

# Die Vogelwelt

Beiträge zur Vogelkunde

139. Jahrgang | 2019

Heft 2



## Themenheft Rotmilan

## Inhalt

Editorial ..... 69

Die „Forschungsinitiative Rotmilan“:  
Gemeinsam Wissen schaffen! ..... 70

### Originalbeiträge

KARTHÄUSER, J., J. KATZENBERGER & C. SUDFELDT:  
Evaluation von Maßnahmen zur Verbesserung des  
Nahrungsangebotes für den Rotmilan *Milvus milvus*  
in intensiv genutzten Agrarlandschaften ..... 71

BISCHOFBERGER, I., M. J. KAMRAD, N. WASMUND, L. SINDL,  
R. BAYOH, J. KATZENBERGER, A. LAUX, B. MÜLLER,  
B. HORCHLER, F. HELMS, F. BEINING, P. MICHELS,  
V. STRICKER, M. H. KRÄMER & E. GOTTSCHALK:  
Werden junge Rotmilane *Milvus milvus* satt? –  
Nahrungsmengen und Nahrungszusammensetzung  
in drei Regionen Deutschlands ..... 87

GRÜNEBERG, C. & J. KARTHÄUSER:  
Verbreitung und Bestand des Rotmilans  
*Milvus milvus* in Deutschland – Ergebnisse der  
bundesweiten Kartierung 2010–2014 ..... 101

KATZENBERGER, J.:  
Verbreitungsbestimmende Faktoren und Habitat-  
eignung für den Rotmilan *Milvus milvus* in  
Deutschland ..... 117

BRUNE, J., O. KRÜGER, E. HIPPAUF, S. RÖSNER &  
J. KATZENBERGER:  
Eine nichtinvasive Methode für Populationsstudien  
beim Rotmilan *Milvus milvus*: Molekulargenetische  
Individualerkennung anhand von Mauserfedern ..... 129

KOLBE, M., B. NICOLAI, R. WINKELMANN & E. STEINBORN:  
Totfundstatistik und Verlustursachen beim  
Rotmilan *Milvus milvus* in Sachsen-Anhalt ..... 141

GOTTSCHALK, E., R. BAYOH, M. KAMRAD & N. WASMUND:  
Sterblichkeit junger Rotmilane *Milvus milvus* im  
Nest – Ausmaß und Ursachen ..... 155

SPATZ, T., D. G. SCHABO, N. FARWIG & S. RÖSNER:  
Raumnutzung des Rotmilans *Milvus milvus* im  
Verlauf der Brutzeit: Eine Analyse mittels GPS-  
basierter Bewegungsdaten ..... 161

KATZENBERGER, J. & E. GOTTSCHALK:  
Abhängigkeit des Erstbrutalters von der  
Populationsdichte: Eine Integration in Populations-  
modelle für den Rotmilan *Milvus milvus* ..... 171

## Contents

Editorial ..... 69

### Original Papers

KARTHÄUSER, J., J. KATZENBERGER & C. SUDFELDT:  
Evaluation of agri-environmental schemes to  
enhance prey availability for the Red Kite *Milvus  
milvus* in intensively used agricultural landscapes ..... 71

BISCHOFBERGER, I., M. J. KAMRAD, N. WASMUND, L. SINDL,  
R. BAYOH, J. KATZENBERGER, A. LAUX, B. MÜLLER,  
B. HORCHLER, F. HELMS, F. BEINING, P. MICHELS,  
V. STRICKER, M. H. KRÄMER & E. GOTTSCHALK:  
Enough food for the brood? Prey mass and prey  
composition in Red Kites *Milvus milvus* –  
video-recording in three regions in Germany ..... 87

C. GRÜNEBERG & J. KARTHÄUSER:  
Distribution and abundance of the Red Kite  
*Milvus milvus* in Germany – results of the  
nationwide survey 2010–2014 ..... 101

KATZENBERGER, J.:  
Modelling distribution and habitat suitability for  
the Red Kite *Milvus milvus* in Germany ..... 117

BRUNE, J., O. KRÜGER, E. HIPPAUF, S. RÖSNER &  
J. KATZENBERGER:  
Genetic fingerprinting from moult feathers:  
A non-invasive method for population studies  
with the Red Kite *Milvus milvus* ..... 129

KOLBE, M., B. NICOLAI, R. WINKELMANN & E. STEINBORN:  
Mortality statistics and causes of mortality of  
the Red Kite *Milvus milvus* in the federal state of  
Saxony-Anhalt ..... 141

GOTTSCHALK, E., R. BAYOH, M. KAMRAD & N. WASMUND:  
Mortality of nestlings in Red Kites *Milvus milvus* –  
magnitude and causes ..... 155

SPATZ, T., D. G. SCHABO, N. FARWIG & S. RÖSNER:  
Space use of Red Kites *Milvus milvus* during  
breeding season – a GPS-approach using  
movement patterns ..... 161

KATZENBERGER, J. & E. GOTTSCHALK:  
Integrating density-dependent age of first  
breeding into population models for the Red Kite  
*Milvus milvus* ..... 171

## Editorial

Liebe Leserinnen und Leser,

die Rotmilan-Forschung hat in Deutschland eine lange Tradition und bereits einen erheblichen Wissensschatz angehäuft. Kein Wunder – schließlich geht es um unseren „heimlichen Wappenvogel“, für dessen Erhaltung und Schutz wir Deutschen eine ganz besondere Verantwortung tragen, da hierzulande mehr als die Hälfte der Weltpopulation brütet. Faktoren, die die Populationsdynamik im Zentrum des Verbreitungsgebietes unmittelbar oder mittelbar beeinflussen, wirken sich maßgeblich auf den Erhaltungszustand und den Gesamtbestand dieses echten Europäers aus. Deshalb stehen seit jeher auch naturschutzrelevante Fragestellungen im Fokus der wissenschaftlichen Arbeit. Ganz in diesem Sinne präsentieren wir Ihnen in der vorliegenden Ausgabe der VOGELWELT in neun Originalbeiträgen brandneue Ergebnisse aus der aktuellen Rotmilan-Forschung.

