



Rotmilan und Windenergie im Kreis Paderborn

Untersuchung von Bestandsentwicklung und Bruterfolg



Impressum

© FA Wind, August 2019

Herausgeber: Fachagentur zur Förderung
eines natur- und umweltverträglichen Ausbaus
der Windenergie an Land e.V.

Fanny-Zobel-Straße 11
D-12435 Berlin

Autoren:
Tim Aussieker, M. Sc. Landschaftsökologie
Dr. Marc Reichenbach, Dipl.-Biol., Dipl.-Ökol.
Beide ARSU GmbH

Redaktion:
Dr. Dirk Sudhaus
Franziska Tucci

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

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

Zitiervorschlag:

FA Wind (2019): Rotmilan und Windenergie im
Kreis Paderborn - Untersuchung von Bestands-
entwicklung und Bruterfolg

Haftungsausschluss: Die in diesem Fachbeitrag
enthaltenen Angaben und Informationen sind
nach bestem Wissen erhoben, geprüft und zu-
sammengestellt. Eine Haftung für unvollstän-
dige oder unrichtige Angaben, Informationen
und Empfehlungen ist ausgeschlossen, sofern
diese nicht grob fahrlässig oder vorsätzlich ver-
breitet wurden.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	1
1. Zusammenfassung	2
2. Einleitung	3
3. Untersuchungsgebiet	3
4. Datengrundlage	4
4.1 Rotmilanbestände Kreis Paderborn.....	4
4.2 Bestand Windenergieanlagen Kreis Paderborn	5
4.3 Weitere Habitatparameter.....	5
4.3.1 Landnutzung	6
4.3.2 Witterung	6
4.3.3 Anthropogene Störungen/Tötungen	6
5. Methoden	6
5.1 Entwicklung des Rotmilanbestands und der Windenergie im Kreis Paderborn	7
5.2 Ermittlung der Abhängigkeit von Brutbestand und Bruterfolg von der Entfernung zu den WEA sowie weiteren Habitatparametern	8
5.2.1 Datenaufbereitung.....	8
5.2.2 Varianzanalyse	10
5.2.3 Logistische Regression.....	11
5.2.4 Test auf Korrelation	12
5.3 Entwicklung der Revier- und Brutdichten in unterschiedlichen Entfernungen zu den WEA	12
5.3.1 Festlegung der Entfernungszonen	12
5.3.2 Vergleich der Dichten.....	13
5.3.3 Entwicklung der Dichten in den unterschiedlichen Entfernungszonen	13
5.3.4 Ermittlung der Standorttreue	13
5.4 Vergleich der Revier- und Brutdichte vor und nach dem Bau einzelner WEA/Windparks	14
5.4.1 Auswahl der Windparks	14
5.4.2 Kontrollfläche	14
5.4.3 Entwicklung der Revier- und Brutdichten	14
6. Ergebnisse	14
6.1 Entwicklung des Rotmilanbestands und der Windenergie im Kreis Paderborn	14
6.1.1 Entwicklung der Windenergienutzung im Kreis Paderborn (2000 bis 2019).....	14
6.1.2 Entwicklung des Rotmilanbestands im Kreis Paderborn (2010 bis 2016).....	16
6.1.3 Räumliche Verteilung von WEA und Rotmilanen im Kreis Paderborn	17
6.2 Ermittlung der Abhängigkeit von Brutbestand und Bruterfolg von der Entfernung zu den WEA sowie weiteren Habitatparametern	19
6.2.1 Vergleich der Habitatparameter	19
6.2.1.1 Revier- und Nicht-Revierstandorte.....	19
6.2.1.2 Brut- und Nicht-Brutstandorte.....	22

6.2.1.3 Erfolgreiche Brutstandorte und nicht-erfolgreiche Brutstandorte	24
6.2.2 Modellierung der Revier- und Brutwahrscheinlichkeit	24
6.2.2.1 Test auf Korrelation	24
6.2.2.2 Wahl des Reviers	24
6.2.2.3 Brutwahrscheinlichkeit	27
6.2.2.4 Bruterfolg	30
6.3 Vergleich von Brutbestand und Bruterfolg in verschiedenen Entfernungszonen	30
6.3.1 Vergleich der Revierdichten	30
6.3.2 Vergleich der Brutdichten	33
6.3.3 Vergleich der Bruterfolgsdichten	34
6.3.4 Entwicklung der Entfernungszonen um die WEA	35
6.3.4.1 Kreis Paderborn	35
6.3.4.2 Paderborner Hochfläche einschließlich Mittelgebirge	36
6.3.6 Standorttreue	37
6.4 Vergleich der Revier- und Brutdichte vor und nach dem Bau einzelner WEA/Windparks	37
6.4.1 Auswahl der Flächen	37
6.4.2 Entwicklung der Revier- und Brutdichten	39
6.4.2.1 Revierdichte	39
6.4.2.2 Brutdichte	40
6.4.2.3 Bruterfolg	40
7. Diskussion	41
7.1 Bestandsentwicklung und Bruterfolg	41
7.2 Einfluss von WEA und anderen Habitatparametern	41
7.3 Einfluss der Entfernung der WEA auf die Rotmilandichte	42
7.4 Vorher-Nachher-Vergleich	43
7.5 Vorliegende Hinweise auf Kollisionsopfer	43
7.6 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf	44
7.7 Fazit	44
Literatur	45

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	EU-Vogelschutzgebiete im Kreis Paderborn	4
Abbildung 2:	Entwicklung der WEA-Anzahl im Kreis Paderborn	15
Abbildung 3:	Entwicklung der Anlagenhöhe und des Rotordurchmessers der WEA im Kreis Paderborn	15
Abbildung 4:	Entwicklung des Rotmilanbestands im Kreis Paderborn (2010 bis 2016)	16
Abbildung 5:	Ergebnis der linearen Regression zur Überprüfung eines Trends der Rotmilan-Revier- und Brutzahlen	17
Abbildung 6:	Lage der WEA im Kreis Paderborn im Jahr 2016	18
Abbildung 7:	Durchschnittlicher Anteil der Landnutzungstypen im Umfeld der WEA im Kreis Paderborn	18
Abbildung 8:	Verteilung der Rotmilanreviere über den Kreis Paderborn im Jahr 2016	19
Abbildung 9:	Signifikante Unterschiede der Landnutzungs-Habitatparameter von Revier- und Nicht-Revierstandorten im Jahr 2011	21
Abbildung 10:	Signifikante Unterschiede der Anzahl WEA im 4.000 m Radius um Revier- und Nicht-Revierstandorte im Jahr 2016	22
Abbildung 11:	Signifikante Unterschiede der anlagespezifischen Habitatparameter von Brut- und Nicht-Brutstandorten im Jahr 2015	24
Abbildung 12:	Dreidimensionale Darstellung des Modells zur Habitatparameter abhängigen Brutwahrscheinlichkeit im Jahr 2015	30
Abbildung 13:	Revierdichten in den unterschiedlichen WEA-Entfernungszonen/Bereichen	31
Abbildung 14:	Ergebnis der linearen Regression zur Überprüfung eines Trends der Revierdichten in den verschiedenen Entfernungszonen für das gesamte Kreisgebiet	32
Abbildung 15:	Brutdichten in den unterschiedlichen Entfernungszonen/Bereichen	33
Abbildung 16:	Ergebnis der linearen Regression zur Überprüfung eines Trends der Brutdichten in den verschiedenen Entfernungszonen für das gesamte Kreisgebiet	34
Abbildung 17:	Lage der Untersuchungsflächen bzw. Standorte der Windparks des Vorher-Nachher-Vergleichs	38
Abbildung 18:	Entwicklung der Revierdichten im Nah- und Prüfbereich der Windparks 1 und 2 sowie der Kontrollfläche	39
Abbildung 19:	Entwicklung der Brutdichten im Nah- und Prüfbereich der Windparks 1 und 2 sowie der Kontrollfläche	40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Habitatparameter „Windenergie“, Ergänzungen	9
Tabelle 2:	Habitatparameter „Landnutzung“, Ergänzungen	10
Tabelle 3:	Interpretation des AUC-Werts, Quelle: Hosmer & Lemeshow (2000).....	12
Tabelle 4:	Entfernungszonen um die WEA-Standorte, Ergänzungen	13
Tabelle 5:	Entwicklung des Rotmilan-Bruterfolgs im Kreis Paderborn (2012 bis 2016).....	16
Tabelle 6:	Vergleich der Habitatparameter von Revier- und Nicht-Revierstandorten,	20
Tabelle 7:	Vergleich der Habitatparameter von Brut- und Nicht-Brutstandorten	23
Tabelle 8:	Wirkrichtung der univariaten Modelle für die Revierwahl des Rotmilans	25
Tabelle 9:	Nagelkerke-R ² Werte der univariaten Modelle für die Revierwahl.....	26
Tabelle 10:	Die besten (multivariaten) Modelle für Rotmilanreviere mit Gütemaß und Wirkrichtung;	27
Tabelle 11:	Nagelkerke-R ² Werte der univariaten Modelle für Wahrscheinlichkeit eines Brutbeginns.....	28
Tabelle 12:	Wirkrichtung der univariaten Modelle für Brut- und Nicht-Brutstandorte des Rotmilans.....	28
Tabelle 13:	Die besten (multivariaten) Modelle für Rotmilanbruten mit Gütemaß und Wirkrichtung	29
Tabelle 14:	Bruterfolgsdichten in den unterschiedlichen Entfernungszonen/Bereichen	35
Tabelle 15:	Entwicklung der Flächengrößen und -anteile der unterschiedlichen Entfernungsbereiche im gesamten Kreis Paderborn	35
Tabelle 16:	Entwicklung der Rotmilanrevieranzahl in den unterschiedlichen Entfernungsbereichen im gesamten Kreis Paderborn	35
Tabelle 17:	Durchschnittliche Anzahl WEA im 1.500 m Radius um die Revierzentren im gesamten Kreis Paderborn	36
Tabelle 18:	Entwicklung der Flächengrößen und -anteile der unterschiedlichen Entfernungsbereiche im Naturraum Paderborner Hochfläche einschließlich Mittelgebirge	36
Tabelle 19:	Entwicklung der Rotmilanrevieranzahl in den unterschiedlichen Entfernungsbereichen im Naturraum Paderborner Hochfläche einschließlich Mittelgebirge	36
Tabelle 20:	Erneute Nutzung des Reviers bzw. des Horsts von Brutpaaren im Nahbereich von WEA bzw. in weiter entfernten Bereichen im Kreis Paderborn.....	37
Tabelle 21:	Informationen zu den Flächen der Vorher-Nachher-Betrachtung	37

Vorwort

Bei der Planung und Genehmigung von Windenergievorhaben führen Rotmilanvorkommen sehr häufig zu Konflikten, da der Greifvogel als windenergiesensible Art gilt und Kollisionen nicht ausgeschlossen werden können. Gleichzeitig werden im Umfeld von Windenergieanlagen (WEA) erfolgreiche Bruten nachgewiesen und es ist nicht auszuschließen, dass sich Rotmilane in der Nähe von WEA ansiedeln. Konflikte können dann u.a. mit Blick auf Repoweringprojekte entstehen.

Dass es an WEA zu Rotmilan-Kollisionen kommen kann, hat u.a. die PROGRESS-Studie (Grünkorn et al., 2016) aufgezeigt, bei welcher in der Norddeutschen Tiefebene systematisch Kollisionsopfer in Windparks über einen Zeitraum von drei Jahren erfasst wurden. Statistisch waren die erfassten Kollisionsereignisse beim Rotmilan allerdings zu selten für eine aussagekräftige Auswertung. Auch die Modellierung der Populationsentwicklung konnte aufgrund der niedrigen Fundzahlen für den Rotmilan keine belastbaren Ergebnisse liefern.

Da es, neben den statistisch seltenen Kollisionen dieses Greifvogels an WEA, auch zu erfolgreichen Bruten im Windparkumfeld kommt, ist die Schwere des Einflusses von WEA auf die lokale Populationsentwicklung bislang noch ungeklärt. Zwar werden in Deutschland vielerorts Daten zur Bestandsentwicklung des Rotmilans erhoben. Untersuchungen, die einen Zusammenhang zu dem Bau und Betrieb von Windenergieanlagen herstellen, fehlen aber bisher.

Mit dieser Analyse soll erstmalig die Entwicklung einer lokalen Rotmilanpopulation dem Ausbau der Windenergie in einem ausbaustarken Landkreis in Nordrhein-Westfalen gegenübergestellt und statistisch ausgewertet werden. Als Datengrundlage dienen Revier- und Bruterfolgskartierungen des Rotmilans, die im Kreis Paderborn von der Biologischen Station Kreis Paderborn - Senne von 2010 bis 2016 im Auftrag der WestfalenWIND GmbH durchgeführt wurden. Da der Untersuchungsaufwand und -umfang von Jahr zu Jahr unterschiedlich war, können nicht für alle behandelten Fragestellungen abschließende Aussagen getroffen werden. Dennoch deuten die Ergebnisse an, dass der Rotmilan im Kreis Paderborn relativ indifferent auf Windräder reagiert. Auch sind, trotz vereinzelter Kollisionen im Untersuchungsgebiet, derzeit keine signifikanten Auswirkungen auf die lokale Population zu verzeichnen.

Zur Verbesserung der Kenntnislage wäre es wünschenswert, dass die Untersuchungen im Kreis Paderborn weitergeführt werden. Ebenso sollten ähnliche Auswertungen für andere Naturräume, in denen entsprechende Daten vorliegen, erfolgen. Eine Einbeziehung von Daten aus aktuellen Telemetrierungsprojekten wäre dabei beispielsweise denkbar.

Mein Dank gilt nun aber zunächst der WestfalenWIND GmbH und der Biologischen Station Kreis Paderborn - Senne, die uns die Daten für diese Analyse zur Verfügung gestellt haben. Ebenso möchte ich mich bei der projektbegleitenden Arbeitsgruppe des BWE-Arbeitskreises Naturschutzes für die fachliche Mitarbeit bedanken.

Ich wünsche Ihnen eine informative Lektüre.

Ihre



Dr. Antje Wagenknecht
Geschäftsführerin der Fachagentur Windenergie an Land

1. Zusammenfassung

Im Kreis Paderborn stehen dem Rotmilan attraktive Lebensräume zur Verfügung, die in diesem Jahrzehnt zu stabilen Bestandszahlen geführt haben. Gleichzeitig konzentriert sich im Kreis Paderborn der Ausbau der Windenergie. Der Rotmilan gilt in Deutschland nach den Adlern als die in Relation zur Bestandsgröße am stärksten von Kollisionen an Windenergieanlagen (WEA) betroffene Art. Es fehlt jedoch weitgehend an Untersuchungen, ob sich der Ausbau der Windenergienutzung auf Bestandsgröße, Bruterfolg und räumliche Verteilung konkreter lokaler Populationen auswirkt. Die vorliegende Studie analysiert auf der Grundlage mehrjähriger Erhebungen der Biologischen Station Kreis Paderborn-Senne für den Zeitraum 2010-2016 die Bestandsentwicklung des Rotmilans und den fortschreitenden Ausbau der Windenergienutzung auf einer konkreten räumlichen Ebene. Darüber hinaus werden weitere Kriterien der Lebensraumqualität wie bspw. die Landnutzung in die Auswertung integriert.

Von 2010 bis 2016 ist die Anzahl der WEA im Kreis Paderborn von 145 auf 333 gestiegen. Die Zahl der Rotmilanreviere schwankte in diesem Zeitraum zwischen 66 und 95, wobei keine statistisch signifikante Ab- oder Zunahme ermittelt werden konnte. Ein Einfluss der Zunahme der Anzahl und auch der Höhe der WEA auf die Größe des Rotmilanbestandes ist hieraus somit nicht zu erkennen.

Sowohl die Rotmilanvorkommen als auch die WEA konzentrieren sich auf den Naturraum der Paderborner Hochfläche. Die räumliche Verteilung der Rotmilanreviere wird im Wesentlichen von den Flächenanteilen an Acker- und Gründlandflächen (Nahrungshabitat) und Waldflächen (Bruthabitat) bestimmt. Anzahl und Entfernung der WEA spielen demgegenüber keine statistisch signifikante Rolle. Dies gilt auch für die Verteilung derjenigen Revierpaare, die tatsächlich zur Brut geschritten sind.

Die durchgeführten statistischen Analysen konnten von 2010 bis 2016 keine signifikante Veränderung der Revierdichten des Rotmilans in unterschiedlichen Entfernungszonen zu den WEA nachweisen. Es kam somit nicht zu einer Verringerung der Revierdichte im Nahbereich um die Windparks (bis 1.500 m) und auch nicht zu einem Anstieg in größerer Entfernung. Ein Einfluss der Entfernung zu den WEA auf die Revierdichte sowie auch auf die Brutdichte ist somit nicht erkennbar.

Ebenso konnte kein signifikanter Einfluss auf die Brutplatztreue, d.h. auf die Wiederbesetzungsrate von Revieren und Horsten gefunden werden. Die ermittelte Anzahl an Jungen pro erfolgreicher Brut liegt seit dem Jahr 2014 über dem für den Erhalt der Population notwendigen Wert.

Für zwei Windparks, bei denen die WEA etwa in der Mitte des Untersuchungszeitraums gebaut wurden und die in ausreichender Entfernung zu weiteren WEA liegen, konnte eine Vorher-Nachher-Betrachtung durchgeführt werden. Im Vergleich zu einer WEA-freien Referenzfläche ließen sich insgesamt keine signifikanten Änderungen der Revier- und Brutdichten ermitteln, die auf die zwischenzeitliche Errichtung der beiden Windparks zurückgeführt werden können.

Die vorliegende Studie führt somit zu dem Ergebnis, dass trotz des starken Ausbaus der Windenergie im Kreis Paderborn kein negativer Einfluss auf den Bestand des Rotmilans im Zeitraum von 2010 bis 2016 festgestellt werden konnte.

Für den untersuchten Zeitraum sind nur wenige Hinweise auf Kollisionsopfer von Rotmilanen an WEA im Kreis Paderborn bekannt geworden, bei denen es sich zudem sämtlich um Zufallsfunde handelt. Daten aus systematischen Kollisionsopfersuchen mit Berücksichtigung der notwendigen Korrekturfaktoren liegen nicht vor. Ein Einfluss von Kollisionen auf Bruterfolg und -geschehen konnte nicht festgestellt werden. Weitere Fundmeldungen stammen aus 2018 und liegen damit außerhalb des Zeitraums dieser Studie.

Um die Entwicklung der Population über einen längeren Zeitraum und insbesondere im aktuellen Ausbauzustand der Windenergienutzung analysieren zu können, wäre eine weitere Auswertung der laufenden Rotmilanerfassung der Biologischen Station Paderborn -Senne ab dem Jahr 2017 sinnvoll. Insbesondere sollte hierdurch die bislang noch eingeschränkte Datenlage zum Bruterfolg verbessert werden. Angesichts der Tatsache, dass der Anteil an Rotmilanbruten innerhalb des 1.500 m Radius um WEA im Kreis Paderborn stetig zugenommen hat, wäre eine Fortführung der in dieser Studie durchgeführten Analysen, insbesondere vor dem Hintergrund des verstärkten Windenergiezubaues im Jahr 2016 hilfreich, um mögliche Veränderungen im betrachteten Raum zu untersuchen.

2. Einleitung

Der Rotmilan (*Milvus milvus*) ist eine überwiegend in Europa beheimatete Greifvogelart, für die Deutschland eine besondere Verantwortung besitzt und etwa 50 Prozent des weltweiten Bestands beheimatet. Nach dramatischen Bestandsrückgängen ab der Mitte des 19. Jahrhunderts lässt sich seit den 1950er Jahren eine Zunahme des Gesamtbestands beobachten. Gleichwohl finden in lokalen Populationen zu Teilen große Bestandsrückgänge statt (BEZZEL 2010).

Insbesondere landwirtschaftliche Intensivierung und Verschlechterung der Nahrungsverfügbarkeit im Verbreitungsgebiet beeinträchtigen die Populationsentwicklung der Art stark (KATZENBERGER *et al.* 2019). Darüber hinaus können auch anthropogene Mortalität in Form von Vergiftungen und Kollisionen eine Bedrohung der Art darstellen (LANGGEMACH *et al.* 2010).

Aufgrund seiner Lebensweise als Beute suchender Segelflieger besteht für den Rotmilan ein besonderes Kollisionsrisiko an Windenergieanlagen (DREWITT & LANGSTON 2008). So ist der Rotmilan in Deutschland nach den drei Adlerarten See-, Schrei- und Fischadler die in Relation zur Bestandsgröße am stärksten von Kollisionen an Windenergieanlagen (WEA) betroffene Art (SPRÖTGE *et al.* 2018). Vertreibungseffekte durch Windenergie auf die Art sind nicht bekannt (MADDERS & WHITFIELD 2006). Rotmilane brüten durchaus in der Nähe zu WEA, dies ist ebenfalls aus dem Kreis Paderborn bekannt (JOEST *et al.* 2012).

Es fehlt jedoch weitgehend an Untersuchungen, ob sich der Ausbau der Windenergienutzung auf Bestandsgröße, Bruterfolg und räumliche Verteilung konkreter lokaler Populationen auswirkt. Bislang liegen lediglich Abschätzungen bzw. Modellierungen aufgrund von Kollisionsopferzahlen aus Brandenburg bzw. Norddeutschland vor (BELLEBAUM *et al.* 2013; GRÜNKORN *et al.* 2016).

Im Kreis Paderborn bietet sich nunmehr auf der Grundlage mehrjähriger Erhebungen der Biologischen Station Kreis Paderborn-Senne die Gelegenheit zu einer detaillierteren Betrachtung der Bestandsentwicklung des Rotmilans und des fortschreitenden Ausbaus der Windenergienutzung auf einer konkreten räumlichen Ebene.

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist die Ermittlung und Bereitstellung von Fachinformationen als Beitrag zum Erkenntnisgewinn im Themenbereich Windenergie und Artenschutz in Bezug auf den Rotmilan.

Auf der Basis der umfangreichen Datengrundlage der mehrjährigen Rotmilanerfassungen im Kreis Paderborn wird angestrebt, durch unterschiedliche statistische Auswertungen detailliertere Aussagen zu den Ursachen von Veränderungen der Bestandszahlen sowie der räumlichen Verteilung der Reviere des Rotmilans zu tätigen. Als zentraler Punkt soll der Einfluss des Windenergieausbaus im Kreis auf die Rotmilanbestände analysiert werden. Darüber hinaus werden weitere Habitatparameter in die Auswertung integriert, um den Einfluss von Windenergieanlagen in Relation hierzu setzen zu können.

3. Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet besitzt eine Gesamtfläche von ca. 1.247 km² und umfasst den gesamten Kreis Paderborn. Der Kreis Paderborn befindet sich im Osten des Bundeslandes Nordrhein-Westfalen und liegt am Rand des Teutoburger Walds sowie westlich des Eggegebirges. Das betrachtete Gebiet beinhaltet drei größere Naturräume (vgl. Abbildung 6 auf S. 18). Im Nordwesten erstreckt sich die „Westfälische Bucht“, dazu zählt im Norden ein Teil der Senne. Daran angrenzend verlaufen „Haarstrang und Hellwegbörde“. Einen großen Teil des südlichen Kreisgebiets bedeckt die „Paderborner Hochfläche einschließlich Mittelgebirge“, die bis an den Nordrand des Sauerlandes reicht. Der Kreis Paderborn zählt zum Verbreitungsschwerpunkt des Rotmilans in NRW.¹ Neben den zahlreichen Brutvorkommen weist das Untersuchungsgebiet auch bedeutende Schlaf- und Rastplätze für den Rotmilan sowie für weitere Vogelarten auf (JOEST *et al.* 2012). Aufgrund seiner Lage zwischen Brutgebieten im Nordosten Deutschlands und Europas sowie den Überwinterungsgebieten in Iberien und Nordafrika kommt dem Untersuchungsgebiet eine besondere Bedeutung beim Vogelzug zu (JOEST *et al.* 2012).

Insgesamt befinden sich vier EU-Vogelschutzgebiete (VSG) teilweise auf dem Gebiet des Kreis Paderborns (vgl. Abbildung 1). Dabei handelt es sich um die VSG „Rietberger Emsniederung mit Steinhorster Becken“ (DE-4116-401) und „Senne mit Teutoburger Wald“ (DE-4118-401) im Norden sowie das VSG „Egge“ (DE-4419-401) im

¹ <https://www.bs-paderborn-senne.de/projekte/artenschutz/rotmilan.html>, Abruf am 27.06.2019

Osten und das VSG „Hellwegbörde“ (DE-4415-401) im Westen. Insbesondere die beiden letztgenannten VSG² besitzen eine große Bedeutung für den Rotmilan als Brut- und Rastlebensraum (LANUV 2015).

