



FACHAGENTUR
WINDENERGIE AN LAND



Schwerpunkträume zum Artenschutz in der Windenergieplanung

Methodische Ansätze zur planerischen Ausweisung von Flächen
zur Windenergienutzung

Universität für Bodenkultur Wien, ILEN

Gesa Geißler
Alexandra Jiricka-Pürner

Technische Universität Berlin, Fachgebiet Umweltprüfung und Umweltplanung

Johann Köppel
Andrew Rasmussen
Nico Krieger
Jessica Weber

ARSU

Marc Reichenbach
Tim Steinkamp

Fachagentur Windenergie an Land

Dirk Sudhaus
Kathrina Baur

Das Kapitel 4 des vorliegenden Berichts ist innerhalb der Dissertation von Jessica Weber in Zusammenarbeit mit dem vorliegenden Projekt entstanden. Die Inhalte sind in Teilen aus der Publikation von Weber et al. (2023) entnommen.



gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

Schwerpunkträume zum Artenschutz in der Windenergieplanung

Methodische Ansätze zur planerischen Ausweisung
von Flächen zur Windenergienutzung



Inhalt

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis	7
Zusammenfassung.....	10
1 Einleitung und Hintergrund	12
2 Schwerpunkträume in der Windenergieplanung – Stand von Forschung und Praxis	17
2.1 Rasterbasierte Ansätze	18
2.2 Ansätze basierend auf Kerndichte-Schätzung	19
2.3 Ansätze basierend auf Habitatmodellierungen	22
2.4 Schlussfolgerung zum Stand der Praxis zur Ermittlung von Schwerpunkträumen.....	26
3 Habitatmodellierung	28
3.1 Methodisches Vorgehen	28
3.2 Ergebnisse	41
3.3 Schlussfolgerungen/Diskussion	63
4 Schwerpunkträume in der Windenergieplanung – multikriterielle Szenarienanalyse.....	69
4.1 Methodischer Ansatz: Multikriterielle Analysen	69
4.2 Multikriterielle Szenarienanalyse – Fallstudie „Region Havelland-Fläming, Brandenburg“	71
4.3 Multikriterielle Szenarienanalyse – Fallstudie „Baden-Württemberg“	76
5 Eine rechtliche Einordnung von Schwerpunkträumen	89
5.1 Bisherige rechtliche Einordnung.....	89
5.2 Wie sind Schwerpunkträume nach neuer Rechtslage einzuordnen?	91
6 Fazit und Schlussfolgerungen	95
Literaturverzeichnis.....	100
Verzeichnis der verwendeten Daten.....	108
Impressum.....	109

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Rotmilan Dichtezentren basierend auf dem Schwellenwert 14,7 Brutpaare pro 100 km ² im Land Sachsen-Anhalt.....	19
Abbildung 2	Schematischer Ablauf einer Habitatmodellierung.....	22
Abbildung 3	Empfohlene weiche Tabuflächen für Windeignungsgebiete nach Habitatsdichte und Überflugsbereichen für den Rotmilan in der Region Westmecklenburg.....	23
Abbildung 4	Ergebnis der bundesweiten Habitatmodellierung für den Rotmilan und bundesweite Vorkommenswahrscheinlichkeit des Rotmilans.....	25
Abbildung 5	Für die Rotmilan-Präsenz-Eingangsdaten berücksichtigte MTBQ aus Baden-Württemberg.....	31
Abbildung 6	Verteilung der Corine Landnutzungstypen in Baden-Württemberg.....	33
Abbildung 7	Hochauflösende Darstellung des Vorkommens von Grünländern in Baden-Württemberg.....	35
Abbildung 8	Grünlandanteil im 1.000-m-Radius, ausgehend von den Zentroiden der 200 x 200 m Zellen des Gitternetzes in Baden-Württemberg.....	36
Abbildung 9	Schematische Darstellung lineare vs. logistische Regression.....	37
Abbildung 10	Vorkommenswahrscheinlichkeit des Rotmilans in Baden-Württemberg in Abhängigkeit des Waldanteils im 1.000-m-Radius.....	42
Abbildung 11	Vorkommenswahrscheinlichkeit des Rotmilans in Baden-Württemberg in Abhängigkeit des Anteils von Grasland im 1.000-m-Radius.....	42
Abbildung 12	Vorkommenswahrscheinlichkeit des Rotmilans in Abhängigkeit von der Höhe des Standorts über NN, der durchschnittlichen Produktivität der Vegetation sowie dem durchschnittlichen Anteil Ackerfläche im 1.000-m-Radius.....	42
Abbildung 13	Vorkommenswahrscheinlichkeit des Rotmilans in Abhängigkeit des Anteils urbaner Flächen im 1.000-m-Radius.....	43
Abbildung 14	Verlauf der ROC-Kurve als Angabe des Verhältnisses zwischen richtig bzw. falsch vorhergesagten Vorkommen.....	43
Abbildung 15	Vorkommenswahrscheinlichkeit des Rotmilans in Baden-Württemberg.....	44
Abbildung 16	Potenzielles Verbreitungsgebiet des Rotmilans in Baden-Württemberg.....	44
Abbildung 17	Bereiche Baden-Württembergs mit sehr geringer Vorkommenswahrscheinlichkeit (<0,2) des Rotmilans.....	45
Abbildung 18	Lage und Ranking der als potenzielle Rotmilan-Schwerpunkträume in Baden-Württemberg ermittelten Teilflächen.....	45
Abbildung 19	Lage von Flächen mit geringem Raumwiderstand für Windenergie in den ermittelten Schwerpunkträumen.....	46
Abbildung 20	Lage der Vogelschutzgebiete Baden-Württembergs im Vergleich zu den ermittelten Schwerpunkträumen.....	47
Abbildung 21	Für die Schwarzmilan-Präsenz-Eingangsdaten berücksichtigte MTBQ in Baden-Württemberg.....	48
Abbildung 22	Vorkommenswahrscheinlichkeit des Schwarzmilans in Baden-Württemberg.....	50
Abbildung 23	Potenzielles Verbreitungsgebiet des Schwarzmilans in Baden-Württemberg.....	50
Abbildung 24	Lage und Ranking der als potenzielle Schwarzmilan-Schwerpunkträume ermittelten Teilflächen für Baden-Württemberg.....	51

Abbildung 25	Beispielhaft dargestellte weitere potenzielle Schwerpunkträume des Schwarzmilans in Baden-Württemberg	51
Abbildung 26	Übersicht der im Projekt ermittelten Schwerpunkträume in Baden-Württemberg inkl. Wanderfalken-Vorkommen	53
Abbildung 27	Verteilung der Corine Landnutzungstypen in Brandenburg	54
Abbildung 28	Vorkommenswahrscheinlichkeit des Rotmilans in Brandenburg	56
Abbildung 29	Potenzielles Verbreitungsgebiet des Rotmilans in Brandenburg	57
Abbildung 30	Lage und Ranking der als potenzielle Rotmilan-Schwerpunkträume ermittelten Teilflächen in Brandenburg	57
Abbildung 31	Verbreitung des Rotmilans in Brandenburg (2005–2009)	58
Abbildung 32	Verteilung von Seen und Hochspannungsleitungen in Brandenburg	59
Abbildung 33	Vorkommenswahrscheinlichkeit des Fischadlers in Brandenburg	60
Abbildung 34	Potenzielles Verbreitungsgebiet des Fischadlers in Brandenburg	61
Abbildung 35	Lage und Ranking der als potenzielle Fischadler-Schwerpunkträume ermittelten Teilflächen in Brandenburg	61
Abbildung 36	Übersicht der im Projekt ermittelten Schwerpunkträume in Brandenburg inkl. Seeadler-Vorkommen	62
Abbildung 37	Unterschiedliche Schwerpunkträume für Rotmilan und Fischadler in der Region Havelland-Fläming auf Basis der Habitatmodellierung	71
Abbildung 38	Szenarien für einen möglichen Umgang mit Schwerpunkträumen für den Artenschutz, im Zusammenhang mit anderen Planungskriterien für die Region Havelland-Fläming	73
Abbildung 39	Ergebnisse der Windenergieszenarien für Havelland-Fläming	74
Abbildung 40	Windenergie Potenzialflächen in Baden-Württemberg	77
Abbildung 41	Flächenanteil der Windenergie-Potenzialflächen in den Regionen Baden-Württembergs	79
Abbildung 42	Kombination der Top 10 Rot- und Schwarzmilan Schwerpunkträume in Baden-Württemberg, Überschneidung der Top 5 Rot- und Schwarzmilan Schwerpunkträume in Baden-Württemberg	80
Abbildung 43	Regionale Verteilung der TOP 10 Rot- und Schwarzmilan Schwerpunkträume in Baden-Württemberg	81
Abbildung 44	Landschaftsschutzgebiete, Naturparks und Biosphärengebiete (Entwicklungs- und Pflegezonen) in Baden-Württemberg	83
Abbildung 45	Multikriterielle-Szenarien in der Region Bodensee-Oberschwaben, Baden-Württemberg	85
Abbildung 46	Verbleibende Windenergiepotenzialflächen in der Region Heilbronn-Franken nach Abzug aller Abwägungskriterien und der kombinierten Rot- und Schwarzmilan TOP-10-Schwerpunkträume	86
Abbildung 47	Die Mehrzieloptimierung zum Erreichen der festgelegten Flächenziele in der Beispiel Region Bodensee-Oberschwaben.	87
Abbildung 48	Beispielhafte Darstellung der Verteilung der Windenergie-Potenzialflächen innerhalb der geöffneten Kriterien	88

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Definition von Dichtezentren in den Ländern und der Region Westmecklenburg.....	18
Tabelle 2	Flächen- und Brutpaar-Zielwerte für die bundesweite Kerndichte-Schätzung für 12 Vogelarten.....	20
Tabelle 3	Zusammenstellung der Orientierungswerte Stufe 1 und 2	21
Tabelle 4	Eignung des Schwerpunktraumkonzepts für relevante Vogelarten	29
Tabelle 5	Für die Habitatmodellierung berücksichtigte Bundesländer und Arten	30
Tabelle 6	Datengrundlage des Rotmilanvorkommens in Baden-Württemberg	31
Tabelle 7	Ausgangsdaten der berücksichtigten Umweltvariablen	34
Tabelle 8	Für die Habitatmodellierung des Rotmilans berücksichtigte Umweltvariablen	36
Tabelle 9	Interpretation des AUC-Werts	39
Tabelle 10	Wirkrichtung und Effektstärke der univariaten Modelle (z-transformiert) für den Rotmilan in Baden-Württemberg	41
Tabelle 11	Schwellenwertabhängige Gütemaße für das beste multivariate Modell (Rotmilan Baden-Württemberg).....	44
Tabelle 12	Bewertung und Ranking der ermittelten Rotmilan-Teilflächen in Baden-Württemberg.....	46
Tabelle 13	Jahre der vorliegenden Rot- und Schwarzmilankartierungen aus Baden-Württemberg	48
Tabelle 14	Ausgangsdaten der gegenüber dem Rotmilan zusätzlich für den Schwarzmilan berücksichtigten Umweltvariablen in Baden-Württemberg	49
Tabelle 15	Zusätzlich für die Habitatmodellierung des Schwarzmilans in Baden-Württemberg berücksichtigte Umweltvariablen	49
Tabelle 16	Wirkrichtung und Effektstärke der univariaten Modelle (z-transformiert) für den Schwarzmilan in Baden-Württemberg.....	49
Tabelle 17	Schwellenwertabhängige Gütemaße für das beste multivariate Modell (Schwarzmilan Baden-Württemberg).....	52
Tabelle 18	Bewertung und Ranking der ermittelten Schwarzmilan-Teilflächen in Baden-Württemberg	52
Tabelle 19	Für die Habitatmodellierung des Rotmilans in Brandenburg berücksichtigte Umweltvariablen	55
Tabelle 20	Wirkrichtung und Effektstärke der univariaten Modelle (z-transformiert) für den Rotmilan in Brandenburg	55
Tabelle 21	Schwellenwertabhängige Gütemaße für das beste multivariate Modell (Rotmilan Brandenburg).....	57
Tabelle 22	Bewertung und Ranking der ermittelten Rotmilan-Teilflächen in Brandenburg	58
Tabelle 23	Ausgangsdaten der zusätzlich für den Fischadler berücksichtigten Umweltvariablen in Brandenburg	59
Tabelle 24	Zusätzlich für die Habitatmodellierung des Fischadlers in Brandenburg berücksichtigte Umweltvariablen	59
Tabelle 25	Wirkrichtung und Effektstärke der univariaten Modelle (z-transformiert) für den Fischadler in Brandenburg	60
Tabelle 26	Schwellenwertabhängige Gütemaße für das beste multivariate Modell (Fischadler Brandenburg).....	61
Tabelle 27	Bewertung und Ranking der ermittelten Fischadler-Teilflächen in Brandenburg	62
Tabelle 28	Ausschluss- und Abwägungskriterien nach LUBW	78
Tabelle 29	Szenarien für die multikriterielle Analyse in Baden-Württemberg	82

Abkürzungsverzeichnis

AUC	Area Under Curve/Fläche unter der Kurve
BbgFzG	Gesetz zur Umsetzung des Windenergieflächenbedarfsgesetzes (Brandenburgisches Flächenzielgesetz – BbgFzG) v. 2.3.2023
BauGB	Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung v. 3.11.2017 (BGBl. I S. 3634), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes v. 4.1.2023 (BGBl. 2023 I Nr. 6) geändert worden ist
BB	Brandenburg
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz v. 29.7.2009 (BGBl. I S. 2542), das zuletzt durch Art. 3 des Gesetzes v. 8.12.2022 (BGBl. I S. 2240) geändert worden ist
BW	Baden-Württemberg
DDA	Dachverband Deutscher Avifaunisten
EEG 2023	Erneuerbare-Energien-Gesetz v. 21.7.2014 (BGBl. I S. 1066), das zuletzt durch Art. 6 des Gesetzes v. 4.1.2023 (BGBl. 2023 I Nr. 6) geändert worden ist
EU	Europäische Union
EU-NotfallVO	EU-Notfallverordnung, Verordnung (EU) 2022/2577 des Rates v. 22.12.2022 zur Festlegung eines Rahmens für einen beschleunigten Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien
GIS	Geoinformationssystem
glm	generalised linear model/verallgemeinertes lineares Modell
HHH	Habitat Heterogeneity Hypothesis/Hypothese der Habitat-Heterogenität
IAH	Individual Adjustment Hypothesis/individuelle Anpassungshypothese
KlimaG BW	Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg v. 7.2.2023, zum 1.6.2023 aktuellste verfügbare Fassung der Gesamtausgabe (GBl. 2023, 26)
LAI	Leaf Area Index/Blattflächenindex
LfU	Landesamt für Umwelt Brandenburg
LSG	Landschaftsschutzgebiet
LUBW	Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
MCA	Multicriteria Analysis/multikriterielle Analyse
MCDA	Multicriteria Decision Analysis/multikriterielle Entscheidungsanalyse
MTB	Messtischblatt
MTBQ	Messtischblatt-Quadranten
MWp	Megawatt Peak

NN	Normalnull
PPI	Plant Phenology Index/Pflanzenphänologie-Index
PV	Photovoltaik
RED	Renewable Energy Directive/Erneuerbare Energien Richtlinie
RmSm TOP 5 Überschneidung	Überschneidung TOP-5-Rotmilan und Schwarzmilan-Schwerpunkträume
RmSm TOP 10 Kombi	Kombination TOP-10-Rotmilan und Schwarzmilan-Schwerpunkträume
ROC	Receiver Operating Characteristic/Operationscharakteristik eines Beobachters
ROG	Raumordnungsgesetz v. 22.12.2008 (BGBl. I S. 2986), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes v. 22.3.2023 (BGBl. 2023 I Nr. 88) geändert worden ist
ROGÄndG	Gesetz zur Änderung des Raumordnungsgesetzes
SPV	Schwerpunktorkommen
SUP	Strategische Umweltprüfung
UVPG	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung in der Fassung der Bekanntmachung v. 18.3.2021 (BGBl. I S. 540), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes v. 22.3.2023 (BGBl. 2023 I Nr. 88) geändert worden ist
VRL	Vogelschutzrichtlinie
VSG	Vogelschutzgebiete
WaLG	Wind-an-Land-Gesetz – Gesetz zur Erhöhung und Beschleunigung des Ausbaus der Windenergie an Land v. 20.7.2022 (BGBl. I S. 1353)
WEA	Windenergieanlage
WindBG	Windenergieflächenbedarfsgesetz v. 20.7.2022 (BGBl. I S. 1353), das zuletzt durch Artikel 13 des Gesetzes v. 22.3.2023 (BGBl. 2023 I Nr. 88) geändert worden ist
WindSeeG	Windenergie-auf-See-Gesetz v. 13.10.2016 (BGBl. I S. 2258, 2310), das zuletzt durch Artikel 14 des Gesetzes v. 22.3.2023 (BGBl. 2023 I Nr. 88) geändert worden ist

Zusammenfassung

Klimaschutz und Erhalt der Biodiversität sind Herausforderungen, zu denen sich die Bundesrepublik in internationalen Verträgen weitgehend verpflichtet hat. Zur Vermeidung von Konflikten zwischen der Windenergienutzung und dem Artenschutz ist die Wahl des Standorts für Windenergieanlagen ein bedeutender Faktor. Die Standortwahl erfolgt im besten Fall auf der planerischen Ebene, indem die Flächen mit dem geringsten Konfliktpotenzial ausgewiesen werden. Nach den Vorgaben des Bundesgesetzgebers müssen bis zum Jahr 2032 zwei Prozent der Landesfläche für die Windenergienutzung durch die Planungsträger ausgewiesen werden. Vor diesem Hintergrund sollte der Artenschutz bereits auf der strategischen Planungsebene eine hinreichende Berücksichtigung erfahren, um Konflikte auf den nachfolgenden Ebenen zu minimieren.

In mehreren Bundesländern wurde zur Beachtung des Artenschutzes auf der Planungsebene auf Dichtezentren/Schwerpunkträume zurückgegriffen. Hierbei unterscheiden sich die Ansätze zur Abgrenzung der Gebiete und deren Wirkung auf die Planungs- bzw. Genehmigungsebene. Als geeignet stellt sich der Ansatz insbesondere für Arten heraus, die weit verbreitet sind, eine hohe Brutplatzvariabilität aufweisen und planerisch daher schwierig zu behandeln sind.

In diesem Bericht wird eine Methode zur Abgrenzung von Schwerpunkträumen/Dichtezentren für windenergiesensible Arten mit Hilfe einer Habitatmodellierung vorgestellt. Dieses methodische Vorgehen eignet sich insbesondere für Arten, deren Verbreitung eine hohe Habitatabhängigkeit hat. Diese sollte möglichst mit leicht zugänglichen Daten zu erfassen sein, damit die Methode in der Raumplanung einsetzbar ist. Zur Identifikation der Habitatvariablen wurde daher auf Daten des europäischen Copernicus Erdbeobachtungsprogramms zurückgegriffen. Grundlage für die praktische Anwendung ist des Weiteren eine gute Kenntnis von Brutplätzen in Teilbereichen des Plangebiets.

Das Modell wurde anhand von Daten der Bundesländer Baden-Württemberg und Brandenburg entwickelt. Im Fokus stehen die Arten Rotmilan, Schwarzmilan und Fischadler. Des Weiteren werden Aussagen zum Seeadler und dem Wanderfalken (als Felsenbrüter) getroffen. Für sämtliche Berechnungen zeigen sich, auch bei einer reduzierten Datenlage, ausreichende bis sehr gute Modellergebnisse. Zu beachten sind unterschiedliche naturräumliche Ausstattungen in den Bundesländern. So spielen bspw. kleinere Gehölzflächen in Brandenburg für den Rotmilan eine größere Rolle als in Baden-Württemberg.

Als Bezugsraum für die fachliche Abgrenzung von Schwerpunkträumen wird die Ebene der Bundesländer als geeignet angesehen. Das erscheint ein geeigneter Kompromiss, um überregionale Unterschiede darzustellen und gleichzeitig zu vermeiden, dass lokale, jedoch überregional unbedeutende Vorkommen ausgewiesen werden.

Mit der Methode der Habitatmodellierung ist es ebenso möglich, Flächen zu identifizieren, die hinsichtlich der Habitatausstattung für eine Zielart ein Entwicklungspotenzial aufweisen. Auf diesen Flächen kann dann, durch gezielte Maßnahmen, beispielsweise im Rahmen von Artenhilfsprogrammen, zu einer positiven Entwicklung der Population beigetragen werden.

Um zu ermitteln, ob auch bei der Ausweisung von Schwerpunkträumen noch genügend Fläche zur Erreichung des Zwei-Prozent-Ziels verfügbar ist, wurde an zwei Beispielen eine multikriterielle Szenarienanalyse durchgeführt.

Im Vergleich mit anderen planerischen Belangen zeigen die Schwerpunkträume einen geringen Einfluss auf die Flächenkonkurrenz. Andererseits müssen, je nach den Gegebenheiten in den Plangebieten ggf. andere bisher planerisch freigehaltene Gebiete der Windenergienutzung zumindest in Teilen geöffnet werden, um die Flächenziele zu erreichen. Die multikriterielle Szenarienanalyse kann als Entscheidungshilfe dienen und unterstützt die transparente Darstellung von Flächenkonkurrenzen.

Rechtlich sind Schwerpunkträume/Dichtezentren nicht normiert. Sie können jedoch eine Erleichterung bei der artenschutzrechtlichen Prüfung auf der Planungsebene bedeuten und zum Identifizieren von für die Windenergienutzung besonders geeigneten Flächen beitragen. Abzuwarten bleibt, ob, und wenn ja inwieweit, Schwerpunkträume einen Beitrag anlässlich der Novelle der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie erwarteten Definition von *Renewable Acceleration Areas* leisten können.

Schwerpunkträume können einen fachlich gut realisierbaren Beitrag zur Berücksichtigung der artenschutzrechtlichen Belange auf der Ebene der Flächenausweisung bieten, sind jedoch in ihrer Ausgestaltung mit den klima- und energiepolitischen Zielen abzuwägen.



1 Einleitung und Hintergrund

Die Bundesregierung hat sich sowohl dem Klimaschutz (BMUB 2016) als auch dem Schutz der Biodiversität (BMU 2007; Deutscher Bundestag 2015) verpflichtet. Artenschutz und Klimaschutz müssen zusammen gedacht werden¹ und Lösungen möglichst beiden Schutzgütern zugutekommen. So fordern folglich auch die Spitzen der großen Umweltverbände eine Planungsbeschleunigung für Erneuerbare Energien und grüne Infrastruktur.² Daraus folgt der Wunsch, Interessenskonflikte zwischen der Windenergienutzung und dem Artenschutz weitgehend auf der Planungsebene zu lösen. Denn durch den Betrieb von Windenergieanlagen (WEA) können Kollisionen von Vögeln und Fledermäusen mit diesen sowie Lebensraumbeschränkungen auftreten und sind nicht immer auszuschließen. Sowohl in der internationalen als auch deutschen Fachöffentlichkeit wurde dies als „Grün-Grün-Dilemma“ (*green-on-green conflict*) bezeichnet (Devine-Wright 2005; Gartman et al. 2014; Swofford und Slattery 2010; Köppel et al. 2018; Fritze et al. 2020).

Grundlage für einen mit den Biodiversitätszielen vereinbarten Windenergieausbau ist eine gute Praxis der Flächenausweisung für die Windenergienutzung, bei der der Artenschutz eine angemessene Würdigung erhält. Die Übertragung des in der Genehmigungspraxis geforderten Ansatzes des Individuenschutzes (§ 44 Abs. 1 Bundesnaturschutzgesetz, BNatSchG) hat sich dabei in den letzten Jahren für die Planungspraxis (auf vorgelagerten Ebenen) als wenig praktikabel herausgestellt. Insbesondere bei Arten mit wechselnden Brutplätzen ist in mehrjährigen Planungsverfahren die Beachtung von Brutvorkommen schwierig. Aufgrund der Dynamik des Brutgeschehens werden nicht selten mehrmalige Umplanungen und daraus resultierend mehrfache Öffentlichkeitsbeteiligungen erforderlich, die entsprechende zeitliche Verzögerungen bedeuteten (Wegner 2021). Auch die Neuregelungen zur Beachtung des Artenschutzes beim Betrieb von WEA in § 45b Abs. 6 BNatSchG schaffen in dieser Frage keine Abhilfe. Daher wird die Möglichkeit diskutiert, auf der Planungsebene einen populationsbezogenen Ansatz zu wählen. Das Ziel des Populationsschutzes findet in der Genehmigungspraxis

lediglich bei der Ausnahmeprüfung Anwendung (§ 45 Abs. 7 in Verbindung mit § 45b Abs. 8 und 9 BNatSchG). Für die Planungsebene sind die Verbotstatbestände des BNatSchG (§ 44 Abs. 1) nicht unmittelbar anwendbar, jedoch hat eine planerische Abwägung zu erfolgen. Der Ansatz der Schwerpunkträume kann dem Ziel des Schutzes der biologischen Vielfalt über den Erhalt einer lebensfähigen Population (§ 1 Abs. 2 Nr. 1 BNatSchG) von windenergiesensiblen Arten im Rahmen der Windenergieplanung gerecht werden.

Schwerpunkträume sind Gebiete mit einer überdurchschnittlichen Brutpopulation und/oder Aktivität einer planungsrelevanten Art (Wulfert und Schöne-Warnefeld 2021). Gebräuchlich ist auch der Begriff Dichtezentren, insbesondere in Bezug auf die Brutplatzdichte dieser Arten (Nagel et al. 2019). Eine hohe Anzahl an Brutplätzen im Raum wird darauf zurückgeführt, dass der Lebensraum für die Art besonders geeignet ist (Mammen et al. 2014). Gleichzeitig wird davon ausgegangen, dass hier eine hohe Reproduktion erfolgt (Nagel et al. 2019; Mammen et al. 2014; Gelpke und Hormann 2010; Heuck et al. 2019a).

Die Notwendigkeit, eine gute fachliche Praxis für die Beachtung des Artenschutzes im Rahmen der Flächenausweisung für die Windenergienutzung zu entwickeln, wird durch den Druck zur Ausweisung ausreichender Flächen nochmals verstärkt (siehe bspw. Verheyen 2020; Stiftung Klimaneutralität 2021). So wird durch das Windenergieflächenbedarfsgesetz (WindBG) ein Flächenziel von durchschnittlich zwei Prozent der Landesfläche vorgeschrieben, dass bis zum Jahr 2032 für die Windenergienutzung auszuweisen ist. Die Planungsträger werden durch das Zwischenziel von 1,3 % Landesanteil, das bis 2027 auszuweisen ist, angehalten, schnell aktiv zu werden und genügend Flächen bereitzustellen. Gleichzeitig gewinnt die Behandlung des Artenschutzes bei der Flächenausweisung an Bedeutung. Dies wird z. B. in § 6 WindBG ersichtlich; demnach kann die artenschutzrechtliche Prüfung im Rahmen des Genehmigungsverfahrens auf Windenergieflächen in bestimmten Fällen vereinfacht bzw. modifiziert werden.³ Dies ist dann möglich, wenn auf Planungsebene eine Strategische Umweltprüfung (SUP) und somit eine Behandlung des Artenschutzes auf

1 So öffentliche Forderungen aus der Wissenschaft, u. a. [Interview mit Josef Settele](#), Helmholtz Klima Initiative; [Interview mit Aletta Bonn](#), Deutschlandfunk.

2 Siehe u. a. Staude (2023): [Ein Booster für erneuerbare und grüne Infrastruktur](#), klimareporter.de.

3 § 6 WindBG ist die nationale Implementierung der EU-Notfallverordnung (Verordnung 2022/2577). Diese hat nur eine Geltungsdauer bis 30.6.24. Siehe hierzu z. B. [BT-Drs. 20_5830](#).

Planungsebene stattgefunden hat (MKRO 2023). Der EU- und der nationale Gesetzgeber gehen dann davon aus, dass in diesen Fällen eine ausreichende Behandlung des Artenschutzes vorliegt.

Auf Genehmigungsebene können artenschutzrechtliche Konflikte über die Anwendung der Ausnahme (§ 45 BNatSchG) geregelt werden. Die Anwendung dieser Regelung war bisher zögerlich. Jedoch besteht vor dem Hintergrund der internationalen und nationalen Ziele und Verpflichtungen zum Klimaschutz am Ausbau der Windenergie ein hohes öffentliches Interesse. Dies wird durch die Regelung des § 45b Abs. 8 Nr. 1 BNatSchG im novellierten BNatSchG untermauert, der den Betrieb von Windenergieanlagen im überragenden öffentlichen Interesse liegend und der öffentlichen Sicherheit dienend festlegt. Im Zusammenspiel mit der Normierung einer Zumutbarkeitsschwelle für Schutzmaßnahmen in Absatz 6 bleibt offen, ob dies zu einer vermehrten Anwendung der Ausnahmeregelung führt. Eine solche eventuell häufigere Nutzung der Ausnahme im Genehmigungsverfahren erhöht die Verantwortung der Planungsebene hinsichtlich der Ziele des Artenschutzes bei der Ausweisung von Windenergiegebieten. Denn dadurch kommt der Beachtung der für den Artenschutz sensiblen Gebiete auf Planungsebene eine noch höhere Bedeutung zu.

Das Bereitstellen der Flächen für die Windenergienutzung muss aufgrund der langen Planungszeiten (mind. fünf Jahre bei der Regionalplanung⁴) und einem Planungshorizont von zehn Jahren (§ 7 Abs. 8 Raumordnungsgesetz, ROG) bzw. von sogar bis zu 15 Jahren⁵ für die Flächennutzungsplanung langfristig gedacht werden. Während die Behandlung des Gebietsschutzes auf dieser Ebene in der Regel zu bewältigen ist, stellt der Umgang mit dem Artenschutz eine große Herausforderung dar.⁶ Derzeit erfolgt der Artenschutz auf Planungsebene in der Regel durch die Berücksichtigung von Schutzabständen oder durch Ausweisung von Schwerpunkträumen; beide Ansätze sind jedoch auch problembehaftet. Insbesondere die Umsetzung der Abstandsempfehlungen erweist sich auf der Planungsebene als schwierig. Durch die Veränderung der Brutplatzsituation von einem zum

nächsten Jahr sind Abstandsempfehlungen auf Regionalplanungsebene schwer anwendbar. Die Planungsprozesse sind zu langwierig, um die oft im Jahresrhythmus auftretenden Veränderungen angemessen berücksichtigen zu können. Planungsprozessen droht damit eine Endlosschleife. Eine im Genehmigungsverfahren vom Planungszeitpunkt abweichende artenschutzrechtliche Situation ist so vorgezeichnet. Dies kann zur Nichtumsetzbarkeit von Projekten auf für die Windenergie ausgewiesenen Flächen führen.

Die Übertragung des in der Genehmigungspraxis geforderten artenschutzrechtlichen Individuenschutzes auf die Planungsebene stellt sich daher als nicht praktikabel heraus, weshalb eine populationsbezogene Prüfung über die Ausweisung von Schwerpunkträumen/Dichtezentren in der politischen und fachlichen Debatte als ein zielführender Ansatz behandelt wird (Wegner 2021; Wagner 2022; KNE 2021a). So forderten u. a. die großen deutschen Umweltverbände in einem gemeinsamen Thesenpapier vom 30. Januar 2020 den Schutz windenergiesensibler Arten über die Beachtung von Dichtezentren auf der Ebene der Regionalplanung (DNR et al., 2020). Auch die Umweltministerkonferenz (UMK, 2020a) sieht in der Ausweisung von Dichtezentren einen flächenbezogenen Ansatz, mit dem auf planerischer Ebene ein angemessener Schutz erreicht werden kann. Vor diesem Hintergrund hat sich das Vorhaben mit dieser Vorgehensweise näher auseinandergesetzt. Übergeordnete Fragestellungen waren dabei:

- Inwiefern ist eine flächenhafte Behandlung des Artenschutzes bei der Konzentrationszonenplanung für die Windenergienutzung unter Unsicherheiten möglich?
- Ist der Ansatz der Schwerpunkträume/Dichtezentren geeignet, um Klimaschutz und Artenschutz auf der Planungsebene effektiv auszugestalten?

4 Häufigste Antwort bei einer Online-Befragung 5–7 Jahre (HHPraumentwicklung 2021).

5 Richtwert, der sich nach verschiedenen Quellen als aus der Erfahrung sinnvollen Zeitraum zur Überprüfung von Flächennutzungsplänen ergeben hat (z. B. Bunzel et al. 2023).

6 Artenschutz war die zweithäufigste Nennung als Herausforderung bei der Herstellerumfrage im Rahmen der Genehmigungsplattform der Fachagentur Windenergie an Land e. V. im Jahr 2018 (FA Wind 2019).

Zentrale Ziele des Vorhabens waren,

- methodische Vorgehensweisen der Ausweisung von Schwerpunkträumen/Dichtezentren zum Schutz windenergiesensibler Arten auf der Ebene der Flächenausweisung aufzuzeigen und zu diskutieren,
- wo möglich, einen Beitrag zur Verbesserung der Rechtssicherheit von deren Anwendung zu leisten sowie
- die Implikationen dieses Ansatzes für das Erreichen unserer Klima- und Artenschutzziele zu beleuchten.

Dabei widmete sich das Vorhaben insbesondere der Frage, wie unter gewissen Unsicherheiten (z. B. begrenzte Datenbestände) agiert werden kann, und macht Vorschläge für Mindestanforderungen der Datengrundlagen und -qualität zur Identifikation von Schwerpunkträumen/Dichtezentren. Hierbei wurde ein bundesweit übertragbarer Ansatz zur Identifikation von Schwerpunkträumen/Dichtezentren unter Berücksichtigung des Habitatpotenzials entwickelt und getestet.



Aktuelle Entwicklungen im Projektverlauf

Nach der Bundestagswahl im September 2021 wurde mit dem Koalitionsvertrag der Ampelkoalition deutlich, dass der Ausbau der Erneuerbaren Energien einen Schwerpunkt der Regierungskoalition aus SPD, FDP und Bündnis 90/Die Grünen darstellen wird. Im Koalitionsvertrag heißt es u. a.: „Wir machen es zu unserer gemeinsamen Mission, den Ausbau der Erneuerbaren Energien drastisch zu beschleunigen und alle Hürden und Hemmnisse aus dem Weg zu räumen“ (SPD et al. 2021). Eine Analyse des Koalitionsvertrages in Bezug auf die Implikationen für die Berücksichtigung des Artenschutzes beim Windenergieausbau legte das Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende vor (KNE 2021a). Der Koalitionsvertrag fordert mit Blick auf den Windenergieausbau „eine stärkere Ausrichtung auf den Populationschutz“ (SPD et al. 2021) beim Artenschutz.

Inzwischen wurde mit der Umsetzung der formulierten Ziele begonnen. Am 29. Juli 2022 trat das novellierte BNatSchG in Kraft. In diesem wurden vor allem Regelungen zum Betrieb von WEA neu gefasst. Festgelegt wurden bundeseinheitliche Standards zur Prüfung der Signifikanz des Tötungs- und Verletzungsrisikos von Brutvögeln. Außerdem wurden eine Zumutbarkeitsschwelle für Schutzmaßnahmen eingeführt, die die Abschaltung von WEA zum Schutz von Brutvögeln betreffen, und Regelungen für das Erteilen einer Ausnahme getroffen. Wird im Rahmen einer immissionsschutzrechtlichen Genehmigung für eine Windenergieanlage eine Ausnahme nach § 45 Abs. 7 i. V. m. § 45b Abs. 8 und 9 BNatSchG erteilt, dann hat zukünftig regelmäßig eine Zahlung in ein Artenhilfsprogramm zu erfolgen. Artenhilfsprogramme sollen dem Populationschutz von „durch den Ausbau der erneuerbaren Energien betroffenen Arten“ (siehe § 45d Abs. 1 BNatSchG) zugutekommen.

Rechtlich vereinfacht werden soll die Ausnahme durch die Regelungen in § 45b Abs. 8 BNatSchG. So ist in Nr. 1 festgeschrieben, dass die Windenergienutzung im überragenden öffentlichen Interesse liegt und der öffentlichen Sicherheit dient. Nach Nr. 2 sind in der Alternativenprüfung Standorte außerhalb des für die Windenergie ausgewiesenen Gebietes nicht mehr zumutbar. Des Weiteren wurden mit der Änderung des § 26 BNatSchG Landschaftsschutzgebiete als potenzielle Standorte für WEA geöffnet.

Am 1. Februar 2023 trat das WindBG in Kraft. Dieses schreibt den Bundesländern vor, insgesamt zwei Prozent der Landesfläche, aufgeteilt nach einem Schlüssel entsprechend des Potenzials, für die Windenergienutzung bis Ende 2032 planerisch auszuweisen. Das Zwischenziel von 1,3 % ist bis Ende 2027 zu erreichen und erfordert von nahezu allen Bundesländern eine weitere Ausweisung von Flächen. In den meisten Ländern werden die Regionen verpflichtet, die erforderliche Flächenausweisung umzusetzen (FA Wind 2023b). Werden die vorgegebenen Flächenziele erreicht, so ist die Privilegierung der Windenergienutzung auf den Flächen außerhalb der Windenergiegebiete aufgehoben.

Mit der Einführung des WindBG wurde auch das ROG dahingehend geändert, dass in § 8 ein neuer Absatz 5 mit einer Verordnungsermächtigung zur Berücksichtigung von artenschutzrechtlichen Belangen im Rahmen der Umweltprüfung bei der Aufstellung von Raumordnungsplänen eingefügt wurde. Dies betrifft im Speziellen auch die Pläne zur Ausweisung von Flächen für die Windenergienutzung. Eine vergleichbare Regelung für die Ebene der Bauleitplanung beinhaltet der gleichzeitig neu eingeführte Absatz 2 in § 9a BauGB. Entsprechende Verordnungen liegen bisher jedoch nicht vor.

Nach den am 1. Januar 2023 in Kraft getretenen Änderungen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG 2023) werden höhere Ziele als zuvor zum Erreichen der Treibhausgasneutralität und dem Erzeugen von Strom aus Erneuerbaren Energien formuliert. Laut EEG 2023 sollen im Jahr 2030 nun 80 % statt wie bisher 65 % des in Deutschland verbrauchten Stroms aus Erneuerbaren Energien stammen und im Jahr 2045 der Strom treibhausgasneutral produziert werden. Für den Bereich der Windenergieerzeugung an Land legt das Gesetz fest, dass die Ausbauraten auf ein Niveau von 10 GW pro Jahr gesteigert werden sollen (von 2,1 GW im Jahr 2022). Somit sollen im Jahr 2030 insgesamt rund 115 GW Wind-Leistung in Deutschland installiert sein – doppelt so viel wie heutzutage. Bis zum Jahr 2035 soll die installierte Leistung auf 157 GW und 160 GW im Jahr 2040 ansteigen. Und auch nach 2040 soll die installierte Leistung auf dem Niveau von 160 GW erhalten bleiben.

Diese Zielsetzungen erhöhen nochmals den Druck auf einen zügigen Ausbau der Windenergieerzeugung an Land und setzen eine schnelle Genehmigung von neuen Windenergieprojekten in Deutschland voraus. Der Ruf nach Beschleunigung der Planungs- und Genehmigungsverfahren erfährt mit dieser Anhebung der Zielsetzungen im EEG 2023 also einen weiteren Schub.

In Reaktion auf den Krieg in der Ukraine im Februar 2022 wurden Sanktionen hinsichtlich des Imports von Gas, Öl und Kohle aus Russland erlassen und eine schnellere Unabhängigkeit vom Import fossiler Energieträger angestrebt. Vor diesem Hintergrund ist die Beschleunigung des Ausbaus von Erneuerbaren Energiequellen in Deutschland und Europa nochmals stärker in den Fokus politischer Debatten und gesetzgeberischer Aktivitäten gerückt. So ist am 30. Dezember 2022 für die europäischen Mitgliedstaaten die Verordnung (EU) 2022/2577 des Rates vom 22. Dezember 2022 zur Festlegung eines Rahmens für einen beschleunigten Ausbau der Nutzung Erneuerbarer Energien (EU-NotfallVO) in Kraft getreten. Diese hat einen Geltungszeitraum von 18 Monaten – bis zum 30. Juni 2024. Regelungen aus der EU-NotfallVO könnten jedoch in den Neuerungen der EU-Richtlinie für Erneuerbare Energien (RED III) dauerhaft etabliert werden.⁷

Adressiert werden insbesondere Regelungen, die auch das Artenschutzrecht betreffen. So soll nach Artikel 3 der EU-NotfallVO der Bau und Betrieb von Anlagen zur Erzeugung von Energie aus erneuerbaren Quellen im Planungs- und Genehmigungsverfahren bei der Abwägung mit anderen Rechtsinteressen Priorität erhalten, da diese Anlagen im überwiegenden öffentlichen Interesse liegen und der öffentlichen Gesundheit und Sicherheit dienen. Die Verordnung legt zudem fest, dass ein Genehmigungsverfahren für das Repowering von WEA nicht länger als sechs Monate dauern darf.

Interessant für das Projekt ist Artikel 6 der EU-NotfallVO. Denn hiernach können Mitgliedsstaaten beim Ausbau Erneuerbarer Energien festlegen, dass auf der Genehmigungsebene die artenschutzrechtliche Prüfung und die Umweltverträglichkeitsprüfung für Vorhaben in Windenergiegebieten entfallen, soweit bei der Planaufstellung eine SUP durchgeführt wurde. Dies könnte ein Hinweis darauf

sein, dass zukünftig der Beachtung des Artenschutzes auf Ebene der Flächenausweisung eine größere Bedeutung zukommt. Folglich erscheint der Populationsschutz – und in diesem Zuge der Schwerpunkträume-Ansatz – als Möglichkeit im Rahmen des Artenschutzes. Im Rahmen der Novelle des Raumordnungsgesetzes⁸ erfolgte auch eine Umsetzung der Regelung des Art. 6 der NotfallVO in nationales Recht. Hierzu wurde das WindBG durch einen neuen § 6 WindBG erweitert.

Die artenschutzrechtlichen Verbote aus § 44 BNatSchG erfahren bei der Flächenausweisung auf Regionalplanungsebene keine direkte Anwendung. Gleichzeitig darf keine Planung erfolgen, die Flächen ausweist, auf welchen sich anschließend Windenergievorhaben nicht durchsetzen können. Eine gewisse Betrachtung des Artenschutzes muss folglich auch auf Planungsebene stattfinden, hierbei ist auch eine Planung unter der Voraussetzung des Ergreifens von Schutzmaßnahmen oder der Ausnahmeerteilung zulässig. Dennoch war es bisher möglich, dass – trotz fachlicher Überprüfung bei der Planaufstellung – Vorhaben letztendlich aufgrund des Artenschutzes nicht umgesetzt werden konnten. Im Rahmen von Verfahren nach § 6 WindBG ist dies jedoch bis zum 30. Juni 2024 nicht möglich, da aufgrund der Regelung lediglich eine modifizierte artenschutzrechtliche Prüfung stattfindet, die in der Anordnung von Minderungsmaßnahmen und/oder einer Zahlung in nationale Artenhilfsprogramme mündet.

Für die konkrete, auf die Vorhabenfläche bezogene avifaunistische und fledermauskundliche Untersuchung und artenschutzrechtliche Bewertung wurde bisher im Rahmen der regionalplanerischen Flächenausweisung auf das Genehmigungsverfahren verwiesen. Diese vertiefte Untersuchung und Bewertung gehörte bisher nicht auf die Ebene der Regionalplanung (siehe hierzu z. B. VGH Kassel, Urteil vom 10.05.2012 – 4 C 841/11.N, Rn. 42⁹). Der Wegfall der artenschutzrechtlichen Prüfung auf der Genehmigungsebene im Rahmen des § 6 WindBG-Verfahrens stärkt jedoch die Notwendigkeit einer qualifizierten Beachtung artenschutzfachlicher Belange auf der übergeordneten Planungsebene. Der Ansatz zur Identifikation von Schwerpunkträumen/Dichtezentren anhand eines fachlich abgesicherten Konzepts ist eine Basis, auf der konfliktarme Standorte für die Windenergie bestimmt werden können.

7 Siehe hierzu Pressemitteilung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz vom 16.06.2023, <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilung/2023/06/20230616-neue-eu-richtlinie-fuer-erneuerbare-energien-angenommen.html>.

8 Siehe hierzu Beschlussempfehlung und Bericht des Ausschusses für Wohnen, Stadtentwicklung, Bauwesen und Kommunen vom 1.3.23 zum Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Raumordnungsverfahrens und anderer Vorschriften, BT-Drs. 20/5830.

9 VGH Kassel, Urteil vom 10.05.2012 – 4 C 841/11.N, Rn. 42.

2 Schwerpunkträume in der Windenergieplanung – Stand von Forschung und Praxis

Mehrere Bundesländer und eine Region haben in Deutschland den Ansatz der Ausweisung von Dichtezentren oder Schwerpunkträumen auf der Planungsebene gewählt. Dies erfolgte mit Ausnahme von Schleswig-Holstein (Seeadler) und Brandenburg (störungsempfindliche Brut- beziehungsweise Zugvogelarten) immer für den Rotmilan und teils für weitere Vogel- und Fledermausarten (Tabelle 1), bis zur Berücksichtigung von Vogelzuglinien, wie es in Mecklenburg-Vorpommern der Fall ist. In Brandenburg wurden im Erlass zum Artenschutz Gebiete für störungsempfindliche Brut- beziehungsweise Zugvogelarten ausgewiesen. Zur Ermittlung und Abgrenzung von Schwerpunkträumen oder Dichtezentren gibt es in der Praxis grundsätzlich drei unterschiedliche Herangehensweisen (vgl. auch Wulfert und Schöne-Warnefeld 2021):

- Rasterdatenbasierte Abgrenzung aufgrund von Brutplatzhäufigkeiten,
- Kerndichte-Schätzung basierend auf Brutplatzkartierungen und
- Abgrenzung basierend auf Habitatmodellierungen.

Methodisch gesehen, verwendet jeder Ansatz Brutplätze aus Kartierungen, aber die rasterbasierte und die Kerndichteschätzung konzentrieren sich auf die Dichte der Brutplätze und potenzielle Aktivitätsradien, während das Habitatmodell sich auf gut geeignete Lebensräume und das potenzielle Schwerpunktvorkommen einer Art konzentriert. Neben den unterschiedlichen Herangehensweisen zur Ermittlung

von Schwerpunkträumen/Dichtezentren ist auch das Ziel, welches die Räume in der Planung entfalten sollen, unterschiedlich: So sollen in Thüringen in Dichtezentren bspw. die Abstandsempfehlungen auf Planungsebene eingehalten werden (TLUG 2015), außerhalb der Dichtezentren wird dies auf die Genehmigungsebene abgeschichtet. Im Saarland sind vertiefende Untersuchungen im Dichtezentrum durchzuführen (SVHRS und LUA SL 2013). Einen ähnlichen Ansatz verfolgt Nordrhein-Westfalen mit dem Hinweis, dass die Schwerpunktvorkommen lediglich als Hilfestellungen für artenschutzrechtliche Fragestellungen bei Planung und Bau von WEA dienen und in diesen mit artenschutzrechtlichen Konflikten zu rechnen ist (LANUV 2019). In Sachsen-Anhalt ist dagegen eine Umsetzung neuer WEA in Dichtezentren praktisch ausgeschlossen (die Formulierung „...von weiteren Windenergieanlagen freizuhalten“ könnte ein Repowering nicht grundsätzlich ausschließen) (MULE ST 2018). Diese drei Ansätze zur Ausweisung und Verbindlichkeit von Schwerpunkträumen/Dichtezentren in den Bundesländern zeigen, dass vielfältige Unterschiede im Detail existieren. Diese resultieren aus unterschiedlichen fachlichen und politischen Abwägungs- und Aushandlungsprozessen, welche wichtig für das Verständnis und die Einordnung der Ansätze sind. Eine umfassende Übersicht über die Ansätze zu Dichtezentren/Schwerpunkträumen in den Bundesländern liefern (Wulfert 2021; Wulfert und Schöne-Warnefeld 2021). Die folgenden Kapitel 2.1.–2.4 fassen die methodischen Ansätze zusammen und beleuchten deren Vor- und Nachteile.

Tabelle 1 Definition von Dichtezentren in den Ländern und der Region Westmecklenburg

LAND, REGION	ARTEN	QUELLE	METHODISCHER ANSATZ (nach Wulfert und Schöne-Warnefeld 2021, aktualisiert)
Baden-Württemberg	Baumfalke, Rotmilan, Schwarzmilan, Wanderfalke, Weißstorch, Wespenbussard, Wiedehopf, Alpensegler, Flusseeeschwalbe, Graureiher, Lachmöwe, sowie 10 Fledermausarten	LUBW (2022b)	Kerndichte-Schätzung
Bayern	Rotmilan, Schwarzstorch	LfU BY (2021)	Rasterdatenbasierte Abgrenzung
Brandenburg	Wiesenbrüter, Wiesenweihe, Großtrappe, Auerhuhn, Rastgebiete von Kranich, Gänsen, Singschwan, Zwergschwan, Wasservögeln	MLUK (2023)	Eigenständige Methode
Hessen	Rotmilan, Schwarzstorch, sowie ausgewählte Fledermausarten	HMUELV und HMWVL (2012); PNL (2012)	Rasterdatenbasierte Abgrenzung
Nordrhein-Westfalen	Brutvögel: Brachvogel, Grauammer, Rohrweihe, Rotmilan, Schwarzstorch, Wachtelkönig, Weißstorch, Wiesenweihe Zugvögel: Goldregenpfeifer, Kranich, Mornellregenpfeifer, Sing- und Zwergschwan, nordische Gänse	LANUV NRW (2019)	Eigenständige Methode
Saarland	Rotmilan	SVHRS und LUA SL (2013)	Eigenständige Methode
Sachsen-Anhalt	Rotmilan	Nagel et al. (2019); MULE ST (2018)	Kerndichte-Schätzung
Schleswig-Holstein	Seeadler	MELUR und LLUR (2016); MILIG (2020)	Eigenständige Methode
Thüringen	Rotmilan, Schwarzstorch, Rohrweihe, Schwarzmilan, Baumfalke, Wanderfalke, Wachtelkönig, Uhu	TLUG (2015)	Kerndichte-Schätzung
Region Westmecklenburg	Rotmilan	UmweltPlan (2017)	Habitatmodellierung

2.1 Rasterbasierte Ansätze

Der rasterbasierte Ansatz bezieht sich auf kartographische Messtischblätter (MTB = 135 km²) oder Messtischblatt-Quadranten (MTBQ = 33 km²). Ein Dichtezentrum liegt dann vor, wenn ein bestimmter Schwellenwert von Brutpaaren innerhalb einer Rasterzelle erreicht wird. Zum Beispiel ist ein Dichtezentrum in Bayern dann anzunehmen, wenn mindestens acht Rotmilan Brutpaare oder mindestens zwei Schwarzstorch Brutpaare in einem MTB vorkommen. Die Windenergie wird in dem Fall nicht ausgeschlossen, es muss aber im Einzelfall geprüft werden, „ob und warum die

damit verbundenen Auswirkungen auf Natur und Landschaft in der Gesamtabwägung der widerstreitenden Belange vertretbar sind“ (LfU BY 2017). Obwohl diese großen Rasterzellen ein weites Gebiet und damit potenziell mehr Brutpaare und andere relevante Vogelarten abdecken können, kann ihre Genauigkeit aufgrund ihrer Größe und der Abhängigkeit von aktuellen Kartierungen unzureichend ausfallen (Wegner 2021).

2.2 Ansätze basierend auf Kerndichte-Schätzung

Mit der Kerndichte-Schätzung (*Kernel Density Estimation*) wird das Wahrscheinlichkeitsmaß des Vorkommens der entsprechenden Zielarten auf Basis bestehender Kartierergebnisse visualisiert (Mammen et al. 2014). Die Kerndichte-Schätzung wurde zum ersten Mal von Silverman (1986) als Kernel-Funktion vorgestellt und beschreibt ein statistisches Verfahren, um die Brutplätze in kreisförmige Nachbarschaftsbeziehungen innerhalb eines vordefinierten Suchraums (Radius um den Brutplatz, oder Kernspanne) zu setzen. Je mehr Fundpunkte in enger Nachbarschaft liegen, desto höher ist die berechnete Kerndichte (LUBW 2022b; Nagel et al. 2019).

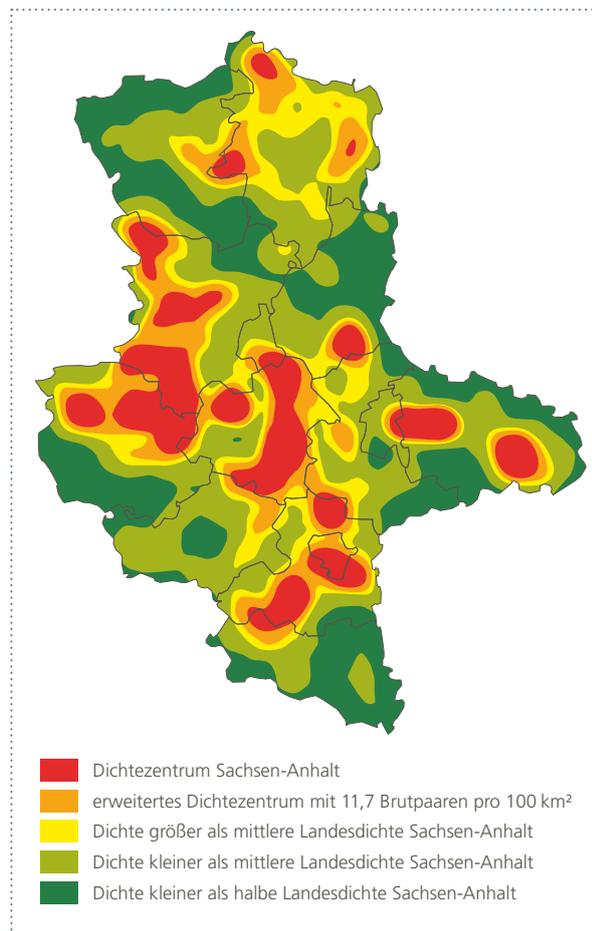


Abbildung 1 Rotmilan Dichtezentren basierend auf dem Schwellenwert 14,7 Brutpaare pro 100 km² im Land Sachsen-Anhalt (nach Nagel et al. 2019)

Dieser Ansatz wird zum Beispiel zur Ermittlung und Abgrenzung möglicher Dichtezentren für den Rotmilan in Sachsen-Anhalt verwendet (Nagel et al. 2019). Anstatt Messtischblätter (Topographische Karte 1:25.000) oder die Messtischblattquadranten zu verwenden, wie es derzeit in manchen Bundesländern der Fall ist (Wulfert 2021), haben Nagel et al. (2019) stattdessen die genaue Lage der Brutplätze aus landesweiten Kartierungen, die zwischen 2011 und 2013 durchgeführt wurden, verwendet.

Um Dichtezentren zu identifizieren, wurde um die Brutplätze die Fläche im Radius von 10 km um den Horststandort berücksichtigt (Nagel et al. 2019; Silverman 1986). Dieser ausgedehnte Radius basiert auf einer Telemetry-Studie, die darauf hindeutet, dass 95 % der Aktivitäten des Rotmilans innerhalb von 10 km um den jeweiligen Brutplatz liegen (Hötter et al. 2013; Nachtigall et al. 2003; Nagel et al. 2019). Mit einer quadratischen Kernel-Funktion wird eine glockenartige Kurve erstellt, um die Aufenthaltswahrscheinlichkeit zu simulieren (Nagel et al. 2019). Der Brutplatz stellt dabei den höchsten und der Randbereich den niedrigsten Aktivitätsbereich dar. Durch die Anwendung der Kerndichte-Schätzung entsteht eine *heatmap*, aus der mit spezifischen Schwellenwerten Dichtezentren ermittelt werden können. Für Sachsen-Anhalt wurde ein Schwellenwert von 14,7 Brutpaaren pro 100 km² angenommen, wodurch 14 % der Landesfläche Sachsens-Anhalts als Dichtezentrum für den Rotmilan gelten (vgl. Abbildung 1). Dies entspricht ungefähr 33 % des landesweiten Rotmilan Bestandes (ebd.). Die Autoren gehen davon aus, dass bei der Anwendung dieses Ansatzes mögliche Bestandsverschiebungen und Änderungen der Nistplätze in der Zukunft keine signifikante Veränderung der Ergebnisse bewirken würden (ebd.).

Eine weitere Anwendung der Kerndichte-Schätzung wurde von Lachmann (2021) durchgeführt. Hier wurden für insgesamt 12 Vogelarten, die aus den beiden höchsten Kategorien der Mortalitätsgefährdungsindizes von Bernotat und Dierschke (2016) gewählt wurden, mit unterschiedlichen Radien verschiedene Dichtezentren-Optionen dargestellt, welche auf Landes- oder Bundesebene angewendet werden können (Lachmann 2021). Ziel dieses Ansatzes ist es, einen bestimmten Prozentanteil der Population der

Zielarten durch die Kombination von Dichtezentren und Vogelschutzgebieten (VSG) gegen Auswirkungen von WEA abzusichern (vgl. Tabelle 2).

Die Kartierung für den Atlas Deutscher Brutvogelarten (ADEBAR) des Dachverbands Deutscher Avifaunisten (DDA) von 2005–2009 diente als Datengrundlage für das Vorkommen der zwölf Vogelarten (Lachmann 2021). In der ADEBAR Kartierung wird die Anzahl der Individuen einer Art in Rasterzellen mit einer Größe von 10 x 10 km wiedergegeben (Gedeon et al. 2014). Da aber die Kerndichte-Schätzung Punktdaten benötigt, wurde die Individuenanzahl der vorkommenden Arten pro Rasterzelle in Punkte umgewandelt und zufällig wieder in der dazugehörigen Rasterzelle als „Neststandorte“ platziert (Lachmann 2021). Da die Methode in der Quelle nicht ausführlich beschrieben wurde und keine assoziierte ausführliche Veröffentlichung vorliegt, bleibt es unklar in welchen Räumen diese Punkte verteilt wurden.

Von den Punktedaten ausgehend wurde dann mit den Schutzabständen des Helgoländer-Papiers die Kerndichte-Schätzung angewandt und danach variiert, um zu zeigen, dass mit kleineren Radien viele, kleinere Dichtezentren

entstehen, während bei Verwendung größerer Radien weniger, aber dafür größere Dichtezentren entstehen. Dies führt bei großen Radien auch dazu, dass neben den genutzten Habitaten auch umliegendes, eventuell unbesiedeltes Land integriert wird, womit den Arten ein Ausbreitungspotenzial ermöglicht würde (ebd.). Ohne einen Bezug zur darunter liegenden Landnutzung könnten jedoch auch ungeeignete Flächen in die Dichtezentren mit einbezogen werden. Dies könnte bei entsprechender Ausweisung als Ausschlussfläche für die Windenergie zum Verlust von potenziell geeigneten Flächen für die Windenergie führen. Allerdings betont auch Lachmann (2021), dass Dichtezentren „stabiler“ als Einzelvorkommen seien, da sie mögliche Horstwechsel miteinschließen können und schon vor der Genehmigung einzelnen Anlagen „planerisch abbildbar“ sind.