Ob sich die Nahrungssituation für Greifvögel in der intensiv genutzten Agrarlandschaft durch Maßnahmen der Agrarförderung verbessern lässt, ist eine der zentralen Fragestellungen des Verbund-Vorhabens „Rotmilan – Land zum Leben“ ([www.rotmilan.org](http://www.rotmilan.org)). Gleich mehrere Beiträge dieses Heftes fußen auf langjährigen Untersuchungsreihen, die mit Mitteln aus dem Bundesprogramm Biologische Vielfalt gefördert wurden. Eine wichtige Erkenntnis: Rotmilanfreundliche Landwirtschaft ist machbar. Und davon profitieren sogar viele andere Arten. Aber: In der Fläche lassen sich solche Maßnahmen nur umsetzen, wenn die Förderinstrumente der Landwirtschaft entsprechend angepasst werden.

Wie enorm wichtig das Engagement einer Vielzahl von ehrenamtlich aktiven Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bei der Erhebung von Bestandsdaten ist, zeigen beispielhaft zwei Beiträge zur Bestandssituation und zur Brutverbreitung des Rotmilans in Deutschland.

Aber auch die moderne Technik hat längst Einzug in die Rotmilan-Forschung gehalten, zum Beispiel der Einsatz von GPS-Telemetriesendern zur Ermittlung zeitlich und räumlich hochaufgelöster Bewegungsmuster einzelner Individuen, die molekulargenetische Individualerkennung anhand von Mauserfedern im Rahmen von Populationsstudien oder der Einsatz von Nestkameras zur Überwachung des Brutgeschehens und der Nahrungsversorgung der Nestlinge. Von besonderem Interesse sind auch die Beiträge über Rotmilan-Totfunde und Nestlingsmortalität, denn die Populationsdynamik einer Art wird neben dem Bruterfolg, der Zu- und der Abwanderung auch maßgeblich von der Sterblichkeit bestimmt.

Die vielen verschiedenen Arbeiten in diesem Themenheft geben einen aktuellen, breit gefächerten Überblick über neueste Ergebnisse, Methoden und auch offene Fragen in der Rotmilan-Forschung in Deutschland – und darüber hinaus. Wir wünschen eine spannende Lektüre!

Jakob Katzenberger, Stefan Fischer und  
Christoph Sudfeldt

## Die „Forschungsinitiative Rotmilan“: Gemeinsam Wissen schaffen!

Der Rotmilan ist als geschützter Greifvogel eine der Flaggschiffarten des Vogelschutzes in Deutschland – gleichermaßen sympathisch wie planungsrelevant. Wegen der besonderen Verantwortung für den Schutz der heimischen Brutvorkommen dieses imposanten Greifvogels werden derzeit zahlreiche Forschungsarbeiten zum besseren Verständnis seiner Ökologie gefördert. Träger der Forschungsprojekte sind universitäre Arbeitsgruppen, Naturschutzverbände, Institutionen oder Privatpersonen. Dabei kommen zunehmend auch moderne freilandökologische Methoden wie etwa die GPS-Satellitentelemetrie zur Anwendung.

Eine Vielzahl an Themen wird bereits bearbeitet und ausgewertet:

- Wie entwickelt sich die Population langfristig?
- Welche Einflussgrößen bedingen den Bruterfolg oder die Überlebenswahrscheinlichkeiten der Art?
- Wie und wo nutzt der Rotmilan seine Brut- und Nahrungshabitate in welcher Intensität?
- Welche Landbewirtschaftung und -nutzung sind förderlich für die Art?
- Verändern sich die Zugwege und Überwinterungsgebiete der Art im Zeichen des Klimawandels?

Was liegt näher, als diese vielen Aktivitäten zusammenzuführen und miteinander zu vernetzen? Wir laden alle Expertinnen und Experten aus Wissenschaft und Forschung sowie die Träger von Vorhaben und Projekten zum Schutz des Rotmilans zu einem ersten informativen Treffen der „Forschungsinitiative Rotmilan“ im Rahmen der diesjährigen Jahresversammlung der

Deutschen Ornithologen-Gesellschaft am 27.09.2019 von 12:45 bis 15:30 Uhr in den Hörsaal 00/0070 der Universität Marburg ein. Wir möchten aktuellen Forschungsbedarf identifizieren, Erfassungsstandards diskutieren und Anregungen zur regionen- und/oder themenübergreifenden Bearbeitung geben, um bereits vorhandenes Wissen bündeln und noch nicht gehobene Datensätze gemeinsam heben zu können. Darüber hinaus wollen wir beraten, wie wir die Zusammenarbeit langfristig verstetigen können.

Haben auch Sie Interesse an der Mitarbeit? Gerne können Sie sich uns wenden – auch wenn Sie nicht an vorgenannter Auftaktveranstaltung teilnehmen können. Gemeinsam lässt sich mehr erreichen!