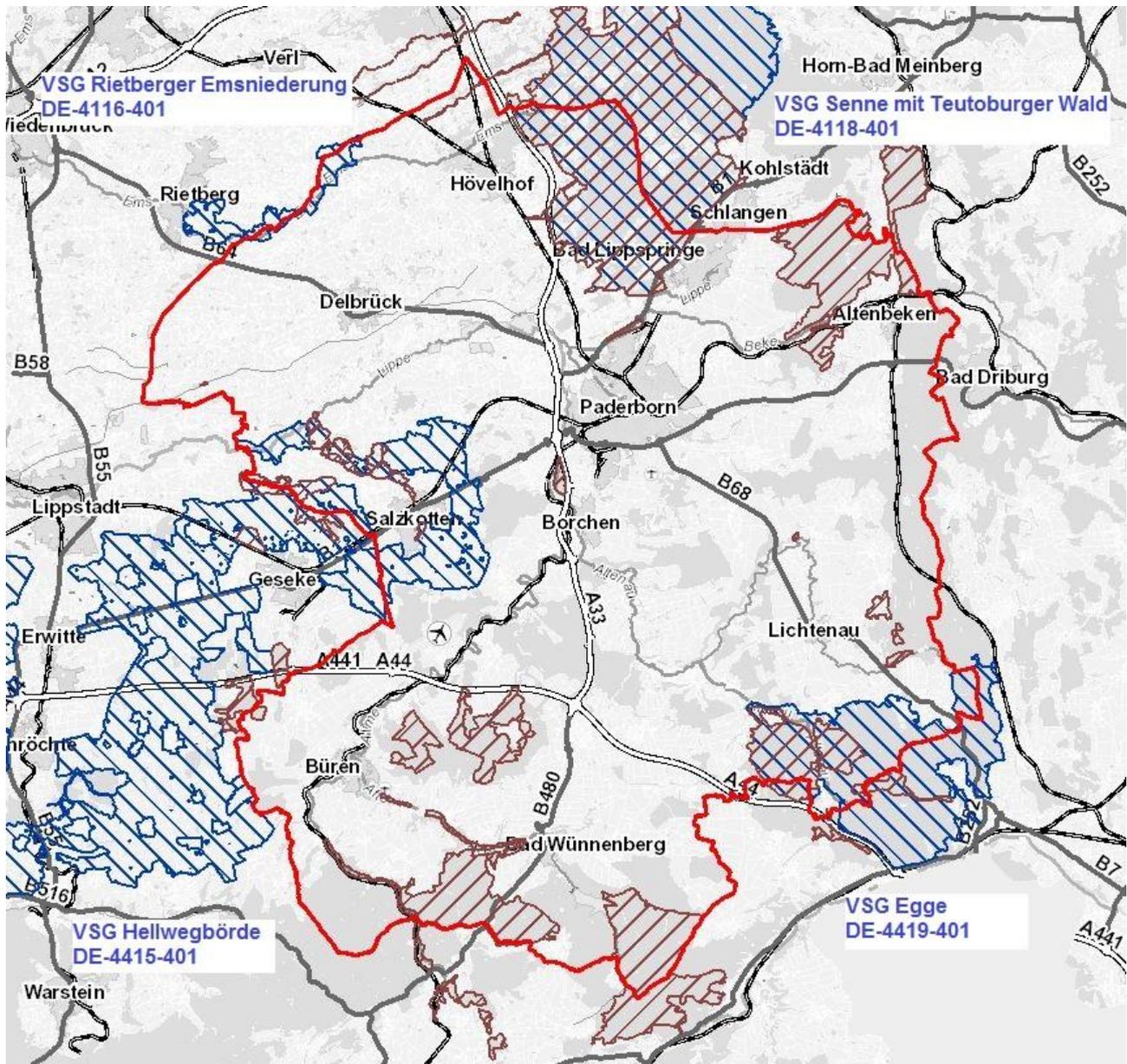


Abbildung 1: EU-Vogelschutzgebiete im Kreis Paderborn, Quelle: Umweltkarten-Server des Kreis Paderborn

4. Datengrundlage

4.1 Rotmilanbestände Kreis Paderborn

Für die vorliegende Untersuchung liegen Daten zu der Rotmilanpopulation des Kreises Paderborn aus den Jahren 2010 bis 2016 vor, die aus Kartierungen der Biologischen Station Kreis Paderborn-Senne stammen und im Auftrag der WestfalenWIND GmbH erhoben wurden. Hintergrund der Kartierungen ist die Zurverfügungstellung von Rotmilanbestandsdaten für Planungsvorhaben.

² <http://natura2000-melddok.naturschutzinformationen.nrw.de/natura2000-melddok/de/fachinfo/listen/melddok/DE-4419-401> (abgerufen am 27.06.2019)

Die kontinuierliche und flächendeckende Ermittlung und Dokumentation der Bestandssituation des Rotmilans im Kreis Paderborn umfasst seit 2010 die Identifikation von Revieren. Die Kartiermethode orientiert sich überwiegend an den Empfehlungen von NORGALL (1995). Dabei werden arttypisches Verhalten territorialer Rotmilane insbesondere zu Beginn der Brutsaison genutzt, um Reviere und teilweise auch Horstbereiche mit geringem Beobachtungsaufwand zu ermitteln.

Die Zentren der erfassten Reviere sowie Bereiche mit Revierverdacht liegen als shape-Dateien für die Auswertung im Geoinformationssystem vor. Häufig stellen die Revierzentren die Lage der tatsächlich erfassten Horstbäume dar. Aufgrund der begrenzten Erfassungsdauer während der Brutsaison, konnte vereinzelt der exakte Standort des Horstbaums nicht ermittelt werden. Dies trifft vor allem auf Revierzentren in (Laub-) Wäldern zu, die erst nach dem Laubaustrieb kontrolliert werden konnten. Für die Auswertung werden die ermittelten Revierzentren durchgehend als Horststandort gewertet.

Seit dem Jahr 2012 werden zusätzlich die begonnenen Bruten in den ermittelten Revieren erfasst. Aufgrund des großräumigen Bearbeitungsgebiets sowie der im Laufe des Jahres erschwerten Erfassung (z. B. Laubaustrieb) nimmt der Erfassungsgrad für die jahreszeitlich nachfolgenden Parameter „Bruterfolg“ und „Jungen pro Brut“ jedoch stetig ab. Der durchschnittliche Bruterfolg wird dabei von der Biologischen Station als mittlere Anzahl an flüggen Jungen pro Brut angegeben. Neben der Darstellung von allgemeinen Trends ist daher nur in einzelnen Jahren (2013 und 2016) gemäß Aussage der Biologischen Station eine standortbezogene Auswertung im Hinblick auf den Bruterfolg möglich.

Weitere Informationen zur Bestandssituation in den einzelnen Untersuchungsjahren (Störungen, Wetter) sowie längerfristigen Entwicklung sind in den Ergebnisberichten des Rotmilanmonitorings enthalten (BIOLOGISCHE STATION KREIS PADERBORN - SENNE 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016).

Die Datenerhebung wird seit 2017 im Auftrag des Kreises Paderborn fortgesetzt und die Ergebnisse von der Biologischen Station Kreis Paderborn - Senne in einem Bericht zusammengefasst. Die Daten für die Jahre 2017 und 2018 standen für die Untersuchungen im Rahmen dieser Studie nicht zur Verfügung.

4.2 Bestand Windenergieanlagen Kreis Paderborn

Die Standorte der WEA im Kreis Paderborn liegen für die Jahre 2000 bis 2019 als shape-Dateien zur Auswertung im Geoinformationssystem vor. Anlagen, die vor dem Jahr 2000 errichtet worden sind, wurden als Bestand zusammengefasst. Daten von Anlagen mit einer Inbetriebnahme bis Juni 2015 stammen aus einem Datensatz des Energieatlas NRW³ und wurden vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) zur Verfügung gestellt. Daten von aktuelleren Inbetriebnahmen stammen aus dem Anlagenregister⁴ (heute: Marktstammdatenregister) der Bundesnetzagentur (Meldestand 31.01.2019). In der Attributtabelle sind weitere Anlagenspezifikationen enthalten, die für die nachfolgenden Auswertungen relevant sind. Dazu zählen:

- Anlagenhöhe
- Rotordurchmesser
- Inbetriebnahme-Datum (teilweise nur Jahr)

Hinsichtlich des Inbetriebnahme-Datums wird ein potentieller Einfluss von WEA auf die Brutpaare einer Brutsaison nur bis zu einer Inbetriebnahme bis spätestens 01. August des jeweiligen Jahres angenommen. Bis zu diesem Datum ist die Brut und Nestlingszeit in der Regel bereits beendet (BAUER *et al.* 2005). Für Anlagen, bei denen nur das Inbetriebnahme-Jahr bekannt ist, wird pauschal von einem potentiellen Einfluss in diesem Jahr ausgegangen.

4.3 Weitere Habitatparameter

Neben dem Einfluss der Windenergie wird ebenfalls der Einfluss weiterer Habitatparameter auf die Wahl der Revierstandorte sowie die Brutwahrscheinlichkeit untersucht. Da durch die statistischen Auswertungen ein großräumiger potentieller Einfluss nachgewiesen werden soll, müssen die zusätzlichen Parameter genau wie die Rotmilanbestandsdaten flächendeckend vorliegen, um systematisch bearbeitet werden zu können.

³ <https://open.nrw/dataset/2dd18cf8-edc7-4e7f-8424-c4c72feb437fbkg> (abgerufen am 28.05.2019)

⁴ <https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR/Einheit/Einheiten/OeffentlicheEinheitenuebersicht> (abgerufen am 28.05.2019)

Die Arbeitsschritte zur Aufbereitung der Daten sind in Kap. 5.2.1 beschrieben.

4.3.1 Landnutzung

Wie aus der Literatur bekannt ist, stellt die Landnutzung bzw. die Habitatausstattung einen wichtigen Parameter bei der Wahl von Rotmilanrevieren und dem Bruterfolg dar (KARTHÄUSER *et al.* 2017; KARTHÄUSER & KATZENBERGER 2018). Die Informationen zur Landnutzung stammen aus den Daten zur Bodenbedeckung des CORINE Land Cover⁵ Projekts und liegen als shape-Datei vor. Detailliertere Habitatparameter stehen aufgrund der Größe des Bearbeitungsgebiets nicht flächendeckend zur Verfügung. Dazu zählen beispielsweise die Verfügbarkeit von geeigneten Horstbäumen und das Nahrungsangebot.

Die aktuellsten Daten des CORINE Land Cover Projekts stellen die Bodenbedeckung in den Jahren 2006, 2012 und 2018 dar. Für die Auswertungen wurden ausschließlich Daten aus dem Jahr 2012 genutzt. Das Jahr 2012 stellt für die meisten Untersuchungsjahre die zeitlich nächstgelegene einheitliche Datengrundlage dar. Für die Jahre 2015 und 2016 wurde auf eine mögliche Nutzung der Bodenbedeckungsdaten aus 2018 verzichtet, da der Zeitpunkt etwaiger Nutzungsänderungen nicht nachvollziehbar ist. Änderungen könnten daher auch erst in den Jahren 2017 und 2018 vollzogen sein, sodass durch die Änderung der Datengrundlage nicht zwangsläufig eine exaktere Darstellung der Gegebenheiten in den letzten beiden Untersuchungsjahren garantiert wäre.

Dargestellt werden Bodenbedeckungen mit einer Größe von mindestens 25 ha. Die geometrische Genauigkeit liegt bei ungefähr 100 m.

CORINE Land Cover Daten wurden auch von HEUCK *et al.* (2019) zur Modellierung der Habitatqualität in einer Studie zum Kollisionsrisiko des Seeadlers verwendet.

4.3.2 Witterung

Der betrachtete Untersuchungsraum ist zu klein, um einen Einfluss von klimatischen und witterungsbedingten Unterschieden auf die Revierstandorte zu betrachten. Extreme Witterungen sowie Wetterereignisse können jedoch in sensiblen Phasen der Brut/Jungenaufzucht eine große Rolle für den Reproduktionserfolg spielen. Kälteeinbrüche etc., die ggf. den Bruterfolg für die gesamte Population beeinflussen, werden bei der Interpretation der Ergebnisse für den gesamten Kreis berücksichtigt.

Hinweise auf den Einfluss des Wetters der einzelnen Untersuchungsjahre auf die Rotmilanpopulation werden den jeweiligen Kartierberichten entnommen. Detaillierte Angaben zum Wetter stammen aus den nächstgelegenen Wetterstationen.⁶

4.3.3 Anthropogene Störungen/Tötungen

Störungen, Vergiftungen, Zerstörungen von Horsten etc. werden, soweit bekannt bzw. den Kartierberichten der Biologischen Station zu entnehmen, für die Auswertung der Bestandszahlen in den einzelnen Untersuchungsjahren berücksichtigt.

Hinsichtlich bekannt gewordener Kollisionsopfer im Kreis Paderborn erfolgt eine nachrichtliche Übersicht in Kap. 7.5. Die meisten Angaben stammen aus 2018 und können daher nicht in Bezug zu den populationsbezogenen Auswertungen gesetzt werden, die den Zeitraum 2010–2016 umfassen. Zudem handelt es sich ausschließlich um Zufallsfunde, die keine Schätzung der tatsächlichen Kollisionsopferzahlen erlauben und die auch teilweise noch einer Validierung bedürfen, da sie nicht vollständig in die zentrale Fundkartei der Vogelschutzwarte Brandenburg übernommen worden sind.

5. Methoden

Für Untersuchungen zum Einfluss von WEA auf Vögel wurden bereits in früheren Studien umfassende methodische Anforderungen formuliert (ANDERSON *et al.* 1999; BREUER & SÜDBECK 1999; HANDKE 2000; KETZENBERG *et al.* 2002; LANGSTON & PULLAN 2003). Diese beinhalten im Wesentlichen folgende Aspekte, die auch weitgehend Bestandteil der vorliegenden Studie sind:

- Mehrjährige Untersuchungen,

⁵ <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> (abgerufen am 08.05.2019)

⁶ <http://www.wetter.niekamp-paderborn.de/> (abgerufen am 08.05.2019)

- Untersuchung des Bruterfolgs,
- Einbeziehung weiterer Einflussfaktoren,
- Vergleich mit Referenzflächen,
- Vorher-Nachher-Vergleiche,
- Durchführung von Verhaltensstudien neben reinen Bestandserfassungen.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Methoden der statistischen Auswertung dargestellt.

Die Aufbereitung und Auswertung der Daten erfolgte mit den Geoinformationssystemen ArcGIS Desktop (Version 10.5) und Quantum GIS (Version 2.18) sowie der Programmiersprache R (Version 3.5.2).

5.1 Entwicklung des Rotmilanbestands und der Windenergie im Kreis Paderborn

Im ersten Arbeitsschritt werden die längerfristigen Entwicklungen des Rotmilanbestands sowie des Ausbaus der Windenergie für den gesamten Kreis Paderborn gegenübergestellt. Mittels deskriptiver Statistik sollen potentielle allgemeine Trends im Kreis Paderborn identifiziert werden. Für die Windenergie werden die Entwicklung der Anlagenzahl sowie die Anlagenspezifikationen Höhe und Rotordurchmesser dargestellt. Für die Rotmilane sind populationsökologisch die folgenden Angaben von Relevanz:

- Anzahl der Reviere
- Anzahl der Bruten
- Anzahl der erfolgreichen Bruten
- Anzahl Junge pro Brut

Lineare Regression

Mögliche signifikante Trends der einzelnen Parameter im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2016 werden mit Hilfe univariater linearer Regressionen ermittelt. Die lineare Regression untersucht einen linearen Zusammenhang zwischen einer sog. abhängigen und einer unabhängigen Variablen und bildet diesen Zusammenhang mit einer linearen Funktion bzw. Regressionsgeraden ab:

$$y_i = a + \beta * x_i$$

Hierbei gibt α den Achsenabschnitt und β die Steigung der Geraden an. Das Gütemaß der linearen Regression ist R^2 , dieser Wert gibt an, wie gut die Ausprägung der abhängigen Variablen durch die unabhängige Variable erklärt wird. Ein R^2 -Wert von 1 bedeutet den höchsten Zusammenhang. Geht der Wert gegen 0 besteht kein Zusammenhang. Die Signifikanzgrenze beträgt $p < 0,05$.

In den Berechnungen dient das Untersuchungsjahr als unabhängige Variable. Die Durchführung der einfachen linearen Regression sowie die graphische Darstellung erfolgte in R mit dem Befehl *trendline* (Unabhängige Variable, Abhängige Variable), enthalten im R-Paket *basicTrendline* (MEI et al. 2018).

Chi²-Test

Die Verteilung der Rotmilanreviere über den gesamten Kreis Paderborn kann bereits einen ersten Hinweis auf geeignete bzw. weniger geeignete Habitate liefern. Üblicherweise wird zwischen den drei räumlichen Verteilungsmustern (Dispersion) *zufällig*, *geklumpt* und *gleichmäßig* unterschieden. Zur Abgrenzung der unterschiedlichen Verteilungsarten wird die chi²-Verteilung bzw. der beidseitige chi²-Test herangezogen (PEARSON 1900). Für den Test wird angenommen, dass die räumliche Verteilung zufällig, bzw. poissonverteilt ist bei n Beobachtungen oder Feldern. Hieraus lässt sich der Dispersionsindex (DI) ableiten:

$$DI = \text{Varianz} / \text{Mittelwert}$$

Abweichungen von der Poisson-Verteilung können mit Hilfe folgender Schätzfunktion geprüft werden, die asymptotisch chiquadratverteilt ist:

$$X^2 = \text{Varianz} * \frac{(n - 1)}{\text{Mittelwert}}$$

Nach ELLIOT (1977) wird anschließend geprüft, ob sich die Einzelwerte innerhalb der 95 Prozent Schranken des Mittelwerts befinden. Der Wert ist abhängig von den Freiheitsgraden:

$$\text{Freiheitsgrad } (v) = n - 1$$

Das Ergebnis wird wie folgt interpretiert:

$X^2_{(0,975;v)} \leq X^2 \leq X^2_{(0,025; v)}$, zufällig

$X^2_{(0,975;v)} > X^2$, gleichmäßig

$X^2 < X^2_{(0,025; v)}$, geklumpt

Für die Untersuchung wurde ein Netz mit 100 5x5 km-Feldern mit Hilfe des Werkzeugs „Netz erstellen“ im ArcGIS erstellt. Die Ausdehnung des Netzes wird durch die Außengrenzen des Kreises Paderborn bestimmt. Die einzelnen Felder werden durch das Werkzeug gleichmäßig über den Kreis Paderborn verteilt.

In Absprache mit der Biologischen Station werden zum Schutz der Tiere keine exakten Horststandorte des Rotmilans dargestellt. Die Verteilung der Rotmilane wird daher anhand der Revierzentren innerhalb der 25 km² großen Felder visualisiert.

5.2 Ermittlung der Abhängigkeit von Brutbestand und Bruterfolg von der Entfernung zu den WEA sowie weiteren Habitatparametern

Um einen potentiellen Einfluss der Windenergie auf den Bruterfolg des Rotmilans im Kreis Paderborn zu identifizieren, erfolgen mehrere hierarchische Untersuchungsschritte. Es soll ermittelt werden, ob die Windenergieanlagen und/oder weitere Habitatparameter einen signifikanten Einfluss ausüben auf

- die Wahl des Reviers,
- den Beginn einer Brut und
- den Bruterfolg.

Aufgrund der aus der Literatur bekannten Verhaltensweisen von Rotmilanen wird vermutet, dass die Wahl des Reviers in erster Linie von geeigneten Nistmöglichkeiten und der Nahrungsverfügbarkeit in den angrenzenden Bereichen abhängt (KARTHÄUSER & KATZENBERGER 2018). Eine Störwirkung der WEA spielt für die Wahl des Reviers keine oder nur eine untergeordnete Rolle (MADDERS & WHITFIELD 2006). Mögliche andere Auswirkungen der WEA, insbesondere durch Kollisionen der Elterntiere, könnten jedoch eventuell beim Parameter Bruterfolg erkennbar werden. Dies wäre der Fall, wenn eine erhöhte Anzahl an Kollisionen während der Brutzeit Brutaufgaben zur Folge haben.

Die Untersuchung des Einflusses erfolgt mittels Varianzanalyse der Standortparameter (Kap. 5.2.2) sowie logistischer Regression (Kap. 5.2.3).

5.2.1 Datenaufbereitung

Rotmilanvorkommen

Als abhängige Variable fungieren die Ergebnisse der Rotmilankartierungen aus den Jahren 2010 bis 2016.

Um den Einfluss der Habitatparameter auf die Revierwahl zu ermitteln, wurden alle durch die Biologische Station Paderborn-Senne erfassten Revierzentren/Horststandorte gewertet. Dies umfasst ebenfalls Revierzentren, die nur auf einem Verdacht basieren. Aufgrund des großen Untersuchungsgebiets konnte nicht allen Verdachtsmomenten bis zur Klärung der genauen Nutzungssituation nachgegangen werden (BIOLOGISCHE STATION KREIS PADERBORN - SENNE 2010). Vorsorglich werden auch sämtliche Revierverdachte in die Auswertung einbezogen.

Da während der Kartierungen nur tatsächliche Revierstandorte erfasst wurden, fehlen Angaben zu Standorten ohne Revierzentrum, die für die Varianzanalyse bzw. die logistische Regression genutzt werden können. Um die Voraussetzungen für die logistische Regression zu erfüllen werden daher Nichtvorkommen generiert (vgl. HEUCK *et al.* 2019). Die Verteilung der Nichtvorkommen findet stratifiziert zufällig statt (GUISAN & ZIMMERMANN 2000; ZANIEWSKI *et al.* 2002). Sie erfolgte im Quantum GIS mit Hilfe des Werkzeugs „Zufällige Punkte erstellen“. Bei der Erstellung der Punkte werden wichtige Habitatvoraussetzungen für die Lage von Revierzentren/Horsten berücksichtigt, um nur Nichtvorkommen in potentiell geeigneten Bereichen zu erzeugen. Die Verteilung der Nichtstandorte auf die unterschiedlichen Landnutzungstypen richtete sich nach dem prozentualen Anteil der Revierzentren in den jeweiligen Landnutzungstypen. Durch die zufällige Verteilung, insbesondere in Offenlandbiotopen, kann allerdings die Verfügbarkeit von geeigneten Horstbäumen nicht berücksichtigt werden. In Gehölzflächen wird eine maximale Entfernung von 200 m zum Waldrand eingehalten. MAMMEN & STUBBE (1996) ermittelten während ihrer Untersuchungen eine durchschnittliche Waldrandentfernung von 157 m.

Für die Variablen Brutbeginn und Bruterfolg stehen durch die Kartierungen die entsprechenden „negativen“ Standorte aus den Daten der Biologischen Station zur Verfügung. Dabei handelt es sich zum einem um Reviere, in denen keine Brut begonnen wurde bzw. um die Standorte von erfolglos verlaufenen Bruten.

Aufgrund der erwähnten Erfassungsschwierigkeiten und der teilweise unvollständigen standortbezogenen Informationen zum Bruterfolg liegen für diese Variablen nur Daten für die Jahre 2013 und 2016 vor.

Habitatparameter

Die Habitatparameter, die als unabhängige Variablen in die logistische Regression eingehen, unterteilen sich in die Kategorien „Windenergie“ und „Landnutzung“.

Die Ausprägung der Variablen (Ausnahme Entfernung der nächsten WEA und Anlagespezifikationen) wird dabei in zwei Betrachtungsräume unterschieden. Als eigentliches Revier wurde dafür ein Radius von 1.500 m um das Revierzentrum festgelegt. Die Größe des Aktionsraums von Rotmilanpaaren hängt von unterschiedlichen Faktoren wie der Nahrungsverfügbarkeit und der Revierdichte ab und verändert sich im Laufe des Jahres deutlich. Größtenteils beschränken sich die Flüge der Rotmilane jedoch auf eine Entfernung von ca. 1.500 m vom Horst, sodass so der Hauptaktivitätsraum dahingehend definiert werden kann (BUSCHE 2008; WALZ 2008; HEUCK *et al.* 2017). Gleichzeitig wird damit die Abstandsempfehlung der Länderarbeitsgemeinschaften der Vogelschutzwarten von 1.500 m zwischen Rotmilanrevieren und WEA aufgegriffen (LAG VSW 2015). Es wird angenommen, dass Rotmilane mit Revieren in einem Bereich bis 1.500 m Entfernung zu WEA („Nahbereich“) einem höheren Kollisionsrisiko ausgesetzt sind als Rotmilane, die in größeren Abständen brüten. Grund für die Annahme ist, dass ein Großteil der Flüge von Rotmilanen zur Brutzeit bis zu dieser Entfernung vom Horst stattfinden.

Als zweiter Betrachtungsraum wurde die Entfernung vom Revierzentrum bis 4.000 m festgelegt. Hierdurch werden nahezu die gesamten weiteren Flüge während der Brutsaison berücksichtigt. Diese Entfernung entspricht zudem dem geforderten Prüfbereich der LAG VSW (2015).

WEA

In Tabelle 1 sind die Variablen aufgeführt, für die der Einfluss der WEA auf das Rotmilanvorkommen getestet wird. Die Ermittlung der nächstgelegenen WEA erfolgte mit Hilfe des „NNJoin“ Plugins in Quantum GIS (TVEITE 2019).

Tabelle 1: Habitatparameter „Windenergie“, Ergänzungen

Variable	Einheit
WEA im 1.500 m Radius	Anzahl
WEA im 4.000 m Radius	Anzahl
Entfernung der nächstgelegenen WEA zum Revierzentrum	Meter
Anlagenhöhe der nächstgelegenen WEA	Meter
Rotordurchmesser der nächstgelegenen WEA	Meter

Landnutzung

Für die Habitatparameter der Landnutzung werden die prozentualen Anteile der unterschiedlichen Bodenbedeckungskategorien der Corine Daten im 1.500 bzw. 4.000 m Radius um die Revierstandorte verwendet.

