagekräftig und können für Naturschutzaspekte genutzt werden; (2) Modelle mit detailreichen Daten sind besser in der Lage die aktuelle Artverbreitung darzustellen; (3) Aufgrund der besseren Darstellung der aktuellen Verbreitung sind Modelle mit detailreichen Daten besser geeignet, um konfliktarme Standorte für Erneuerbare Energien zu bestimmen.

Als Modellart wurde die Bechsteinfledermaus (*Myotis bechsteinii*) gewählt. Die IUCN hat die Bechsteinfledermaus als „gering gefährdet“ eingestuft (TEMPLE & TERRY 2007; TEMPLE & TERRY 2009) und sie ist in den Anhängen II und IV der FFH-Richtlinie (EU-Richtlinie 92/43/EWG) geführt. Der Nachweis von *Myotis bechsteinii* ist durch einen vergleichsweise kleinen Aktionsraum im Wald und relativ leise Ortungsrufe schwierig, wodurch ihre Verbreitung nicht im Detail bekannt ist (DIETZ & PIR 2009). Sie wird als selten eingestuft, kann aber in optimalen Habitaten häufig sein (MITCHELL-JONES et al. 1999; BAAGØE 2001). Um die Beeinträchtigung von Fortpflanzungs- und Ruhestätten durch die Errichtung von neuen WEAs abschätzen zu können, wurden ausschließlich Quartierstandorte reproduzierender Weibchen (Wochenstuben) den Modellen zugrunde gelegt. Der Verlust eines einzelnen Baumes mit einem Wochenstubenquartier kann bereits zu einer erheblichen Beeinträchtigung bis hin zum Totalverlust einer lokalen Population führen.

Material und Methode

Untersuchungsgebiet

Hessen liegt im Zentrum des Verbreitungsgebiets der Bechsteinfledermaus (BOYE et al. 1999) im Südwesten Deutschlands. Es erstreckt sich über 21301 km² und wird durch Mittelgebirge (bis zu 950 m NN), Beckenlandschaften (bis 200 m NN) und Flusstäler (100 m NN) charakterisiert. Hessen stellt mit 8731 km² Waldfläche (41 %) das walddreichste Bundesland dar, wovon sich 39 % in staatlichem, 35 % in kommunalem und 26 % in privatem Besitz befinden. Die Behörden können die Daten zu staatlichen Wäldern für Forschungszwecke kostenfrei zur Verfügung stellen, jedoch gibt es keine solche Vereinbarung für die kommunalen und privaten Wälder. Daher variiert die Datengrundlage bezogen auf die Forsteinrichtung für Hessen stark. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden die Forsteinrichtungsdaten für die Region Mittelhessen zugrunde gelegt. Mittelhessen liegt im Zentrum von Hessen mit einer Fläche von 6699 km² (ca. 32 % von Hessen) und einer Waldfläche von 2611 km² (39 %). Daher kann man Mittelhessen als repräsentativ für ganz Hessen annehmen. Für Mittelhessen wurden im Teilregionalplan Energie Mittelhessen (RP Gießen 2012) Vorrangflächen für Windparks ausgewiesen. Von 165 km² ausgewiesener Fläche liegen 139 km² (84 %) im Wald. Um das Konfliktpotential zwischen Artenschutz und Windenergieplanung in den ausgewiesenen Vorrangflächen Mittelhessens abzuschätzen, wurde die Habitateignung des jeweils detailarmen und -reichen Modells in den Vorrangflächen berechnet.

Studienart

Wochenstubennachweise für die Bechsteinfledermaus wurden von der hessenweiten Zentraldatenbank NATIS (Hessen-Forst FENA) zur Verfügung gestellt. Von anfänglich 698 Nachweisen wurden nur punktgenaue (± 50 m)

Quartiere mit einer Mindestdistanz von 500 m zueinander und aus dem Zeitraum Mai-August in die Analyse einbezogen. Nach dieser Auswahl ergaben sich 342 Quartiernachweise in Hessen und 130 Nachweise für Mittelhessen. Für die Modellierung wurden zusätzlich Pseudo-Absenz Punkte in einem Mindestabstand von 2 km zu jedem Quartierpunkt generiert.

Variablenauswahl

Relevante Variablen wurden anhand bekannter Habitatpräferenzen der Bechsteinfledermaus ausgewählt (DIETZ & PIR 2009). Dabei wurde in dem detailarmen Modell z. B. nur zwischen Laub-, Misch- und Nadelwald differenziert, in dem detailreichen Modell zusätzlich das Alter und die Art der Bäume berücksichtigt. Dem detailarmen Modell wurden die Variablen Waldart (Laub-, Misch- und Nadelwald), Höhenlage, Niederschlagsmenge und Temperatur zugrunde gelegt. Entsprechende Landesämter (HLUG, HVBG) stellten die Daten zu Waldart und Höhenlage für wissenschaftliche Zwecke zur Verfügung. Das Digitale Geländemodell (DGM) und die Landschaftsdaten (ATKIS) lagen als 25 x 25 m Raster vor. Diese Faktoren wurden in einem Radius von 500 m und 2000 m um die Quartiere quantifiziert. Der Aktionsradius der Bechsteinfledermaus um das Quartier ist selten größer als 2 km (DIETZ & PIR 2009). Klimatische Variablen wurden vom Deutschen Wetterdienst (DWD) bezogen. Für das detailreiche Modell wurden neben diesen Faktoren noch Daten zu Waldalter und Artenzusammensetzung (Hessen-Forst FENA) genutzt. Das detailarme Modell wurde landesweit für Hessen, das detailreiche Modell auf regionaler Ebene für Mittelhessen generiert. Forsteinrichtungsdaten wurden für 1718 km² (66 %) des Waldes in Mittelhessen (2611 km²) zur Verfügung gestellt. Die Aufbereitung der Forsteinrichtungsdaten war sowohl kosten-

(ca. 2 € pro km²) als auch personalaufwendig, da ca. sieben Monate zur Datenakquise und Aufbereitung benötigt wurden.