Kontakt: Jakob Katzenberger,  
[katzenberger@dda-web.de](mailto:katzenberger@dda-web.de)

**Dachverband Deutscher Avifaunisten DDA e. V.**

(Jakob Katzenberger, Christoph Sudfeldt);

**Philipps-Universität Marburg, AG Naturschutz**

(Nina Farwig, Sascha Rösner, Dana Schabo und Theresa Spatz);

**Georg-August-Universität Göttingen, Conservation**

Biology, Workgroup on Endangered Species  
(Eckhard Gottschalk);

**Max-Planck-Institut für Verhaltensbiologie**

(Wolfgang Fiedler);

**concepts for conservation** (Marion Gschweng);

**Rotmilanzentrum am Museum Heineanum**

(Martin Kolbe)

# Abhängigkeit des Erstbrutalters von der Populationsdichte: Eine Integration in Populationsmodelle für den Rotmilan *Milvus milvus*

Jakob Katzenberger & Eckhard Gottschalk

**Katzenberger, J. & E. Gottschalk 2019: Integrating density-dependent age of first breeding into population models for the Red Kite *Milvus milvus*. Vogelwelt 139: 171 – 180.**

Population viability analysis using matrix models is by now a standard method in both scientific and applied nature conservation. The main input parameters for such models are the survival rates of different age groups, reproduction and potentially emigration/immigration. Apart from these, the proportion of breeding birds in different age classes is an important parameter, especially for territorially breeding raptors. A dependence of the age of first breeding on the density (size of the total population in relation to carrying capacity) can be of major importance for population development but is so far mostly overlooked in population modelling. We derive a simple, density-dependent formula for the age of first breeding, based on two Red Kite case studies, and show how this formula can be integrated into population models using the VORTEX software. Based on demographic data, we reconstruct a Red Kite model population in Germany from 1975–2015 and compare its population development with index values from breeding bird surveys on sample plots from 1988–2014.

The results show that a model structure with density dependence in the age of first breeding fits better to the available data than commonly assumed fixed proportions in different age classes. Under lower densities, an increased proportion of birds breeding at the age of two and three years allows a long-term stabilisation of population development. This process however leads to a continuous decline of the non-breeding part of the population, which usually acts as a reserve that to a certain degree buffers further deterioration in reproduction or mortality. From a conservation point of view, this situation poses a considerable threat to the continued existence of the population, despite a short-term stabilisation of the population development. Our analysis shows that the consideration of the non-breeding part of the population and the age of first breeding plays an important role for a better understanding of the population dynamics of the German Red Kite population. To make robust projections of population development, the interplay between age of first breeding, density, mortality, reproduction and, where appropriate, emigration/immigration must be better understood and parameterised in population models.

**Key words:** Red Kite *Milvus milvus*, population viability analysis, matrix model, VORTEX, density-dependence, age of first breeding

## 1. Einleitung

Die Populationsmodellierung mit Matrix-Modellen zur Prognose von Bestandsentwicklungen anhand verschiedener Szenarien und unter Berücksichtigung von demografischer und umweltbedingter Stochastizität ist mittlerweile eine Standard-Methode sowohl im wissenschaftlichen als auch im angewandten Naturschutz (z. B. BÖHNER & LANGGEMACH 2004, SMART *et al.* 2010, GRÜNKORN *et al.* 2016). Für den aus naturschutzfachlicher Sicht besonders bedeutsamen Rotmilan gibt es daher eine Reihe von publizierten Matrix- oder Populationsmodellen (SMART *et al.* 2010, SCHAUB 2012, TENAN *et al.* 2012, BELLEBAUM *et al.* 2013, MAMMEN *et al.* 2014, MEYER *et al.* 2016). Die wesentlichen Parameter für ein solches Populationsmodell sind einerseits die Überlebensraten verschiedener Altersklassen sowie andererseits der Reproduktionserfolg. Weiterhin können Zu- und Abwanderung von großer Bedeutung für die

Populationsdynamik sein. Da für den Rotmilan jedoch eine hohe Geburts- sowie Brutortstreue angenommen wird (NEWTON *et al.* 1989, NACHTIGALL 2008, SCHAUB 2012), sollten Zu- und Abwanderung hauptsächlich innerhalb der hier betrachteten Gesamtpopulation stattfinden – daher werden diese Parameter im Weiteren nicht berücksichtigt.

Angaben zur Brutbestandsentwicklung und zum Reproduktionserfolg des Rotmilans in Deutschland liefert seit den späten 1980er Jahren das Programm MEROS. In von den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern selbst definierten Untersuchungsgebieten werden alljährlich wiederkehrend die Brutbestände kartiert und der Reproduktionserfolg ermittelt (MAMMEN 2016). Bisherige Schätzungen zur Sterblichkeit in der deutschen Rotmilan-Population stammen von Berin-gungsdaten aus den 1960/70er Jahren (SCHÖNFELD

1984, PFEIFFER 2009) sowie aus einer regionalen Studie in Sachsen und Südbrandenburg an mit Flügelmarken individuell gekennzeichneten Tieren im Zeitraum 2000–2005 (NACHTIGALL 2008). Mit der kürzlich veröffentlichten Auswertung von Beringungsdaten durch KATZENBERGER *et al.* (2019) liegen nun Daten vor, die den Verlauf altersspezifischer Überlebensraten für den Rotmilan von 1970 bis 2015 beschreiben.

Abgesehen von den Überlebensraten und der Reproduktion einer Population ist der Anteil der Vögel, die tatsächlich zur Brut schreiten, für territorial brütende Greifvögel eine wichtige Kenngröße. Insbesondere eine Abhängigkeit des Erstbrutalters von der Bestandsdichte kann eine wesentliche Bedeutung für die Populationsstruktur haben, hauptsächlich auf den Anteil von Nichtbrütern, und so auch die Bestandsentwicklung beeinflussen (FERRER *et al.* 2004, MORANDINI *et al.* 2019). Da gängige Populationsmodelle die räumliche Dimension nicht explizit berücksichtigen, sondern die Fläche über eine vorgegebene Kapazität der Landschaft modelliert wird, ist die Dichte im Weiteren als Quotient aus Gesamtbestand und Kapazität definiert. Ein hoher Anteil von Nichtbrütern stellt eine „Reserve“ dar, die einer Population eine begrenzte Flexibilität in der Reaktion auf Verschlechterungen der Mortalität oder der Reproduktion ermöglicht. Bisherige Populationsmodelle für den Rotmilan berücksichtigen dies jedoch nicht, es wird meist ein Bruteintritt im dritten Lebensjahr für alle Vögel oder ein fester Anteil in bestimmten Altersklassen angenommen (SMART *et al.* 2010, SCHAUB 2012, BELLEBAUM *et al.* 2013, MAMMEN *et al.* 2014).