Um den prozentualen Anteil der einzelnen Kategorien zu ermitteln, wurden im ArcGIS aus den Corine Daten mit Hilfe des *intersect* Werkzeugs Kreise mit 1.500 bzw. 4.000 m ausgeschnitten, die die jeweiligen Betrachtungsräume um die Revierzentren darstellen. Anschließend wurden mit dem *dissolve* Werkzeug die Flächen der einzelnen Bodenbedeckungstypen innerhalb der Betrachtungsräume zusammengefasst. Diese Bodenbedeckungstypen wurden daraufhin zu Oberkategorien zusammengeführt. Die unterschiedlichen Kategorien sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Der prozentuale Anteil der Oberkategorien in den Betrachtungsräumen ergibt sich aus folgender Formel:

$$\text{Prozentualer Anteil} = \left(\frac{\text{Fläche Oberkategorie}}{\text{Gesamtfläche Betrachtungsraum}} \right) * 100$$

Der Anteil „Offenland“ stellt die Summe der Anteile von Acker- und Grünlandflächen im Betrachtungsraum dar.

Tabelle 2: Habitatparameter „Landnutzung“, Ergänzungen

Variable	Einheit
Anteil Acker	Prozent
Anteil Gewässer	Prozent
Anteil Grünland	Prozent
Anteil Urban	Prozent
Anteil Wald	Prozent
Anteil Offenland	Prozent

Die Variablen liegen für beide Betrachtungsräume vor.

5.2.2 Varianzanalyse

Mit Hilfe einer Varianzanalyse soll zunächst überprüft werden, ob sich die Habitatparameter an Revier- und Nicht-Revierstandorten (bzw. Brut- und Nicht-Brutstandorten) signifikant unterscheiden.

Als statistischer Test zum Vergleich zweier unabhängiger Stichproben wurde der U-Test nach Mann und Whitney gewählt (SACHS 2004). Dieser Test vergleicht die Mediane von zwei nicht-parametrischen, unverbundenen Proben (MEDDIS 1984; FOWLER *et al.* 1998). Dabei wird geprüft, ob die Unterschiede zwischen den beiden Stichproben zufällig oder nicht zufällig sind.

Zur Berechnung der Prüfgröße U werden die Werte der beiden Stichproben (n_1 und n_2) in eine gemeinsame Rangfolge gebracht. Anschließend werden die Summen der Rangzahlen (R_1 und R_2) der jeweiligen Stichproben ermittelt. U_1 und U_2 werden nach den folgenden Gleichungen berechnet:

$$U_1 = mn \frac{m(m+1)}{2} - R_1$$

$$U_2 = mn \frac{m(m+1)}{2} - R_2$$

Die kleinere der beiden Größen U_1 und U_2 ist die gesuchte Prüfgröße, anhand der die Signifikanz aus der entsprechenden Tabelle (z. B. SACHS (2004)) abgelesen werden kann.

Der R-Befehl lautet hierfür *wilcox.test()* und kann durch das Paket *coin* verwendet werden (HOTHORN *et al.* 2006).

Signifikante Unterschiede zwischen Stichproben werden in den Abbildungen durch die Zuordnung zu Gruppen, versehen mit unterschiedlichen Buchstaben, dargestellt. Stichproben, die durch zwei oder mehr Buchstaben, getrennt durch „/“, gekennzeichnet sind, unterscheiden sich nicht signifikant von den Gruppen versehen mit dem jeweils einzelnen Buchstaben (Beispiel: Stichprobe a/b unterscheidet sich weder von der Stichprobe a noch von Stichprobe b).

5.2.3 Logistische Regression

Um die Abhängigkeit der Rotmilanvorkommen und –bruterfolge von verschiedenen Habitatparametern, insbesondere dem Einfluss von WEA, zu ermitteln, wird ein Habitatmodell erstellt. Hierfür wird die Wahrscheinlichkeit von Vorkommen und Bruterfolg bei bestimmten Ausprägungen und Konstellationen von einzelnen oder mehreren Habitatparametern berechnet. Die Untersuchung wird separat für jedes Untersuchungsjahr durchgeführt, um ggf. die Einflusszunahme eines Parameters (z. B. Anzahl der WEA) identifizieren zu können.

Die logistische Regression ist das am häufigsten verwendete Verfahren der Habitatmodellierung zur Bearbeitung von erklärenden Variablen, die nur zwei mögliche Werte annehmen können (z.B. Präsenz/Absenz, Bruterfolg Ja/Nein) (KLEYER *et al.* 1999; SCHRÖDER & 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. Kap. 5.2.1).

Mithilfe der Regressionsgleichung kann für jede Kategorie einer Variablen bzw. für jeden Wert einer metrischen Variablen eine Vorkommens- bzw. Brutwahrscheinlichkeit berechnet werden. Zusätzlich gibt der Regressionskoeffizienten (β_k) 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 bzw. für eine Brut.

Zunächst werden für die einzelnen unabhängigen Variablen univariate logistische Regressionen durchgeführt und ein „generalised linear model“ (glm) erzeugt. Das Modell wird 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. R^2 kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen, wobei 1 bedeutet, dass die unabhängige Variable (oder mehrere Variablen) ein Vorkommen exakt vorhersagt (BRUIN 2006).

Der R-Befehl lautet *glm* (Abhängige Variable ~ Unabhängige Variable) (CRAWLEY 2013). Der Befehl *mtable* (Lineares Modell), enthalten im Paket *memisc* (ELFF 2013), liefert die Auswertung der Ergebnisse. Für die Auswahl der besten Modelle ist neben dem R^2 -Wert insbesondere die Signifikanz entscheidend.

Da zu Beginn der Untersuchungen nicht bekannt ist, ob die Beziehungen zwischen der Revierwahl bzw. dem Bruterfolg und den unabhängigen Variablen linear ist („sigmoid“) oder ob im Verlauf der Ausprägung ein Optimum besteht („unimodal“), werden 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 & WESCHE 2007).

Aus dem Pool der signifikanten Variablen werden anschließend multivariate Modelle erstellt. Um zu überprüfen, ob das Hinzufügen einer weiteren Variablen das Modell signifikant verbessert, werden die Modelle mit einer Varianzanalyse verglichen. Ein p-Wert von > 0,05 bedeutet, dass die Erweiterung des Modells die Erklärung der Gesamtvarianz nicht signifikant verbessert (DORMANN & KUHN 2008). Ziel ist es ein möglichst schlankes Modell mit hohem R^2 -Wert zu erzeugen.

Neben der Signifikanz des Modells und des Nagelkerke- R^2 Werts werden weitere schwellwert-unabhängige Gütemaße zur Modellbewertung zu Rate gezogen. Zu dieser Kategorie gehört die „Receiver Operating Characteristic (ROC) – Kurve“. Hierfür wird in ein Diagramm die „Sensitivität“ als Ordinate und „1 – Spezifität“ als Abszisse eingetragen.

Sensitivität:

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

Spezifität:

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

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 (AUC) – Wert“. Die Modellgüte lässt sich anhand dieses Wertes gemäß der Einteilung aus Tabelle 4 interpretieren.

Tabelle 3: Interpretation des AUC-Werts,
Quelle: Hosmer & Lemeshow (2000)

AUC-Wert	Modellgüte
= 0,5	Zufallsmodell
> 0,7 < 0,8	Akzeptabel
> 0,8 < 0,9	Exzellente
> 0,9	Hervorragend

5.2.4 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 Multikollinearität 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.* 2006; DORMANN *et al.* 2013). Als Indikator für Multikollinearität dient der Korrelationskoeffizient. DORMANN *et al.* (2013) ermittelten in ihrer Studie einen rho-Grenzwert von 0,7.

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

5.3 Entwicklung der Revier- und Brutdichten in unterschiedlichen Entfernungen zu den WEA

Um mögliche Unterschiede bei der Revierzahl, dem Brutbestand sowie dem Bruterfolg in unterschiedlichen Entfernungen zu WEA zu ermitteln, werden zunächst verschiedene Entfernungszonen um die WEA festgelegt. Innerhalb der Entfernungszonen wird die Dichte der Reviere, Bruten sowie erfolgreichen Bruten ermittelt. Zum Vergleich der einzelnen unterschiedlich großen Entfernungszonen untereinander wird jeweils die normalisierte Dichte pro 100 km² angegeben.

5.3.1 Festlegung der Entfernungszonen

Der Startpunkt der angegebenen Radien ist in diesem Fall der Standort der einzelnen WEA bzw. die äußere Grenze von Windparks. Der Einfluss wird somit im Vergleich zu der Herangehensweise in Kap. 5.2.1 in umgekehrter Richtung dargestellt (Radien nicht um Brutplätze, sondern um WEA). Unterschiede in der Dichte der Reviere/Bruten innerhalb der unterschiedlichen Entfernungszonen um die WEA können den potentiellen Einfluss der Windenergie auf die Rotmilanbestände widerspiegeln.

Als „**Nahbereich**“ wird eine maximale Entfernung von 1.500 m zu Windenergie definiert. An den „Nahbereich“ schließt der „**Prüfbereich**“ an (1.500-4.000 m, vgl. Kap. 5.2.1).

Als „**Fernbereich**“ werden Flächen im Kreis Paderborn definiert, die sich weiter als 4.000 m von WEA entfernt befinden. Für diese Bereiche wird als Arbeitshypothese ein Einfluss von WEA auf Rotmilane während der Brutzeit ausgeschlossen.

Zusätzlich wird als weitere Entfernungszone ein Bereich von 1.500 m bis 2.250 m als **Referenz** festgelegt. Die Flächengröße dieses Bereichs entspricht in etwa der Flächengröße des Nahbereichs, um bei den Analysen den Einfluss zunehmender Flächengrößen zu mindern, da diese zunehmend auch für Rotmilane ungeeignete Habitate enthalten, so dass großräumige Dichten meist geringe sind als kleinräumige.

Als zusätzlicher Vergleichswert wird die Dichte innerhalb des **gesamten Kreises Paderborn** für das jeweilige Untersuchungsjahr gegenübergestellt. Weitere Dichteangaben können entsprechender Literatur entnommen werden.

In Tabelle 4 ist eine Übersicht der einzelnen Entfernungszonen aufgeführt.

Tabelle 4: Entfernungszonen um die WEA-Standorte, Ergänzungen

Bezeichnung	Entfernung ¹ /Bereich	Bemerkung
Nahbereich	0-1.500 m	
Prüfbereich	1.500-4.000 m	
Fernbereich	> 4.000 m	Bereiche ohne Einfluss von Windenergie
Referenz	1.500-2.250 m	Flächengröße ungefähr entsprechend dem Nahbereich
Gesamt Paderborn	Fläche des Kreises Paderborn	

¹ maximale Entfernung zu WEA

5.3.2 Vergleich der Dichten

Für die Revierdichten können Ergebnisse für die Jahre 2010 bis 2016 ermittelt werden. Für die Brutdichte beginnt der Betrachtungszeitraum ab 2012. Für die Dichte der erfolgreichen Bruten können lediglich die Werte für die Jahre 2013 und 2016 ermittelt werden (vgl. Kap. 4.1).

Für die Revierdichte stehen somit Stichprobengruppen (in den Entfernungszonen) mit sieben Werten, für die Brutdichte mit fünf Werten zur Verfügung. Die Wertepaare der Stichprobengruppen sind dabei unabhängig zueinander, die Werte innerhalb einer Stichprobengruppe jedoch nicht, da Rotmilane zu einer deutlichen Reviertreue neigen (SCHNEIDER *et al.* 1987).

Als statistischer Test zum Vergleich zweier abhängiger Stichproben wurde der Friedman-Test gewählt (FRIEDMAN 1937). Dabei wird geprüft, ob die Unterschiede zwischen den beiden Stichproben zufällig oder nicht zufällig sind. Der Schwellenwert beträgt $p < 0,05$.

Der Friedman-Test findet Anwendung wenn mehrere Messungen der selben abhängigen Variable zu unterschiedlichen Zeitpunkten oder unter verschiedenen Einflüssen (in diesem Fall Entfernungszonen) durchgeführt wurden und die Voraussetzungen der parametrischen Varianzanalyse mit wiederholten Messungen nicht gegeben sind.

Da in diesem Fall mehr als zwei Stichprobengruppen untersucht werden, wird zur Identifizierung von nicht-zufälligen Unterschieden der Nemenyi Test als post-hoc Test durchgeführt (NEMENYI 1963).

Der R-Befehl zur Durchführung des Friedman-Tests lautet `friedman.test()`. Der anschließende post-hoc Test wird über den Befehl `posthoc.friedman.nemenyi.test()` aufgerufen und ist im Paket *PMCMR* enthalten (POHLERT 2014).

5.3.3 Entwicklung der Dichten in den unterschiedlichen Entfernungszonen

Mögliche signifikante Trends der Revier- und Brutdichten in den unterschiedlichen Entfernungszonen werden analog zur beschriebenen Methodik in Kap. 5.1 mit Hilfe univariater linearer Regressionen ermittelt.

5.3.4 Ermittlung der Standorttreue

Nach den Ergebnisse von SCHNEIDER *et al.* (1987) wurden in drei nordhessischen Untersuchungsgebieten die Rotmilan-Revierstandorte zu 50 Prozent mindestens fünf Jahre lang genutzt. In jedem Revier sind etwa ein bis drei Wechselhorste zu finden, die alternativ genutzt werden können. Nach erfolgreichen Bruten wird der Horst im nächsten Jahr häufig wieder genutzt. Nach einer erfolglosen Brut ist die erneute Nutzung hingegen weniger wahrscheinlich (SCHNEIDER *et al.* 1987). Der Anteil der Standorttreue im Nah- und Prüfbereich, könnte daher einen Hinweis auf die Wechselwirkung zwischen Bruterfolg und Windenergie liefern.

Um die Revier- bzw. Horsttreue annähernd bestimmen zu können wurde die Entfernung der Revierstandorte zum nächstgelegenen Revierstandorte aus dem Vorjahr ermittelt. Eine Entfernung von weniger als 1.500 m wird

so interpretiert, dass ein Alternativ-Horst im selben Revier gewählt wurde. Bei einer Entfernung von weniger als 200 m wird angenommen, dass derselbe Horst ein weiteres Mal genutzt wurde. Die relativ große Entfernung von 200 m wurde aufgrund von Digitalisierungs-Ungenauigkeiten im GIS gewählt. Mit dieser Methode kann nicht ausgeschlossen werden, dass die beiden nächstgelegenen Revierstandorte in zwei Untersuchungsjahren von zwei unterschiedlichen Brutpaaren genutzt wurden.

5.4 Vergleich der Revier- und Brutdichte vor und nach dem Bau einzelner WEA/Windparks

Nachdem die vorangegangenen Untersuchungen einen allgemeineren, größer skalierten Zusammenhang zwischen dem Rotmilanbestand und der Windenergie im Kreis Paderborn nachweisen sollen, zielt die nachfolgende Untersuchung auf kleinräumigere Veränderung im Bereich von einzelnen Windparks ab.

Es soll überprüft werden, ob es durch den Einfluss der WEA zu signifikanten Änderungen der Dichte im definierten Einflussbereich der Anlagen kommt. Hierfür werden die Dichten der Rotmilanreviere und -bruten in den Untersuchungsjahren vor, während und nach der Inbetriebnahme einzelner Windparks verglichen. Eine signifikante Abnahme der Dichten nach der Inbetriebnahme würde eine lokale Beeinflussung der Art (z.B. infolge einer erhöhten Kollisionsopferzahl) durch die WEA nahelegen, die eventuell in der Gesamtbetrachtung untergeht.

Aufgrund der im Vergleich zur Betrachtung aller WEA geringeren untersuchten Fläche erfolgt die Berechnung der Dichte für eine normalisierte Fläche von 10 km². Dadurch soll der Einfluss von Hochrechnungen geringgehalten werden.

5.4.1 Auswahl der Windparks

Damit der Einfluss von umliegenden WEA auf die zu betrachtenden Flächen möglichst gering ist, wurde als Voraussetzung für die Auswahl von Windparks für die Vorher-Nachher-Betrachtung ein Abstand von mindestens 1.500 m, optimalerweise von mehr als 4.000 m festgelegt.

Zur Auswertung des Vorher/Nachher-Vergleichs des Einflusses der Windenergie bieten sich in erster Linie Windparks an, die in der Mitte des untersuchten Zeitraums von 2010 bis 2016 in Betrieb genommen wurden. So stehen sowohl Untersuchungsjahre vor als auch nach der Inbetriebnahme zur Verfügung.

5.4.2 Kontrollfläche

Um zu überprüfen, ob eine mögliche Änderung der Dichten auf den Einfluss der örtlichen WEA zurückzuführen ist oder allgemeinen Bestandsentwicklungen unterliegt, ist der Vergleich mit einer von WEA unbeeinflussten Kontrollfläche zwingend notwendig.

Die ausgewählte Fläche muss hierfür in der Ausprägung der Habitatparameter mit den Windparkflächen vergleichbar sein. Ebenso gilt die Einhaltung eines Mindestabstands von 1.500 m, optimalerweise von mehr als 4000 m zu WEA.

5.4.3 Entwicklung der Revier- und Brutdichten

Mögliche signifikante Trends der Revier- und Brutdichten im Bereich der untersuchten Windparks sowie der Referenzfläche werden analog zur beschriebenen Methodik in Kap. 5.1 mit Hilfe univariater linearer Regressionen ermittelt.

6. Ergebnisse

6.1 Entwicklung des Rotmilanbestands und der Windenergie im Kreis Paderborn

6.1.1 Entwicklung der Windenergienutzung im Kreis Paderborn (2000 bis 2019)

Die Anzahl der WEA im Kreis Paderborn ist von 27 Anlagen im Jahr 2000 auf 413 Anlagen Anfang des Jahres 2019 angestiegen (vgl. Abbildung 2), was einer Zunahme um annähernd das Zwanzigfache entspricht. Im Untersuchungszeitraum von 2010 bis 2016 erhöhte sich die Anzahl von 145 Anfang des Jahres 2010 auf 333 Anlagen am Ende des Jahres 2016. Ein besonders starker Zuwachs der Windenergie lässt sich seit dem Jahr 2012 beobachten. In der Auflistung sind ebenfalls Rückbauten (im Zuge von Repowering-Maßnahmen) enthalten, welche jeweils in den Bestandszahlen abgezogen wurden. Die Angaben zum Rückbau beginnen ab dem Jahr 2015 und umfassen alle Anlagen, die dem Anlagenregister gemeldet worden sind. Es ist somit nicht auszuschließen, dass zeitweise vereinzelt weitere Anlagen im Kreis Paderborn in Betrieb waren. Die im Jahr 2019 aufgelisteten WEA entsprechen jedoch dem aktuellen Bestand.

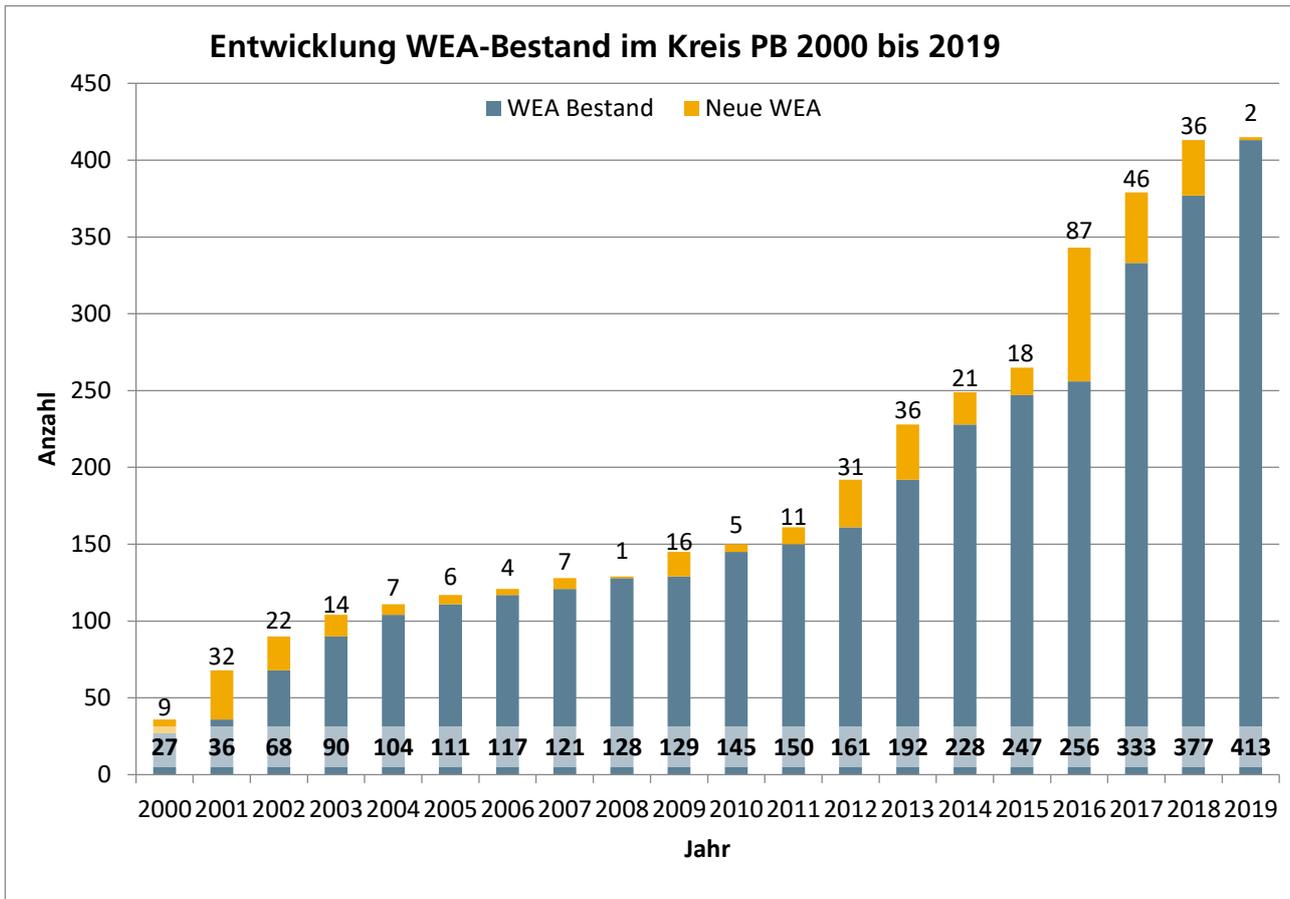


Abbildung 2: Entwicklung der WEA-Anzahl im Kreis Paderborn

Entsprechend des technischen Fortschritts nahmen die Höhe sowie der Rotordurchmesser der neu installierten Anlagen kontinuierlich zu (vgl. Abbildung 3). So erhöhte sich die durchschnittliche Anlagendimension von 109 m Anlagenhöhe sowie 80 m Rotordurchmesser im Jahr 2010 auf 138 m Anlagenhöhe und 102 m Rotordurchmesser im Jahr 2016.

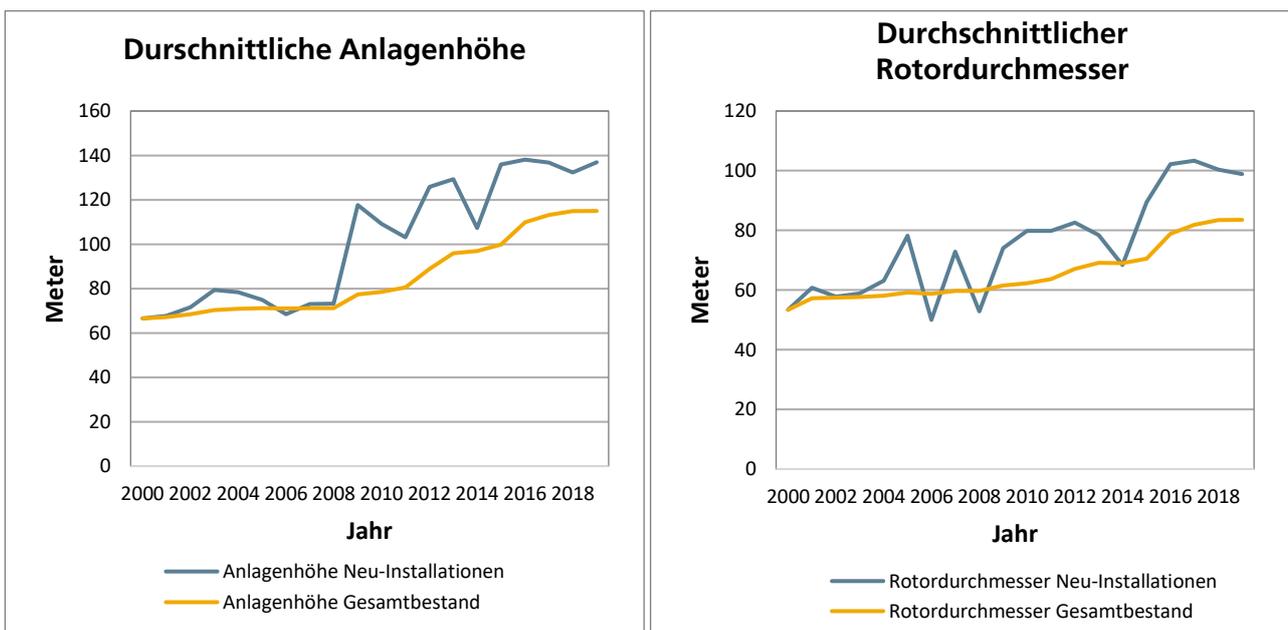


Abbildung 3: Entwicklung der Anlagenhöhe und des Rotordurchmessers der WEA im Kreis Paderborn

6.1.2 Entwicklung des Rotmilanbestands im Kreis Paderborn (2010 bis 2016)

Im Betrachtungszeitraum schwankt die während der Kartierungen durch die Biologische Station Kreis Paderborn-Senne festgestellte Anzahl an Rotmilan Revieren (inkl. Revierverdacht) zwischen einem Minimum von 66 Revieren im Jahr 2011 und einem Maximum von 95 Revieren im Jahr 2013 (vgl. Abbildung 4).