Anwendung findet der Ansatz der Kerndichte-Schätzung auch im Fachbeitrag „Artenschutz für die Regionalplanung Windkraft“ (LUBW 2022b) für das Land Baden-Württemberg. Hervorzuheben ist hier die klare Herleitung der „Orientierungswerte“, um die Abgrenzung der von der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) als Schwerpunkt vorkommen (SPV) bezeichneten Bereiche fachlich zu untermauern (ebd.). Diese Werte wurden im

Tabelle 2 Flächen- und Brutpaar-Zielwerte für die bundesweite Kerndichte-Schätzung für 12 Vogelarten

	ANTEIL DZ AN GESAMTFLÄCHE VON D	ZIELWERT ANTEIL BP IN DZ UND VSG	ANTEIL BP IN DZ + VSG	ANTEIL BP IN DZ + VSG (VSG-Anteil aus VRL-Bericht)
Kornweihe	0,3 %	100 %	100 %	100 %
Steinadler	0,4 %	90 %	76,5 %	89,3 %
Schreiadler	1,0 %	90 %	81,0 %	100 %
Wiesenweihe	2,1 %	80 %	61,0 %	97,3 %
Fischadler	3,3 %	80 %	72,5 %	86,7 %
Schwarzstorch	12,5 %	80 %	77,3 %	85,4 %
Seeadler	6,0 %	80 %	76,4 %	82,5 %
Uferschnepfe	0,5 %	70 %	54,9 %	76,0 %
Großer Brachvogel	0,6 %	60 %	29,9 %	67,4 %
Wespenbussard	10,3 %	50 %	46,2 %	52,3 %
Weißstorch	3,8 %	50 %	42,2 %	48,6 %
Rotmilan	7,7 %	40 %	37,1 %	41,0 %
Gesamt	37,4 %			

BP = Brutpaare, DZ = Dichtezentren, VSG = Vogelschutzgebiete, VRL-Bericht = Bericht nach Vogelschutzrichtlinie (Lachmann 2021)

ersten Schritt in Form eines artspezifischen Prozentsatzes der Population, welcher durch die SPV überdeckt werden soll, anhand von sechs Abwägungskriterien festgelegt. Danach wurden die SPV mit Hilfe der Kerndichte identifiziert und im zweiten Schritt räumlich überlagert und nach ihrer Wertigkeit kategorisiert. Die Suchradien richten sich dabei nach der Auflösung der Fundpunkte (Raster- oder Punktdaten) (ebd.).

Mit Verweis auf die neue Rechtslage des BNatSchG wurden die Orientierungswerte angepasst, da eine Beschränkung „auf die räumliche Verortung der Quellpopulation von hohem und sehr hohem naturschutzfachlichem Wert (Kategorie A und B) [...]“ (LUBW 2022b, 16) erfolgte und neben dem Schutz der Quellpopulation nach neuem Orientierungswert weitere Teile einer Art durch Synergieeffekte bei der Überlagerung von SPV verschiedener Arten geschützt werden (vgl. Tabelle 3).

Neben dem hier skizzierten Vorgehen zur Anwendung der Kerndichte-Schätzung, welche für sechs Vogelarten (Rotmilan, Schwarzmilan, Wanderfalke, Wespenbussard, Baumfalke und Weißstorch) erfolgte, berücksichtigt der Fachbeitrag „Artenschutz für die Regionalplanung Windkraft“ noch weitere Arten, wie wichtige Koloniebrüter oder die Quartiere bestimmter Fledermaus-Arten, um den Artenschutz bei „der Ausweisung der Vorranggebiete für die Windenergie sach- und ebenengerecht zu berücksichtigen“ (ebd., 20). Dabei greift die LUBW auf die „bestverfügbaren“ Daten mit Stand vom Anfang April 2022 zurück, welche neben landesweiten Daten auch nicht landesweit vorliegende Teildatensätze externer Expertinnen und Experten enthalten. Die Auflösung der Daten reicht von Punktdaten über verschiedene Flächendaten, bei denen dann eine Verortung von Zufallspunkten in geeigneten Habitaten erfolgte (ebd.).

Tabelle 3 Zusammenstellung der Orientierungswerte Stufe 1 und 2 (LUBW 2022b)

ART	ORIENTIERUNGSWERT (STUFE 1)	ORIENTIERUNGSWERT (STUFE 2)	HÖCHSTE SIEDLUNGSDICHTE A UND B	ZUSÄTZLICHER POPULATIONSAnteil AUFGRUND ÜBERLAGERUNG SPV
Rotmilan	40 %	25 %–30 %	Max. ca. 25 %	0 %–5 %
Schwarzmilan	50 %	35 %–40 %	Max. ca. 25 %	10 %–15 %
Baumfalke	50 %	30 %–35 %	Max. ca. 12,5 %	17,5 %–22,5 %
Wanderfalke	50 %	20 %–25 %	Max. ca. 12,5 %	7,5 %–12,5 %
Weißstorch	50 %	45 %–50 %	Max. ca. 25 %	20 %–25 %
Wespenbussard	50 %	25 %–30 %	Max. ca. 12,5 %	12,5 %–17,5 %
Wiedehopf	100 %	~ 100 %	Max. ca. 100 %	irrelevant
KOLONIEBRÜTER				
Alpensiegler	Große Brutkolonien (mehr als 1 % des Landesbestands)	+/- unverändert bis nicht bilanzierbar +/- unverändert bis nicht bilanzierbar		
Lachmöwe	Alle Brutkolonien	+/- unverändert bis nicht bilanzierbar		
Graureiher	Große Brutkolonien (mehr als 1 % des Landesbestands)	+/- unverändert bis nicht bilanzierbar		
Flussseeschwalbe	Alle Brutkolonien	+/- unverändert bis nicht bilanzierbar		

2.3 Ansätze basierend auf Habitatmodellierungen

Als dritter möglicher Ansatz zum Identifizieren von Schwerpunkträumen windenergiesensibler Vogelarten können in der Praxis auch Habitatmodelle genutzt werden. Die Habitatmodellierung basiert auf der Nischentheorie von Hutchinson (1957), die besagt, dass eine Art nur überleben kann, wenn sowohl abiotische Umweltbedingungen als auch die vorherrschenden biotischen Interaktionen ein positives Populationswachstum zulassen (Soberón 2007 in Zurell 2020).

Durch die Auswertung verschiedener Habitatparameter (z. B. Verfügbarkeit bestimmter Strukturen, klimatische Parameter etc.), die an bekannten Vorkommen oder Nicht-Vorkommen bestimmter Zielarten vorherrschen, kann die Habitateignung auch für Bereiche vorhergesagt werden, in denen keine Informationen zur tatsächlichen Verbreitung der Zielart vorliegen (vgl. schematischer Ablauf in Abbildung 2). Eine häufig genutzte Auswertungsmethode stellen generalisierte lineare Modelle dar. Eine ausführliche Erläuterung ist in Kapitel 3 enthalten.

Statistische Modelle zur Vorhersage der räumlichen Verteilung von Arten finden seit über zwei Jahrzehnten in vielen Teilbereichen der Ökologie Anwendung. So sind Habitatmodelle seit Anfang der 2000er Jahre zu einem unver-

zichtbaren Teil ökologischer, naturschutzbiologischer und biogeografischer Forschung geworden (Dormann 2004). Durch die zunehmende Verfügbarkeit und Qualität räumlicher Daten nimmt ihre Bedeutung weiterhin zu, regelmäßig werden neue Erkenntnisse und Verbesserungen der Methoden publiziert (Zurell 2020; Northrup et al. 2022; Townsend Peterson et al. 2022). Auch im Kontext der Bewertung des Einflusses von Windenergie auf Vogelarten finden Habitatmodellierungen zunehmend Beachtung (Heuck et al. 2019a; Katzenberger 2020; Smeraldo et al. 2020).

Ein einfaches Beispiel für räumlich explizite Modelle ist die Habitatanalyse mit Hilfe eines Geoinformationssystems (GIS) zum Identifizieren von Schwerpunkträumen für den Rotmilan in der Region Westmecklenburg, die 2018 vom Regionalen Planungsverband Westmecklenburg im Zusammenhang mit der Erstellung des Regionalen Raumentwicklungsprogramms entwickelt wurde (UmweltPlan 2018). Die Raumanalyse innerhalb eines 2 km Puffers um die Brutplätze deckte sich mit den Ergebnissen einer zuvor durchgeführten Literaturrecherche zur Lebensraumeignung für den Rotmilan und stellt Grünland und Ackerflächen, die von Wäldern und Gehölzen umrandet sind, als Hauptmerkmal geeigneter Habitate dar (ebd.). Zur Identifizierung von Habitateignung

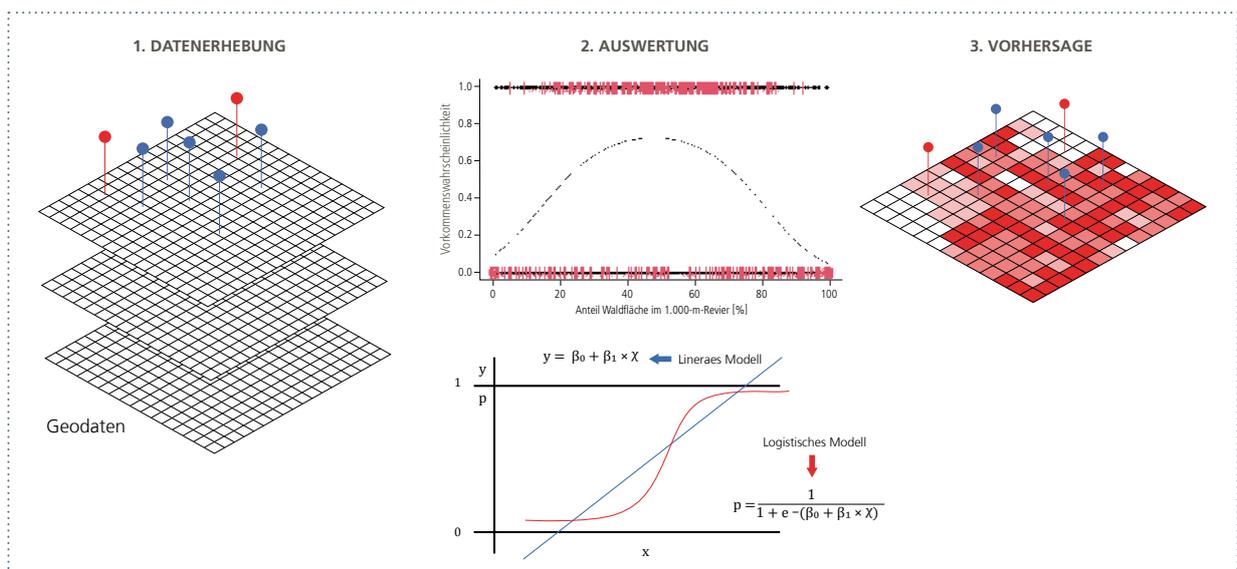


Abbildung 2 Schematischer Ablauf einer Habitatmodellierung (nach Zurell und Engler 2019)

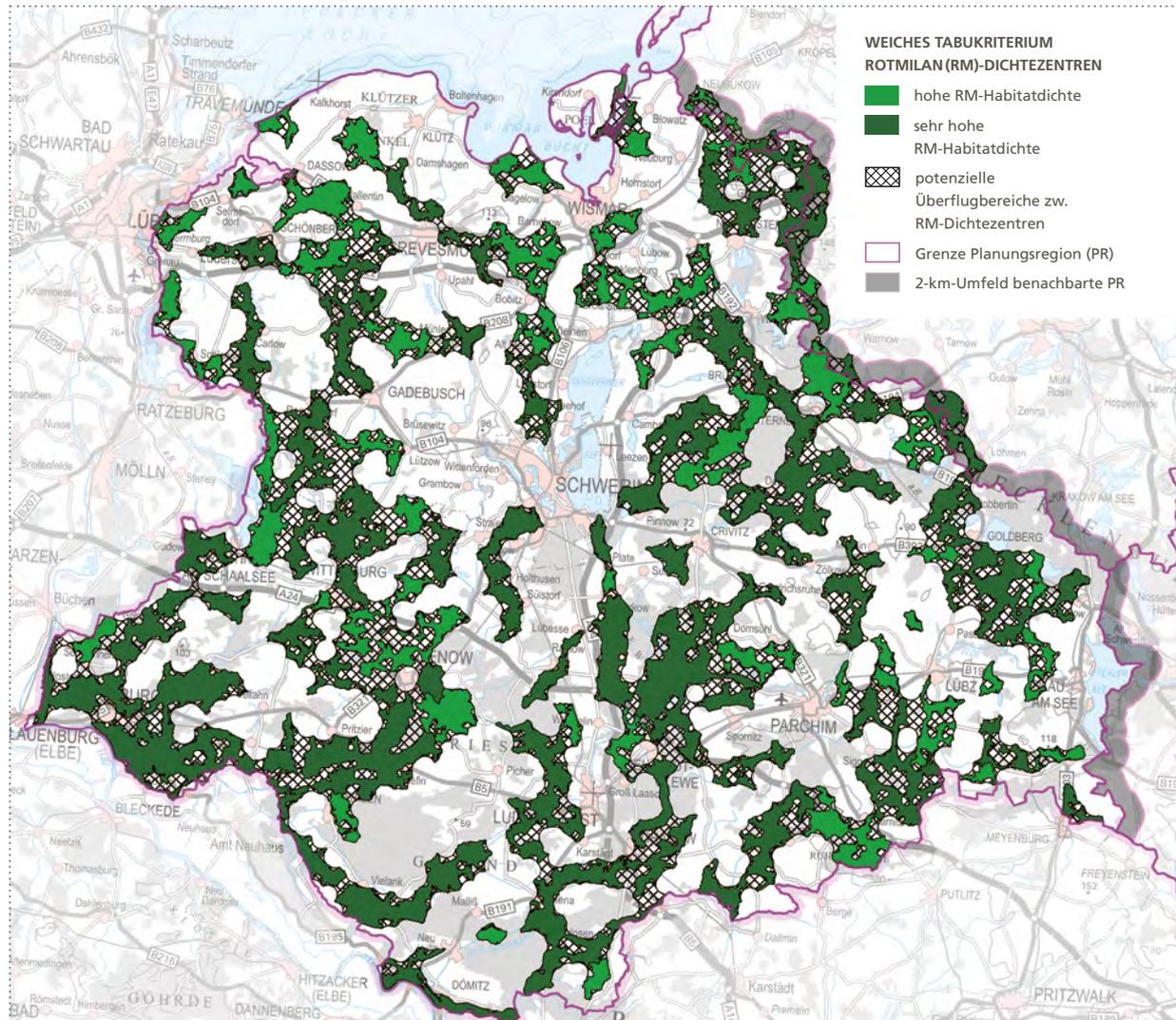


Abbildung 3 Empfohlene weiche Tabuflächen für Windeignungsgebiete nach Habitatdichte und Überflugbereichen für den Rotmilan in der Region Westmecklenburg (UmweltPlan 2018)

und somit Schwerpunkträumen wurden letztlich Grünlandbereiche und angrenzende Landnutzungen wie Siedlungen, Seen und Wald in der weiteren Analyse berücksichtigt und innerhalb von vier Zonen mit einem Punktesystem klassifiziert, um Größe und Bedeutsamkeit zu unterscheiden (ebd.).

Im nächsten Schritt wurden Dichtezentren über die gesamte Region ermittelt, indem die Größe und Dichte der Grünlandflächen in vier Habitat-Dichte-Klassen eingeteilt wurden. Die anderen Habitat-relevanten Landnutzungen werden an dieser Stelle weggelassen, da Grünland

laut dieser Studie die wichtigste Rolle bei der Habitatspielung (UmweltPlan 2018). Weiterhin legt die Analyse nahe, dass – basierend auf Gottschalk (2014) – ein Brutpaar durchschnittlich 50 Hektar Grünland benötigt, was die Annahme zulässt, dass 76,5 % der Horststandorte in der Kategorie der hohen bis sehr hohen Habitatdichte zu finden sind (Gottschalk 2014; UmweltPlan 2018). Diese beiden Habitat-Dichtebereiche sollten daher als Dichtezentren übernommen werden, die als weiche Tabu-Bereiche für den Windenergieausbau fungieren (Abbildung 3). Um

potenzielle Überfluggebiete einzubeziehen, liegt zwischen diesen beiden Kategorien ein Netz oder Schraffuren von 1.500m, die bei der Planung von Windparks berücksichtigt werden könnten, aber im Einzelfall bewertet werden müssen, um den Ausbau der Windenergie nicht einzuschränken (UmweltPlan 2018).

Um die Beziehung zwischen mehreren Umweltvariablen und Präsenzdaten der Zielarten gleichzeitig zu berücksichtigen und statistisch zu validieren, baute Katzenberger (2019) auf den Ansatz von Heuck et al. (2013) auf, welcher mit einer Habitatmodellierung die bundesweiten Verbreitungspotenziale des Rotmilans erfasste. Für die Modellierung wurde ein generalisiertes lineares gemischtes Modell (GLMM) mit einer binominalen Fehlerverteilung (*logit-Linkfunktion*) verwendet. Zusätzlich wurde die räumliche Korrelation der Verbreitungsdaten berücksichtigt, indem ein hierarchisches Modell zum Einsatz kam, welches anhand von zufälligen Effekten, die Autokorrelation der Daten ableitet und dadurch ermöglicht, potenzielle Fehler der Modellparameterschätzungen zu korrigieren.

Räumliche Korrelation der Verbreitungsdaten kann natürlicherweise auftreten und durch eingeschränkte Ausbreitungsmöglichkeiten der Art bedingt sein, was zu einem geklumpten Vorkommen führen kann. Es kann auch ein Hinweis auf besonders geeignete Habitatbedingungen sein, die ein entsprechendes verstärktes Vorkommen begünstigen. Im Fall von hochmobilen Greifvögeln, kann räumliche Korrelation in den Modell-Residuen vor allem durch überproportionale Erfassungen einzelner Bereiche des Untersuchungsgebiets begründet sein.

Ziel der Studie war es, die wichtigsten Umweltvariablen für den Rotmilan zu identifizieren, um daraus die Merkmale eines geeigneten Habitats und die potenzielle Verbreitung von geeigneten und weniger geeigneten Habitaten sowie den Schwerpunktorkommen festzustellen (Katzenberger 2019).

Insgesamt stellte Katzenberger (2019) mit seinem Modell fest, dass 14,7 % der bundesweiten Flächen als geeignetes Habitat für den Rotmilan in Frage kommen können. Dabei waren in der Analyse die bestimmenden nichtlinearen Umweltfaktoren der Anteil an Grün- und Ackerland (ebd.). Die Studie zeigte zudem eine stärkere Bedeutung dieser Flächen, wenn sie mit der Randliniendichte von Hecken und Gehölzen, die ebenfalls ein starker nichtlinearer Faktor für das Vorkommen von Rotmilanen waren, interagierten (ebd.). Weitere positive Zusammenhänge konnten Schutzgebiete und Gebiete mit höherer Bodeneignung für Kleinsäuger im Zusammenhang mit der Randliniendichte bieten, wie auch solche Siedlungsgebiete, die mit höheren Anteilen von Grün- und Ackerland interagieren und ein geringes Verkehrsnetzwerk aufweisen (ebd.).

Als weniger bestimmende Faktoren stellten sich Kleinsäuger (Bodeneignung) außerhalb der Randliniendichte, und klimatologische Effekte heraus, wobei nur die Temperatur einen deutlichen Einfluss hatte (ebd.). Negative Auswirkungen konnten mit der Dichte des Straßennetzes sowie der Anzahl landwirtschaftlicher Großvieheinheiten festgestellt werden (ebd.). Die endgültige Habitateignung und Vorkommenswahrscheinlichkeit wurden auf einer Karte mit 1 x 1 km Rasterzellen in QGIS visualisiert (Abbildung 4, Habitateignung).

Die zusätzliche Berücksichtigung der räumlichen Korrelation führt zu einer deutlichen Verbesserung der Vorhersagequalität. Dies ermöglichte eine sehr gute Übertragbarkeit der Informationen, ausgehend von den verstärkt aus einzelnen Regionen stammenden Präsenzdaten. So können verbreitungsbestimmende Faktoren besser gewichtet werden als es die eigentlichen festen Effekte der Umweltvariablen erlauben würden. Dies führt in der Arbeit von Katzenberger (2019) zu Unterschieden zwischen der Habitateignung und der Vorkommenswahrscheinlichkeit (Abbildung 4), insbesondere zur korrekten Darstellung von aktuell bestehenden Verbreitungslücken im Nordwesten sowie Südosten Deutschlands sowie den Verbreitungsschwerpunkten im Nordosten und entlang der Mittelgebirge.

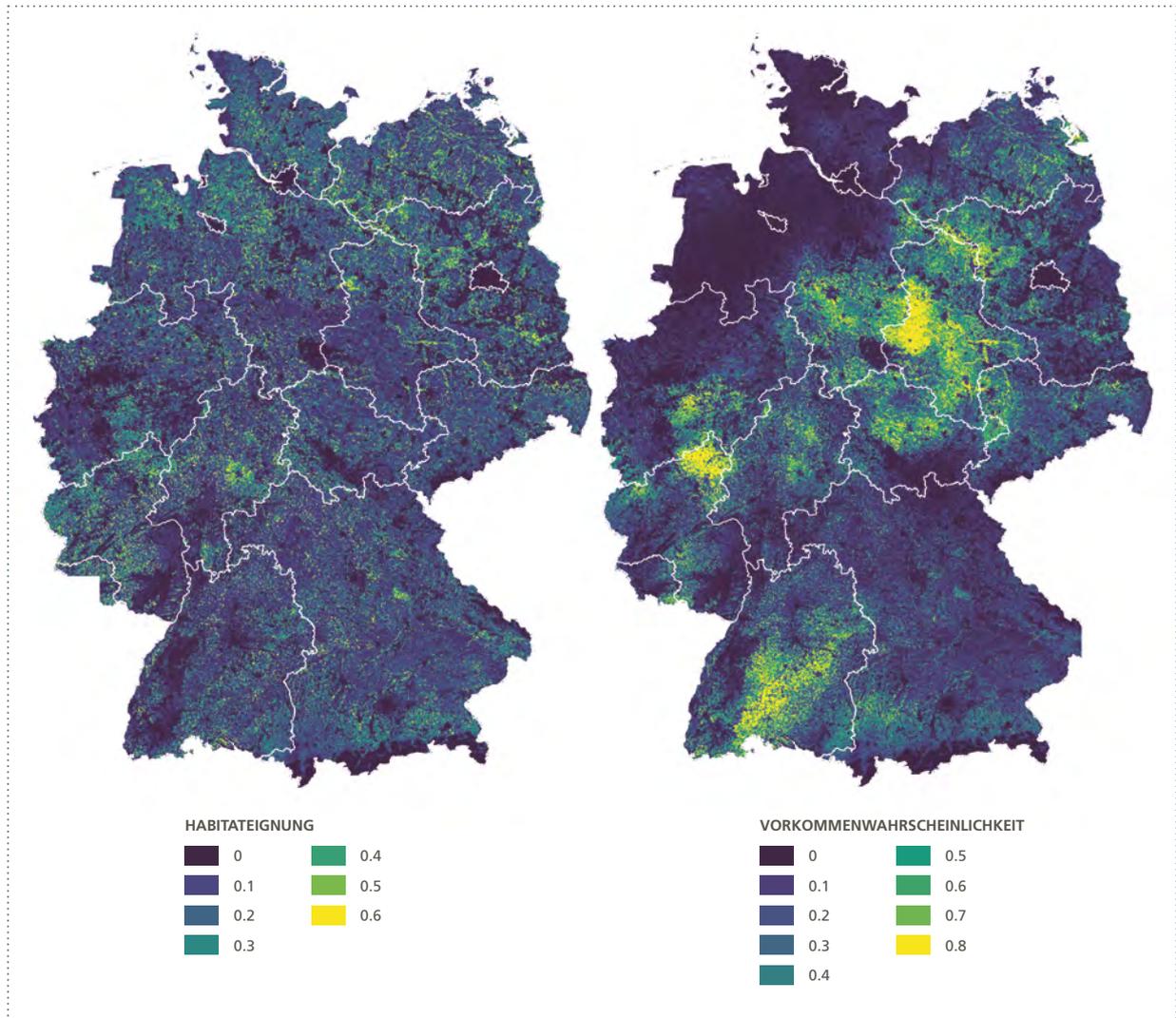


Abbildung 4 Ergebnis der bundesweiten Habitatmodellierung für den Rotmilan (links) und bundesweite Vorkommenswahrscheinlichkeit des Rotmilans (rechts) (verändert nach Katzenberger 2019); der Wert von 1 entspricht einer Habitateignung bzw. Vorkommenswahrscheinlichkeit von 100 %. Freundlicherweise bereitgestellt von Jakob Katzenberger

2.4 Schlussfolgerung zum Stand der Praxis zur Ermittlung von Schwerpunkträumen

Die dargelegten Ansätze zeigen, dass es mehrere methodische Varianten für das Identifizieren von Dichtezentren oder Schwerpunkträumen gibt. Dies bietet zwar Flexibilität, aber auch eine gewisse Uneinheitlichkeit, Unüberschaubarkeit und Komplexität der praktischen Anwendungen.

Die grundlegende Gemeinsamkeit liegt in der Verwendung von möglichst punktgenauen Brutplatzdaten, die auf Brauchbarkeit, Qualität und Aktualität geprüft werden sollten. Die daraus erhobenen Punktdaten bestimmen in allen Ansätzen die Bestandsdichte, Reichweite und geeigneten Habitate für die betrachtenden Vogelarten. Diese Merkmale sollen als Dichtezentren oder Schwerpunkträume fungieren und bei der Planung von Windenergiegebieten berücksichtigt werden. Unvollständige oder nichtverifizierbare Kartierungen könnten also zu falschen oder minderwertigen Aussagen oder Flächenausweisungen führen.

Der hauptsächliche Unterschied zwischen den Ansätzen liegt in der Verwendung von Landnutzungsdaten und der Setzung von Zielschwellenwerten. Unterschiedliche Schwellenwerte resultieren in unterschiedlich großen Flächen, die die (Quell-)Population der Zielarten schützen sollen.

Eine Habitatmodellierung zielt darauf ab, die besten Habitate von windenergiesensiblen Greifvögeln flächendeckend anhand aktueller Verbreitungsdaten der Brutplätze dieser Arten zu identifizieren. Dabei eignen sich Habitatmodelle, vor allem für die in Kapitel 3.1.1 aufgeführten Arten, um die potenzielle Verbreitung auch über die kartierten Bereiche hinaus zu beschreiben (Brotons et al. 2007). Um einen effektiven Schutz zu gewährleisten, bedarf es umfassendes Wissen über die Ökologie und verbreitungslimitierende Faktoren einer Art (Heuck et al. 2013; Katzenberger 2019).

Für einen erfolgreichen Schutz sieht die Vogelschutzrichtlinie (VRL), als eine von vier Möglichkeiten, die Ausweisung von Schutzgebieten (Art. 3 Abs. 2 Nr. 1 VRL) vor. Auch die anderen drei Schutzmaßnahmen, welche die Pflege und ökologisch korrekte Gestaltung von Lebensräumen, die Wiederherstellung zerstörter Lebensstätten und die Neuschaffung von Lebensstätten umfassen, zeigen deutlich,

dass es vor allem um geeigneten Lebensraum für die geschützten Vogelarten geht.

Der große Vorteil einer Habitatmodellierung liegt darin, dass nicht nur die aktuelle Brutplatzdichte, wie beim Ansatz von Nagel et al. (2019), berücksichtigt wird, sondern auch eine Aussage getroffen wird über gut geeignete bisher unbesiedelte Gebiete und jene, die bei Kartierungen schlechter erfasst wurden. Nagel et al. (2019) gehen davon aus, dass sich die Verteilung der Dichtezentren, wie sie in Sachsen-Anhalt ermittelt wurden, in den folgenden Jahren kaum ändern wird. Diese Annahme kann durch eine Habitatmodellierung noch gestärkt werden, da ein Bezug zu den Flächen, welche hinter der Brutplatzverteilung liegen, hergestellt wird und durch einen effektiven Schutz der besten Habitate davon ausgegangen werden kann, dass diese auch in Zukunft besiedelt werden (Scherler 2020). Ein gutes Habitat für Greifvögel wird im allgemeinen von zwei wesentlichen Faktoren geprägt: Es muss genügend Nahrung, sowie einen geeigneten Nistplatz zur Verfügung stellen (Hundorf et al. 2019; DVL 2020; Bischofberger et al. 2019; Wiens et al. 2017). Mit diesen beiden Faktoren kann nach Art. 4 Abs. 1 VRL „[...] das Überleben und die Vermehrung der geschützten Arten in ihrem Verbreitungsgebiet“ gewährleistet werden (BUND und NABU 2006). Von diesen beiden Faktoren ist somit der Bruterfolg der betreffenden Art abhängig. Ein guter Lebensraum zeichnet sich durch eine hohe Brutdichte aus (Pfeiffer und Meyburg 2015). Dies wird durch die Rückkehr von jungen Rotmilanen in die nähere Umgebung von Gebieten mit hohem Bruterfolg bestätigt (Scherler 2020). Bischofberger et al. (2019) haben ähnliche Erkenntnisse gemacht, indem sie festgestellt haben, dass bei schlechter Nahrungsverfügbarkeit der Aktionsradius der Tiere steigt, um den Bruterfolg zu sichern. Ein schlechtes Habitat, welches wenig Nahrung bietet, führt also zu einer Ausdehnung des Lebensraums und somit zu einer geringeren Brutdichte.

Schwerpunkträume, die auf der Grundlage einer Habitatmodellierung geeignete Lebensräume ausweisen, sind demzufolge eine wichtige Maßnahme, um den Windenergieausbau auf großer Skala zu steuern. Die

Schwerpunkträume können dann vor gravierenden Veränderungen und Störungen geschützt werden. Durch eine entsprechende Einstufung auf Basis der Habitatmodellierung (vgl. Kapitel 3.1.8) könnten somit die besten und flächenmäßig größten Habitate unter Schutz gestellt werden, wie es auch in Art. 4 Abs. 1 VRL gefordert wird. Diese Gebiete haben nach Wiens et al. (2017) eine wichtige Bedeutung für die Stabilisierung von umliegenden lokalen Populationen durch das Abwandern von nicht brütenden Individuen. Dies wurde für einzelne Vogelarten bereits vertiefter untersucht. Beispielsweise identifizierten Modellierungen von Steinadlerpopulationen den Verlust adulter, regelmäßig brütender Paare als einen der stärksten Faktoren für einen langfristigen Rückgang der Population (Wiens et al. 2017). Laut Pfeiffer und Schaub (2023) stellt die Produktivität von Rotmilan-Populationen (Anzahl flügender Jungtiere) den wichtigsten Faktor für Wachstum dar. Die Produktivität ist dabei stark von der Nahrungsverfügbarkeit abhängig. Diese Faktoren sind nach den oben beschriebenen Zusammenhängen am wahrscheinlichsten in den besten Gebieten auf Grundlage der Habitatmodellierung in positiver Weise zu finden.

Neben dem direktem Flächenschutz ermöglicht eine Habitatmodellierung durch die flächendeckende Einstufung der Habitat-Eignung gleichzeitig weitere Bereiche zu identifizieren, welche sich für die Anwendung von Artenhilfsprogrammen besonders gut eignen. In diesen Gebieten können geeignete Pflege- bzw. Management-Maßnahmen räumlich gezielt umgesetzt werden, um den günstigen Erhaltungszustand der betreffenden Arten zu sichern. Entsprechende Maßnahmen sind zum Beispiel durch den DVL (2020) im Leitfaden zum Rotmilan beschrieben, womit eine weitere Möglichkeit für effektiven Schutz nach der VRL umgesetzt werden könnte. Die Effektivität von Schutzmaßnahmen in gestörten bzw. nicht optimalen Gebieten zeigte sich auch in den Populationsmodellen zum Steinadler von Wiens et al. (2017). Ein Vorgehen, welches auch in weiteren Teilen der Welt Anwendung findet, wie z. B. in Südamerika zum Schutz der Harpyie¹⁰. Miranda et al. (2019) nutzen eine Habitatmodellierung, um über das aktuelle Verbreitungsgebiet des stark gefährdeten Greifvogels hinaus geeignete Lebensräume für Auswilderungsprojekte zu finden.

Eine Habitatmodellierung bietet mit vergleichsweise geringem Aufwand Ergebnisse für große Bereiche (Wulfert et al. 2022) und kann durch langfristige Ausweisung der wichtigsten Räume vermutlich zur Planungssicherheit beitragen. Die Vorteile sowie gewisse Einschränkungen sind bekannt. Für eine starke Aussagekraft von Habitatmodellierungen sind ebenfalls gute Datenerhebungen nötig, welche wiederum mit erhöhtem Aufwand verbunden sind. Allerdings kann eine transparente Modellierung zur besseren Implementierung von Schutzstrategien in die Planung beitragen (Wiens et al. 2017) und bietet die Möglichkeit zur bundesweit einheitlichen Anwendung.

Auswahl der Untersuchungsgebiete

Um die Habitatmodellierung und die daraus abgeleiteten Schwerpunkträume als Ansatz zum Artenschutz für die Windenergieplanung an einem konkreten Raum testen zu können, wurden die Bundesländer Brandenburg und Baden-Württemberg für die Fallstudien als Untersuchungsgebiete ausgewählt.

Diese beiden Länder eignen sich aus verschiedenen Gründen sehr gut für die Erprobung eines methodischen Ansatzes für Schwerpunkträume auf Grundlage einer Habitatmodellierung. Beide Untersuchungsräume weisen hohe Brutplatzzahlen windenergiesensibler Vogelarten wie dem Rotmilan auf und unterscheiden sich dabei in ihren räumlichen Gegebenheiten (Topografie & Landnutzung). Hinzu kommt, dass die beiden Länder einen unterschiedlichen Ausbaustand der Windenergie aufweisen. Aufgrund des bestehenden Spannungsfeldes zwischen Windenergie und Artenschutz und dem sensiblen Umgang mit relevanten Daten war die Verfügbarkeit von punktgenauen Brutplatzdaten ein weiterer Faktor für die Wahl der beiden Regionen, da Daten für den Rotmilan und für weitere Vogelarten zur Verfügung gestellt werden konnten, wenn auch in unterschiedlicher Qualität.

10 Die Harpyie (*Harpia harpyia*) ist einer der größten Greifvögel (Habichtartige) der Welt und in Mittel- und Südamerika beheimatet.

3 Habitatmodellierung

Die Berücksichtigung artenschutzfachlicher Belange auf der Ebene der Raumplanung leidet häufig unter unvollständigen Datengrundlagen. Das Schließen dieser Lücken ist nur mit sehr hohem personellem Aufwand möglich, insbesondere wenn mehrere Arten berücksichtigt und ganze (Bundes-) Länder betrachtet werden müssen. Habitatmodelle stellen eine effiziente Möglichkeit dar, die Verbreitung und das Vorkommen von Zielarten auf Grundlage einer Stichprobe zu interpolieren (Zurell und Engler 2019). Entscheidend ist dabei, die Abhängigkeit des Vorkommens von relevanten Umweltvariablen zu ermitteln und anschließend auf das Untersuchungsgebiet zu projizieren.

Da sich die Habitat- und Nahrungspräferenzen von Art zu Art unterscheiden können, sind meistens nur die Vogelarten, die als sogenannte Spezialisten bezeichnet werden, auch gut für die Habitatmodellierung geeignet (KNE 2022). Das liegt daran, dass Spezialisten bestimmte Umweltmerkmale oder Nahrungsquellen als Jagd oder Brutplatz bevorzugen oder an diese gebunden sind, während Generalisten fast überall brüten und Nahrung finden können (Baur 2021; KNE 2022). Die Aussagekraft der Modellierung ist für Spezialisten durch diese Bindung stärker, was auch die Identifizierung von Schwerpunkträumen erleichtert.

3.1 Methodisches Vorgehen

3.1.1 Artauswahl

In den unterschiedlichen Ansätzen der einzelnen Bundesländer zur Ausweisung von Schwerpunkträumen/Dichtezentren werden verschiedene Vogelarten berücksichtigt. Nachfolgend soll daher zunächst eine systematische Artenliste erarbeitet werden, für die eine Verwendung eines Schwerpunktraumkonzepts im Projekt als sinnvoll bzw. prioritär erachtet wird.

Für welche Vogelarten ist die Identifizierung von Dichtezentren/Schwerpunktorkommen als zusätzliches artenschutzrechtliches Instrument in diesem Zusammenhang sinnvoll?

Grundsätzlich nur für solche Arten, die im Hinblick auf den forcierten Ausbau der Windenergienutzung als besonders konfliktträchtig angesehen werden und für die herkömmliche Schutz- und Vermeidungsmaßnahmen keine befriedigenden Lösungen im Hinblick auf die Ausbauziele bieten.

Hierfür können insgesamt folgende Kriterien herangezogen werden:

- Es müssen WEA-empfindliche Arten sein, die ein besonders hohes Konfliktpotenzial in Bezug auf WEA aufweisen.

- Es müssen weit verbreitete Arten sein, für die ein Schutz von Einzelvorkommen nicht möglich bzw. sinnvoll ist.
- Es müssen bisher planerisch schwierig zu handhabende Arten sein, für die der Ansatz der Dichtezentren einen echten Mehrwert gegenüber dem Status Quo bietet.
- Es müssen Arten mit einer relativ hohen Brutplatzvariabilität sein, für die eine reine Abstandsbetrachtung über Einzelbrutplätze wenig Sinn macht, für die aber aufgrund von Revier- bzw. Regionstreue von weitgehend konstanten Vorkommen über eine längere Zeitspanne ausgegangen werden kann.

Für den im Projekt intensiv betrachteten Ansatz der Habitatmodellierung können zusätzlich folgende Kriterien herangezogen werden:

- Es muss als Grundlage für die Modellierung zumindest für Teilgebiete ein guter Kenntnisstand zu Bestandsituation und Verbreitung vorliegen, insbesondere zu konkreten Brutplätzen. Ein sehr hoher Erfassungsgrad reduziert hingegen die Notwendigkeit von Modellen.
- Es müssen Arten mit gut definierbaren Habitat-Parametern sein, was die Abgrenzung von Schwerpunkträumen mittels Habitatmodellen erleichtert.

Die ausgewählten Arten sollten sich im Hinblick auf diese Kriterien deutlich von den übrigen WEA-empfindlichen Arten abheben. Schwerpunkträume sollten ein besonderes Instrument sein, das nicht pauschal für alle WEA-empfindliche Arten verwendet werden sollte, um nicht auf der Ebene der Regionalplanung die Auswahl von Vorrangflächen zu sehr einzuschränken. Dazu kommt, dass in Schwerpunkträumen, die für eine bestimmte Art identifiziert wurden, auch eine Reihe weiterer Arten von den dort geltenden Regelungen profitiert. Zumindest jedoch ergeben sich hieraus Ansätze für eine Priorisierung von Arten, für die die Identifizierung von Schwerpunkträumen besonders sinnvoll erscheint.

Von einer generellen Eignung von Schwerpunkträumen wird bei Arten ausgegangen, für die ein hohes Konfliktpotenzial und/oder planerische Schwierigkeiten bestehen. Verstärkt wird der Bedarf durch eine weite Verbreitung, welche häufig

zu einer Berücksichtigung in Genehmigungsverfahren führt sowie durch eine hohe Brutplatzvariabilität, die eine langfristige Planung auf Grundlage von Kartierungsergebnissen erschwert. Eine Umsetzung von dichte-basierten Schwerpunkträumen ist jedoch nur sinnvoll, wenn entsprechend gute Bestandskenntnisse vorliegen, die eine Einschätzung über konzentrierte Vorkommen erlauben. Mängel bestehen diesbezüglich häufig bei sehr weitverbreiteten Arten, deren vollständige Erfassung durch den hohen Arbeitsaufwand erschwert wird. Die alternative Nutzung von Habitatmodellen ist wiederum durch eine entsprechende Bindung/Spezialisierung an bestimmte Habitate oder Strukturen begrenzt.

In Tabelle 4 ist die Eignung für zwölf der 15 Arten aus Anlage 1 BNatSchG dargestellt. Für die Arten mit starker geografischer Restriktion (Steinadler, Sumpfohreule und Kornweihe) wird von vornherein auf eine Betrachtung verzichtet.

Tabelle 4 Eignung des Schwerpunktraumkonzepts für relevante Vogelarten

KRITERIUM ART*		KRITERIEN FÜR DEN NUTZEN VON SCHWERPUNKTRÄUMEN			EIGNUNG FÜR HABITATMODELLE		
		Besonders hohes Konfliktpotenzial	Weite Verbreitung xx = bundesweit x = landesweit	Planerische Schwierigkeit	Hohe Brutplatzvariabilität	Gute Bestandskenntnisse xx = bundesweit (x) = regional	Hohe Bindung an bestimmte Habitate
Schreiadler		x				xx	x
Seeadler	■	x	x			xx	x
Fischadler	■	x	x			xx	x
Rotmilan	■	x	xx	x	x	(x)	x
Wanderfalke	■		x	x**	x**	(x)	
Weißstorch			x			xx	x
Wiesenweihe					x	xx	
Schwarzmilan	■		xx	x	x	(x)	x
Rohrweihe			x	x	x***	(x)	
Wespenbussard			xx	x	x		x
Uhu			x				
Baumfalke			xx	x	x		

Arten gemäß der Priorisierung farblich markiert: ■ Kategorie 1, ■ Kategorie 2, ■ Kategorie 3

* absteigende Reihenfolge gemäß relativer Kollisionsbetroffenheit (siehe Reichenbach und Aussieker 2021)

** für Baumbruten und Bruten auf Freileitungsmasten
*** bei Ackerbruten

Aus den genannten Kriterien ergibt sich für den Rotmilan die höchste Priorität. Für See- und Fischadler bestehen ebenfalls gute Einsatzmöglichkeiten für Schwerpunkträume, wobei für die Adlerarten generell ein hoher Erfassungsgrad vorliegt, sodass Habitatmodellierungen nicht zwangsweise notwendig sind. Der Bedarf für den Schwarzmilan ist ähnlich hoch wie für den Rotmilan, wobei das Konfliktpotenzial geringer ist. Sinnvoll kann der Ansatz ebenfalls für den Wanderfalken (nur Felsenbrüter) sein (siehe Tabelle 4). Damit wird für die weitere Arbeit im Projekt eine Festlegung auf diese Vogelarten getroffen und diese Festlegungen im Folgenden genauer beschrieben.

Innerhalb des Projekts wurde die Methode für drei der fünf Zielarten (siehe Tabelle 4) in zwei unterschiedlichen Bundesländern erprobt. Für die Arten Rot- und Schwarzmilan sowie für den Fischadler wurde die erforderliche Datengrundlage in Form von Punkt-Vorkommensdaten durch die Naturschutzbehörden der Bundesländern Baden-Württemberg (LUBW) und Brandenburg (LfU BB) zur Verfügung gestellt (siehe Tabelle 5).

Für den Fischadler sind zurzeit keine Vorkommen in Baden-Württemberg gemeldet, entsprechend stehen keine Daten für dieses Bundesland zur Verfügung. Aufgrund des Horstschutzes des Seeadlers konnten für das Projekt keine Daten der Vorkommen in ausreichender Detailschärfe erhalten werden (vgl. Ausführungen im Kapitel 3.2.3). Eine alternative Nutzung von Rasterdaten wurde innerhalb des Projekts diskutiert, jedoch auf Grund geringer Erfolgsaussichten wieder verworfen. Eine prinzipielle Eignung von Habitatmodellen für den Seeadler liefert die Publikation von Heuck et al. (2019a), sodass eine Umsetzung der im Projekt verfolgten Methode als möglich angesehen wird. Aufgrund der großen Variabilität von potenziell geeigneten

Brutplätzen und Revieren des Wanderfalken, wird für diese Art eine generelle Nutzung von Habitatmodellen nicht als erfolgsversprechend angesehen. Die Eignung gilt lediglich für Felsenbrüter.

Nachfolgend wird die Methode anhand des Rotmilans in Baden-Württemberg beschrieben. Für den Rotmilan liegen bereits ausführliche Habitatmodellierungen für Deutschland (Heuck et al. 2013; Katzenberger 2019) bzw. Baden-Württemberg (Katzenberger 2020) vor, welche die Eignung von Verbreitungsmodellen für diese Art belegen. Die Ergebnisse der weiteren Arten und Bundesländer werden ausführlich im Ergebnisteil (siehe Kapitel 3.2.3) präsentiert.

Methoden zur Ausweisung von Dichtezentren auf Grundlage von Habitatmodellen für den Rotmilan gibt es bereits für die Region Westmecklenburg in Mecklenburg-Vorpommern (UmweltPlan 2018) und das Land Baden-Württemberg (LUBW 2022b). In beiden Fällen bestehen grundlegende Unterschiede zu dem in diesem Projekt verfolgten methodischen Ansatz (siehe Kapitel 2.3).

Grundsätzlich besteht die im Projekt entwickelte Identifizierung von potenziellen Schwerpunkträumen aus zwei aufeinander aufbauenden Arbeitsschritten. Zunächst wird das potenzielle Verbreitungsgebiet der Zielart im Untersuchungsraum ermittelt (siehe Kapitel 3.1.7). Die ermittelten Flächen werden anschließend mit Hilfe von verschiedenen Parametern bewertet, um somit die geeignetsten Bereiche für die Ausweisung von Schwerpunkträumen zu identifizieren (siehe Kapitel 3.1.8). Die ermittelten Schwerpunkträume stellen somit eine konzentrierte Ansammlung besonders gut geeigneter Habitats dar, die eine langfristige Eignung als Lebensraum für die Zielarten bedeuten.

Tabelle 5 Für die Habitatmodellierung berücksichtigte Bundesländer und Arten

BUNDESLÄNDER	ROTMILAN	SCHWARZMILAN	FISCHADLER
Baden-Württemberg	x	x	
Brandenburg	x		x

3.1.2 Rotmilan Verbreitungsdaten

Als Rotmilan-Präsenzdaten konnte auf die (größtenteils) punktgenau erfassten Horststandorte aus verschiedenen Rotmilan- bzw. Greifvogelmonitorings aus den Jahren 2011–2014 sowie 2018–2020 zurückgegriffen werden (siehe Tabelle 6). Die Kartierungen erfolgten nach den Methodenvorgaben des DDA zur deutschlandweiten Rotmilankartierung. Teilweise konnten die Horststandorte in bereits belaubten Brutwäldern nicht mehr exakt verortet werden. Unsicherheiten von größtenteils <100 m werden für die Auswertungen als unkritisch angesehen. Ausführliche Informationen zu den einzelnen Kartierungen sind auf der Website der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) zusammengestellt.¹¹

Tabelle 6 Datengrundlage des Rotmilanvorkommens in Baden-Württemberg

MONITORING/KARTIERUNG	ZEITRAUM
Rotmilankartierung	2011
Rotmilankartierung	2012
Rotmilankartierung	2013 + 2014
Greifvogelmonitoring	2018 + 2019
Rotmilankartierung	2019
Greifvogelmonitoring	2020

Punktgenaue Absenzdaten standen durch die Erfassungen nicht zur Verfügung. Als Eingangsdaten für die Habitatmodellierung wurden jedoch ausschließlich Horststandorte verwendet, die in systematisch und vollständig kartierten MTBQ erfasst wurden (siehe Abbildung 5). Diese Daten besitzen den Vorteil, dass im kartierten MTBQ weitere Vorkommen (nahezu) ausgeschlossen werden können. Dies erhöht die Belastbarkeit der Pseudo-Absenzdaten und somit die Qualität des Modells. Insgesamt wurden die Informationen aus 576 MTBQ genutzt, darin enthalten sind auch MTBQ die zwar systematisch und vollständig kartiert wurden, aber dennoch keine Rotmilane nachgewiesen werden konnten (vollständige Absenz). Die berücksichtigte Fläche entspricht etwa 53 % der Landesfläche Baden-Württembergs.

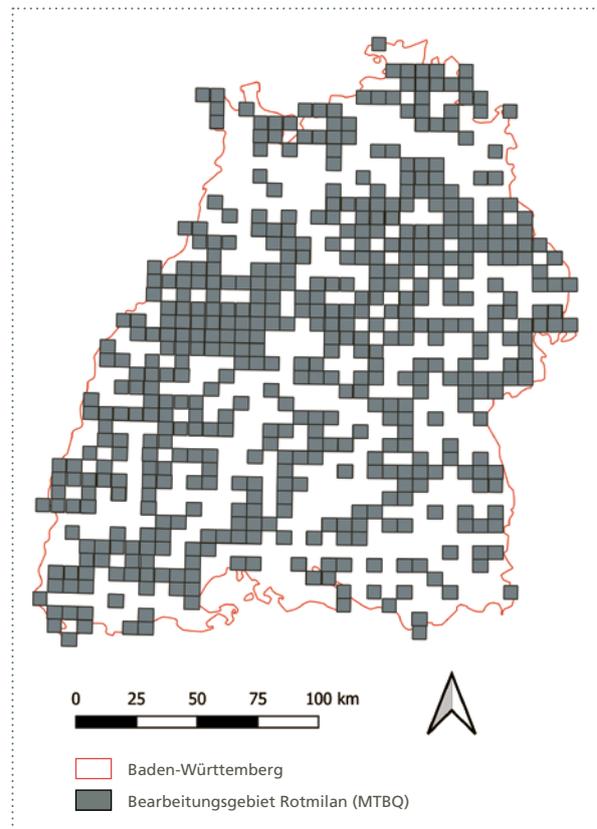


Abbildung 5 Für die Rotmilan-Präsenz-Eingangsdaten berücksichtigte MTBQ aus Baden-Württemberg (basierend auf der durch die LUBW zur Verfügung gestellte Datengrundlage; eigene Darstellung)

Aufgrund der wiederholten Kartierung einzelner MTBQ sowie der relativen Brutplatztreue der Rotmilane, waren einige Horststandorte mehrfach in den Ausgangsdaten enthalten. Zwar spricht eine mehrjährige Nutzung der Horststandorte für die Qualität des Brutreviers, allerdings wurden nicht alle MTBQ gleich häufig kartiert. Um eine Mehrfachgewichtung einzelner Standorte zu verhindern, wurde jeweils nur ein Eintrag gewertet. Aufgrund von Unschärfen bei der Erfassung und/oder Digitalisierung der Daten wurden alle Horststandorte in einem Radius von 200 m als derselbe Horst gewertet. Eine Ausnahme besteht, sofern die Horststandorte im selben Jahr erfasst wurden.

Schlussendlich konnten 2.009 Horststandorte als Präsenzdaten für die Habitatmodellierung genutzt werden. Horststandorte aus nicht systematisch erfassten MTBQ dienen als Testdatensatz.

¹¹ <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/natur-und-landschaft/artenschutz-und-windkraft> (abgerufen am 06.12.2022).

Da während der Kartierungen nur tatsächliche Revierstandorte erfasst wurden, fehlen Angaben zu Standorten ohne Revierzentrum, die für die logistische Regression genutzt werden können. Um die Voraussetzungen für die logistische Regression zu erfüllen, werden daher Nichtvorkommen generiert (Heuck et al. 2013; Katzenberger 2019). Die Verteilung dieser Pseudo-Absenzpunkte fand stratifiziert zufällig statt (Guisan und Zimmermann 2000; Zaniwski et al. 2002). Zunächst wird die mittlere Distanz (Median) zwischen den tatsächlichen Horststandorten mit Hilfe der QGIS-Erweiterung *NN-Join* ermittelt. Im Fall der für Baden-Württemberg berücksichtigten Standorte beträgt die mittlere Distanz 1.300 m. Mit Hilfe des Werkzeugs *Zufällige Punkte in Polygonen erstellen* wurden 2.009 Pseudo-Absenzpunkte im Abstand von mindestens 1.300 m zueinander sowie zu den tatsächlichen Horststandorten erstellt.

3.1.3 Habitatvariablen

Um die Ausprägung geeigneter Horststandorte zu identifizieren, wurden verschiedene Habitatparameter als erklärende Variablen zu Rate gezogen. Aus der Literatur ist bekannt, dass für die Zielarten bei der Wahl eines geeigneten Reviers in erster Linie die Verfügbarkeit von geeigneten Neststandorten (z. B. Horstbäume) sowie von potenziellen Nahrungshabitaten im Umfeld von Bedeutung sind (Gelpke und Hormann 2010; Heuck et al. 2019b).

Um die zentralen Ansprüche der Zielarten abbilden zu können, wurde hauptsächlich auf Informationen zu unterschiedlichen Landnutzungsklassen zurückgegriffen. Als Datenbasis stehen die Informationen des europäischen Copernicus Erdbeobachtungsprogramms¹² zur Verfügung. Copernicus erfasst europaweit bis zu 44 verschiedene Landnutzungsklasse mit einer Mindestgröße von 25 ha (Corine Land Cover Daten).

Für die Landnutzungstypen Grünland, (temporäre) Gewässer, (temporäre) Feuchtgebiete sowie die Walddichte stehen deutlich hochauflösendere Rasterdaten (20 x 20 m) zur Verfügung. Alle Gehölzflächen mit einer Kronendichte von > 10 % und mehr als 0,5 ha Größe werden als Wald gewertet.

Gemäß den Studien von Heuck et al. (2013) sowie von Katzenberger (2019, 2020) sind Wälder und Grünländer die entscheidenden Landnutzungstypen für Rotmilanreviere (vgl. Kapitel 2.3).

Untersuchungen zur Qualität von Nahrungsflächen für den Rotmilan haben ergeben, dass die Tiere bei der Nahrungssuche aktuell nicht landwirtschaftlich bearbeitete Flächen wie Feldfutter, extensives Grünland, Brachen und Blühstreifen gegenüber intensiv genutztem Grünland, Mais, Raps und Wintergetreide präferieren (Karthäuser et al. 2019). Um die Qualität einzelner Grün- bzw. Offenlandstandorte weiter differenzieren zu können, insbesondere im Hinblick auf die Nahrungsverfügbarkeit, wurden weitere Habitatparameter genutzt. Dabei stellt die Intensität der Bewirtschaftung ein Maß für die Eignung der Flächen als Feldmaus-Lebensraum dar. Feldmäuse sind die zentrale Nahrungsquelle für Rotmilane.

Als eine mögliche Variable, mit deren Hilfe die Nutzungsintensität potenzieller Vogellebensräume dargestellt werden kann, wurde das Vorkommen von kleinen linearen (Hecken, Baumreihen) sowie flächigen (> 200 m bis < 5.000 m²) Gehölzbeständen angesehen. Eine häufigere Unterteilung von landwirtschaftlich genutzten Flächen durch solche Strukturen, weist auf eine geringere Nutzungsintensität hin.

Darüber hinaus werden durch das Copernicus Programm seit Ende 2021 hochauflösende Informationen zur Phänologie und Produktivität der Vegetation zur Verfügung gestellt. Dazu zählt beispielsweise die saisonale Produktivität der Vegetation, die neben den vorhandenen Pflanzen sowie klimatischen Rahmenbedingungen ebenfalls von der Bewirtschaftung (z. B. Düngung) abhängig ist. Die saisonale Produktivität wird mit Hilfe des *Plant phenology index* (PPI) ermittelt, dazu erfassen Satelliten, die von der Vegetation reflektierte, rote bzw. fast infrarote Strahlung, die nahezu linear mit dem *leaf area index* (LAI) korreliert und somit die Zunahme der Vegetationsdichte über das Jahr widerspiegelt (Jin und Eklundh 2014).

¹² <https://www.copernicus.eu/de/copernicus-dienste> (abgerufen am 31.5.2023).

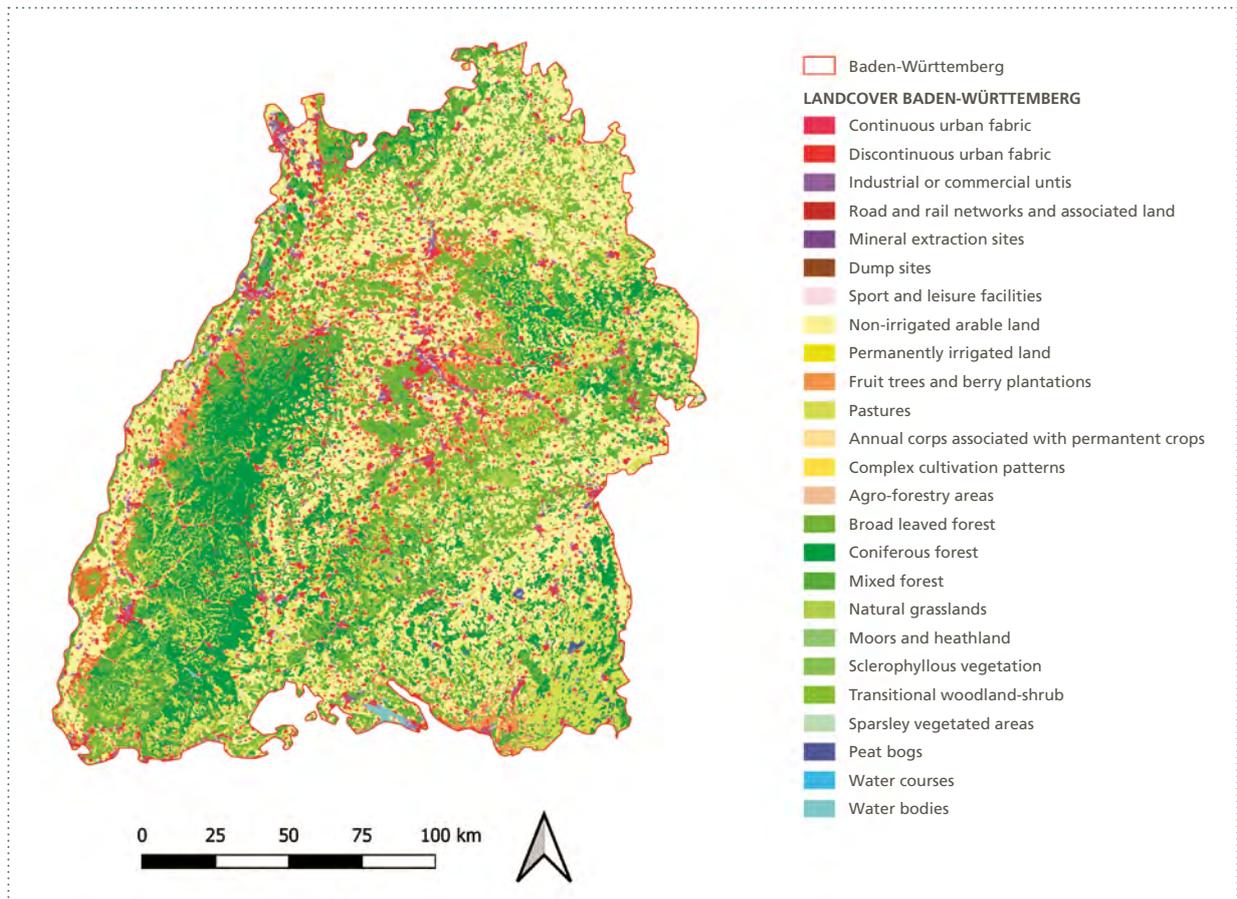


Abbildung 6 Verteilung der Corine Landnutzungstypen in Baden-Württemberg (Corine Landcover Daten; eigene Darstellung)

Zusätzlich wird die Höhenverteilung der Rotmilan-Horststandorte über Normal Null (NN) betrachtet. Über das Copernicus Programm kann auf ein digitales Höhenmodell mit einer Auflösung von 25 x 25 m zurückgegriffen werden.