Zum tatsächlichen Alter des Bruteintritts beim Rotmilan liegen bis auf wenige Ausnahmen (NEWTON *et*

**Tab. 1:** Altersabhängiger Anteil Brutvögel der Altersklassen 1–7 (Lebensjahre) in einer Rotmilan Population die nahe der Kapazitätsgrenze brütet, hergeleitet aus PFEIFFER (2009). Die berechneten Werte beruhen auf der von PFEIFFER (2009) dargestellten Stichprobe des Brutalters in der Population und sind daher keine kumulative Datenreihe, siehe auch Text und Abb. 1. – *Percentage of breeders in age 1-7 years in a Red Kite population breeding near capacity derived from PFEIFFER (2009). The percentages were calculated from a sample of breeding age in the population (PFEIFFER 2009) and are therefore not a cumulative series, see also Fig. 1.*

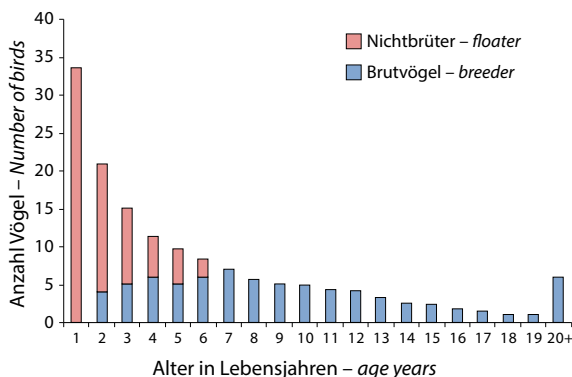
Alter (Lebensjahr) – age years	1	2	3	4	5	6	7+
% Brutvögel – breeders	0	19,18	33,24	53,01	51,65	71,94	100

*al.* 1989, EVANS *et al.* 1999, NACHTIGALL 2008, PFEIFFER 2009) keine empirischen Daten vor, da diese nur durch die sehr aufwendige individuelle Markierung von Jungvögeln (Flügelmarken, Telemetrie) oder den Fang beringter Brutvögel gewonnen werden können. Eine mögliche Dichteabhängigkeit des Erstbrutalters wurde bisher, nach unserem Kenntnisstand, nicht untersucht. Wir leiten erstmals eine einfache, dichteabhängige Formel für das Alter des Bruteintritts beim Rotmilan anhand von empirischen Studien ab und zeigen wie diese in Populationsmodelle integriert werden kann. Basierend auf den verfügbaren demografischen Daten rekonstruieren wir damit die Bestandsentwicklung einer deutschen Rotmilan-Modellpopulation für den Zeitraum 1975–2015. Schließlich vergleichen wir die simulierte Bestandsentwicklung mit den MEROS-Indexwerten aus Brutvogel-Erfassungen auf Probeflächen im Zeitraum 1988–2014.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Herleitung der Dichteabhängigkeit des Erstbrutalters

Um die Dichteabhängigkeit des Erstbrutalters beim Rotmilan abzuleiten, nutzten wir zwei empirische Fallstudien: Aus der Rotmilan-Population im Weimarer Land, die langfristig einen stabilen Brutbestand von 40–50 Paaren zeigte und daher vermutlich nahe der Kapazitätsgrenze lag, ist anhand einer Stichprobe von 44 Individuen das Brutalter der Vögel in der Population bekannt (PFEIFFER 2009). Den höchsten Anteil davon (mit Anzahl = 7) bildeten Vögel die sieben Jahre alt waren (PFEIFFER 2009). Da Individuen mit wachsendem Alter einen zunehmend geringeren Anteil der Gesamtpopulation ausmachen, lässt sich daraus schließen, dass mit sieben Jahren nahezu alle Vögel in der lokalen Population erstmalig brüten (PFEIFFER 2009). Dies deckt sich gut mit Untersuchungen am Rotmilan in Wales (NEWTON *et al.* 1989) sowie am Schwarzmilan *Milvus migrans* (SERGIO *et al.* 2009), wo ebenfalls erst mit sieben Jahren alle Vögel erstmalig zur Brut schritten. Anhand dieser Annahme und der Altersstruktur, die in PFEIFFER (2009) beschrieben ist, lässt sich die Populationsstruktur und die Gesamtgröße einer



**Abb. 1:** Hergeleitete Populationsstruktur einer Rotmilan-Modellpopulation (n=149 Vögel) die nahe der Kapazitätsgrenze brütet, nach den Daten von PFEIFFER (2009). – *Population structure for a Red Kite model population (n = 149) breeding near capacity, derived from PFEIFFER (2009).*

Modellpopulation nahe der Kapazitätsgrenze berechnen (Abb. 1). Mit einem Gesamtpopulationsanteil von 4,7 % für die Altersklasse von sieben Jahren (PFEIFFER 2009) und sieben Individuen im Alter von sieben Jahren ergibt sich eine Gesamtpopulation von 149 Individuen ( $7 \div 0,047 = 149$ ), woraus sich anhand der Gesamtpopulationsanteile der jeweiligen Altersklasse (vgl. PFEIFFER 2009) die Populationsstruktur berechnen lässt (Abb. 1). Mit der von PFEIFFER (2009) dargestellten Stichprobe des Alters der 44 Brutvögel lässt sich dann auch der Prozentsatz an Nichtbrütern in den Altersklassen von 2-6 Jahren berechnen (Abb. 1, Tab. 1).