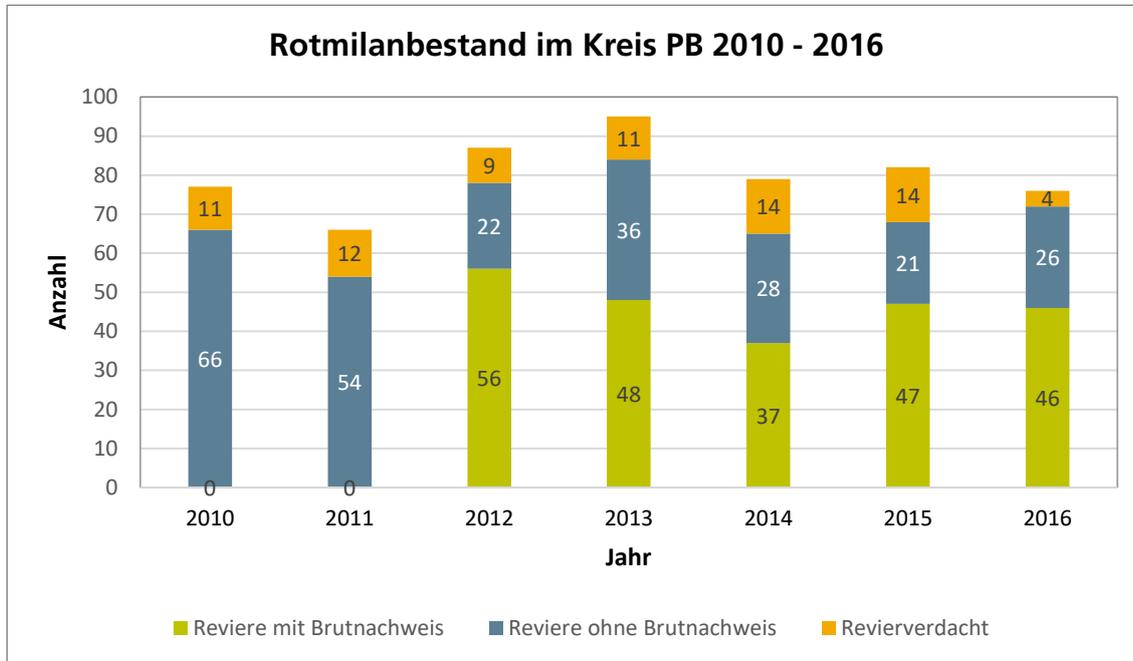


Abbildung 4: Entwicklung des Rotmilanbestands im Kreis Paderborn (2010 bis 2016), Quelle: BIOLOGISCHE STATION KREIS PADERBORN - SENNE (2016)

Die Spanne der festgestellten Rotmilanbruten (Zeitraum 2012 bis 2016) reicht von 37 Bruten im Jahr 2014 bis 56 Bruten im Jahr 2012. Der ermittelte Bruterfolg schwankt stark zwischen ca. 55 Prozent und knapp 90 Prozent (vgl. Tabelle 5). Die durchschnittliche Anzahl Junge pro Brut liegt in den letzten drei Untersuchungsjahren jeweils bei mindestens 2,0.

Tabelle 5: Entwicklung des Rotmilan-Bruterfolgs im Kreis Paderborn (2012 bis 2016)

Jahr	Anzahl Reviere	Anzahl Bruten	Anteil Bruten [%]	Bruterfolg [%]	Anzahl Junge pro Brut ¹	Mindestanzahl Junge gesamt ²
2012	87	56	64,4	k.A.	1,5	k.A.
2013	95	48	55,0	55,0	1,3	k.A.
2014	79	38	48,1	89,5	2,2	k.A.
2015	82	47	57,3	83,0	2,0	64
2016	76	46	60,5	54,3	2,0	51

¹ Die Anzahl kontrollierte Horste liegt zwischen 15 und 32 (keine vollständige Kontrolle aller Brutplätze)

² Während der Kartierungen festgestellte Anzahl Jungtiere

Die durchgeführte lineare Regression konnte keine signifikant negative oder positive ($p > 0,05$) Entwicklung der Revier- und Brutzahlen des Rotmilans im Kreis Paderborn für den Untersuchungszeitraum 2010 (bzw. 2012) bis 2016 nachweisen (vgl. Abbildung 5)). Ein Einfluss der dargestellten Zunahme der WEA-Anzahl und -größe ist hieraus somit nicht zu erkennen.

Auf eine Trendermittlung des Bruterfolgs sowie der weiteren Parameter wurde aufgrund der kleinen Stichprobe sowie der Beeinflussungen durch den Erfassungsaufwand verzichtet.

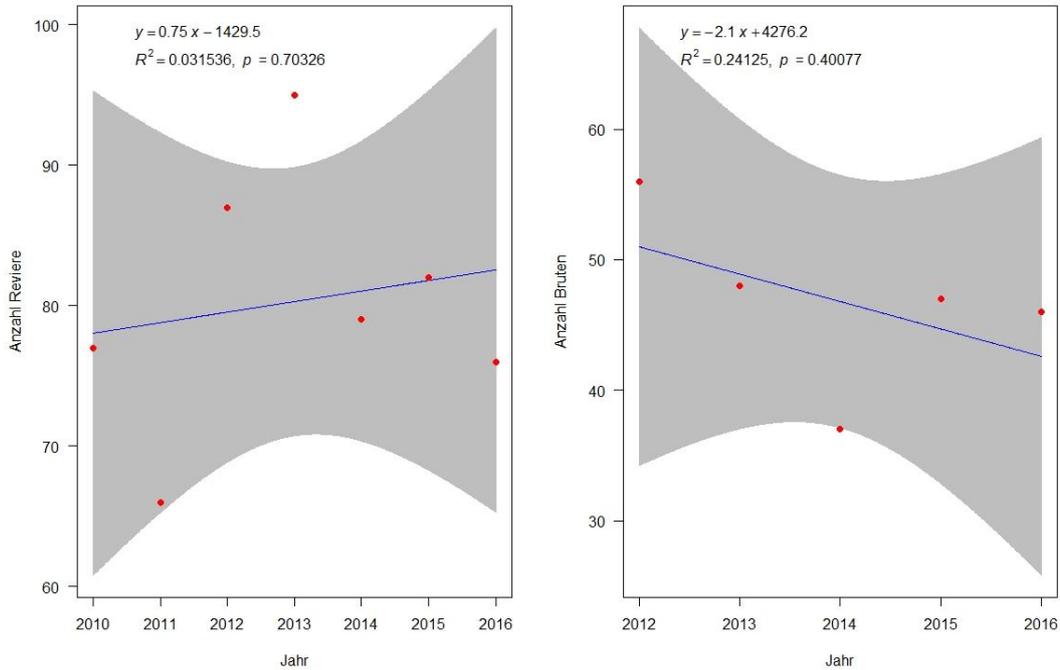


Abbildung 5: Ergebnis der linearen Regression zur Überprüfung eines Trends der Rotmilan-Revier- und Brutzahlen
Rote Punkte = Anzahl Reviere im Untersuchungsjahr, blaue Linie = Regressionslinie, graue Fläche = Konfidenzintervall

6.1.3 Räumliche Verteilung von WEA und Rotmilanen im Kreis Paderborn

Wie aus Abbildung 6 ersichtlich konzentrieren sich die WEA auf den südlichen und östlichen Teil des Kreises Paderborn. Über diesen Bereich erstreckt sich die windreiche Paderborner Hochfläche einschließlich der Mittelgebirge. In den beiden weiteren dargestellten Landschaftsräumen, „Westfälische Bucht“ sowie „Haarstrang und Hellwegbörde“ befinden sich im Jahr 2016 nur 18 der 331 WEA des gesamten Kreises Paderborn.

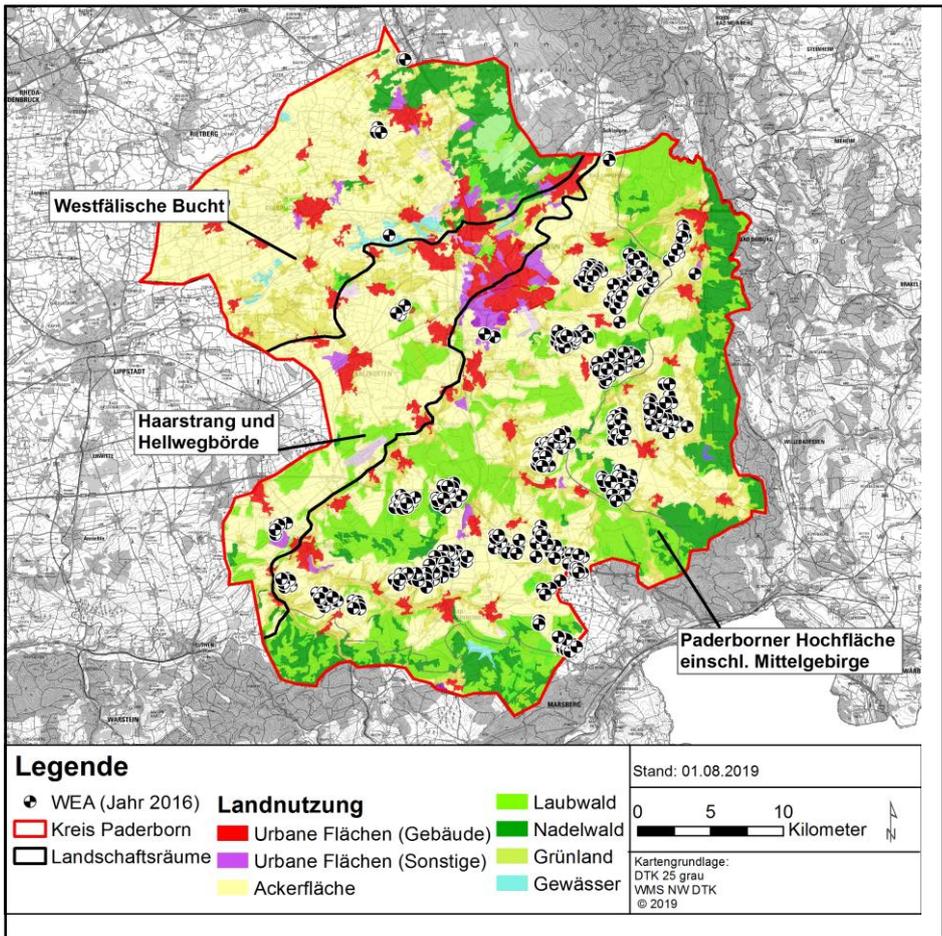


Abbildung 6: Lage der WEA im Kreis Paderborn im Jahr 2016

Die Standorte der WEA konzentrieren sich auf die Ackerflächen. Waldflächen sowie urbane Gebiete befinden sich in geringem Anteil in den Randbereichen des weiteren Umfelds (1.500 m Radius) der Anlagen (vgl. Abbildung 7).

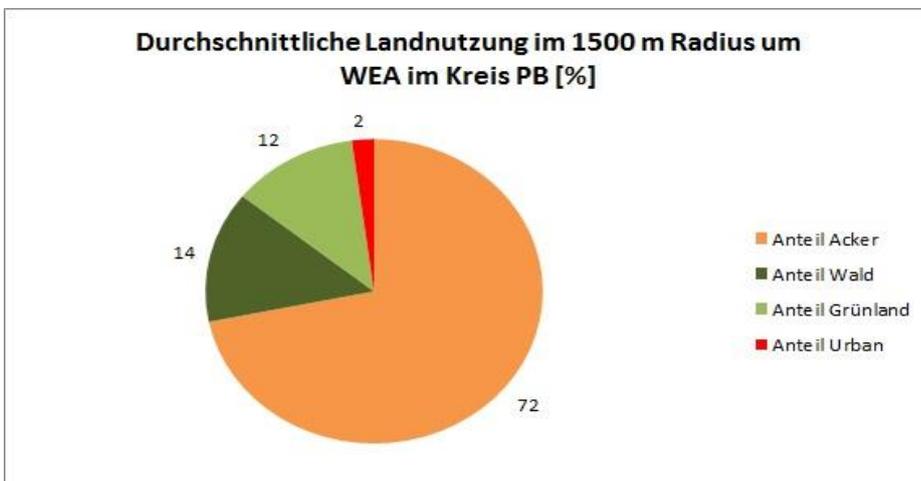


Abbildung 7: Durchschnittlicher Anteil der Landnutzungstypen im Umfeld der WEA im Kreis Paderborn

Der χ^2 -Test ergab für jedes der Untersuchungsjahre eine deutlich geklumppte Verteilung der Revierstandorte. Wie die WEA konzentrieren sich auch die Reviere der Rotmilane auf den Naturraum Paderborner Hochfläche einschließlich Mittelgebirge (vgl. Abbildung 8).

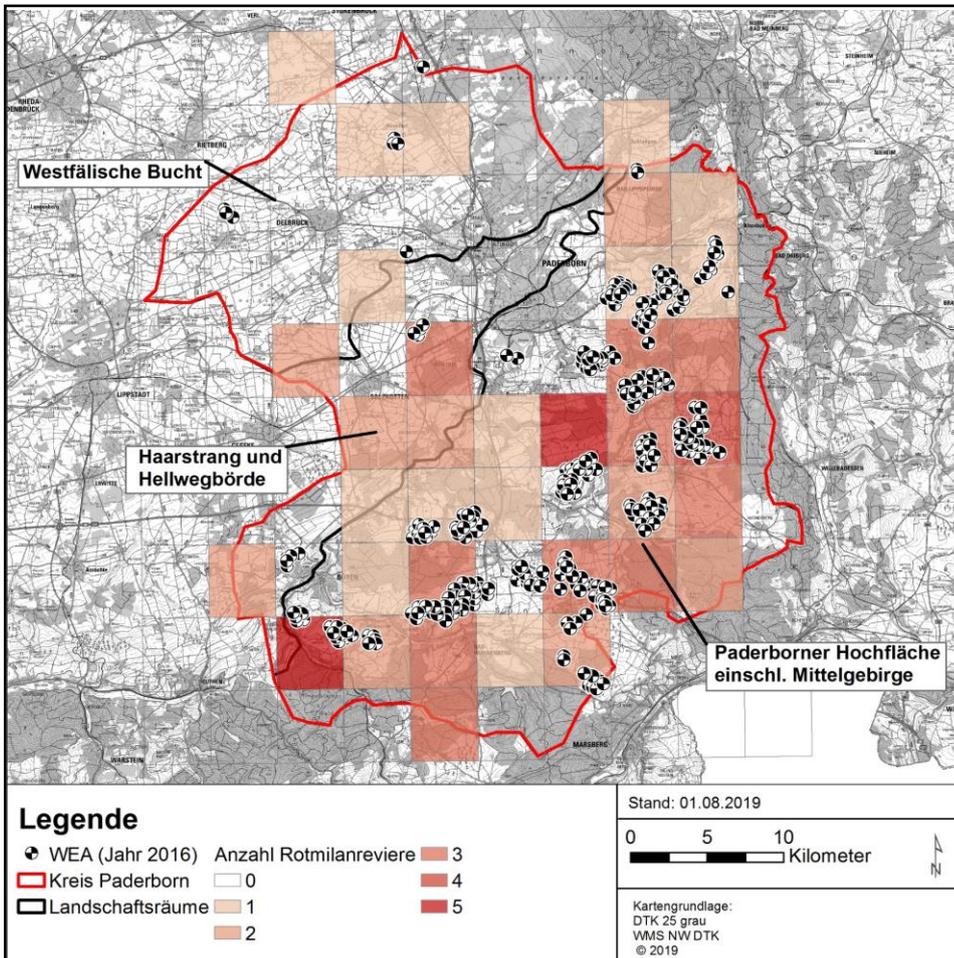


Abbildung 8: Verteilung der Rotmilanreviere über den Kreis Paderborn im Jahr 2016, Rastergröße = 25 km²

6.2 Ermittlung der Abhängigkeit von Brutbestand und Bruterfolg von der Entfernung zu den WEA sowie weiteren Habitatparametern

6.2.1 Vergleich der Habitatparameter

6.2.1.1 Revier- und Nicht-Revierstandorte

Im Vergleich der Revier- und der zufällig erstellten Nicht-Revierstandorte zeigen sich über den Untersuchungszeitraum durchgehend signifikante Unterschiede der Habitatparameter Anteil Acker, Anteil Offenland und Anteil Wald (Ausnahme 2010) im 1.500 m Radius um das jeweilige Revier-Zentrum (vgl. Tabelle 6). Im 4.000 m Radius bestehen diese Unterschiede ebenfalls, sind jedoch im Schnitt weniger stark signifikant.

Bei den WEA-bezogenen Habitatparametern bestehen hingegen nur vereinzelt signifikante Unterschiede. Demnach üben das Vorhandensein von Offenland- bzw. Waldflächen einen deutlich größeren Einfluss auf die räumliche Verteilung der Rotmilanreviere aus als die Nähe zur Windenergieanlagen.

Tabelle 6: Vergleich der Habitatparameter von Revier- und Nicht-Revierstandorten, Ergebnisse eines Mann-Whitney U-Tests

Variable \ Jahr		Jahr						
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Anzahl WEA 1.500 m		> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Anzahl WEA 4.000 m		> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	0,029*
Entfernung WEA		> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Anlagenhöhe		> 0,05	> 0,05	0,020*	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Rotordurchmesser		> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
1.500 m Radius	Anteil Acker	0,022*	0,008**	0,000***	0,001***	0,027*	0,006**	0,006**
	Anteil_Gewässer	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
	Anteil_Grünland	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
	Anteil Urban	> 0,05	0,0258*	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
	Anteil Wald	> 0,05	0,016*	0,001**	0,000***	0,031*	0,032*	0,033*
	Anteil Offenland	0,040*	0,009**	0,000***	0,001***	0,013*	0,007**	0,011**
4.000 m Radius	Anteil Acker	0,036*	0,021*	0,002**	0,000***	0,010**	0,0103*	0,002**
	Anteil Gewässer	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
	Anteil Grünland	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
	Anteil Urban	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
	Anteil Wald	> 0,05	> 0,05	0,035*	0,004**	> 0,05	> 0,05	0,033*
	Anteil Offenland	> 0,05	> 0,05	0,005**	0,000***	0,014*	0,021*	0,003**

Signifikanzniveau: $p \leq 0,05$ = signifikant; $p \leq 0,01$ = sehr signifikant; $p \leq 0,001$ = hoch signifikant

In Abbildung 9 ist beispielhaft für das Jahr 2011 die Ausprägung der Unterschiede der Landnutzung im 1.500 m Radius um die Revier-Zentren dargestellt. Die Unterschiede entsprechen im Verhältnis den Ergebnissen der anderen Untersuchungsjahre sowie des 4.000 m Radius. Unterschiede beim Anteil der urbanen Flächen konnten nur im Jahr 2011 nachgewiesen werden.

Die Revierstandorte (dargestellt als 1 in der Abbildung) unterscheiden sich insofern von den Nicht-Revierstandorten (dargestellt als 0 in der Abbildung), als das sie über einen signifikant höheren Anteil an Acker- und Offenlandfläche verfügen. Der Anteil von Waldfläche ist hingegen signifikant geringer.

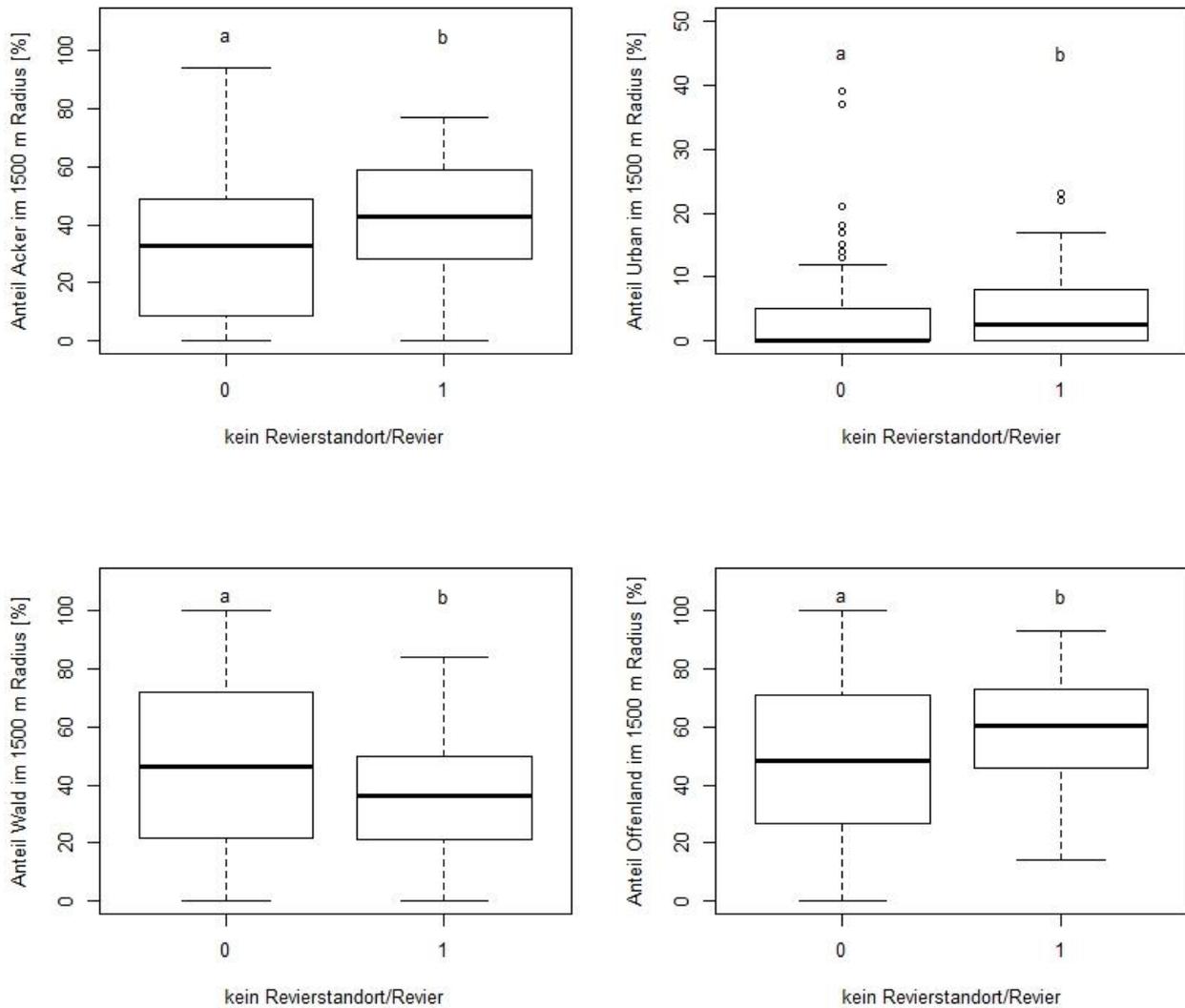


Abbildung 9: Signifikante Unterschiede der Landnutzungs-Habitatparameter von Revier- und Nicht-Revierstandorten im Jahr 2011. Ergebnis eines Mann-Whitney U-Test (Signifikanzniveau $p < 0,05$)

Was die anlagenspezifischen Parameter betrifft, so war die durchschnittliche Anlagenhöhe der nächstgelegenen WEA an den Revierstandorten im Jahr 2012 signifikant geringer. Im Jahr 2016 war die Anzahl der WEA im 4.000 m Radius um die Revierstandorte signifikant höher (vgl. auch Abbildung 10).

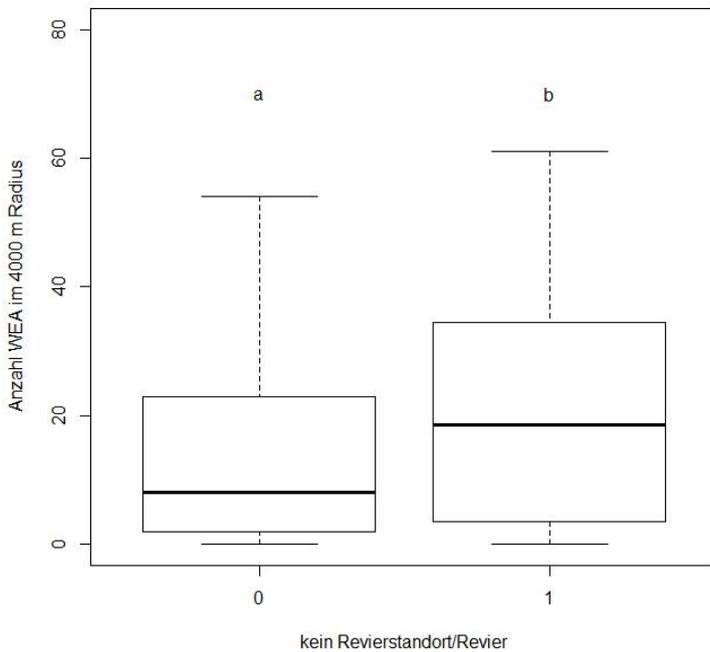


Abbildung 10: Signifikante Unterschiede der Anzahl WEA im 4.000 m Radius um Revier- und Nicht-Revierstandorte im Jahr 2016
Ergebnis eines Mann-Whitney U-Test (Signifikanzniveau $p < 0,05$)

6.2.1.2 Brut- und Nicht-Brutstandorte

Die Ergebnisse des Vergleichs zwischen Brut- und Nicht-Brutstandorten sind vergleichbar mit denen zwischen Revier- und Nicht-Revierstandorten. So bestehen regelmäßig Unterschiede bei Landnutzungs-Habitatparametern, allerdings sind diese nicht so stetig und weniger stark signifikant (vgl. Tabelle 7). Hinzu kommen zudem Unterschiede bei dem Anteil von Gewässern im 4.000 m Radius.