Für die Modellierungen der Schwarzmilanhabitate sowie für die Auswertungen in Brandenburg wurden zum Teil weitere/andere Habitatvariablen genutzt, die in Kapitel 3.2.3. vorgestellt werden.

Die für die Auswertung zur Verfügung stehenden Rotmilan-daten umfassen einen Zeitraum von 2011 bis 2020. Die Habitatparameter stammen hingegen aus einzelnen und zum Teil unterschiedlichen Jahren aus diesem Zeitraum. Aufgrund des hohen Aufwands können die Landnutzungsdaten nicht jährlich zur Verfügung gestellt werden, allerdings werden die Parameter regelmäßig aktualisiert. Je nach erwartbarer Veränderung der Habitatparameter

entsteht dadurch eine gewisse Unsicherheit bei der Modellierung.

Eine Verteilung der in Baden-Württemberg vorkommenden Landnutzungsklassen ist in Abbildung 6 dargestellt. Baden-Württemberg ist durch die dichten, zusammenhängenden Waldflächen des Schwarzwaldes im Westen sowie größere Grünlandgebiete in Form der Schwäbischen Alb (schräg als Band von Süden nach Osten verlaufend) sowie des Allgäus im Südosten gekennzeichnet. Weitere charakteristische Landschaftsformen stellen die Flusstäler des Rheins (westliche Landesgrenze), der Donau (zwischen Schwäbischer Alb und Allgäu) sowie des Neckars (zentral) dar. Entlang des Neckars befinden sich zudem die größten urbanen Landesteile, hauptsächlich durch die Metropolregion Stuttgart gekennzeichnet.

Tabelle 7 Ausgangsdaten der berücksichtigten Umweltvariablen

VARIABLE	AUFLÖSUNG	ZEITRAUM	BEMERKUNG	QUELLE
Corine Landnutzung	Minimale Größe der Landnutzungs-klassen = 25 ha	2012	Insgesamt werden bis zu 44 Landnutzungstypen dargestellt	https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover
Grünland	20 x 20 m	2015		https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/grassland/status-maps
Walddichte	20 x 20 m	2015	Kronendichte (0–100 %)	https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/forests
Wald	20 x 20 m	2015	Berücksichtigt werden alle Gehölzflächen mit Kronendichte >10 %	
Kleine Gehölzstrukturen	5 x 5 m	2015	Kleine lineare und flächige Gehölzstrukturen	https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/small-woody-features
Wasserflächen	10 x 10 m	2015	Dauerhaft und temporär	https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/water-wetness/status-maps/2015
Feuchtgebiete	10 x 10 m	2015	Dauerhaft und temporär	https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/water-wetness/status-maps/2015
Höhe über NN	25 x 25 m	2000		https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-dem-v1-0-and-derived-products/eu-dem-v1.0?tab=mapview
Produktivität der Vegetation	20 x 20 m	2017		https://land.copernicus.eu/pan-european/biophysical-parameters/high-resolution-vegetation-phenology-and-productivity

Eine hochauflösende Abbildung einzelner Landnutzungstypen ist beispielhaft für Grünländer in Abbildung 7 dargestellt. Deutlich erkennbar sind die erwähnten größeren Grünlandgebiete im baden-württembergischen Teil des Allgäus sowie der schwäbischen Alb.

Da es sich bei den Zielarten um hochmobile Greifvögel handelt, die sich bei ihrer Brutplatzwahl an den Habitatausprägungen eines weiträumigen Reviers orientieren, dürfen bei der Habitatmodellierung nicht allein die Standortgegebenheiten am eigentlichen Horst berücksichtigt werden. Daher wird der prozentuale Anteil der einzelnen Landnutzungstypen in einem Radius um die Präsenz- und Pseudo-Absenzpunkte ermittelt.

Die Größe des Radius ist artspezifisch und orientiert sich an aus der Literatur bekannten Aktionsradien der Zielarten. Der Hauptaktionsradius des Rotmilans wird bspw. mit 1.000m angegeben, in diesem Radius finden mehr als 50 % aller Flüge statt (Mercker et al. 2023). Analog zu den Studien von Heuck et al. (2013) und Katzenberger (2019) wurde daher ein Radius von 1.000 m für den Rotmilan gewählt. Der signifikante Zusammenhang zwischen der Habitatausprägung im 1.000m Radius und der Brutplatzwahl war deutlich stärker als bei den ebenfalls im Projekt getesteten Radien von 500m und 1.500m.

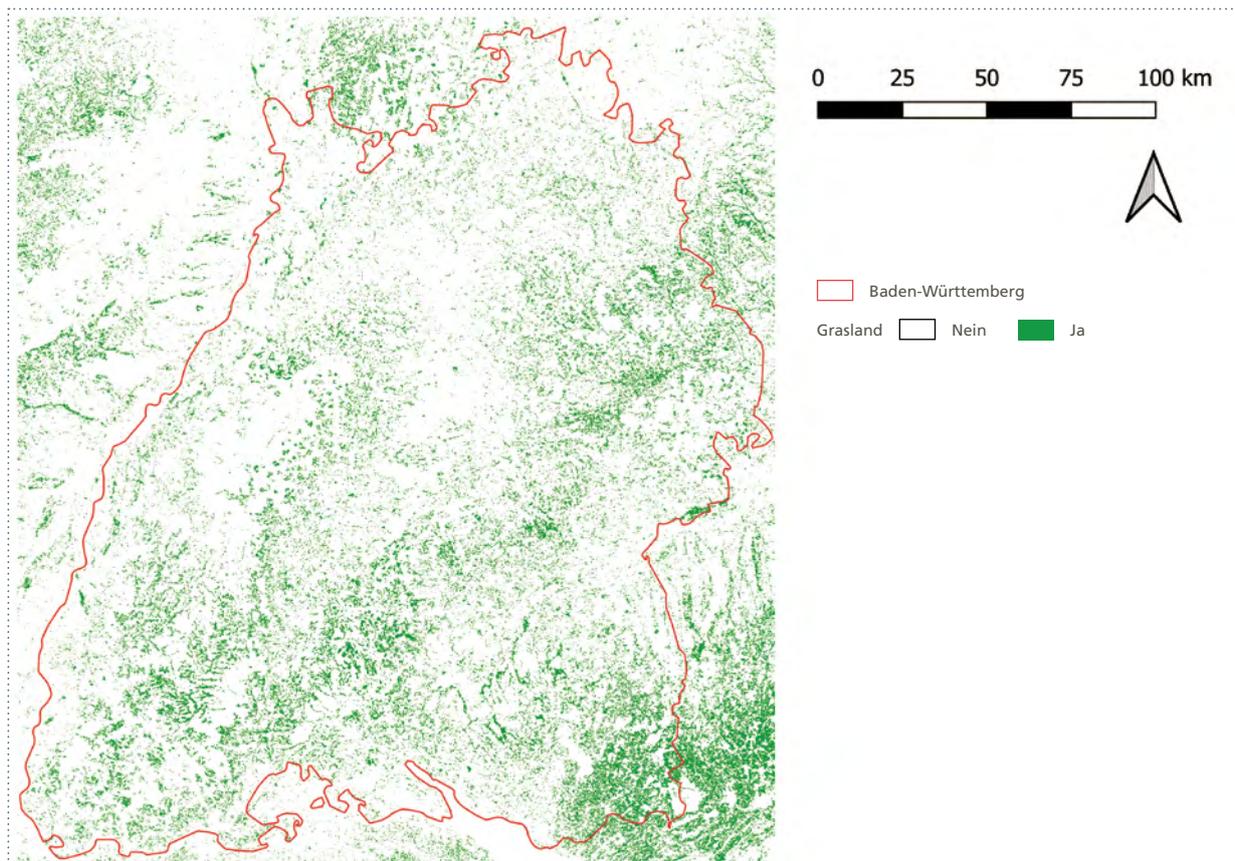


Abbildung 7 Hochauflösende Darstellung des Vorkommens von Grünländern in Baden-Württemberg (Datengrundlage: Hochauflösende Satellitendaten des Copernicus Projekts²; eigene Darstellung)

* <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/grassland> (abgerufen am 19.05.2022).

Tabelle 8 Für die Habitatmodellierung des Rotmilans berücksichtigte Umweltvariablen

VARIABLE	TYP	WERT	BEMERKUNG
Anteil Grünland im 1.000-m-Radius	Metrisch	Prozent	Ermittelt aus der Ausgangsvariable „Grünland“
Anteil Ackerfläche im 1.000-m-Radius	Metrisch	Prozent	Ermittelt aus Corine-Landnutzungstypen der Kategorie „Acker“
Durchschnittliche Walddichte im 1.000-m-Radius	Metrisch	Prozent	Ermittelt aus der Ausgangsvariable „Walddichte“
Anteil Waldfläche im 1.000-m-Radius	Metrisch	Prozent	Ermittelt aus der Ausgangsvariable „Wald“
Waldstandort	Kategorial	Ja/Nein	Ermittelt aus der Ausgangsvariable „Wald“
Anteil urbane Flächen im 1.000-m-Radius	Metrisch	Prozent	Ermittelt aus Corine-Landnutzungstypen der Kategorie „Urban“
Anteil kleine Gehölzflächen im 1.000-m-Radius	Metrisch	Prozent	Ermittelt aus der Ausgangsvariable „Kleine Gehölzstrukturen“
Anteil Wasserflächen im 1.000-m-Radius	Metrisch	Prozent	Ermittelt aus der Ausgangsvariable „Wasserflächen“
Anteil temporäre Wasserflächen im 1.000-m-Radius	Metrisch	Prozent	Ermittelt aus der Ausgangsvariable „Wasserflächen“
Anteil Feuchtgebietsflächen im 1.000-m-Radius	Metrisch	Prozent	Ermittelt aus der Ausgangsvariable „Feuchtgebiete“
Anteil temporäre Feuchtgebietsflächen im 1.000-m-Radius	Metrisch	Prozent	Ermittelt aus der Ausgangsvariable „Feuchtgebiete“
Höhe über NN des Horststandorts	Metrisch	Meter	
Durchschnittliche Produktivität der Vegetation im 1.000-m-Radius	Metrisch	PPI x Anzahl Tage der Vegetationsperiode	Kann Werte zwischen 0 und 54.750 annehmen

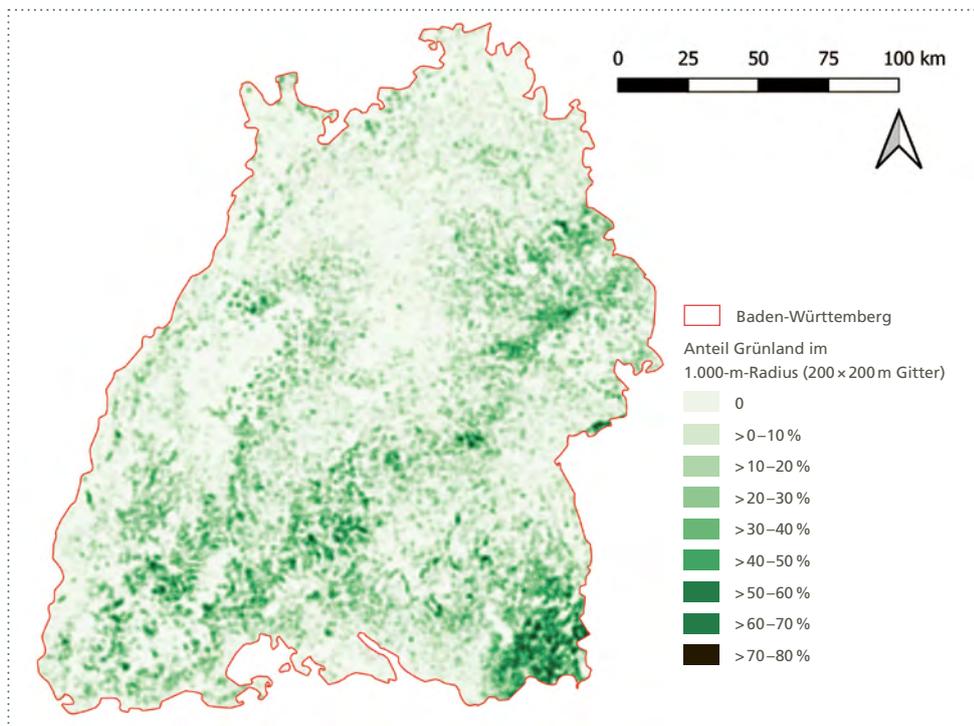


Abbildung 8 Grünlandanteil im 1.000-m-Radius, ausgehend von den Zentroiden der 200 x 200 m Zellen des Gitternetzes in Baden-Württemberg (Datengrundlage: Hochofösende Satellitendaten des Copernicus Projekts*; eigene Berechnung)
 * <https://land.copernicus.eu/global/> (abgerufen am 19.05.2022).

Für die Parameter Walddichte und Produktivität der Vegetation wurde der Mittelwert im 1.000-m-Radius ermittelt. Für andere Variablen ist eher die Entfernung zum Horst entscheidend als etwa der Anteil im Revier. Ein Beispiel ist die Entfernung von Gewässern zum Horst von Fisch- oder Seeadlern (siehe Kapitel 3.2.3).

Um die Ausprägung der einzelnen Habitatparameter (prozentualer Anteil im 1.000-m-Radius, Mittelwert im 1.000-m-Radius oder Entfernung zum Horst) flächig für das ganze Bundesland Baden-Württemberg darstellen zu können, wurde ein Gitternetz mit 200 x 200 m Zellengröße angelegt. Ausgehend von den Zentroiden der einzelnen Rasterzellen wurde die Habitatausprägung analog zum Vorgehen der Präsenz- und Pseudo-Absenzpunkte für das gesamte Gitternetz ermittelt.

In Abbildung 8 ist exemplarisch eine aufbereitete Umweltvariable (Grünlandanteil) dargestellt. Größere zusammenhängende Grünlandflächen befinden sich im Allgäu im Südosten, im Süden des Schwarzwalds sowie als Band von Südwesten nach Osten über die Schwäbische Alb.

3.1.4 Logistische Regression

Um die Vorkommenswahrscheinlichkeit des Rotmilans in Baden-Württemberg zu ermitteln, wurde ein Habitatmodell erstellt. Hierfür wird die Wahrscheinlichkeit von Vorkommen bei bestimmten Ausprägungen und Konstellationen von einzelnen oder mehreren Habitatparametern berechnet. Die Berechnungen wurden mit Hilfe von RStudio in der Version 2022.02.3 + 492 durchgeführt (RSTUDIO TEAM 2022).

Die logistische Regression ist das am häufigsten verwendete Verfahren der Habitatmodellierung zur Bearbeitung von abhängigen Variablen, die nur zwei mögliche Werte annehmen können (z. B. Präsenz/Absenz, Bruterfolg Ja/Nein) (Kleyer et al. 2000; Schröder und Reineking 2004).

Inzwischen gibt es mehrere Ansätze zur Berechnung von Habitatmodellen mit *presence-only*-Daten. Gegenüber rein auf Vorkommen basierenden Regressionsmethoden bietet die logistische Regression in der Regel bessere Ergebnisse (Brotons et al. 2004; Engler et al. 2004; Merow et al. 2013). Für die Modellierung der Revierwahl wird daher zusätzlich auf zufällig verteilte Nicht-Vorkommen zurückgegriffen (vgl. Kapitel 3.1.2).

Die bekanntere lineare Regression eignet sich nicht für binäre abhängige Variablen, da die Regressionsgerade Werte zwischen Minus und Plus Unendlich umfasst und somit außerhalb des erwartbaren Bereichs der (Vorkommens-) Wahrscheinlichkeit zwischen 0 und 1 liegt. Bei der logistischen Regression handelt es sich um eine Logit-Funktion, den natürlichen Logarithmus einer Chance. Dazu werden die Koeffizienten in die Exponentialfunktion $\exp()$ eingesetzt, die dadurch einen Kurvenverlauf zwischen 0 und 1 ergeben (Abbildung 9).

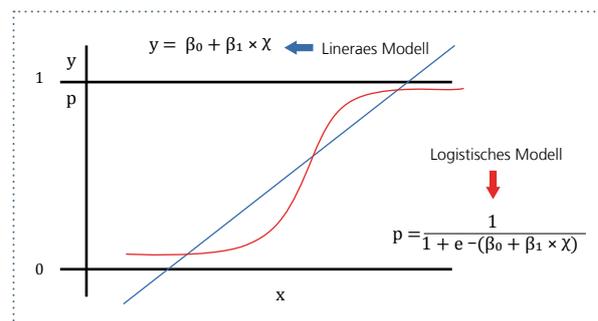


Abbildung 9 Schematische Darstellung lineare vs. logistische Regression

Mithilfe der Regressionsgleichung kann für jede Kategorie einer Variablen bzw. für jeden Wert einer metrischen Variablen eine Vorkommenswahrscheinlichkeit berechnet werden. Der konstante Wert β_0 (Intercept) verschiebt die Kurve auf der x-Achse nach links oder rechts, der Regressionskoeffizient $\beta_{1(\dots,n)}$ bestimmt die Steilheit der Kurve. Zusätzlich gibt der Regressionskoeffizient an, wie stark und in welche Richtung der Habitatparameter das Vorkommen beeinflusst. Positive Werte bedeuten einen positiven Zusammenhang, d. h. je größer die unabhängige (metrische) Variable ist, desto größer wird die Wahrscheinlichkeit für ein Vorkommen. Zur besseren Interpretation des Einflusses werden die Chancenverhältnisse (*Odds Ratios*) der einzelnen Variablen berechnet.

Für eine metrische Variable geben die Chancenverhältnisse an, um welchen Faktor die Vorkommenswahrscheinlichkeit steigt, sobald sich der Wert der Variable um einen Punkt erhöht, z. B. um welchen Faktor nimmt die Vorkommenswahrscheinlichkeit zu, wenn sich der Anteil von Grünland im 1.000-m-Radius um einen Prozentpunkt erhöht. Für kategoriale Variablen geben die Chancenverhältnisse an, um

welchen Faktor die Vorkommenswahrscheinlichkeit z. B. an einem Waldstandort höher ist im Vergleich zu einem Nicht-Waldstandort.

Da die Skalen der metrischen Variablen unterschiedlich sind und die Zunahme von einem Prozentpunkt Grünlandanteil nicht im gleichen Verhältnis wie die Zunahme der Höhe über NN um einen Meter steht, werden die metrischen Variablen *z-transformiert*. Die z-Transformation überführt die Variablen in eine gemeinsame Einheit, die Standardabweichungs-Einheit. Alle Variablen besitzen nach der Transformation einen Mittelwert von 0 und eine Standardabweichung von 1. Ein z-Wert von 1 bedeutet beispielsweise, dass dieser Wert eine Standardabweichung vom Mittelwert entfernt ist.

Zunächst wurden für die einzelnen unabhängigen Variablen univariate logistische Regressionen durchgeführt und ein *generalisiertes lineares Modell* (glm) erzeugt. Alternativ können *generalisierte lineare gemischte Modelle* genutzt werden, um mögliche negative Einflüsse von räumlicher Korrelation der Vorkommensdaten zu minimieren. Das Modell wurde anschließend auf Signifikanz (p-Wert < 0,05) und den *Erklärwert* hin untersucht. Der Anteil der erklärten Varianz und damit der Nutzen des Modells werden über das Pseudo-Bestimmtheitsmaß R^2 nach Nagelkerke angegeben (Mangiafico 2016). R^2 kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen, wobei 1 bedeutet, dass die unabhängige Variable (oder mehrere Variablen) ein Vorkommen exakt vorhersagt (Dormann und Kühn 2009).

Der R-Befehl lautet *glm* (Abhängige Variable ~ Unabhängige Variable) (Crawley 2013). Der Befehl *summary()*, liefert die Auswertung der Ergebnisse. Für die Auswahl der besten Modelle ist neben dem R^2 -Wert insbesondere die Signifikanz des Zusammenhangs entscheidend.

Da zu Beginn der Untersuchungen nicht bekannt war, ob die Beziehungen zwischen der Revierwahl und den unabhängigen Variablen linear ist (*sigmoid*) oder ob im Verlauf der Ausprägung ein Optimum besteht (*unimodal*), wurden beide Varianten getestet. In der vorliegenden Form entsprechen die Variablen der sigmoidalen Variante. Um auf eine mögliche nicht-lineare Abhängigkeit zu testen, müssen die numerischen Variablen zuerst quadriert werden (Leyer und Wesche 2007).

Aus dem Pool der signifikanten Variablen konnten anschließend multivariate Modelle erstellt werden. Um zu überprüfen, ob das Hinzufügen einer weiteren Variablen das Modell signifikant verbessert, erfolgte ein Vergleich der Modelle mittels Varianzanalyse. Ein p-Wert von > 0,05 bedeutet, dass die Erweiterung des Modells die Erklärung der Gesamtvarianz nicht signifikant verbessert (Dormann und Kühn 2009). Ziel ist es ein möglichst schlankes Modell mit hohem R^2 -Wert zu erzeugen.

3.1.5 Test auf Korrelation

Korrelieren zwei Variablen miteinander, schmälert dies den Anteil der erklärten Varianz innerhalb der logistischen Regression. Darüber hinaus lässt starke Korrelation und damit verbundene Multikolarität die Ergebnisse der logistischen Regressionsanalyse fehlerhaft werden. Auf die Verwendung von zwei Variablen mit hoher Korrelation muss in einem multiplen Modell daher verzichtet werden (Backhaus et al. 2018; Dormann et al. 2013). Als Indikator für Multikolarität dient der Korrelationskoeffizient.

Der Test auf Korrelation erfolgte mit der Methode von Kendall für nicht-normalverteilte Daten. Der R-Befehl lautet *cor.test()* und kann mit dem Paket *pgirmess* aufgerufen werden (Giraudoux et al. 2018).

Zusätzlich lassen sich in R mit Hilfe des Befehls *vif()* aus dem Paket *car* (Weisberg und Fox 2011) die Varianzinflationsfaktoren zur Diagnose von Multikollinearität ermitteln. Der Varianzinflationsfaktor (VIF) beschreibt, welcher Grad der Korrelation zwischen den Faktoren einer Regressionsanalyse vorliegt. Allgemein lässt sich hieraus folgende Interpretation treffen:

- **VIF = 1:** keine Korrelation vorhanden
- **1 < VIF < 5:** mäßige bis mittlere Korrelation
- **5 < VIF < 10:** hohe Korrelation
- **Vif > 10:** Korrelation kritisch, Auswertung nicht mehr vertrauenswürdig

3.1.6 Modell-Bewertung

Neben der Signifikanz des Modells und des Nagelkerke R²-Werts wurden weitere schwellwert-unabhängige Gütemaße zur Modellbewertung zu Rate gezogen. Zu dieser Kategorie gehört die *Receiver-Operating-Characteristic-Kurve (ROC-Kurve)*. Hierfür wird in ein Diagramm die Sensitivität als Ordinate (y-Achse) und 1 – Spezifität als Abszisse (x-Achse) eingetragen.

SENSITIVITÄT:

$$\frac{\text{Anteil korrekt prognostizierter Vorkommen}}{=} = \frac{\text{Anzahl richtig Positiver}}{\text{Anzahl richtig Positiver} + \text{Anzahl falsch Negativer}}$$

SPEZIFITÄT:

$$\frac{\text{Anteil korrekt prognostizierter Nicht – Vorkommen}}{=} = \frac{\text{Anzahl richtig Negativer}}{\text{Anzahl richtig Negativer} + \text{Anzahl falsch positiver}}$$

Das Diagramm verdeutlicht den Kompromiss zwischen richtig-positiven Klassifizierungen und falsch-positiven Klassifizierungen. Ein Modell ohne Aussagekraft hätte eine ROC-Kurve mit einer Steigung von 1. Ein perfektes Modell erzeugt einen Punkt auf den Koordinaten X = 0 und Y = 1. Somit wären alle Vorkommen richtig erkannt.

Die Fläche unter der ROC-Kurve ergibt den *Area-Under-Curve-Wert (AUC-Wert)*. Die Modellgüte lässt sich anhand dieses Wertes gemäß der Einteilung aus Tabelle 9 interpretieren.

Tabelle 9 Interpretation des AUC-Werts (Hosmer und Lemeshow 2000)

AUC-WERT	MODELLGÜTE
= 0,5	Zufallsmodell
>0,7 <0,8	Akzeptabel
>0,8 <0,9	Exzellente
>0,9	Hervorragend

3.1.7 Identifizierung des Verbreitungsgebiets

Die Darstellung der Vorkommenswahrscheinlichkeit (p) in den einzelnen 200 x 200m-Gitterzellen erfolgte mit Hilfe des *Rasterrechners* in QGIS. In die folgende Formel werden der Interzept (Schnittpunkt der y-Achse) der Regressionsgleichung sowie die ermittelten Koeffizienten (a, b, ... n) der einzelnen Umweltvariablen (v) eingefügt.

$$p = 1/(1 + e - (\text{Interzept} + a \times v1 + b \times v2 \dots x * vy))$$

Die Werte der Umweltvariablen sind in den einzelnen Gitterzellen hinterlegt. Pro Gitterzelle ergibt sich somit eine Vorkommenswahrscheinlichkeit zwischen 0 und 1, wobei 1 ein sicheres Vorkommen auf Basis des Modells darstellt und 0 ein Vorkommen ausschließt.

Die Werte der Gütemaße ändern sich dabei je nachdem welcher Schwellenwert (P_krit) festgelegt wurde. Hierfür stehen mehrere Varianten zur Verfügung, die sich für verschiedene Verwendungen des Modells unterschiedlich gut eignen. Für die Bewertung wurde neben R zusätzlich das Programm *ROC Plotting and AUC Calculation Transferability Test* (Schröder 2004) in der Version 1.3 verwendet.

- P_opt: Schwellenwert mit dem höchsten Anteil korrekter Prognosen
- P_fair: Schwellenwert mit den ähnlichsten Werten für Sensitivität und Spezifität

Liegt die Vorkommenswahrscheinlichkeit des Rotmilans unter diesem Wert, wird die entsprechende Untersuchungsfläche nicht als potenzielles Habitat für diese Art angesehen.

3.1.8 Identifikation der Schwerpunkträume

Für die Auswahl der geeignetsten Bereiche des ermittelten Verbreitungsgebiets als Schwerpunkträume wurde auf verschiedene Bewertungsparameter zurückgegriffen. Dazu zählt die zusammenhängende Flächengröße, die Qualität der Habitate und ergänzend die Eignung für mehrere Zielarten.

Auf diese Weise sollen Flächen ausgewählt werden, die aufgrund ihrer Habitatqualität für eine große Anzahl an Individuen der Zielarten als Lebensraum dienen. Durch die Berücksichtigung der Landnutzungstypen ist von einer hohen Stetigkeit der Vorkommen auszugehen, sodass ein Schutz der ermittelten Schwerpunkträume zu einem zukünftigen Erhalt der Bestände beitragen kann.

Die Flächenauswahl erfolgte zunächst ausschließlich auf Grundlage der Bewertungsparameter. Eine Mindestgröße der Flächensumme oder ein Mindestpopulationsanteil bleiben zunächst unberücksichtigt, können jedoch bei raumplanerischen Entscheidungen berücksichtigt werden.

Für die Berücksichtigung im Projekt wurden sowohl die fünf besten (*TOP-5*) sowie alternativ die zehn besten (*TOP-10*) Teilflächen des potenziellen Verbreitungsgebiets als Schwerpunkträume gewertet. Diese Auswahl orientiert sich an den Auswahlkriterien der *Important Bird Areas* in Deutschland sowie von Vogelschutzgebieten (LUBW 2007).

Zusammenhängende Flächengröße

Bei der Auswahl von Schwerpunkträumen wird die Größe der einzelnen Teilbereiche des Verbreitungsgebiets berücksichtigt, da somit potenziell in einigen wenigen Gebieten besonders viele Tiere geschützt werden können. Gleichzeitig steht den Rotmilanen in größeren zusammenhängenden Gebieten mehr Fläche zur Ausbreitung zur Verfügung. In kleineren Teilflächen können Verschlechterungen der Habitateignung (z. B. Nutzungsänderungen) somit gravierendere Auswirkungen auf den Nutzen der Schwerpunkträume haben.

Durch das Berücksichtigen der relevanten Landnutzungsklassen im 1.000-m-Radius werden bei der Flächenauswahl bereits wichtige Nahrungshabitate einbezogen.

Qualität der Habitate

Die Habitatmodellierung liefert eine Einschätzung der Qualität der einzelnen Habitate in Form der Vorkommenswahrscheinlichkeit mit Werten zwischen 0 (sehr gering) und 1 (sehr hoch). Die Vorkommenswahrscheinlichkeit hängt dabei direkt von der Qualität der Habitate ab. Die Qualität der Habitate wird neben der Flächengröße berücksichtigt, um auszuschließen, dass zwar große Teilflächen ausgewählt werden, die jedoch nicht über die beste Eignung als Revier verfügen.

Es wird angenommen, dass die betrachteten Zielarten bewusst nach gut geeigneten Brutrevieren suchen und diese bevorzugen. So führen Rotmilan-Jungtiere im Jahr ihrer Geburt vor dem Beginn der Herbstmigration bereits intensive Erkundungsflüge durch, um die Habitatqualität der näheren Umgebung zu erkunden. Jungtiere, die in gut geeigneten Revieren geboren werden, kehren dabei häufiger in die Nähe des Reviers ihrer Eltern zurück. Jungtiere aus weniger gut geeigneten Habitaten suchen sich hingegen häufiger andere bzw. bessere Reviere (falls vorhanden) (Scherler 2020).

Zudem bekommen Rotmilane, welche in gut geeigneten Revieren brüten, im Durchschnitt mehr Nachkommen als ihre Artgenossen, die mit weniger guten Revieren Vorlieb nehmen müssen. Optimale Reviere verfügen über viele und gute Nahrungshabitate, sodass die Alttiere weniger weite Strecken zur Versorgung ihrer Jungen zurücklegen müssen. Die Reviere können daher kleiner sein, sodass die Brutdichte in gut geeigneten Gebieten potenziell höher ist (Pfeiffer und Meyburg 2015).

Relevanz für mehrere Zielarten

Sollten sich die Schwerpunkträume einzelner Arten auf gemeinsame Flächen konzentrieren steigert dies den naturschutzfachlichen Wert dieser Flächen. Dieser Punkt könnte ein nachgeschaltetes Entscheidungskriterium darstellen, welches weniger stark von den ökologischen Belangen der einzelnen Arten abhängt und eher raumplanerische Anforderungen berücksichtigt.

Auswahlverfahren

Zu Beginn werden die fünfzehn größten zusammenhängenden Flächen aus dem ermittelten Verbreitungsgebiet ausgewählt. Diese Flächen werden bezüglich ihrer Flächengröße

bewertet, indem die jeweilige Flächengröße durch die größte vorhandene zusammenhängende Fläche geteilt wird. Die größte Teilfläche erhält demnach einen Wert von 1, alle weiteren Flächen einen Wert zwischen >0 und 1.

Für die Qualität der Teilflächen wird der Anteil an besonders geeigneten Habitaten darin ermittelt. Als Grenzwert für besonders geeignete Habitats wurde eine Vorkommenswahrscheinlichkeit von mindestens 0,75 gewählt. Der Anteil von besonders geeignetem Habitat in den zusammenhängenden Teilflächen wird anschließend analog zum Vorgehen bei der Flächengröße der Wertigkeit nach sortiert.

Beide Bewertungsparameter sind gleichberechtigt und werden anschließend addiert. Die einzelnen Teilflächen können

somit eine Bewertung zwischen 2 und >0 erreichen. Die Auswahl der geeignetsten Schwerpunkträume erfolgt über das auf diese Weise berechnete Einstufung der Teilflächen.

Da innerhalb des Projekts untersucht werden sollte, inwiefern mögliche Schwerpunkträume Flächen für die Windenergie beschneiden, wurde der Bewertungsparameter zunächst nach dem Motto „Je größer, desto besser“ behandelt. Alternativ könnte ein stärkerer Fokus auf die Qualität der Flächen zu einer Verkleinerung der Schwerpunkträume führen. Zudem wurde zunächst die Eignung für mehrere Arten im Auswahlverfahren nur indirekt berücksichtigt. Dieser Parameter sollte für eine mögliche (benötigte) Verkleinerung der Schwerpunkträume verstärkt ins Auge gefasst werden.

3.2 Ergebnisse

3.2.1 Habitatmodellierung

Von den dreizehn speziell für Baden-Württemberg getesteten univariaten Modellen sind zwölf signifikant bis höchst signifikant (siehe Tabelle 10). Über vergleichsweise hohe Pseudo-Nagelkerke-R²-Werte verfügen Variablen mit Angaben zum Wald- sowie Grasland-Anteil im

1.000-m-Radius um den Horst. Auch die durchschnittliche Produktivität im Revier sowie die Höhe ü. NN des Horststandorts erklären größere Teile der Varianz der Vorkommenswahrscheinlichkeit. Die Anteile von Ackerflächen und urban geprägten Bereichen verfügen über mittlere Erklärwerte. Alle weiteren Variablen tragen trotz Signifikanz nur bedingt zur Erklärung der Varianz bei.

Tabelle 10 Wirkrichtung und Effektstärke der univariaten Modelle (z-transformiert) für den Rotmilan in Baden-Württemberg

VARIABLE	SIGMOIDAL		UNIMODAL		PSEUDO-NAGELKERKE-R ²	P-WERT
	Koeffizient	Odds Ratio	Koeffizient	Odds Ratio		
Anteil Wald	-0,340	0,71	-1,070	0,34	0,272	<0,001
Durchschnittliche Walddichte	-0,123	0,88	-1,149	0,32	0,249	<0,001
Durchschnittliche Produktivität der Vegetation	1,105	3,02	-0,214	0,81	0,215	<0,001
Anteil Grasland	0,937	2,55			0,187	<0,001
Waldstandort	1,894	6,65			0,185	<0,001
Höhe ü. NN	0,731	2,08	-0,525	0,59	0,178	<0,001
Anteil Acker	0,696	2,01	-0,518	0,59	0,093	<0,001
Anteil Urban	-0,600	0,57			0,071	<0,001
Anteil Gewässer	-0,887	0,41			0,026	<0,001
Anteil temporäre Feuchtgebiete	-0,218	0,80			0,012	<0,001
Anteil kleine Gehölze	-0,103	0,90			0,003	<0,010
Anteil Feuchtgebiete	-0,093	0,91			0,002	<0,050
Anteil temporäre Gewässer	-0,057	0,94			0,001	>0,050

p-Wert: $>0,05$ = nicht signifikant, $<0,05$ signifikant, $<0,01$ hoch signifikant, $<0,001$ höchst signifikant

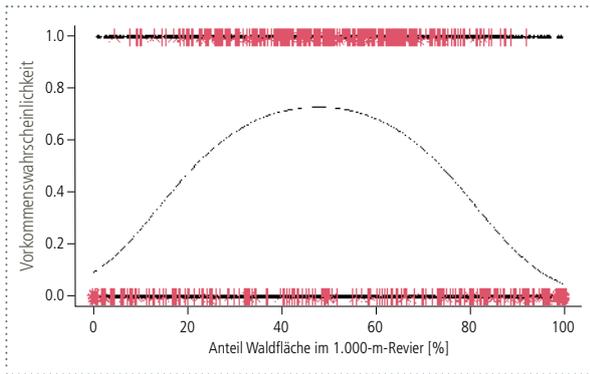


Abbildung 10 Vorkommenswahrscheinlichkeit des Rotmilans in Baden-Württemberg in Abhängigkeit des Waldanteils im 1.000-m-Radius

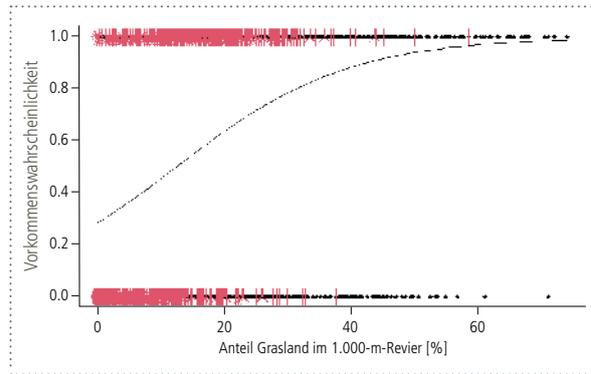


Abbildung 11 Vorkommenswahrscheinlichkeit des Rotmilans in Baden-Württemberg in Abhängigkeit des Anteils von Grasland im 1.000-m-Radius

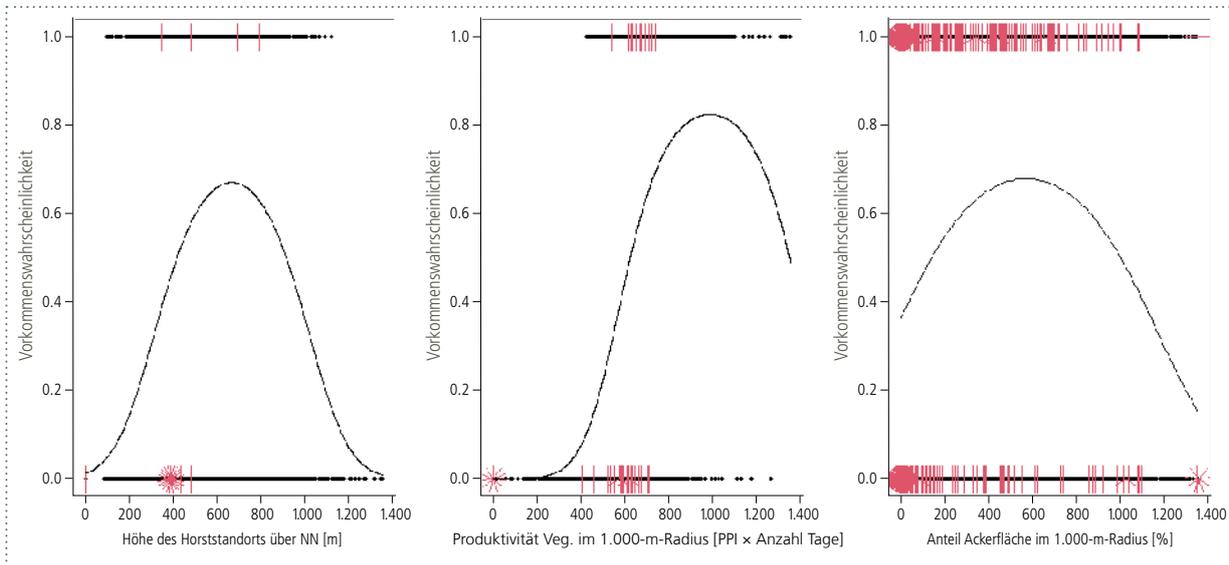


Abbildung 12 Vorkommenswahrscheinlichkeit des Rotmilans in Abhängigkeit von der Höhe des Standorts über NN (links), der durchschnittlichen Produktivität der Vegetation (Mitte) sowie dem durchschnittlichen Anteil Ackerfläche im 1.000-m-Radius (rechts)

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass in Baden-Württemberg Waldstandorte mit einem hohen Anteil an Grasland im 1.000-m-Radius besonders bevorzugt werden. Dies spiegelt die Realität wider, in der sich die Rotmilanhorste in Baden-Württemberg häufig im Randbereich von Wäldern befinden, die an größere Grünlandbereiche angrenzen. Die Walddichte bzw. der Anteil an Waldfläche im 1.000-m-Radius besitzt entsprechend eine unimodale Ausprägung, bei der mittlere Werte die höchste Vorkommenswahrscheinlichkeit mit sich bringen (siehe Abbildung 10).

Auch der Anteil von Grasland im 1.000-m-Radius verfügt in einem unimodalen Modell über einen hohen Pseudo-Nagelkerke-R²-Wert, analog zu der Studie von Katzenberger (2020) wird jedoch ein sigmoidaler Zusammenhang als realistischer angesehen. Es gilt, je höher der Anteil an Grasland im Nahbereich um den potenziellen Horststandort, desto wahrscheinlicher wird ein Vorkommen (siehe Abbildung 11).

Zwischen der Vorkommenswahrscheinlichkeit und den Habitatvariablen Höhe des Horststandorts über NN, durchschnittliche Produktivität der Vegetation sowie dem Anteil der Ackerflächen im 1.000-m-Radius bestehen ebenfalls unimodale Zusammenhänge (siehe Abbildung 12).

In den mittleren Höhenlagen konzentrieren sich in Baden-Württemberg die größeren Grünlandbereiche, wohingegen die niedrigeren Lagen eher Siedlungsflächen und Flusstäler repräsentieren. Stark urban geprägte Flächen sowie Gewässer stellen keine bevorzugten Habitate des Rotmilans dar (siehe Tabelle 10). Die größten Erhebungen in Baden-Württemberg an der Grenze zur Schweiz sind überwiegend durch dichte Waldflächen gekennzeichnet.

Die Produktivität der Vegetation korreliert deutlich mit den vorkommenden Landnutzungsklassen. So entspricht die Produktivität, bei der die Vorkommenswahrscheinlichkeit besonders hoch ist, den Werten von Grünland. Auf Flächen mit geringer (z. B. urbane Flächen) oder mittlerer (z. B. geschlossene Waldflächen) Produktivität ist die Vorkommenswahrscheinlichkeit entsprechend gering.

Ein gewisser Anteil an Ackerflächen im Revier ist ebenfalls positiv zu sehen, allerdings werden Grünländer präferiert, sodass sich ein zu hoher Anteil negativ auswirkt. Eine Mischung aus Grünländern und Ackerflächen birgt aufgrund zeitlich variierender Bewirtschaftung Vorteile für Rotmilane.

Einen deutlich negativen Einfluss besitzen zusammenhängende urbane Fläche auf die Revierwahl des Rotmilans. Gewässer, Feuchtgebiete sowie kleinere Gehölze besitzen ebenfalls einen negativen Einfluss, allerdings ist dieser äußerst gering bzw. nicht signifikant.

Aus dem Pool potenziell geeigneter Umweltvariablen wurde anschließend das beste multivariate Modell erstellt. Eingeflossen sind die Variablen Waldstandort, Anteil Grasland, Anteil Ackerfläche sowie Anteil urbane Flächen. Die einzelnen Variablen korrelieren miteinander, allerdings nicht so stark, dass eine gemeinsame Verwendung in einem Modell ausgeschlossen ist. Auf die Verwendung der Variablen Walddichte, Höhe über NN sowie der Produktivität der Vegetation wurde jedoch verzichtet, da die zum Teil hohe Korrelation untereinander den Erklärwert des Modells schmälert. Auf die Information der Produktivität der Vegetation wurde schlussendlich verzichtet, da die Verteilung der Landnutzungsklassen einen ähnlichen Erklärwert liefert, aber gleichzeitig deutlich nachvollziehbarer und transparenter ist.

Das geeignetste multivariate Modell besitzt einen Pseudo-Nagelkerke-R²-Wert von 0,51 und ist höchst signifikant

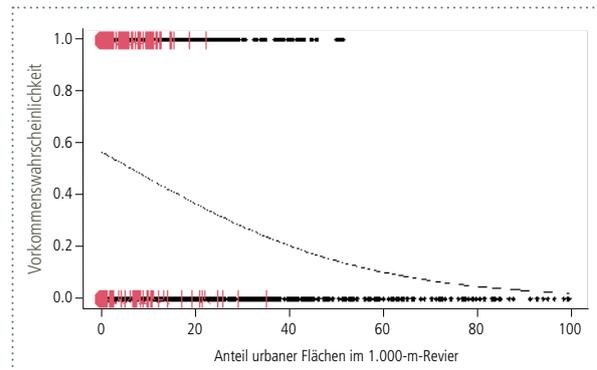


Abbildung 13 Vorkommenswahrscheinlichkeit des Rotmilans in Abhängigkeit des Anteils urbaner Flächen im 1.000-m-Radius

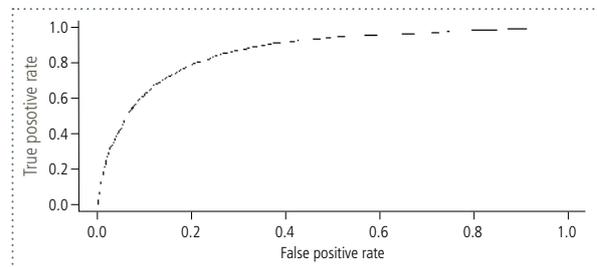


Abbildung 14 Verlauf der ROC-Kurve als Angabe des Verhältnisses zwischen richtig bzw. falsch vorhergesagten Vorkommen

(p -Wert $< 0,001$). Demnach kann knapp die Hälfte der Varianz der Vorkommenswahrscheinlichkeit durch das Modell erklärt werden. Der AUC-Wert des Modells, die Fläche unter der ROC-Kurve, liegt bei 0,87 (Abbildung 14). Das Modell ist als exzellent zu bezeichnen (siehe Tabelle 9).

In Abbildung 15 ist die Vorkommenswahrscheinlichkeit des Rotmilans in Baden-Württemberg auf Grundlage des multivariaten Habitatmodells dargestellt. Bereiche mit sehr guter Habitatqualität und somit mit einer sehr hohen Vorkommenswahrscheinlichkeit verteilen sich auf das Allgäu sowie südlich an den Schwarzwald angrenzend. Des Weiteren zieht sich ein Band von der Hochebene Baar im Südwesten bis zum östlichen Albvorland im Osten Baden-Württembergs. Die urban geprägte Metropolregion um die Landeshauptstadt Stuttgart bietet hingegen deutlich weniger geeignete Habitate. Dies trifft ebenfalls auf die Umgebung weiterer Städte wie Heilbronn, Tübingen oder Ulm zu. Eine geringe Vorkommenswahrscheinlichkeit besitzen zudem die dichten bewaldeten Bereiche des zentralen Schwarzwalds.

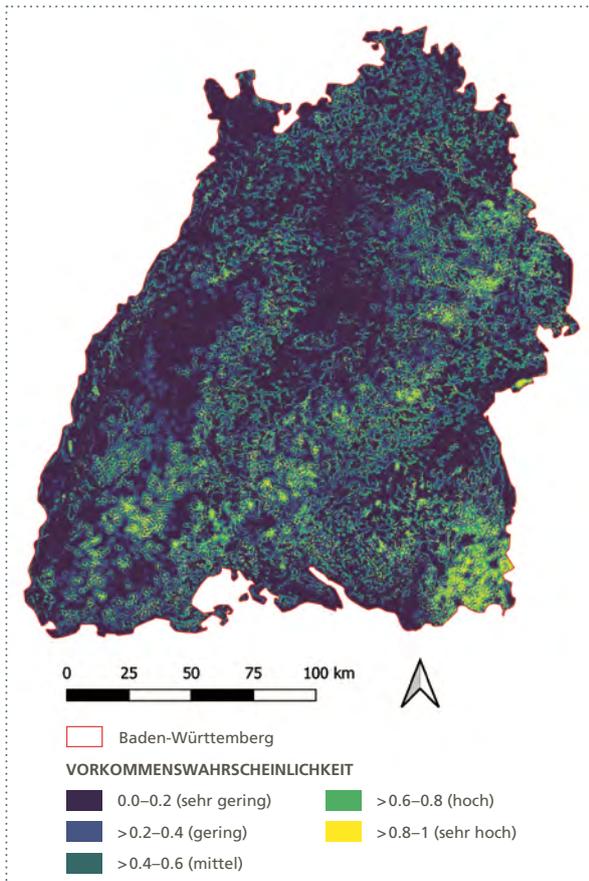


Abbildung 15 Vorkommenswahrscheinlichkeit des Rotmilans in Baden-Württemberg; der Wert von 1 entspricht einer Vorkommenswahrscheinlichkeit von 100 %; eigene Berechnung

Bei der Betrachtung der Schwellenwert-abhängigen Gütemaße zeigt sich, dass sowohl die Spezifität als auch die Sensitivität über sehr gute Werte verfügen. Dies gilt für alle drei ermittelten Schwellenwerte (siehe Tabelle 11). Der prozentuale Anteil korrekt vorhergesagter Vorkommen sowie Nicht-Vorkommen liegt für alle drei Schwellenwerte bei 80 %. Für den Schwellenwert, ob es sich bei einem Bereich

Tabelle 11 Schwellenwertabhängige Gütemaße für das beste multivariate Modell (Rotmilan Baden-Württemberg)

	P_OPT	P_FAIR	P = 0,5
Schwellenwert (P_krit)	0,4675	0,485	0,5
Sensitivität	0,818	0,799	0,799
Spezifität	0,775	0,796	0,796
% Korrekt	80,0	80,0	80,0

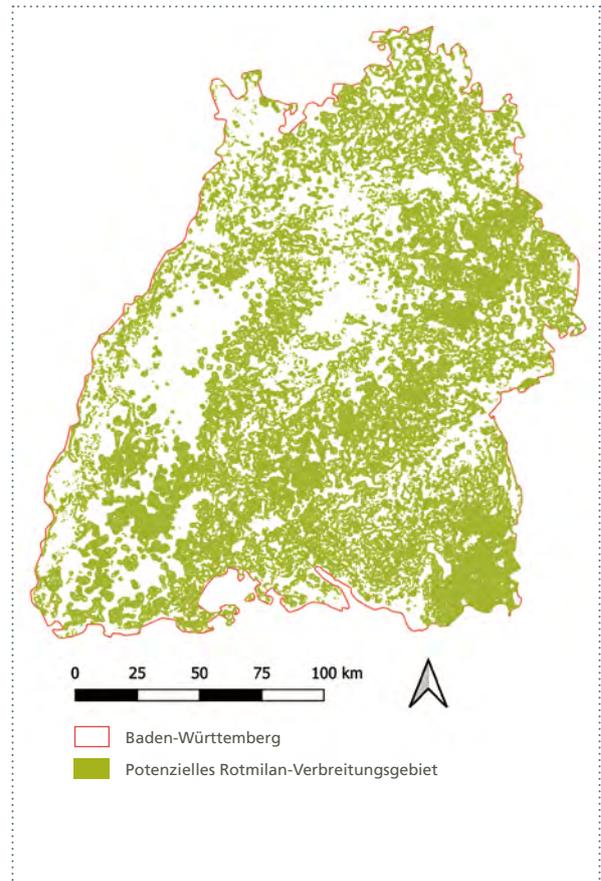


Abbildung 16 Potenzielles Verbreitungsgebiet des Rotmilans in Baden-Württemberg; eigene Berechnung

um ein potenzielles Verbreitungsgebiet handelt oder nicht, wurde der Wert P_{opt} gewählt. Alle Bereiche mit einer modellierten Vorkommenswahrscheinlichkeit von mindestens 0,4675 gelten demnach als Verbreitungsgebiet.

Das so ermittelte potenzielle Verbreitungsgebiet umfasst ca. 29 % der gesamten Landesfläche und verteilt sich, mit Ausnahme großer Teile des Schwarzwalds, entlang des Rheins sowie der Metropolregionen im Zentrum des Bundeslandes relativ gleichmäßig über Baden-Württemberg (siehe Abbildung 16).

Eine alternative Identifizierung von Flächen mit sehr geringer Vorkommenswahrscheinlichkeit des Rotmilans ist in Abbildung 17 dargestellt. Die Bereiche mit einer maximalen Vorkommenswahrscheinlichkeit von 0,2 umfassen rund 53 % der Landesfläche. Lediglich 8 % der zur Verfügung stehenden Rotmilan-Horststandorte wurden fälschlicherweise darin

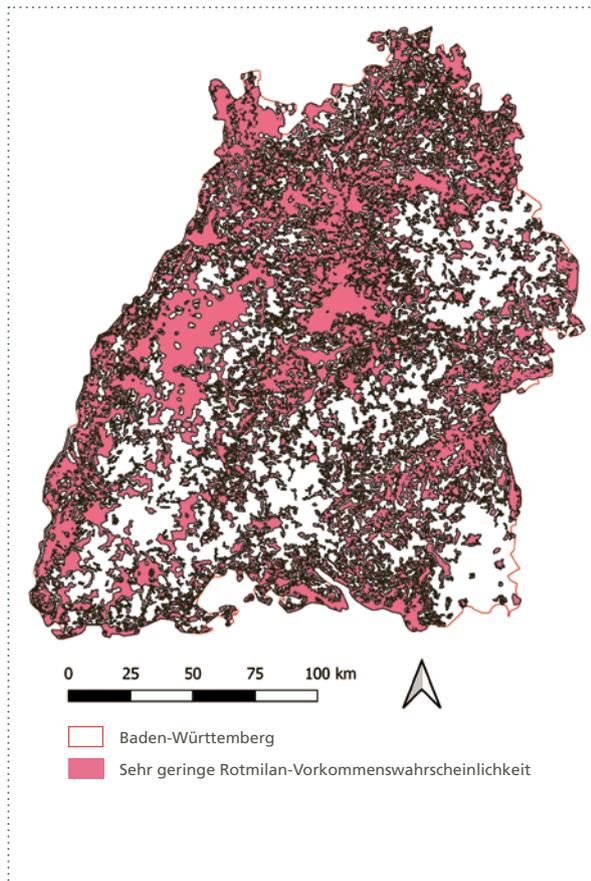


Abbildung 17 Bereiche Baden-Württembergs mit sehr geringer Vorkommenswahrscheinlichkeit ($< 0,2$) des Rotmilans; eigene Berechnung

verortet. Durch eine weitere Senkung des Grenzwerts reduziert sich dieser Anteil weiter. Diese Fläche bieten sich bei alleiniger Betrachtung des Rotmilans als Windenergiestandorte an, zusätzlich müssten jedoch weitere Arten berücksichtigt werden. Es handelt sich bei den identifizierten Flächen größtenteils um dichte Waldbereiche abseits der Waldränder sowie stark urban geprägte Teile Baden-Württembergs. Zumindest die Waldbereiche könnten potenziell für Windenergie in Frage kommen.

3.2.2 Identifizierung von Schwerpunkträumen in Baden-Württemberg

In Abbildung 18 ist die Lage der zehn potenziellen Rotmilan-Schwerpunkträume in Baden-Württemberg, die mit Hilfe der Habitatmodellierung ermittelt wurden, dargestellt.

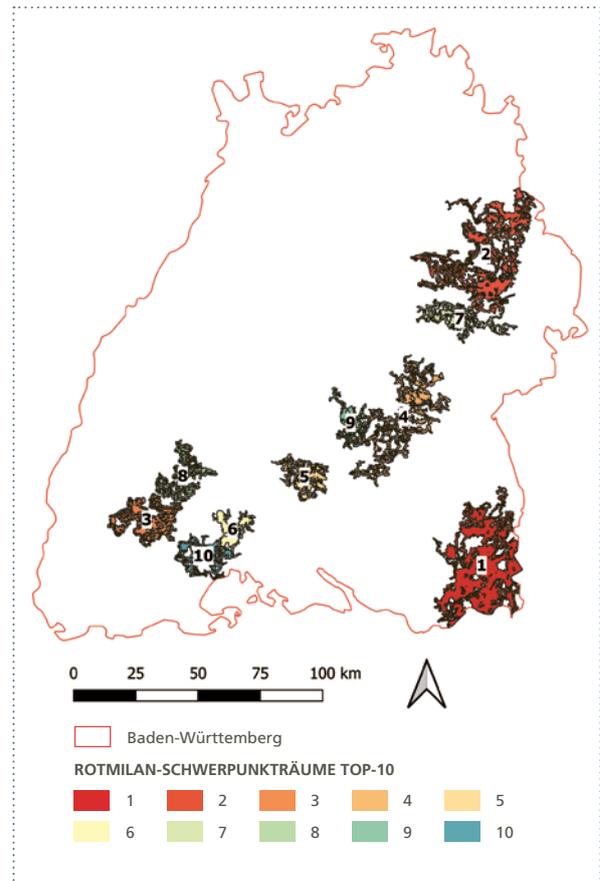


Abbildung 18 Lage und Ranking der als potenzielle Rotmilan-Schwerpunkträume in Baden-Württemberg ermittelten Teilflächen; eigene Berechnung

Entsprechend der Verteilung der Flächen mit der höchsten Vorkommenswahrscheinlichkeit befinden sich die potenziellen Schwerpunkträume im Allgäu, im südlichen Teil des Schwarzwaldes sowie als Band von der Baar im Südwesten bis nach Osten im Albvorland.

In Tabelle 12 ist die Bewertung der einzelnen Teilflächen aufgeführt. Werden die TOP-10-Flächen abgegrenzt, würden dadurch rund 29 % des potenziellen Verbreitungsgebiets als Schwerpunkträume berücksichtigt. Darin enthalten sind rund 30 % aller in die Analyse eingeflossenen Rotmilanbrutvorkommen.