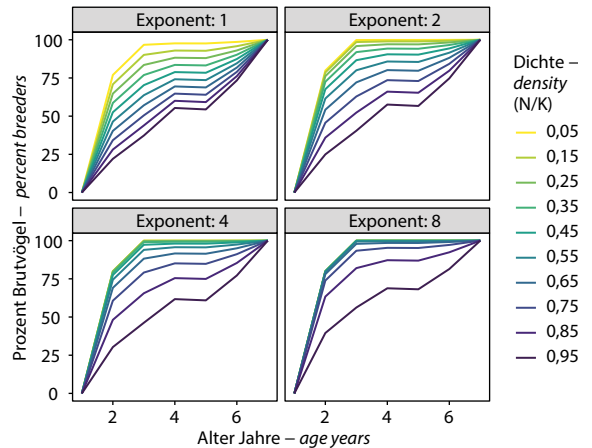
Wie sich der Anteil Nichtbrüter bei sehr kleinen Rotmilan-Populationen verhält, die weit unter der Kapazitätsgrenze liegen, lässt sich aus dem Wiederansiedlungsprojekt der Art in Großbritannien nachvollziehen. Dort schätzten SMART *et al.* (2010) für die Phase der Wiederbesiedlung (1989–2006) den Anteil Brutvögel in der Altersklasse von zwei Jahren auf 80 %, während im dritten Jahr bereits alle Vögel zur Brut schritten (EVANS *et al.* 1999, SMART *et al.* 2010). Dieser deutliche Unterschied ist darauf zurückzuführen, dass bei einer geringen Dichte, mit einem Gesamtbestand deutlich unter der Kapazitätsgrenze, die Verfügbarkeit von Revieren und Ressourcen nicht limitierend wirkt. Aus diesen Beispielen unter hoher und geringer Dichte leiten wir eine dichteabhängige, altersspezifische Funktion des Erstbrutalters für die Verwendung in VORTEX ab:

$$(A = 2) * (80 - (61 * ((N/K)^{exp}))) + (A = 3) * (100 - (66 * ((N/K)^{exp}))) + (A = 4) * (100 - (47 * ((N/K)^{exp}))) + (A = 5) * (100 - (48 * ((N/K)^{exp}))) + (A = 6) * (100 - (28 * ((N/K)^{exp}))) + (A > 6) * 100$$

In dieser Formel steht A für das Alter in Lebensjahren, N für die Größe des Gesamtbestands, K für die Kapazität und exp für einen Exponenten, der die Stärke der Dichteregulation bestimmt (siehe auch Handbuch in LACY & POLLAK 2018). Der Prozentwert in der äußeren Klammer steht jeweils für den maximalen Anteil Brutvögel der Altersklasse, von dem ein dichteabhängiger Anteil nicht brütender Vögel subtrahiert wird. Bei sehr geringen Dichten entspricht der Anteil Brutvögel pro Altersklassen mit dieser Funktion den Werten von SMART *et al.* (2010), bei sehr hohen Dichten werden die Werte aus Tab. 1 erreicht. Ein höherer Wert des Exponenten führt dazu, dass das Alter des Bruteintritts erst bei höheren Dichten eine deutliche Regulation erfährt (Abb. 2).

### 2.2 Populationsmodellierung

Um die Bestandsentwicklung der deutschen Rotmilan-Population anhand der vorliegenden Überlebens- und Reproduktionsraten im Zeitraum von 1975 bis 2015 zu modellieren, führten wir für jedes Szenario 1000 stochastische Simulationen mit dem Programm VORTEX (v. 10.3.5.0, LACY & POLLAK 2018) anhand der Werte in Tab. 2 durch. Mit dem Programm R (v. 3.5.2, R



**Abb. 2:** Abgeleitete Funktion zum dichteabhängigen Alter des Bruteintritts unter verschiedenen Exponenten. N = Gesamtbestand, K = Kapazität. – Percentage of breeders in age 1–7 years according to different forms (exponent 1–8) of the derived formula for density dependence in the age of breeding. N = total population size, K = capacity.

CORE TEAM 2018) wurden Mittelwerte und Standardabweichungen der 1000 Simulationen gebildet und mit ggplot2 (WICKHAM 2009) dargestellt. Zu Beginn wurde eine Gesamtpopulation von 500 Individuen angenommen, die Kapazität wurde auf 1000 gesetzt (Dichte = 0,5). Als Reproduktionszahl wurde vereinfachend die Fortpflanzungsziffer (Anz. flügge Jungvögel pro brütendem Paar) verwendet (hier numerisch identisch zur Verwendung eines jährlichen Erfolgsanteils und der Brutgröße erfolgreicher Paare). Um den dichteabhängigen Bruteintritt zu modellieren wurde die unter Abschnitt 2.1 abgeleitete Funktion angewendet und außerdem eine altersunabhängige, stochastische Variation des Anteils brütender Vögel (Std. Abw. = 10 %) angenommen. Da der tatsächliche Zusammenhang zwischen Bestandsdichte und Alter des Bruteintritts unbekannt ist, wurde die Funktion anhand steigender Exponenten getestet und die entstehende Prognose der Bestandsentwicklung der Brutvögel im Modell mit den MEROS Indexwerten von 1988 bis 2014 (U. MAMMEN, pers. Mitt.) anhand von jährlichen Änderungsraten verglichen. Im Weiteren zeigt daher das Szenario „3J“ ein Modell mit einem festen Bruteintritt im Alter von drei Jahren und die Szenarien „D-E1“ bis „D-E8“ jeweils ein Modell mit dichteabhängigem Alter des Bruteintritts und dem entsprechenden Exponenten eins, zwei, vier oder acht. Um die Modellvorhersagen überhaupt mit Indexwerten aus Brutvogel-Erfassungen vergleichen zu können, muss der Gesamtbestand (der standardmäßig in VORTEX ausgegeben wird) in Erstjährige, Brutvögel und Nichtbrüter aufgeteilt werden. Dies ermöglicht VORTEX in den Szenario-Einstellungen durch die Ausgabe von optionalen Zensus-Dateien (.yr Dateiformat), welche für jede Simulation zu jedem Zeitschritt die Anzahl an Individuen in den verschiedenen Altersklassen ausgibt.