Unterschiede bei den WEA-bezogenen Habitatparametern bestehen ausschließlich im Jahr 2015.

Die Ausprägung der Unterschiede ist ebenfalls mit den Ergebnissen des Vergleichs von Revier- und Nicht-Revierstandorten vergleichbar. An Brutstandorten ist der Anteil von Acker und Offenland signifikant höher, der Anteil von Wald signifikant geringer als an Nicht-Brutstandorten.

Tabelle 7: Vergleich der Habitatparameter von Brut- und Nicht-Brutstandorten
Ergebnisse eines Mann-Whitney U-Tests

		Jahr				
		2012	2013	2014	2015	2016
Variable						
Anzahl WEA 1.500 m		> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Anzahl WEA 4.000 m		> 0,05	> 0,05	> 0,05	0,009**	> 0,05
Entfernung WEA		> 0,05	> 0,05	> 0,05	0,006**	> 0,05
Anlagenhöhe		> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Rotordurchmesser		> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
1.500 m Radius	Anteil Acker	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
	Anteil Gewässer	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
	Anteil Grünland	0,047*	> 0,05	> 0,05	0,040*	> 0,05
	Anteil Urban	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
	Anteil Wald	0,008**	0,011*	> 0,05	> 0,05	0,048*
	Anteil Offenland	0,008**	0,020*	> 0,05	> 0,05	0,050*
4.000 m Radius	Anteil Acker	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
	Anteil Gewässer	0,006**	0,003**	> 0,05	> 0,05	> 0,05
	Anteil Grünland	0,030*	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
	Anteil Urban	> 0,05	> 0,05	0,010*	> 0,05	> 0,05
	Anteil Wald	0,018*	0,048*	> 0,05	> 0,05	> 0,05
Anteil Offenland	0,010**	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	

Signifikanzniveau: $p \leq 0,05$ = signifikant; $p \leq 0,01$ = sehr signifikant; $p \leq 0,001$ = hoch signifikant

Die einzigen signifikanten Unterschiede von WEA-spezifischen Habitatparametern im Jahr 2015 stellen sich so dar, dass an Brutstandorten die Entfernung zur nächstgelegenen WEA geringer und die Anzahl an WEA im 4.000 höher ist als an Nicht-Brutstandorten (vgl. Abbildung 11).

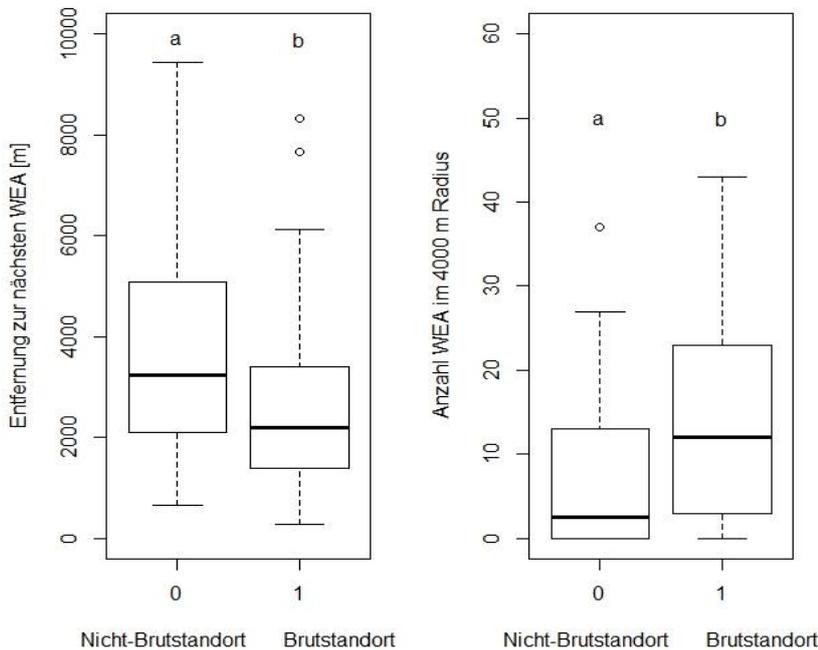


Abbildung 11: Signifikante Unterschiede der anlagespezifischen Habitatparameter von Brut- und Nicht-Brutstandorten im Jahr 2015
Ergebnis eines Mann-Whitney U-Test (Signifikanzniveau $p < 0,05$)

6.2.1.3 Erfolgreiche Brutstandorte und nicht-erfolgreiche Brutstandorte

Ein standortbezogener Vergleich des Bruterfolgs konnte für die Jahre 2013 und 2016 durchgeführt werden. In diesen beiden Jahren ist für alle erfassten Reviere der Bruterfolg von der Biologischen Station erfasst worden. Der durchgeführte Mann-Whitney U-Test konnte jedoch keine signifikanten Unterschiede der verfügbaren Habitatparameter von erfolgreichen und nicht-erfolgreichen Brutstandorten nachweisen.

6.2.2 Modellierung der Revier- und Brutwahrscheinlichkeit

6.2.2.1 Test auf Korrelation

Der durchgeführte Korrelationstest ergab hohe Korrelationen zwischen mehreren Variablen über den gesamten Untersuchungszeitraum.

Es besteht zwangsläufig ein hoher Zusammenhang zwischen dem Anteil der flächenmäßig größten Landnutzungstypen „Anteil Acker“, „Anteil Grünland“, „Anteil Wald“ einerseits und dem „Anteil Offenland“ andererseits. Dieser Zusammenhang besteht sowohl untereinander als auch jeweils zwischen dem Betrachtungsraum Radius 1.500 m und 4.000 m.

Bei den WEA-bezogenen Variablen besteht ein starker Zusammenhang zwischen der Höhe und dem Rotordurchmesser der nächstgelegenen WEA.

Aufgrund von Multikollinearität muss somit auf die Verwendung dieser Variablen-Paare innerhalb eines multivariaten Modells verzichtet werden.

6.2.2.2 Wahl des Reviers

Univariate Modelle

Für elf Habitatparameter ergab die univariate Modellierung einen signifikanten Zusammenhang mit der Verteilung von Revier- und Nicht-Revierstandorten des Rotmilans für die jeweils untersuchten Jahre 2010 bis 2016 (vgl. Tabelle 9).

Die Modelle mit den Variablen „Anteil Acker“, „Anteil Wald“ und „Anteil Offenland“ sind mit der höchsten Steigung signifikant und erreichen regelmäßig die höchsten Nagelkerke- R^2 Werte. Modelle mit WEA-bezogenen Variablen sind nur vereinzelt signifikant.

Generell liefern die Modelle mit unimodalen Variablen die höheren Nagelkerke-R² Werte. Eine Übersicht der Wirkrichtungen der getesteten Variablen ist in Tabelle 8 enthalten.

Tabelle 8: Wirkrichtung der univariaten Modelle für die Revierwahl des Rotmilans, Ergänzungen

Variable	Wirkrichtung ¹
Anzahl WEA 4.000 m Radius	+ / - unimodal
Anlagenhöhe	-
Anteil Acker 1.500 m	+ / - unimodal
Anteil Urban 1.500 m	+
Anteil Wald 1.5000 m	+ / - unimodal
Anteil Offenland 1.500 m	+
Anteil Acker 4.000 m	+ / - unimodal
Anteil Gewässer 4.000 m	-
Anteil Wald 4.000 m	+ / - unimodal
Anteil Offenland 4.000 m	+

¹ + = je größere die Werte der Variable, desto höher die Vorkommenswahrscheinlichkeit,
 - = je größer die Werte der Variable, desto kleiner die Vorkommenswahrscheinlichkeit,
 + / - = unimodaler Zusammenhang, die Vorkommenswahrscheinlichkeit erreicht ihr Maximum bei einem bestimmten Wert der Variable (vgl. Kap. 5.2.3)

Tabelle 9: Nagelkerke-R² Werte der univariaten Modelle für die RevierwahlDie Nagelkerke-R² Werte sind lediglich für signifikante sigmoidale und unimodale Modelle dargestellt (Signifikanzniveau siehe Ende der Tabelle)

		Nagelkerke-R ²													
Variable	Jahr	2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016	
		sig	uni	sig	uni	sig	uni	sig	uni	sig	uni	sig	uni	sig	uni
Anzahl WEA 1.500 m		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Anzahl WEA 4.000 m		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,047*	0,047*
Entfernung WEA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Anlagenhöhe		-	-	-	-	0,036*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rotordurchmesser		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.500 m Radius	Anteil Acker	0,043*	0,046*	0,053***	0,071*	0,093***	0,102***	0,113***	0,119***	0,041*	0,044*	0,060**	0,067**	0,061**	0,071**
	Anteil Gewässer	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Anteil Grünland	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Anteil Urban	-	-	-	0,054*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,056*
	Anteil Wald	0,030*	0,115***	0,060***	0,183***	0,090*	0,167***	0,105***	0,122***	0,042*	0,092**	0,040*	0,109***	0,043*	0,104***
	Anteil Offenland	0,039*	-	0,065***	-	0,115***	-	0,124***	-	0,055*	-	0,060**	-	0,059**	-
4.000 m Radius	Anteil Acker	0,033*	-	0,044*	0,051*	0,067**	0,069**	0,101***	0,101***	0,057**	0,059*	0,056**	0,058*	0,081***	0,088**
	Anteil Gewässer	-	0,049*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Anteil Grünland	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Anteil Urban	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Anteil Wald	-	-	-	0,152***	0,039*	0,05*	0,065**	0,07**	0,032*	0,073**	-	-	0,042*	0,066*
	Anteil Offenland	0,030*	-	0,033*	-	0,065**	-	0,102**	-	0,054**	-	0,050**	-	0,075**	-

Signifikanzniveau: $p \leq 0,05$ = signifikant*; $p \leq 0,01$ = sehr signifikant**; $p \leq 0,001$ = hoch signifikant***; - = Modell nicht signifikant

Multivariate Habitatmodelle und Prognose der Habitataignung

Die berechneten Habitatmodelle zeigen, dass die Revierwahl der Rotmilane im Kreis Paderborn in erster Linie abhängig vom Anteil der Wald- und Offenlandfläche ist. Dabei spielt der Anteil von Acker eine deutlich größere Rolle als die Verfügbarkeit von Grünland. „Gute“ Rotmilanreviere sind gekennzeichnet durch einen Waldanteil von deutlich unter 50 Prozent im 1.500 m Radius um den Horst. Die Horstbäume befinden sich jedoch überwiegend am Waldrand oder in Feldgehölzen, Einzelbäume in der Kulturlandschaft werden seltener gewählt (Quelle: Revierdaten der Biologischen Station Paderborn + Senne). Der Anteil von Offenland (Ackerfläche) ist möglichst hoch.

Insbesondere aufgrund der festgestellten Multikollinearität zwischen den Landnutzungshabitatparametern konnten keine multivariaten Modelle gebildet werden bzw. erhöhte sich der Informationsgewinn durch die Hinzunahme einer weiteren Variable nicht signifikant. In allen Untersuchungsjahren konnte durch den Anteil an Waldfläche im 1.500 m Radius die meiste Varianz erklärt werden (vgl. Tabelle 10).

Tabelle 10: Die besten (multivariaten) Modelle für Rotmilanreviere mit Gütemaß und Wirkrichtung; Ergänzungen

Jahr	Variable 1 und 2	Wirkrichtung	R ²	AUC
2010	Anteil Wald 1500 m	unimodal	0,115	0,639
	-	-		
2011	Anteil Wald 1500 m	unimodal	0,183	0,703
	-	-		
2012	Anteil Wald 1500 m	unimodal	0,167	0,635
	-	-		
2013	Anteil Wald 1500 m	unimodal	0,122	0,623
	-	-		
2014	Anteil Wald 1500 m	unimodal	0,109	0,587
	-	-		
2015	Anteil Wald 1500 m	unimodal	0,115	0,627
	-	-		
2016	Anteil Wald 1500 m	unimodal	0,104	0,632
	-	-		

Alle dargestellten Modelle sind signifikant. Mit den zur Verfügung stehenden Habitatparametern kann jedoch nur etwa 10 bis 20 Prozent der Varianz erklärt werden. Der AUC-Wert der Modelle liegt im Bereich von ungefähr 0,6 bis 0,7. Damit ist die Modellgüte höchstens akzeptabel.

6.2.2.3 Brutwahrscheinlichkeit

Univariate Modelle

Für 14 Habitatparameter ergab die univariate Modellierung in mindestens einem Untersuchungsjahr einen signifikanten Zusammenhang bei der Verteilung von Brut- und Nicht-Brutstandorten des Rotmilans (vgl. Tabelle 11).

Im Vergleich zu den Modellen der Revierwahl zeigt sich bei der „Brutwahrscheinlichkeit“, dass die univariaten Modelle weniger stetig signifikant über den Untersuchungszeitraum sind. So nimmt ab dem Jahr 2014 der Einfluss des Waldanteils ab, gleichzeitig sind 2014 und 2015 vereinzelt Zusammenhänge mit anlagespezifischen Habitatparametern zu erkennen (vgl. Tabelle 11). Hervorzuheben ist das Modell mit der Variable „Anteil urbaner Flächen im 4.000 m Radius“ für das Jahr 2014. Dieses Modell ist gemessen am R² Wert das beste getestete Modell.

Generell liefern die Modelle mit unimodalen Variablen die höheren Nagelkerke-R² Werte. Eine Übersicht der Wirkrichtungen der getesteten Variablen ist in Tabelle 12 enthalten.

Tabelle 11: Nagelkerke-R² Werte der univariaten Modelle für Wahrscheinlichkeit eines Brutbeginns
Die Nagelkerke-R² Werte sind lediglich für signifikante sigmoidale und unimodale Modelle dargestellt (Signifikanzniveau siehe Ende der Tabelle)

Variable	Jahr	2012		2013		2014		2015		2016	
		sig	uni	sig	uni	sig	uni	sig	uni	sig	uni
Anzahl WEA 1.500 m		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Anzahl WEA 4.000 m		-	-	-	-	-	-	0,092*	0,106*	-	-
Entfernung WEA		-	-	-	-	-	-	0,126*	0,131*	-	-
Anlagenhöhe		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rotordurchmesser		-	-	-	-	0,066*	-	-	-	-	-
1.500 m Radius	Anteil Acker	-	-	-	-	-	-	-	0,141**	0,084*	0,136*
	Anteil Gewässer	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Anteil Grünland	0,075*	-	-	-	-	-	0,068*	-	-	-
	Anteil Urban	-	-	0,064*	-	-	-	-	-	-	-
	Anteil Wald	0,123**	0,143**	0,106**	0,110*	-	-	-	-	0,072*	-
	Anteil Offenland	0,114**	-	0,082*	-	-	-	-	-	0,075*	-
4.000 m Radius	Anteil Acker	-	-	-	-	-	-	-	0,128*	-	-
	Anteil Gewässer	0,091*	0,100*	0,095**	0,122**	-	-	-	-	-	-
	Anteil Grünland	0,066*	0,092*	-	-	-	-	0,061*	-	-	-
	Anteil Urban	-	-	-	-	-	0,213***	-	-	-	-
	Anteil Wald	0,090*	0,102*	0,055*	0,93*	-	-	-	-	-	-
	Anteil Offenland	0,101**	0,102*	-	-	-	-	-	-	-	-

Signifikanzniveau: $p \leq 0,05$ = signifikant*; $p \leq 0,01$ = sehr signifikant**; $p \leq 0,001$ = hoch signifikant***; - = Modell nicht signifikant

Tabelle 12: Wirkrichtung der univariaten Modelle für Brut- und Nicht-Brutstandorte des Rotmilans, Ergänzungen

Variable	Wirkrichtung ¹
Anzahl WEA 4.000 m Radius	+ / - unimodal
Entfernung nächste WEA	+ / - unimodal
Rotordurchmesser	-
Anteil Acker 1.500 m	+ / - unimodal
Anteil Grünland 1.500 m	+
Anteil Urban 1.500 m	+
Anteil Wald 1.5000 m	+ / - unimodal
Anteil Offenland 1.500 m	+
Anteil Acker 4.000 m	+ / - unimodal
Anteil Gewässer 4.000 m	-
Anteil Grünland 4.000 m	+ / - unimodal

Variable	Wirkrichtung ¹
Anteil Urban 4.000 m	+ / - unimodal
Anteil Wald 4.000 m	+ / - unimodal
Anteil Offenland 4.000 m	+ / - unimodal

1 + = je größere die Werte der Variable, desto höher die Vorkommenswahrscheinlichkeit, - = je größer die Werte der Variable, desto kleiner die Vorkommenswahrscheinlichkeit, + / - = unimodaler Zusammenhang

Multivariate Habitatmodelle und Prognose der Brutwahrscheinlichkeit

Auf Grundlage der zur Verfügung stehenden Habitatparameter lässt sich die Brutwahrscheinlichkeit der Rotmilane im Kreis Paderborn hauptsächlich durch die Landnutzungen ermitteln, der Anteil der erklärten Varianz ist jedoch gering. Die Variablen der besten Modelle sind dabei etwas diverser als bei den Modellen der Vorkommenswahrscheinlichkeit. Überwiegend spiegeln die Modelle jedoch ähnliche Zusammenhänge zwischen den Habitatparametern und der Brutwahrscheinlichkeit wider, wie es die Modelle für die Vorkommenswahrscheinlichkeit getan haben (vgl. Tabelle 13).

So war in den Jahren 2012, 2013 und 2016 jeweils der Waldanteil im 1.500 m Radius um den Horst ein entscheidender Faktor, ob es im Revier zu einer Brut gekommen ist. Im Jahr 2015 ist die stark mit dem Waldanteil korrelierende Variable „Anteil Ackerfläche im 1.500 m Radius“, die Variable mit dem größten Nagelkerke-R² Wert. Lediglich im Jahr 2014 weicht das beste Modell mit der Variable „Anteil Gewässer im 4.000 m Radius“ von den restlichen Untersuchungsjahren ab. Im Untersuchungsjahr 2015 wird erstmals auch die Abhängigkeit von einem anlagenspezifischen Habitatparameter deutlich.

Die hohe Korrelation insbesondere zwischen den Landnutzungs-Habitatparametern verhinderte in drei der fünf Untersuchungsjahre die Bildung von multivariaten Modellen (vgl. Tabelle 13). Im jeweils besten Modell der einzelnen Untersuchungsjahre erklärt stets ein Parameter der Landnutzung den meisten Anteil der Varianz.

Tabelle 13: Die besten (multivariaten) Modelle für Rotmilanbruten mit Gütemaß und Wirkrichtung, Ergänzungen

Jahr	Variable 1 und 2	Wirkrichtung	R ²	AUC
2012	Anteil Wald 1500 m	unimodal	0,143	0,674
	-	-		
2013	Anteil Gewässer 4000 m	unimodal	0,172	0,690
	Anteil Wald 1500 m	unimodal		
2014	Anteil Urban 4000 m	unimodal	0,213	0,732
	-	-		
2015	Anteil Acker 1500 m	unimodal	0,232	0,751
	Entfernung nächste WEA	unimodal		
2016	Anteil Wald 1500 m	unimodal	0,136	0,632
	-	-		

Alle dargestellten Modelle sind signifikant. Mit den zur Verfügung stehenden Habitatparametern können jedoch nur zwischen 13 und 23 Prozent der Varianz erklärt werden. Der AUC-Wert der Modelle liegt im Bereich von ungefähr 0,6 bis 0,7. Damit ist die Modellgüte höchstens akzeptabel.

Abbildung 12 veranschaulicht die Brutwahrscheinlichkeit (auf der senkrechten Achse) in Abhängigkeit von den Habitatparametern beispielhaft für das Jahr 2015. Die meisten Rotmilanbruten fanden demnach in Bereichen mit einem Ackerflächenanteil von ca. 70 Prozent und einer Entfernung zur nächstgelegenen WEA von unter 2.000 m statt. Die weiteren Ergebnisse der univariaten Modelle für das Jahr 2015 belegen zudem einen hohen Anteil an Offenland in Horstnähe (vgl. Tabelle 12).

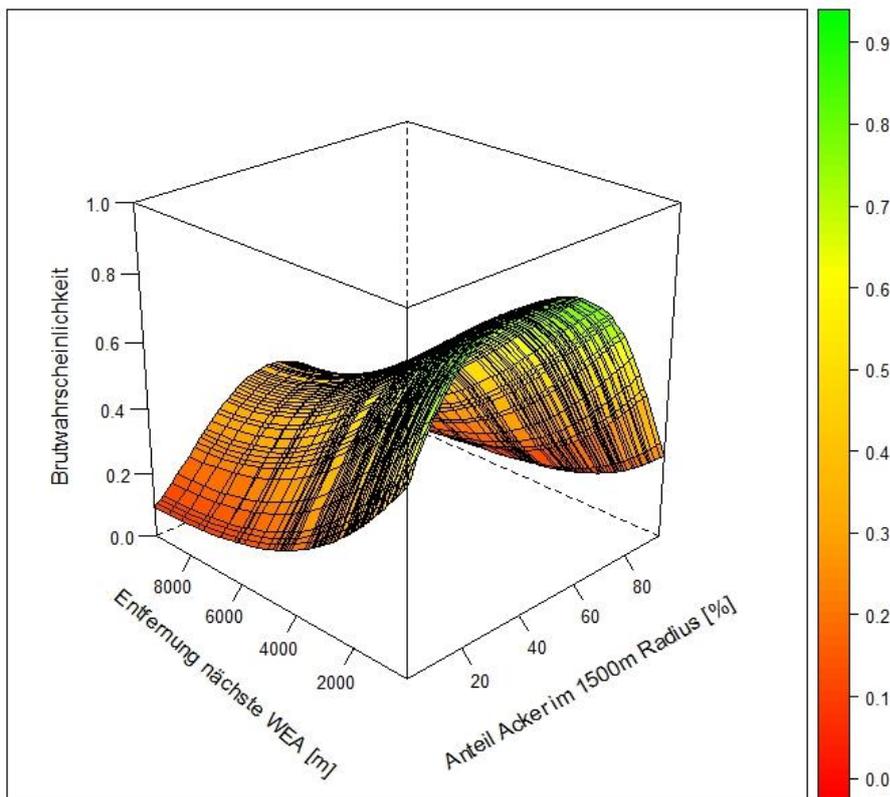


Abbildung 12: Dreidimensionale Darstellung des Modells zur Habitatparameter abhängigen Brutwahrscheinlichkeit im Jahr 2015, $R^2 = 0,232$, $p < 0,05$

6.2.2.4 Bruterfolg

Die logistische Regression zur Ermittlung der Abhängigkeit des Bruterfolgs von den zur Verfügung stehenden Habitatparametern lieferte für die Untersuchungsjahre 2013 und 2016 keine signifikanten Modelle. Für die weiteren Untersuchungsjahre fehlen standortbezogene Daten, sodass keine Modellierung stattfinden konnte (vgl. Kap. 4.1).

Der Bruterfolg der Rotmilane im Kreis Paderborn ist somit zumindest für die Jahre 2013 und 2016 von anderen (Habitat)Parametern abhängig, die für diese Untersuchungen nicht flächendeckend dargestellt werden konnten.

6.3 Vergleich von Brutbestand und Bruterfolg in verschiedenen Entfernungszonen

6.3.1 Vergleich der Revierdichten

In Abbildung 14 sind die Revierdichten der unterschiedlichen Entfernungszonen um WEA bzw. des gesamten Kreises Paderborn sowie des Naturraums Paderborner Hochfläche einschließlich Mittelgebirge im Zeitraum 2010 bis 2016 als Boxplots dargestellt. Die Ergebnisse des Friedman-Tests und des Nemenyi post-hoc Tests belegen für den gesamten Kreis eine signifikant höhere Revierdichte im Referenzbereich um die Anlagen als im Fernbereich, was darauf beruht, dass Rotmilane und WEA tendenziell dieselben Räume „besiedeln“ (vgl. Abbildung 6 mit Abbildung 8). Zwischen den anderen Stichproben bestehen keine signifikanten Unterschiede. Es wird somit deutlich, dass im Nahbereich um die WEA (bis 1.500 m) die Rotmilandichte gegenüber anderen Flächen nicht signifikant verschieden ist.