Wie Abbildung 18 zu entnehmen ist, befinden sich die Teilflächen 2 und 7, 4 und 9, 3 und 8 sowie 6 und 10 in unmittelbarer Nähe zueinander, getrennt werden sie jedoch durch Flächen, die nicht als potenzielles Vorkommen

Tabelle 12 Bewertung und Ranking der ermittelten Rotmilan-Teilflächen in Baden-Württemberg

RANKING	GESAMT-FLÄCHE [KM ²]	ANTEIL BES. GEEIGNETER HABITATE [%]	BEWERTUNG FLÄCHE	BEWERTUNG QUALITÄT	GESAMT-BEWERTUNG
1	821,5	53,7	1,00	1,00	2,00
2	651,8	31,3	0,79	0,58	1,37
3	247,4	41,0	0,30	0,76	1,06
4	399,5	28,5	0,49	0,53	1,02
5	154,0	35,1	0,19	0,65	0,84
6	101,8	38,2	0,12	0,71	0,83
7	158,6	33,6	0,19	0,63	0,82
8	165,9	27,5	0,20	0,51	0,71
9	102,9	29,7	0,13	0,55	0,68
10	137,4	26,9	0,17	0,50	0,67

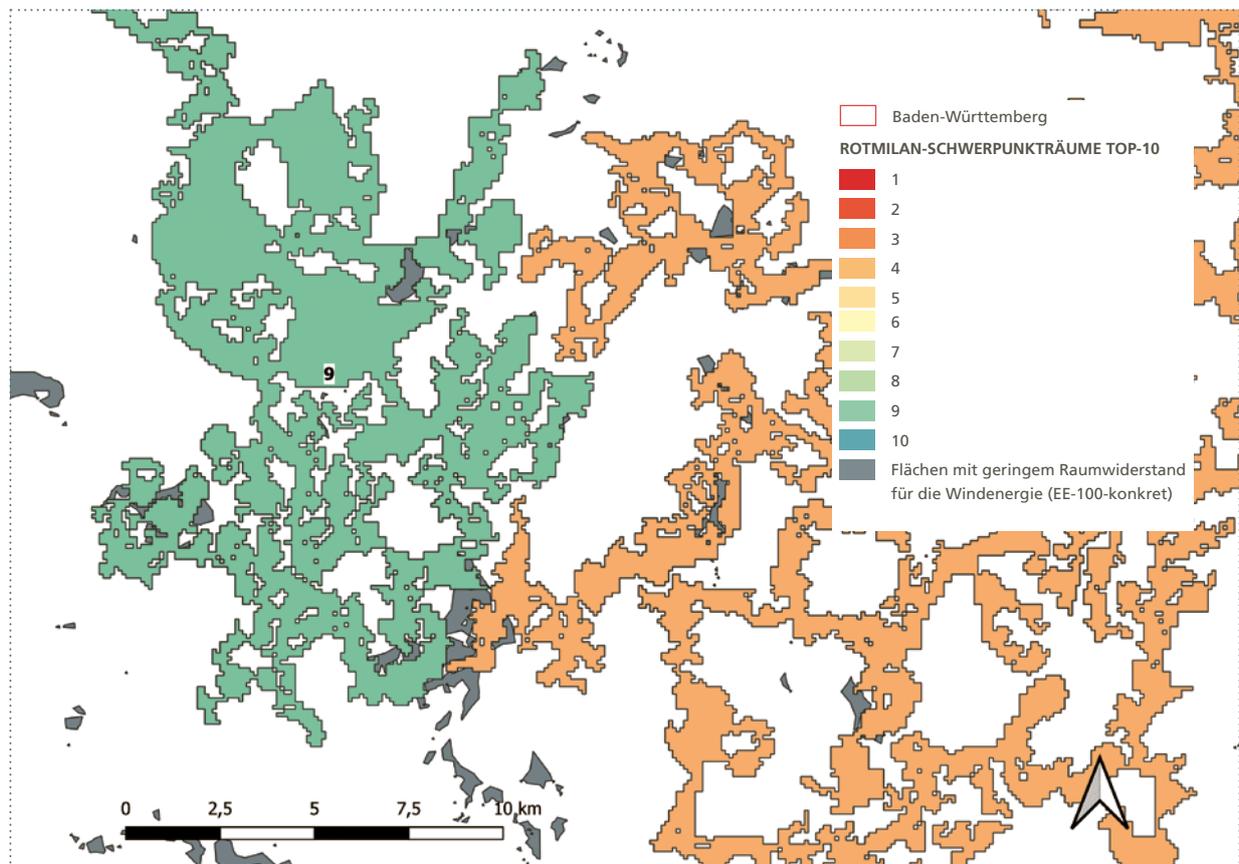


Abbildung 19 Lage von Flächen mit geringem Raumwiderstand für Windenergie (nach Thiele et al. 2021) in den ermittelten Schwerpunkträumen; eigene Berechnungen

ausgewiesenen sind. Ein Zusammenlegen der Teilflächen ist denkbar und abhängig von der benötigten Gesamtflächengröße. Insgesamt verfügen die zehn Teilflächen über eine Flächengröße von rund 2.941 km², dies entspricht gut 8 % der Landesflächen Baden-Württembergs bzw. 29 % des potenziellen Vorkommensgebiets.

Die Schwerpunkträume wurden durch die Habitatmodellierung erkennbar anhand von relevanten Habitatstrukturen der Zielart ermittelt. Dies führt zu einer scharfen Abgrenzung der Flächengrenzen sowie zu einer Nicht-Berücksichtigung von ungeeigneten Flächen innerhalb der Schwerpunkträume. Insbesondere Methoden zur Ausweisung von Schwerpunkträumen, die sich auf Kernel-Dichteberechnungen stützen, fassen die Flächen bislang

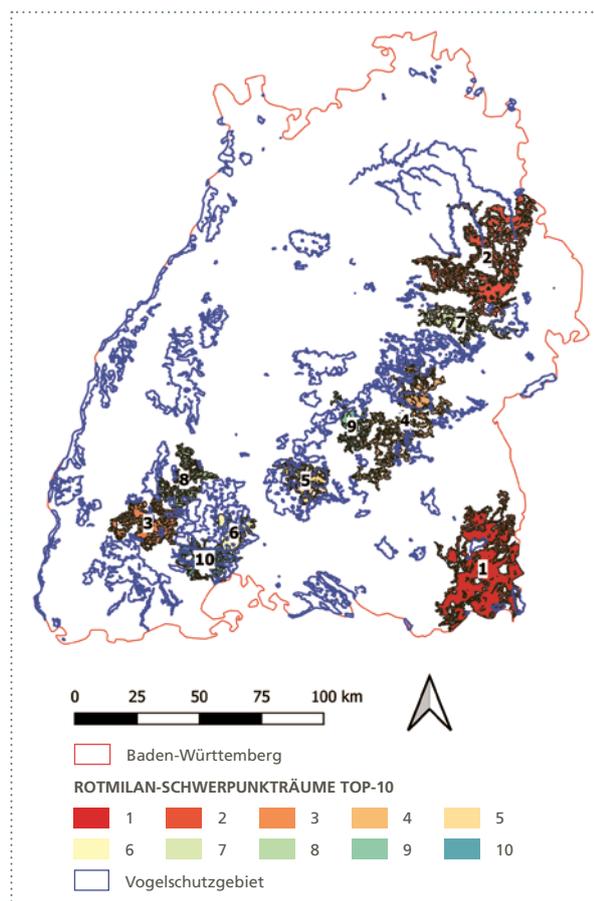


Abbildung 20 Lage der Vogelschutzgebiete Baden-Württembergs im Vergleich zu den ermittelten Schwerpunkträumen (LUBW¹³; eigene Berechnungen); * <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/natur-und-landschaft/vogelschutzgebiete> (abgerufen am 1.3.2023).

deutlich großzügiger zusammen und integrieren zum Teil auch ungeeignete Habitatstrukturen.

Zur Einschätzung des in diesem Projekt verfolgten Ansatzes wurden die Lage der in der „EE-100 konkret“ Studie der Uni Hannover¹³ ermittelten Flächen mit geringem Raumwiderstand für die Windenergie betrachtet. Beim Übereinanderlegen der Shapes zeigt sich insbesondere im Bereich der Teilflächen 4 und 9 eine hohe Kompatibilität der Flächen (siehe Abbildung 19). So grenzen Flächen mit geringem Raumwiderstand häufig direkt an die ermittelten Schwerpunkträume oder liegen in Bereichen, die über keine gute Eignung als Rotmilanhabitat verfügen.

Der Vergleich der Lage der ermittelten Schwerpunkträume mit den in Baden-Württemberg ausgewiesenen VSG zeigt ein unterschiedliches Bild (siehe Abbildung 20). Während sich die Teilflächen 6 und 10 größtenteils innerhalb von VSG befinden und die Teilflächen 4 und 5 zumindest teilweise abgedeckt sind, liegen die übrigen Teilflächen außerhalb von VSG. Die VSG mit großen Überschneidungen mit den potenziellen Schwerpunkträumen dienen hauptsächlich dem Schutz des Rotmilans.

3.2.3 Ergebnisse der weiteren Zielarten und Bundesländer

Baden-Württemberg

SCHWARZMILAN

Im Vergleich zur nah verwandten Schwesterart Rotmilan, besiedelt der Schwarzmilan ebenfalls überwiegend halb-offene Landschaften mit entsprechendem Anteil von Wäldern oder größeren Feldgehölzen (Bauer et al. 2005). Ein Unterschied besteht jedoch durch die Bindung an gewässerreiche Landschaften, vor allem Flussniederungen. Typische Bruthabitate stellen Randbereiche alter Laubholzbestände wie Auwälder, Feldgehölze oder Baumreihen in Gewässernähe dar (Gedeon et al. 2014). Zunehmend werden jedoch auch gewässerfernere Gebiete sowie mittlere bis höhere Lagen der Mittelgebirge besiedelt (ebd.).

Entsprechend vielseitig ist die potenzielle Nahrung des Schwarzmilans, insgesamt ist die Art noch opportunistischer als der Rotmilan. Verzehrt werden Fische, Vögel, Kleinsäuger, Amphibien, Reptilien Insekten und Regenwürmer,

¹³ <https://data.uni-hannover.de/dataset/dataset-areas-with-low-and-medium-spatial-vulnerability-to-a-prototype-wind-turbine> (abgerufen am 03.06.2022).

Tabelle 13 Jahre der vorliegenden Rot- und Schwarzmilankartierungen aus Baden-Württemberg

MONITORING/KARTIERUNG	ZEITRAUM
OGBW Milankartierung	2011–2012
LUBW Schwarzmilankartierung (in windhöffigen Gebieten)	2012
LUBW Schwarzmilankartierung (in windhöffigen Gebieten)	2013
LUBW Schwarzmilankartierung (in windhöffigen Gebieten)	2014
LUBW-Greifvogelmonitoring	2018
LUBW Milankartierung	2019
LUBW-Greifvogelmonitoring	2019
LUBW-Greifvogelmonitoring	2020

die entweder gejagt oder bereits tot gefunden werden (Bauer et al. 2005).

Für den Schwarzmilan stehen in Baden-Württemberg wie für den Rotmilan eine Vielzahl an Verbreitungsdaten zur Verfügung. In den Zeiträumen 2012–2014 sowie 2018–2020 fanden unterschiedliche systematische Greifvogelkartierungen statt, die insgesamt 1.555 Horststandorte erfasst haben. Eine Übersicht der Kartierungen ist in Tabelle 13 zusammengestellt, die Qualität der Erfassungen ist – wie für den Rotmilan – vergleichsweise hoch. Informationen zu den einzelnen Kartierungen sind auf der Website der LUBW zusammengestellt¹⁴.

Darüber hinaus waren in dem durch die LUBW zur Verfügung gestellten Datensatz weitere Vorkommen, welche auf Zufallserfassungen oder nicht-systematischen Kartierungen beruhen, enthalten.

Insgesamt stehen systematisch erfasste Vorkommen aus rund 70 % der Messtischblattquadranten zur Verfügung (siehe Abbildung 21). Nach der Entfernung doppelter Einträge bzw. wiederholt erfasster Horststandorte sowie den Ergebnissen nicht-systematischer Erfassungen, verbleiben 635 Schwarzmilan Brutplätze für die Modellierungen. Die durchschnittliche Entfernung zwischen zwei Schwarzmilanhorsten betrug 1.500m. Dementsprechend wurden zufällig 635 Pseudo-Absenzpunkte in mindestens dieser Entfernung innerhalb aller systematisch kartierten MTBQ erstellt.

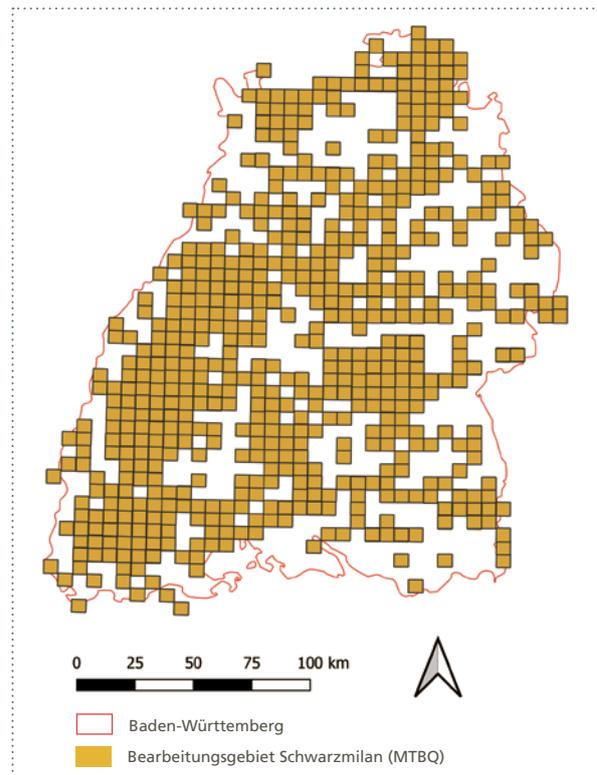


Abbildung 21 Für die Schwarzmilan-Präsenz-Eingangsdaten berücksichtigte MTBQ in Baden-Württemberg, eigene Darstellung

Neben den bereits für den Rotmilan getesteten Habitatvariablen (vgl. Tabelle 8) wurden ergänzend ebenfalls die Distanz zwischen Brutstandorten und Seen (> 5 ha) und der Anteil von Flüssen im 500-m-Radius getestet (siehe Tabelle 15). Die Ausgangsdaten beider Variablen sind in Tabelle 14 aufgeführt. Beide Variablen repräsentieren die Präferenz der Art für wassergebundene Nahrungshabitate. Im Vergleich zu den verschiedenen Landnutzungsklassen zeigte der Anteil Flüsse im 500-m-Radius stärkere Effekte als im 1.000-m-Radius. Kleinere Seen mit einer Fläche < 5 ha wurden aufgrund ihrer schlechten Jagdmöglichkeiten ausgeschlossen.

Die Distanz zwischen den Schwarzmilanhorsten sowie den Pseudo-Absenzstandorten wurde mit Hilfe der QGIS-Erweiterung *NN-Join* ermittelt. Die Länge der Fließgewässer wurde über das Analyse-Werkzeug *Linienlängen summieren* bestimmt.

¹⁴ <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/natur-und-landschaft/artenschutz-und-windkraft> (abgerufen am 6.12.2022).

Die Modellierung der für den Schwarzmilan geeigneten Habitats zeigt dementsprechend große Übereinstimmungen mit den Ansprüchen der eng verwandten Art Rotmilan. Für das Vorkommen des Schwarzmilans sind ebenfalls in erster Linie geeignete Brutwälder mit angrenzendem Grünland entscheidend. Es zeigt sich jedoch deutlich die aus der Literatur bekannte Affinität zu Gewässern, die das Vorkommen des Schwarzmilans regional von dem des Rotmilans unterscheidet.

Von den zehn getesteten univariaten Modellen sind neun signifikant bis höchst signifikant, das Modell „Anteil Gewässer“ liegt knapp oberhalb des p-Grenzwerts von 0,05 (siehe Tabelle 16). Über vergleichsweise hohe Pseudo-Nagelkerke-R²-Werte verfügen Variablen mit Angaben zum Wald-, Grasland sowie Acker-Anteil im 1.000-m-Radius. Auch die Variablen zur Verfügbarkeit von Jagdgewässern im 500-m-Radius erklären Teile der Varianz der Vorkommenswahrscheinlichkeit. Alle weiteren Variablen tragen trotz Signifikanz nur bedingt zur Erklärung der Varianz bei.

Tabelle 14 Ausgangsdaten der gegenüber dem Rotmilan zusätzlich für den Schwarzmilan berücksichtigten Umweltvariablen in Baden-Württemberg

VARIABLE	AUFLÖSUNG	ZEITRAUM	BEMERKUNG	QUELLE
Seen	Kompletter Bestand stehender Gewässer in Baden-Württemberg	2021	Berücksichtigt werden Seen mit einer Fläche > 5 ha	https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/wasser/awgn
Fließgewässer	Länger > 500 m	2021	Ständig wasserführend	https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/wasser/awgn

Tabelle 15 Zusätzlich für die Habitatmodellierung des Schwarzmilans in Baden-Württemberg berücksichtigte Umweltvariablen

VARIABLE	TYP	WERT	BEMERKUNG
Distanz zum nächstgelegenen See (> 5 ha)	Metrisch	Meter	Ermittelt aus der Ausgangsvariable „Seen > 5 ha“
Anteil Fließgewässerstrecke im 500-m-Radius	Metrisch	Meter	Ermittelt aus Ausgangsvariable „Fließgewässer“

Tabelle 16 Wirkrichtung und Effektstärke der univariaten Modelle (z-transformiert) für den Schwarzmilan in Baden-Württemberg

VARIABLE	SIGMOIDAL		UNIMODAL		PSEUDO-NAGELKERKE-R ²	P-WERT
	Koeffizient	Odds Ratio	Koeffizient	Odds Ratio		
Anteil Wald	1,695	5,44	-0,001	0,99	0,204	<0,001
Anteil Grasland	0,369	1,45			0,041	<0,001
Waldstandort	1,010	2,75			0,059	<0,001
Höhe ü. NN	-0,049	0,952	-0,117	0,890	0,009	<0,050
Anteil Acker	0,616	1,85	-0,362	0,70	0,092	<0,001
Anteil Urban	-0,182	0,83			0,010	<0,010
Anteil Gewässer	0,116	1,12			0,004	>0,050
Anteil Feuchtgebiete	0,285	1,33			0,002	<0,001
Fließgewässerstrecke	0,281	1,32			0,025	<0,001
Distanz zum nächstgelegenen See	-0,191	0,83			0,012	<0,001

p-Wert: >0,05 = nicht signifikant, <0,05 signifikant, <0,01 hoch signifikant, <0,001 höchst signifikant

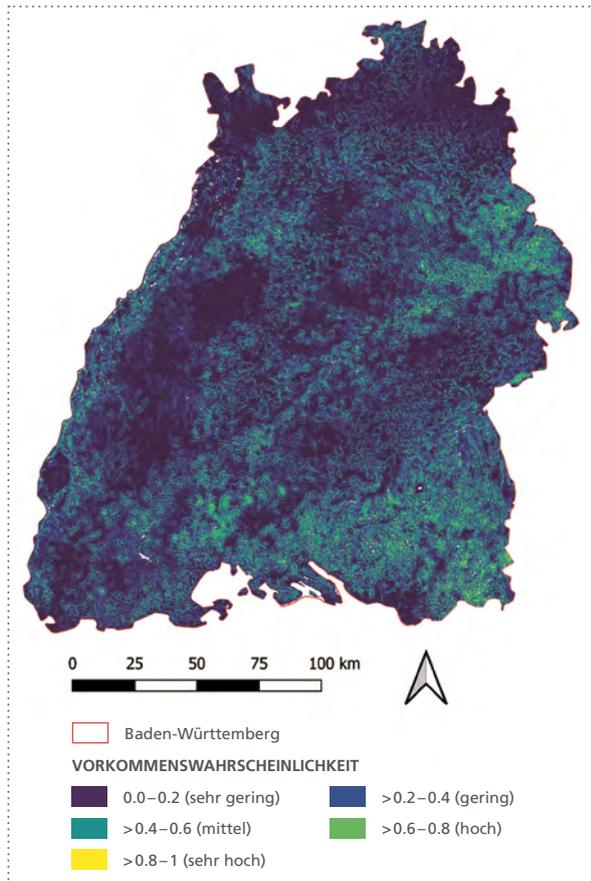


Abbildung 22 Vorkommenswahrscheinlichkeit des Schwarzmilans in Baden-Württemberg; der Wert von 1 entspricht einer Vorkommenswahrscheinlichkeit von 100 %; eigene Berechnung

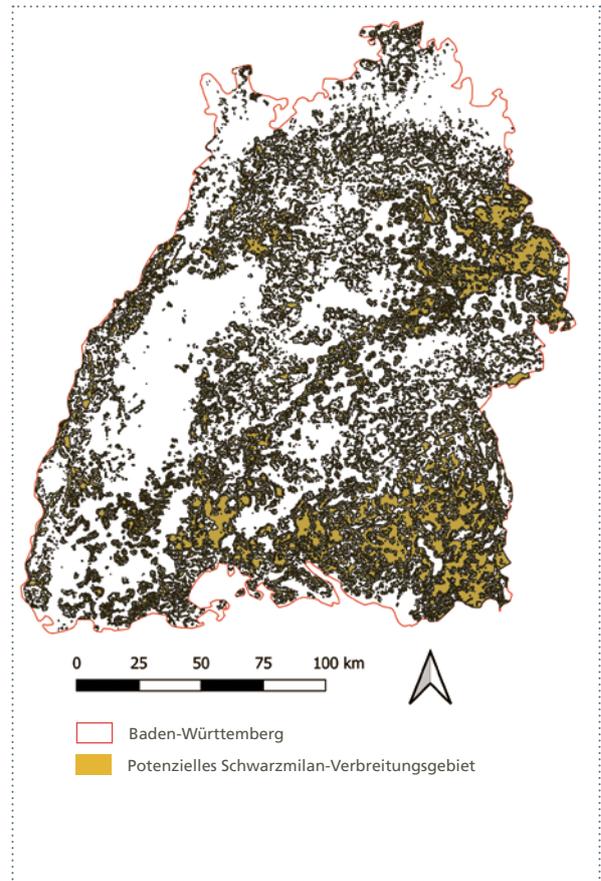


Abbildung 23 Potenzielles Verbreitungsgebiet des Schwarzmilans in Baden-Württemberg; eigene Berechnung

Aus dem Pool potenziell geeigneter Umweltvariablen wurde anschließend das beste multivariate Modell erstellt. Eingeflossen sind die Variablen Waldstandort, Anteil Grasland, Anteil Ackerfläche (unimodal), Anteil Feuchtgebiet, die Distanz zum nächstgelegenen See sowie die Fließgewässerstrecke im Revier. Die einzelnen Variablen korrelieren miteinander, allerdings nicht so stark, dass eine gemeinsame Verwendung in einem Modell ausgeschlossen ist.

Das geeignetste multivariate Modell besitzt einen Pseudo-Nagelkerke-R²-Wert von 0,29 und ist höchst signifikant (p-Wert < 0,005). Demnach kann knapp ein Drittel der Varianz der Vorkommenswahrscheinlichkeit durch das Modell erklärt werden. Der AUC-Wert des Modells liegt bei 0,78.

Das Modell befindet sich somit an der Grenze zwischen akzeptabel und exzellent (siehe Tabelle 9).

In Abbildung 22 ist die Vorkommenswahrscheinlichkeit des Schwarzmilans in Baden-Württemberg auf Grundlage des multivariaten Habitatmodells dargestellt. Im Vergleich zum Rotmilan gibt es deutliche Überschneidungen, jedoch stellt die Schwäbische Alb ein deutlich weniger attraktives Verbreitungsgebiet des Schwarzmilans dar, als es für die Schwesterart der Fall ist. Bereiche mit sehr guter Habitatqualität und somit mit einer sehr hohen Vorkommenswahrscheinlichkeit befinden sich zum einen im Süden, im Allgäu, angrenzend an den Bodensee sowie im Bereich der Hochebene Baar. Hinzu kommen die Flusstäler der

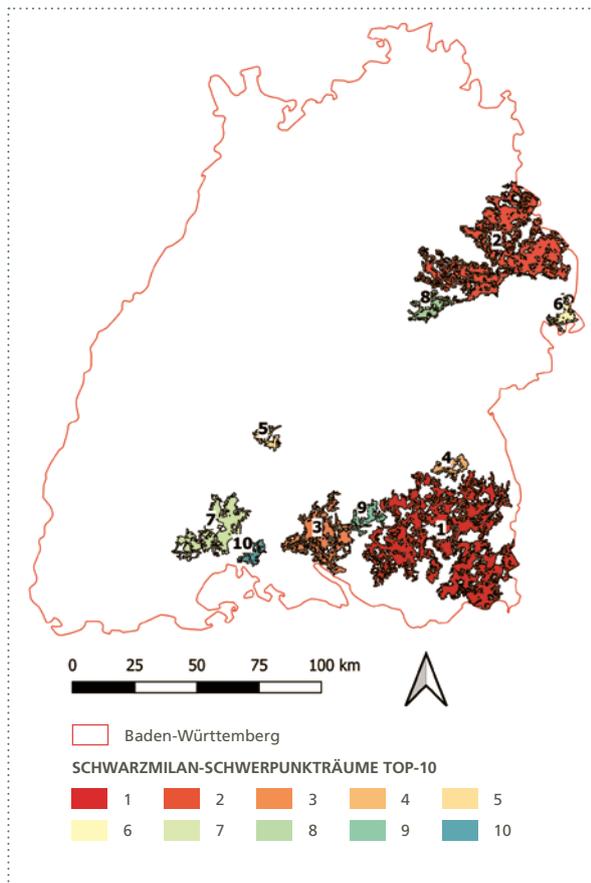


Abbildung 24 Lage und Ranking der als potenzielle Schwarzmilan-Schwerpunkträume ermittelten Teilflächen für Baden-Württemberg; eigene Berechnung

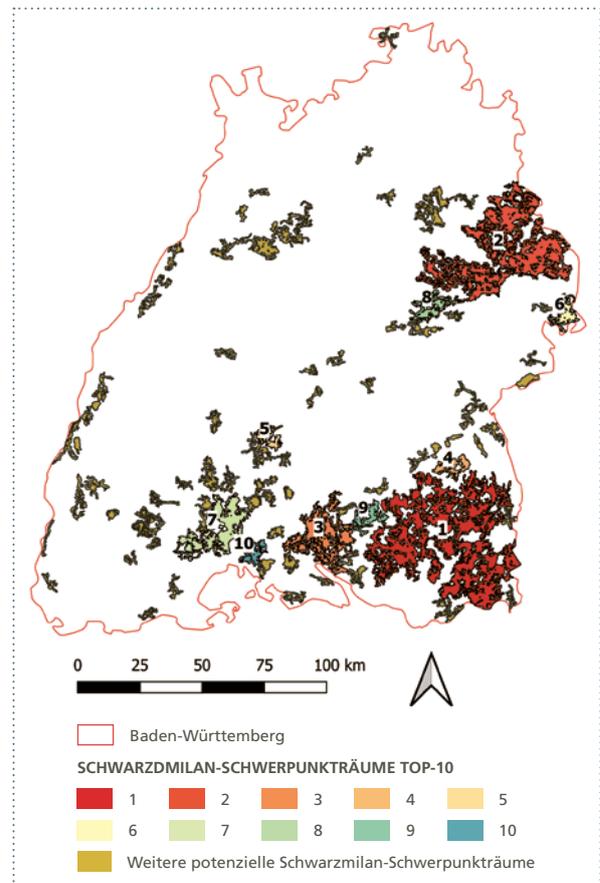


Abbildung 25 Beispielhaft dargestellte weitere potenzielle Schwerpunkträume des Schwarzmilans in Baden-Württemberg; eigene Berechnung

Donau (nördlich des Allgäus) sowie des Rheins, ganz im Westen des Bundeslandes. Ein weiteres größeres Gebiet mit sehr guter Eignung als Schwarzmilan Lebensraum befindet sich in Ostwürttemberg.

Keine geeigneten Verbreitungsgebiete stellen ähnlich wie beim Rotmilan die Metropolregion um die Landeshauptstadt Stuttgart sowie die zentralen Bereiche des Schwarzwaldes dar. Zusätzlich weist der Norden Baden-Württembergs große Verbreitungslücken auf.

Je nach Wahl des Schwellenwerts P_{krit} unterscheiden sich die Werte der Sensitivität und Spezifität deutlich. P_{opt} liefert mit 72,3 % korrekt vorhergesagter Vorkom-

men und Nicht-Vorkommen insgesamt die beste Leistung, allerdings fällt die Spezifität im Vergleich zur Sensitivität deutlich ab (siehe Tabelle 17). Um zunächst möglichst alle geeigneten Flächen zu identifizieren, wurde Wert auf eine hohe Sensitivität gelegt. Aus diesem Grund wurde sich für die weitere Auswertung dennoch für den P_{opt} entschieden. Andere Ansätze, wie eine gleichgewichtete Ausweisung von ungeeigneten Flächen, würden bspw. P_{fair} bevorzugen.

Tabelle 17 Schwellenwertabhängige Gütemaße für das beste multivariate Modell (Schwarzmilan Baden-Württemberg)

	P_OPT	P_FAIR	P = 0,5
Schwellenwert (P_krit)	0,4375	0,52	0,5
Sensitivität	0,8016	0,7087	0,7307
Spezifität	0,6451	0,7114	0,6924
% Korrekt	72,3	71,0	71,1

Das so ermittelte potenzielle Verbreitungsgebiet umfasst ca. 26 % der gesamten Landesfläche. Schwerpunkte lassen sich bereits im Süden, mit Ausnahme des Südwestens, sowie in Ostwürttemberg erkennen. Größere Lücken bestehen im Norden, im Zentrum (Metropolregion Stuttgart) sowie im Bereich des Schwarzwalds und entlang des Rheins sowie der Metropolregionen im Zentrum des Bundeslandes. Die weitere potenzielle Verbreitung ist relativ gleichmäßig über Baden-Württemberg verteilt (siehe Abbildung 23).

In Abbildung 24 ist die Lage der zehn potenziellen Schwarzmilan-Schwerpunkträume in Baden-Württemberg, die mit Hilfe der Habitatmodellierung ermittelt wurden, dargestellt. Entsprechend der Verteilung der Flächen mit der höchsten Vorkommenswahrscheinlichkeit befinden sich die

potenziellen Schwerpunkträume im Allgäu, im Flusstal der Donau und oberhalb des Bodensees, sowie in Ostwürttemberg und im Bereich der Hochfläche Baar. Überschneidungen zwischen Rot- und Schwarzmilan-Schwerpunkträumen bestehen im Allgäu, der Hochfläche Baar sowie in Ostwürttemberg. Auf Grund der Fokussierung auf größere zusammenhängende Flächen, sind die punktuell unterbrochenen Flächen entlang des Rheins in dieser Form nicht Bestandteil der TOP-10-Flächen, obwohl die zusammenhängende Habitatflächen des Schwarzmilans im Vergleich zum Rotmilan insgesamt kleiner sind (Ausnahme Allgäu und Ostwürttemberg). Entlang des Rheins bestehen jedoch große Überschneidungen zwischen potenziellen Schwarzmilanrevieren und ausgewiesenen Vogelschutzgebieten (vgl. Abbildung 20 und Abbildung 23).

In Tabelle 18 ist die Bewertung der einzelnen Teilflächen aufgeführt. Werden die TOP-10-Flächen berücksichtigt, würden dadurch rund 35 % des Verbreitungsgebiets als Schwerpunkträume berücksichtigt. Darin enthalten sind rund 35 % der für die Modellierungen berücksichtigten Schwarzmilanbrutvorkommen.

An dieser Stelle sei wiederholt betont, dass die Auswahl der TOP-10-Flächen nicht final ist und nur eine Auswahl innerhalb dieses Projekts darstellt. In Abbildung 25 sind

Tabelle 18 Bewertung und Ranking der ermittelten Schwarzmilan-Teilflächen in Baden-Württemberg

RANKING	GESAMTFLÄCHE [KM²]	ANTEIL BES. GEEIGNETER HABITATE [%]	BEWERTUNG FLÄCHE	BEWERTUNG QUALITÄT	GESAMTBEWERTUNG
1	1.379,4	19,0	1,00	1,00	2,00
2	938,6	16,0	0,68	0,85	1,53
3	308,2	13,3	0,22	0,70	0,92
4	53,0	16,7	0,04	0,87	0,91
5	41,4	16,5	0,03	0,87	0,90
6	63,9	15,6	0,05	0,82	0,87
7	267,5	12,0	0,19	0,63	0,82
8	86,7	14,3	0,06	0,76	0,82
9	71,2	14,2	0,05	0,75	0,79
10	52,6	14,3	0,04	0,75	0,79

weitere potenzielle Schwerpunkträume des Schwarzmilans in Baden-Württemberg dargestellt. Dazu zählen ebenfalls schmalere Flächen entlang der Gewässer, insbesondere des Rheins.

Gesamtübersicht

Die kombinierten Schwerpunkträume der Arten Rot- und Schwarzmilan umfassen bei vollständiger Berücksichtigung eine Fläche von 4.976 km², dies entspricht in etwa 14 % der Landesfläche Baden-Württembergs. Überschneidungen finden hauptsächlich im Allgäu, in Ostwürttemberg sowie im Bereich der Hochfläche Baar statt. Die Teilflächen, die potenziell für beide Arten geeignete Schwerpunkträume darstellen, umfassen insgesamt eine Fläche von 1.227 km² (3,4 % Baden-Württembergs). Teilflächen, die für mehrere Arten geeignet sind, sollten bei der Flächenauswahl prioritär behandelt werden.

Zusätzlich dargestellt ist die Verbreitung des Wanderfalken als Brutpaare in MTBQ. Die Informationen stammen aus Kartierungen aus den Jahren 2016 bis 2021 und wurden ebenfalls durch das LUBW zur Verfügung gestellt. Im Vergleich zu den Verbreitungen der Milane bestehen kaum Überschneidungen in Baden-Württemberg, sodass potenziell weitere Flächen als Schwerpunkträume auszuweisen sind. Generell kommt der Wanderfalke jedoch nur in geringen Dichten vor.

Werden nur die betrachteten Arten berücksichtigt, stehen große Flächen abseits der Schwerpunkträume für die Windenergie zur Verfügung. Darüber hinaus gilt es jedoch weitere Arten sowie Kriterien abseits des Artenschutzes zu beachten.

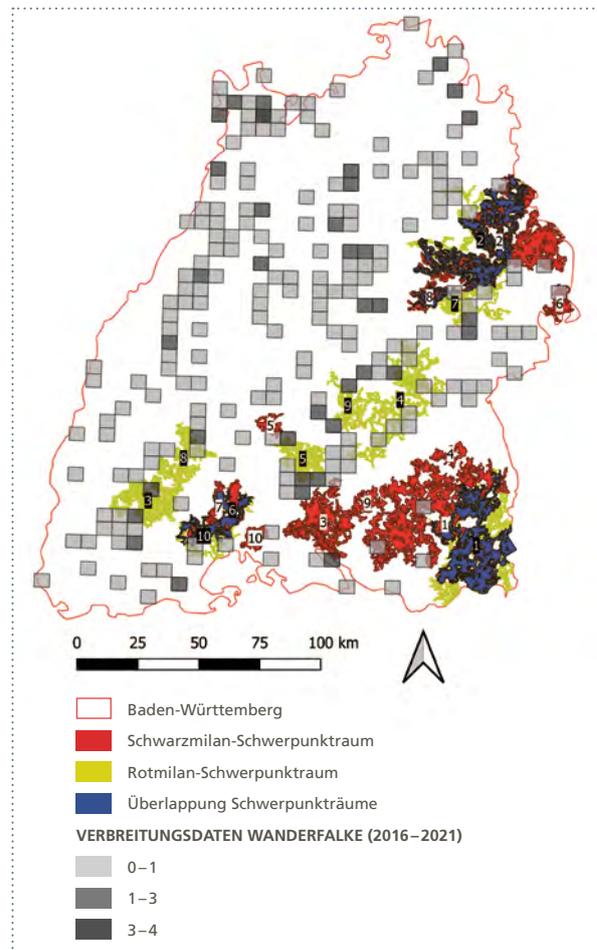


Abbildung 26 Übersicht der im Projekt ermittelten Schwerpunkträume in Baden-Württemberg inkl. Wanderfalcken-Vorkommen; eigene Berechnungen

Brandenburg

Das zweite untersuchte Bundesland Brandenburg (BB) unterscheidet sich hinsichtlich der Landnutzung in einigen Punkten gegenüber Baden-Württemberg (BW). Zwar besitzen beide Bundesländer – Stand 2021 – im bundesweiten Vergleich überdurchschnittliche hohe Anteile von Waldflächen (BB = 34,8 %; BW = 37,8 %) und Landwirtschaft (BB = 48,3 %; BW = 44,9 %)¹⁵, jedoch ist der Anteil von Dauergrünland in Baden-Württemberg (15,2 %) um rund ein Drittel höher als in Brandenburg (10,1 %). Darüber hinaus ist Brandenburg durch die Bodenreform der ehemaligen DDR durch deutlich größere zusammenhängende landwirtschaftliche Flächen geprägt. Die durchschnittliche Größe eines brandenburgischen Betriebs beträgt 242 ha, wohingegen Betriebe in Baden-Württemberg durchschnittlich 36 ha groß sind.¹⁶ Zusätzlich ist Brandenburg durch das stark urban geprägte Zentrum gekennzeichnet, welches durch das Gebiet Berlins sowie der brandenburgischen

Umlandgemeinden Berlins gebildet wird. Mit Ausnahme des Nord- und Südostens verteilen sich zudem zahlreiche größere Seen über das Bundesland (siehe Abbildung 27).

ROTMILAN

Im Gegensatz zu Baden-Württemberg fanden in Brandenburg laut Aussage des LfU in den vergangenen Jahren keine systematischen, landesweiten Rotmilan-Erfassungen statt (schriftl. Mitteilung vom 04.03.2022). Die letzten derartigen Erfassungen stellen die Datengrundlage für den deutschen Brutvogelatlas dar. Stattdessen wurde eine Übersicht von 2.167 Rotmilanhorsten zur Verfügung gestellt, die im Zeitraum 2016 bis 2021 im Zuge unterschiedlicher Kartierungen erfasst wurden. Darin enthalten war eine Vielzahl an Dopplungen, die für die weitere Auswertung analog zum Vergehen in Baden-Württemberg zunächst aussortiert werden mussten. Für die Habitatmodellierungen standen schlussendlich 1.445 Horststandorte zur Verfügung.

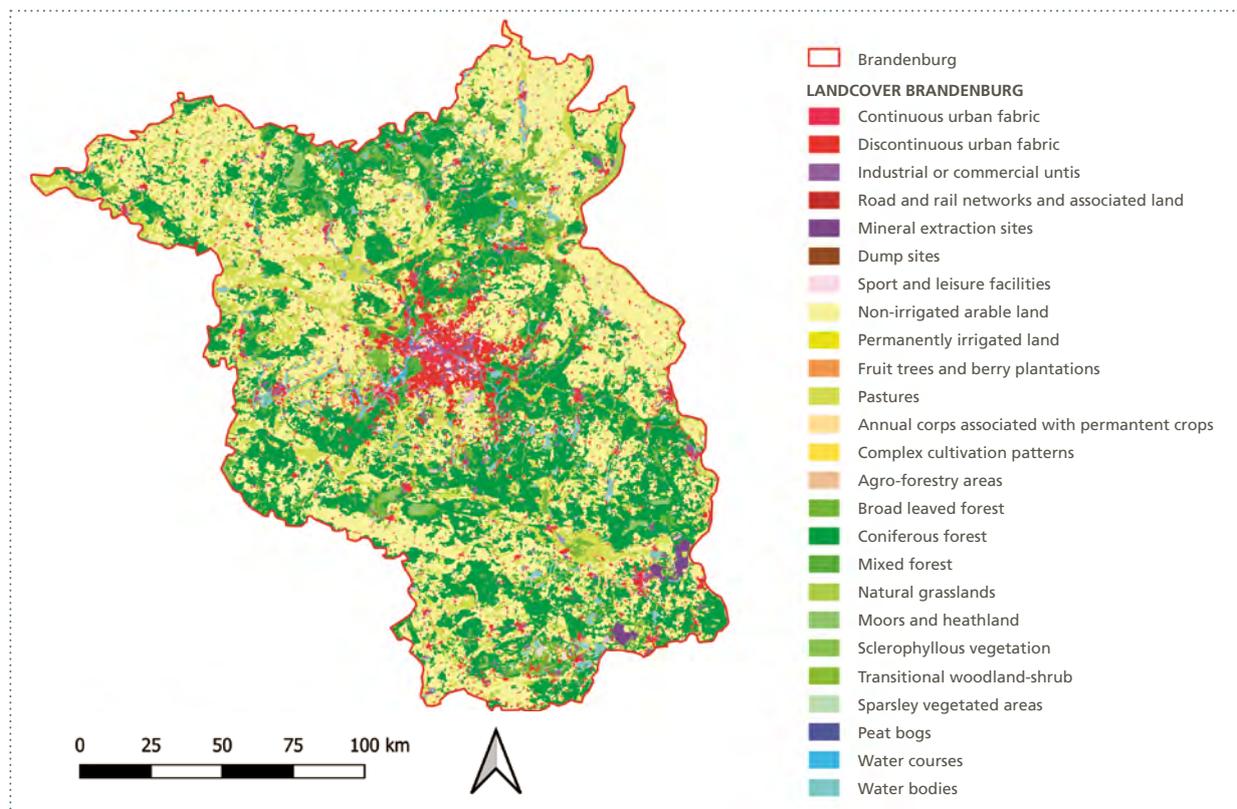


Abbildung 27 Verteilung der Corine Landnutzungstypen in Brandenburg; eigene Darstellung

¹⁵ <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Tabellen/bodenflaeche-laender.html> (abgerufen am 5.2.2023).

¹⁶ <https://agrarbericht.brandenburg.de/abo/de/start/agrarstruktur/im-vergleich/> (abgerufen am 5.2.2023).

Tabelle 19 Für die Habitatmodellierung des Rotmilans in Brandenburg berücksichtigte Umweltvariablen

VARIABLE	TYP	WERT	BEMERKUNG
Anteil Grünland im 1.000-m-Radius	Metrisch	Prozent	Ermittelt aus der Ausgangsvariable „Grünland“
Anteil Ackerfläche im 1.000-m-Radius	Metrisch	Prozent	Ermittelt aus Corine-Landnutzungstypen der Kategorie „Acker“
Anteil Waldfläche im 1.000-m-Radius	Metrisch	Prozent	Ermittelt aus der Ausgangsvariable „Wald“
Waldstandort	Kategorial	Ja/Nein	Ermittelt aus der Ausgangsvariable „Wald“
Anteil urbane Flächen im 1.000-m-Radius	Metrisch	Prozent	Ermittelt aus Corine-Landnutzungstypen der Kategorie „Urban“
Anteil kleine Gehölzflächen im 1.000-m-Radius	Metrisch	Prozent	Ermittelt aus der Ausgangsvariable „Kleine Gehölzstrukturen“
Anteil Wasserflächen im 1.000-m-Radius	Metrisch	Prozent	Ermittelt aus der Ausgangsvariable „Wasserflächen“
Anteil temporäre Feuchtgebietsflächen im 1.000-m-Radius	Metrisch	Prozent	Ermittelt aus der Ausgangsvariable „Feuchtgebiete“
Kleinere Gehölzflächen (Horststandort)	Kategorial	Ja/Nein	Ermittelt aus der Ausgangsvariable „Kleine Gehölzstrukturen“
Distanz zum nächstgelegenen See	Metrisch	Meter	

Tabelle 20 Wirkrichtung und Effektstärke der univariaten Modelle (z-transformiert) für den Rotmilan in Brandenburg

VARIABLE	SIGMOIDAL		UNIMODAL		PSEUDO-NAGELKERKE-R ²	P-WERT
	Koeffizient	Odds Ratio	Koeffizient	Odds Ratio		
Anteil Wald	-0,306	0,73	-0,788	0,455	0,188	<0,001
Anteil Grasland	0,665	1,45			0,110	<0,001
Waldstandort	0,235	1,26			0,004	<0,010
Höhe ü. NN	-0,096	0,91	-0,008	0,992	0,003	<0,050
Anteil Acker	0,0376	1,46	-0,585	0,557	0,088	<0,001
Anteil Urban	-0,302	0,74			0,025	<0,001
Anteil Gewässer	0,093	1,10			0,003	>0,050
Anteil temporäre Feuchtgebiete	0,806	2,24	-0,278	0,76	0,064	<0,001
Kleinere Gehölzflächen (Horststandort)	0,744	2,10			0,122	<0,001
Distanz zum nächstgelegenen See	-0,231	0,83			0,017	<0,001

p-Wert: >0,05 = nicht signifikant, <0,05 signifikant, <0,01 hoch signifikant, <0,001 höchst signifikant

Zwar stand somit in Brandenburg ebenfalls eine hohe Anzahl an Horststandorten zur Verfügung, auf Grund fehlender Informationen zum Erfassungsgrad konnte jedoch kein Gebiet ermittelt werden, in dem es mit hoher Sicherheit kein weiteres Rotmilanvorkommen gibt. Für die Verteilung der Pseudo-Absenzpunkte wurde daher auf das gesamte Bundesland zusätzlich Berlins zurückgegriffen, was den Informationsge-

halt vermutlich schmälert. Insgesamt wurden 1.445 zufällig verteilte Pseudo-Absenzpunkte in einer minimalen Entfernung von 1.400m zum nächstgelegenen Horststandort erstellt (Median-Entfernung zwischen zwei Horsten).

Für die Habitatmodellierung des Rotmilans in Brandenburg wurde auf die Erkenntnisse aus Baden-Württemberg

zurückgegriffen, sodass überwiegend Habitatparameter mit erwartbar hohem Erklärwert für die Auswertungen berücksichtigt wurden. Zusätzlich wurden mögliche notwendige Anpassungen hinsichtlich der differenzierten Landnutzung bzw. Verbreitung geprüft. So konnte festgestellt werden, dass rund ein Viertel aller im Datensatz enthaltenden Brutplätze in Brandenburg auf kleineren Gehölzflächen zu verorten sind, knapp 70 % der Vögel brütet in größeren Waldflächen bzw. deren Rändern. Im Gegensatz dazu spielen kleinere Gehölzflächen in Baden-Württemberg eine untergeordnete Rolle (5 % aller Bruten), dort befinden sich die Horste fast ausschließlich am Waldrand (90 %). Dementsprechend wurden kleinere Gehölzflächen in Brandenburg als relevante Brutstandorte in die Auswertung mit aufgenommen.

Von den zehn getesteten univariaten Modellen sind neun signifikant bis höchst signifikant, das Modell „Anteil Gewässer“ liegt knapp oberhalb des p-Grenzwerts von 0,05 (siehe Tabelle 20). Über vergleichsweise hohe Pseudo-Nagelkerke-R²-Werte verfügen Variablen mit Angaben zum Wald-, Grasland sowie Acker-Anteil im 1.000-m-Revier. Alle weiteren Variablen tragen trotz Signifikanz nur bedingt zur Erklärung der Varianz bei.

Aus dem Pool potenziell geeigneter Umweltvariablen wurde anschließend das beste multivariate Modell erstellt. Eingeflossen sind die Variablen Anteil Wald (unimodal), Kleinere Gehölzflächen (Horststandort), Anteil Grasland, Anteil Urban, Anteil temporäre Feuchtgebiete (unimodal) sowie die Distanz zum nächstgelegenen See. Wie in Baden-Württemberg liefert auch in Brandenburg das univariate Modell der Variable Anteil Acker (unimodal) einen vergleichsweise hohen Erklärwert, jedoch ist das Vorkommen in Brandenburg deutlich stärker negativ durch intensiv genutzte landwirtschaftliche Flächen geprägt. Innerhalb des multivariaten Modells führt die Hinzunahme jedoch zu keiner signifikanten Verbesserung. Aufgrund von Korrelation zwischen den einzelnen Variablen (der Landnutzung) ist die Information bereits indirekt enthalten. Die Variablen Anteil temporäre Feuchtgebiete (unimodal) und Distanz zum nächstgelegenen See stellen Proxy-Variablen dar, die indirekt Informationen über die Naturnähe bzw. die Intensität der Landnutzung enthalten. Mäßig feuchte Flächen werden weniger stark landwirtschaftlich genutzt und stellen somit bessere Nahrungshabitate dar.

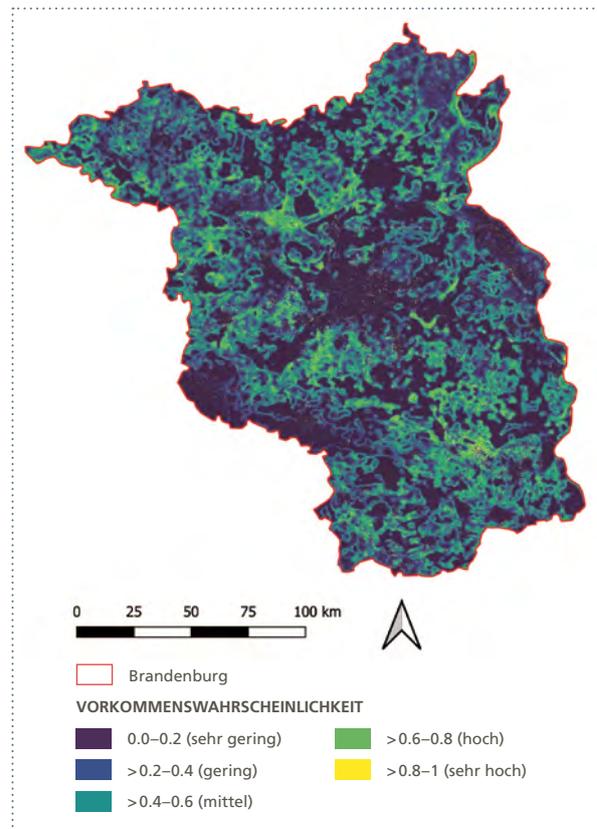


Abbildung 28 Vorkommenswahrscheinlichkeit des Rotmilans in Brandenburg; der Wert von 1 entspricht einer Vorkommenswahrscheinlichkeit von 100 %; eigene Berechnung

Das geeignetste multivariate Modell besitzt einen Pseudo-Nagelkerke-R²-Wert von 0,36 und ist höchst signifikant (p-Wert < 0,005). Demnach kann über ein Drittel der Varianz der Vorkommenswahrscheinlichkeit durch das Modell erklärt werden. Der AUC-Wert des Modells liegt bei 0,80. Das Modell bewegt sich somit am unteren Ende der Einstufung als *exzellent* (siehe Tabelle 9).

In Abbildung 28 ist die Vorkommenswahrscheinlichkeit des Rotmilans in Brandenburg auf Grundlage des multivariaten Habitatmodells dargestellt. Flächen mit geeignetem Habitat verteilen sich über fast ganz Brandenburg, größere Flächen befinden sich jedoch in der Nähe von naturnahen Seenlandschaften sowie konzentriert im Bereich größerer Grünländer.

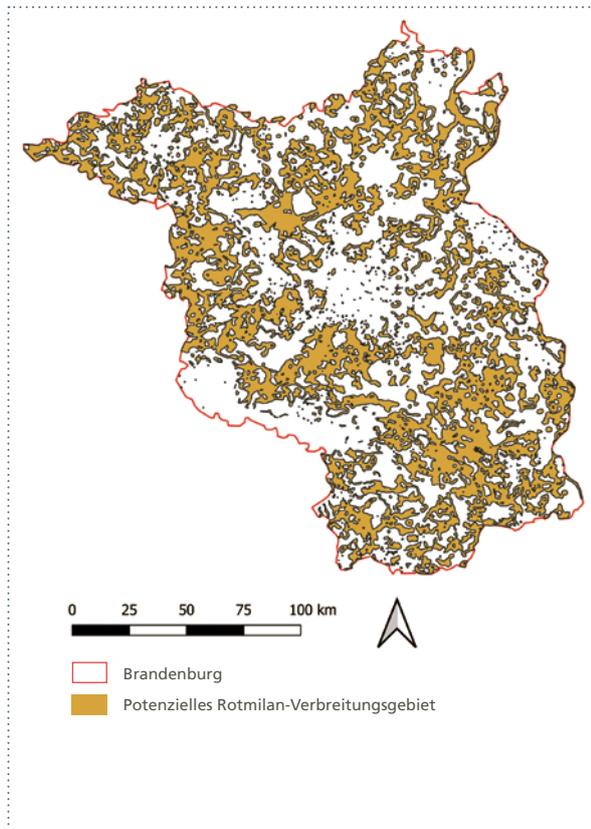


Abbildung 29 Potenzielles Verbreitungsgebiet des Rotmilans in Brandenburg; eigene Berechnung

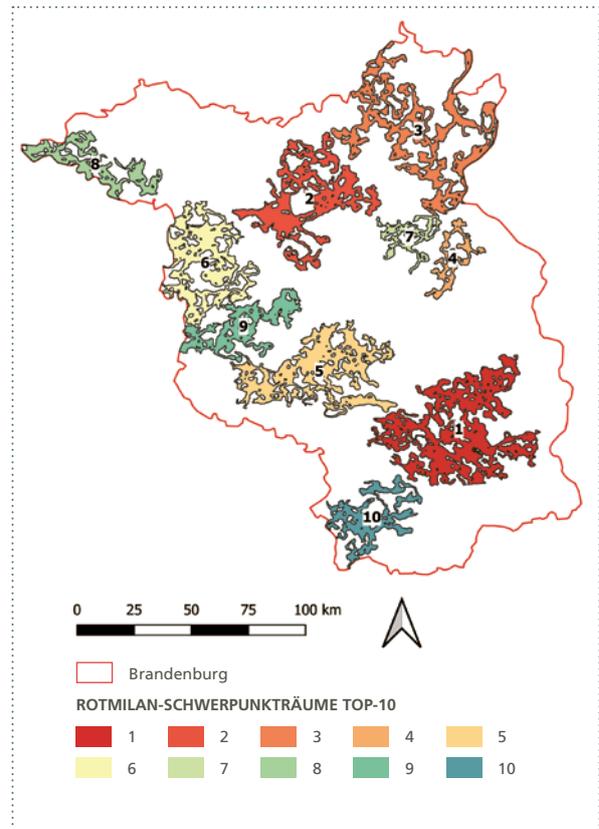


Abbildung 30 Lage und Ranking der als potenzielle Rotmilan-Schwerpunkträume ermittelten Teilflächen in Brandenburg; eigene Berechnung

Der Prozentsatz der korrekt vorhergesagten Vorkommen und Nicht-Vorkommen variiert in Abhängigkeit der betrachteten Schwellenwerte kaum (siehe Tabelle 21). Um möglichst im Vorfeld keine potenziell geeigneten Revierflächen auszuschließen, wurde sich für P_{opt} entschieden, den Schwellenwert mit der höchsten Sensitivität. Alternativen wie P_{fair} sollten bspw. für eine Ausweisung von Flächen ohne Bedeutung für Rotmilane bevorzugt werden.

Das so ermittelte potenzielle Verbreitungsgebiet umfasst ca. 41 % der gesamten Landesfläche Brandenburgs. Größere Verbreitungslücken bestehen in und um Berlin sowie dort, wo dichte zusammenhängende Wälder (z. B. Spreewald oder Fürstenberger Wald) und/oder Ackerflächen dominieren und Grünländer selten sind. Dazu zählen die Uckermark und Märkisches Oderland im Nordosten sowie

die südlichen Teile der Verwaltungsgebiete Potsdam-Mittelmark und Teltow-Fläming im Westen (siehe Abbildung 29).

In Abbildung 30 ist die Lage der zehn potenziellen Rotmilan-Schwerpunkträume in Brandenburg, die mit Hilfe der Habitatmodellierung ermittelt wurden, dargestellt.

Tabelle 21 Schwellenwertabhängige Gütemaße für das beste multivariate Modell (Rotmilan Brandenburg)

	P_{OPT}	P_{FAIR}	$P = 0,5$
Schwellenwert (P_{krit})	0,47	0,525	0,5
Sensitivität	0,7903	0,7218	0,7516
Spezifität	0,6478	0,7156	0,6844
% Korrekt	71,9	71,9	71,8

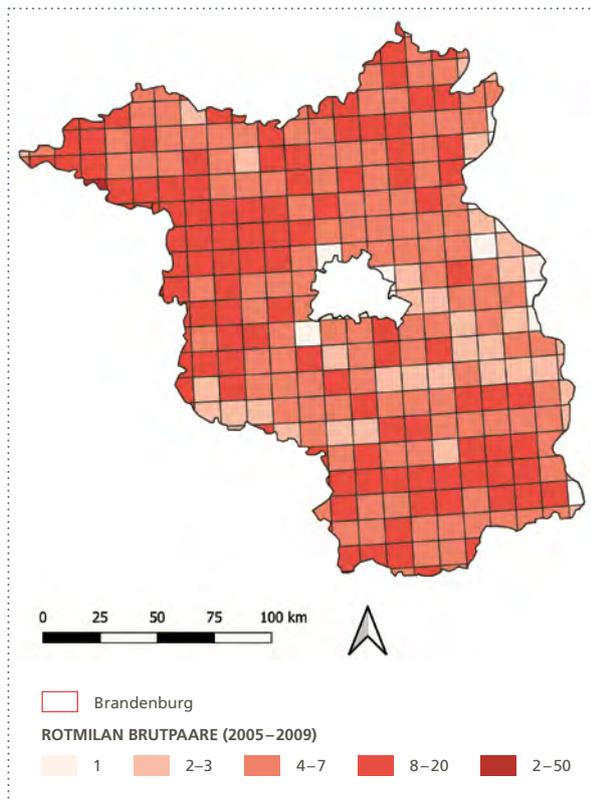


Abbildung 31 Verbreitung des Rotmilans in Brandenburg (2005–2009) (Gedeon et al. 2014; eigene Darstellung)

In Tabelle 22 ist die Bewertung der einzelnen Teilflächen aufgeführt. Werden die TOP-10-Flächen berücksichtigt, würden dadurch rund 63 % des Verbreitungsgebiets als Schwerpunkträume berücksichtigt. Darin enthalten sind rund 76 % der für die Modellierungen berücksichtigten Rotmilanbrutvorkommen. Alternativ zum Vorgehen in Baden-Württemberg wurden größere Randbereiche gänzlich ohne Anteile von besonders geeigneten Habitaten aus den eigentlichen Schwerpunkträumen ausgeschlossen. Dadurch sollte die Größe der Schwerpunkträume möglichst effektiv genutzt werden.

Als Vergleich können die Ergebnisse der Erfassungen des Atlas Deutscher Brutvogelarten (Gedeon et al. 2014) genutzt werden (Abbildung 31). Die Schwerpunkträume werden auch in dieser groben Rasterung deutlich, sodass eine hohe Übereinstimmung der mittels Habitatmodellierung ermittelten Schwerpunkträume und der tatsächlichen Verbreitung anzunehmen ist.

FISCHADLER

Im Vergleich zu den als Nahrungsoportunisten zu bezeichnenden Milanen handelt es sich bei den Fischadlern, bezogen auf die Jagdstrategie, um eine hoch spezialisierte Art. Dem Namen entsprechend bevorzugen Fischadler Lebensräume mit hoher Gewässerdichte und Fischreichtum (ebd.), der eigentliche Horst kann jedoch einige Kilometer vom

Tabelle 22 Bewertung und Ranking der ermittelten Rotmilan-Teilflächen in Brandenburg

RANKING	GESAMT-FLÄCHE [KM ²]	ANTEIL BES. GEEIGNETER HABITATE [%]	BEWERTUNG FLÄCHE	BEWERTUNG QUALITÄT	GESAMTBEWERTUNG
1	2.220,4	14,1	1,00	0,57	1,57
2	1012,3	24,9	0,46	1,00	1,46
3	1.453,1	15,8	0,65	0,63	1,28
4	1.438,8	15,6	0,65	0,62	1,27
5	1.072,1	15,7	0,48	0,63	1,11
6	707,1	13,5	0,32	0,54	0,86
7	524,0	14,0	0,23	0,56	0,79
8	465,4	10,0	0,21	0,40	0,61
9	217,9	9,3	0,10	0,37	0,47
10	199,5	9,0	0,09	0,36	0,45

Tabelle 23 Ausgangsdaten der zusätzlich für den Fischadler berücksichtigten Umweltvariablen in Brandenburg

VARIABLE	AUFLÖSUNG	ZEITRAUM	BEMERKUNG	QUELLE
Seen > 5 ha	> 5 ha	2011		https://data.geobasis-bb.de/geofachdaten/Wasser/Hydrologie/seen25.zip
Hochspannungsleitungen (110 kV)		2014		https://energieportal-brandenburg.de/cms/inhalte/ausbaustand/karten/energieinfrastruktur

Tabelle 24 Zusätzlich für die Habitatmodellierung des Fischadlers in Brandenburg berücksichtigte Umweltvariablen

VARIABLE	TYP	WERT	BEMERKUNG
Distanz zum nächstgelegenen See (> 5 ha)	Metrisch	Meter	Ermittelt aus der Ausgangsvariable „Seen > 5 ha“
Distanz zur nächstgelegenen Hochspannungsleitung	Metrisch	Meter	Ermittelt aus Hochspannungsleitungen

nächsten Gewässer (hauptsächlich größere See) entfernt sein (Bauer et al. 2005). Ebenfalls hohe Ansprüche bestehen an geeignete Horststandorte. Natürlicherweise brütet der Fischadler in Wäldern, bevorzugt in sehr hohen Altbäumen, welche die übrigen Gehölze überragen und eine sehr gute Übersicht gewähren (Gedeon et al. 2014). In Brandenburg brüten aufgrund mangelnder Verfügbarkeit geeigneter Horstbäume jedoch geschätzt rund 75 % der Brutpaare auf den Masten von Hochspannungsleitungen, insbesondere der 110-kV-Spannungsebene (siehe Abbildung 32).