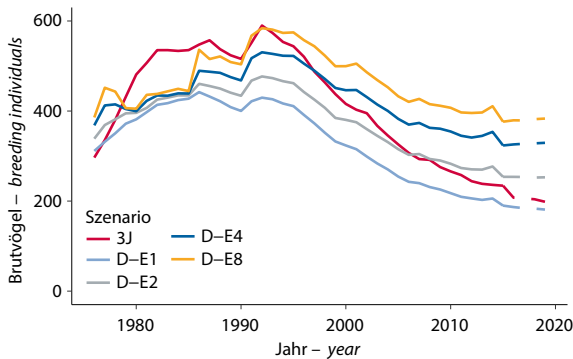




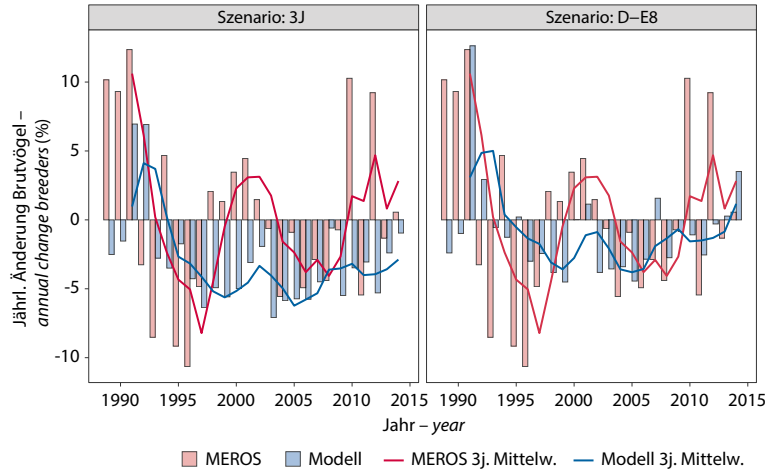
### 3. Ergebnisse

Der berechnete Bestand brütender Rotmilane nahm bei allen Modellszenarien von 1975 bis etwa zur Mitte der 1980er Jahre deutlich zu, stagnierte dann bis zum Anfang der 1990er Jahre, wonach sich erneut Zunahmen zeigten, und fiel dann spätestens ab 1995 wieder deutlich ab (Abb. 3). Die mittlere Anzahl brütender Vögel bei einem festen Bruteintritt ab drei Jahren stieg zu Beginn rapide an, fiel jedoch nach 1992 stetig weiter ab bis zum Ende der Zeitreihe, wo der Wert etwa 34 % des Maximums betrug.

Die verschiedenen Szenarien mit einem dichteabhängigen Alter des Bruteintritts zeigten zunächst alle ein deutlich langsames Wachstum, unterschieden sich aber bereits um 1990 deutlich in der Höhe der Maxima. Mit einer linearen Dichteabhängigkeit im Alter des Bruteintritts (Exponent eins) verlief die weitere Entwicklung ebenfalls in einem stetigen Rückgang auf etwa 41 % des maximalen Wertes. Auch die weiteren Szenarien „D-E2“ bis „D-E8“, mit Dichteregulation des Bruteintritts, zeigten insgesamt deutliche Rückgänge (jeweils ca. 53, 62 und 66 % des Maximums), jedoch



**Abb. 3** Modellierte Anzahl brütender Rotmilane anhand der vorliegenden Überlebensraten und Reproduktionswerte mit festem Alter des Bruteintritts mit 3 Jahren („3J“) sowie dichteabhängigen Modellszenarien („D-E1“ bis „D-E8“). Modellparameter siehe Tab. 1, die Anzahl brütender Individuen zu Beginn der Zeitreihe variiert durch die dichteabhängige Modellformulierung. Die gestrichelten Linien zeigen, ab wann keine empirischen Daten mehr für Mortalität und Reproduktion vorliegen und daher die Werte aus 2014 fortgeschrieben werden. – *Number of breeding Red Kites predicted by the different model scenarios over time without (‘3J’) and with (‘D-E1’ to ‘D-E8’) density dependence in age of first breeding (see Tab. 1). The values at the start of the time series differ according to the density-dependent model formulation.*



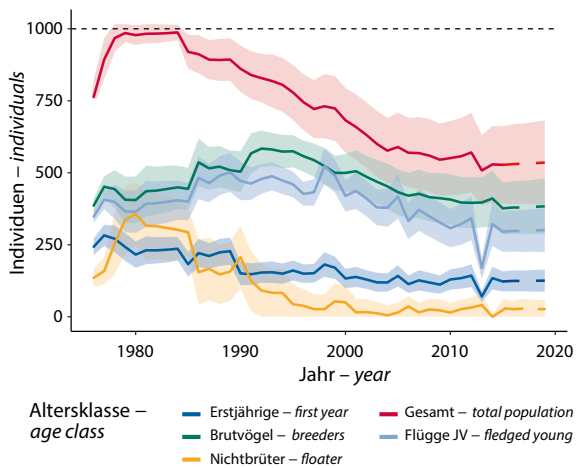
**Abb. 4:** Vergleich der jährlichen Änderungsraten des Rotmilan Brutbestands aus MEROS Erfassungen und aus Modellschätzungen mit festem Alter des Bruteintritts mit 3 Jahren („3J“) sowie dichteabhängigem Alter des Bruteintritts („D-E8“). Die Linien zeigen einen gleitenden Mittelwert von 3 Jahren. – *Comparison between annual percentage of change in the number of breeding Red Kites from MEROS surveys and model predictions without (‘3J’) and with (‘D-E8’) density dependence in age of first breeding. Lines show a 3 year moving average.*

mit kurzen Phasen der Stabilität um die 2000er Jahre, danach erneut mit starken Rückgängen bis zu einer deutlichen Stabilisierung und leichten Zunahmen nach 2010 (Abb. 3).