Modellierung

Modelle wurden mittels verstärkten Regressionsbäumen (boosted regression trees, BRT) mit den Paketen gbm (RIDGEWAY 2006) und Modifikationen gbm.step von Elith et al. (ELITH et al. 2008) in dem Programm R Version 2.12.2 (R Development Core Team 2011) modelliert. Stochastik (bag fraction: 0.5) wurde in das Modell integriert, um somit die Genauigkeit und Aussagekraft zu erhöhen (FRIEDMAN 2002). Habitateignungskarten wurden mit dem GIS Werkzeug GEPARD 2.0 und dem Spatial Analyst in ArcMap 9.3.1 (ESRI, California, USA) implementiert. Die Aussagekraft wurde mittels des AUC und des relativen Fehlers beschrieben (REINEKING & SCHRÖDER 2004). Der relative Fehler beschreibt dabei die Abweichung der Vorhersage vom aktuellen Nachweis. Für alle Modelle gilt die Klassifizierung nach Hosmer und Lemeshow (HOSMER & LEMESHOW 2000): AUC >0.9 = sehr gute, AUC >0.8 = gute und AUC >0.7 = akzeptable Aussagekraft. Um die Variablen zwischen den Wochenstuben und den Pseudo-Absenz Punkten zu vergleichen, wurden Mann-Whitney-U-Tests genutzt, da die Daten keiner Normalverteilung folgten (Lilliefors and Kolmogorov-Smirnov Tests). Es werden entweder die Mittelwerte $\pm$ Standardabweichung oder die Mediane (Minimum-Maximum) angegeben.

Überprüfung der Modelle

Um die Modelle zu überprüfen wurden in 43 Gebieten in Mittelhessen jeweils zwei Netzfänge nach FFH-Standard durchgeführt (100 m Netz für 8 Stunden) (DIETZ & SIMON 2005). Die Gebiete wurden anhand ihrer guten Habitateignung (≥ 0.8) im detailarmen