Auf der Paderborner Hochfläche befinden sich nach absoluten Zahlen die mit Abstand meisten Rotmilanreviere sowie WEA. Beim Vergleich der Revierdichten in den einzelnen Entfernungszonen wird erkennbar, dass die Dichten im Nah- und im Referenzbereich deutlich geringer als in den anderen Bereichen sind. Nach den Ergebnissen des Friedman-Tests und des Nemenyi post-hoc Tests sind diese Unterschiede allerdings nicht signifikant. In den beiden anderen Naturräumen findet hingegen eine stärkere Konzentration im Nahbereich um die WEA statt, sodass über den gesamten Kreis der Eindruck einer einheitlichen Verteilung entsteht. Es ist demnach festzuhalten, dass auf der Paderborner Hochfläche in

den Jahren 2010 bis 2016 eine gewisse räumliche Entflechtung zwischen WEA und Rotmilanrevieren besteht, der Gestalt, dass bis ca. 2.250 m um die WEA (Nah- und Referenzbereich) weniger Rotmilanreviere vorkommen als im weiteren Umfeld. Dies ist allerdings nach den Ergebnissen des Kap. 6.2 nicht auf einen Verdrängungseffekt der WEA zurückzuführen als vielmehr auf eine gezielte planerische Bevorzugung größerer Entfernungen von WEA zu Rotmilanrevieren.

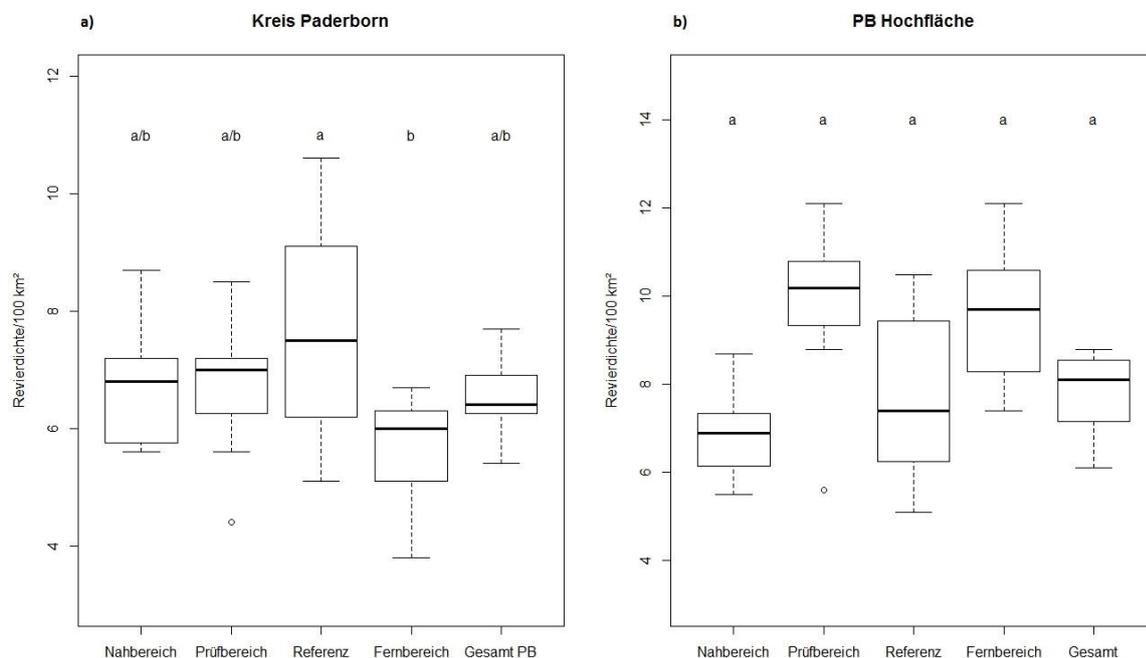


Abbildung 13: Revierdichten in den unterschiedlichen WEA-Entfernungszonen/Bereichen, a) im Kreis Paderborn, b) Paderborner Hochfläche

Die Einteilung der Stichproben in unterschiedliche Gruppen basiert auf den Ergebnissen eines Friedman-Test (Signifikanzniveau $p < 0,05$), bzgl. der Buchstabenkennzeichnung siehe Kap. 5.2.2)

Die durchgeführten linearen Regressionen konnten keine signifikante Entwicklung ($p > 0,05$) der Revierdichten des Rotmilans in den unterschiedlichen Entfernungszonen im gesamten Kreis Paderborn und in den einzelnen Naturräumen für den Untersuchungszeitraum 2010 bis 2016 nachweisen. In Abbildung 14 sind die Ergebnisse des Kreises Paderborn dargestellt. Es ist somit anzunehmen, dass die dargestellten Revierdichten natürlichen Schwankungen entsprechen. Ein Einfluss der Entfernung zu den WEA ist nicht erkennbar.

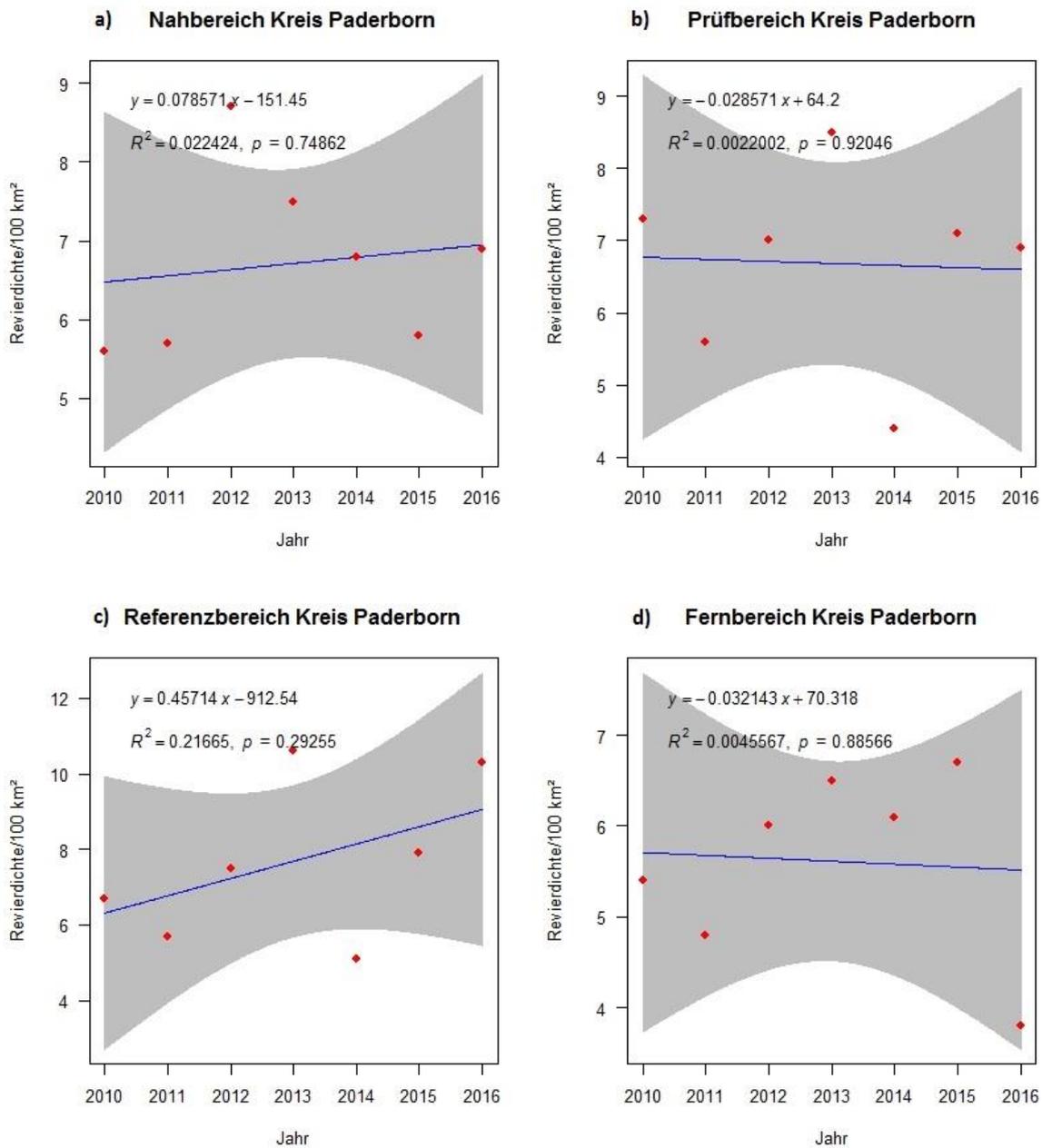


Abbildung 14: Ergebnis der linearen Regression zur Überprüfung eines Trends der Revierrichten in den verschiedenen Entfernungszonen für das gesamte Kreisgebiet, jeweils für a) den Nahbereich, b) den Prüfbereich, c) den Referenzbereich und d) den Fernbereich

Rote Punkte = Anzahl Reviere im Untersuchungsjahr, blaue Linie = Regressionslinie, graue Fläche = Konfidenzintervall

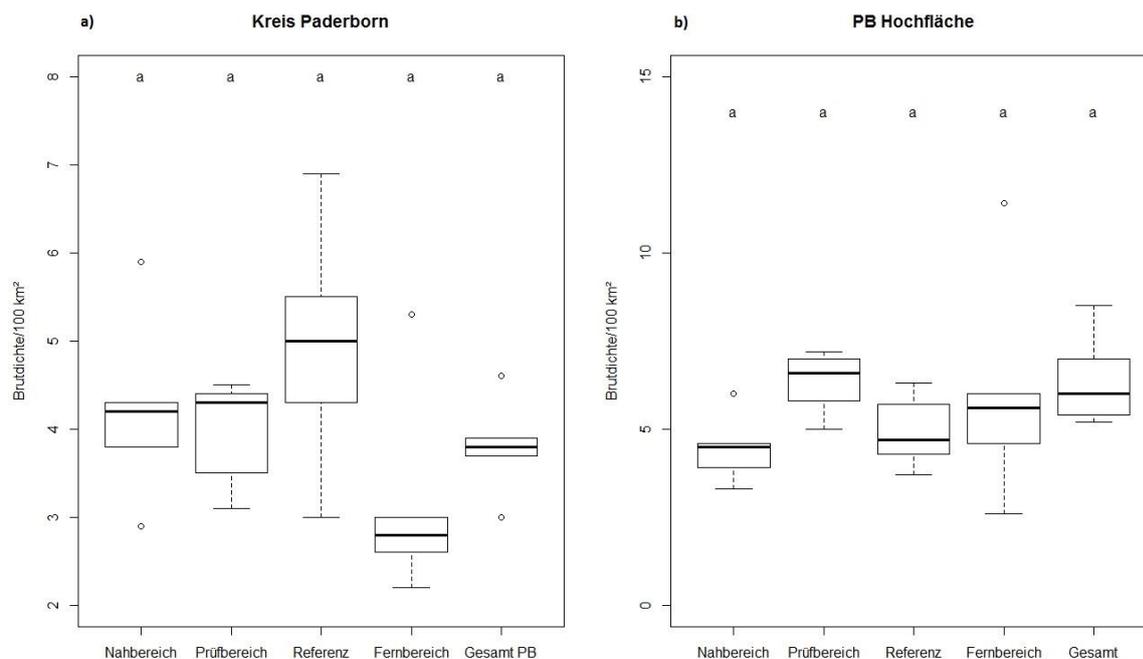


Abbildung 15: Brutdichten in den unterschiedlichen Entfernungszonen/Bereichen, für a) den Kreis Paderborn und b) die Paderborner Hochfläche

Die Einteilung der Stichproben in unterschiedliche Gruppen basiert auf den Ergebnissen eines Friedman-Test (Signifikanzniveau $p < 0,05$)

6.3.2 Vergleich der Brutdichten

Abbildung 16 zeigt die Brutdichten der unterschiedlichen Entfernungszonen bzw. des gesamten Kreises Paderborn sowie des Naturraums Paderborner Hochfläche einschließlich Mittelgebirge im Zeitraum 2012 bis 2016 als Boxplots. Die Ergebnisse des Friedman-Test und des Nemenyi post-hoc Test weisen auf keine signifikanten Unterschiede zwischen den Stichproben hin. Es ist jedoch wiederum ein tendenzieller Unterschied zwischen dem Referenz- und dem Fernbereich im gesamten Kreis erkennbar. Die Signifikanz dieses Unterschieds wird lediglich durch einen Ausreißer im Fernbereich (Brutdichte von 5,3 pro 100/km² im Jahr 2012) verhindert. Unterschiede des Nahbereichs um die WEA (bis 1.500 m) zum Prüfbereich (1.500 bis 4.000 m) sind erneut nicht erkennbar.

In der Paderborner Hochfläche sind die geringeren Dichten im Nahbereich im Vergleich zu den weiter entfernten Entfernungszonen weniger deutlich als bei der Betrachtung der Reviere. Die Unterschiede im Vergleich zum gesamten Kreis Paderborn sind jedoch auch bei der Brutdichte vorhanden.

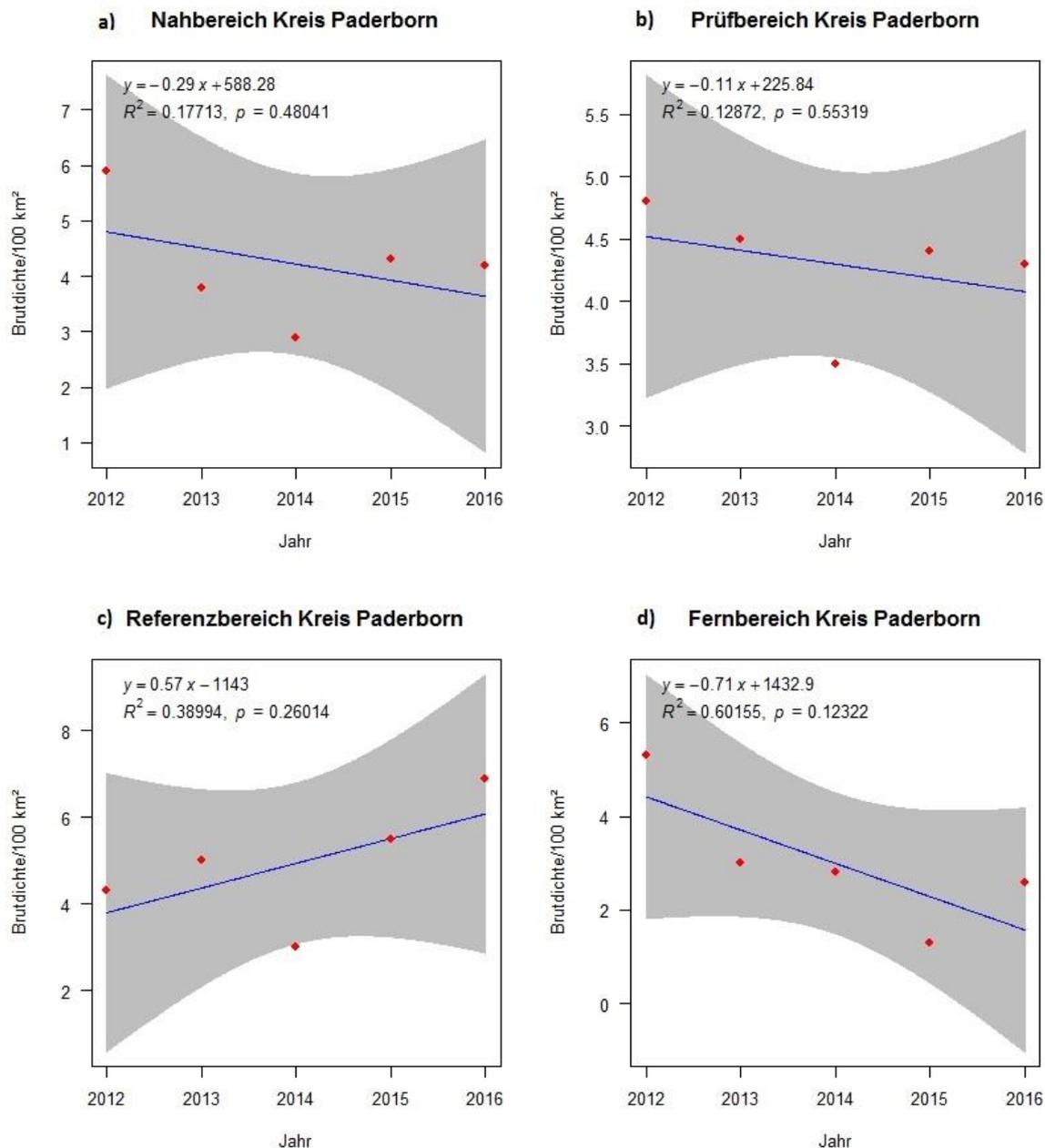


Abbildung 16: Ergebnis der linearen Regression zur Überprüfung eines Trends der Brutdichten in den verschiedenen Entfernungszonen für das gesamte Kreisgebiet, jeweils für a) den Nahbereich, b) den Prüfbereich, c) den Referenzbereich und d) den Fernbereich

Rote Punkte = Anzahl Reviere im Untersuchungsjahr, blaue Linie = Regressionslinie, graue Fläche = Konfidenzintervall

Die durchgeführten linearen Regressionen konnten keine signifikante ($p > 0,05$) Entwicklung der Brutdichten des Rotmilans in den unterschiedlichen Entfernungszonen im gesamten Kreis Paderborn sowie in den einzelnen Naturräumen für den Untersuchungszeitraum 2012 bis 2016 nachgewiesen werden. In Abbildung 16 sind die Ergebnisse für den Kreis Paderborn dargestellt. Es ist somit anzunehmen, dass die dargestellten Revierdichten natürlichen Schwankungen entsprechen. Ein Einfluss der WEA ist nicht erkennbar.

6.3.3 Vergleich der Bruterfolgsdichten

Da die standortbezogene Auswertung der Bruterfolgsdichten nur für die Jahre 2013 und 2016 möglich war, wurde auf die Durchführung eines Friedman-Tests verzichtet. Die in Tabelle 14 aufgeführten Bruterfolgsdichten in den unterschiedlichen Entfernungszonen bzw. im gesamten Kreis Paderborn deuten

jedoch auf ähnliche Verhältnisse zwischen den Entfernungszonen wie bei den Revierdichten und den Brutdichten hin.

Tabelle 14: Bruterfolgsdichten [Anzahl erfolgreicher Bruten pro 100 km²] in den unterschiedlichen Entfernungszonen/Bereichen, Ergänzungen

Jahr	Nahbereich	Prüfbereich	Referenz	Fernbereich	Gesamt PB
2013	2,0	2,7	3,0	0,8	2,1
2016	2,4	2,0	2,5	1,0	2,0

6.3.4 Entwicklung der Entfernungszonen um die WEA

6.3.4.1 Kreis Paderborn

Durch den starken Ausbau der Windenergienutzung im Kreis Paderborn innerhalb der letzten Jahre erhöht sich auch der Flächenanteil derjenigen Bereiche, die sich in der Nähe von WEA befinden. So hat sich der Anteil des Nahbereichs um WEA (max. 1.500 m Entfernung zur nächsten Anlage) von 17,3 Prozent im Jahr 2010 auf 30,4 Prozent im Jahr 2016 erhöht (Tabelle 15). Dementsprechend hat sich der Anteil des Fernbereichs (mehr als 4.000 m von WEA entfernt) im selben Zeitraum von 43,2 Prozent auf 28,6 Prozent verringert.

Tabelle 15: Entwicklung der Flächengrößen und -anteile der unterschiedlichen Entfernungsbereiche im gesamten Kreis Paderborn, Ergänzungen

Jahr	Flächengröße [ha]			Anteil an der Gesamtfläche [%]		
	Nahbereich	Prüfbereich	Fernbereich	Nahbereich	Prüfbereich	Fernbereich
2010	21.558	49.239	53.850	17,3	39,5	43,2
2011	22.645	51.618	50.384	18,2	41,4	40,4
2012	25.367	54.239	45.041	20,4	43,5	36,1
2013	29.278	55.391	39.978	23,5	44,4	32,1
2014	30.824	54.673	39.150	24,7	43,9	31,4
2015	32.483	56.530	35.634	26,1	45,4	28,6
2016	37.853	55.424	31.370	30,4	44,5	25,2

Durch diese Vergrößerung des Nahbereichs im gesamten Kreis Paderborn erhöhte sich die Anzahl der Rotmilanreviere innerhalb desselben entsprechend, bei annähernd gleichbleibenden Revierdichten. So stieg der Anteil von Rotmilanrevieren im Nahbereich von 15,6 Prozent im Jahr 2010 auf 34,2 Prozent im Jahr 2016 an (vgl. Tabelle 16). Eine durchgeführte lineare Regression belegt einen signifikanten Anstieg des Anteils der Reviere im Nahbereich im Zeitraum von 2010 bis 2016 ($p = 0,021$).

Tabelle 16: Entwicklung der Rotmilanrevieranzahl in den unterschiedlichen Entfernungsbereichen im gesamten Kreis Paderborn, Ergänzungen

Jahr	Anzahl Reviere			Anteil an der Gesamtzahl [%]		
	Nahbereich	Prüfbereich	Fernbereich	Nahbereich	Prüfbereich	Fernbereich
2010	12	36	29	15,6	46,8	37,7
2011	13	29	24	19,7	43,9	36,4
2012	22	38	27	25,3	43,7	31,0
2013	22	47	26	23,2	49,5	27,4
2014	21	24	24	30,4	34,8	34,8
2015	19	40	24	22,9	48,2	28,9
2016	26	38	12	34,2	50,0	15,8

Damit befand sich im Jahr 2016 bei rund einem Drittel aller Rotmilanreviere mindestens eine WEA im Radius von 1.500 m. Die durchschnittliche Anzahl von WEA im 1.500 m Radius um das Revierzentrum in den einzelnen Untersuchungsjahren ist in Tabelle 17 aufgeführt. Auch hier fand ein signifikanter Anstieg im Zeitraum von 2010 bis 2016 statt.

Jahr	Mittelwert
2010	0,57
2011	0,68
2012	1,15
2013	0,80
2014	0,95
2015	0,88
2016	1,88

Tabelle 17: Durchschnittliche Anzahl WEA im 1.500 m Radius um die Revierzentren im gesamten Kreis Paderborn, Ergänzungen

6.3.4.2 Paderborner Hochfläche einschließlich Mittelgebirge

Für den Schwerpunkt der Rotmilanverbreitung im Kreis Paderborn, dem Naturraum Paderborner Hochfläche einschließlich Mittelgebirge, zeigt sich ein ähnliches Bild wie für den gesamten Kreis Paderborn. Allerdings ist der Anteil des Nahbereichs an der Gesamtfläche (vgl. Tabelle 18) noch größer als im gesamten Kreis, wohingegen der Anteil an Rotmilanrevieren im Nahbereich in einem deutlich geringeren Maße zunimmt (vgl.

Tabelle 19). So stieg in diesem Naturraum von 2010 bis 2016 der Anteil des Nahbereichs von 25 auf 46 Prozent. Der Anteil der Rotmilanreviere, die sich im Nahbereich befinden, stieg hingegen nur von rund 17 auf 38 Prozent an. Wie bereits in Kap. 6.3.1 erläutert, dürfte dies auf einen planerischen Einfluss bei der Platzierung der WEA in gewisser Entfernung zu den Rotmilanrevieren zurückzuführen sein.

Tabelle 18: Entwicklung der Flächengrößen und -anteile der unterschiedlichen Entfernungsbereiche im Naturraum Paderborner Hochfläche einschließlich Mittelgebirge, Ergänzungen

Jahr	Flächengröße [ha]			Anteil an der Gesamtfläche [%]		
	Nahbereich	Prüfbereich	Fernbereich	Nahbereich	Prüfbereich	Fernbereich
2010	18.258	30.439	24.053	25,1	41,8	33,1
2011	19.095	30.818	22.837	26,2	42,4	31,4
2012	21.817	33.439	17.494	30,0	46,0	24,0
2013	25.728	34.591	12.431	35,4	47,5	17,1
2014	27.274	33.873	11.603	37,5	46,6	15,9
2015	30.183	31.530	11.037	41,5	43,3	15,2
2016	33.553	30.424	8.773	46,1	41,8	12,1

Tabelle 19: Entwicklung der Rotmilanrevieranzahl in den unterschiedlichen Entfernungsbereichen im Naturraum Paderborner Hochfläche einschließlich Mittelgebirge, Ergänzungen

Jahr	Anzahl Reviere			Anteil an der Gesamtzahl [%]		
	Nahbereich	Prüfbereich	Fernbereich	Nahbereich	Prüfbereich	Fernbereich
2010	10	32	18	16,7	53,3	30,0
2011	12	27	24	19,0	42,9	38,1
2012	19	34	17	27,1	48,6	24,3
2013	19	42	12	26,0	57,5	16,4
2014	20	19	14	37,7	35,8	26,4
2015	17	35	15	25,4	52,2	22,4
2016	23	30	8	37,7	49,2	13,1

6.3.6 Standorttreue

Die Rotmilan-Brutpaare im Kreis Paderborn nutzen zu einem hohen Prozentsatz im Folgejahr dasselbe Revier erneut (vgl. Tabelle 20). Die wiederholte Nutzung desselben Horstes schwankt hingegen in den Untersuchungsjahren in größerem Maße. Hervorzuheben sind die hohen Werte in den Jahren 2013 und 2016. Ein durchgeführter Friedman-Test konnte diesbezüglich keine signifikanten Unterschiede zwischen Brutpaaren, die im Nahbereich von WEA brüten, sowie von Brutpaaren in größerer Entfernung feststellen. Ein Einfluss der Entfernung zu den WEA auf die Brutplatztreue ist somit nicht erkennbar.