Die bevorzugte Nutzung von Hochspannungsmasten lässt sich ebenfalls deutlich aus den vom LfU zur Verfügung gestellten Vorkommensdaten ablesen. Wie beim Rotmilan handelt es sich dabei um nicht systematisch erfasste Brutplätze aus den Jahren 2016 bis 2021. Nach der Entfernung von Dopplungen oder ungenau erfassten Standorten standen noch 537 Präsenzdatenpunkte zur Verfügung. Ebenso viele Pseudo-Absenzpunkte wurden mit einem Mindestabstand von 1.400 m (Median-Abstand zwischen zwei Fischadlerhorsten) zu tatsächlichen Vorkommen sowie anderen Pseudo-Absenzpunkten über ganz Brandenburg (und Berlin) verteilt.

Zusätzlich zu den im Projekt genutzten Landnutzungstypen (vgl. Tabelle 8 und Tabelle 14), wurde für den Fischadler speziell die Verfügbarkeit von Seen (Mindestgröße 5 ha) sowie Hochspannungsleitungen geprüft.

Die Lage der größeren Seen sowie der Verlauf der Hochspannungsleitungen in Brandenburg ist in Abbildung 32 dargestellt.

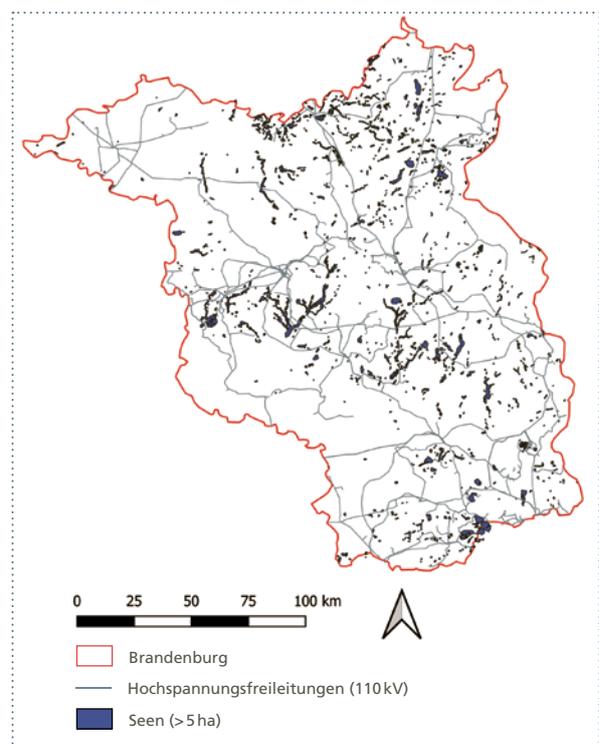


Abbildung 32 Verteilung von Seen und Hochspannungsleitungen in Brandenburg; eigene Darstellung

Tabelle 25 Wirkrichtung und Effektstärke der univariaten Modelle (z-transformiert) für den Fischadler in Brandenburg

VARIABLE	SIGMOIDAL		UNIMODAL		PSEUDO-NAGELKERKE-R ²	P-WERT
	Koeffizient	Odds Ratio	Koeffizient	Odds Ratio		
Anteil Wald	0,115	1,12	-0,088	0,92	0,005	>0,05
Anteil Grasland	0,194	1,21			0,012	<0,01
Waldstandort	-0,567	0,58			0,025	<0,001
Anteil Acker	-0,030	0,97	-0,138	0,87	0,007	>0,05
Anteil Urban	-0,624	0,535			0,065	<0,001
Anteil Gewässer	-0,003	0,99			0,001	>0,05
Anteil temporäre Feuchtgebiete	0,572	1,77	-0,192	0,83	0,031	<0,001
Distanz zum nächstgelegenen See	-0,776	0,46			0,122	>0,001
Distanz zur nächstgelegenen Hochspannungsleitung	-0,691	0,50			0,125	>0,001

p-Wert: >0,05 = nicht signifikant, <0,05 signifikant, <0,01 hoch signifikant, <0,001 höchst signifikant

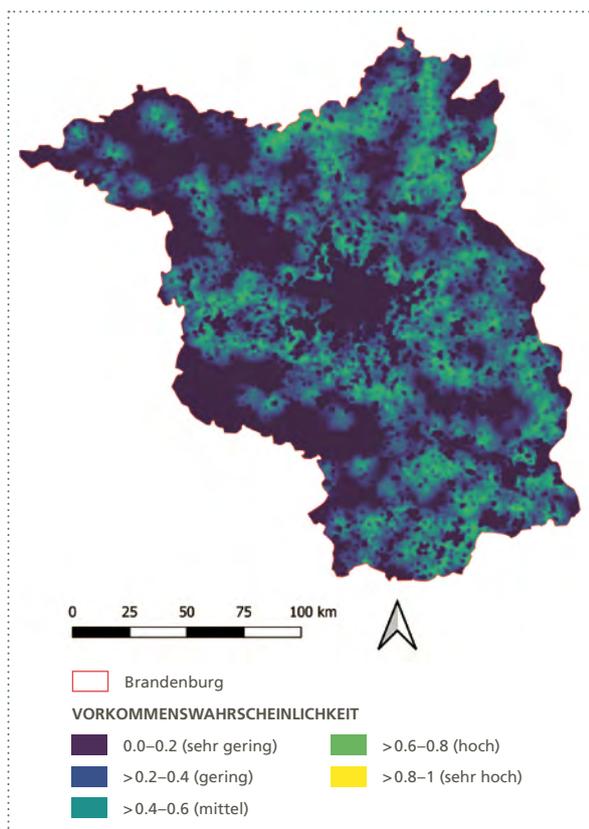


Abbildung 33 Vorkommenswahrscheinlichkeit des Fischadlers in Brandenburg; eigene Berechnung

Die Distanz zwischen den Fischadlerhorsten und dem nächstgelegenen See sowie der nächstgelegenen Hochspannungsleitung wurde mit Hilfe der QGIS-Erweiterung *NN-Join* ermittelt.

Von den neun getesteten univariaten Modellen sind sechs signifikant bis höchst signifikant. Die Modelle „Anteil Wald“, „Anteil Acker“ und „Anteil Gewässer“ liegen knapp oberhalb des p-Grenzwerts von 0,05 (siehe Tabelle 25). Dies verdeutlicht die unterschiedlichen Raumnutzungs- bzw. Jagdgewohnheiten des Fischadlers, der im Vergleich zu den Milanen seine Nahrungshabitate nicht zwangsweise in unmittelbarer Nähe zum Horst bevorzugt.

Über vergleichsweise hohe Pseudo-Nagelkerke-R²-Werte verfügen Variablen mit Angaben zu den Distanzen zu den nächstgelegenen Seen sowie zu Hochspannungsleitungen. Die Kombination beider Variablen beinhaltet bereits Informationen zu bevorzugten Nahrungs- und Bruthabitaten. Die Modelle „Anteil Grasland“ sowie „Anteil Urban“ geben insbesondere Rückschlüsse zur sonstigen Ausstattung des Horststandortes außerhalb dicht bebauter Flächen.

Das beste multivariate Modell setzt sich aus den Variablen Distanz zum nächstgelegenen See, Distanz zur nächstgelegenen Hochspannungsleitung, Anteil Grasland (unimodal) sowie Anteil Urban zusammen.

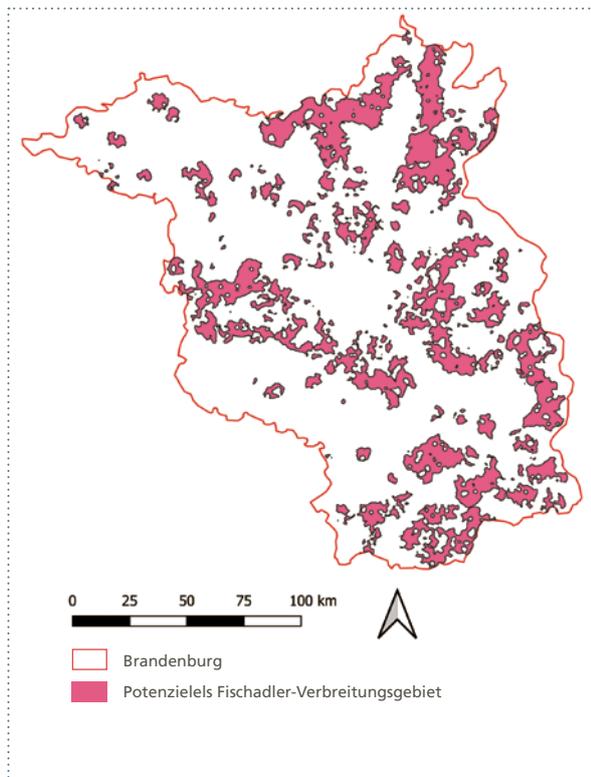


Abbildung 34 Potenzielles Verbreitungsgebiet des Fischadlers in Brandenburg; eigene Berechnung

Das Modell besitzt einen Pseudo-Nagelkerke-R²-Wert von 0,30 und ist höchst signifikant (p-Wert < 0,001). Demnach kann knapp ein Drittel der Varianz der Vorkommenswahrscheinlichkeit durch das Modell erklärt werden. Der AUC-Wert des Modells liegt bei 0,78. Das Modell bewegt sich im Grenzbereich der Einstufung als akzeptabel bzw. exzellent (siehe Tabelle 9).

In Abbildung 33 ist die Vorkommenswahrscheinlichkeit des Fischadlers in Brandenburg dargestellt, wie sie durch das Modell vorhergesagt werden kann.

Die zur Auswahl stehenden Schwellenwerte unterscheiden sich in diesem Fall kaum. Bei Auswahl des Schwellenwerts P_{opt} können durch das Modell 71,8 % richtige Vorhersagen getroffen werden.

Das so ermittelte potenzielle Verbreitungsgebiet umfasst ca. 22 % der gesamten Landesfläche Brandenburgs (siehe Abbildung 34).

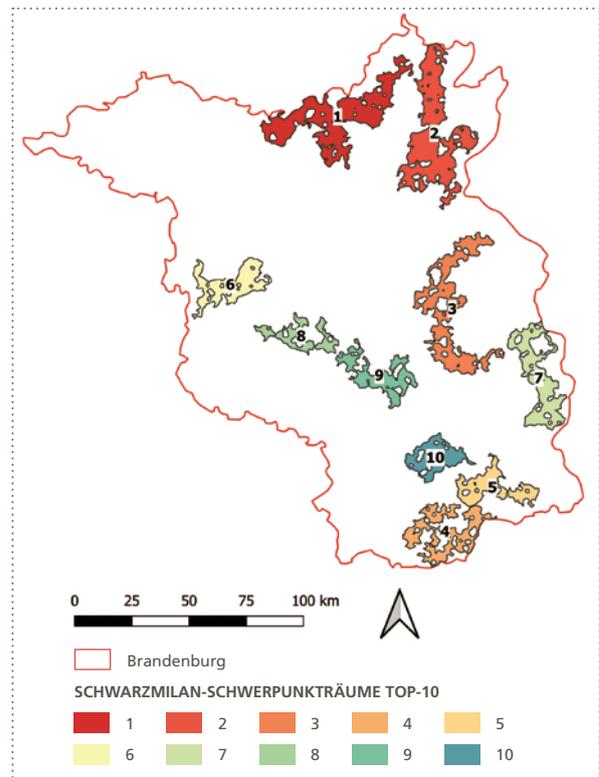


Abbildung 35 Lage und Ranking der als potenzielle Fischadler-Schwerpunkträume ermittelten Teilflächen in Brandenburg; eigene Berechnung

Tabelle 26 Schwellenwertabhängige Gütemaße für das beste multivariate Modell (Fischadler Brandenburg)

	P _{OPT}	P _{FAIR}	P = 0,5
Schwellenwert (P_{krit})	0,545	0,550	0,5
Sensitivität	0,7281	0,7207	0,7747
Spezifität	0,7082	0,7138	0,645
% Korrekt	71,8	71,7	71,0

In Abbildung 35 ist die Lage der zehn potenziellen Fischadler-Schwerpunkträume in Brandenburg, die mit Hilfe der Habitatmodellierung ermittelt wurden, dargestellt. Schwerpunkträume bestehen insbesondere in direkter Nähe zu Seen, bei gleichzeitiger Verfügbarkeit von geeigneten Nistmöglichkeiten, innerhalb des Modells größtenteils durch Hochspannungsmasten repräsentiert.

In Tabelle 27 ist die Bewertung der einzelnen Teilflächen aufgeführt. Werden die TOP-10-Flächen berücksichtigt, würden dadurch rund 69 % des Verbreitungsgebiets als

Schwerpunkträume berücksichtigt. Darin enthalten sind rund 78 % der für die Modellierungen berücksichtigten Fischadlerbrutvorkommen.

Tabelle 27 Bewertung und Ranking der ermittelten Fischadler-Teilflächen in Brandenburg

RANKING	GESAMTFLÄCHE [KM²]	ANTEIL BES. GEEIGNETER HABITATE [%]	BEWERTUNG FLÄCHE	BEWERTUNG QUALITÄT	GESAMTBEWERTUNG
1	821,4	9,5	0,97	1,00	1,97
2	845,5	7,5	1,00	0,79	1,79
3	618,3	3,7	0,73	0,39	1,12
4	390,8	5,8	0,46	0,61	1,07
5	276,6	6,8	0,33	0,72	1,05
6	328,2	5,4	0,39	0,56	0,95
7	434,6	3,8	0,51	0,39	0,90
8	185,6	5,6	0,22	0,58	0,80
9	312,9	2,7	0,37	0,29	0,66
10	263,1	2,6	0,31	0,28	0,59

Gesamtübersicht

Würden die gesamten für beide Arten ermittelten Flächen als Schwerpunkträume umgesetzt, wären 11.016 km² oder rund 37 % der Landesfläche Brandenburgs dadurch bedeckt. Aufgrund der unterschiedlichen Lebensweisen und Jagdstrategien überschneiden sich die Schwerpunkträume des Rotmilans sowie des Fischadlers nur geringfügig. Die sich überlagernden Schwerpunktteilräume umfassen lediglich eine Fläche von 1.072 km² was in etwa 3,6 % der Landesfläche entspricht. Sollte insgesamt nur eine geringe Fläche für die Ausweisung von Schwerpunkträumen zur Verfügung stehen, sollten diese sich überlagernden Teilflächen prioritär genutzt werden.

Hinzu würden potenziell weitere Schwerpunkträume für die übrigen Zielarten kommen. Zusätzlich dargestellt ist bereits die Verbreitung des Seeadlers (Brutpaare in MTBQ). Die Informationen stammen aus Kartierungen aus dem Jahr 2020, die ebenfalls durch das LfU zur Verfügung gestellt wurden, in dieser Form jedoch nicht für Habitatmodellierungen genutzt werden konnten. Es bestehen große Überschneidungen, insbesondere mit den (großflächigen) Rotmilan Schwerpunkträumen. Dasselbe ist ebenfalls für den Schwarzmilan zu erwarten, sodass mit vergleichsweise geringen zusätzlichen Flächen zu rechnen ist.

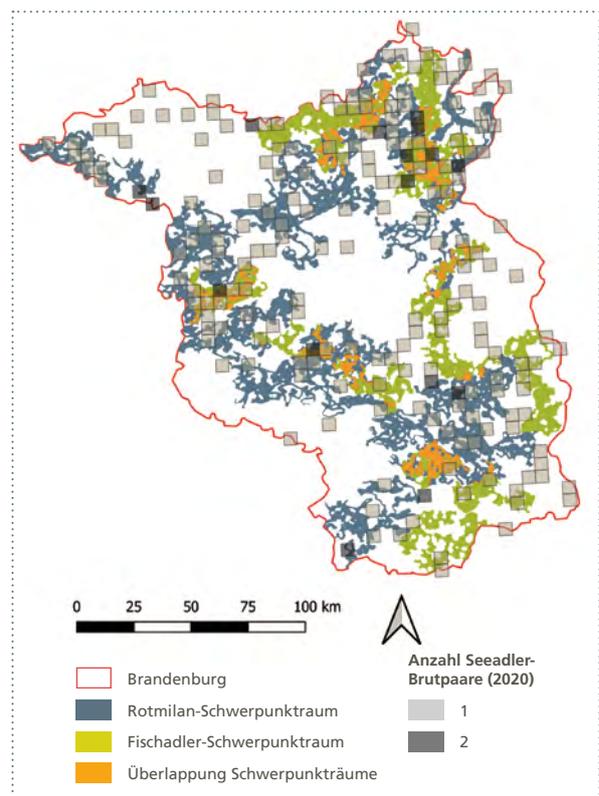


Abbildung 36 Übersicht der im Projekt ermittelten Schwerpunkträume in Brandenburg inkl. Seeadler-Vorkommen; eigene Berechnungen

Werden lediglich die betrachteten Arten berücksichtigt, so würden im Osten, im Westen sowie im Nordwesten große Flächen für die Windenergie zur Verfügung stehen. Es handelt sich dabei überwiegend um intensiv genutzte

Ackerflächen sowie Wälder. Zusätzlich gilt es in der Planung weitere Arten sowie Kriterien abseits des Artenschutzes zu berücksichtigen, dies wird im Kapitel 4 weiter ausgeführt.

3.3 Schlussfolgerungen/Diskussion

Qualität der Habitatmodelle

Die im Projekt erstellten Habitatmodelle entsprechen allen Vorgaben an eine logistische Regression und erzielen insgesamt gute bis sehr gute Vorhersagen zur Verbreitung der Zielarten. Heraus ragt das Habitatmodell des Rotmilans in Baden-Württemberg, welches Dank sehr guter, systematisch erhobener Informationen zum Vorkommen rund 80 % der getätigten Vorhersagen (Vorkommen/Nicht-Vorkommen) richtig tätigt. Zudem konnte in diesem Fall auf umfangreiche Vorarbeiten zurückgegriffen werden (Heuck et al. 2013; Katzenberger 2019).

Generell betreffen unsichere Vorhersagen Flächen mit errechneter Vorkommenswahrscheinlichkeit im Bereich des gewählten Grenzwerts. Flächen mit besonderer Qualität, ebenso wie deutlich ungeeignete Flächen, können hingegen zuverlässig ermittelt werden. Dementsprechend ist die Eignung von Habitatmodellen für die Festlegung von Schwerpunkträumen sowie potenziell von ungeeigneten Bruthabitaten sehr hoch.

Im Projekt wurde bewusst auf leicht zugängliche, nachvollziehbare Habitatvariablen Wert gelegt, welche die Einsatzmöglichkeiten in der Raumplanung erhöhen und für Transparenz sorgen. Prinzipiell ist durch eine umfangreiche Datenakquise und -aufbereitung mit noch besseren Ergebnissen zu rechnen, die jedoch den Aufwand erhöhen sowie im Einzelfall die Nachvollziehbarkeit erschweren.

Vorteile und Nachteile der Habitatmodelle

Im Vergleich zur direkten Nutzung von Erfassungsdaten zur Bestimmung des Verbreitungsgebiets bzw. von Schwerpunkträumen besitzt die Methode der Habitatmodellierung deutliche Vorteile, je nachdem wie hoch der Erfassungsgrad

der Zielart ist. Liegen lediglich nicht-systematisch erfasste Informationen vor, wurden große Teile des Untersuchungsgebiets gar nicht kartiert oder wurden Daten bevorzugt in bestimmten Gebieten erhoben (z. B. besonders windhöfliche Flächen), dann besteht die Gefahr, dass die ermittelten Flächen nicht (gänzlich) die tatsächlichen Verbreitungsschwerpunkte darstellen. Habitatmodellierungen werden in der Regel deutlich geringer von diesen Faktoren beeinflusst bzw. es ist möglich, vorhandene Daten selektiver zu nutzen.

Für den Rotmilan wird sowohl in Baden-Württemberg als auch in Brandenburg von einer besseren Darstellung der Verbreitung(-sschwerpunkte) ausgegangen, da in beiden Fällen maximal aus rund 50 % der Fläche systematisch erfasste Daten vorliegen. Es ist zwar anzunehmen, dass die Experten und Kartierer vor Ort über potenzielle Schwerpunkträume im Bilde sind, die Gefahr einer Verzerrung besteht durch Kartierunsicherheiten dennoch.

Für den Fischadler in Brandenburg ist von einer hohen Erfassungsrate auszugehen. In diesem Fall kann nicht pauschal von einer besseren Leistung des Habitatmodells ausgegangen werden. Doch auch für die Fälle, in denen Habitatmodelle die Verbreitung der Zielarten weniger oder gleich gut wie die Kartiererergebnisse darstellen können, liefern die Modelle darüber hinaus wertvolle Informationen. So liefert die Vorkommenswahrscheinlichkeit direkte Rückschlüsse auf die Qualität der Habitats und ermöglicht durch die Ausgabe eines Wertes zwischen 0 und 1 einen Vergleich von Teilflächen. Neben der Ausweisung von Schwerpunkträumen können auf diese Weise bspw. auch Flächen für Artenhilfsprogramme identifiziert werden. Hier kommen eher Flächen mit ausreichend großem Aufwertungspotenzial in Frage als bereits sehr gute Flächen. Zusätzlich können ungeeignete Flächen durch entsprechend unvorteilhafte Habitatkonstellationen ermittelt werden. Hier besteht bei Kartierlücken ansonsten eine größere Unsicherheit. Im Fall des Fischadlers stellt sich zudem die Frage, ob die Ausbreitung bspw. durch

einen Mangel an geeigneten Brutplätzen gebremst wird. Eine gezielte Modellierung mit dem Fokus auf die Nahrungshabitate könnte Ansätze für geeignete Standorte von künstlichen Nistplätzen liefern.

Die Fokussierung auf geeignete Habitate bedeutet zudem eine längerfristige Sicherheit, dass es sich bei den Flächen um potenziell geeignete Flächen handelt. Aussagen, die auf Grundlage der Vorkommen getroffen werden, sind deutlich stärker interannuellen Schwankungen ausgeliefert. Der Schutz geeigneter Flächen dient somit dem längerfristigen Erhalt der Populationen.

Es stellt sich die grundlegende Frage, ob die Schwerpunkträume als geschlossene Flächen zu betrachten sind oder Windenergie darin (in den als Revier ungeeigneten Teilflächen) ermöglicht werden kann. Es kann erwartet werden, dass die Flugaktivität in den Bereichen mit geringer Habitateignung, die von den Schwerpunkträumen ausgeschlossen werden können, deutlich geringer ist als in den eigentlichen Schwerpunkträumen, da die Flugaktivität von der Nähe zum Horst und dem Vorkommen von geeignetem Nahrungshabitat abhängig ist.

Ein möglicher Mehraufwand besteht bei der Nutzung von Habitatmodellen, da durch den Umweg der Modellierungen nicht direkt auf die Kartiererergebnisse zurückgegriffen wird. Zudem ermitteln die Modelle die Verbreitungsgebiete auf Grundlage durchschnittlicher Habitatausprägungen. In der Realität können Vorkommen davon abweichen, weil die benötigten Eingangsparameter zur Berücksichtigung im Modell nicht vorliegen oder generelle Ungenauigkeiten vorliegen. Zudem können auch prinzipiell geeignete Habitate aus verschiedenen Gründen in der Realität (noch) nicht besiedelt sein. Im Fall der hochmobilen Greifvögel sind Verbreitungslücken innerhalb der Bundesländer, die auf ungenügender Erreichbarkeit der Habitate beruhen, jedoch unwahrscheinlich. Jungtiere vollziehen aufwendige Erkundungsflüge nach geeigneten Habitaten (Scherler 2020), zudem bekommen Brutpaare bei guter Verfügbarkeit von geeigneten Habitaten mehr Nachkommen, benötigen jedoch gleichzeitig tendenziell kleinere Reviere (Pfeiffer und Meyburg 2015), was für eine hohe Brutdichte in Schwerpunkträumen spricht.

Einschätzung der benötigten Datenmenge und -qualität

Die Habitatmodellierung besitzt im Vergleich zur Nutzung von ausschließlich tatsächlichen Vorkommensdaten den Vorteil, dass auch Bereiche berücksichtigt werden können, für die keine oder nur unzureichend Daten zur Verfügung stehen. Nichtsdestotrotz profitiert die Habitatmodellierung ebenfalls von einer guten und aussagekräftigen Datengrundlage. Erste Unterschiede wurden im Vergleich der Bundesländer Baden-Württemberg und Brandenburg hinsichtlich der Systematik der Erfassungen und der Darstellung der Ergebnisse deutlich.

Die minimal benötigte Menge an Präsenzdaten ist zum einen abhängig von der Bindung der Zielart an bestimmte Habitatvariablen und zudem von der Qualität der Eingangsdaten (sowohl abhängige als auch unabhängige Variablen). Für Habitatmodelle von Pflanzen oder hochspezialisierten Insekten werden zum Teil Angaben zu weniger als zehn Standorten benötigt (Liu et al. 2005; Støa et al. 2019). Zwar ist die Habitatbindung bei hochmobilen Greifvögeln weniger deutlich ausgeprägt, nichtsdestotrotz konnten in allen Fällen hoch signifikante Zusammenhänge nachgewiesen werden. Durch künstliche Verknappung wurden testweise Habitatmodelle mit lediglich 100 Präsenzdaten der Zielarten erstellt. In allen Fällen hat der AUC-Wert nur geringfügig abgenommen, da häufig ab einem gewissen Grad an Informationsgehalt eine Sättigung des Erklärwerts einsetzt. Für Habitatmodellierungen würden demnach deutlich kleinere Mengen an Präsenzdaten genügen. Wichtiger wäre die systematische Erfassung einzelner Teilflächen, z. B. MTBQ, um so ebenfalls Informationen zu Nicht-Vorkommen zu generieren. Für einzelne Bundesländer müssten schätzungsweise wenige Dutzend MTBQ (die genaue Zahl ist abhängig von der Verbreitung und Spezialisierung der Zielart) kartiert werden, um ausreichende Informationen zu sammeln. Dies ließe sich deutlich einfacher realisieren als möglichst flächendeckende Kartierungen.

Für die erklärenden Habitatvariablen wurde bewusst auf frei zugängliche, transparente und nachvollziehbare Quellen zurückgegriffen. Mit dem Copernicus-Satellitensystem steht europaweit eine Vielzahl an hochauflösenden Landnutzungsdaten zur Verfügung. Durch die stetige Weiterentwicklung des Programms konnte das Angebot bereits

jetzt um Informationen zur Produktivität der Standorte erweitert werden, die einen Rückschluss auf die Intensität der Nutzung und die damit verbundene Biodiversität erlaubt (Auge et al. 2010). Durch die regelmäßige Erfassung der Landnutzungsdaten können Habitatmodelle auf dieser Datengrundlage aktuell gehalten und Beeinträchtigungen (Nutzungsänderung etc.) identifiziert werden.

Durch die Aufbereitung einzelner Daten können annäherungsweise Informationen, z. B. zur Nahrungsverfügbarkeit, gewonnen werden (Heuck et al. 2013; Katzenberger 2019), die zwar die Modellqualität verbessern, in der Raumplanung jedoch je nach Datenverfügbarkeit zu Schwierigkeiten bei der Vergleichbarkeit führen können. Zukünftig wird erwartet, dass weitere raumbezogene Informationen flächendeckend vorliegen. Durch Unterscheidungen von Graslandtypen können bspw. bereits verbesserte Rückschlüsse auf die Nahrungsverfügbarkeit gezogen werden (Huber et al. 2023). Somit kann davon ausgegangen werden, dass Habitatmodellierungen für eine große Anzahl relevanter Vogelarten bzw. zur Identifizierung von bspw. geeigneten Rastflächen genutzt werden können, für einige Arten, insbesondere mit geringer Spezialisierung, kommen Habitatmodellierungen jedoch an ihre Grenzen.

Generell beeinflussen die Auflösung sowie eventuell unbekanntes Fehlerquellen der Eingangsdaten die Modellgüte, insbesondere wenn unterschiedliche Quellen genutzt werden (Tschumi et al. 2020; Neuendorf et al. 2021). Für die Transparenz sollten Standards bei der Darstellung der Datengrundlage, Methodik und der Ergebnisse dringend eingehalten werden (Zurell et al. 2020).

Herleitung der Schwerpunkträume

Die ausschließliche Berücksichtigung der Parameter, Flächengröße und Qualität (Mehrfacheignung optional) ermöglicht eine einfache und nachvollziehbare Festlegung der besten Schwerpunkträume. Innerhalb des Projekts wurde eine stärkere Fokussierung auf die Qualität der Flächen diskutiert. Eine nachträgliche Anpassung der Schwerpunkträume des Rotmilans in Brandenburg hat zu einer deutlich verbesserten Relation von Flächengröße und abgedeckter Vorkommen geführt. Da die Verbreitungsdaten jedoch unvollständig sind, kann abschließend keine finale Ein-

schätzung der Effektivität gemacht werden. Bei Betrachtung der zur Verfügung stehenden Vorkommensdaten konnte allerdings eine positive Ausbeute der ermittelten Schwerpunkträume hinsichtlich der enthaltenen Brutvorkommen nachgewiesen werden, was den Nutzen der Methode unterstreicht.

Ebenfalls diskutabel ist das Ergebnis, dass bisweilen sehr große Flächen ausgewiesen werden. Dies konnte insbesondere im Fall des Rotmilans in Brandenburg beobachtet werden, da die historisch bedingten sehr großen Agrarflächen entsprechend zusammenhängende Schwerpunkträume bilden. Da es innerhalb des Projekts keine festgelegten Mindest- oder Maximalwerte der Flächengrößen oder berücksichtigten Populationsgrößen gab, wurde dies zunächst als nachrangig angesehen. Bei sich abzeichnender Flächenknappheit kann entsprechend nur ein Teil der identifizierten Schwerpunkträume genutzt werden, Auswahlmöglichkeit bietet dies Einstufung der Flächen.

Eine Flächenausweisung zunächst ohne Grenzwert wird als positiv angesehen, da somit sinnvolle Mindestgrößen erst abschließend eingeführt werden können und dadurch nicht im Vorfeld Flächen aus der Betrachtung fallen oder Flächen zwangsweise einbezogen werden müssen.

Bei der Herleitung der Schwerpunkträume wurde bewusst auf einen Abgleich der identifizierten Flächen mit den Vorkommensdaten verzichtet, da ansonsten bislang vermiedene Einflüsse unzureichender Qualität oder Quantität der Eingangsdaten doch noch Einzug in die Auswertung halten.

Durch die 1 zu 1 Nutzung der Habitatmodellierungen entsprechen die ausgewiesenen Flächen dem Angebot an geeignetem Habitat, was zu Lücken innerhalb der Schwerpunkträume führt. Hier sollte je nach Zielart diskutiert werden, ob diese Lücken der Windenergie uneingeschränkt zu Verfügung gestellt werden können. Im Fall des Rotmilans und größeren geschlossenen Waldflächen innerhalb der Schwerpunkträume ist von einer deutlich verminderter Nutzung auszugehen, sodass keine Einschränkung der Windenergie nötig ist. Für den Fischadler ist stärker die Entfernung zu relevanten Landschaftsstrukturen entscheidend, sodass keine lückigen Schwerpunkträume gebildet werden. Aufgrund der Nahrungsflüge vom Horst zu den Gewässern sind in den ausgewiesenen Flächen ohnehin keine Abweichungen der Flugaktivität zu erwarten.



Die Ebene der Bundesländer wird als geeigneter Bezugsraum für die Ausweisung von Schwerpunkträumen angesehen. Zwar könnte mit Hilfe der Methode auch ganz Deutschland oder kleinere räumliche Einheiten wie Landkreise untersucht werden, in diesen Fällen würden jedoch Einschränkungen bestehen. Der Vergleich der Schwerpunkträume des Rotmilans in Baden-Württemberg und Brandenburg hat bundeslandspezifische Unterschiede bei der Relevanz einzelner Habitatstrukturen gezeigt. Innerhalb der großflächigen landwirtschaftlichen Flächen Brandenburgs greifen die Rotmilane häufiger auf Horstbäume in kleineren Gehölzen zurück, da die Abstände zu den Wäldern größer sind. In den kleinteiligeren Grünländern Baden-Württembergs wird fast ausschließlich auf die angrenzenden Waldränder zurückgegriffen. Diese Unterschiede würden eventuell bei gemeinsamer Bearbeitung unterschiedlicher Regionen untergehen. Gleichzeitig würden bei zu kleinteiliger Bearbeitung vermutlich Schwerpunkträume ausgewiesen, die im bundesweiten Vergleich eigentlich nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Die insgesamt Größe der Schwerpunkträume wurde zunächst bewusst nicht definiert. Um einen möglichst großen Einfluss in der Szenarienanalyse zu generieren, wurden sehr große Flächen potenziell zur Verfügung gestellt, die dann gegebenenfalls über das Ranking reduziert werden können. Generell wird es nicht als sinnvoll angesehen, sehr große Teile des Verbreitungsgebiets der Zielarten in die Schwerpunkträume zu inkludieren, da so deren eigentliche Funktion verwässert wird. Im Beispiel von Brandenburg würde daher eine Reduzierung der ausgewählten Teilflächen als zielführend angesehen.

Dichteabhängige Reproduktion/ Flächenauswahl für Artenhilfsprogramme

Die Ausweisung von Schwerpunkträumen zum Schutz von windenergiesensiblen Vogelarten wird häufig in Kombination mit Artenhilfsprogrammen zur Förderung der

Populationen diskutiert. Auch im Rahmen der Ausnahmeerteilung nach § 45 Abs. 7 BNatSchG in Verbindung mit § 45b Abs. 8 BNatSchG kommt den in § 45d BNatSchG festgeschriebenen Artenhilfsprogrammen eine größere Bedeutung zu. Dabei stellt sich die Frage, wo diese Artenhilfsprogramme wirken sollen: In den Schwerpunkträumen, wo vermeintlich ein Großteil der Population davon profitieren kann oder sind Maßnahmen außerhalb dieser Gebiete, in Bereichen mit Entwicklungspotenzial sinnvoller?

Seit Ende der 1970er-Jahre, mit Verabschiedung der europäischen Vogelschutzrichtlinie, haben sich die Bestände vieler Vogelarten in Europa deutlich erholt. Dazu zählen insbesondere Greifvögel, deren Mortalitätsrisiko durch das Verbot von direkter Bejagung und Vergiftung spürbar zurückgegangen ist (Pascalis et al. 2020). Dadurch konnten vielfach Greifvogelpopulationen am Rande des Aussterbens über einen längeren Zeitraum der Erholung untersucht werden. Durch ein Überangebot an geeigneten Habitaten blieb die Reproduktionsrate hoch, da Jungtiere vergleichsweise gute Überlebenschancen hatten und ebenfalls zur Reproduktion beitragen konnten. Mit zunehmender Brutdichte wurde jedoch vielfach ein Rückgang der Reproduktionsrate beobachtet, bis der Populationszuwachs innerhalb der Teilverbreitungsgebiete bei Erreichen der Kapazitätsgrenze stagnierte. Dass der Reproduktionserfolg von Tierpopulationen mit zunehmender Besiedlungsdichte abnimmt, ist hinlänglich bekannt und vielfach nachgewiesen (Lack 1954). Wir fassen zwei mögliche, aus der Literatur bekannte Theorien zusammen:

Die *habitat heterogeneity* Hypothese (HHH) besagt, dass der Reproduktionserfolg einer Population mit zunehmender Dichte abnimmt, da Nachkommen ab einem gewissen Punkt vermehrt auf minderwertige Habitate ausweichen müssen, welche die erfolgreiche Vermehrung erschweren (Rodenhouse et al. 1997).

Die *individual adjustment* Hypothese (IAH) nimmt an, dass in Populationen mit hoher Besiedlungsdichte die intraspezifische Konkurrenz zunimmt und vermehrt Ressourcen zur Revierverteidigung etc. aufgewendet werden müssen. Dieser Trade-off verringert die Aussichten auf eine erfolgreiche Reproduktion (Ferrer und Donázar 1996).

Beide Gründe für einen verringerten Reproduktionserfolg können dabei parallel auftreten und sich noch gegenseitig verstärken (Krüger et al. 2012). Krüger et al. (2012) haben Bestandsentwicklungen im Zeitraum von 1968 bis 2009 von mehreren Populationen des Habichts, des Sperbers, des Mäusebussards sowie des Seeadlers in Deutschland und Dänemark untersucht. Es konnte nachgewiesen werden, dass Brutpaare, welche in besonders geeigneten Revieren brüten, einen höheren Reproduktionserfolg hatten als Paare in weniger geeigneten Gebieten. Insbesondere die untersuchten Populationen von Mäusebussard und Seeadler sind deutlich angewachsen. Da mit zunehmender Populationsdichte weniger geeignete Gebiete häufiger besiedelt wurden, nahm die Reproduktionsrate zum Ende der Untersuchungen ab bzw. stagnierte.

Nachfolgend wird auf die Zusammenhänge zwischen Brutdichte/Habitateneignung und Reproduktion für die in Kapitel 3.1.1 ermittelten relevanten Arten eingegangen.

Seeadler

Nach der Fast-Ausrottung des Seeadlers in den 1970er-Jahren, hat sich die Population in Mecklenburg-Vorpommern erholt und annähernd die Kapazitätsgrenze erreicht (Heuck et al. 2017). Dabei hat der mittlere Abstand zwischen zwei Seeadler Nistplätzen kontinuierlich abgenommen, der mittlere Abstand zum nächsten Jagdgewässer hat gleichzeitig zugenommen. Die Qualität der Habitate hat somit durchschnittlich sukzessive abgenommen, da ab einem gewissen Punkt alle gut geeigneten Reviere besetzt waren und auch schlechtere Habitate besiedelt werden mussten. Insgesamt besteht ein signifikant negativer Zusammenhang zwischen der Brutdichte und der Anzahl an Nachkommen der untersuchten Seeadlerpopulation in Mecklenburg-Vorpommern (ebd.). Dieser Zusammenhang lässt sich mit der HHH in Einklang bringen (Krüger et al. 2012).

Eine Telemetriestudie von Pfeiffer und Meyburg (2015) konnte zeigen, dass Rotmilanmännchen mit größerer *home range* (Aktivitätsbereichen) weniger Nachkommen bekommen als Männchen mit kleinen *home ranges*. Sehr gute Reviere verfügen über viele Nahrungsflächen in der Nähe und sind daher kleiner als Reviere, in denen zur Nahrungssuche große Distanzen zurückgelegt werden müssen. Diese Ressourcen schonende Nahrungssuche erhöht die Erfolgchancen der Reproduktion.

Mit Hilfe von Populationsmodellen haben Pfeiffer und Schaub (2023) ermittelt, dass in erster Linie die Produktivität (Anzahl flügge gewordener Jungtiere) einer Population für ihr Wachstum entscheidend ist. Die Produktivität korreliert stark mit der Nahrungsverfügbarkeit, die bei zunehmender Brutdichte abnehmen kann. Zudem konnte nachgewiesen werden, dass auch Quellpopulationen durch zu große Emigration von einem Bestandsrückgang betroffen sein kann, der wiederum durch Immigration von anderen Teilpopulationen ausgeglichen werden muss (Pfeiffer und Schaub 2023).

Fischadler

Fischadler wurden auf Korsika in den 1970er-Jahren nahezu ausgerottet, lediglich drei Brutpaare blieben übrig. In den darauffolgenden 15 Jahren hat sich die Anzahl fast verzehnfacht, seitdem stagniert die Anzahl bis zum Anfang der 2000er-Jahre (Bretagnolle et al. 2008). Die Brutdichte ist entsprechend deutlich angestiegen. Ein Hinweis auf eine durchschnittliche Verschlechterung der Reviere konnte jedoch nicht erbracht werden, da die Fangquote bei Nahrungsflügen nahezu unverändert blieb. Dennoch kam es zu einem Rückgang der Reproduktionsrate, was vielmehr auf eine verstärkte Interaktion mit anderen Brutpaaren und insbesondere Floatern (fünf bis siebenmal so viel wie in den 1970er-Jahren) zurückgeführt wurde. Dieser zusätzliche Aufwand/Stress reduziert den Bruterfolg gemäß IAH.

Ausbreitung

Untersuchungen zum Einfluss der Populationsdichte und der Reproduktionsrate auf die Ausbreitung von Individuen einer Population sind sehr schwer durchzuführen, entsprechend rar sind Studien dazu. Untersuchungen am Buntfalken in Nordamerika haben gezeigt, dass junge Weibchen verstärkt zu *short-distance dispersal* (Kurzstrecken-Ausbreitung bis 30 km vom Revier der Eltern) neigen, je höher die Brutdichte ist. Für Männchen konnte dieser Zusammenhang nicht nachgewiesen werden, ebenso wenig ein Einfluss auf *long-distance dispersal* (Ausbreitung in Gebiete weiter als 30 km entfernt vom Revier der Eltern) (McCaslin et al. 2020). Untersuchungen zum Wanderungs- und Ausbreitungsverhalten junger Rotmilane in der Schweiz haben gezeigt, dass junge Rotmilane, die in Revieren mit guter

Habitat-eignung geboren werden, nach dem ersten Winter häufiger in die Reviere der Eltern zurückkehren (Scherler 2020). Individuen aus höher gelegenen (= schlechteren) Revieren kommen hingegen seltener in die Reviere der Eltern zurück und suchen hingegen nach alternativen Revieren.

Rückschlüsse

Eine hohe Anzahl von besetzten Revieren spricht für eine hohe Qualität der Habitate (Krüger et al. 2012). Die Brutdichte stellt daher einen guten Indikator für die Ausweitung von Schutzgebieten dar (Treinys et al. 2016). Da die Brutdichte von der Qualität der Habitate abhängt, sind auch Habitatmodelle geeignet, um entsprechende Gebiete zu identifizieren. Gleichzeitig hat die Studie von Heuck et al. (2019a) gezeigt, wie wichtig es ist, besonders geeignete Habitate frei von WEA zu halten.

Ein weiterer Anstieg der Bestände innerhalb von sehr gut geeigneten Gebieten ist jedoch nicht dauerhaft zu erwarten. Eine weitere Verbesserung der Reviere innerhalb von Schwerpunkträumen, indem etwa Tötungsrisiken minimiert werden, z. B. realisiert durch Artenhilfsprogramme, kann zu einer weiteren Optimierung der Bestandszahlen führen.

Erfolgsversprechender dürften jedoch Maßnahmen in Gebieten sein, die aktuell noch nicht über die allerhöchsten Brutdichten verfügen und entsprechend Potenzial für die Aufwertung verfügbar ist. Durch den erwartbar gesteigerten Reproduktionserfolg kann die Population insgesamt effektiv gestärkt werden.

Für das Identifizieren von Gebieten mit besonderem Aufwertungspotenzial können für eine Vorabschätzung wiederum Habitatmodelle eingesetzt werden. Die Auswahl von Aufwertungsgebieten außerhalb von Schwerpunkträumen sollte zusätzlich mit den Ausbauzielen der Windenergie abgestimmt werden, um nicht langfristig Populationen in potenziellen Windenergiegebieten zu fördern. Mögliche Auswirkungen sollen innerhalb der Szenarienentwicklung berücksichtigt werden.

4 Schwerpunkträume in der Windenergieplanung – multikriterielle Szenarienanalyse

Im vorhergehenden Kapitel 3 wurde deutlich, dass Schwerpunkträume für die betrachteten Vogelarten basierend auf dem Ansatz der Habitatmodellierung erfolgreich identifiziert werden können. Wie die Bewertung der geeigneten Gebiete bzw. potenzieller Schwerpunkträume zeigt (vgl. Abbildungen 18, 25, 30, 35 und 36) umfassen die dort identifizierten Flächen unterschiedlich große Bereiche, die potenziell als Schwerpunkträume ausgewiesen werden könnten. Unter der Planung von Schwerpunkttraum-Ansätzen könnten dabei einerseits WEA-Belange gestärkt werden, da ein forciertere Ausbau von WEA außerhalb von Schwerpunkträumen stattfinden kann, da Quellpopulationen in den Schwerpunkträumen geschützt werden. Andererseits könnte so aber auch eine weiter zunehmende Flächenkonkurrenz mit WEA und im Zusammenspiel mit weiteren Abwägungskriterien entstehen (KNE 2021c). Die Schwerpunkträume könnten weitere Flächen für den Ausbau der Windenergie ausschließen und das Erreichen der Flächenbeitragswerte (vgl. Kapitel 1) erschweren.

Solche Nachhaltigkeitskonkurrenzen zwischen der Energieversorgung durch Erneuerbare Energien, dem Biodiversitätsschutz (Tafarte und Lehmann 2021, 2020) und weiteren gesellschaftlichen Zielsetzungen (Lehmann et al. 2021) sind

Teil der Planung für den weiteren Ausbau der Windenergienutzung. Insbesondere die Flächenkonkurrenz mit anderen Landnutzungen, ein verändertes Landschaftsbild und mögliche Auswirkungen auf Arten und Lebensräume führen zu Abwägungsfragen zwischen Erneuerbaren Energien einerseits und Natur und Landschaft andererseits (Ammermann und Bernotat 2022).

Um Energie- und Flächenziele für die Energiewende bis 2030 auch auf unteren Planungsebenen (wie der Regionalplanung) zu erreichen, müsste die Abwägung für Entscheidungsträger dahingehend unterstützt werden, Auswirkungen von Abwägungskriterien (z. B. Siedlungsabstände, Schutz von Wald, Erholung etc.) im Verhältnis zu Schwerpunkträumen transparent zu machen. Da bei der Flächenplanung von WEA viele Interessen in den Planungsprozess eingebracht werden, eignet es sich auf multikriterielle Methoden zurückzugreifen (MC(D)A, *multi-criteria (decision) analysis*). Der Vorteil liegt darin, Transparenz zu schaffen, insbesondere bei der Auseinandersetzung mit unterschiedlichen Interessen der Beteiligten und der Identifizierung von Synergien und Kompromissen (Abu Taha und Daim 2013; Bhardwaj et al. 2019).

4.1 Methodischer Ansatz: Multikriterielle Analysen

MCDAs beziehen sich auf Methoden, um Entscheidungsfindungen zu unterstützen, bei denen ein Entscheidungsträger eine Vielzahl an Kriterien oder Interessen berücksichtigt (Maxim 2014; Bhardwaj et al. 2019; Weber et al. 2023). Das Ziel ist es, methodisch die verschiedenen Elemente, die in einer Entscheidung enthalten sind, (sei es semi)quantitativ zu analysieren und bewerten zu können. Es gibt verschiedene Ansätze und entsprechende Software-Anwendungen, die Teil eines MCDA-Systems sein können, wie etwa hierarchische Entscheidungsbäume (z. B. analytischer Hierarchie-

prozess) (z. B. Aragonés-Beltrán et al. 2014), Ranking von Kriterien, Szenarien und graphische Visualisierungen von Zielkonflikten und Interessen in einem Entscheidungsfindungsprozess (z. B. PROMETHEE) (Brans und Vincke 1985; z. B. Weber und Köppel 2022).

Die Nutzung von multikriteriellen Ansätzen in der Planung bietet den Vorteil, die unterschiedlichen Interessen der Beteiligten, d. h. die Gewichtung der Planungskriterien und deren Auswirkungen auf die Nachhaltigkeitsziele in der

Planung transparent zu machen (Abu Taha und Daim 2013; Bhardwaj et al. 2019; Huang et al. 2011). MC(D)A-Methoden erlauben es, Kriterien und Indikatoren unabhängig von ihrer Skalenebene miteinander zu vergleichen (Wäger 2007). Damit ist es möglich, in einer Entscheidungsmatrix sowohl umweltbezogene, wirtschaftliche, als auch gesellschaftliche Effekte bei der Standortsuche für erneuerbare Energieträger zu erfassen (RPG HF 2020; vgl. Weber 2020) – und so auch den Flächenfußabdruck von Schwerpunkträumen auf (regionale) Energieziele abzubilden. Dabei können unterschiedliche Szenarien im Hinblick auf den Energiemix (z. B. Verhältnis Windenergie zu Freiflächen-Photovoltaik) wie auch die Ausbauziele für Erneuerbare Energien herangezogen werden. Weiterhin wird eine Abschätzung ermöglicht, unter welchen Rahmenbedingungen der Ansatz der Schwerpunkträume einen positivplanerischen Beitrag zur Lösung des Konflikts zwischen Artenschutz und Windenergieplanung erzielen könnte.

MC(D)As werden zunehmend in der Suche nach Standorten für Windenergie- und Solaranlagen entwickelt bzw. bereits in der Praxis angewandt (Hanssen et al. 2018 für Norwegen). Sward et al. (2021) geben beispielsweise einen Überblick über MC(D)A-Ansätze zur Unterstützung der Standortauswahl für Freiflächen-Photovoltaikanlagen. Auch für den Bereich der Windenergie gibt es inzwischen vielfältige Studien, die unterschiedliche MCDA-Ansätze für die Auswahl geeigneter Flächen vorschlagen (u. a. Atici et al. 2015; Baban und Parry 2001; Cavallaro und Ciruolo 2005; Değirmenci et al. 2018; Hanssen et al. 2018).

Der Ansatz der multikriteriellen Analyse wird hier im Projekt zur Beantwortung der Frage „*Vertragen sich die Schwerpunktraum-Ansätze mit den im WindBG verankerten Ausbauzielen der Windenergie?*“ als geeignete Methode eingeschätzt (Weber et al. 2023). Mit der multikriteriellen Szenarienanalyse als *Wenn-Dann-Analyse* werden Planungsvariationen von möglichen Restriktionskriterien und ihr Fußabdruck auf die Klimaschutz- und Energieziele beleuchtet. Das Ziel ist es auch, einen methodischen Beitrag zu liefern, um das Bewusstsein um Nachhaltigkeitskonkurrenzen bei der Abwägung in regionalen Planungsprozessen zu stärken.

Dazu werden die folgenden Fragestellungen untersucht:

Welche Effekte hat die Ausweisung von Schwerpunkträumen auf die Möglichkeit, die geltenden Energie- und Flächenziele für WEA (und Photovoltaik-Freiflächenanlagen) zu erfüllen?

1) Wie können die Energie- und Flächenziele für WEA durch eine Mehrzieloptimierung von Planungskriterien auch bei der Ausweisung von Schwerpunkträumen erreicht werden?

Die Methode wurde für Szenarien in zwei Bundesländern – Baden-Württemberg und Brandenburg – erprobt. Ziel war es herauszufinden, welcher Flächenanteil pro Region und landesweit für Windenergie übrigbliebe, wenn die identifizierten Schwerpunkträume angesichts weiterer naturschutzrelevanter Flächen und anderer Flächenrestriktionen wie Siedlungsabstände und Erholungsflächen als Ausschluss- oder Restriktionsflächen agieren. In Brandenburg wurde die MCA für die Planungsregion Havelland-Fläming durchgeführt. In Baden-Württemberg wurde die Analyse auf der regionalen und der Landesebene angewendet. Die durchgeführten Analysen sind methodischer Art und dienen nicht dazu „geeignete Windenergiegebiete“ in den beiden Bundesländern zu empfehlen.

Um die Auswirkungen identifizierter Schwerpunkträume für den Rotmilan und den Schwarzmilan bzw. den Fischadler auf Windenergieflächen in Baden-Württemberg und Brandenburg festzustellen, wurde eine multikriterielle Szenarienanalyse mit Hilfe eines QGIS- und Excel-Modells durchgeführt. Die Analysen betrachteten, wie stark für Windenergie geeignete Flächen durch die Schwerpunkträume sowie in Zusammenhang mit anderen planerischen und naturschutzrelevanten Kriterien eingegrenzt werden könnten und ob die vorgegebenen Flächenziele von rund zwei Prozent bis 2032 nach WindBG erreichbar sind. Konkret wurde in der GIS- und Excel-Analyse durch Verschneidungs- und Differenzierungswerkzeuge ermittelt, wie viel von der Landes- bzw. Regionsfläche für Windenergie verfügbar bleibt, wenn verschiedene Ausprägungen der Schwerpunkträume sowie in Kombination mit zusätzlichen Abwägungskriterien, wie z. B. Siedlungsabständen, gewählt werden. Dabei wurde auch untersucht, welche Effekte sich ergeben, wenn Schwerpunkträume mit unterschiedlichen Einschränkungen für die Windenergienutzung geplant werden, z. B. mit oder ohne Restriktionen für das Repowering von Bestandsanlagen.

4.2 Multikriterielle Szenarienanalyse – Fallstudie „Region Havelland-Fläming, Brandenburg“

Die Region Havelland-Fläming in Brandenburg steht vor der Herausforderung die landesspezifischen Flächenziele für Windenergie (2,2 % bis 2032) zu realisieren und dabei gleichzeitig anderen Zielen und Interessen gerecht zu werden (z. B. Schutz von Siedlungen, Landschaftsschutzgebieten, Wald u. v. m.). Bisher aufgestellte Regionalpläne, die auch ein Konzept zur Steuerung der Windenergie in der Region enthielten, wurden aufgrund materieller Begründungsfehler der (harten und weichen) Planungskriterien gerichtlich aufgehoben (Beck 2018). Mit der Umstellung auf einen positivplanerischen Ansatz ist insbesondere der Ausschluss von Flächen für die Windenergie nicht mehr im Detail zu rechtfertigen (BT-Drs. 20/2355). Vielmehr ist entscheidend, dass die Flächenbeitragswerte erreicht werden und dass die positiv ausgewiesenen Flächen für Windenergienutzung sich auch für diese Nutzung eignen. Schwerpunkträume für den Artenschutz wurden in Brandenburg bisher nicht berücksichtigt (vgl. RPG HF 2021).

Die Regionale Planungsgemeinschaft Havelland-Fläming (RPG HF) hat in den vergangenen Jahren den Regionalplamentwurf 3.0 entwickelt, in dem nach dem bisherigen Planungsansatz (Ausschlussplanung) 1,67 % der Fläche für Windenergie ausgewiesen werden konnten (RPG HF 2020, 2022). In dieser Fallstudien-Analyse diente der Regionalplamentwurf 3.0 als beispielhafte Grundlage dafür, wie das nach dem WindBG noch bestehende Flächendefizit mit Hilfe von multikriteriellen Szenarien ausgelotet werden könnte, um das Flächenziel von 2,2 % zu erreichen.

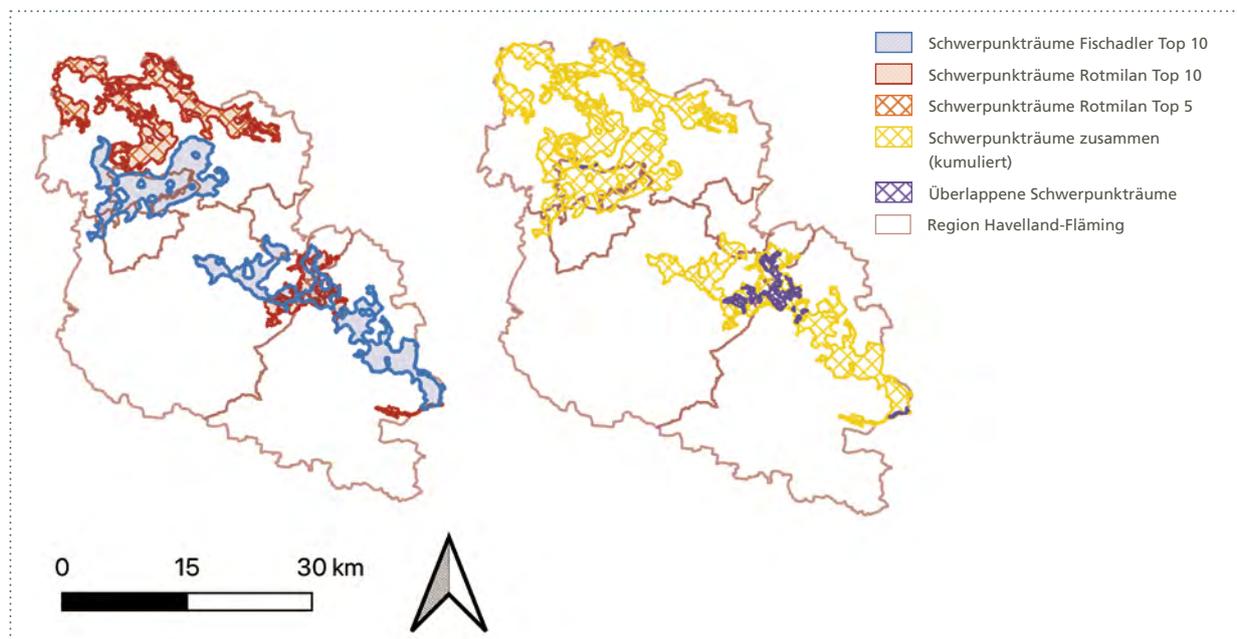


Abbildung 37 Unterschiedliche Schwerpunkträume für Rotmilan und Fischadler in der Region Havelland-Fläming auf Basis der Habitatmodellierung (siehe Kapitel 3.2.2) (verändert nach Weber et al. 2023)

4.2.1 Eingangsparmeter der multikriteriellen Szenarienanalyse

In der Analyse wurden Planungsoptionen mit Szenarien von Planungskriterien und deren Auswirkungen auf die Flächenziele für Windenergie quantifiziert und mit einem GIS- und Excel-Modell durchgespielt. Zusätzlich wurden die Energieziele für Photovoltaik-Freiflächenanlagen berücksichtigt, um Entscheidungen über den Energiemix zu unterstützen. Das Modell umfasst vier Eingangsparmeter, die fortfolgend weiter erläutert werden

- Variationen der Schwerpunkträume (z. B. Kombination von Schwerpunkträumen unterschiedlicher Arten wie für den Rotmilan und Fischadler, Einschränkung für das Repowering, Schwerpunkträume und Energiebedarf in Siedlungsnähe etc.),
- Flächenziele und Energieziele für den WEA- und Photovoltaik-Freiflächen-Ausbau,
- die Leistungsdichte der Windenergie und
- weitere Planungs- und Abwägungskriterien.

Es wurden einerseits unterschiedliche Ansätze für Schwerpunkträume – die besten fünf (TOP-5) und die besten 10 Schwerpunkträume (TOP-10), überlappende Schwerpunkträume und alle Schwerpunkträume-Flächen in der Summe – angenommen. Die Schwerpunkträume wurden dabei auf der Grundlage der Habitatmodellierung für Brandenburg angenommen, die in diesem Projekt ermittelt wurden (vgl. Kapitel 3.2.3). Dabei wurden die Arten Rotmilan und Fischadler als Zielarten priorisiert, sowie auch die möglichen überlappenden Schwerpunkträume beider Zielarten berücksichtigt. Die Auswirkungen möglicher unterschiedlicher Konzeptionen von Schwerpunkträumen auf die Flächenzielerreichung für WEA und Photovoltaik-Freiflächenanlagen konnten somit dargelegt werden (Abbildung 37).