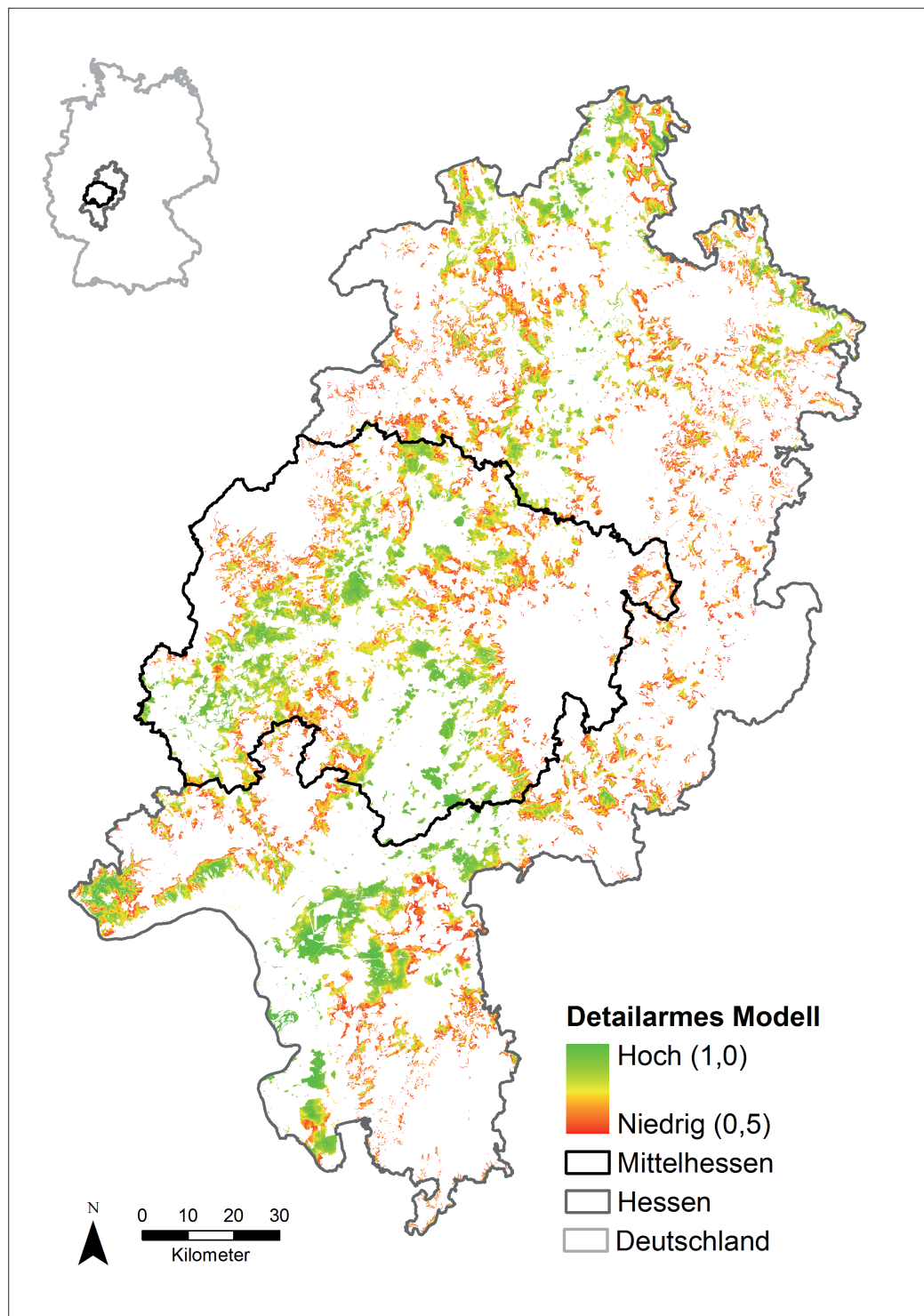


Abb. 1: Detailarmes Modell der Habitateignung für *Myotis bechsteinii* in Hessen. Dargestellt sind nur Gebiete mit niedriger bis hoher Eignung (0,5-1,0). Links oben: Hessen in Deutschland.

Coarse model of habitat suitability for *M. bechsteinii* in Hesse. Only areas with suitability > 0.5 are depicted. Upper left corner: Hesse in Germany.

Modell ausgewählt. Sie lagen in nachhaltig bewirtschafteten Wäldern, in denen der Laubholzanteil dominierte (66.3 ± 9.4 %), wobei 24.6 ± 6.2 % Buche (*Fagus sp.* und *Carpinus sp.*) und 16.0 ± 5.2 % Eiche (*Quercus sp.*) vorhanden waren. Die Bestände waren im Durchschnitt 96 ± 51 Jahre alt, der Kronenschluss war geschlossen.

Ergebnisse

Der Vergleich der Bechsteinfledermaus-Lebensräume (Umgebung der Wochenstubenquartiere, $n=342$) mit der allgemeinen Landschaft (Pseudo-Absenz-Punkte, $n=342$) ergab, dass die Wochenstubenstandorte signifikant stärker mit Laub- (24 ± 19 %; U-test: $p < 0.001$) und Mischwald (43 ± 21 %; U-test, $p < 0.05$) assoziiert waren. Verglichen mit der Landschaft war der Anteil an Nadelwald (9 ± 12 %) im Um-

kreis von 2 km um die Wochenstuben niedriger (U-test, $p < 0.05$). Wochenstuben lagen auf niedrigen Höhenlagen (247 ± 99 m NN), mit wenig Niederschlag (184 ± 11 mm) und warmen Frühlingstemperaturen ($12 \pm 0.5^\circ\text{C}$).

Detailarmes Modell

Das Modell, welches weniger Details zugrunde legte, hatte eine sehr gute Aussagekraft ($\text{AUC} > 0.9$) und einen relativen Fehler von 28 %. Die Analyse ergab, dass ein optimaler Bechsteinfledermaus-Lebensraum viel Laub- und Mischwald in einem Umkreis von 500 m und über 5 % Nadelwaldanteil in einem Umkreis von 2 km um das Quartier haben sollte. Die Habitateignung nahm bei einer Niederschlagsmenge von über 180 mm ab und $11\text{--}12^\circ\text{C}$ im Frühjahr sowie eine Höhenlage von ca. 200–300 m waren optimal. Für das