Tabelle 20: Erneute Nutzung des Reviers bzw. des Horsts von Brutpaaren im Nahbereich von WEA bzw. in weiter entfernten Bereichen im Kreis Paderborn

Jahr	Erneute Nutzung des Reviers in Prozent		Erneute Nutzung des Horstes in Prozent	
	Entfernung zu WEA < 1.500 m	Entfernung zu WEA > 1.500 m	Entfernung zu WEA < 1.500 m	Entfernung zu WEA > 1.500 m
2012	80,0	78,0	53,3	43,9
2013	90,9	97,3	90,9	78,4
2014	88,9	92,9	66,7	67,9
2015	100,0	87,9	57,1	66,7
2016	100,0	90,6	87,5	56,3

6.4 Vergleich der Revier- und Brutdichte vor und nach dem Bau einzelner WEA/Windparks

6.4.1 Auswahl der Flächen

Für den Vorher-Nachher-Vergleich des Rotmilanbestands in Bezug auf die Errichtung von einzelnen Windparks konnten zwei Flächen identifiziert werden, die den in Kap. 5.4.1 formulierten Voraussetzungen entsprechen. Zum Vergleich wurde eine Kontrollfläche gewählt, auf der zwar innerhalb des Untersuchungszeitraums ebenfalls WEA errichtet wurden, allerdings erst im Jahr 2016, sodass die Fläche in den ersten sechs Untersuchungsjahren keine Beeinträchtigung durch die Windenergienutzung erfuhr. Angaben zu den Untersuchungsflächen sind in Tabelle 21 enthalten. Die Verteilung der Flächen/Windparks im Kreis Paderborn ist in Abbildung 17 dargestellt.

Tabelle 21: Informationen zu den Flächen der Vorher-Nachher-Betrachtung, Ergänzungen

Bezeichnung	Grundfläche [ha]	WEA Errichtung ¹	Anzahl WEA	Anlagenhöhe [m] ²	Rotordurchmesser [m] ²
Windpark 1	84,6	2012	11	138,8	82
Windpark 2	20,7	2013	5	138,8	82
Kontrollfläche	93,1	2016	11	145,5	106

¹Jahr der Inbetriebnahme bzw. Inbetriebnahme nach dem 01. August des Vorjahres; ² Durchschnitt der WEA

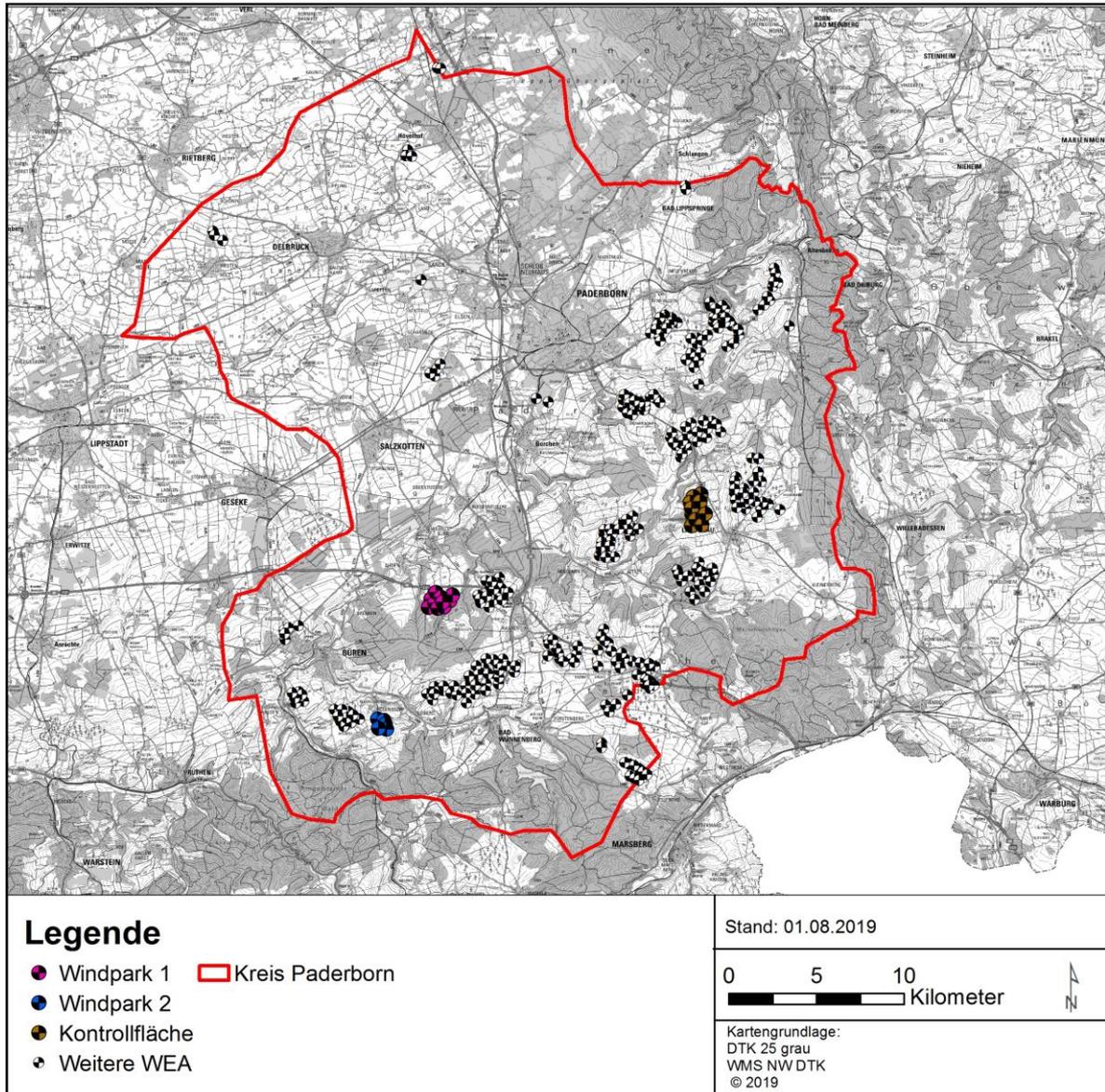


Abbildung 17: Lage der Untersuchungsflächen bzw. Standorte der Windparks des Vorher-Nachher-Vergleichs

6.4.2 Entwicklung der Revier- und Bruttdichten

6.4.2.1 Revierdichte

Die durchgeführte lineare Regression konnte lediglich für den Prüfbereich des Windparks 1 eine signifikante ($p = 0,015$) Änderung der Revierdichte im Untersuchungszeitraum 2010 bis 2016 nachweisen. Für die weiteren Entfernungsbereiche der Windparks 1 und 2 bzw. der Kontrollfläche ließ sich kein signifikanter Trend der Revierdichte ermitteln (vgl. Abbildung 18). Ein signifikanter Einfluss der WEA-Errichtung ist somit insgesamt nicht erkennbar, auch wenn die Daten des Windparks 1 eine Verlagerung der Reviere aus dem Nah- in den Prüfbereich zu indizieren scheinen.

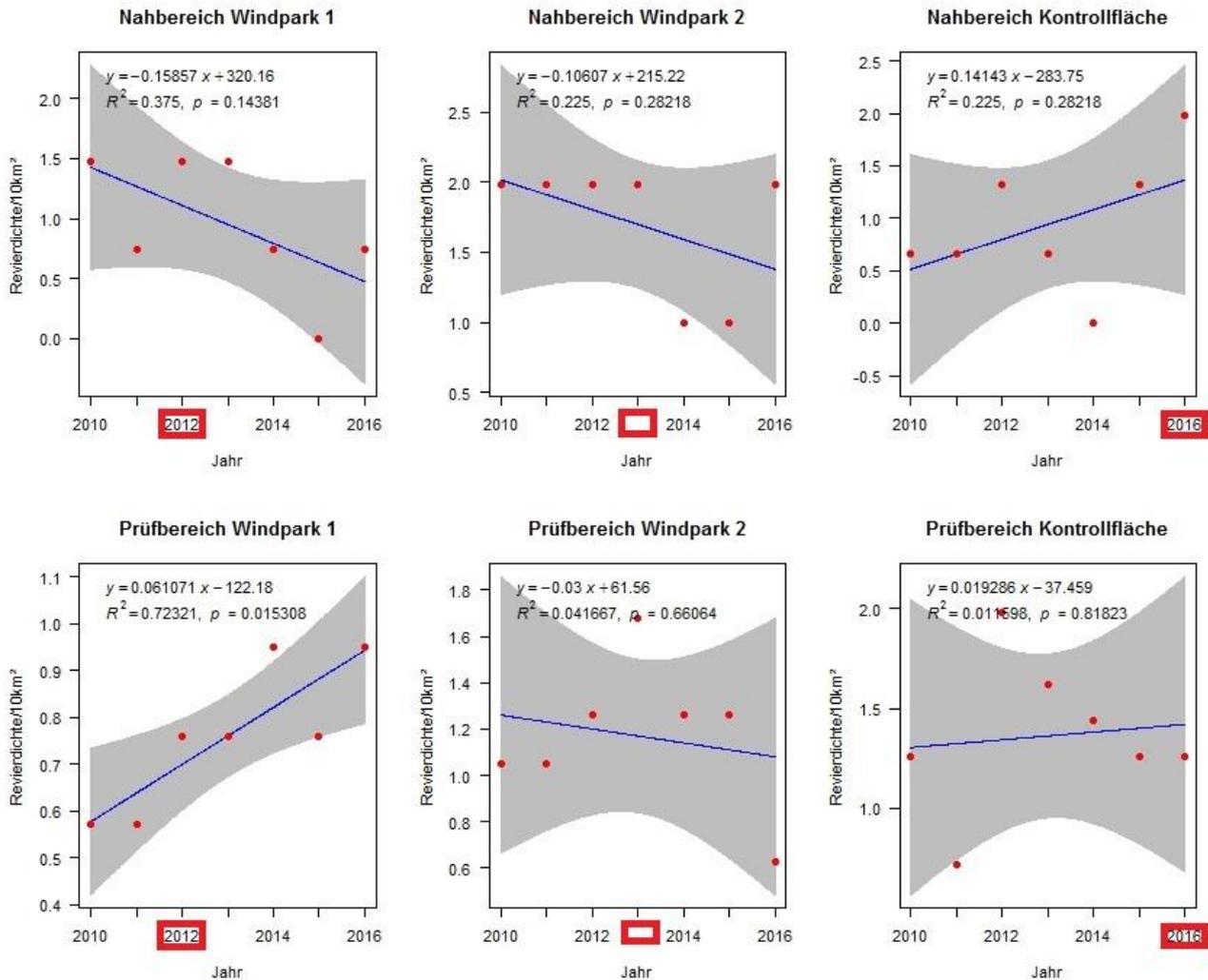


Abbildung 18: Entwicklung der Revierdichten im Nah- und Prüfbereich der Windparks 1 und 2 sowie der Kontrollfläche. Rote Punkte = Anzahl Reviere im Untersuchungszeitraum, blaue Linie = Regressionslinie, graue Fläche = Konfidenzintervall; rot markierte Jahreszahl: erste Brutzeit mit WEA

6.4.2.2 Brutdichte

Die durchgeführte lineare Regression konnte keine signifikante Entwicklung der Brutdichten für die Nah- und Prüfbereiche der Windparks 1 und 2 sowie der Kontrollfläche im Untersuchungszeitraum 2012 bis 2016 nachweisen (Abbildung 19). Es liegen allerdings keine bzw. keine mehrjährigen Brutdichte-Daten aus dem Zeitraum vor der Errichtung der beiden Windparks vor.

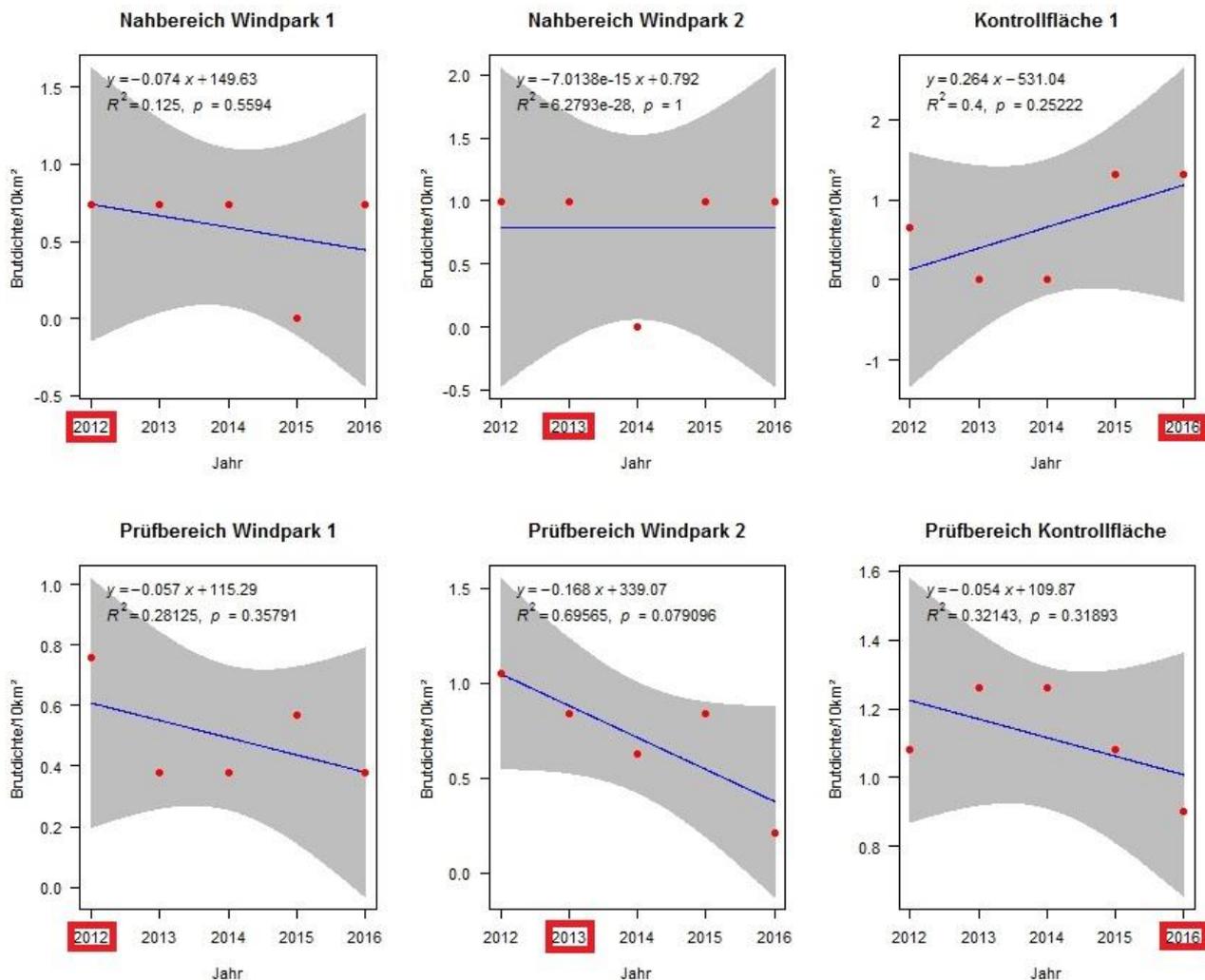


Abbildung 19: Entwicklung der Brutdichten im Nah- und Prüfbereich der Windparks 1 und 2 sowie der Kontrollfläche
Rote Punkte = Anzahl Reviere im Untersuchungsjahr, blaue Linie = Regressionslinie, graue Fläche = Konfidenzintervall; rot markierte Jahreszahl: erste Brutzeit mit WEA

6.4.2.3 Bruterfolg

Aufgrund der geringen Stichprobe von erfolgreichen Bruten im Nah- und Prüfbereich der untersuchten Flächen musste auf eine Auswertung verzichtet werden.

7. Diskussion

7.1 Bestandsentwicklung und Bruterfolg

Der Kreis Paderborn stellt aktuell sowohl ein Gebiet mit hoher Dichte an WEA als auch mit einer vergleichsweise großen Rotmilanpopulation dar. Am Ende des Jahres 2018 standen rund 10 Prozent aller WEA des Bundeslandes Nordrhein-Westfalen im Kreis Paderborn.⁷ Das entspricht ca. 1,3 Prozent der gesamten onshore WEA der Bundesrepublik Deutschland.⁸ Gleichzeitig konzentrieren sich die Anlagen und der Großteil der Rotmilanreviere im Naturraum Paderborner Hochfläche einschließlich Mittelgebirge. Trotz des starken Ausbaus der Windenergie im Kreis Paderborn im letzten Jahrzehnt konnten in der vorliegenden Untersuchung keine signifikanten Bestandsänderungen des Rotmilans im Zeitraum von 2010 bis 2016 festgestellt werden.

Für Greifvögel konnten Studien bisher keinen Einfluss von Windenergienutzung auf lokale Brutbestände nachweisen (STEWART *et al.* 2007; PEARCE-HIGGINS *et al.* 2012; HÖTKER *et al.* 2013). Dies wird durch die hier vorliegenden Ergebnisse bestätigt.

Mögliche negative Bestandseinflüsse des Ausbaus der Windenergie wurden demgegenüber bisher nur in Modellierungen auf der Basis von Kollisionsopfersuchen prognostiziert. Nach den Kollisionsopferschätzungen und Populationsmodellierungen der PROGRESS-Studie zählt der Rotmilan zu den Arten, für die ein negativer Populationseinfluss in Abhängigkeit von der Anzahl der WEA möglich ist (GRÜNKORN *et al.* 2016), wobei die zugrunde liegende Datenbasis für den Rotmilan jedoch nur gering war. Andere Modellberechnungen zeigten ebenfalls, dass sich erhöhte Kollisionszahlen durch eine hohe Dichte an WEA im Lebensraum negativ auf den langfristigen Erhalt von langlebigen Arten wie dem Rotmilan auswirken können (SCHAUB 2012). Auf der Grundlage von Daten aus einer Reihe von Schlagopfersuchen prognostizierten BELLEBAUM *et al.* (2013) einen möglichen langfristigen Bestandsrückgang des Rotmilans durch erhöhte Mortalität an WEA im Bundesland Brandenburg.

Die vorliegenden Daten zum Rotmilanbestand im Kreis Paderborn aus den Jahren 2010-2016 geben hingegen keine Hinweise auf einen Bestandsrückgang des Rotmilans in Folge der zunehmenden Nutzung der Windenergie in diesem Zeitraum.

Die im Untersuchungszeitraum erfassten Bestandszahlen unterliegen natürlichen Schwankungen, die für den gesamten Kreis keinen signifikanten Trend belegen. Größere, negative Veränderungen des Bruterfolgs in einzelnen Jahren sind in erster Linie auf ungünstiges Wetter während der Brutzeit und/oder schlechter Verfügbarkeit von Beutetieren zurückzuführen (KARTHÄUSER & KATZENBERGER 2018). So kam es in den Jahren mit den deutlich geringsten Bruterfolgsquoten im Frühjahr zu langanhaltenden Kälteeinbrüchen (2013) bzw. Starkregenereignissen (2016). Hinzu kam jeweils eine geringe Mäusepopulation (BIOLOGISCHE STATION KREIS PADERBORN - SENNE 2013, 2016). Demgegenüber ist aus den vorliegenden Daten ein Einfluss der WEA bzw. deren Zubau auf Bruten bzw. den Bruterfolg nicht zu erkennen.

Die ermittelte Anzahl an Jungen pro erfolgreicher Brut liegt seit dem Jahr 2014 über dem für den Erhalt der Population notwendigen Wert von 1,9 (KOSTRZEWA & SPEER 1994). Verluste von Altvögeln während der Brutzeit würden i.d.R. zu einer Aufgabe der Brut führen, d.h. der Anteil der erfolglosen Bruten würde sich erhöhen. Dies ist in der vorliegenden Untersuchung nicht nachweisbar.

7.2 Einfluss von WEA und anderen Habitatparametern

Die logistischen Regressionen haben gezeigt, dass die Revierwahl und die Brutwahrscheinlichkeit in erster Linie abhängig von der Landnutzung sind. Der Anteil der erklärten Varianz liegt jedoch auch bei den besten Modellen der Untersuchungen nur bei rund 20 Prozent. Dies beruht vor allem auf den bezüglich der Habitatqualität nur sehr groben Parametern der CORINE-Land Cover Daten.

Ähnlich wie für eine Vielzahl von Greifvogelarten ist für den Rotmilan nicht bekannt, dass die Anwesenheit von WEA die Wahl des Brutplatzes beeinflusst (MADDERS & WHITFIELD 2006; STEWART *et al.* 2007; PEARCE-HIGGINS *et al.* 2012). Entscheidende Kriterien für die Revierwahl und insbesondere für den erfolgreichen Verlauf der Brut ist ein ausreichend großes Nahrungsangebot im Umfeld des Horsts

⁷ <https://www.wind-energie.de/themen/zahlen-und-fakten/bundeslaender/>

⁸ <https://www.wind-energie.de/themen/zahlen-und-fakten/>

(KARTHÄUSER & KATZENBERGER 2018). Die Rotmilane konzentrieren sich im Untersuchungsgebiet insbesondere auf die Naturräume Haarstrang und Hellwegbörde, die das Gebiet in kleinen Teilen berühren, sowie Paderborner Hochfläche einschließlich Mittelgebirge. Die geringe menschliche Besiedlung, die offene Hügellandschaft und die Mischung aus Ackerbau und eingestreuten Wäldern, Feldgehölzen und Baumreihen stellen einen gut geeigneten Lebensraum für den Rotmilan dar (JOEST *et al.* 2012).

Die Ergebnisse der logistischen Regressionen belegen auch im Kreis Paderborn die für den Rotmilan typische Landnutzungsverteilung im Umkreis der Revierzentren. Die Jagd findet hauptsächlich im Offenland statt, große geschlossene Waldflächen werden bei der Brutplatzwahl gemieden. KARTHÄUSER & KATZENBERGER (2018) ermittelten zudem in ihrer Studie, dass mit zunehmendem Anteil dörflicher Siedlungsflächen im Nestumfeld die Wahrscheinlichkeit einer (erfolgreichen) Brut erhöht wird. Auch hier lässt sich eine Verbindung zwischen leicht verfügbarer Nahrung in Form von Gartenvögeln und Abfällen zur Brutwahrscheinlichkeit ziehen. In der vorliegenden Studie lässt sich die Nähe von Brutplätzen zu urbanen Flächen im Jahr 2013 nachweisen. In diesem Jahr war die Mäusepopulation besonders klein, sodass die Wahrscheinlichkeit einer (erfolgreichen) Brut möglicherweise stärker von der Nahrungsverfügbarkeit im Siedlungsbereich beeinflusst war.

Ein positiver Zusammenhang zwischen der Brutwahrscheinlichkeit und der Entfernung zur nächstgelegenen WEA sowie der Anzahl der WEA im weiteren Umfeld des Neststandorts konnte durch die logistische Regression für 2015 nachgewiesen werden. Typischerweise stehen die Anlagen auf landwirtschaftlich genutzten Offenlandflächen (vgl. Abbildung 7). Das Umfeld der WEA-Standorte bietet den Rotmilanen daher potentiell Flächen mit guter Nahrungsverfügbarkeit, die für die Brutwahrscheinlichkeit entscheidend sein kann. Ein Einfluss der zur Verfügung stehenden Habitatparameter auf die Erfolgswahrscheinlichkeit der Brut konnte mit Hilfe der logistischen Regression nicht nachgewiesen werden.

Heuck *et al.* (2019) ermittelten durch eine standortbezogene Auswertung von Seeadler-Kollisionsopfern, dass das Kollisionsrisiko auf Flächen mit guten Habitatqualitäten und hoher WEA-Dichte am größten ist. In Bezug auf den Rotmilan handelt es sich dabei um die offenen Ackerflächen, über denen sich die Vögel zur Jagd häufig und lange aufhalten. Eine hohe Zahl an WEA auf solchen Flächen würde demnach zu einem grundsätzlich erhöhten Kollisionsrisiko führen. Die vorliegenden Ergebnisse für den Zeitraum 2010 bis 2016 geben jedoch keine Hinweise, dass diese Konstellation zu einem Einfluss auf die Bestandsentwicklung geführt hat.

7.3 Einfluss der Entfernung der WEA auf die Rotmilandichte

Im Vergleich der Revier- und Brutdichten in den unterschiedlichen Entfernungszonen zeigt sich, dass die Revierzentren der Rotmilane im Kreis Paderborn weniger häufig in Bereichen liegen, die > 4.000 m entfernt von WEA liegen. Im Vergleich zur Revierdichte ist der Unterschied bei der Brutdichte nicht signifikant. Auch hier lässt sich ein Zusammenhang zu den Standorten der WEA auf landwirtschaftlich genutzten Flächen ziehen. Die Siedlungsdichte in nähergelegenen Entfernungen zu den WEA ist aufgrund der dort potentiell guten Nahrungsverfügbarkeit höher. Insgesamt „besiedeln“ WEA und Rotmilane innerhalb des Kreises Paderborn denselben Raum (vgl. Abbildung 6 und Abbildung 8).