Weiterhin sind die Windenergie-Flächenziele nach dem WindBG (2,2 % bis 2032 und 1,8 % bis 2027), wie sie vom Landesgesetzgeber auch 1 zu 1 für die Region festgelegt wurden (Brandenburgisches Flächenzielgesetz – BbgFzG) berücksichtigt worden, wie auch die Ziele der Energiestrategie 2030 des Landes Brandenburgs (2 % bis 2030) (MWE BB 2012). Zusätzlich wurden die Ausbauziele für Photovoltaik-

anlagen nach dem EEG 2023 für die Region herunterskaliert (mit der Annahme einer gleichmäßigen Verteilung zwischen Dach- und Freiflächen-Photovoltaik, als auch der Installation in der Fläche). Daneben wurden die Energieziele gemäß der Energiestrategie 2040 des Landes Brandenburg aufgegriffen (ebd.) Für die Ermittlung der Szenarien wurde eine Leistungsdichte von 29,3 mW/km² für die Windenergie als Mittelwert angenommen, um das Flächenpotenzial auf der Fläche der Fallstudien-Region modellieren zu können (FFfE 2022). Für Photovoltaik-Freiflächenanlagen wurden u. a. 99 mWp/km² angenommen (Wirth 2022).

Die Szenarien sind schließlich nach der *intuitive logic scenario*-Methode entwickelt worden (Kosow et al. 2008). Die Planungskriterien adressieren verschiedene Nachhaltigkeitsziele, wie etwa Siedlungsabstände als soziale Ziele und Kriterien zum Natur- und Landschaftsschutz als umweltbezogene Ziele. Es wurde mithilfe einer GIS-Analyse beurteilt, welche Kriterien einen höheren Flächenfußabdruck in der Region aufweisen. Es sind Optionen für den Umgang mit Kriterien innerhalb der Szenarien berücksichtigt worden (z. B. Öffnung von Landschaftsschutzgebieten, Wäldern, Abstände zu Siedlungen, Freiraumverbund, Naturparks). Szenarien stellen etwa dar, inwiefern die Ziele für WEA und PV-Freiflächenanlagen erreicht werden könnten, wenn zu einem geringen Maß der noch fehlende Flächenanteil in anderen Landnutzungen realisiert werden würde (wie z. B. 4 % Windenergie im Wald, 2 % im Freiraumverbund). Zusätzlich wurde untersucht, inwiefern Flächenziele bei Berücksichtigung von Schwerpunkträumen erreicht werden könnten, wenn die Windenergieplanung nach netzdienlichen und effizienten Gesichtspunkten geschieht, wie in einem Radius um Umspannwerke oder in der Nähe von Siedlungsflächen. Insgesamt konnten die Szenarien so in drei thematische Gruppen gegliedert werden, welche Planungsoptionen mit Schwerpunkträumen aufzeigen (z. B. ein Repowering wird in Schwerpunkträumen zugelassen oder nicht), sowie der Betrachtung von Schwerpunkträumen als ausschließendes Planungskriterium; für letzteres werden andere Flächenkriterien zu geringen Flächenanteilen exemplarisch geöffnet (z. B. weiterer Ausbau im Wald, in Landschaftsschutzgebieten) (Abbildung 38).

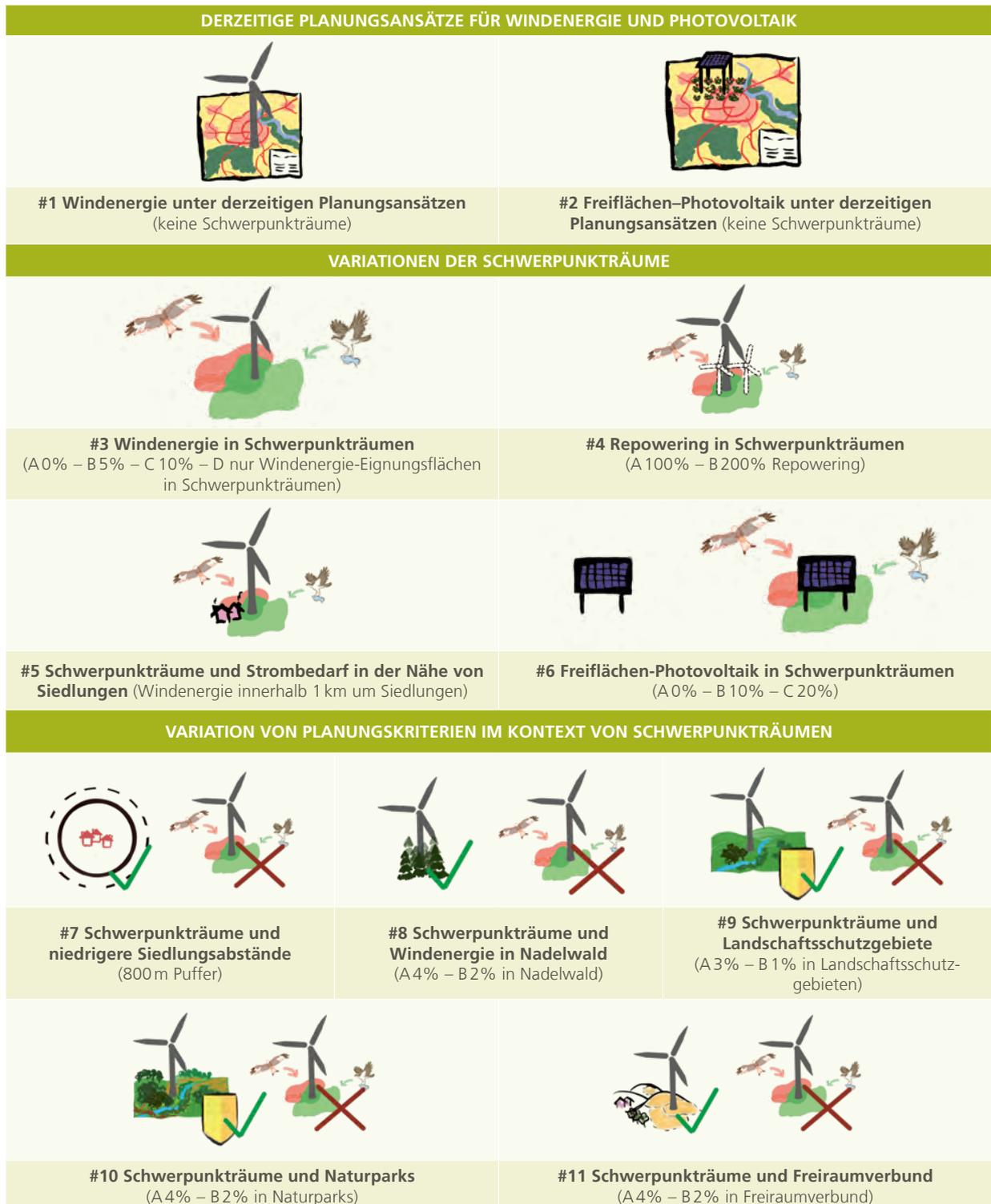


Abbildung 38 Szenarien für einen möglichen Umgang mit Schwerpunkträumen für den Artenschutz, im Zusammenhang mit anderen Planungskriterien für die Region Havelland-Fläming (verändert nach Weber et al. 2023)

4.2.2 Ergebnisse und Einordnung

Die multikriteriellen Szenarien zeigen, dass die Schwerpunkträume hinsichtlich der Flächenziele für die Windenergie im Vergleich zu anderen Planungskriterien eine untergeordnete Flächenkonkurrenz zeigen (2,2 % Flächenziel bis 2032). Gleichzeitig wird deutlich, dass mit nur sehr geringer Öffnung von bisher z. T. als Restriktionen in der Regionalplanung gehandhabten Nutzungen – z. B. Landschaftsschutzgebiete, Naturparks, Freiraumverbund und eine weitere Öffnung von Wäldern – das Erreichen der Flächenziele gewährleistet werden kann. Waldflächen sind in der Region bisher auch nicht per se ausgeschlossen worden. Innerhalb dieser Flächennutzungen stünde auch dann ausreichend Raum zur Verfügung, wenn weitere rechtlich einschränkende Flächenkriterien (z. B. Naturschutzgebiete,

Mindestabstände zu Siedlungen, Militärgebiete etc.) berücksichtigt werden (Abbildung 39).

Für Photovoltaik-Freiflächenanlagen wird deutlich, dass ausreichend Fläche in der Region verfügbar wäre, um die Energieziele für Photovoltaik nach dem EEG 2023 und der Energiestrategie 2045 des Landes Brandenburg zu erreichen. Hierbei ist jedoch nur das Flächenpotenzial untersucht worden, das gemäß der informellen Flächenanalyse für Brandenburg für EEG-Basisflächen ausgewiesen wurde, d. h. für Flächen, die nach dem EEG förderfähig sind (z. B. entlang von Autobahnen) (Energieagentur Brandenburg 2022).

Bei einem Vergleich der Szenarien zeigt sich so etwa, dass zusätzliche 4 % der Nadelwälder für die Windenergienutzung geöffnet werden müssten, um das Windenergie-

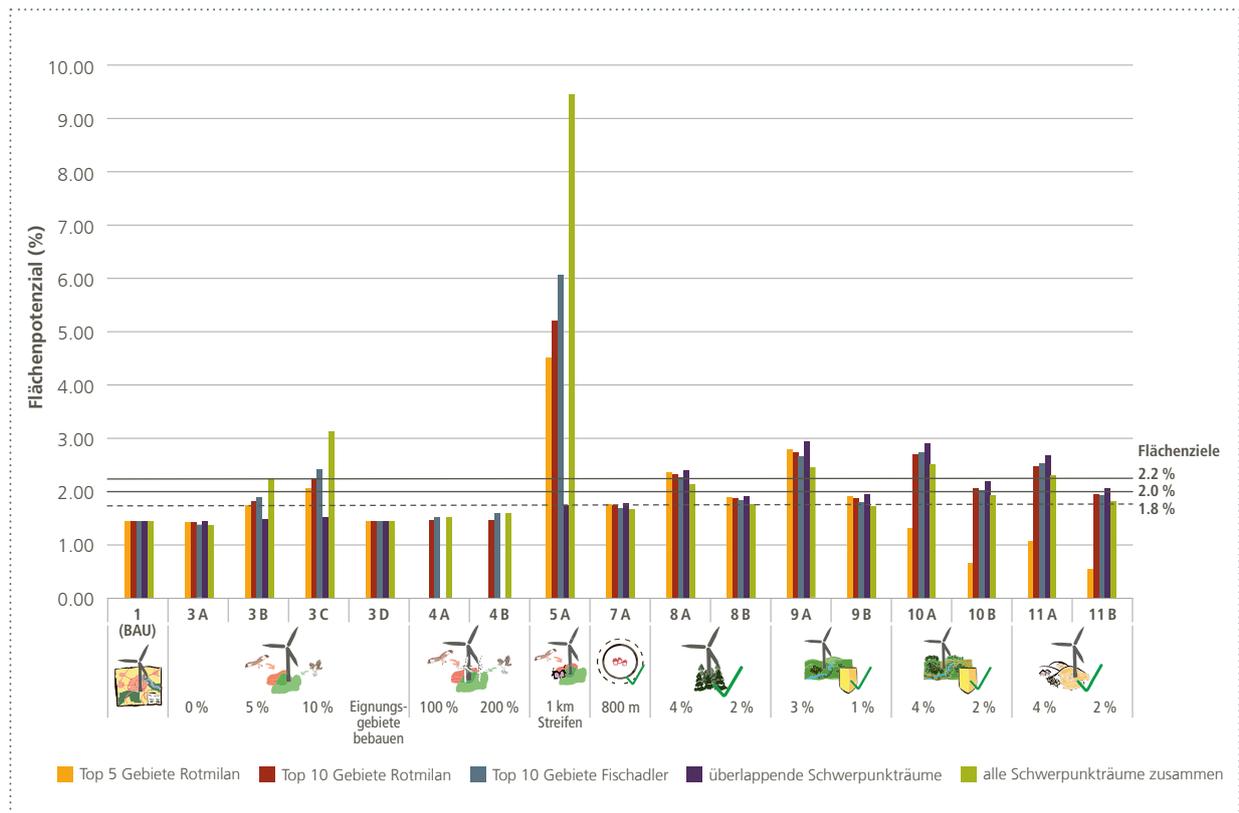


Abbildung 39 Ergebnisse der Windenergieszenarien für Havelland-Fläming. Die Balken zeigen an, ob die Flächenziele für Windenergie für das Szenario erreicht werden (siehe Linien für die jeweiligen Zielvorgaben). Die Farben der Balken zeigen, welche Schwerpunkträume für Vogelarten dem Szenario zugrunde gelegt wurde (verändert nach Weber et al. 2023).

Flächenziel von 2,2 % zu erreichen. Waldflächen sind in der Fallregion bisher nicht per se ausgeschlossen worden und zu ca. 8 % bereits für die Windenergie geöffnet. Um mehr Fläche zu schaffen und Schwerpunkträume freizuhalten, müssten in der Summe also fast 14 % der regionalen Nadelwaldfläche genutzt werden. Im Vergleich zu anderen Planungskriterien wie Landschaftsschutzgebieten könnte dieser Schwellenwert von weiteren 4 % Windenergie in Nadelwald daher als hoch angesehen werden (Weber et al. 2023).

Ein weiteres Szenario-Beispiel illustriert, dass das Flächenziel von 2,2 % theoretisch weit überschritten werden würde, wenn Windenergie in Schwerpunkträumen in Siedlungsnähe erlaubt wäre, um so gleichzeitig einen direkten Elektrizitätsbedarf bilanziell zu decken. Die Szenarien-Ergebnisse zeigen hier, dass die Schwerpunkträume in der Region häufig nah an Siedlungsbereichen liegen. Allerdings werden in diesem Szenario keine weiteren ausschließenden Kriterien in den Schwerpunkträumen berücksichtigt, z. B. Naturschutz-Kriterien, welche das Flächenpotenzial für WEA weiter einschränken können (vgl. Szenario 5) (ebd.). Es kann also Grenzen dafür geben, in welchem Ausmaß Schwerpunkträume für die Windenergie

genutzt werden können. Daher wäre hier beispielsweise etwa ein Kompromiss mit anderen Szenarien notwendig (ebd.).

Insgesamt zeigt die multikriterielle Szenarienanalyse, dass Entscheidungsmöglichkeiten bei der Flächenplanung für Windenergie transparent dargestellt werden, wie auch mögliche Energiemixe mit Freiflächen-Photovoltaikanlagen. Das Fallbeispiel der Region Havelland-Fläming illustriert, dass im Zuge der angestrebten Flächenziele für die Windenergie auch solche Flächen diskutiert werden müssen, die zuvor ausgeschlossen wurden. Gerade das Durchspielen von Maximal- und Extremszenarien kann Akteuren und Entscheidungsträgern helfen, Kompromisslösungen in ein akzeptableres Licht zu rücken. Es zeichnet sich ab, dass insbesondere unter den neuen positivplanerischen Rahmenbedingungen und den reduzierten Restriktionskriterien (wie z. B. die Möglichkeit der Ausweisung Windenergieflächen in Landschaftsschutzgebieten) sowohl für die Windenergie als auch für die Freiflächen-Photovoltaik substanzial Raum geschaffen werden könnte. Diese Erkenntnisse könnten dazu beitragen, die nun noch ambitionierteren Energieziele zu erreichen.

4.3 Multikriterielle Szenarienanalyse – Fallstudie „Baden-Württemberg“

Die Situation des Windenergieausbaus stellt sich in Baden-Württemberg anders dar als in Brandenburg. Während Brandenburg bereits über eine große Anzahl installierter Anlagen verfügt (3.984 bis Ende 2022, FA Wind 2023b), kommt der Windenergieausbau in Baden-Württemberg bisher nur langsam voran (772 Anlagen bis Ende 2022, FA Wind 2023b). Damit liegt Brandenburg nach Niedersachsen auf Platz 2 aller Bundesländer, Baden-Württemberg an Platz 12. In Brandenburg kommen damit ca. 0,13 WEA auf einen Quadratkilometer, in Baden-Württemberg nur 0,02 WEA/km² (Deutsche WindGuard 2023). Nach dem bis ca. 2017 eine Zunahme an installierten Anlagen stattfand, kam der Ausbau in Baden-Württemberg seitdem nur schleppend voran (UM BW 2022). Nach Ansicht der Landesregierung liegt dies am veränderten Bundesrecht und daran, dass Windenergieprojekte in Baden-Württemberg bei den entsprechenden Ausschreibungen nicht erfolgreich waren und der Süden dort benachteiligt wurde (Staatsministerium Baden-Württemberg 2023). Eine Änderung des Ausschreibungsregimes im Jahr 2022 wird von der baden-württembergischen Landesregierung als positiv angesehen (ebd.).

Die Landesregierung hat mit dem Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg das Ziel verankert, bis 2040 klimaneutral zu sein und benötigt dafür eine starke Beschleunigung des Ausbaus der Windenergie. Mit den Festlegungen im WindBG sind in Baden-Württemberg nun bis zum Jahr 2027 1,2 % und bis 2032 1,8 % Fläche des Landes für die Windenergienutzung auszuweisen (siehe WindBG, Anlage 1). Dabei hat Baden-Württemberg in § 20 Abs. 2 Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg (KlimaG BW) für die Regionalplanung festgelegt, dass diese eine Fläche von 1,8 % der jeweiligen Regionsfläche bereits bis Ende 2025 auszuweisen hat. Die zwölf Planungsregionen in Baden-Württemberg müssen die Flächenbeitragswerte für den Windenergieausbau gleichmäßig in allen Regionen ausweisen (FA Wind 2023a).

Die Berücksichtigung von Schwerpunkträumen, als Dichtezentren bezeichnet, bei der Genehmigung von WEA wurde in Baden-Württemberg 2015 erstmals eingeführt (LUBW 2015). Dieser Ansatz sah eine sogenannte dynamische Abgrenzung von Dichtezentren vor, d. h. bei jeder Windenergieplanung am Standort musste ermittelt werden, ob ein Dichtezentrum vorliegt (vgl. KNE 2021b). Angewandt wurde dieser Ansatz nur für den Rotmilan (Wulfert und Schöne-Warnefeld 2021). Ein Dichtezentrum lag vor, wenn in einem Radius von 3,3 km um eine geplante WEA sieben oder mehr Revierpaare des Rotmilans festgestellt wurden (LUBW 2021a). Bis 2019 lag der Schwellenwert für ein Dichtezentrum bei vier Revierpaaren bzw. einer Siedlungsdichte von mehr als drei Revierpaaren (LUBW 2015).

Seit ca. 2021 wurde in Baden-Württemberg die Einführung eines „statischen“ Dichtezentren-Konzepts diskutiert (KNE 2021b). Damit nicht mehr bei jedem einzelnen Windenergieprojekt ermittelt werden muss, ob Dichtezentren des Rotmilans vorliegen, sollten diese auf Basis der landesweiten Daten für das gesamte Bundesland ermittelt und kartographisch dargestellt werden (ebd.). Laut Aussage der LUBW im April 2021, sollten diese Dichtezentren dann in die Raum- und Regionalplanung einfließen und sich damit die Planungssicherheit für Windenergieprojektierer verbessern (ebd.).

Die LUBW hat in diesem Kontext im Jahr 2022 ein „Fachkonzept Ausnahme“ erarbeitet, welches die Ausnahmeprüfung für Windenergieprojekte unterstützen sollte. Dabei wurde der Ansatz der statischen Dichtezentren für ausgewählte Vogel- und Fledermausarten umgesetzt. Der „Fachbeitrag Artenschutz für die Regionalplanung Windenergie“ (LUBW 2022b) sieht eine Nutzung von Schwerpunkträumen für die Vogelarten Rotmilan, Wanderfalke, Weißstorch, Schwarzmilan, Baumfalke, Wespenbussard und Wiedehopf vor. Für die Details zur gewählten Methodik im Fachkonzept wird auf die Ausführungen im Kapitel 2 verwiesen.

Bei der nun anstehenden Fortschreibung der Regionalpläne in Baden-Württemberg soll die Arbeitshilfe der LUBW Anwendung finden und die identifizierten Schwerpunkträume berücksichtigt werden (ebd.). Die zwölf Träger der Regionalplanung in Baden-Württemberg (Regionalverbände) haben im März 2022 zusammen mit dem zuständigen Ministerium für Landesentwicklung und Wohnen die Aufstellung von neuen Teilplänen für die Umsetzung der Ziele für Windenergie und Freiflächen-Photovoltaik beschlossen und erarbeiten diese zum Zeitpunkt der Berichtslegung. Bis Anfang 2024 sollen die Teilpläne im Entwurf vorliegen und in die öffentliche Auslage gehen. Bis zum Herbst 2025 sollen die Teilpläne beschlossen werden (FA Wind 2023a).

4.3.1 Eingangsparmeter der Szenarienanalyse

Für die multikriterielle Analyse für den Anwendungsfall Baden-Württemberg wurden vergleichbare Eingangsparmeter wie für die Fallstudie in der Region Havelland-Fläming verwendet. Diese werden im Folgenden genauer beschrieben und die verwendeten Daten und notwendige Schritte zur Datenaufbereitung dargelegt. Das Modell umfasste, wie auch in der Fallstudie in Brandenburg, die vier Eingangsparmeter:

- Variationen der Schwerpunkträume (z. B. Kombination von Schwerpunkträumen unterschiedlicher Arten),
- Windenergieausbauziele,
- die Leistungsdichte der Windenergie und
- weitere Planungs- und Abwägungskriterien.

In der Fallstudie Baden-Württemberg wurden die von der LUBW identifizierten Windenergie-Potenzialflächen (LUBW 2023) als Ausgangslage genutzt. Da die Analyse der LUBW nicht als bearbeitbare GIS-Grundlage zur Verfügung stand, wurde die Analyse unter Nutzung freier verfügbarer (Geo)daten nachvollzogen, so dass in der vorliegenden Studie mit vergleichbaren, aber nicht hundertprozentig identischen Windenergiepotenzialflächen gearbeitet wurde. Abbildung 40 zeigt die ermittelten Windenergie-Potenzialflächen, die unter Berücksichtigung verschiedener landesspezifischer Ausschluss- und Abwägungskriterien sowie Daten zur Windhöflichkeit (mittlere gekappte Windleistungsdichte

ab 160 m) (UM BW 2019) entsprechend der vom LUBW beschriebenen Methode (LUBW 2023) ermittelt wurden. Die von der LUBW ermittelten Windenergie-Potenzialflächen umfassen 11,7 % (419.876 ha) der gesamten Landesfläche, wovon 6,2 % (220.000 ha) über eine ausreichende Windleistungsdichte verfügen und nicht in Ausschluss- oder Restriktionsflächen liegen (ebd.). Die restlichen 5,6 % der ermittelten Windenergie-Potenzialflächen liegen innerhalb von Flächen, bei denen eine Abwägung mit anderen Nutzungen erfolgen und im Einzelfall geprüft werden muss, ob eine Windenergienutzung erfolgen sollte (ebd.). Es wurden zusätzlich nur Flächen über 0,25 ha als geeignete Windenergie-Potenzialflächen angenommen (LUBW 2021b; UM BW 2019). Tabelle 28 gibt einen Überblick über die Ausschluss- oder Restriktionskriterien, die in der Analyse der LUBW genutzt wurden.

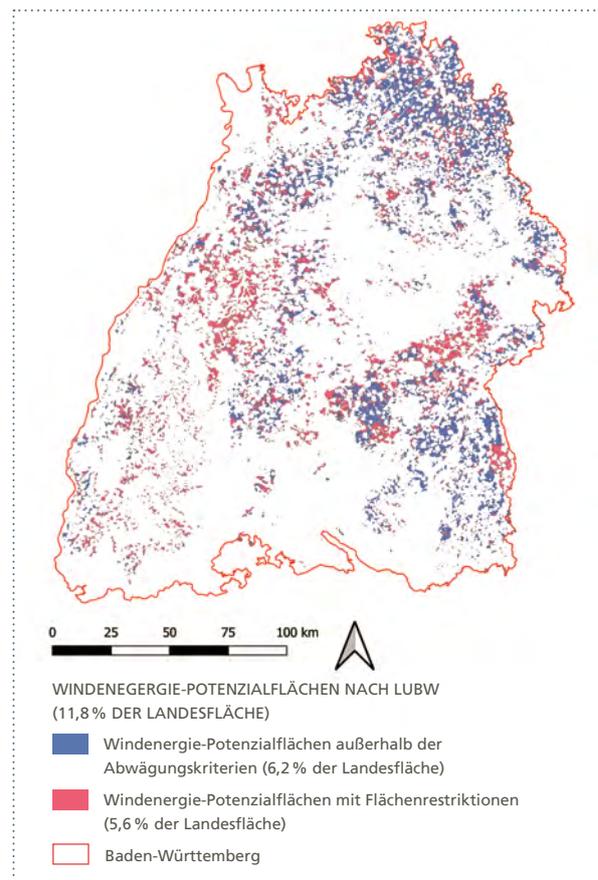


Abbildung 40 Windenergie Potenzialflächen in Baden-Württemberg (nach Kriterien aus LUBW 2019; eigene Berechnung)

Tabelle 28 Ausschluss- und Abwägungskriterien nach LUBW (2019)

KRITERIUM		FREIHALTUNG	ABSTANDSPUFFER
SIEDLUNG			
Krankenhäuser	■	Freihaltung	1.000m
Wohngebiete	■	Freihaltung	700m
Mischgebiete (sowie Wohnnutzung im Außenbereich)	■	Freihaltung	450m
Gewerbe- und Industriegebiete	■	Freihaltung	250m
Grün- und Erholungsflächen (z. B. Friedhöfe, Kleingärten, Parkanlagen, Campingplatz, Sportplätze)	■	Freihaltung	
INFRASTRUKTUR			
Bundesautobahn	■	Freihaltung	100m
Bundes- und Landesstraßen	■	Freihaltung	40m
Kreisstraßen	■	Freihaltung	30m
Schienenstrecken sowie Betriebsanlagen der Eisenbahn	■	Freihaltung	280m
Flughäfen, Verkehrslandeplätze, Segelflugplätze	■	Freihaltung	1.000m
INFRASTRUKTUR			
Flughäfen	■	Freihaltung	6 km Radius und Anflugsektoren
Verkehrslandeplätze, Segelflugplätze	■	Freihaltung	1.750m
Sonderfläche Bund (z. B. Einrichtungen der Bundeswehr)	■	Freihaltung	im Einzelfall
Hochspannungsfreileitungen	■	Freihaltung	140m
Geowissenschaftlichen Gemeinschaftsobservatoriums Schiltach	■	Freihaltung	5 km Radius
Wetterradarstationen Feldheim und Türkheim	■	Freihaltung	15 km Radius
Konzession/Abbaustandort für oberflächennahe Rohstoffe	■	Freihaltung	
FREIRAUM			
Nationalpark	■	Freihaltung	
Nationalpark	■	Pufferzone	200m
Naturschutzgebiete (bestehend und im Verfahren)	■	Freihaltung	
Naturschutzgebiete (bestehend und im Verfahren)	■	Pufferzone	200m
Europäische Vogelschutzgebiete mit Vorkommen windenergieempfindlicher Arten	■	Freihaltung	
Europäische Vogelschutzgebiete mit Vorkommen windenergieempfindlicher Arten	■	Pufferzone	700m
Auerhuhnrelevante Flächen (Kategorie 1)	■	Freihaltung	
Auerhuhnrelevante Flächen (Kategorie 2–3)	■	Markierung	
Bann- und Schonwälder	■	Freihaltung	
Bann- und Schonwälder	■	Pufferzone	200m
Binnen- und Fließgewässer (>6 m)	■	Freihaltung	10m

KRITERIUM		FREIHALTUNG	ABSTANDSPUFFER
Wasser- u. Heilquellenschutzgebiete Zone I (bestehend und im Verfahren)	■	Freihaltung	
Biosphärengebiet – Kernzone	■	Freihaltung	
Biosphärengebiet – Kernzone	■	Pufferzone	200 m
Biosphärengebiet – Pflegezone	■	Markierung	
Flächenhafte Naturdenkmale	■	Markierung	
Gesetzlich geschützte Biotope	■	Markierung	
Wasser- und Heilquellenschutzgebiete Zone II (bestehend und im Verfahren) und Überschwemmungsgebiete	■	Markierung	
Landschaftsschutzgebiet	■	Markierung	
FFH-Gebiet/-Mähwiesen	■	Markierung	
Europäische Vogelschutzgebiete ohne Vorkommen windenergieempfindlicher Arten	■	Markierung	
TURBULENZEN			
Mittlere meteorologische Umgebungsturbulenz in 160 m Höhe $\geq 0,25$	■	Freihaltung	
Mittlere meteorologische Umgebungsturbulenz in 160 m Höhe $\geq 0,2$ und $< 0,25$	■	Markierung	

■ überwiegend ungeeignet (Ausschluss), ■ bedingt geeignet (Abwägung)

Daten zu den einzelnen Ausschluss- und Restriktionskriterien wurden für unsere Szenarienanalyse aus unterschiedlichen Bundes- und Landesquellen entnommen. Geodaten zu den relevanten Schutzgebieten, wie Landschaftsschutzgebiete, stehen im GeoPortal der LUBW frei zur Verfügung (LUBW 2022a). Daten zu urbanen Flächen und Infrastruktureinrichtungen, wie auch anderer Landnutzung, wurden aus dem vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie online bereitgestellten Digitalen Landschaftsmodell (1:250.000) und den Corine Land Cover Daten entnommen.

Abbildung 40 zeigt die Lage der Windenergie-Potenzialflächen im Land Baden-Württemberg, dabei sind in Blau die Flächen dargestellt, bei denen weder Ausschluss- noch Restriktionskriterien vorliegen und in Orange solche Flächen, bei denen zwar keine Ausschlusskriterien vorliegen, aber Restriktionskriterien, wie in Tabelle 29 benannt. Abbildung 41 stellt die regionale Verteilung der Windenergie-Potenzialflächen dar und zeigt auf, dass in einigen Regionen ein deutlich größerer Anteil der Flächen liegt. Beispielsweise hat die Region Heilbronn-Franken allein 22 % aller Windenergie-Potenzialflächen, während in der Region Hochrhein-Bodensee nur ca. 2 % der Flächen liegen.

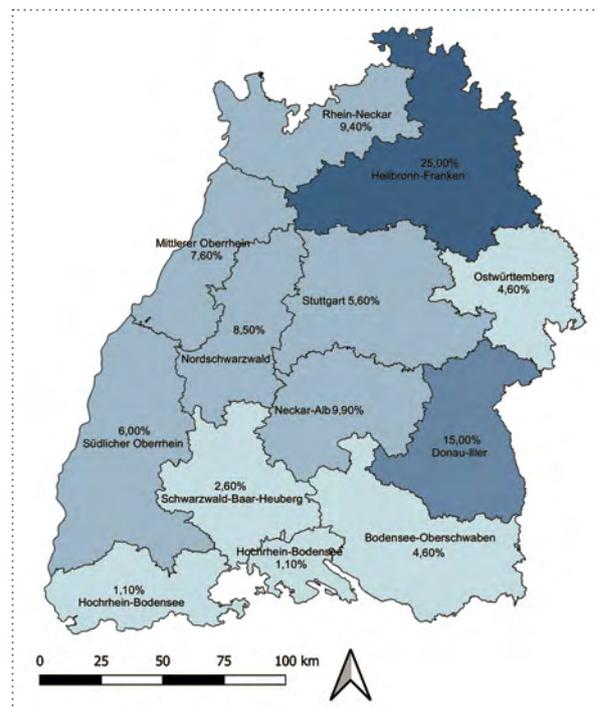


Abbildung 41 Flächenanteil der Windenergie-Potenzialflächen in den Regionen Baden-Württembergs; eigene Berechnung

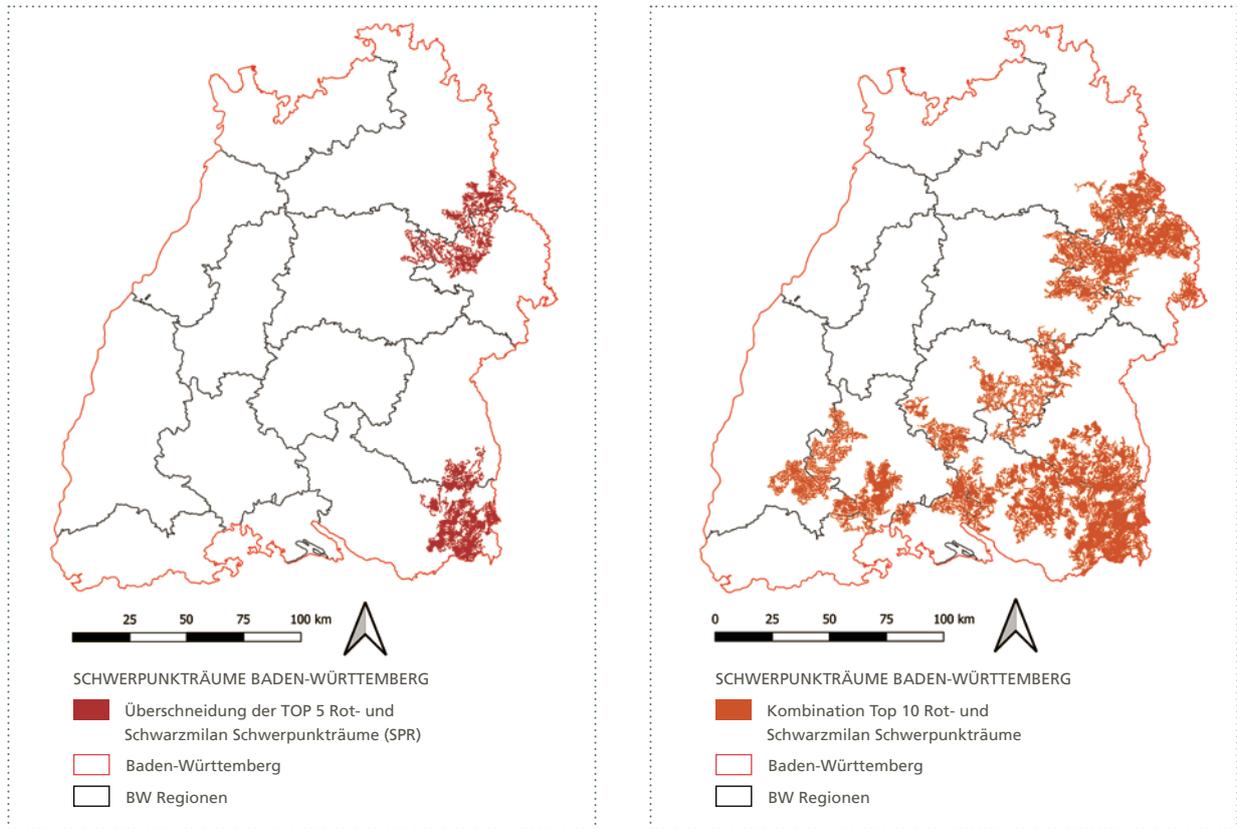


Abbildung 42 Kombination der Top 10 Rot- und Schwarzmilan Schwerpunkträume in Baden-Württemberg (links), Überschneidung der Top 5 Rot- und Schwarzmilan Schwerpunkträume in Baden-Württemberg (rechts); eigene Berechnung

Für die identifizierten Schwerpunkträume in Baden-Württemberg (vgl. Kapitel 3.2.2) wurden sechs mögliche Ausdehnungen erstellt, darunter die TOP-5 und TOP-10 der am besten geeigneten Lebensräume für die beiden ausgewählten Greifvogelarten – Rotmilan und Schwarzmilan – sowie Kombinationen der Flächen.

Diese sechs unterschiedlichen Ausdehnungen der Schwerpunkträume bieten der Szenarioanalyse mehrere Prioritätsoptionen. Jede Greifvogelart und ihre mögliche Schwerpunktraum-Ausdehnung können einzeln oder zusammen betrachtet werden. Der größtmögliche Umfang ergibt sich aus einer Kombination der TOP-10-Schwerpunkträume beider Arten, wie in Abbildung 42 (links) dargestellt. Abbildung 42 (rechts) dagegen bildet nur die Überschneidungsbereiche der TOP-10-Schwerpunkträume beider Arten ab und weist in der Konsequenz einen deutlich geringeren Flächenumfang auf.

Abbildung 43 zeigt, dass die Schwerpunkträume für Rot- und Schwarzmilan nicht gleichmäßig im Land verteilt sind. Am Beispiel der TOP-10-Schwerpunkträume für Rot- und Schwarzmilan zeigt sich, dass es einen relativ großen Anteil von Schwerpunkträumen im Südosten Baden-Württembergs gibt, insbesondere in der Planungsregion Bodensee-Oberschwaben. Dort liegen 25,5 % der Rotmilan-Schwerpunkträume und 37,6 % der Schwarzmilan-Schwerpunkträume.

Für die Berücksichtigung weiterer Planungskriterien, wie z. B. Siedlungen, Naturschutzgebiete oder Landschaftsschutzgebiete, waren entsprechende Geodaten notwendig. Die verwendeten Vektordaten stammen größtenteils aus dem online Umweltdaten- und Kartenportal der LUBW, die mit zusätzlichen Daten aus dem Digitalen Landschaftsmodell vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie und dem Copernicus CORINE Land Cover ergänzt wurden.

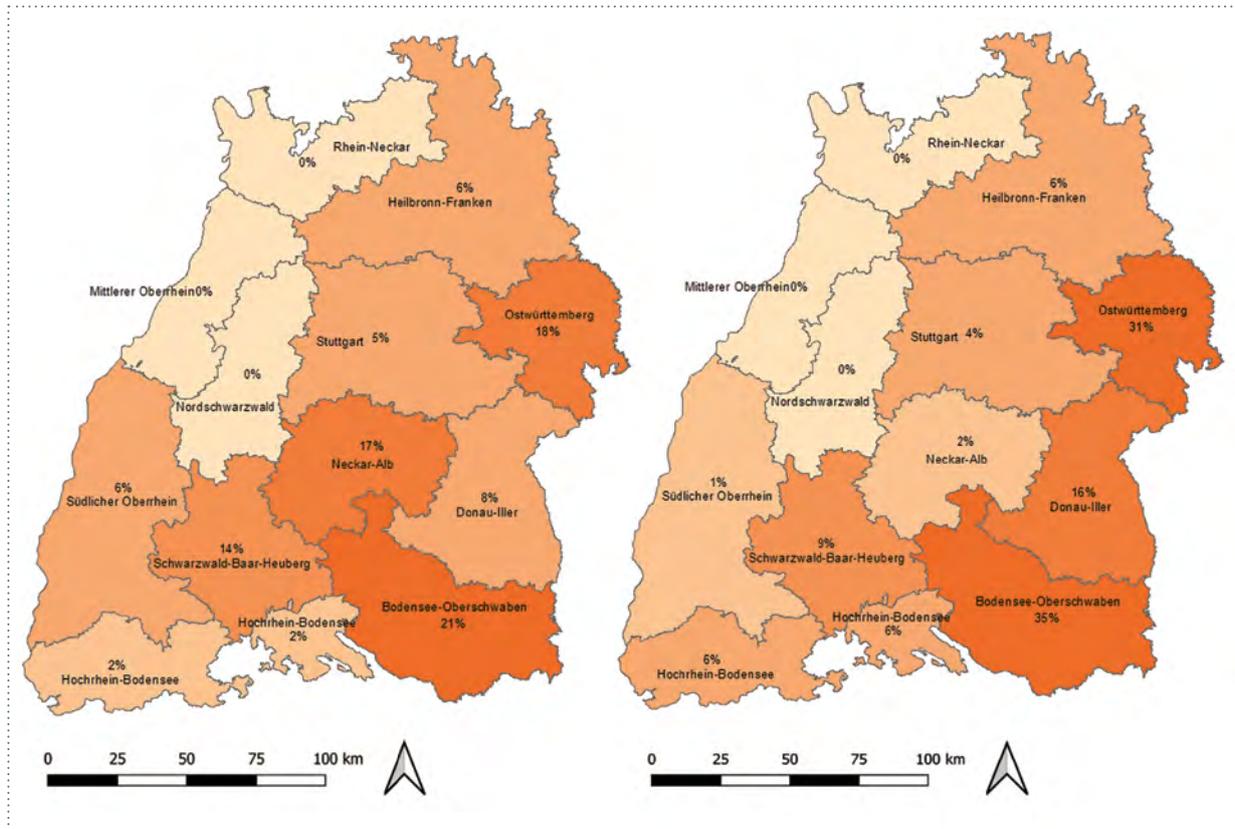


Abbildung 43 Regionale Verteilung der TOP 10 Rot- (links) und Schwarzmilan (rechts) Schwerpunkträume in Baden-Württemberg; eigene Berechnung

4.3.2 Szenarien-Erstellung

Die Szenarienanalyse soll einen Überblick darüber geben, wie die Windenergie-Potenzialflächen durch verschiedene Kriterien beeinflusst werden und wie Kriterien angepasst werden können, um das landesweite Windenergieflächenziele von 1,8 % bis 2025 (KlimaG BW) erreichen zu können.

Mehrere räumliche Parameter, darunter verschiedene Zusammensetzungen von Landnutzungen, Schutzgebieten und Pufferzonen, wurden zuerst einzeln und dann in Kombination mit den Schwerpunkträumen analysiert. Zwei unterschiedliche Analysen wurden auf der landes- und regionalen Ebene durchgeführt. Auf der Landesebene wurde die Auswirkung der einzelnen Kriterien auf die potenziellen Windenergie-Flächen getestet und anschließend in einem Extremfall-Szenario kombiniert.

Eine ausführlichere regionale Analyse in der Region Bodensee-Oberschwaben betrachtete die Auswirkungen von Planungskriterien wie Siedlungsabständen, Erholungsnutzung usw. in vier Szenarien. Die Region Bodensee-Oberschwaben wurde ausgewählt, da der größte Anteil unserer Schwerpunkträume und nur ein kleiner Anteil von Windenergie-Potenzialfläche hier vorkommen. So können mögliche Herausforderungen bei der Flächenverfügbarkeit exemplarisch dargestellt werden.

Tabelle 29 Szenarien für die multikriterielle Analyse in Baden-Württemberg

SCENARIO	KRITERIUM	AUSPRÄGUNG IN DEN JEWEILIGEN SZENARIEN		
Referenz-Szenario (Szenario 0)	Ausschluss- und Restriktionsflächen nach LUBW (2019)	Szenario 0a: Ausschlussflächen für Windenergienutzung ausgeschlossen	Szenario 0b: Ausschluss- und Restriktionsflächen für Windenergienutzung ausgeschlossen	
DIE FOLGENDEN SZENARIEN HABEN JEWEILS ZU SZENARIO 0 FOLGENDE ZUSÄTZLICHEN AUSSCHLUSSKRITERIEN:				
Szenario 1	Siedlungsabstände	Szenario 1a: 700 m	Szenario 1b: 1.000 m	
Szenario 2	Wald	Szenario 2c: alle Wälder	Szenario 2a: Mischwälder	Szenario 2b: Mischwälder sowie Klima- und Umweltschutzwälder
Szenario 3	Landschaftsschutzgebiete, Naturparke, Erholungswälder	Szenario 3a: Landschaftsschutzgebiete, Naturparke und Erholungswälder	Szenario 3b: Landschaftsschutzgebiete und Naturparke	Szenario 3c: Landschaftsschutzgebiete
Szenario 4	Alle Kriterien	Alle oben genannten Kriterien für Windenergienutzung ausgeschlossen		

Szenarien 1a und 1b: Siedlungsabstände zu Windenergiegebieten

In Baden-Württemberg wird derzeit ein Abstand zu Siedlungen von Windenergiegebieten für 700 m angenommen. Dieser Abstand orientiert sich am Baden-Württembergischen Windenergieerlass. Im Szenario 1a wird der Abstand von 700 m angenommen. Da in anderen Bundesländern ein durchaus größerer Abstand von Siedlungen zu WEA als sozial und politisch akzeptabel gilt (FA Wind 2022a) nimmt das Szenario 1b einen Siedlungsabstand von 1.000 m an und zeigt damit im Sinne einer „Was-wäre-wenn“-Analyse die entsprechenden Effekte einer solchen hypothetischen Ausweitung der Siedlungsabstände auf.

Szenarien 2a, 2b, 2c: Windenergienutzung im Wald

Das Land Baden-Württemberg schränkt den Ausbau von Windenergie im Wald nicht pauschal ein und es liegen über 50 % der Windenergie-Potenzialflächen in bewaldeten Gebieten. In den Szenarien 0a und 0b sind somit auf Waldflächen außerhalb von ausgewiesenen Schutzwäldern (Bann- und Schonwald) WEA grundsätzlich realisierbar, solange keine Überlagerung mit anderen beschriebenen Ausschluss- und Restriktionskriterien (vgl. Tabelle 28) erfolgt. Da die Einschränkung des Ausbaus von WEA im Wald durchaus vielfältig diskutiert wird¹⁷ (UBA 2021; FA Wind 2022b)

werden zusätzlich Szenarien entwickelt, die eine weitere gewisse Restriktion des WEA-Ausbaus im Wald darstellen. Auch wenn nach dem Urteil des Bundesverfassungsgerichts (BVerfG, Beschluss des Ersten Senats vom 27. September 2022) die Länder den Ausbau von Windenergie in Wäldern nicht mehr pauschal verbieten dürfen, können Wälder mit bestimmten Waldfunktionen, sensible oder für die Biodiversität wichtige Wälder ausgenommen werden (FA Wind 2022b).

Um die Auswirkung unterschiedlicher Möglichkeiten der Einschränkung des Ausbaus von WEA im Wald zu analysieren, wurden für das Kriterium Waldtyp drei unterschiedliche Szenarien in der Region Bodensee-Oberschwaben getestet. Als Parameter wurden im Szenario 2a alle Mischwälder, im Szenario 2b Mischwald sowie Klima- und Umweltschutzwälder (Projektgruppe Waldfunktionenkartierung der AG Forsteinrichtung, 2015), und im Szenario 2c alle Waldflächen als Restriktion angenommen. Mischwälder wurden separat betrachtet, da sie vor allem wegen ihrer Anpassungsfähigkeit und Resilienz gegenüber den Auswirkungen von Klimawandel, wie Dürre, Extremwetter und Schädlingen, schützenswert sind (BMEL 2021). Klima- und Umweltschutzwälder sind Waldflächen mit speziellen Waldfunktionen, die von der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg definiert wurden und können in der Abwägung bei der Waldbewirtschaftung

¹⁷ U. a. im März 2023 bei der Veranstaltung „Biodiversität als Basis für eine nachhaltige Windenergieproduktion im Wald“, <https://www.leibniz-izw-akademie.com/seminare/windenergieproduktion-im-wald>

verwendet werden (FVABW 2016). Diese spezifischen Wälder sind vor allem für die regionale und lokale Klimaregulierung sowie den Schutz von Wasserqualität und Böden bedeutsam (Projektgruppe Waldfunktionenkartierung der AG Forsteinrichtung 2015).

Szenarien 3a, 3b, 3c: Windenergienutzung in Kultur- und Erholungslandschaften

Landschaftsschutzgebiete (LSG) und die Pflege- und Kernzonen von Biosphärengebieten wurden im Kriterien-Katalog der LUBW als Restriktionskriterien, d. h. im Einzelfall abzuwägen, eingestuft (siehe Tabelle 28). Nach der Novellierung des BNatSchG 2022 ist es nach § 26 Abs. 3 zulässig in Landschaftsschutzgebieten Flächen für die Windenergie auszuweisen, ohne dass es für den Bau der Anlagen einer Ausnahme oder Befreiung bedarf. Entsprechend sind diese Flächen in Baden-Württemberg wie schon in der Windpotenzialstudie des LUBW angenommen, keine Gebietskategorien, die rechtlich oder tatsächlich für Windenergie in Gänze ungeeignet sind. Aufgrund möglicher Konflikte mit anderen Natur-, Kultur- und Erholungsnutzungen werden sie jedoch als möglicherweise ungeeignete Flächen eingestuft. Diese Flächen sind nach § 26 BNatSchG vor allem für den Menschen wichtig, da sie dem Schutz der ökologischen Leistungen und Funktionsfähigkeit sowie der Vielfalt, Eigenart und Schönheit der Landschaft dienen. In den Szenarien 3a-3c wurde nun die hypothetische Annahme getroffen, dass die Windenergienutzung, anders als im Szenario 0a, in Kultur- und Erholungslandschaften eingeschränkt würde. Dazu wurden im Szenario 3a alle Landschaftsschutzgebiete, Naturparks und Erholungswälder, im Szenario 3b alle Landschaftsschutzgebiete und Naturparks und im Szenario 3c alle Landschaftsschutzgebiete als Ausschlussgebiete für die Windenergienutzung angenommen. Biosphärengebiete kommen in der Region Bodensee-Oberschwaben nicht vor und wurden daher für die regionale Analyse nicht berücksichtigt. Erholungswälder wurden als zusätzliches kulturelles Gut in der Analyse mit aufgenommen (Projektgruppe Waldfunktionenkartierung der AG Forsteinrichtung 2015).

Szenario 4: Ausschluss aller Kriterien

Im Szenario 4 wird als Extremszenario der Ausschluss der Windenergienutzung in allen zuvor benannten Kriterien angenommen. Ein solches Extrem-Szenario kann – auch wenn es nicht wahrscheinlich ist – so umgesetzt zu werden, ein Ausgangspunkt und Rahmen für die Diskussion abgestufter Szenarien sein und eben den Möglichkeitsraum der Szenarien deutlich machen.

Um die potenziellen Auswirkungen der einzelnen Szenarien zu ermitteln, wurden die Teile der Windenergie-Potenzialflächen, die sich mit den Restriktionskriterien überschneiden, entfernt. Dies wurde mit den *Differenz-* und *Verschneidungs-* Werkzeugen in QGIS durchgeführt. Anschließend wurde mit dem *Feldrechner* ausgerechnet wie viel der ermittelten Windenergie-Potenzialflächen übrigbleiben.

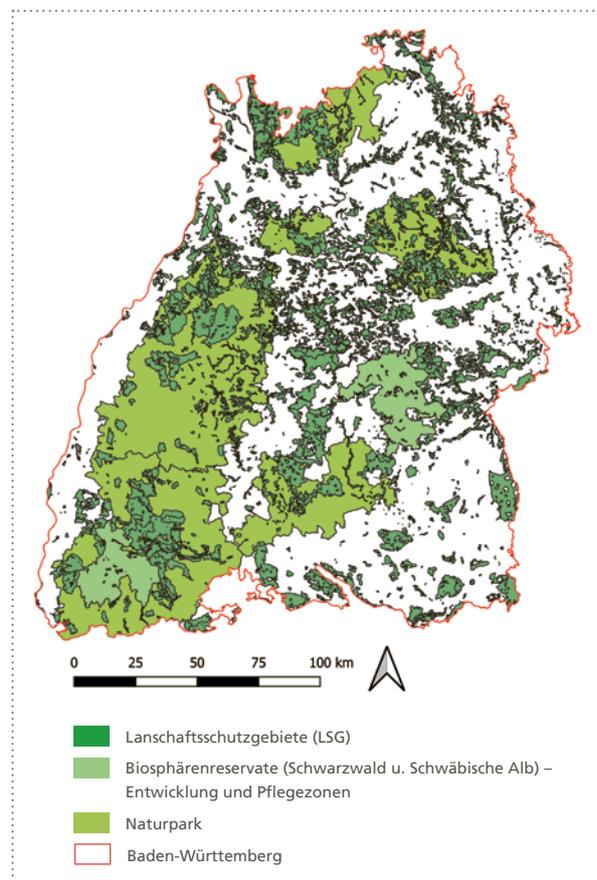


Abbildung 44 Landschaftsschutzgebiete, Naturparks und Biosphärengebiete (Entwicklungs- und Pflegezonen) in Baden-Württemberg; eigene Darstellung

4.3.3 Ergebnisse und Einordnung der Szenarienanalyse auf Landesebene

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Analyse der unterschiedlichen Szenarien zusammengefasst. Die multikriterielle Analyse für Baden-Württemberg zeigt zunächst die Auswirkungen einzelner Kriterien auf Landesebene und konzentriert sich dann auf vier unterschiedliche Szenarien für die Region Bodensee-Oberschwaben. Die hier dargestellten Tabellen und Abbildungen zeigen die Auswirkungen des kleinsten Umfangs der Schwerpunkträume (Überschneidung TOP-5-Rotmilan und Schwarzmilan-Schwerpunkträume – RmSm TOP 5 Überschneidung) und des größten (Kombination TOP-10-Rotmilan und Schwarzmilan-Schwerpunkträume – RmSm TOP 10 Kombi) (vgl. Abbildung 42), wobei die Auswirkung der anderen Kombinationen dazwischen liegen.

Für die landesweite Analyse wurde deutlich, dass nur 0,6 % der Windenergie-Potenzialflächen, die keinen Einschränkungen durch Ausschluss- und Restriktionskriterien (nach Tabelle 28) unterliegen, wegfallen würden, wenn die identifizierten Schwerpunkträume mit dem größten Umfang (TOP 10 RmSm Kombi) angenommen werden. Damit blieben noch 5,6 % der Landesfläche für die Windenergienutzung verfügbar. Beachtlich ist bei diesen Angaben, dass in dieser Szenarienberechnung nur Restriktionen entsprechend Tabelle 29 eingeflossen sind, weitere, wie bspw. militärische Belange, konnten nur eingeschränkt berücksichtigt werden. Auf der anderen Seite sind auch Restriktionen entfallen, da um Wetterradaranlagen nun nur noch ein Umkreis von fünf Kilometern freizuhalten ist (DWD 2023). Wenn, wie im Szenario 2c angenommen, alle Waldflächen von der Windenergienutzung ausgeschlossen würden, zeigt sich, dass die Windenergie-Potenzialflächen um deutlich mehr (hier 2,7 %) reduziert würden und nur noch 3,5 % der Landesfläche zur Verfügung stünden. Rund 50 % der Windenergie-Potenzialflächen befinden sich in Wäldern, was darauf hindeutet, dass ein vollständiger Ausschluss der Windenergienutzung im Wald in Baden-Württemberg, aus Natur- und Klimaschutz oder forstwirtschaftlichen Gründen, die Verfügbarkeit von Flächen für die Windenergienutzung erheblich einschränken würde. Bei einer Annahme eines größeren Abstandes zu Siedlungen von 1.000 m wie im Szenario 1b beschrieben, würden dadurch 1,6 % der verfügbaren Windenergie-Potenzialflächen nicht mehr verfügbar

sein und sich die verfügbare Fläche auf 4,6 % der Landesfläche reduzieren.

Eine Kombination der drei oben beschriebenen Szenarien im Sinne eines hypothetischen „worst-case“ Szenarios, würde die für die Windenergienutzung verfügbare Fläche auf etwa 1 % der Landesfläche reduzieren. Damit wäre das Land nicht in der Lage, das Flächenziel nach KlimaG BW von 1,8 % bis 2032 zu erreichen. Dies ist aber nur eine illustrative Darstellung von Kombinationsmöglichkeiten bei der Szenariengenerierung und stellt sicherlich kein realistisches Szenario für die Praxis dar.

4.3.4. Ergebnisse und Einordnung der Szenarienanalyse für die Region Bodensee-Oberschwaben

Wie oben dargestellt, wird die Region Bodensee-Oberschwaben von einem bedeutenden Teil der Schwerpunkträume eingenommen (vgl. Abbildung 43) und weist auch einen sehr geringen Anteil an Windenergie-Potenzialflächen im Landesvergleich auf (vgl. Abbildung 41). Dies deutet darauf hin, dass es in dieser Region ein größeres Konfliktpotenzial zwischen Windenergieausbau und dem Artenschutz geben und das Erreichen der Flächenziele problematisch sein könnte. Dies sollte mit den im folgenden beschriebenen Szenarien beispielhaft untersucht werden.

Für die Region Bodensee-Oberschwaben wurden insgesamt vier Szenarien mit Unterszenarien analysiert und die Effekte einer Ausweisung von Schwerpunkträumen in Kombination mit anderen Planungskriterien untersucht. Die Szenarien beinhalten unterschiedliche Ausdehnungen für Siedlungsabstände und Ausschluss von Flächen für Erholungs- oder Naturschutznutzungen (vgl. Tabelle 29 für die detaillierte Szenarienbeschreibung).

In der Region Bodensee-Oberschwaben sind ca. 6 % der Fläche Windenergie-Potenzialfläche (vgl. Abbildung 41). Von diesem Flächenanteil sind 0,1 % der Fläche mit potenziellen Restriktionen belegt (Referenz-Szenario 0b), so dass ca. 5,9 % der Windenergie-Potenzialflächen der Region ganz ohne Ausschlüsse und Restriktionen sind (Referenz-Szenario 0a). Grundsätzlich zeigen diese Werte, dass in beiden Fällen das Flächenziel von 1,8 % der Regionsfläche erreicht werden kann (vgl. Abbildung 45).

Szenarien 1a und 1b zeigen auf, dass bei einer Erhöhung der Siedlungsabstände von 700m auf 1.000m die verfügbare Regionsfläche von 5,5 % auf 3,6 % sinkt. Die Kombination der 700-m-Siedlungsabstände mit den Schwerpunkträumen würden zu einer Reduktion der verfügbaren Flächen auf 4,7 % (RmSm TOP 5 Überschneidung) bzw. 3,4 % (RmSm TOP 10 Kombi) führen (vgl. Abbildung 45).

Bei den Szenarien 2a und 2b wird deutlich, dass auch bei einer Einschränkung der Waldnutzung für den Ausbau der Windenergie in Kombination mit der Ausweisung von Schwerpunkträumen klar mehr als 1,8 % der Regionsfläche zur Verfügung stünden. Nur im Szenario 2c, in dem ein Windenergieausbau im Wald vollständig ausgeschlossen wird, kann das Flächenziel von 1,8 % für die Kombination mit den Schwerpunkträumen nicht mehr erreicht werden (vgl. Abbildung 45). Das Szenario 2c ist aber auch hier wiederum als ein hypothetisches anzusehen, da ein vollständiger Ausschluss von WEA im Wald in Baden-Württemberg politisch nicht vorgesehen ist und auch rechtlich

nach dem Urteil des Bundesverfassungsgerichts von 2022 nicht mehr zulässig wäre (BVerfG, Beschluss des Ersten Senats vom 27. September 2022). Ganz im Gegenteil öffnet die Landesregierung in Baden-Württemberg derzeit weitere Teile des Staatswaldes für den Ausbau der Windenergie (ForstBW 2023).

Im Szenario 3a zeigt sich, dass ein Ausschluss von WEA in LSGs in Kombination mit den Schwerpunkträumen zwar zu einer Reduktion der verfügbaren Flächen führen würde, aber das Flächenziel von 1,8 % noch übererfüllt wäre. In den Szenarien 3b und 3c in denen ergänzend Naturparke (3b) bzw. Naturparke und Erholungswald (3c) ausgeschlossen würden, wird in der Kombination mit den Schwerpunkträumen, gerade für die Kombination der Schwerpunkträume von Rot- und Schwarzmilan (RmSm TOP 10 Kombi), das Flächenziel nur noch knapp oder nicht mehr erreicht.