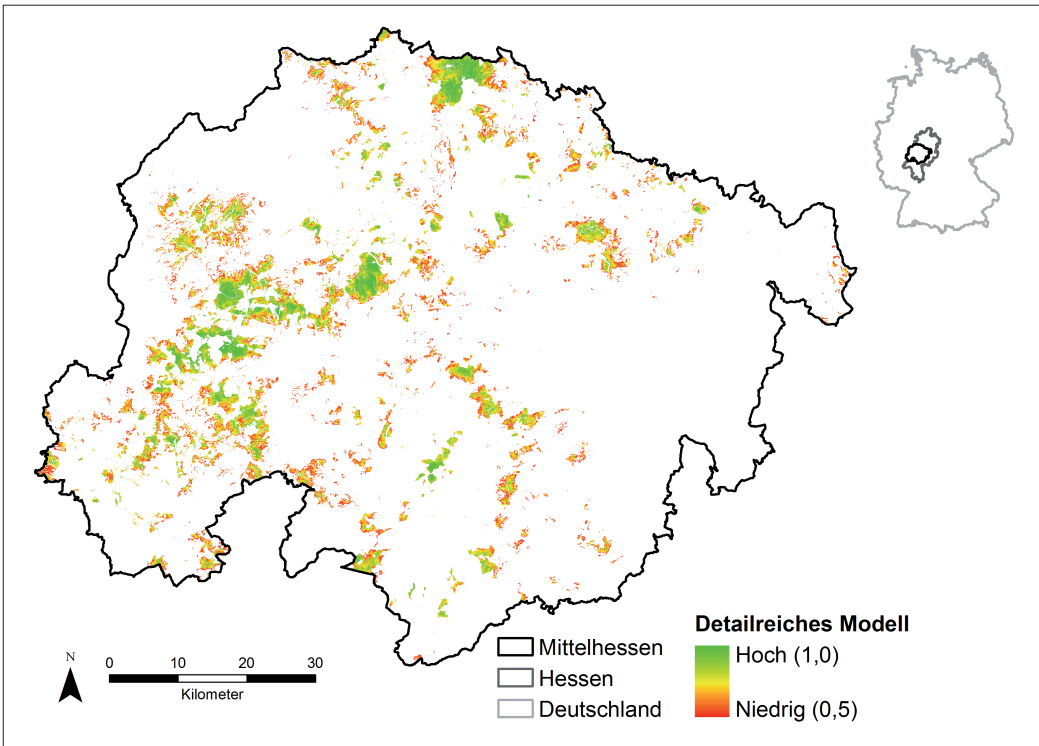


Abb. 2: Detailreiches Modell der Habitateignung für *Myotis bechsteinii* in Mittelhessen. Dargestellt sind nur Gebiete mit niedriger bis hoher Eignung (0,5–1,0). Rechts oben: Lage von Mittelhessen.
Detailed model of habitat suitability for *M. bechsteinii* in Middle Hesse. Only areas with suitability > 0.5 are depicted.
Upper right corner: Middle Hesse in Germany.

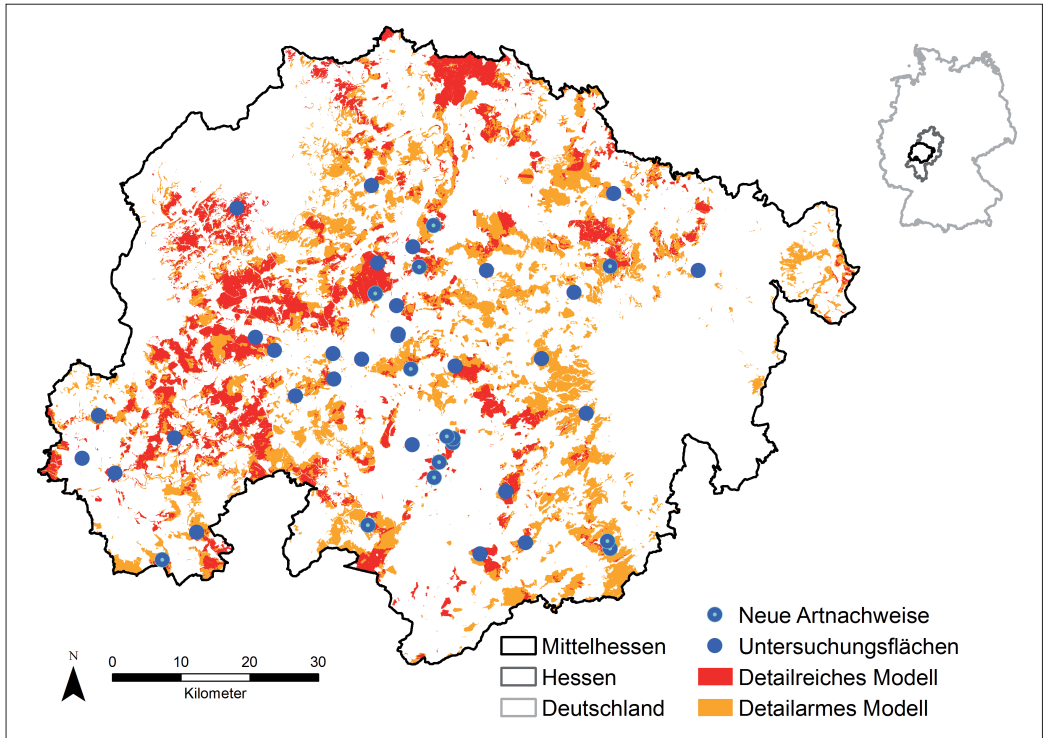


Abb. 3: Untersuchungsflächen und Habitate mit Eignung ($>0,5$) des detailarmen und detailreichen Modells in Mittelhessen. Untersuchungsflächen mit neuen *M. bechsteinii* Nachweisen sind markiert. Study sites and habitats with a suitability $>0,5$ of the coarse and detailed model. Study sites with a new species record are highlighted.

Vorkommen von Wochenstubenquartieren der Bechsteinfledermaus waren nach diesem Modell von 8731 km² Wald in Hessen 4627 km² (53 %) geeignet, allerdings nur 5 % (437 km²) optimal geeignet (Abb. 1).