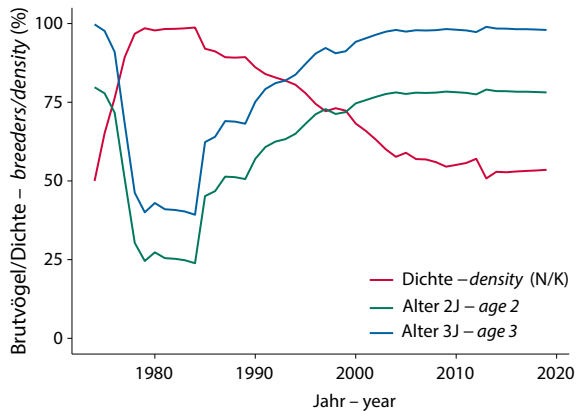
Der Vergleich der jährlichen Änderungsraten des modellierten Rotmilan-Brutbestands in den verschiedenen Szenarien mit den Indexwerten aus den MEROS Erfassungen zeigte insgesamt die höchste Übereinstimmung mit dem Szenario „D-E8“ – also einer deutlichen Dichteregulation erst bei relativ hohen Beständen. Die Summe der jährlichen Differenzen zwischen den MEROS-Änderungsraten und denen der Brutvogel-Anzahlen der Modellszenarien lag mit 47,4 für „D-E8“ am niedrigsten. Die Differenz zwischen MEROS und den weiteren Szenarien betrug 97,1 für „3 J“, 94,4 für „D-E1“, 72,2 für „D-E2“ und 55,5 für „D-E4“. Das Szenario mit festem Bruteintritt ab drei Jahren stimmte zu Beginn noch relativ gut mit MEROS überein – nach wenigen Jahren jedoch zeigte sich eine deutlich unterschiedliche Entwicklung (Abb. 4). Anhand des gleitenden dreijährigen Mittelwerts zeigte sich ebenfalls, dass das Modell „D-E8“ die wesentlichen Phasen des MEROS-Index gut widerspiegelt – die jährlichen Änderungsraten jedoch insgesamt weniger stark ausgeprägt waren sowie ein leichter Zeitversatz von ein bis zwei Jahren erkennbar war.

Der Vergleich der Bestandsentwicklung aus dem Modell „D-E8“ zwischen den Brutvögeln und den weiteren Altersklassen (Jungvögel, Erstjährige, Nichtbrüter) sowie dem sich daraus ergebenden Gesamtbestand ermöglichte es, genauer die Entwicklung der Populationsdynamik über die Zeit anhand des Mittelwerts vieler verschiedener möglicher Verläufe zu analysieren

(Abb. 5). So zeigte sich unter den Bedingungen zu Beginn der Zeitreihe ein Anstieg und insgesamt ein sehr hoher Anteil der Nichtbrüter in der Modellpopulation. Bis zur Mitte der 1980er Jahre wurde daher, trotz der verhältnismäßig geringen Anzahl Brutvögel, die Kapazitätsgrenze der Gesamtpopulation erreicht. Bereits ab 1985 war dann ein kontinuierlicher Rückgang der Nichtbrüter und der Gesamtpopulation erkennbar – durch die hohe Anzahl an Nichtbrütern, die dann jedoch erstmalig mit der Brut begannen, stieg der Brutbestand im Modell noch bis zum Beginn der 1990er Jahre an (Abb. 5). Mit dem Rückgang des Brutbestands ab 1995 nahm der Gesamtbestand weiter deutlich ab, während durch die geringere Reproduktion und verminderte Überlebensraten der Erstjährigen bereits nur noch ein sehr geringer Anteil an Nichtbrütern in der Gesamtpopulation vorhanden war. Der modellierte Gesamtbestand stabilisierte sich gegen Ende der Zeitreihe auf einem Niveau, das fast 50 % niedriger lag als der Maximalwert in den frühen 1980er Jahren (Abb. 5). Der dichteabhängige Anteil an Brutvögeln im Alter von zwei und drei Jahren in der Population nahm zunächst zu Beginn stark ab, da sehr hohe Dichten erreicht wurden (Abb. 6). Mit dem Rückgang der Gesamtpopulation kamen dann aber immer mehr Vögel im Alter von zwei und drei Jahren zur Brut und der Anteil an Brütern in diesen Altersklassen erreichte bereits in den frühen 2000er Jahren fast das Maximum (Abb. 6). Durch den früheren Bruteintritt



**Abb. 5:** Mittlerer Rotmilan-Bestand in verschiedenen Altersklassen aus 1000 Simulationen mit dem Modellszenario „D-E8“ welches ein dichteabhängiges Alter des Bruteintritts berücksichtigt. Die Schattierungen zeigen jeweils eine Standardabweichung um den Mittelwert. Der Übergang in die gestrichelten Linien zeigt, ab wann keine empirischen Daten mehr für Mortalität und Reproduktion vorliegen. Die horizontale Linie bei 1000 zeigt die angenommene Kapazität an. – Mean number of Red Kites in different age classes from 1000 simulations with the density dependent model scenario ‘D-E8’. Shading shows one standard deviation around the mean; the dashed horizontal line shows the assumed capacity.



**Abb. 6:** Mittlerer Prozentsatz brütender Rotmilane im Alter von 2 und 3 Jahren in Abhängigkeit der Dichte aus dem Modellszenario „D-E8“. – Mean percentage of breeding Red Kites in ages 2–3 dependent on density from model scenario ‘D-E8’.

bei geringeren Dichten, wurde der durch erhöhte Mortalität und geringere Reproduktion bedingte Rückgang der Population daher zumindest teilweise aufgefangen. Allerdings wird die „Reserve“ an Nichtbrütern im Bestand durch diese Entwicklung weitestgehend minimiert. So lag die Anzahl der erstjährigen Vögel im Modell im Jahr 2015 um etwa 50 % niedriger als in den späten 1980er Jahren, die mittlere Anzahl der Nichtbrüter im Alter von zwei bis sechs Jahren hatte sich in diesem Zeitraum sogar um 90 % reduziert (Abb. 5). Eine Modellprognose für wenige Jahre, anhand der letzten empirischen Werte für Reproduktion und Mortalität aus 2014, zeigte im Mittel einen stabilen Verlauf aller Altersklassen (Abb. 5).