Die Mehrheit der Szenarien in Abbildung 45 zeigt, dass, selbst in Kombination mit dem größten angenommenen Ausmaß der Schwerpunkträume (RmSm TOP 10 Kombi),



Abbildung 45 Multikriterielle-Szenarien in der Region Bodensee-Oberschwaben, Baden-Württemberg

die Flächenziele auf regionaler Ebene noch erreichbar wären. Nur wenn alle Wälder (Szenario 2c) oder alle primär der Erholung dienenden Flächen (Szenario 3c) in Kombination mit der größten Ausdehnung der Schwerpunkträume für den Windenergieausbau nicht mehr verfügbar wären, bestünde die Möglichkeit, dass die Flächenziele verfehlt würden. Allein im Szenario 4, das einen Worst-Case-Fall simuliert, würden die Flächenziele weit verfehlt, sowohl mit wie auch ohne Planung von Schwerpunkträumen.

Die Analyse für Baden-Württemberg zeigt, wie auch die Analyse für Brandenburg, dass die Windenergie-Potenzialflächen eher von großflächigen Abwägungskriterien, wie z. B. Siedlungsabständen oder Schutzgebieten, eingeschränkt werden als von den identifizierten Schwerpunkträumen. Dies deutet darauf hin, dass es Möglichkeiten gibt, den Schutz kritischer Lebensräume für windenergiesensible Greifvogelarten zu ermöglichen und gleichzeitig geeignete und konfliktarme Flächen für die Windenergie zu identifizieren.

In den meisten Szenarien kann Baden-Württemberg das im KlimaG BW vorgeschriebene Flächenziel von 1,8 % bis 2025 erreichen. Nur wenn alle Abwägungskriterien eingeschränkt werden, müssen die Kriterien bzw. Prioritäten in einzelnen Regionen abgewogen und ausgeglichen werden. Wie der Fall in der Region Bodensee-Oberschwaben zeigt, wurde in den meisten Szenarien das regionale Flächenziel erreicht, obwohl ein großer Anteil der Schwerpunkträume für Rot- und Schwarzmilan in der Region liegen (siehe Abbildung 43). In der nördlichen Region Heilbronn-Franken stellt sich die Situation anders dar, dort liegt ein geringerer Flächenanteil von Schwerpunkträumen und ein viel größerer Anteil an Windenergie-Potenzialflächen. In Heilbronn-Franken würden immer noch fast 4 % der dortigen Windenergie-Potenzialfläche verfügbar sein, selbst wenn alle Restriktionskriterien und die Kombination der TOP-10 Rot- und Schwarzmilan-Schwerpunkträume angewandt und dort eine Windenergienutzung ausgeschlossen würde (vgl. Abbildung 46).

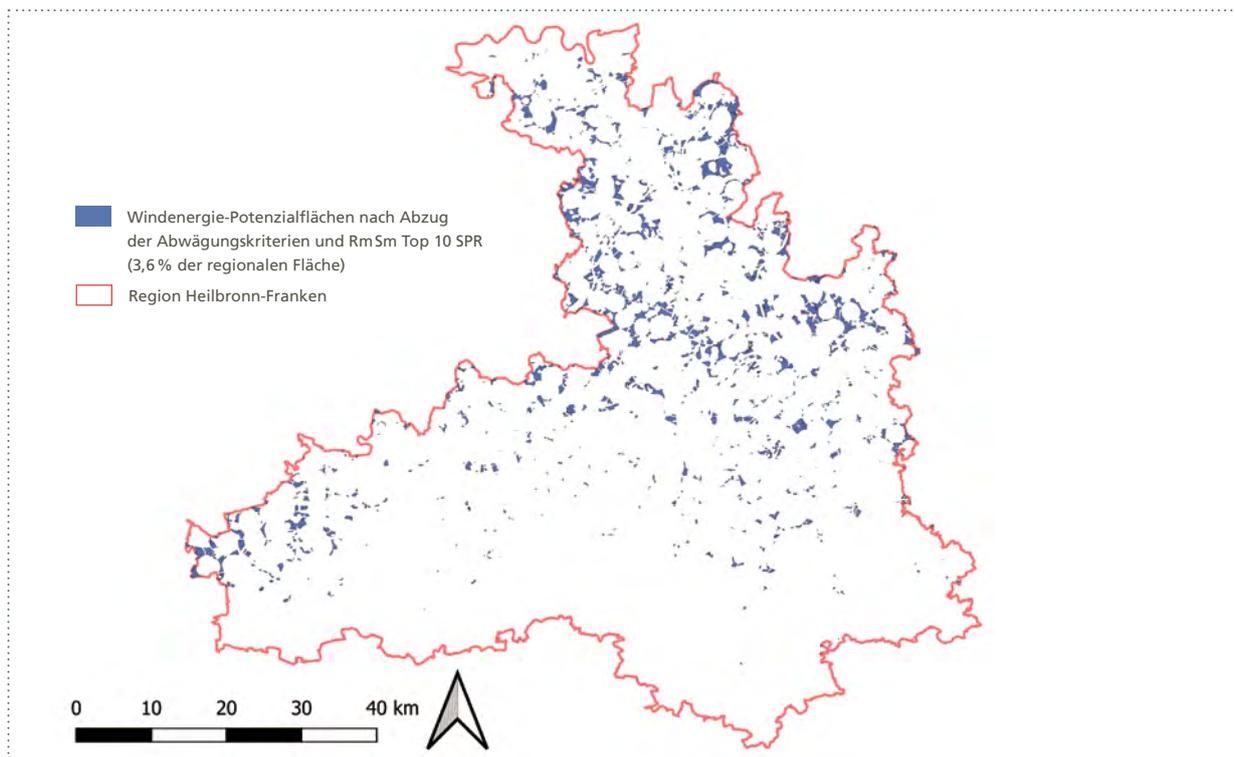


Abbildung 46 Verbleibende Windenergiepotenzialflächen in der Region Heilbronn-Franken nach Abzug aller Abwägungskriterien und der kombinierten Rot- und Schwarzmilan TOP-10-Schwerpunkträume (Szenario 4 in Tabelle 29); eigene Berechnung

Diese regionalen Unterschiede machen deutlich, dass der landesweit vorgesehene Flächenbeitragswert für die Windenergie in einigen Regionen ggf. einfacher als in anderen erreichbar ist. Dies greift auch die Baden-Württembergische Landesregierung auf und ermöglicht im KlimaG BW den Handel zwischen den Regionen und einen Ausgleich bei dem Erreichen der Flächenziele (FA Wind 2023b). Für eine solche Abwägung zwischen Regionen kann eine multikriterielle Szenarienanalyse auf Landesebene zeigen, welche Regionen von welchen Flächenkonflikten potenziell stärker betroffen sein können und welche Regionen mit den geringsten Einschränkungen und Kompromissen zum Erreichen des Ziels beitragen könnten.

Um die Flächenziele für Windenergie zu verwirklichen, ohne andere Ziele, wie z. B. zum Naturschutz, in Frage zu stellen, kann eine Region die multikriterielle Szenarienanalyse nutzen, um zwischen verschiedenen Kriterien und Szenarien abzuwägen. Auf welche Kriterien und potenziellen Kompromisse eingegangen wird, um das Flächenziel zu errei-

chen, ist eine gesellschaftliche Wertefrage, die zwischen verschiedenen Akteurs-Gruppen diskutiert werden sollte.

Abbildung 47 zeigt ein Beispiel für eine Mehrzieloptimierung in der Region Bodensee-Oberschwaben. In diesem Fallbeispiel wird angenommen, dass Szenario 4 (vgl. Tabelle 29) ausgewählt wurde, womit alle Kriterien für Windenergie ausgeschlossen sind. Um das Flächenziel von 1,8 % dennoch zu erreichen, wurde, eine fiktive Stakeholder-Diskussion annehmend, entschieden, dass die Windenergie-Potenzialflächen innerhalb von Nadelwäldern zuerst, und in größerem Ausmaß, geöffnet werden sollten. So können weitere Flächenöffnungen, und somit die Auswirkung auf Natur- und Artenschutzziele, minimal gehalten werden.

Der in der Analyse gewählte Populations- und lebensraumorientierte Ansatz für den Artenschutz über den Schritt der Habitatmodellierung bietet eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten und ist wegen des Rankings

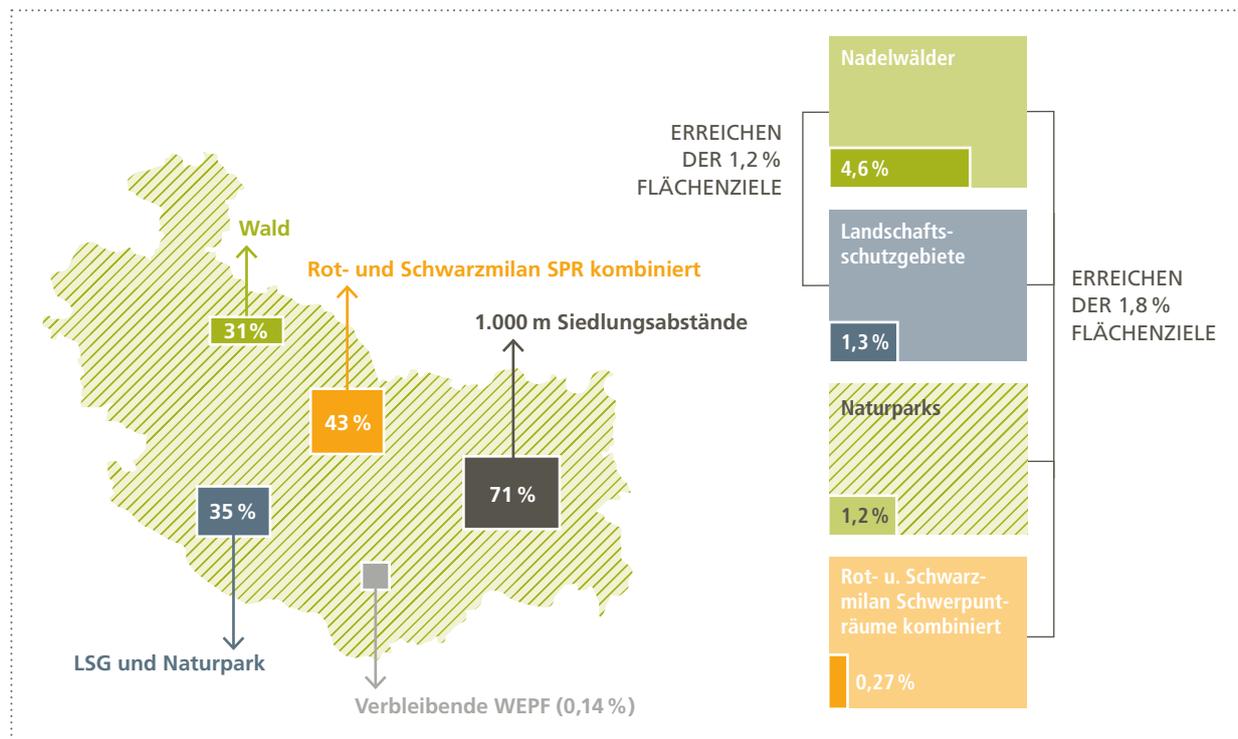


Abbildung 47 Die Mehrzieloptimierung zum Erreichen der festgelegten Flächenziele in der Beispiel Region Bodensee-Oberschwaben, links die Flächenanteile der Restriktionskriterien an der Windpotentialfläche (vgl. Szenario 4), rechts die Flächenanteile an den Kriterien, die für die Windenergienutzung geöffnet werden müssten, um die Flächenziele zu erreichen.

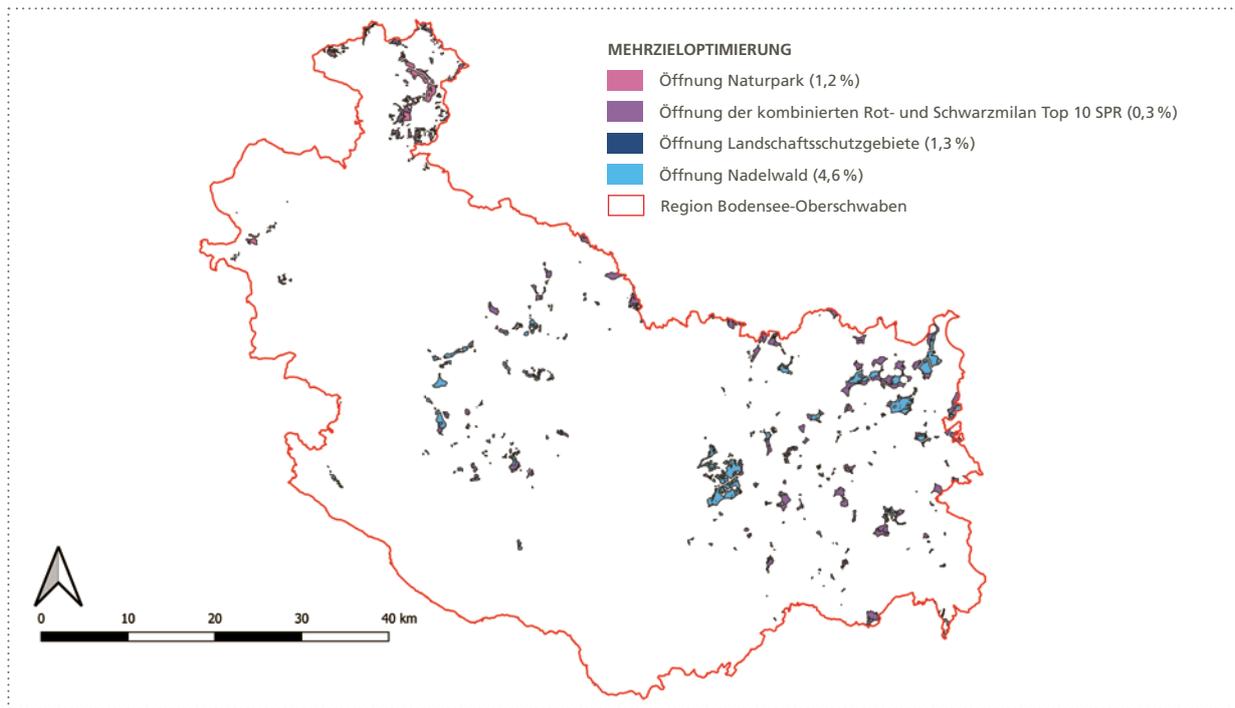


Abbildung 48 Beispielhafte Darstellung der Verteilung der Windenergie-Potenzialflächen innerhalb der geöffneten Kriterien (Region Bodensee-Oberschwaben, BW); eigene Berechnung

der geeigneten Schwerpunkträume besonders anpassungsfähig für Szenarienanalysen. Die verschiedenen, möglichen Zusammensetzungen aus Ausprägungen von Schwerpunkträumen bieten die Möglichkeit, entweder den größtmöglichen Lebensraumschutz anzustreben oder ihn auf die kritischsten und für mehrere Arten vorteilhaftesten Gebiete zu beschränken.

4.4 Schlussfolgerungen/Diskussion zur multikriteriellen Szenarienanalyse

Wie die Fallstudien dargestellt haben, ermöglicht eine multikriterielle Szenarienanalyse Entscheidungsträgern, verschiedene Auswirkungen von Planungskriterien hinsichtlich der Zielerreichung für die Windenergie (und perspektivisch auch für die Photovoltaik-Freiflächenanlagen), wie z. B. Schwerpunkträume, Forste und Landschaftsschutzgebiete, zu quantifizieren und abzuwägen. Es können „Kosten und Nutzen“ von Abwägungsentscheidungen in der (Wind-

energie-)Planung, z. B. in Bezug auf einzelne Flächenbedarfe und Schutzzwecke, quantifiziert und transparent bewertet werden. Im Sinne einer Mehrzieloptimierung können die Szenarien genutzt und kombiniert werden, um die Stellrauben auszuloten, mit denen die Beeinträchtigung von Schutzbereichen minimiert werden kann, während gleichzeitig die Energieziele erreicht werden.

Die Entscheidung, welche Planungskriterien am Ende für die Windenergie (und ggf. Photovoltaik-Freiflächenanlagen) geöffnet werden sollen, um die Flächenziele zu erreichen, ist allerdings eine normative Entscheidung. Eine Mehrzieloptimierung erfordert die Bereitschaft, Kompromisse auszuhandeln. Die Frage, inwiefern Stakeholder jedoch zu Kompromissen im Bereich der Energiewende tendenziell (noch) bereit wären, ist eine weitergehende Frage, die über dieses Projekt hinaus geht und derzeit bearbeitet wird (Weber et al. 2023).

5 Eine rechtliche Einordnung von Schwerpunkträumen

Anhand einer Auswertung von Literatur und Gerichtsentscheidungen wurden mit dem Projekt zusammenhängende juristischen Fragestellungen betrachtet. Dabei ging es einerseits um eine rechtliche Einordnung von Schwerpunkträumen und eine Zusammenfassung der dazu existierenden Rechtsauffassungen. Andererseits wurde erörtert, inwieweit die jüngsten Rechtsänderungen Auswirkungen auf diese Einordnung haben.

Im Rahmen der zahlreichen Gesetzesänderungen der letzten Monate (im Detail siehe Kapitel 1) fand auch ein Regimewechsel im Rahmen der Flächenausweisung für die Windenergienutzung statt. Denn die bisher praktizierte Konzentrationszonenplanung – und die damit einhergehende Ausschlussplanung – wird nun von einer klassischen Positivplanung in Verbindung mit einer modifizierten Außenbereichsprivilegierung abgelöst (Deutscher Bundestag

2022). Dies führt dazu, dass die bisherige rechtliche Einordnung von Schwerpunkträumen nicht eins zu eins auf die neue Rechtslage übernommen werden kann. Vielmehr müssen im Hinblick auf die neue Rechtslage eine neue Einordnung und sogar Auslegung stattfinden. Dabei kann lediglich beschränkt auf Erkenntnisse der bisher existierenden Literatur oder auf Entscheidungen der Rechtsprechung zurückgegriffen werden, da die praktische Rechtsanwendung der neuen Regelungen erst begonnen hat. Vielmehr ist hier eine Auslegung nach den klassischen juristischen Auslegungsmethoden vorzunehmen.

Die Darstellung enthält daher einerseits die rechtliche Einordnung von Schwerpunkträumen vor den Gesetzesänderungen und bezieht andererseits relevante Rechtsänderungen mit ein, um einen Überblick zu gewährleisten.

5.1 Bisherige rechtliche Einordnung

5.1.1 Planungsrecht

Schwerpunkträume haben rechtlich keinen Schutzgebietscharakter und stellen folglich keine rechtliche Schutzgebietskategorie des BNatSchG dar. Sie können sich mit diesen überlappen. Jedoch können Schwerpunkträume auch außerhalb der rechtlich kategorisierten Schutzgebiete liegen. Insgesamt ist festzuhalten, dass Schwerpunkträume wichtige Gebiete für die Reproduktion einer Art darstellen können (Wulfert und Schöne-Warnefeld 2021; KNE 2021b).

Mit Schwerpunkträumen als populations- und raumbezogenem Ansatz wurde bisher häufig bereits auf Planungsebene versucht, Flächen mit einem hohen Konfliktpotenzial mit einer (oder mehreren) Art(en) zu identifizieren. Das vorrangige Ziel war dabei im Rahmen der Konzentrationszonenplanung eine bessere Abschichtung zwischen der Planungs- und Genehmigungsebene zu erreichen. Hierzu

wurde versucht, artenschutzrechtlich möglichst konfliktarme Bereiche für die Windenergienutzung zu ermitteln und durch die parallele Planaufstellung und Festlegung von Schwerpunkträumen eine bessere Abstimmung planerischer und zeitlicher Erfordernisse zu erreichen. Darüber hinaus bestand die Überlegung, dass durch die Festlegung von Schwerpunkträumen eventuell ein mehrmaliges Kartieren und eine damit anschließend wiederholte erforderliche Öffentlichkeitsbeteiligung im Rahmen der Flächenausweisung vermieden werden könnte (Wegner 2021).

Schlussendlich gab es auch Bestrebungen auf Planungsebene durch die Festlegung von Schwerpunkträumen eine Ausnahmeerteilung nach § 45 Abs. 7 BNatSchG vorzubereiten (Wegner 2021), so wie dies bspw. das Land Hessen vorgesehen hat (HMUKLV und HMWEVK 2020).

Bisher gab es keine bundeseinheitliche Vorgabe zur Berücksichtigung der artenschutzrechtlichen Belange



auf Planungsebene. Verschiedene Bundesländer bzw. regionale Planungsträger haben jedoch im Rahmen ihrer Windkonzentrationszonenplanung das Konzept von Schwerpunktträumen bzw. Dichtezentren verankert (siehe hierzu Tabelle 1). Sowohl die fachliche Herangehensweise als auch die rechtliche Verankerung variierten dabei. Alle Umsetzungen zielten jedoch darauf ab, dass mittels Ausweisung von Dichtezentren bzw. Schwerpunktträumen Rückzugsorte für die jeweiligen Vogelarten bewahrt werden, um dort ihrer Quellpopulationen einen guten Schutz zu bieten (Wegner 2021). Außerdem sollte häufig außerhalb dieser Gebiete eine vereinfachte Erteilung der Ausnahme vom artenschutzrechtlichen Tötungsverbot gem. § 45 Abs. 7 BNatSchG stattfinden (ebd.).

Im Rahmen der Konzentrationszonenplanung wurde das Schwerpunkttraum- bzw. Dichtezentrenkonzept größtenteils auf der Stufe der Abwägung angewendet. Es diente dazu, Potenzialflächen auszuschneiden bzw. auszuwählen. Dabei war allgemein anerkannt, dass Dichtezentren

bzw. Schwerpunktträume nicht als sogenannte harte Tabuzonen gelten können, da innerhalb solcher Gebiete die artenschutzrechtlichen Konflikte mit dem Tötungsverbot aus § 44 Abs. 1 Nr. 1 BNatSchG diese nicht als harte Tabus qualifizieren (Wegner 2021). Denn um als harte Tabuzone zu gelten, dürften WEA nach obergerichtlicher Rechtsprechung innerhalb dieser Gebiete aus tatsächlichen oder rechtlichen Gründen auf unabsehbare Zeit nicht umzusetzen sein. Aufgrund der Unvorhersehbarkeit des Naturgeschehens wurde dies bei Dichtezentren bzw. Schwerpunktträumen bisher verneint. Das Konzept von Dichtezentren bzw. Schwerpunktträumen wurde vielmehr meist als Basis für die Ausschlusswirkung der Konzentrationszonenplanung gesehen. Es gab jedoch auch in Thüringen z. B. den Ansatz, mit Schwerpunktträumen lediglich strengere Kriterien für die artenschutzrechtliche Regelung festzulegen; beispielsweise größere Abstände zu den Horsten (vgl. TLUG 2015). Eine eigenständige Rechtswirkung bzw. ein selbständiges Rechtsinstrument wurde im Schwerpunkttraum- bzw. Dichtezentrenkonzept bisher nicht gesehen (Wegner 2021). Vielmehr galten diese Bereiche häufig als weiche Tabuzonen. So wurden Zonen kategorisiert, in denen die Windenergienutzung zwar tatsächlich und rechtlich möglich war, in denen nach eigens entwickelten Kriterien die Planungsträgerin jedoch Windenergienutzung ausschließen konnte. In Bezug auf die dann verbleibenden Flächen (Potenzialflächen) war anschließend eine einzelfallbezogene Abwägung des Für und Widers der Windenergienutzung durchzuführen. Zum Abschluss war dann zu prüfen, ob der so beschränkten Windenergienutzung noch substantiell Raum verschafft wurde.¹⁸

Aufgrund der Tatsache, dass Schwerpunktträume bisher vielmehr als Teil des Kriterienrasters und somit durch Partizipation an der Ausschlusswirkung nach § 35 Abs. 3 Satz 3 BauGB herangezogen wurden, galt für das Schwerpunktträumekonzept auch keine Rechtsmäßigekeitsanforderung. Vielmehr hatte es die allgemeinen Anforderungen an Abwägungskriterien im Rahmen der Konzentrationszonenplanung zu erfüllen. In diesem Zusammenhang musste der Windenergienutzung substantiell Raum gegeben werden, weswegen eine weitläufige bzw. großflächige Zugrundelegen von Dichtezentren bzw. Schwerpunktträumen schon von vorneherein ausgeschlossen war.

¹⁸ Insgesamt zu harten und weichen Tabuzonen siehe BVerwG, Urt. v. 13.12.2012, 4 CN 1.11.

5.1.2 Genehmigungsrecht

Das Konzept der Schwerpunkträume schaffte bisher auf Zulassungsebene für das Tötungs- und Verletzungsverbot nach § 44 Abs. 1 Nr. 1 BNatSchG keine Prüfungserleichterungen (Lau 2021). Jedoch wurden im Rahmen der Ausnahmeprüfung nach § 45 Abs. 7 BNatSchG deutliche Erleichterungen angenommen, vorausgesetzt Windenergievorhaben waren einer Ausnahmeprüfung zugänglich. So wurde im Zusammenhang mit dem Ausnahmegrund, unabhängig von der Frage, welcher der Ausnahmegründe des § 45 Abs. 7 Satz 1 BNatSchG bei WEA zum Tragen kommt, allgemein bejaht, dass eine Abwägung der sich entgegengesetzten Interessen stattfinden muss. Insbesondere bei der nach § 45 Abs. 7 Satz 2 BNatSchG geforderten Alternativenprüfung wurden durch das Konzept von Schwerpunkträumen Erleichterungen gesehen. So zeichnen sich Schwerpunkträume durch eine gute Habitatausstattung sowie durch eine höhere Beständigkeit aus, weswegen sie, verglichen mit anderen Standorten, gemieden werden sollten. Es konnte zudem angenommen werden, dass bei ihrer Meidung keine weniger beeinträchtigende zumutbare Alternative nach § 45 Abs. 7 Satz 2 BNatSchG besteht (ebd.). Insofern

wurde davon ausgegangen, dass Schwerpunkträume entscheidend dazu beitragen können, die Alternativenprüfung zu operationalisieren und damit von schwierigen Untersuchungen zu befreien (ebd.).

Ferner darf sich der Erhaltungszustand einer Art durch eine Ausnahmeerteilung nicht verschlechtern. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass nicht die lokale Population, sondern die Population im gesamten natürlichen Verbreitungsgebiet zu betrachten ist. Zudem kann ein bereits schlechter Erhaltungszustand die Erteilung einer Ausnahme nicht verhindern und folglich ist nur ein generalisierter (und kein individualisierter oder lokaler) Artenschutz maßgeblich (Agatz 2023). Es wurde folglich davon ausgegangen, wenn Schwerpunkträume bzw. Dichtezentren unberührt blieben und sich innerhalb ihres Geltungsbereichs wichtige Quellpopulationen befinden, dann sei für eine ausreichende Beständigkeit der Populationen der jeweiligen Art auf jener Ebene gesorgt. Dementsprechend wurde angenommen, dass das Konzept der Dichtezentren bzw. Schwerpunkträume auch für das Verschlechterungsverbot als Ausnahmevoraussetzung eine wichtige Erleichterung bringe (Lau 2021).

5.2 Wie sind Schwerpunkträume nach neuer Rechtslage einzuordnen?

Im Zeitraum Februar 2022 bis März 2023 gab es in Deutschland zahlreiche für die Windenergie relevante Rechtsänderungen, insbesondere im Bereich des Planungsrechts sowie im Naturschutzrecht (siehe hierzu auch Kapitel 1). Im Juli 2022 wurden das Wind-an-Land-Gesetz (WaLG) und in dessen Rahmen das WindBG verabschiedet. Das WaLG hat zum Ziel, den Ausbau von Windenergieanlagen an Land zu erhöhen und zu beschleunigen. Im WindBG werden in diesem Zusammenhang die Flächenbedarfe für den Ausbau der Windenergie geregelt. Auch im Baugesetzbuch (BauGB) und im Raumordnungsgesetz (ROG) wurden Änderungen beschlossen, die Auswirkungen auf die Planung und den Ausbau von WEA haben.

Ebenfalls im Juli 2022 wurde das vierte Gesetz zur Änderung des BNatSchG¹⁹ erlassen. Dabei wurden die §§ 45b bis 45d sowie Anlagen 1 und 2 BNatSchG neu eingeführt und die §§ 26, 54 und 74 BNatSchG geändert. Diese Änderungen haben Auswirkungen auf den Naturschutz im Zusammenhang mit der Realisierung von Windenergievorhaben und den Umgang mit geschützten Arten.

Zusätzlich gab es weitere Änderungen wie zum Beispiel das Gesetz zur Änderung des Raumordnungsgesetzes und anderer Vorschriften (ROGÄndG). Es beinhaltet Änderungen im Raumordnungsgesetz, einschließlich § 6 WindBG, sowie Änderungen im Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) und anderen Vorschriften.

19 Siehe hierzu Gesetzentwurf der Fraktionen SPD, BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN und FDP: Entwurf eines Vierten Gesetzes zur Änderung des Bundesnaturschutzgesetzes v. 21.6.2022, BT-Drs. 20/2354.

5.2.1 Planungsrecht

Zunächst ist festzustellen, dass es nach wie vor keine rechtliche Normierung von Schwerpunktträumen gibt.

Jedoch gab es einen Regimewechsel im Rahmen des Planungsrechts: weg von der Konzentrationszonenplanung mit Ausschlusswirkung hin zur Positivplanung. Dies gilt für alle Neuplanungen. Dabei gilt ein neuer Maßstab für die Planung. Die konkreten Flächenziele, wie sie im WindBG festgelegt sind, müssen von den Ländern erfüllt werden. Wird dies eingehalten, so wird nach der neuen Gesetzesystematik der Windenergie substanziell Raum gegeben. Die bisherigen strengen Anforderungen an die Konzentrationszonenplanungen entfallen auf diese Weise. Der Gesetzgeber beabsichtigt damit die Anforderungen an eine rechtssichere Bauleit- und Regionalplanung auf ein angemessenes und praktikables Maß zu senken (BT-Drs. 20/2355, S. 34). Insbesondere soll im Rahmen der Positivplanung zur Ausweisung von Windenergiegebieten auf die Tabuzonenbetrachtung verzichtet werden.

Für Planverfahren, die bis zum 1. Februar 2024 wirksam werden, gilt gemäß § 245e Abs. 1 BauGB die Konzentrationswirkung fort. Im Zusammenhang mit Bestandsplanungen kann eine zusätzliche Flächenausweisung im Übergangszeitraum durch eine isolierte Positivplanung im Sinne des § 245e Abs. 1 Satz 5 BauGB erfolgen. Sobald der Flächenbeitragswert erreicht wird, oder spätestens mit Ablauf des 31. Dezember 2027, unterliegen zusätzliche Flächenausweisungen auch dem neuen Planungsregime. Insgesamt sehen die Rechtsänderungen der letzten Monate eine Neuausrichtung der Planung von Windenergieanlagen an Land vor und schaffen erleichterte Voraussetzungen für rechtssichere Planungsprozesse – so jedenfalls die Intention.

Um in Zukunft geeignete Flächen für die Windenergienutzung bereitzustellen, kann es in einem ersten Schritt nützlich sein, Flächen zu ermitteln, die von vornherein für die Realisierung von Windenergievorhaben ausscheiden. Die sogenannten harten Tabus, die im Sinne der bisherigen Rechtsprechung festzulegen waren, können insoweit auch in Zukunft hilfreich sein und ermöglichen es, Flächen von vornherein auszuschließen, die Gebietskategorien darstellen, die rechtlich oder tatsächlich für Windenergie auf Dauer ungeeignet sind.

Bei der Positivplanung müssen weiterhin sämtliche vorhandenen Belange ermittelt und in einem ordnungsgemäßen Verfahren bewertet werden. Die Anforderungen an die Planungsmethodik wurden jedoch insgesamt vereinfacht. Es dürfen laut Gesetzesbegründung zudem keine unangemessen hohen Anforderungen im Hinblick auf eine vergleichende Betrachtung zur Eignung sonstiger Flächen im Planungsraum gestellt werden (BT-Drs. 20/2355, S. 34). Bei der planerischen Abwägung sind gemäß § 7 Abs. 2 ROG öffentliche und private Belange gegeneinander und untereinander gerecht abzuwägen. Im Rahmen der Positivplanung soll dabei auf vorhandene planerische Grundsätze zurückgegriffen werden. Eine Berücksichtigung weiterer Flächen im Planungsraum, die für Windenergie geeignet sein könnten, ist jedoch nicht vorgesehen. Insgesamt soll der Regimewechsel hin zur Positivplanung bei der Windenergienutzung zu einer gezielteren und effizienteren Nutzung geeigneter Flächen führen.

Fraglich ist nun, wo und wie Schwerpunktträume in diesem neuen Planungsregime einen Platz finden können bzw. planerische Erleichterungen bringen und unterstützend wirken können, um artenschutzrechtliche Belange auf Planungsebene abzuhandeln. Aufgrund der Tatsache, dass Schwerpunktträume Anhaltspunkte liefern, wo vermehrt Artenvorkommen anzutreffen sind, können sie im Umkehrschluss eine wichtige Rolle dabei spielen, herauszuarbeiten, wo die Ausweisung von Windenergiegebieten ungeeignet scheint bzw. wo auf Zulassungsebene dann höhere Anforderungen bspw. durch die Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen gestellt werden müssen. Schwerpunktträume-Konzepte können folglich dabei unterstützen eine allgemeine Vorauswahl besonders geeigneter Flächen zu treffen. Sie können hierbei beispielsweise als Vorauswahlkriterium, Abwägungsbelang oder Auswahlfaktor dienen.

5.2.2 Verordnungsermächtigung

Ferner ist darauf hinzuweisen, dass durch die umfangreiche Gesetzesnovellierung § 8 Abs. 5 ROG²⁰ neu eingefügt wurde. Er beinhaltet eine Verordnungsermächtigung für das Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen für Vorgaben zur Berücksichtigung der artenschutzrechtlichen Belange auf Planungsebene. Für die Verabschiedung einer solchen Verordnung bedarf es der Zustimmung des Bundesrates. Außerdem wird das Einvernehmen mit dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz verlangt, wenn auch Fragen der Windenergie an Land berührt sind. Eine bundesweite Normierung von Schwerpunkträumen könnte durch eine entsprechende Verordnung erfolgen. Auf diese Weise könnte der Schwerpunkträume-Ansatz für die Regionalplanung- und bzw. oder Landesplanung Verbindlichkeit erlangen.

Fraglich erscheint, ob im Rahmen einer Normierung des Schwerpunkträume-Konzepts das Bestimmtheitsgebot eingehalten werden würde. Dieses Gebot, das sich aus dem Rechtsstaatsprinzip (Art. 20 Abs. 3 Grundgesetz) ergibt, besagt, dass Rechtsakte klar zum Ausdruck bringen müssen, welche Auswirkungen sie für den Einzelnen haben. Bisher wurden in Bezug auf eine solche Bestimmtheit für Dichtezentren bzw. Schwerpunkträume, aufgrund des noch nicht ausgereiften fachlichen Diskussionsstandes zu diesen Konzepten, Probleme gesehen (Wegner 2021). Infolge der Weiterentwicklung des Ansatzes durch das vorliegende Projekt könnten diese Bedenken reduziert werden. Denn durch das Projekt wurden insbesondere die Habitatmodellierung und die Erkenntnisse dazu weiterentwickelt (siehe hierzu Kapitel 3). Es zeigt sich, dass gute bis sehr gute Vorhersagen zur Verbreitung der Zielarten durch diese Methode gemacht werden können. Dabei wird die Ebene der Bundesländer als geeigneter Bezugsraum für die Ausweisung von Schwerpunkträumen angesehen. Bei kleineren räumlichen Einheiten stellte sich heraus, dass Einschränkungen bestehen könnten. Schließlich zeigen die Projektergebnisse, dass sogar mit schlechter Datenlage durch die Habitatmodellierung gute Ergebnisse erzielt werden können. Folglich leistet das Projekt einen überaus positiven Beitrag zur Weiterentwicklung des Schwerpunkträume-Ansatzes und eine Erfüllung des Bestimmtheitsgebotes liegt damit näher.

5.2.3 Genehmigungsrecht

Das Konzept der Schwerpunkträume schafft auch nach neuer Rechtslage für das Tötungs- und Verletzungsverbot (§ 44 Abs. 1 Nr. 1 BNatSchG) keine Prüfungserleichterungen. Jedoch enthält der neue § 45b Abs. 8 BNatSchG eine Reihe von Maßgaben, um die Erteilung einer artenschutzrechtlichen Ausnahme für WEA zu erleichtern und rechtssicher zu gestalten (BT-Drs. 20/2354, S. 26). Damit bringt der Gesetzgeber seinen Willen zum Ausdruck, dass insbesondere für WEA die Hürden für die Erlangung einer Ausnahme herabgesetzt sind.

Zudem ist festzuhalten, dass die bisherigen angenommenen Erleichterungen durch das Schwerpunkträume-Konzept im Rahmen der Ausnahmeprüfung auch unter der aktuellen Rechtslage gelten und anzunehmen sind (siehe hierzu 6.1.2).

5.2.4 EU-Recht

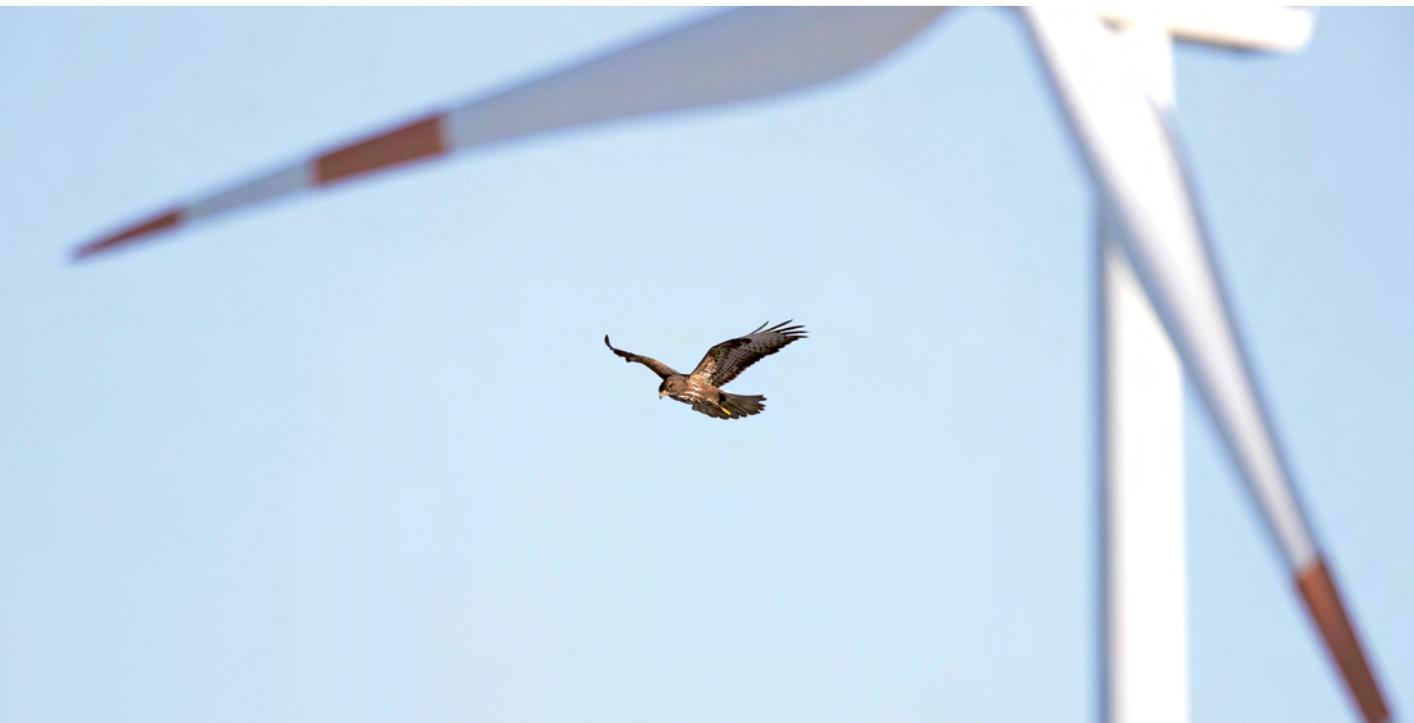
Seit dem 30. Dezember 2022 ist die EU-NotfallVO in Kraft. Ziel der Verordnung ist es, die aktuelle Energiekrise abzumildern, indem der Ausbau der Erneuerbaren Energien beschleunigt wird. Diese Beschleunigung soll durch die Vereinfachung von Verfahren geleistet werden und ist vorerst auf den Zeitraum bis Ende Juni 2024 befristet. Die EU-NotfallVO wird durch Änderungen im WindBG, im Windenergie-auf-See-Gesetz, im Energiewirtschaftsgesetz und im Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung in nationales Recht umgesetzt. Die Implementierung der Verordnung erfolgt für Windenergieanlagen an Land im neuen § 6 WindBG (näheres hierzu siehe oben). Damit gelten die Erleichterungen der EU-Vorschrift für die Windenergienutzung an Land innerhalb von Windenergiegebieten im Sinne des WindBG. Allerdings sind solche Flächen ausgenommen, die gleichzeitig Natura-2000-Gebiete sind oder für die bei Ausweisung der Fläche keine SUP durchgeführt wurde. Da eine SUP jedoch seit spätestens seit Mitte 2006 verpflichtend ist bei der Aufstellung von Regionalplänen und Flächennutzungsplänen (Anlage 5 UVPG), ist bei den meisten Windenergiegebieten vom Vorliegen einer solchen Prüfung auszugehen.

²⁰ Dieselbe Ermächtigung findet sich auch in § 9a Abs. 2 BauGB.

Zusätzlich läuft auf EU-Ebene derzeit parallel das Änderungsverfahren zur Erneuerbare-Energien-Richtlinie III (*Renewable Energy Directive* – RED III). Innerhalb dieses Verfahrens erzielte die Europäische Kommission, das Europäische Parlament und der Europäische Rat nach langen Verhandlungen am 30. März 2023 eine informelle Trilog-Einigung zur Neugestaltung der Richtlinie. So soll z. B. das europäische Ziel für Erneuerbare Energien von 32,5 % auf 45 % in 2030 stark angehoben werden. Aber auch Genehmigungsverfahren sollen dauerhaft spürbar beschleunigt werden, wenn sie in sogenannten *Go-to*-Gebieten bzw. *Renewable Acceleration Areas* liegen. In diesen Gebieten soll auf Planungsebene eine Umwelt- und Artenschutzprüfung durchgeführt werden, die dann auf Zulassungsebene entfallen kann. Damit wird angestrebt, dass Erneuerbare-Energien-Anlagen in verkürzten und vereinfachten Genehmigungsverfahren zugelassen werden können. Da es äußerst schwierig ist, auf Planungsebene einen umfassenden Individuenschutz anzuwenden bzw. zu verlangen, zeichnet sich durch diese Neuerungen auch auf europäischer Ebene ab, dass das Artenschutzrecht in Richtung Populationsschutz weiterentwickelt wird.

Insgesamt ist festzuhalten, dass die EU-Notfallverordnung eine Brücke bis zum Inkrafttreten der RED III und dem Konzept der sich darin befindenden *Go-to*-Gebiete bzw. *Renewable Acceleration Areas* darstellt. Im Rahmen der RED III wird es einer Anschlussregelung an die erleichterten Genehmigungsvoraussetzung des derzeit geltenden Art. 6 EU-Notfallverordnung bedürfen. Es ist davon auszugehen, dass in *Go-to*-Gebieten bzw. *Renewable Acceleration Areas* ähnliche Erleichterungen gelten wie in den Gebieten der Notfallverordnung. Aber auch hierfür wird es eine erneute Umsetzung in das nationale Recht brauchen.

Es kann im Rahmen dieses Projektes nicht abschließend bewertet werden, inwiefern der Schwerpunkträume-Ansatz im Zuge einer solchen nationalen Umsetzung des EU-Rechts eine Rolle spielt bzw. spielen kann. Jedoch ist darauf hinzuweisen, dass die Projektergebnisse eine gute Grundlage für die Flächenausweisung sowie eine Behandlung der artenschutzfachlichen Belange auf Planungsebene darstellen und folglich bei einer Implementierung zukünftigen EU-Rechts Beachtung finden können.



6 Fazit und Schlussfolgerungen

Ziel dieses Projekts war es, aktuelle Ansätze für die Identifizierung von Schwerpunkträumen auszuwerten und einen methodischen Ansatz für den Schutz windenergiesensibler Vogelarten wie Rot- und Schwarzmilan, Schreiadler, Seeadler und Wanderfalke zu entwickeln und zu untersuchen, wie sich zusätzliche Flächen zum Schutz dieser Arten sowie andere Kriterien der Raumplanung auf die Verfügbarkeit von Flächen für WEA auswirken. In diesem Rahmen wurde eine multikriterielle Szenarienanalyse erstellt, um die Abwägung von Kompromissen und trade-offs in der regionalen Planung zu unterstützen.

Zum Zeitpunkt des Projektstarts wurde davon ausgegangen, dass mit der Beachtung von Schwerpunkträumen auch eine Erleichterung der Ausnahmegenehmigung möglich wäre und somit ein Beitrag zum beschleunigten Ausbau der Windenergie geleistet werden könnte. Dies würde sich dadurch bedingen, dass Schwerpunkträume einen Beitrag zum Schutz der betroffenen Populationen leisten, so dass sich deren Erhaltungszustand durch das Erteilen einer Ausnahme nicht verschlechtert. Durch die im Projektverlauf veränderte politische und rechtliche Lage in Bezug auf die deutsche Energiewende und den nochmals stark gestiegenen Druck hin zu einem rapiden Ausbau der Erneuerbaren Energien, hat sich die rechtliche Lage so verändert, dass die ursprüngliche Annahme im Projekt nicht mehr die gleiche Relevanz besitzt.

Sind Windenergiegebiete im Sinne des WindBG ausgewiesen, so ist nach der derzeitigen Rechtslage das Erteilen einer Ausnahme nicht mehr erforderlich, da nach der bis Juni 2024 befristeten Regelung des § 6 WindBG die Genehmigung mit der Auflage von Maßnahmen und/oder Ersatzzahlungen zu erteilen ist. Dies mindert jedoch nicht die Funktion der Schwerpunkträume und die Relevanz der Projektergebnisse. Da bis zum Projektabschluss nicht bekannt war, welche Regelungen durch die EU langfristig tatsächlich vorgegeben werden, kann an dieser Stelle noch nicht abschließend gesagt werden, welche Rolle Schwerpunkträumen unter einem neuen Regime zukommen. Die Methode der Habitatmodellierung kann aber zumindest auch bei der Ausweisung von Go-to-Gebieten bzw. *Renewable Acceleration Areas* eine Rolle spielen, wie in Kapitel 5 dargelegt wurde.

Die folgenden Schlussfolgerungen fassen die Ergebnisse des Projekts kompakt zusammen und zeigen weitere Diskussions- und Forschungsbedarfe auf.

Schwerpunkträume können einen fachlich gut realisierbaren Beitrag zur Berücksichtigung artenschutzrechtlicher Belange auf der Ebene der Flächenausweisung bieten.

Durch das Identifizieren von Schwerpunkträumen kann die Flächenausweisung für die Windenergienutzung auf mit dem Artenschutz weniger konfligierende Standorte gelenkt werden. Die Beachtung von einzelnen Vorkommen, insbesondere bei weit verbreitet vorkommenden Arten und/oder Arten mit wechselndem Brutstandort, ist auf der Ebene der Flächenausweisung mit erheblichen Schwierigkeiten behaftet. Schwerpunkträume haben eine höhere Stetigkeit und dieses methodische Vorgehen erleichtert es, den Artenschutz auf der vorgelagerten Ebene mit hinreichender Genauigkeit zu beachten, so dass auf der Ebene der Genehmigung der Windenergienutzung auf den ausgewiesenen Flächen regelmäßig keine unüberwindbaren Konflikte mehr entgegenstehen. Diese Funktion der Schwerpunkträume kann bei der geplanten Ausweisung von Go-to-Gebieten bzw. *Renewable Acceleration Areas* unter Berücksichtigung potenzieller Umweltauswirkungen in einer Strategischen Umweltprüfung einen positiven Beitrag dazu leisten, dass in diesem Verfahren Artenschutzbelange auch außerhalb von Schutzgebieten adäquate Berücksichtigung erfahren.

Damit Schwerpunkträume ihre volle Wirkung zum Schutz des Erhaltungszustands entfalten können, können bei Bedarf auch Mittel aus den Artenhilfsprogrammen, in die unter anderem die Ersatzzahlungen bei der Verwirklichung von Windenergievorhaben fließen, eingesetzt werden. Dies kann beispielsweise erfolgen, indem insbesondere Gefahrenquellen für die betroffenen Arten beseitigt werden.

Ob Schwerpunkträume vollständig von der Windenergienutzung freigehalten werden können, hängt von deren Ausgestaltung und dem Erreichen des Flächenziels ab. Werden die Mindestziele zum Ausweisen von Windenergieflächen, die im WindBG festgelegt sind, unterschritten,

können auch außerhalb dieser Flächen WEA privilegiert umgesetzt werden. Soll dies verhindert werden und ist daher auch in einem Teil der Schwerpunkträume eine Flächenausweisung für die Windenergienutzung notwendig, ist in diesen Räumen mit einem höheren artenschutzrechtlichen Konfliktpotenzial zu rechnen. Um diesem zu begegnen, können hier für die Genehmigungsebene strengere Vorgaben beispielsweise hinsichtlich der durchzuführenden Untersuchungen und der zu ergreifenden Schutzmaßnahmen gelten.

Die exakte Ausgestaltung der Schwerpunkträume sollte vor dem Hintergrund der Klima- und Energieziele mit anderen Interessen transparent abgewogen werden.

Die Identifizierung von Schwerpunkträumen beinhaltet normative Festlegungen, z. B. bezüglich des Flächenumfangs, der als Schwerpunktraum in die planerische Abwägung eingehen sollte. Auch sind unterschiedliche Nutzungsrestriktionen in den Schwerpunkträumen denkbar, von einem vollständigen Ausschluss zukünftiger Windenergienutzung über den Ausschluss von Re-powering bestehender Anlagen, bis hin zu abgestuften Konzepten. Im Projekt wurden unterschiedliche Ansätze exemplarisch aufgezeigt und diskutiert (u. a. TOP-5-, TOP-10-Flächen, Kombination unterschiedlicher artspezifischer Schwerpunkträume, vgl. Kapitel 3.2). Diese exakte Ausgestaltung von Schwerpunktraumkonzepten hat Auswirkungen auf die Möglichkeiten, WEA zu errichten oder auszutauschen und somit auch auf das Potenzial, Klima- und Energieziele zu erreichen. Mit der multikriteriellen Szenarienanalyse können die Auswirkungen unterschiedlicher Schwerpunktraumkonzepte transparent visualisiert, quantifiziert dargestellt und miteinander verglichen werden. Damit kann die Abwägung der Effekte in Verbindung mit weiteren Zielen und Interessen (wirtschaftlichen, sozialen, aber auch anderen ökologischen) transparent erfolgen bzw. die Diskussion mit den entsprechenden Interessensgruppen zur Kompromissfindung befördert werden. Da der Ausbau der Erneuerbaren Energien eine zusätzliche Flächeninanspruchnahme im Raum darstellt und diese mit existierenden Raumansprüchen von Wohnen, Gewerbe, Infrastruktur, Erholung, Naturschutz u. v. m. in Einklang gebracht werden muss, leistet eine multikriterielle

Szenarienanalyse einen wichtigen Beitrag, um die Interessenabwägung zu stärken und möglichst eine Mehrzieloptimierung zu erreichen.

Das Identifizieren von Schwerpunkträumen über den Ansatz der Habitatmodellierung bietet für viele Arten vielfältige Vorteile.

Habitatmodelle sind in der Lage, Verbreitungsgebiete bzw. Schwerpunkträume der Zielarten auch bei begrenzter Datenverfügbarkeit zu identifizieren. Aktuell häufig genutzte Ansätze mittels Kerndichteschätzung greifen hingegen direkt auf Daten zum Vorkommen zurück. Für viele der relevanten Arten ist die Datengrundlage jedoch veraltet, lückenhaft und/oder nicht-systematisch erhoben. Dies bedeutet, dass Verbreitungskarten oftmals nur einen unvollständigen Stand widerspiegeln können. Habitatmodelle stellen – im Vergleich zu aufwändigen Versuchen, die Datenlücken durch Kartierungen zu schließen – eine effektive Alternative dar. Insbesondere eine sichere Ausweisung von Gebieten, die nicht für die Zielarten geeignet sind, wird durch Erfassungslücken erschwert.

Darüber hinaus stellt die Berücksichtigung geeigneter Habitatkonstellationen eine belastbare und längerfristig gültige Entscheidungsgrundlage für die Ausweisung von Schwerpunkträumen als zum Teil durch Fluktuation stärker betroffene Verbreitungsdaten dar. Die der Habitatmodellierung zugrunde liegenden Landnutzungen verändern sich weniger schnell als die Brutplätze vieler Arten. Außerdem werden die Daten zur Landnutzung regelmäßig aktualisiert.

Die geeigneten Lebensräume können auf der Grundlage von Qualität, Konnektivität und Ausdehnung in eine Rangfolge gebracht werden. Durch die Berechnung der Habitatqualität ist ein Ranking der einzelnen Teilflächen möglich, um so gezielt den Bedarf an Schwerpunkträumen zu decken. Ein im Vorfeld gesetzter Schwellenwert wird nicht benötigt. Neben der Ausweisung von Schwerpunkträumen können auch geeignete Flächen für Artenhilfsprogramme identifiziert werden. Mittels nachvollziehbarer und transparenter Darstellung der Eingangsparameter, der Methode sowie der Modelleignung kann auf diesem Wege ein Akzeptanzbeitrag geleistet werden. Werden mittels der Habitatmodellierung Flächen identifiziert, die sich zu sehr guten Habitaten für eine betroffene Art entwickeln

lassen, können Maßnahmen der Artenhilfsprogramme auf diese Flächen gelenkt werden, um diese noch weiterzuentwickeln.

Unsicherheiten verbleiben auch bei der Nutzung von Habitatmodellen; mit diesen ist artenschutzfachlich jedoch gut umzugehen. Unter anderem ist ein Monitoring, wie auch in der SUP zur Regionalplanung vorgesehen, eine Möglichkeit, um auf Unsicherheiten zu reagieren und aus der Überwachung mögliche Anpassungserfordernisse abzuleiten. Eine Kombination der verschiedenen methodischen Ansätze (siehe Kapitel 2) kann sinnvoll sein, eine Planung ohne Unsicherheiten ist jedoch nicht möglich.

Das Instrument der Schwerpunkträume ist besonders geeignet für die Berücksichtigung von Arten, die...

...über ein hohes Konfliktpotenzial für den weiteren Ausbau der Windenergie verfügen und dieses Problem gleichzeitig mit bisherigen Instrumenten auf den Ebenen der Regional- und/oder Genehmigungsplanung nur unzureichend gelöst werden konnte. Dies gilt insbesondere für Arten mit weiter Verbreitung in Deutschland bzw. einzelnen Bundesländern, da naturschutzfachliche Belange in diesen Fällen häufig relevant für Genehmigungsverfahren werden.

Besonders geeignet erscheinen Schwerpunkträume daher für den Rotmilan, der all diese Aspekte vereint und dessen Verbreitung sich zusätzlich durch häufig wechselnde Horste innerhalb des Reviers alternativ nur unzureichend für die Regionalplanung berücksichtigen lässt. Über ähnliche Eigenschaften verfügen ebenso der See- sowie der Fischadler, die sich zudem beide stark in der Ausbreitung befinden. Im Falle des Schreiadlers, eine Art mit außerordentlich hohem naturschutzfachlichem Wert, sind hingegen (nahezu) alle Vorkommen bekannt, sodass ein gezielter Schutz mittels Abstandsradien möglich ist.

Neben diesen prioritär zu betrachtenden Arten können Schwerpunkträume auch für weitere Arten von Relevanz sein, so z. B. für in diesem Projekt nicht betrachtete störungsempfindliche Arten. Aus der Liste der kollisionsgefährdeten Arten in Anlage 1 BNatSchG sind mit Einschränkungen noch Schwarzmilan und Wanderfalke zu nennen. Eine vorsorgliche Berücksichtigung von Arten, welche die genannten Kriterien nicht erfüllen, wird in Betracht der zu erreichenden Flächenziele für die Wind-

energie als kontraproduktiv angesehen. Zudem gilt es zu berücksichtigen, dass innerhalb von Schwerpunkträumen einzelner Zielarten auch weitere windenergiesensible Arten vorkommen.

Für die Verwendung von Habitatmodellen zur Identifizierung von Schwerpunkträumen ist zudem eine gewisse Bindung an bestimmte Habitatausprägungen nötig. Dieses Kriterium erfüllt selbst der als Opportunist geltende Rotmilan, der innerhalb seines Revieres zwar keine besonderen Nutzungsunterscheidungen trifft, bei der Wahl eines geeigneten Horststandortes jedoch sehr wohl wählerisch ist und stets geeignete Bereiche bevorzugt. Für Arten mit guter Datenverfügbarkeit können jedoch auch Kerndichteschätzungen weiterhin das Mittel der Wahl sein.

Schwerpunkträume sollten auf der Ebene der Bundesländer bzw. Regionen ausgewiesen werden.

Als geeignete räumliche Ebene zur Abgrenzung von Schwerpunkträumen werden die Bundesländer oder alternativ größere Planungsregionen angesehen. Eine kleinräumigere Ausweisung von Schwerpunkträumen hätte zur Folge, dass wohlmöglich Bereiche gewählt werden, die im Vergleich zu den eigentlichen Verbreitungsschwerpunkten über eine untergeordnete Relevanz verfügen. So wird gewährleistet, dass nur tatsächliche *Highlight*-Flächen für den Artenschutz in Frage kommen. Für die Festlegung der benötigten Gesamtgröße bzw. Anzahl von Schwerpunkträumen sollten immer auch weitere Kriterien als nur artenschutzfachliche Belange berücksichtigt werden. Eine frühzeitige Festlegung von Grenzwerten gilt es zu vermeiden.

Für die Habitatmodellierung sollte zudem auf eine zu große Betrachtungsebene (z. B. deutschlandweit) verzichtet werden, um so regionalspezifische Besonderheiten der Habitatpräferenzen bei den Modellierungen berücksichtigen zu können.

Schwerpunkträume und die multikriteriellen Szenarienanalyse können auf der Landesebene regionale Konflikte identifizieren und die Verteilung des Windenergieausbaus optimieren.