Detailreiches Modell

Das detailreiche Modell hatte ebenfalls eine sehr gute Aussagekraft ($AUC > 0,9$) und einen relativen Fehler von 26 %. Dieses Modell beinhaltete neben den bereits genutzten Faktoren zusätzlich das Alter von Eiche und Buche, welches die Habitateignung signifikant beeinflusste. Die meisten Quartiere (119 von 130) lagen in alten Buchen- (mittleres Alter 98 Jahre) oder Eichenbeständen (mittleres Alter 108 Jahre). Die Habitatmodellierung zeigte, dass Bestände älter als 90 Jahre geeignet und Bestände, welche älter sind als 140 Jahre, op-

timal geeignet waren. Im detailarmen Modell für Mittelhessen wurden 1697 km² (64 %) als geeignet eingestuft, im detailreichen Modell allerdings nur 26 % (679 km²). Die Größe des optimalen Habitats sank von 157 km² (6 %) auf 78 km² (3 %) (Abb. 2, Abb. 3).

Überprüfung der Modelle

In 16 von den 43 Gebieten konnte *Myotis bechsteinii* mittels Netzfang nachgewiesen werden. Die Habitateignung unterschied sich in dem detailarmen Modell nicht signifikant zwischen Gebieten mit (Median: 0,9; min-max, 0,8–1,0) und ohne (Median: 0,8; min-max, 0,8–1,0) neuen Nachweis (U-test, $p > 0,05$). Im detailreichen Modell waren die Gebiete mit einem neuen Nachweis der Bechsteinfledermaus jedoch geeigneter (Median: 0,9; min-max, 0,8–1,0) als diejenigen ohne

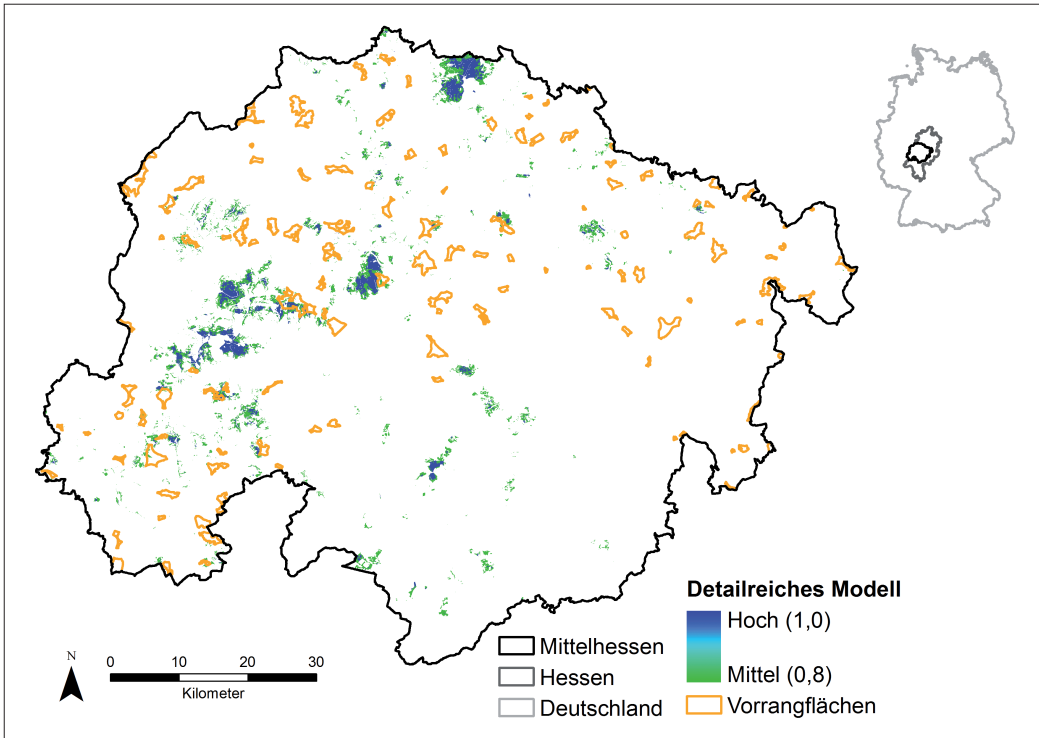


Abb. 4: Mittelhessen mit Optimalhabitaten (>0,8) für *Myotis bechsteinii* im detailreichen Modell und ausgewiesenen Vorrangflächen für Windparks.
 Designated areas of priority and optimal habitats (>0.8) for *M. bechsteinii* in Middle Hesse predicted by the coarse and detailed model.

Nachweis (Median: 0.3; min–max, 0.0–1.0) (U-test, $p < 0.001$) (Abb. 3).

Konfliktpotential in ausgewiesenen Vorrangflächen

In den ausgewiesenen Vorrangflächen bewertete das detailarme Modell 81 km² (58 %) im Wald von Mittelhessen (139 km²) als geeignet und 47 km² (34 %) als optimal geeignet für die Bechsteinfledermaus. Die geeigneten Flächen in Mittelhessen beliefen sich nach dem detailarmen Modell auf 1697 km² und würden bei einer vollständigen Nutzung der Waldbereiche in den ausgewiesenen Vorrangflächen um 5 % verringert werden. Die optimalen Habitate in Mittelhessen würden dementsprechend um 30 % reduziert werden. Laut dem detailreichen Modell waren von den 139 km² ausgezeichneten Vorrangflächen 35 km²

geeignet und 15 km² stellen optimale Lebensräume für die Bechsteinfledermaus dar. Auf dieser Grundlage würde sich die geeignete Fläche in Mittelhessen um 5 % und die optimale um 19 % verringern (Abb. 4).