Ein ähnliches Bild spiegeln die Zahlen der Dichten von erfolgreichen Bruten wider. Auch hier zeigt sich, dass im Fernbereich die Dichte an erfolgreichen Bruten deutlich geringer ist, als in den übrigen Entfernungszonen. Aufgrund der geringen Stichprobengröße sind diese Werte jedoch nicht statistisch abgesichert. Da allerdings in dieser Auswertung der Einfluss der Witterung sowie des Nahrungsangebotes in allen Entfernungszonen ungefähr gleich sein müsste, liefern diese Zahlen Hinweise darauf, dass es im Nahbereich der Anlagen keine erkennbaren Verringerungen des Bruterfolgs aufgrund von möglichen Kollisionen mit WEA gibt.

Gleichzeitig lässt sich in keiner der Entfernungszonen eine signifikante Entwicklung der Revier- und/oder Brutdichte über den Untersuchungszeitraum nachweisen. Sollte es im Nahbereich zu einer erhöhten Anzahl von abgebrochenen Bruten aufgrund von Kollisionen der Elterntiere kommen, wäre zu erwarten, dass die Dichten durch die Aufgabe der Horste mit den Jahren geringer werden. Eine mögliche Ursache dafür, dass dieser Effekt nicht festzustellen ist, könnte in einer ständigen Auffüllung der frei werdenden Reviere durch die sogenannte stand-by-population liegen (LENDÄ *et al.* 2012). Allerdings konnte in den vorliegenden Untersuchungen keine erhöhte Brutaufgabe in der Nähe von Windparks festgestellt werden und der Bruterfolg ist für die Populationserhaltung ausreichend.

Durch die rasche Vergrößerung des Flächenanteils des Nahbereichs um WEA im Kreis Paderborn aufgrund des starken Ausbaus der Windenergie in den letzten Jahren zeigt sich, dass die Rotmilane nicht aktiv die Flächen in der Nähe der WEA als Revier auswählen, sondern dass die schon in der Vergangenheit vorhandenen Habitate der Tiere immer stärker durch die Windenergie genutzt werden. Unter der Annahme, dass das Kollisionsrisiko von Tieren, die im Nahbereich brüten, größer ist als bei Bruten in weiter entfernten Bereichen, würde sich somit auch das Kollisionsrisiko für die örtliche Rotmilanpopulation, insbesondere im Naturraum Paderborner Hochfläche erhöhen. Es fehlen jedoch Daten, die einen signifikanten Zusammenhang zwischen Brutplatzentfernung und der Häufigkeit von Kollisionsereignissen stützen. Die Annahme beruht bislang auf der Tatsache, dass die flächenbezogene Flugaktivität in Brutplatznähe höher ist als in größerer Entfernung (SPRÖTGE *et al.* 2018). Eine Reihe von Studien konnte einen Zusammenhang zwischen Flugaktivität und Kollisionsrisiko jedoch nicht belegen (GRÜNKORN *et al.* 2016). Auch die hier vorliegenden Daten zum Bruterfolg geben keinen Hinweis auf ein erhöhtes Kollisionsrisiko von Brutpaaren im Nahbereich von Windenergieanlagen. Ebenso konnte kein Einfluss auf die Brutplatztreue festgestellt werden.

7.4 Vorher-Nachher-Vergleich

Bei der Betrachtung der Revier- und Brutdichten der ausgewählten Windparkflächen im Vergleich mit einer Referenzfläche wurde kein signifikanter Einfluss der Inbetriebnahme der WEA festgestellt. Die Änderungen der Revier- und Brutdichten ab dem Jahr der Inbetriebnahme sind in den beiden betrachteten Windparks nicht einheitlich, gleichzeitig lässt sich keine signifikante Entwicklung der Dichten über den Untersuchungszeitraum nachweisen. Auch bei dieser Analyse ist somit ein Einfluss der Windenergienutzung auf den Rotmilanbestand nicht erkennbar.

Generell werden die Bedingungen für einen aussagekräftigen Vorher-Nachher-Vergleich im Verlauf der Jahre zunehmend schwieriger. Durch die inzwischen dichte Bebauung des Untersuchungsgebiets mit WEA sind Flächen in größerer Entfernung zu Windparks und einzelnen Anlagen, die dem Rotmilan als Brutrevier dienen können, nur noch in geringem Ausmaß zu finden. Neue WEA wurden und werden meist in der Nähe zu bestehenden Anlagen errichtet, sodass die Bruten bereits vor der Inbetriebnahme der neuen WEA in Windparknähe stattfanden. Zusätzlich müssen für den Vorher-Nachher-Vergleich Daten aus Jahren vor der Inbetriebnahme zur Verfügung stehen, insbesondere auch für die Bruten. Aus diesen Gründen konnte nur eine kleine Stichprobenanzahl an Windparks mit teilweise nicht ausreichender Datengrundlage ausgewählt werden.

7.5 Vorliegende Hinweise auf Kollisionsopfer

Für den untersuchten Zeitraum von 2010 bis 2016 sind nur wenige Hinweise auf Kollisionsopfer von Rotmilanen an WEA im Kreis Paderborn bekannt geworden, bei denen es sich zudem sämtlich um Zufallsfunde handelt. Daten aus systematischen Kollisionsopfersuchen mit Berücksichtigung der notwendigen Korrekturfaktoren (vgl. GRÜNKORN *et al.* 2016) liegen nicht vor. In der Fundkartei der Staatlichen Vogelschutzwarte Brandenburg sind für den betrachteten Zeitraum sieben Rotmilane aus dem Kreis Paderborn gelistet (und ein weiterer aus 2018).⁹ Die Arbeitsgemeinschaft Biologischer Umweltschutz im Kreis Soest e.V. + Biologische Station Soest (ABU) sammelt Funde von Kollisionsopfern im Bereich des europäischen Vogelschutzgebiets Hellwegbörde von Unna bis Salzkotten sowie die Paderborner Hochfläche bis Marsberg-Meerhof.¹⁰ Hieraus liegen fünf Rotmilanfunde aus den Jahren 2015 und 2016 für den Kreis Paderborn vor (sowie fünf weitere für 2018 und 2019).

BÜKER & FINKE (2018) berichten für das Jahr 2018 von sechs an WEA kollidierten Rotmilanen, wobei es sich jedoch ebenfalls nicht um eine standardisierte Kollisionsopfersuche handelt. Die Autoren wählten hierfür die WEA aufgrund des von ihnen erwarteten Kollisionsrisikos sowie der Erreichbarkeit aus. Unter einem Teil der WEA im Kreis Paderborn wurde somit „häufiger nach (vom Auto aus sichtbaren!) toten Vögeln geschaut“. Weitere Angaben zum Suchaufwand und zur Anzahl der abgesuchten WEA sind nicht vorhanden. Die Funde verteilen sich im Zeitraum von Mitte Juli bis Anfang November 2018, d.h. außerhalb der Brutzeit, auf vier Windparks. Dopplungen mit den o.g. Zahlen sind gegeben.

⁹ https://fu.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/wka_voegel_de.xls, Abruf am 26.06.2019

¹⁰ <http://www.abu-naturschutz.de/naturschutzthemen/windkraft.html> (abgerufen am 20.05.2019)

Ein Bezug dieser Zufallsfunde zu den in der vorliegenden Studie durchgeführten Auswertungen ist nicht möglich, insbesondere weil ein Großteil der Funde aus 2018 stammt und somit außerhalb des Zeitraums der ausgewerteten Populationsdaten liegt. Hinzu kommt, dass aufgrund mangelnder methodischer Systematisierung der Suchen eine Abschätzung der tatsächlichen Kollisionsopferzahlen nicht möglich ist. Die Angaben werden daher an dieser Stelle nur nachrichtlich aufgeführt. Es lässt sich lediglich festhalten, dass bis 2016 aufgetretene Kollisionen nicht zu einem erkennbaren Einfluss auf die Bestandsgröße und den Bruterfolg sowie auf die räumliche Verteilung von Brutplätzen in Relation zu Windenergieanlagen geführt haben.

7.6 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Für den Zeitraum 2010-2016 konnte im Kreis Paderborn kein signifikanter Einfluss der Windenergienutzung auf die Bestandszahlen des Rotmilans nachgewiesen werden, wobei das Kollisionsrisiko ggf. örtlich und/oder in den letzten Jahren erhöht gewesen sein könnte. Um die Entwicklung der Population über einen längeren Zeitraum und insbesondere im aktuellen Ausbauzustand der Windenergienutzung analysieren zu können, ist eine weitere Auswertung der laufenden Rotmilanerfassung der Biologischen Station Paderborn - Senne ab dem Jahr 2017 sinnvoll. Insbesondere sollte hierdurch die bislang eingeschränkte Datenlage zum Bruterfolg verbessert werden. Angesichts der dargestellten Hinweise auf Kollisionen für 2018 und der Tatsache, dass der Anteil an Rotmilanbruten innerhalb des 1.500 m Radius um WEA im Kreis Paderborn stetig zugenommen hat und im Jahr 2016 bereits bei rund einem Drittel lag, wäre eine Fortführung der in dieser Studie durchgeführten Untersuchungen aufschlussreich.

Hinsichtlich der Ermittlung des Ausmaßes des Kollisionsrisikos sind verschiedene Ansätze, auch in Kombination, denkbar:

- Telemetrische Erfassung der Raumnutzung von Rotmilanpaaren mit Brutplätzen im Nahbereich bestehender WEA (Vorteil: Ermittlung umfassender Bewegungsmuster einzelner Individuen),
- Orts- und höhengenaues Tracking von Flugbewegungen innerhalb von Windparks unter Verwendung von Laser Range Findern (Vorteil: Ermittlung der Flugaktivität in Windparks ohne Beschränkung auf ausgewählte Individuen);
- Durchführung systematischer Kollisionsopfersuchen,
- Validierung der bisherigen Kollisionsopferfunde, insbesondere aus 2018.

Außerdem könnten entsprechende Untersuchungen auch auf andere Naturräume mit ähnlicher Datenlage ausgeweitet werden.

7.7 Fazit

Im Kreis Paderborn stehen dem Rotmilan attraktive Lebensräume zur Verfügung, die im Untersuchungszeitraum zu stabilen Bestandszahlen geführt haben (BIOLOGISCHE STATION KREIS PADERBORN - SENNE 2016). Gleichzeitig konzentriert sich in den Rotmilanhabitaten des Kreises Paderborn der Ausbau der Windenergie. Eine hohe Dichte von Rotmilanrevieren im Nahbereich der WEA spiegelt diese Entwicklung wieder.

Eine Analyse von Bestandsdaten aus dem Zeitraum 2010 bis 2016 unter Verwendung von Habitatmodellen ergab keine Hinweise auf einen signifikanten Einfluss der Windenergienutzung auf den Rotmilanbestand sowie auf die Anzahl tatsächlicher Bruten, den Bruterfolg und die Brutplatztreue.

Es besteht weiterer Forschungsbedarf im Hinblick auf die Auswertung der fortlaufenden Rotmilanerfassungen seit 2016.

Literatur

- ANDERSON, R., M. MORRISON, K. SINCLAIR & D. STRICKLAND (1999): Studying Wind Energy/Bird Interactions: A Guidance Document. Metrics and methods for determining or monitoring potential impacts on birds at existing and proposed wind energy sites. Prepared for the Avian Subcommittee and NWCC. Washington, 94 S. www.nationalwind.org
- BACKHAUS, K., B. ERICHSON, W. PLINKE & R. WEIBER (2006): Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung, Berlin.
- BAUER, H.-G., E. BEZZEL & W. FIEDLER (2005): Das Kompendium der Vögel Mitteleuropas. Alles über Biologie, Gefährdung und Schutz - Nonpasseriformes - Nichtsperlingsvögel, Aula-Verlag, Wiebelsheim.
- BELLEBAUM, J., F. KORNER-NIERVERGELT, T. DÜRR & U. MAMMEN (2013): Wind turbine fatalities approach a level of concern in a raptor population. *J. Nat. Conserv.* 21 (6): 394-400.
- BEZZEL, E. (2010): Das Jahrtausend danach - Zukunft des Rotmilans (*Milvus milvus*) in der Kulturlandschaft. *Zeitschrift für Vogelkunde und Naturschutz in Hessen* 18: 5-17.
- BIOLOGISCHE STATION KREIS PADERBORN - SENNE (2010): Ergebnisbericht zur Erfassung des Rotmilanbestandes im Kreis Paderborn 2010. Im Auftrag der WestfalenWIND GmbH., 14 S.
- BIOLOGISCHE STATION KREIS PADERBORN - SENNE (2011): Ergebnisbericht zur Erfassung des Rotmilanbestandes im Kreis Paderborn 2011. Im Auftrag der WestfalenWIND GmbH. 13 S.
- BIOLOGISCHE STATION KREIS PADERBORN - SENNE (2012): Ergebnisbericht zur Erfassung des Rotmilanbestandes im Kreis Paderborn 2012. Im Auftrag der WestfalenWIND GmbH., 14 S.
- BIOLOGISCHE STATION KREIS PADERBORN - SENNE (2013): Ergebnisbericht zur Erfassung des Rotmilanbestandes im Kreis Paderborn 2013. Im Auftrag der WestfalenWIND GmbH., 19 S.
- BIOLOGISCHE STATION KREIS PADERBORN - SENNE (2014): Ergebnisbericht zur Erfassung des Rotmilanbestandes im Kreis Paderborn 2014. Im Auftrag der WestfalenWIND GmbH., 23 S.
- BIOLOGISCHE STATION KREIS PADERBORN - SENNE (2015): Ergebnisbericht zur Erfassung des Rotmilanbestandes im Kreis Paderborn 2012. Im Auftrag der WestfalenWIND GmbH., 18 S.
- BIOLOGISCHE STATION KREIS PADERBORN - SENNE (2016): Ergebnisbericht zur Erfassung des Rotmilanbestandes im Kreis Paderborn 2016. Im Auftrag der WestfalenWIND GmbH., 19 S.
- BREUER, W. & P. SÜDBECK (1999): Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Vögel - Mindestabstände von Windkraftanlagen zum Schutz bedeutender Vogellebensräume. *Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz* 4: 171-175.
- BROTONS, L., W. THUILLER, M. B. ARAUJO & A. H. HIRZEL (2004): Presence-absence versus presence-only modelling methods for predicting bird habitat suitability. *Ecography* 27: 437-448.
- BRUIN, J. (2006): Introduction to SAS. .
- BÜKER, P. & C. FINKE (2018): Totfunde von Vögeln unter Windenergieanlagen im Kreis Paderborn und direkt angrenzenden Gebieten im Jahr 2018. *Ornithologischer Sammelbericht für den Kreis Paderborn und die Senne* 8: 114-122.
- BUSCHE, G. (2008): Zum brutzeitlichen Aktionsraum eines Rotmilanpaares *Milvus milvus* im Kreis Dithmarschen. *Corax* 21.
- CRAWLEY, M. J. (2013): *The R Book*, John Wiley & Sons, Chichester.
- DORMANN, C., J. ELITH & S. BACHER (2013): Collinearity: A review of methods to deal with it an a simulation study evaluating their performance. *Ecography* 36 (1): 27-46.
- DORMANN, C. & I. KUHN (2008): *Angewandte Statistik für die biologischen Wissenschaften.* , Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung.
- DREWITT, A. L. & R. H. LANGSTON (2008): Collision effects of wind-power generators and other obstacles on birds. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1134: 233-266.
- DÜRR, T. (2009): Zur Gefährdung des Rotmilans (*Milvus milvus*) durch Windenergieanlagen in Deutschland. *NNA-Berichte* 3.

- ELFF, M. (2013): memisc: Tools for Management of Survey Data, Graphics, Programming, Statistics and Simulation. 0.96-9.
- ELLIOT, J. M. (1977): Some methods for the statistical analysis of samples of benthic invertebrates. *Freshwater Biological Association* 25: 159 S.
- ENGLER, R., A. GUI SAN & I. RECHSTEINER (2004): An improved approach for predicting the distribution of rare endangered species from occurrence and pseudo-absence data. *J. Appl. Ecol.* 41: 263-274.
- FOWLER, J., L. COHEN & P. JARVIS (1998): *Practical Statistics for Field Biology*.
- FRIEDMAN, M. (1937): The Use of Ranks to Avoid the Assumption of Normality Implicit in the Analysis of Variance. *Journal of the American Statistical Association* 32 (200): 675-701.
- GIRAUDOUX, P., J.-P. ANTONIETTI, C. BAEALE, D. PLEYDELL & M. TREGLIA (2018): Package "pgirmess". *Spatial Analysis and Data Mining for Field Ecologists*.
- GRÜNKORN, T., J. BLEW, T. COPPACK, O. KRÜGER, G. NEHLS, A. POTIEK, M. REICHENBACH, J. VON RÖNN, H. TIMMERMANN & S. WEITEKAMP (2016): Ermittlung der Kollisionsraten von (Greif)Vögeln und Schaffung planungsbezogener Grundlagen für die Prognose und Bewertung des Kollisionsrisikos durch Windenergieanlagen (PROGRESS). Schlussbericht zum durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen des 6. Energieforschungsprogrammes der Bundesregierung geförderten Verbundvorhaben PROGRESS, FKZ 0325300A-D.
- GUI SAN, A. & N. E. ZIMMERMANN (2000): Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecol. Modelling* 135: 147-186.
- HANDKE, K. (2000): Vögel und Windkraft im Nordwesten Deutschlands. *LÖBF-Mitteilungen* 2: 47-55.
- HEUCK, C., C. HERRMANN, C. LEVERS, P. J. LEITAO, O. KRONE, R. BRANDL & J. ALBRECHT (2019): Wind turbines in high quality habitat cause disproportionate increases in collisions mortality of the white-tailed eagle. *Biol. Conserv.* 236: 44-51.
- HEUCK, C., M. SOMMERHAGE, P. STELBRING, C. HÖFS, C. GELPKE & S. KOSCHKAR (2017): Untersuchungen des Flugverhaltens von Rotmilanen in Abhängigkeit von Witterung und Landnutzung unter besonderer Berücksichtigung vorhandener Windenergieanlagen im Vogelschutzgebiet Vogelsberg - 1. Zwischenbericht. Im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung. 78 S.
- HOSMER, D. W. & S. LEMESHOW (2000): *Applied Logistic Regression*, John Wiley & Sons, Inc.
- HOTHORN, T., K. HORNIK, M. VAN DER WIEL & A. ZEILEIS (2006): A Lego System for Conditional Inference. *The American Statistician* 60 (3): 257-263.
- HÖTKER, H., O. KRONE & G. NEHLS (2013): Greifvögel und Windkraftanlagen: Problemanalyse und Lösungsvorschläge. Schlussbericht für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit., Michael-Otto-Institut im NABU, Leitnitz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung, BioConsult SH, Bergenhusen, Berlin, Husum.
- JOEST, R., J. BRUNE, D. GLIMM, H. ILLNER, A. KÄMPFER-LAUENSTEIN & M. LINDNER (2012): Herbstliche Schlafplatzansammlungen von Rot- und Schwarzmilanen am Haarstrang und auf der Paderborner Hochfläche in den Jahren 2009 bis 2012. *ABU info*: 40-46.
- KARTHÄUSER, J. & J. KATZENBERGER (2018): Was steuert den Bruterfolg beim Rotmilan? Neues aus dem Rotmilanprojekt "Land zum Leben". *Der Falke* 6: 35 - 37.
- KARTHÄUSER, J., J. KATZENBERGER, A. LAUX & E. GOTTSCHALK (2017): Im Fokus von Naturschutz und Planungspraxis: Rotmilanprojekt "Land zum Leben". *Der Falke* 7: 7 - 19.
- KATZENBERGER, J., E. GOTTSCHALK, N. BALKENHOL & M. WALTERT (2019): Long-term decline of juvenile survival in German Red Kites. *Journal of Ornithology*: 13 S.
- KETZENBERG, C., M. EXO, M. REICHENBACH & M. CASTOR (2002): Einfluss von Windenergieanlagen auf Brutvögel des Offenlandes. *Nat. Landschaft*: 144-153.
- KLEYER, M., R. KRATZ, B. LUTZE & B. SCHRÖDER (1999): Habitatmodelle für Tierarten: Entwicklung von Methoden und Perspektiven für die Anwendung. *Z. Ökol. Naturschutz* 8: 177-194.

- KOSTRZEWA, A. & G. SPEER (1994): Greifvögel in Deutschland: Bestand, Situation und Schutz., Akadem. Verlagsges. Wiesbaden.
- LAG VSW (Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten) (2015): Abstandsempfehlungen für Windenergieanlagen zu bedeutsamen Vogel Lebensräumen sowie Brutplätzen ausgewählter Vogelarten in der Überarbeitung vom 15. April 2015. 29 S.
- LANGGEMACH, T., O. KRONE, P. SÖMMER, A. AUE & U. WITTSTATT (2010): Verlustursachen bei Rotmilan (*Milvus milvus*) und Schwarzmilan (*Milvus migrans*) im Land Brandenburg. Vogel und Umwelt 18: 82-101.
- LANGSTON, R. H. W. & J. D. PULLAN (2003): Windfarms and Birds: an analysis of the effects of windfarms on birds, and guidance on environmental assessment criteria and site selection issues. Report T-PVS/Inf (2003) 12, by BirdLife International to the Council of Europe, Bern Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. RSPB/BirdLife in the UK.
- LANUV (2015): Vogelschutz-Maßnahmenplan (VMP) für das EU-Vogelschutzgebiet "Hellwegbörde" DE-4415-401. Recklinghausen, 177 S.
- LENDI, M., B. MACIUSIK & P. SKORKA (2012): The evolutionary, ecological and behavioural consequences of the presence of floaters in bird populations. North-Western Journal of Zoology 8 (2): 394-408.
- LEYER, I. & K. WESCHE (2007): Multivariate Statistik in der Ökologie: Eine Einführung., Springer-Verlag, Berlin & Heidelberg.
- MADDERS, M. & D. P. WHITFIELD (2006): Upland raptors and the assessment of wind farm impacts. Ibis 148: 43-56.
- MAMMEN, U. & M. STUBBE (1996): Der Greifvogelhorst in seiner populationsökologischen Bedeutung. Populationsökologie Greifvogel- und Eulenarten 3: 87-111.
- MEDDIS, R. (1984): Statistics using Ranks. A unified approach.
- MEI, W., G. YU, J. LAI, Q. RAO & Y. UMEZAWA (2018): basicTrendline: Add Trendline and Confidence Interval of Basic Regression Models to Plot.
- MEROW, C., J. A. SILANDER & M. J. SMITH (2013): A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. Ecography 36: 1058-1069.
- NEMENYI, P. B. (1963): Distribution-free Multiple Comparisons. Princeton University.
- NORGALL, A. (1995): Revierkartierungen als zielorientierte Methodik zur Erfassung der "Territorialen Saison-Population" beim Rotmilan (*Milvus milvus*). Vogel und Umwelt 8: 147-164.
- PEARCE-HIGGINS, J. W., L. STEPHEN, A. DOUSE & R. H. W. LANGSTON (2012): Greater impacts of wind farms on bird populations during construction than subsequent operation: results of a multi-site and multi-species analysis. J. Appl. Ecol. 49 (2): 386-394.
- PEARSON, K. (1900): On the criterion that a given system of deviations from the probable in the case of a correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling. The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science 50 (302): 157-175.
- POHLERT, T. (2014): PMCMR: Calculate Pairwise Multiple Comparisons of Mean Rank Sums.
- SACHS, L. (2004): Angewandte Statistik, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- SCHAUB, M. (2012): Spatial distribution of wind turbines is crucial for the survival of red kite populations. Biol. Conserv. 155: 111-118.
- SCHNEIDER, H.-G., A. GOTTMANN & M. WILKE (1987): Der Rotmilan (*Milvus milvus*) in Nordhessen - Ergebnisse zehnjähriger Untersuchungen zur Bestandsentwicklung, Siedlungsdichte, Siedlungsweise, Brutbiologie und Zugverlauf auf drei Probeflächen. Vogelkundliche Hefte Edertal 13: 19-37.
- SCHRÖDER, B. & B. REINEKING (2004): Modellierung der Art-Habitat-Beziehung - ein Überblick über die Verfahren der Habitatmodellierung Habitatmodelle - Methodik, Anwendung, Nutzen., Leipzig. 22 S.
- SPRÖTGE, M., E. SELLMANN & M. REICHENBACH (2018): Windkraft Vögel Artenschutz, Books on Demand, Norderstedt.

STEWART, G. B., A. S. PULLIN & C. F. COLES (2007): Poor evidence-base for assessment of windfarm impacts on birds. *Environmental Conservation* 34: 11 S.

TVEITE, H. (2019): NNJoin - Nearest neighbour join. Join vector layers based on nearest neighbour relationships.

WALZ, J. (2008): Aktionsraumnutzung und Territorialverhalten von Rot- und Schwarzmilanpaaren (*Milvus milvus*, *M. migrans*) bei Neuansiedlungen in Horstnähe. *Ornithol. Jh. Bad.-Württ.* 24: 21-38.

ZANIEWSKI, A. E., A. LEHMANN & J. M. OVERTON (2002): Predicting species spatial distribution using presence only data: a case study of native New Zealand ferns. *Ecol. Modelling* 157: 261-280.

Fachagentur Windenergie an Land e.V.

Fanny-Zobel-Straße 11 | 12435 Berlin
T +49 30 64 494 60-60 | F +49 30 64 494 60-61
post@fa-wind.de | www.fachagentur-windenergie.de