Da die vorgeschriebenen Flächenziele jeweils für die gesamten Bundesländer gelten, kann eine multikriterielle Szenarienanalyse auf der Landesebene zeigen, welche Regionen

von welchen Flächenkonflikten betroffen wären und welche Regionen potenziell am meisten zum Erreichen der Flächenziele beitragen könnten. Die im Projekt vorgeschlagenen Schwerpunkttraumkonzepte wirken sich im Vergleich mit anderen Kriterien nur gering auf die verfügbare Fläche für die Windenergienutzung aus. Die Ausweisung der identifizierten Schwerpunktträume für Rotmilan, Schwarzmilan und Fischadler führt in den beiden untersuchten Bundesländern und Regionen zu keiner erheblichen Verringerung der verfügbaren Fläche für den Ausbau der Windenergienutzung.

Mithilfe der multikriteriellen Analyse wird deutlich, dass andere Flächennutzungen und Restriktionen einen deutlich größeren Einfluss auf die Verfügbarkeit von Flächen für die Windenergienutzung haben können. Für die untersuchten Bundesländer ist somit der Ansatz, windenergiesensible Vogelarten über die Ausweisung von Schwerpunktträumen in der übergeordneten Planung zu berücksichtigen, grundsätzlich kompatibel mit den Zielen zum Ausbau der Windenergie. Durch die multikriterielle und GIS-gestützte Analyse konnte transparent gemacht werden, an welchen Stellschrauben, d.h. an welchen bisherigen Flächenrestriktionen, Veränderungen vorgenommen werden könnten, um Flächen für die Windenergienutzung verfügbar zu machen.

Schwerpunktträume können einen Einfluss auf die artenschutzrechtliche Beurteilung von Vorhaben haben.

In Bezug auf das Planungsrecht bietet sich der populations- und raumbezogene Ansatz von Schwerpunktträumen im Rahmen des planerischen Ermittlungs- und Prüfungsumfangs an, bei einer ersten näheren Betrachtung des Planungsraums und bei der Ermittlung artenschutzrechtlicher Belange herangezogen zu werden. Hierbei könnte der Ansatz als Vorauswahlkriterium, Abwägungsbelang oder Auswahlfaktor angewandt werden und folglich in die nun geltende Positivplanung integriert werden.

Auf der Ebene des Zulassungsverfahrens und des dabei anzuwendenden Rechtsrahmens, entlastet das Konzept der Schwerpunktträume auch nach neuer Rechtslage nicht die Prüfung des Tötungs- und Verletzungsverbots nach § 44 Abs. 1 Nr. 1 BNatSchG. Jedoch gibt das Konzept auf dieser Ebene weiterhin Erleichterungen hinsichtlich der erforderlichen Voraussetzungen einer Ausnahmeprüfung nach § 45 Abs. 7 i. V. m. § 45b Abs. 8 BNatSchG.

Es besteht die Möglichkeit, dass Schwerpunktträume durch den Eingang in eine Rechtsverordnung nach § 9a Abs. 2 BauGB und/oder § 8 Abs. 5 ROG eine rechtliche Verankerung erfahren könnten. Dies würde dann zu einer stärkeren Beachtung und Umsetzung des Konzepts führen.

In Bezug auf die RED III und die damit einhergehenden *Go-to-Gebiete* bzw. *Renewable Acceleration Areas* stellt sich die Frage, ob Schwerpunktträume bei einer zukünftigen Implementierung ins nationale Recht eine Rolle spielen können. Hier bleibt abzuwarten, wie die Diskussion und Entscheidungsfindung in diesem Bereich voranschreiten werden.

Literaturverzeichnis

Abu Taha, Rimal; Daim, Tugrul (2013): Multi-Criteria Applications in Renewable Energy Analysis, a Literature Review. In: Tugrul U. Daim, Terry Oliver und Jisun Kim (Hg.): Research and technology management in the electricity industry. Methods, tools and case studies. London, Heidelberg, New York: Springer (Green Energy and Technology), S. 17–30.

Agatz, Monika (2023): Windenergie Handbuch. 19. Ausgabe. Online verfügbar unter <https://windenergie-handbuch.de/wp-content/uploads/2023/03/Windenergie-Handbuch-2022.pdf>, zuletzt geprüft am 12.06.2023.

Ammermann, Kathrin; Bernotat, Dirk (2022): Planerische und naturschutzfachliche Ansätze zur Lösung umweltinterner Zielkonflikte. In: 42. Umwelrechtliche Fachtagung. Online verfügbar unter https://www.gesellschaft-fuer-umwelrecht.de/wp-content/uploads/2022/11/GfU_2022_Thesepapiere.pdf.

Aragóns-Beltrán, Pablo; Chaparro-González, Fidel; Pastor-Ferrando, Juan-Pascual; Pla-Rubio, Andrea (2014): An AHP (Analytic Hierarchy Process)/ANP (Analytic Network Process)-based multi-criteria decision approach for the selection of solar-thermal power plant investment projects. In: *Energy* 66, S. 222–238. DOI: [10.1016/j.energy.2013.12.016](https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.12.016).

Atici, Kazim Baris; Simsek, Ahmet Bahadir; Ulucan, Aydin; Tosun, Mustafa Umur (2015): A GIS-based Multiple Criteria Decision Analysis approach for wind power plant site selection. In: *Utilities Policy* 37, S. 86–96. DOI: [10.1016/j.jup.2015.06.001](https://doi.org/10.1016/j.jup.2015.06.001).

Auge, Harald; Stein, Claudia; Prati, Daniel (2010): Der Zusammenhang zwischen Produktivität und Biodiversität. In: S. Hotes und V. Wolters (Hg.): Fokus Biodiversität: Wie Biodiversität in der Kulturlandschaft erhalten und nachhaltig genutzt werden kann. München: Oekom, S. 90–99. Online verfügbar unter <https://boris.unibe.ch/5314/>.

Baban, Serwan M.J.; Parry, Tim (2001): Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK. In: *Renewable Energy* 24(1), S. 59–71. DOI: [10.1016/S0960-1481\(00\)00169-5](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(00)00169-5).

Backhaus, Klaus; Erichson, Bernd; Plinke, Wulff; Weiber, Rolf (2018): Multivariate Analysemethoden: Eine anwendungsorientierte Einführung. 15. Auflage. Heidelberg: Springer Gabler Berlin.

Bauer, Hans-Günther; Bezzel, Einhard; Fiedler, Wolfgang (2005): Das Kompendium der Vögel Mitteleuropas. Alles über Biologie, Gefährdung und Schutz. Wiebeisheim: AULA-Verlag.

Baur, Bruno (2021): Naturschutzbiologie: utb GmbH.

Beck (2018): OVG Berlin-Brandenburg: Regionalplan „Havelland-Fläming 2020“ ist unwirksam. Online verfügbar unter <https://rsw.beck.de/aktuell/daily/meldung/detail/ovg-berlin-brandenburg-regionalplan-havelland-flaeming-2020-ist-unwirksam>.

Bernotat, Dirk.; Dierschke, Volker. (2016): Übergeordnete Kriterien zur Bewertung der Mortalität wildlebender Tiere im Rahmen von Projekten und Eingriffen. Online verfügbar unter https://www.bfn.de/sites/default/files/2021-09/Bernotat_Dierschke_2016.pdf, zuletzt geprüft am 28.03.2023.

Bhardwaj, Ankit; Joshi, Madhura; Khosla, Radhika; Dubash, Navroz K. (2019): More priorities, more problems? Decision-making with multiple energy, development and climate objectives. In: *Energy Research & Social Science* 49, S. 143–157. DOI: [10.1016/j.erss.2018.11.003](https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.11.003).

Bischofberger, Ines; Kamrad, Martina J.; Wasmund, Nicole; Sindl, Luise; Bayoh, Ramona; Katzenberger, Jakob et al. (2019): Werden junge Rotmilane *Milvus milvus* satt? – Nahrungsmengen und Nahrungszusammensetzung in drei Regionen Deutschlands. In: *Vogelwelt* (139), S. 87–99.

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Online verfügbar unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/nationale_strategie_biologische_vielfalt_2015_bf.pdf.

BMUB (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit) (2016): Klimaschutzplan 2050. Online verfügbar unter https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/klimaschutzplan-2050.pdf?__blob=publicationFile&v=1.

Brans, Jan Pierre; Vincke, Phillipe (1985): Note – A Preference Ranking Organisation Method. In: *Management Science* 31(6), S. 647–656. DOI: [10.1287/mnsc.31.6.647](https://doi.org/10.1287/mnsc.31.6.647).

Bretagnolle, Vincent; Mougeot, Francois; Thibault, J.-C (2008): Density dependence in a recovering osprey population: Demographic and behavioural processes. In: *The Journal of animal ecology* 77, S. 998–1.007. DOI: [10.1111/j.1365-2656.2008.01418.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2008.01418.x).

Brotans, Lluís; Herrando, Sergi; Pla, Magda (2007): Updating bird species distribution at large spatial scales: applications of habitat modelling to data from long-term monitoring programs. In: *Diversity and Distributions* 13(3), S. 276–288. DOI: [10.1111/j.1472-4642.2007.00339.x](https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00339.x).

Brotans, Lluís; Thuiller, Wilfried; Araújo, Miguel; Hirzel, Alexandre (2004): Presence-absence vs presence-only modelling methods for predicting bird habitat suitability. In: *Ecography* 27, S. 437–448. DOI: [10.1111/j.0906-7590.2004.03764.x](https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2004.03764.x).

BUND (Bund für Umwelt und Naturschutz e.V.); NABU (Naturschutzbund Deutschland e.V.) (2006): Leitfaden zur Ausweisung von Schutzgebieten für das Schutzgebietsnetz Natura 2000. Unter Mitarbeit von Frank Niederstadt. Online verfügbar unter https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/_migrated/publications/20060900_naturschutz_natura_2000_leitfaden.pdf, zuletzt geprüft am 10.01.2023.

Bunzel, Arno; Frölich von Bodelschwing, Franciska; Krusenotto, Magnus (2023): Die Flächennutzungsplanung fit machen für die Innenentwicklung. Hg. v. Deutsches Institut für Urbanistik (Difu). Online verfügbar unter <https://repository.difu.de/items/100623c8-5845-48fe-ab04-068272ee37c9>.

BVerfG, *Beschluss des Ersten Senats vom 27. September 2022, Aktenzeichen 1 BvR 2661/21, Rn. 1–88.*

Cavallaro, Fausto; Ciraolo, Luigi (2005): A multicriteria approach to evaluate wind energy plants on an Italian island. In: *Energy Policy* 33(2), S. 235–244. DOI: [10.1016/S0301-4215\(03\)00228-3](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00228-3).

Crawley, Michael (2013): The R book. 2nd ed. In: *The R Book*. DOI: [10.1002/9781118448908](https://doi.org/10.1002/9781118448908).

Değirmenci, Sinem; Bingöl, Ferhat; Sofuoğlu, Sait C. (2018): MCDM analysis of wind energy in Turkey: decision making based on environmental impact. In: *Environmental science and pollution research international* 25(20), S. 19753–19766. DOI: [10.1007/s11356-018-2004-4](https://doi.org/10.1007/s11356-018-2004-4).

Deutsche WindGuard (2023): Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland – Jahr 2022. Online verfügbar unter https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/06-zahlen-und-fakten/20230118_Status_des_Windenergieausbaus_an_Land_Jahr_2022.pdf, zuletzt geprüft am 12.06.2023.

Deutscher Bundestag (2015): Umweltbericht der Bundesregierung 2015. Auf dem Weg zu einer modernen Umweltpolitik. Online verfügbar unter <https://dserver.bundestag.de/btd/18/064/1806470.pdf>.

Deutscher Bundestag (2022): Gesetzentwurf der Fraktionen SPD, BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN und FDP. Entwurf eines Gesetzes zur Erhöhung und Beschleunigung des Ausbaus von Windenergieanlagen an Land. Online verfügbar unter <https://dserver.bundestag.de/btd/20/023/2002355.pdf>.

Deutscher Wetterdienst (DWD) 2023: Pressemitteilung 10. März 2023: DWD unterstützt Ausbau der Windkraft in Deutschland. Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2023/20230310_pm_wetterradar_news.html;jsessionid=78D5644AA6CA2B74D92DF5AF68094E9F.live31083?nn=16210.

Devine-Wright, Patrick (2005): Beyond NIMBYism: towards an integrated framework for understanding public perceptions of wind energy. In: *Wind Energ.* 8(2), S. 125–139. DOI: [10.1002/we.124](https://doi.org/10.1002/we.124).

Dormann, Carsten F. (Hg.) (2004): Habitatmodelle. Methodik, Anwendung, Nutzen; Tagungsband zum Workshop, 8.–10. Oktober 2003, UFZ Leipzig. Leipzig, Halle: UFZ (UFZ-Bericht, Nr. 2004,9).

Dormann, Carsten; Elith, Jane; Bacher, Sven; Buchmann, Carsten; Carl, Gudrun; Carré, Gabriel et al. (2013): Collinearity: A review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. In: *Ecography* 36, S. 27–46. DOI: [10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x).

Dormann, Carsten; Kühn, Ingolf (2009): *Angewandte Statistik für die biologischen Wissenschaften*. Hg.v. Helmholtz Zentrum für Umweltforschung-UFZ 2. Auflage.

DVL (Deutscher Verband für Landschaftspflege e.V.) (2020): Land zum Leben für den Rotmilan – Empfehlungen zur Verbesserung der Nahrungssituation und zum Schutz seines Bruthabitats. Online verfügbar unter https://www.rotmilan.org/wordpress/wp-content/uploads/2020/05/Leitfaden_Rotmilan_web.pdf, zuletzt geprüft am 20.09.2021.

Energieagentur Brandenburg (2022): Solaratlas Brandenburg. Freiflächen. Online verfügbar unter <https://solaratlas-brandenburg.de/cms/inhalte/meine-kommune/dachflaechen/position/52.473,13.229,8>.

Engler, Robin; Guisan, Antoine; Rechsteiner, Luca (2004): An improved approach for predicting the distribution of rare and endangered species from occurrence and pseudo-absence data. In: *Journal of Applied Ecology* 41, S. 263–274. DOI: [10.1111/j.0021-8901.2004.00881.x](https://doi.org/10.1111/j.0021-8901.2004.00881.x).

FA Wind (Fachagentur Windenergie an Land) (2019): Hemmnisse beim Ausbau der Windenergie in Deutschland. Ergebnisse einer Branchen-umfrage zu Klagen gegen Windenergieanlagen sowie zu Genehmigungshemmnissen durch Drehfunkfeuer und militärische Belange der Luftraumnutzung. Unter Mitarbeit von J. Quentin. Berlin. Online verfügbar unter https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Veroeffentlichungen/Analysen/FA_Wind_Branchenumfrage_beklagte_WEA_Hemmnisse_DVOR_und_Militaer_07-2019.pdf.

FA Wind (Fachagentur Windenergie an Land) (2022a): Überblick Abstandsempfehlungen und Vorgaben zur Ausweisung von Windenergiegebieten in den Bundesländern. Stand 03.2023. Online verfügbar unter https://fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Veroeffentlichungen/Planung/FA_Wind_Abstandsempfehlungen_Aktualisierung_3-2023.pdf.

FA Wind (Fachagentur Windenergie an Land) (2022b): Windenergie im Wald. Flächeneignung und -bedarf | Ausbauentwicklung | Handlungsfelder. Online verfügbar unter https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Veroeffentlichungen/Wind_im_Wald/FA_Wind_Kompaktwissen_Windenergie_im_Wald_3-2022.pdf, zuletzt geprüft am 12.06.2023.

FA Wind (Fachagentur Windenergie an Land) (2023a): Länderinformationen Baden-Württemberg (BW). Online verfügbar unter https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Laenderinformationen/FA_Wind_Laenderinfo_Windenergie_BW.pdf, zuletzt geprüft am 12.06.2023.

FA Wind (Fachagentur Windenergie an Land) (2023b): Überblick – Umsetzung der Flächenbeitragswerte aus dem Windenergieflächenbedarfsgesetz (WindBG) in den Bundesländern. Online verfügbar unter https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Veroeffentlichungen/Planung/FA_Wind_Umsetzung_WindBG_Laender_2023.pdf, zuletzt geprüft am 12.06.2023.

Ferrer, Miguel; Donazar, José (1996): Density-Dependent Fecundity by Habitat Heterogeneity in an Increasing Population of Spanish Imperial Eagles. In: *Ecology* 77, S. 69–74. DOI: [10.2307/2265655](https://doi.org/10.2307/2265655).

FFE (Forschungsstelle für Energiewirtschaft) (2022): 2 % der Landesfläche für Windenergie: ein geeignetes Maß? FFE Discussion Paper 2022-01. Online verfügbar unter <https://www.ffe.de/wp-content/uploads/2022/02/Discussion-Paper-Landesflaeche-fuer-Windenergie-2.pdf>.

ForstBW (Forst Baden-Württemberg) (2023): Vermarktungsoffensive ForstBW. Online verfügbar unter <https://www.forstbw.de/produkte-angebote/windkraftanlagen-im-wald/vermarktungsoffensive-forstbw/>, zuletzt geprüft am 12.06.2023.

- Fritze, Marcus; Lehnert, Linn S.; Heim, Olga; Lindecke, Oliver; Röleke, Manuel; Voigt, Christian C. (2020): Windenergievorhaben und Fledermausschutz: Was fordern Expert*innen zur Lösung des Grün-Grün-Dilemmas? In: Christian C. Voigt (Hg.): *Evidenzbasierter Fledermausschutz in Windkraftvorhaben*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 161–173.
- FVABW (Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg) (2016): *Waldfunktionenkartierung in Baden-Württemberg*. Online verfügbar unter https://www.fva-bw.de/fileadmin/user_upload/Daten_und_Tools/Geodaten/Waldfunktionenkartierung/geodaten_waldfunktionenkartierung.pdf, zuletzt geprüft am 08.02.2023.
- Gartman, Victoria; Wichmann, Kathrin; Bulling, Lea; Huesca-Perez, Maria; Köppel, Johann (2014): Wind of Change or Wind of Challenges: Implementation factors regarding wind energy development, an international perspective. In: *AIMS Journal* 2, S. 485–504. DOI: [10.3934/energy.2014.4.485](https://doi.org/10.3934/energy.2014.4.485).
- Gedeon, K.; Grüneberg, C.; Mitschke, A.; Sudfeldt, C.; Eikhorst, W.; Fischer, S. et al. (2014): *Atlas Deutscher Brutvogelarten. Atlas of German Breeding Birds*. 1. Auflage. Münster: Stiftung Vogelmonitoring Deutschland und dem Dachverband Deutscher Avifaunisten.
- Gelpke, C.; Hormann, M. (2010): Artenhilfskonzept Rotmilan (*Milvus milvus*) in Hessen. Gutachten im Auftrag der Staatlichen Vogelschutzwarte für Hessen, Rheinland-Pfalz und das Saarland. Online verfügbar unter https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/naturschutz/artenschutz/steckbriefe/Voegel/Artenhilfskonzepte/Ahk_Rotmilan.pdf.
- Giraudoux, Patrick; Giraudoux, Maintainer Patrick; MASS, Suggests (2018): Package 'pgirmess'. In: *Spatial Analysis and Data Mining for Field Ecologists*.
- Gottschalk, Eckhard (2014): *Wie nutzen Rotmilane die Landschaft? Ergebnisse aus systematischen Beobachtungen der Landschaft*. Georg-August-Universität Göttingen: Johann-Friedrich-Blumenbach-Institut für Zoologie & Anthropologie. BDG, 2014. Online verfügbar unter http://www.rotmilan.org/wordpress/wp-content/uploads/2015/06/E.-Gottschalk_Wie-nutzen-Rotmilane-die-Landschaft.pdf.
- Guisan, Antoine; Zimmermann, Niklaus E. (2000): Predictive habitat distribution models in ecology. In: *Ecological Modelling* 135(2–3), S. 147–186.
- Hanssen, Frank; May, Roel; van Dijk, Jiska; Rød, Jan Ketil (2018): Spatial Multi-Criteria Decision Analysis Tool Suite for Consensus-Based Siting of Renewable Energy Structures. In: *J. Env. Assmt. Pol. Mgmt.* 20 (03), S. 1840003. DOI: [10.1142/S1464333218400033](https://doi.org/10.1142/S1464333218400033).
- Heuck, Christian; Brandl, Roland; Albrecht, Jörg; Gottschalk, Thomas K. (2013): The potential distribution of the Red Kite in Germany. In: *Journal of Ornithology* 154(4), S. 911–921.
- Heuck, Christian; Herrmann, Christof; Levers, Christian; Leitão, Pedro J.; Krone, Oliver; Brandl, Roland; Albrecht, Jörg (2019a): Wind turbines in high quality habitat cause disproportionate increases in collision mortality of the white-tailed eagle. In: *Biological Conservation* 236, S. 44–51.
- Heuck, Christian; Herrmann, Christof; Schabo, Dana G.; Brandl, Roland; Albrecht, Jörg (2017): Density-dependent effects on reproductive performance in a recovering population of White-tailed Eagles *Haliaeetus albicilla*. In: *Ibis* 159 (2), S. 297–310.
- Heuck, Christian; Sommerhage, Maik; Stelbrink, Pablo; Höfs, Christian; Geisler, Kristin; Gelpke, Christian; Koschkar, Steffen (2019b): Untersuchung des Flugverhaltens von Rotmilanen in Abhängigkeit von Wetter und Landnutzung unter besonderer Berücksichtigung vorhandener Windenergieanlagen im Vogelschutzgebiet Vogelsberg.
- HHPraumentwicklung (2021): *Planungsbeschleunigung. Zeitliche Optimierungsmöglichkeiten der Aufstellung/Teilfortschreibung von Regionalplänen*. Hg. v. Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI). Online verfügbar unter https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/ministerien/moro-info/20/moroinfo-20-1-dl.pdf;jsessionid=AEEFFEA99494A4A8A9577FA87022DEBB.live21301?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt geprüft am 12.06.2023.
- HMUELV (Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz); HMWVL (Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung) (2012): Berücksichtigung der Naturschutzbelange bei der Planung und Genehmigung von Windkraftanlagen (WKA) in Hessen. Online verfügbar unter https://umwelt.hessen.de/sites/umwelt.hessen.de/files/2021-08/leitfaden_beruecksichtigung_der_naturschutzbelange_bei_der_planung_und_genehmigung_von_windkraftanlagen_wka_in_hessen.pdf.
- HMUKLV (Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz); HMWEVK (Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen) (2020): *Verwaltungsvorschrift (VwV) „Naturschutz/Windenergie“*. Online verfügbar unter https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente-landesverbaende/Hessen/Downloads/20210121_VwV_2020_Naturschutz-Windenergie.pdf.
- Hosmer, David W.; Lemeshow, Stanley (2000): *Applied logistic regression*. 2. Ausgabe. New York [u. a.]: Wiley (A Wiley-Interscience publication).
- Hötter, Hermann; Krone, Oliver; Nehls, Georg (2013): Greifvögel und Windkraftanlagen: Problemanalyse und Lösungsvorschläge. Online verfügbar unter https://lfu.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/endbericht_greifvogelprojekt_anhang.pdf.
- Huang, Ivy B.; Keisler, Jeffrey; Linkov, Igor (2011): Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: ten years of applications and trends. In: *The Science of the total environment* 409(19), S. 3578–3594. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2011.06.022](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.06.022).
- Huber, Nica; Ginzler, Christian; Pazur, Robert; Descombes, Patrice; Baltensweiler, Andre; Ecker, Klaus et al. (2023): Countrywide classification of permanent grassland habitats at high spatial resolution. In: *Remote Sens Ecol Conserv* 9(1), S. 133–151. DOI: [10.1002/rse2.298](https://doi.org/10.1002/rse2.298).
- Hundorf, Patrick; Zucchi, Herbert; Joest Ralf (2019): *Nahrungshabitate von Greifvögeln in der Hellwegbörde. unter besonderer Berücksichtigung von Flächen mit Agrarumweltmaßnahmen*. In: *ABU info*, S. 33–43. Online verfügbar unter https://www.abu-naturschutz.de/fileadmin/user_upload/Veroeffentlichungen/ABU_Info/2019/2019_Hundorf_et_al_Greifvoegel_ABUinfo.pdf.
- Hutchinson, G. E. (1957): Concluding Remarks. In: *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* 22(0), S. 415–427. DOI: [10.1101/SQB.1957.022.01.039](https://doi.org/10.1101/SQB.1957.022.01.039).
- Jin, Hongxiao; Eklundh, Lars (2014): A physically based vegetation index for improved monitoring of plant phenology. In: *Remote Sensing of Environment* 152, S. 512–525. DOI: [10.1016/j.rse.2014.07.010](https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.07.010).

- Karthäuser, Johanna; Katzenberger, Jakob; Sudfeldt, Christoph (2019): Evaluation von Maßnahmen zur Verbesserung des Nahrungsangebotes für den Rotmilan *Milvus milvus* in intensiv genutzten Agrarlandschaften 139, S. 71–86.
- Katzenberger, Jakob (2019): Verbreitungsbestimmende Faktoren und Habitataignung für den Rotmilan *Milvus milvus* in Deutschland. In: *Vogelwelt* 139, S. 117–128.
- Katzenberger, Jakob (2020): Modellierung von Vorkommenswahrscheinlichkeit und Habitataignung für den Rotmilan in Baden-Württemberg. Abschlussbericht. Stand 29.09.2020.
- Kleyer, Michael; Kratz, Reinhold; Lutze, Gerd; Schröder, Boris (2000): Habitatmodelle für Tierarten: Entwicklung, Methoden und Perspektiven für die Anwendung. In: *Journal for Nature Conservation* 8, S. 177–194.
- KNE (Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende) (2021a): Artenschutz im Koalitionsvertrag 2021–2025 – Analyse der Vereinbarungen in Hinblick auf die Windenergie an Land (15 S.). Online verfügbar unter https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/KNE-Koalitionsvertrags-Analyse_Windenergie_und_Artenschutz_2021.pdf.
- KNE (Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende) (2021b): Dokumentation „Fachgespräch Dichtezentren – fachliche und methodische Konzepte der Bundesländer“ – Überblick und Stand des Wissens. Online verfügbar unter https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/KNE-Dokumentation_Fachgesprach-Dichtezentren-fachlich_2021.pdf.
- KNE (Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende) (2021c): Fachgespräch Dichtezentren. Die rechtliche Einordnung eines Ansatzes für mehr Artenschutz und Windenergie. Dokumentation. Online verfügbar unter https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/KNE-Dokumentation_Fachgesprach-Dichtezentren-rechtlich_2021.pdf.
- KNE (Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende) (2022): Anfrage Nr. 337 zu Habitatpotenzialanalyse und artspezifischer Habitatbindung. Aktualisierte Antwort vom 06.01.2023. Online verfügbar unter https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/KNE-Antwort_337_HPA_artspezifische_Habitatbindung.pdf, zuletzt geprüft am 08.06.2022.
- Köppel, Johann; Biehl, Juliane; Sprondel, Nora; Bittner, Alexander; Wachendörfer, Volker (2018): Umwelt- und sozialverträgliche Windenergieentwicklung. Ergebnisse einer Handlungsfeldanalyse. In: *NATURSCHUTZ und Landschaftsplanung* (50(9)), S. 330–339.
- Kosow, Hannah; Gaßner, Robert (2008): Methods of Future and Scenario Analysis. Overview, Assessment, and Selection Criteria. German Development Institute (DIE). Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/profile/Robert-Gassner/publication/258510126_Methods_of_Future_and_Scenario_Analysis_Overview_Assessment_and_Selection_Criteria/links/004635370967f2601e000000/Methods-of-Future-and-Scenario-Analysis-Overview-Assessment-and-Selection-Criteria.pdf?origin=publication_detail.
- Krüger, Oliver; Chakarov, Nayden; Nielsen, Jan T.; Looft, Volkher; Grünkorn, Thomas; Struwe-Juhl, Bernd; Möller, Anders P. (2012): Population regulation by habitat heterogeneity or individual adjustment? In: *Journal of Animal Ecology* 81(2), S. 330–340.
- Lachmann, Lars (2021): Wie können Dichtezentren auf Bundesebene ermittelt werden? KNE-Fachgespräch Dichtezentren. NABU, 29.04.2021. Online verfügbar unter https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/20210429_Lachmann_NABU_Methode_Dichtezentren.pdf.
- Lack, David (1954): The Natural Regulation of Animal Number. In: *The Natural Regulation of Animal Numbers*.
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV NRW) (2019): Schwerpunktorkommen Brutvögel/Zugvögel. Energieatlas NRW, zuletzt geprüft am 02.02.2021.
- Lau, M. (2021): Rechtliche Einordnung von Dichtezentren im Genehmigungsverfahren. Hg. v. Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende (KNE). Online verfügbar unter https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/KNE-Kurzgutachten_Lau_Rechtliche-Einordnung-Dichtezentren-Genehmigung_2021.pdf.
- Lehmann, Paul; Ammermann, Kathrin; Gawel, Erik; Geiger, Charlotte; Hauck, Jennifer; Heilmann, Jörg et al. (2021): Managing spatial sustainability trade-offs: The case of wind power. In: *Ecological Economics* 185, S. 107029. DOI: [10.1016/j.ecolecon.2021.107029](https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107029).
- Leyer, Ilona; Wesche, Karsten (2007): *Multivariate Statistik in der Ökologie: Eine Einführung*. Heidelberg: Springer Berlin.
- LfU BY (Bayerisches Landesamt für Umwelt) (2017): Arbeitshilfe zu Fachfragen des bayerischen Windenergie-Erlasses: Arbeitshilfe Vögel. Fachfragen des bayerischen Windenergie-Erlasses. Online verfügbar unter https://www.landschaft-artenschutz.de/wp-content/uploads/2017-06_Vogelschutz-und-WEA_LfU.pdf, zuletzt geprüft am 28.03.2023.
- LfU BY (Bayerisches Landesamt für Umwelt) (2021): Arbeitshilfe Vogel-schutz und Windenergienutzung. Fachfragen des bayerischen Windenergie-Erlasses.
- Liu, Canran; Berry, Pam M.; Dawson, Terence P.; Pearson, Richard G. (2005): Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. In: *Ecography* 28(3), S. 385–393. DOI: [10.1111/j.0906-7590.2005.03957.x](https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2005.03957.x).

LUBW (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg) (2007): Fachkonzeption der LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg zur Auswahl von Gebieten nach der Vogelschutzrichtlinie (79/409 EWG) (28 S.).

LUBW (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg) (2015): Hinweise zur Bewertung und Vermeidung von Beeinträchtigungen von Vogelarten bei Bauleitplanung und Genehmigung für Windenergieanlagen. Hg. v. Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg. Karlsruhe. Online verfügbar unter https://sd585052ad8300db4.jim-content.com/download/version/1454261624/module/6354762861/name/LUBWLeitfaden_Vogel.pdf.

LUBW (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg) (2019): Milankartierung 2019: Rotmilan. Hinweise zur Veröffentlichung von Geodaten zu den Brutvorkommen des Rotmilans (*Milvus milvus*) auf ausgewählten Stichprobeflächen in Baden-Württemberg im Jahr 2019. Online verfügbar unter https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/natur-und-landschaft/artenschutz-und-windkraft/-/document_library/bFsX3wOA3G54/view/258675, zuletzt geprüft am 24.06.2022.

LUBW (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg) (2021a): Hinweise zur Erfassung und Bewertung von Vogelvorkommen bei der Genehmigung von Windenergieanlagen. Hg. v. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. Online verfügbar unter https://stm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/5_Energie/Erneuerbare_Energien/Windenergie/210115-UM-und-LUBW-Hinweispapiere-Voegel-barrierefrei.pdf.

LUBW (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg) (2021b): Wind. Berechnungsmethodik. Online verfügbar unter <https://www.energieatlas-bw.de/wind/potenzialanalyse/berechnungsmethodik>.

LUBW (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg) (2022a): Daten- und Kartendienst der LUBW. Umwelt-Daten und – Karten Online. Online verfügbar unter <https://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/index.xhtml>, zuletzt geprüft am 08.02.2023.

LUBW (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg) (2022b): Fachbeitrag Artenschutz für die Regionalplanung Windenergie. Online verfügbar unter https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/3_Umwelt/Naturschutz/Biologische_Vielfalt/Fachbeitrag-Artenschutz-Regionalplanung-barrierefrei.pdf.

LUBW (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg) (2023): Überblick – Energieatlas. Online verfügbar unter <https://www.energieatlas-bw.de/wind/potenzialanalyse/ueberblick>, zuletzt geprüft am 21.06.2023.

Mammen, Ubbo; Nicolai, Bernd; Böhner, Jörg; Mammen, Kerstin; Wehrmann, Jasper; Fischer, Stefan; Dornbusch, Gunthard (2014): Artenschutzprogramm Rotmilan des Landes Sachsen-Anhalt. Online verfügbar unter https://lau.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LAU/Wir_ueber_uns/Publikationen/Berichte_des_LAU/Dateien/Berichte_LAU_2014_5.pdf.

Mangiafico, Salvatore (2016): Summary and Analysis of Extension Program Evaluation in R. version 1.20.01. Online verfügbar unter <http://rcompa-nion.org/documents/RHandbookProgramEvaluation.pdf>, zuletzt geprüft am 28.03.2023.

Maxim, Alexandru (2014): Sustainability assessment of electricity generation technologies using weighted multi-criteria decision analysis. In: *Energy Policy* 65, S. 284–297. DOI: [10.1016/j.enpol.2013.09.059](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.09.059).

McCaslin, Hanna M.; Caughlin, T. Trevor; Heath, Julie A. (2020): Long-distance natal dispersal is relatively frequent and correlated with environmental factors in a widespread raptor. In: *Journal of Animal Ecology* 89(9), S. 2077–2088.

MELUR (Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein); LLUR (Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein) (2016): Errichtung von Windenergieanlagen (WEA) innerhalb des Potenziellen Beeinträchtigungsbereiches und des Prüfbereiches bei einigen sensiblen Großvogelarten. Online verfügbar unter https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/E/eingriffsregelung/Downloads/errichtung-WEA.pdf?__blob=publicationFile&v=1

Mercker, Moritz; Liedtke, Jannis; Liesenjohann, Thilo; Blew, Jan (2023): Pilotstudie "Erprobung Probabilistik". Erprobung probabilistischer Methoden hinsichtlich ihrer fachlichen Voraussetzungen mit dem Ziel der Validierung der Methode zur Ermittlung des vorhabenbezogenen Tötungsrisikos von kollisionsgefährdeten Brutvogelarten an Windenergieanlagen. Pilotstudie im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV). Online verfügbar unter https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/Pilotstudie_Erprobung_Probabilistik_Mercker_et_al_2023.pdf.

Merow, Cory; Smith, Matthew J.; Silander Jr, John A. (2013): A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. In: *Ecography* 36 (10), S. 1058–1069.

MLIG (Ministerium für Inneres, ländliche Räume, Integration und Gleichstellung des Landes Schleswig-Holstein) (2020): Gesamträumliches Plan-konzept zur Teilfortschreibung des Landesentwicklungsplanes (LEP) 2010 Kapitel 3.5.2 sowie zum vierten Entwurf der Teilaufstellung der Regionalpläne der Planungsräume I, II und III in Schleswig-Holstein (Sach-hema Windenergie an Land). Online verfügbar unter https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/L/landesplanung/raumordnungsplaene/raumordnungsplaene_wind/Downloads/201229_gesamtrauemliches_plankonzept.pdf?__blob=publicationFile&v=1

Miranda, Everton B. P.; Menezes, Jorge F. S.; Farias, Camila C. L.; Munn, Charles; Peres, Carlos A. (2019): Species distribution modeling reveals strongholds and potential reintroduction areas for the world's largest eagle. In: *PLOS ONE* 14(5), e0216323. DOI: [10.1371/journal.pone.0216323](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216323).

MKRO (Ministerkonferenz für Raumordnung) (2023): Arbeitshilfe zum Vollzug des Gesetzes zur Erhöhung und Beschleunigung des Ausbaus von Windenergieanlagen an Land. Online verfügbar unter https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/A/arbeitshilfe-wind-an-land-gesetz.pdf?__blob=publicationFile&v=8

MLUK (Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg) (2023): Erlass zum Artenschutz in Genehmigungsverfahren für Windenergieanlagen (AGW-Erlass). Online verfügbar unter <https://mluk.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/AGW-Erlass.pdf>.

- MULE ST (Ministerium für Umwelt Landwirtschaft und Energie des Landes Sachsen-Anhalt) (2018): Leitfaden Artenschutz an Windkraftanlagen in Sachsen-Anhalt. Online verfügbar unter https://mule.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/MLU/99_Archiv_Keine_Referenzen/04_Energie/Erneuerbare_Energien/Windenergie/181015_Leitlinie_Artenschutz_Windenergieanlagen.pdf.
- MWE BB (Ministerium für Wirtschaft und Energie des Landes Brandenburg) (2012): Energiestrategie Brandenburg 2030. Online verfügbar unter https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/Energiestrategie2030_2012.pdf.
- Nachtigall, Winfried; Stubbe, Michael; Herrmann, Stefan (2003): Aktionsraum und Habitatnutzung des Rotmilans (*Milvus milvus*) im Winter – eine telemetrische Studie im Nordharzvorland. In: *Journal für Ornithologie* 144 (3), S. 284–294.
- Nagel, Heiner; Nicolai, Nicolai; Mammen, Ubbo; Fischer, Stefan; Kolbe, Martin (2019): Verantwortungsart Rotmilan - Ermittlung von Dichtezentren des Greifvogels in Sachsen-Anhalt. In: *Naturschutz und Landschaftsplanung* 51, S. 1.
- Neuendorf, Felix; Thiele, Julia; Albert, Christian; Haaren, Christina von (2021): Uncertainties in land use data may have substantial effects on environmental planning recommendations: A plea for careful consideration. In: *PLOS ONE* 16 (11), e0260302. DOI: [10.1371/journal.pone.0260302](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260302).
- Northrup, Joseph M.; Vander Wal, Eric; Bonar, Maegwin; Fieberg, John; Laforge, Michel P.; Leclerc, Martin et al. (2022): Conceptual and methodological advances in habitat-selection modeling: guidelines for ecology and evolution. In: *Ecological Applications* 32(1), e02470. DOI: [10.1002/eap.2470](https://doi.org/10.1002/eap.2470).
- Pascalis, Federico de; Panuccio, Michele; Bacaro, Giovanni; Monti, Flavio (2020): Shift in proximate causes of mortality for six large migratory raptors over a century. In: *Biological Conservation* 251. DOI: [10.1016/j.biocon.2020.108793](https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108793).
- Pfeiffer, Thomas; Meyburg, Bernd-Ulrich (2015): GPS tracking of Red Kites (*Milvus milvus*) reveals fledgling number is negatively correlated with home range size. In: *Journal of ornithology* 156 (4), S. 963–975.
- Pfeiffer, Thomas; Schaub, Michael (2023): Productivity drives the dynamics of a red kite source population that depends on immigration. In: *Journal of Avian Biology* 2023 (1–2), e02984. DOI: [10.1111/jav.02984](https://doi.org/10.1111/jav.02984).
- PNL (Planungsgruppe für Natur und Landschaft) (2012): Abgrenzung relevanter Räume für windkraftempfindliche Vogelarten in Hessen. Gutachten im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung und der Vogelschutzwarte für Hessen, Rheinland-Pfalz und das Saarland.
- Projektgruppe Waldfunktionenkartierung der AG Forsteinrichtung (Hg.) (2015): Leitfaden zur Kartierung der Schutz- und Erholungsfunktionen des Waldes I. Waldfunktionkartierung (WFK). Online verfügbar unter https://www.fva-bw.de/fileadmin/user_upload/Daten_und_Tools/Geodaten/Waldfunktionenkartierung/geodaten_waldfunktionenkartierung_leitfaden_wfk_2016.pdf.
- Reichenbach, Marc; Aussieker, Tim (2021): Windenergie und der Erhalt der Vogelbestände. Regelungsvorschläge im Kontext einer gesetzlichen Pauschalausnahme. Rechtsgutachten der Arbeitsgruppe für regionale Struktur- und Umweltforschung GmbH (ARSU) im Auftrag der Stiftung Klimaneutralität. Online verfügbar unter <https://www.windindustrie-in-deutschland.de/f/539e/0/609943cd336131473d000205/20210426WindenergieundErhaltderVogelbestaende.pdf>.
- Rodenhouse, Nicholas; Sherry, Thomas; Holmes, Richard (1997): Site-Dependent Regulation of Population Size: A New Synthesis. In: *Ecology* 78, S. 2025. DOI: [10.2307/2265942](https://doi.org/10.2307/2265942).
- RPG HF (Regionale Planungsgemeinschaft Havelland-Fläming) (2020): Planungskonzept zur Festlegung von Eignungsgebieten für die Windenergienutzung im Regionalplan Havelland-Fläming 3.0 Entwurf. Online verfügbar unter https://havelland-flaeming.de/wp-content/uploads/2021/02/Planungskonzept_Windenergienutzung_August2020-04.pdf.
- RPG HF (Regionale Planungsgemeinschaft Havelland-Fläming) (2021): Regionalplan Havelland-Fläming 3.0. Entwurf vom 5. Oktober 2021. Online verfügbar unter <https://havelland-flaeming.de/regionalplan/regionalplan-3-0/beteiligungsverfahren/>.
- RPG HF (Regionale Planungsgemeinschaft Havelland-Fläming) (2022): Regionalplan Havelland-Fläming 3.0. Online verfügbar unter <https://havelland-flaeming.de/regionalplan/regionalplan-3-0/>.
- RSTUDIO TEAM (2022): RStudio: Integrated Development for R.
- Scherler, Patrick (2020): Drivers of Departure and Prospecting in Dispersing Juvenile Red Kites (*Milvus milvus*). Dissertation. University of Zurich. Mathematisch-naturwissenschaftliche Fakultät.
- Schröder, B. (2004): ROC & AUC-Calculation – evaluating the predictive performance of habitat models.
- Schröder, B.; Reineking, B. (2004): Modellierung der Art-Habitat-Beziehung – ein Überblick über die Verfahren der Habitatmodellierung. In: *UFZ-Bericht* 9 (2004), S. 5–26.
- Silverman, Bernard W. (1986): Density estimation for statistics and data analysis: Routledge.
- Smeraldo, Sonia; Bosso, Luciano; Fraissinet, Maurizio; Bordignon, Lucio; Brunelli, Massimo; Ancillotto, Leonardo; Russo, Danilo (2020): Modelling risks posed by wind turbines and power lines to soaring birds: the black stork (*Ciconia nigra*) in Italy as a case study. In: *Biodivers Conserv* 29(6), S. 1959–1976. DOI: [10.1007/s10531-020-01961-3](https://doi.org/10.1007/s10531-020-01961-3).
- Soberón, Jorge (2007): Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. In: *Ecology letters* 10(12), S. 1115–1123. DOI: [10.1111/j.1461-0248.2007.01107.x](https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01107.x).
- SPD; Bündnis 90/Die Grünen; FDP (2021): Koalitionsvertrag 2021–2025: Mehr Fortschritt wagen. Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Online verfügbar unter https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag_2021-2025.pdf.

Staatsministerium Baden-Württemberg (2023): Die Energiewende beschleunigen. Online verfügbar unter <https://stm.baden-wuerttemberg.de/de/themen/task-force-erneuerbare-energien>, zuletzt geprüft am 12.06.2023.

Stiftung Klimaneutralität (2021): Wie kann die Verfügbarkeit von Flächen für die Windenergie an Land schnell und rechtssicher erhöht werden? Ein Regelungsvorschlag. Online verfügbar unter <https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2021/01/2021-01-27-Flaechen-fuer-Wind-Vorschlag-Stiftung-Klimaneutralitaet.pdf>.

Støa, Bente; Halvorsen, Rune; Stokland, Jogeir N.; Gusarov, Vladimir I. (2019): How much is enough? Influence of number of presence observations on the performance of species distribution models. In: *Sommerfeltia* 39(1), S. 1–28. DOI: [10.2478/som-2019-0001](https://doi.org/10.2478/som-2019-0001).

SVHRS (Staatliche Vogelschutzwarte für Hessen, Rheinland-Pfalz und das Saarland); LUA SL (Landesamt für Umwelt- und Arbeitsschutz Saarland) (2013): Leitfaden zur Beachtung artenschutzrechtlicher Belange beim Ausbau der Windenergienutzung im Saarland. Online verfügbar unter https://www.saarland.de/SharedDocs/Downloads/DE/LUA_sonstige_Downloads/Wind/Leitfaden_Artenschutz.pdf?__blob=publicationFile&v=1.

Sward, Jeffrey A.; Nilson, Roberta S.; Katkar, Venktesh V.; Stedman, Richard C.; Kay, David L.; Ifft, Jennifer E.; Zhang, K. Max (2021): Integrating social considerations in multicriteria decision analysis for utility-scale solar photovoltaic siting. In: *Applied Energy* 288, S. 116543. DOI: [10.1016/j.apenergy.2021.116543](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116543).

Swofford, Jeffrey; Slattery, Michael (2010): Public attitudes of wind energy in Texas: Local communities in close proximity to wind farms and their effect on decision-making. In: *Energy Policy* 38(5), S. 2508–2519. DOI: [10.1016/j.enpol.2009.12.046](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.12.046).

Tafarte, Philip; Lehmann, Paul (2020): Sustainability trade-offs in the spatial allocation of future onshore wind generation capacity – an empiric case study for Germany. In: *EGU General Assembly*. DOI: [10.5194/egusphere-egu2020-9651](https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-9651).

Tafarte, Philip; Lehmann, Paul (2021): Quantifying trade-offs for the spatial allocation of onshore wind generation capacity: A case study for Germany. Leipzig: Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) (UFZ Discussion Paper, 2/2021). Online verfügbar unter <https://www.econstor.eu/handle/10419/234329>.

Thiele, Julia; Wiehe, Julia; Gauglitz, Philip; Pape, Carsten; Lohr, Clemens; Bensmann, Astrid et al. (2021): Konkretisierung von Ansatzpunkten einer naturverträglichen Ausgestaltung der Energiewende, mit Blick auf strategische Stellschrauben – “Naturverträgliche Ausgestaltung der Energiewende“ (EE100-konkret). Hg. v. Bundesamt für Naturschutz (BfN) (BfN-Skripten 614, 218 S.). Online verfügbar unter <https://www.natur-und-erneuerbare.de/projekt Datenbank/projekte/ee100-konkret-naturvertraegliche-ausgestaltung-der-energiewende/>.

TLUG (Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie) (2015): Avifaunistischer Fachbeitrag zur Fortschreibung der Regionalpläne 2015–2018. Empfehlungen zur Berücksichtigung des Vogelschutzes bei der Abgrenzung von Vorranggebieten für die Windenergienutzung. Fachbeitrag der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG), erstellt durch die Vogelschutzwarte Seebach im Auftrag des Thüringer Ministeriums für Umwelt, Energie und Naturschutz. Online verfügbar unter https://tlubn.thueringen.de/fileadmin/000_TLUBN/Naturschutz/Dokumente/1_zool_artenschutz/artenschutz_windenergie/Avifaunistischer_Fachbeitrag_zur_Fortschreibung_der_Regionalplaene_2015-18.pdf.

Townsend Peterson, A.; Aiello-Lammens, Matthew; Amatulli, Giuseppe; Anderson, Robert; Cobos, Marlon; Diniz-Filho, José Alexandre et al. (2022): ENM2020: A Free Online Course and Set of Resources on Modeling Species' Niches and Distributions. In: *Biodiv. Inf.* 17, S. 1–9. DOI: [10.17161/bi.v17i.15016](https://doi.org/10.17161/bi.v17i.15016).

Treiny, Rimgaudas; Bergmanis, Ugis; Väli, Ülo (2016): Strong territoriality and weak density-dependent reproduction in Lesser Spotted Eagles *Clanga pomarina*. In: *Ibis* 159. DOI: [10.1111/ibi.12454](https://doi.org/10.1111/ibi.12454).

Tschumi, Matthias; Scherler, Patrick; Fattebert, Julien; Naef-Daenzer, Beat; Grüebler, Martin U. (2020): Political borders impact associations between habitat suitability predictions and resource availability. In: *Landscape Ecol* 35(10), S. 2287–2300. DOI: [10.1007/s10980-020-01103-8](https://doi.org/10.1007/s10980-020-01103-8).

UBA (Umweltbundesamt) (2021): Themenpapier. Windenergie im Wald. Online verfügbar unter https://stories.umweltbundesamt.de/system/files/document/20210527_Themenkompass_Windenergie_im_Wald.pdf.

UM BW (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg) (2019): Windatlas Baden-Württemberg. Hg. v. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM BW). Online verfügbar unter <https://www.energieatlas-bw.de/documents/24384/139536/Endbericht+Windatlas+BW+2019>, zuletzt geprüft am 30.11.2022.

UM BW (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg) (2022): Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg 2021. Online verfügbar unter https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Energie/Erneuerbare-Energien-2021-barrierefrei.pdf.

UmweltPlan (2017): Umweltbericht zur Teilfortschreibung des Kapitels 6.5 Energie des Regionalen Raumentwicklungsprogramms Westmecklenburg. Fachbeitrag Rotmilan – Ermittlung, Bewertung und Darstellung regionaler Dichtezentren von potenziellen Jagdhabitaten des Rotmilans. Hg. v. Regionaler Planungsverband Westmecklenburg. Online verfügbar unter https://www.region-westmecklenburg.de/PDF/Anlage_7_Fachbeitrag_Rotmilan.PDF?ObjSvrID=3263&ObjID=538&ObjLa=1&Ext=PDF&WTR=1&ts=1644331936.

- UmweltPlan (2018)*: Regionales Raumentwicklungsprogramm Westmecklenburg. Fachbeitrag Rotmilan – Ermittlung, Bewertung und Darstellung regionaler Dichtezentren von potenziellen Jagdhabitaten des Rotmilans. Online verfügbar unter https://www.region-westmecklenburg.de/PDF/Fachbeitrag_Rotmilan_Mai_2021_.PDF?ObjSvrlD=3263&ObjID=1758&ObjLa=1&Ext=PDF&WTR=1&ts=1644331996.
- Verheyen, Roda (2020)*: Ausbau der Windenergie an Land: Beseitigung von Ausbauhemmnissen im öffentlichen Interesse. Online verfügbar unter https://green-planet-energy.de/fileadmin/docs/pressematerial/200514_Verheyen_Thesen_Windausbau_an_Land.pdf.
- Wäger, Patrick (2007)*: Multi Criteria Evaluation. Working Paper for the COST 365 Meeting. Technology and Society Laboratory, Empa, St. Gallen, Switzerland, 10.10.2007.
- Wagner, Stephan (2022)*: Zur Rolle artenschutzrechtlicher Ausnahmen im Rahmen der raumordnerischen Konzentrationszonenplanung für die Windenergie: Ausnahmevoraussetzungen nach 45 Abs. 7 S. 2 BNatSchG und Regelmäßigkeit der Ausnahmeerteilung. In: NuR 44 (3), S. 149–156. DOI: [10.1007/s10357-022-3971-2](https://doi.org/10.1007/s10357-022-3971-2).
- Weber, J. (2020)*: Mehrzieloptimierung bei der Standortsuche für Windenergieanlagen (WEA) zur Berücksichtigung der Sustainable Development Goals (SDGs). Masterarbeit. Technische Universität Berlin (TU Berlin). Fachgebiet Umweltprüfung und Umweltplanung.
- Weber, Jessica; Köppel, Johann (2022)*: Can MCDA Serve Ex-Post to Indicate ‘Winners and Losers’ in Sustainability Dilemmas? A Case Study of Marine Spatial Planning in Germany. In: *Energies* 15 (20), S. 7654. DOI: [10.3390/en15207654](https://doi.org/10.3390/en15207654).
- Weber, Jessica; Steinkamp, Tim; Reichenbach, Marc (2023)*: Competing for space? – A multi-criteria scenario framework to model the energy-biodiversity-land nexus for regional renewable energy planning on a German case study. DOI: [10.21203/rs.3.rs-2599221/v1](https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2599221/v1).
- Wegner, Nils (2021)*: Rechtliche Einordnung von Dichtezentren im Planungsverfahren. Hg. v. Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende (KNE). Online verfügbar unter https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/KNE-Kurzgutachten_Wegner_Rechtliche-Einordnung-Dichtezentren-Planung_2021.pdf.
- Wegner, Nils (2022)*: Wind-an-Land-Gesetz. Überblick und erste Einschätzungen zum WaLG, 2022. Online verfügbar unter <https://stiftung-umweltenergierecht.de/wp-content/uploads/2022/07/Was-steckt-im-Osterpaket-WaLG-2022-07-21-1.pdf>.
- Weisberg, S.; Fox, John (2011)*: An R Companion to Applied Regression. Sage.
- Wiens, J. David; Schumaker, Nathan H.; Inman, Rich D.; Esque, Todd C.; Longshore, Kathleen M.; Nussear, Kenneth E. (2017)*: Spatial demographic models to inform conservation planning of golden eagles in renewable energy landscapes. In: *The journal of raptor research* 51 (3), S. 234–257. DOI: [10.3356/JRR-16-77.1](https://doi.org/10.3356/JRR-16-77.1).
- Wirth, Harry (2022)*: Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Unter Mitarbeit von Fraunhofer ISE. Online verfügbar unter <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf>.
- Wulfert, Katrin (2021)*: Dichtezentrenkonzepte bei der Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen. In: *UVP-report* 35 (3), S. 128–135. Wulfert, Katrin; Köstermeyer, Heiko; Lau, Marcus (2022): Vögel und Windenergienutzung. Best Practice-Beispiele und planerische Ansätze zur Konfliktlösung. Bonn: BfN, Bundesamt für Naturschutz (BfN-Skripten, 634). Online verfügbar unter <https://bf.n.bsz-bw.de/frontdoor/index/index/start/3/rows/10/sortfield/score/sortorder/desc/searchtype/simple/query/N%C3%B6gel+und+Windenergienutzung/docId/1082>.
- Wulfert, Katrin; Schöne-Warnefeld, Job (2021)*: Dichtezentrenkonzepte - Fachliche Herleitung sowie Umsetzung in den Ländern. Hg. v. Kompetenzzentrums Naturschutz und Energiewende. Online verfügbar unter https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/Gutachten_Dichtezentrenkonzepte%E2%80%93Fachliche-Herleitung-sowie-Umsetzung-in-den-Laendern_Dr-Katrin-Wulfert.pdf, zuletzt geprüft am 07.12.2021.
- Zaniewski, A. Elizabeth; Lehmann, Anthony; Overton, Jacob McC (2002)*: Predicting species spatial distributions using presence-only data: a case study of native New Zealand ferns. In: *Ecological modelling* 157 (2–3), S. 261–280.
- Zurell, Damaris (2020)*: Introduction to species distribution modelling (SDM) in R. Inst. of Biochemistry and Biology - University of Potsdam. Online verfügbar unter <https://damarizurell.github.io/SDM-Intro/>, zuletzt geprüft am 07.06.2022.
- Zurell, Damaris; Engler, Jan O. (2019)*: Ecological niche modeling. In: *Effects of climate change on birds*, S. 60–73.
- Zurell, Damaris; Franklin, Janet; König, Christian; Bouchet, Phil J.; Dormann, Carsten F.; Elith, Jane et al. (2020)*: A standard protocol for reporting species distribution models. In: *Ecography* 43 (9), S. 1261–1277. DOI: [10.1111/ecog.04960](https://doi.org/10.1111/ecog.04960).

Verzeichnis der verwendeten Daten

Bezeichnung	Quelle
Digitale Geodaten Bund inkl. Digitales Landschaftsmodell	GeoBasis DE, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/digitale-geodaten.html
Geobasisdaten	Geofabric Open Street Map (OSM), https://www.openstreetmap.org , http://download.geofabrik.de/europe/germany.html
CORINE Land Cover Daten	Copernicus Projekt, https://land.copernicus.eu/global/
Geodaten zu Natur und Landschaft, Erneuerbaren Energien für Baden-Württemberg	Daten- und Kartendienst der LUBW, https://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/index.xhtml
Verbreitungsdaten Schwarzstorch, Schwarzmilan, Rotmilan, Wanderfalke Baden-Württemberg	Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW)
Geodaten zu Natur und Landschaft, Erneuerbare Energien usw. für Brandenburg	Geobroker Brandenburg, https://geobroker.geobasis-bb.de/
Umweltdaten Brandenburg	METAVER Umweltdatenkatalog Brandenburg, https://metaver.de
Waldfunktionen Brandenburg	MLUK Brandenburg, https://mluk.brandenburg.de/mluk/de/service/geoinformationen/geodaten-fachbereiche/#
Flächenausweisungen im Regionalplan 3.0 Havelland-Fläming	Region Havelland-Fläming, https://havelland-flaeming.de/regionalplan/regionalplan-3-0/beteiligungsverfahren/
Landschaftsprogramm Vögel 2009 (Wiesenbrüter), Brandenburg	Oeko Log, http://www.oeko-log.com/Materialien17.html
Verbreitungsdaten Seeadler Brandenburg	Landesamt für Umwelt (LfU) Brandenburg
Verbreitungsdaten Rotmilan und Fischadlervorkommen Brandenburg	Vogelschutzwarte Landesamt für Umwelt (LfU) Brandenburg

Impressum

© FA Wind, September 2023

Herausgegeben von

Fachagentur Windenergie an Land
Fanny-Zobel-Straße 11 | 12435 Berlin

www.fachagentur-windenergie.de
post@fa-wind.de

V. i. S. d. P.: Dr. Antje Wagenknecht

Die Fachagentur zur Förderung eines natur- und umweltverträglichen Ausbaus der Windenergie an Land e.V. ist ein gemeinnütziger Verein. Er ist eingetragen beim Amtsgericht Charlottenburg, VR 32573 B

Autorenschaft

Dr. Gesa Geißler, PD Dr. Alexandra Jiricka-Pürner
(Universität für Bodenkultur Wien, ILEN)

Prof. Dr. Johann Köppel, Andrew Rasmussen, Nico Krieger,
Jessica Weber (Technische Universität Berlin, Fachgebiet
Umweltprüfung und Umweltplanung)

Dr. Marc Reichenbach, Tim Steinkamp (ARSU)

Dr. Dirk Sudhaus, Kathrina Baur
(Fachagentur Windenergie an Land)

Gestaltung

DreiDreizehn Werbeagentur GmbH, www.313.de

Zitiervorschlag

Geißler, G. et al. (2023), Schwerpunkträume zum Artenschutz in der Windenergieplanung – Methodische Ansätze zur planerischen Ausweisung von Flächen zur Windenergienutzung.

Haftungsausschluss

Die in dieser Broschüre enthaltenen Angaben und Informationen sind nach bestem Wissen erhoben, geprüft und zusammengestellt.

Eine Haftung für unvollständige oder unrichtige Angaben, Informationen und Empfehlungen ist ausgeschlossen, sofern diese nicht grob fahrlässig oder vorsätzlich verbreitet wurden.

Bildnachweis

Titel © Andreas Nesslinger/iStock; S. 2 © kruwt/iStock;
S. 11 © Canetti/iStock; S. 14 © Conny Pokorny/iStock;
S. 66 © MortenChr/iStock; S. 90 © hsvrs/iStock;
S. 94 © BoukeAtema/iStock

Fachagentur Windenergie an Land e.V.

Fanny-Zobel-Straße 11 | 12435 Berlin

T +49 30 64 494 60-60

post@fa-wind.de

www.fachagentur-windenergie.de