Diskussion

Im Rahmen dieser Studie wurde die Aussagekraft von Modellen, basierend auf unterschiedlichen Detailstufen verglichen. Darüber hinaus wurde die Anwendbarkeit von Habitatmodellen für kleine, schwer nachzuweisende Säugetiere evaluiert. Auf Grundlage der generierten Habitateignungskarten konnten neue Wochenstuben der Bechsteinfledermaus gefunden werden. Daher bilden die Habitateignungskarten das Vorkommen der Bechsteinfledermaus besser ab, als ausschließlich auf Vorkommensnachweisen basierende Verbrei-

tungskarten. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die auf detailarmen Daten zu den Faktoren Waldfläche, Höhenlage, Niederschlagsmenge und Temperatur basierenden Analysen ein aussagekräftiges Modell ergaben (AUC 0.9, relativer Fehler = 28 %). Unsere Ergebnisse stützen dabei bereits bekannte Habitatpräferenzen der Bechsteinfledermaus (SCHOFIELD & MORRIS 2000). Wochenstubenquartiere der Bechsteinfledermaus fanden sich vermehrt in Bereichen mit hohem Laub- und Mischwald- und geringem Nadelwaldanteil. Die Variablen Niederschlag und Temperatur erklären zu 22 % die Habitatwahl der Bechsteinfledermaus, was auch für Populationen in Luxemburg beschrieben wurde (DIETZ & PIR 2009). Unsere Analysen ergaben keine optimale Temperatur, sondern einen optimalen Temperaturbereich. Diese Abhängigkeit der Bechsteinfledermaus von der Temperatur könnte diese Art sehr anfällig für die Folgen des Klimawandels machen. Dies wurde bereits für andere Säugetiere in Europa gezeigt (LEVINSKY et al. 2007). Unsere Studie bestätigt die Nützlichkeit von detailarmen Habitatmodellen für die Naturschutzarbeit.

Die zweite Hypothese besagte, dass detailreiche Modelle besser dazu geeignet sind das aktuelle Vorkommen einer Art zu beschreiben. Unsere Überprüfung der Modelle mittels Netzfängen im Feld unterstützt diese Hypothese. Nur in Gebieten, wo auch das detailreiche Modell eine gute oder sehr gute Habitateignung vorhersagte, wurden auch neue Nachweise erbracht. In Bereichen, wo nur das detailarme Modell eine gute bis sehr gute Eignung voraussagte, konnten keine Bechsteinfledermäuse nachgewiesen werden. Die statistische Sicherheit, angegeben durch den AUC und den relativen Fehler, kann also nur zum Teil mittels der Feldarbeit nachvollzogen werden. Die Aussagekraft des AUC als Gütemaß für Habitatmodelle wurde schon diskutiert (LOBO et al. 2008). Unsere Studie

zeigt, dass, obwohl ein hoher AUC vorhanden ist, das aktuelle Vorkommen der Art von dem Modell abweichen kann. Es bleibt allerdings zu betonen, dass das detailarme Modell die Habitateignung und damit die geeignete Fläche über- und nicht geeignete Flächen unterschätzt. Damit ist es ein nützliches Werkzeug für den Naturschutz, da großflächige Programme ohnehin auf Landschaftsebene geplant werden sollten (JABERG & GUIBAN 2001). Obwohl das detailarme Modell die geeignete Fläche mit 52 % Fläche in Hessen überschätzt, ist die Fläche der optimalen Gebiete mit 5 % sehr gering. Für Mittelhessen kategorisiert es eine Fläche von 64 % als geeignet, welche auf Grundlage der detaillierten Datengrundlagen auf 26 % reduziert wird. Bei Hochrechnung der Verhältnisse in Mittelhessen auf das gesamte hessische Bundesgebiet wären nur 262 km² Wald in Hessen für die Bechsteinfledermaus optimal geeignet.

Diese Reduzierung der geeigneten Habitate im detailreichen Modell kann auf das Waldalter zurückgeführt werden. Wochenstubenquartiere waren bevorzugt in Wäldern mit einem mittleren Buchen- und Eichenalter von 90-100 Jahren. Optimale Bedingungen werden erst in Wäldern ab 140 Jahren erreicht. Diese Ergebnisse unterstützen die Eignung der Bechsteinfledermaus als Indikatorart für alte Laubwälder (BAAGØE 2001; MESCHEDÉ & HELLER 2003; KAŇUCH et al. 2008; DIETZ & PIR 2009). Diese Abhängigkeit von alten Laubwäldern könnte auch für morphologisch und ökologisch ähnliche Arten wie *Myotis nattereri* und *Plecotus auritus* eine Rolle spielen (KAŇUCH et al. 2008).

Die bereits ausgewiesenen Vorrangflächen für Windenergiegewinnung (RP Gießen 2012) sind nach Betrachtung der Habitateignung für reproduzierende Kolonien der Bechsteinfledermaus als konfliktreich zu bezeichnen. Von den 78 km² optimal geeigneten Habitaten in

Mittelhessen befinden sich allein 15 km² in den ausgewiesenen Vorrangflächen. Möglicherweise ist dieser Umstand den zugrundeliegenden Auswahlkriterien zu schulden, bei denen unterschiedlichste Interessengruppen zu berücksichtigen sind. Für Investoren und Betreiber spielt sicherlich die Windhöflichkeit der entsprechenden Standorte eine übergeordnete Rolle. Allerdings gilt es auch die Bevölkerung, z. B. hinsichtlich Störungspotential oder Landschaftsbild, und den Natur- und Artenschutz zu berücksichtigen. Die Ausweisung von Vorrangflächen hat sicherlich den positiven Effekt, dass außerhalb dieser Flächen WEAs vermutlich selten installiert werden und somit dort keine Interessenskonflikte zwischen WEAs und Bevölkerung bzw. Natur- und Artenschutz entstehen. Dennoch wurden bei der Auswahl der derzeitigen Vorrangflächen in Mittelhessen nicht alle möglichen konfliktminimierenden Kriterien zu Rate gezogen. Am Beispiel der Fledermäuse bedeutet das, dass der Abschätzung des Konfliktpotentials insbesondere das Kollisionsrisiko auf Basis der Nachweisdichte von Fledermäusen pro MTB-Viertel zugrunde gelegt wurde (HMUELV & HMWVL 2012). Der potentielle Lebensraumverlust spielt bei dieser Abschätzung eine nachrangige Rolle und wurde nicht mit dem notwendigen Detailgrad geprüft. Dies kann insbesondere bei stark gefährdeten Arten mit spezifischen Habitatansprüchen im Wald und kleinem Aktionsradius schnell zu erheblichen Beeinträchtigungen der lokalen Populationen führen.

Die sprunghafte Entwicklung des Ausbaus Erneuerbarer Energien und insbesondere die Installation von WEAs in einem sehr kurzen Zeitfenster haben dazu geführt, dass die entsprechenden Planungsräume nicht im ausreichenden Maß untersucht werden. Selbst die Forderung zur Umsetzung von Mindeststandards bei artspezifischen Untersuchungen (HMUELV & HMWVL 2012) gewährleistet

nicht, dass diese Standards auch von erfahrenen Sachverständigen durchgeführt und richtig interpretiert werden können. Insbesondere für den Nachweis der Bechsteinfledermaus und der entsprechenden Funktionseinheiten ihres Lebensraumes ist ein hohes Maß an Erfahrung notwendig. Sollte dies bei den vorlaufenden Umweltverträglichkeitsprüfungen nicht gewährleistet sein, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass Fortpflanzungs- und Ruhestätten bzw. wichtige Nahrungsräume nicht erkannt und durch die Installation von WEAs im Wald unwiederbringlich zerstört werden. Dies ist derzeit für fast 20 % der optimalen Lebensräume der Bechsteinfledermaus in Mittelhessen der Fall.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Habitatmodelle ein geeignetes Werkzeug für die Abschätzung der Verbreitung und des aktuellen Vorkommens sind. Abhängig von der verwendeten Detaildichte variiert die Anwendbarkeit der Modelle. Während detailarme Modelle geeignet sind für großräumige Planungen, sollte bei Infrastrukturplanungen trotz höherem Personal- und Kostenaufwand auf detailreiche Modelle zurückgegriffen werden. Generell lässt sich aber sagen, dass die Habitateignungskarten als Resultate der Habitatmodellierung besser geeignet sind, das Vorkommen einer Art abzuschätzen als Karten, die nur auf Vorkommensnachweisen beruhen.

Schrifttum

- AUSTIN, M. P. (2002): Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecol. Model.* 157(2-3), 101-118.
- BAAGØE, H. J. (2001): *Myotis bechsteinii* (Kuhl, 1818)—Bechsteinfledermaus. In: NIETHAMMER J., KRAPP F. (eds) *Handbuch der Säugetiere Europas*, p. 443–471. Aula-Verlag, Wiebelsheim.
- BARBOSA, A. M., REAL, R., & VARGAS, J. M. (2010): Use of coarse-resolution models of species' distributions to guide local conservation inferences. *Conserv. Biol.* 24(5), 1378-1387.
- BOYE, P., DIETZ, M., & WEBER, M. (1999): Bats and bat conservation in Germany. Bundesamt für Naturschutz (BfN), Bonn.

- BRAMBILLA, M., CASALE, F., BERGERO, V., MATTEO CROVETTO, G., FALCO, R., NEGRI, I., SICCARDI, P., & BOGLIANI, G. (2009): GIS-models work well, but are not enough: Habitat preferences of *Lanius collurio* at multiple levels and conservation implications. *Biol. Conserv.* **142**(10), 2033-2042.
- DIETZ, M., & PIR, J. B. (2009): Distribution and habitat selection of *Myotis bechsteinii* in Luxembourg: implications for forest management and conservation. *Folia Zool.* **58**(3), 327-340.
- DIETZ, M., & SIMON, M. (2005): Säugetiere (*Mammalia*), Fledermäuse (*Chiroptera*). In: DOERPINGHAUS A., EICHEN C., GUNNEMANN H., LEOPOLD P., NEUKIRCHEN M., PETERMANN J., SCHRÖDER E. (eds) Methoden zur Erfassung von Arten der Anhänge IV und V der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie, p. 318-409. Bundesamt für Naturschutz (BfN), Bonn.
- DORMANN, C. F., PURSCHKE, O., MÁRQUEZ, J. R. G., LAUTENBACH, S., & SCHRÖDER, B. (2008): Components of uncertainty in species distribution analysis: a case study of the Great Grey Shrike. *Ecology* **89**(12), 3371-3386.
- ELITH, J., LEATHWICK, J. R., & HASTIE, T. (2008): A working guide to boosted regression trees. *J. Anim. Ecol.* **77**(4), 802-813.
- FRIEDMAN, J. H. (2002): Stochastic gradient boosting. *Comput. Stat. Data Anal.* **38**, 367-378.
- GOTTSCHALK, T., EKSCHMITT, K., İSFENDIYAROĞLU, S., GEM, E., & WOLTERS, V. (2007): Assessing the potential distribution of the Caucasian black grouse (*Tetrao mlokosiewiczii*) in Turkey through spatial modelling. *J. Ornithol.* **148**(4), 427-434.
- GUISAN, A., & THUILLER, W. (2005): Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecol. Lett.* **8**, 993-1009.
- HIRZEL, A. H., & LE LAY, G. (2008): Habitat suitability modelling and niche theory. *J. Appl. Ecol.* **45**, 1372-1381.
- HESSISCHES MINISTERIUM FÜR Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz & Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung (2012): Berücksichtigung der Naturschutzbelange bei der Planung und Genehmigung von Windkraftanlagen (WKA) in Hessen.
- HOSMER, D. W., & LEMESHOW, S. (2000): Applied Logistic Regression. John Wiley & Sons Inc, New York, United States.
- JABERG, C., & GUISAN, A. (2001): Modelling the distribution of bats in relation to landscape structure in a temperate mountain environment. *J. Appl. Ecol.* **38**(6), 1169-1181.
- KAŇUCH, P., DANKO, Š., CELUCH, M., KRISTÍN, A., PIENČÁK, P., MATIS, Š., & ŠMÍD, J. (2008): Relating bat species presence to habitat features in natural forests of Slovakia (Central Europe). *Mamm. Biol.* **73**(2), 147-155.
- LEVINSKY, I., SKOV, F., SVENNING, J. C., & RAHBEK, C. (2007): Potential impacts of climate change on the distributions and diversity patterns of European mammals. *Biodivers. Conserv.* **16**, 3803-3816.
- LINDENMAYER, D. B., CUNNINGHAM, R. B., & MCCARTHY, M. A. (1999): The conservation of arboreal marsupials in the montane ash forests of the central highlands of Victoria, south-eastern Australia. VIII. Landscape analysis of the occurrence of arboreal marsupials. *Biol. Conserv.* **89**(1), 83-92.
- LOBO, J. M., JIMÉNEZ-VALVERDE, A., & REAL, R. (2008): AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Glob. Ecol. Biogeogr.* **17**(2), 145-151.
- LOE, L., BONENFANT, C., MEISINGSET, E., & MYSTERUD, A. (2011): Effects of spatial scale and sample size in GPS-based species distribution models: are the best models trivial for red deer management? *Eur. J. Wildl. Res.*, 1-9.
- MESCHÉDE, A., & HELLER, K.-G. (2003): Ecologie et protection des chauves-souris en milieu forestier. *Le Rhinophle* **16**, 1-214.
- MITCHELL-JONES, A. J., AMORI, G., BOGDANOWICZ, W., KRYSZTOFEK, B., REIJNDERS, P. J. H., SPITZENBERGER, F., STUBBE, M., THISSEN, J. B. M., VOHRALIK, V., & ZIMA, J. (1999): The atlas of European mammals. T & AD Poyser Ltd, London.
- OSBORNE, P. E., ALONSO, J. C., & BRYANT, R. G. (2001): Modelling landscape-scale habitat use using GIS and remote sensing: a case study with great bustards. *J. Appl. Ecol.* **38**(2), 458-471.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM, R. (2011). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing.
- REINEKING, B., & SCHRÖDER, B. (2004): Gütemaße für Habitatmodelle [A measure of habitat model quality]. In: DORMANN C.F., BLASCHKE T., LAUSCH A., SCHRÖDER B., SÖNDRERATH D. (eds) Habitatmodelle - Methodik, Anwendung, Nutzen [Habitat models – methods, application, use], p. 27-38. UFZ Leipzig, Leipzig, Germany.
- RIDGEWAY, G. (2006): Generalized boosted regression models; Documentation on the R package "gbm", version 1.5-7.
- REGIERUNGSPRÄSIDIUM GIESSEN (2012): Teilregionalplan Energie Mittelhessen.
- SCHOFIELD, H., & MORRIS, C. (2000): Ranging behaviour and habitat preferences of female Bechstein's bat, *Myotis bechsteinii* (Kuhl, 1818), in summer. With a review of its status, distribution, behaviour and ecology in the UK. The Vincent Wildlife Trust, Ledbury, UK.
- TEMPLE, H. J., & TERRY, A. (2007): The status and distribution of European mammals. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- TEMPLE, H. J., & TERRY, A. (2009): European mammals: Red List status, trends, and conservation priorities. *Folia Zool.* **58**, 248-269.
- ZABALA, J., ZUBEROGOTIA, I., & MARTINEZ-CLIMENT, J. A. (2005): Site and landscape features ruling the habitat use and occupancy of the polecat (*Mustela putorius*) in a low density area: a multiscale approach. *Eur. J. Wildl. Res.* **51**(3), 157-162.