#### 4. Diskussion

Der Vergleich der Bestandsentwicklung zwischen Indexwerten aus der Brutvogel-Erfassung beim Rotmilan und mittels VORTEX simulierten Brutvogel-Beständen zeigt deutlich, dass eine Modellstruktur mit einer Dichteabhängigkeit des Alters des Bruteintritts besser zu den vorliegenden Daten passt, als die Annahme fester Anteile in verschiedenen Altersklassen. Mit Modellprognosen, die eine solche Dichteabhängigkeit berücksichtigen, kann der bekannte Verlauf der Bestandsentwicklung beim Rotmilan von 1988–2014 in Deutschland gut rekonstruiert werden.

Der auch durch Unterschützstellung bedingte, deutliche Anstieg der Rotmilan-Population in den 1970–1980er Jahren ist, zumindest in einigen Regionen Deutschlands, durch Erfassungen in größeren Zeitabständen dokumentiert (vgl. NICOLAI & KÖNIG 1990, NACHTIGALL 2008, AEBISCHER 2009). Auch der durch die Simulation mit VORTEX ermittelte Brutvogel-Bestand zeigt einen deutlichen Anstieg bis in die späten 1980er Jahre (Abb. 5), wo dann allerdings

deutliche Verschlechterungen insbesondere in den Überlebensraten der erstjährigen aber auch der adulten Vögel einsetzen (KATZENBERGER *et al.* 2019). Ab 1988 kann der direkte Abgleich der modellierten Brutbestandsentwicklung mit jährlichen Indexwerten aus Brutvogel-Erfassungen auf Probeständen erfolgen. Diese zeigen bis in die frühen 1990er Jahre noch eine deutliche Zunahme und danach über fünf Jahre eine rapide Abnahme bis zum Jahr 1997 (MAMMEN 2016). Diese Entwicklung wird in ähnlicher Weise ebenfalls im modellierten Brutbestand wiedergegeben, mit einer deutlichen Zunahme bis 1992 und einem starken Rückgang nach 1994 (Abb. 4, Abb. 5). Der weitere Verlauf der Indexwerte – mit einer kurzen Stabilisierung um das Jahr 2000, danach erneut deutlichen Rückgängen, sowie einer weiteren Stabilisierung und leichten Zunahmen nach 2010 – deckt sich ebenfalls mit der Entwicklung des modellierten Brutbestands (Abb. 4, Abb. 5). Wenn man jedoch den Gesamtbestand der modellierten Population betrachtet (inklusive Nichtbrüter und Erstjährige), wird offensichtlich, dass der Bestandsrückgang tatsächlich bereits deutlich früher einsetzte (ab 1985, Abb. 5). Es zeigt sich an diesem Punkt also ein deutlicher Zeitversatz von sechs bis sieben Jahren in der Reaktion der Brutvogel-Bestandszahlen auf eine erhöhte Mortalität sowie eine verringerte Reproduktion. Dies lässt sich jedoch durch die enorm hohe Anzahl an Nichtbrütern begründen, die sich in der vorherigen Phase der starken Zunahme als „Reserve“ aufgebaut hat (Abb. 5). Die vorherigen Nichtbrüter sowie ein steigender Anteil von Vögeln im Alter von zwei und drei Jahren (Abb. 6) rekrutieren in den folgenden Jahren in frei werdende Reviere oder aber besetzen gänzlich neue Reviere – und überkompensieren so für einige Jahre den bereits stattfindenden Rückgang des Gesamtbestands.

Auch der weitere Verlauf der Entwicklung des Rotmilan-Brutbestands mit einer deutlichen Stabilisierung und sogar leichten Zunahmen zum Ende der Zeitreihe ist durch ein Modell mit einem dichteabhängigen Alter des Bruteintritts prinzipiell erklärbar (Abb. 4). Von Interesse ist hier insbesondere, dass sich der Verlauf der Rotmilan-Bestandsentwicklung langfristig deutlich stabilisiert – obwohl Reproduktion und Überlebensraten, bzw. die dafür maßgeblich verantwortlichen Bedingungen in der Agrarlandschaft und wichtige Mortalitätsursachen, keine Verbesserung aufweisen (BFN 2017, BUSCH *et al.* 2017, LANGGEMACH & DÜRR 2018, KATZENBERGER *et al.* 2019). Unter der Annahme einer Modellstruktur mit einem festen Alter des Bruteintritts mit drei Jahren führt diese Situation zu einem kontinuierlichen Rückgang der Population (Abb. 3) – was aber dem tatsächlichen Verlauf der Brutbestandsentwicklung widerspricht (Abb. 4). Stattdessen ermöglicht eine Modellstruktur mit einem dichteabhängigen Alter des Bruteintritts der Population eine begrenzte Flexibilität, um sich auf Verschlechterungen

der demografischen Parameter einzustellen (Abb. 5, Abb. 6, FERRER *et al.* 2004, MORANDINI *et al.* 2019). Der erhöhte Anteil von Brutvögeln im Alter von zwei und drei Jahren bei einer geringeren Bestandsdichte ermöglicht so zwar eine langfristige Stabilisierung der Bestandsentwicklung, allerdings gibt es dann kaum noch Nichtbrüter in der Population – welche als Reserve bei weiteren Verschlechterungen von Reproduktion oder Mortalität sowie umweltbedingter Stochastizität negative Entwicklungen abfangen könnten. In einer Greifvogelpopulation in gutem Zustand kann mit einem Verhältnis von 1:1 der Brutvögel zu Nichtbrütern gerechnet werden (HUNT 1998), auch geht ein erhöhter Anteil von immaturren Vögeln die als Brüter rekrutieren häufig weiteren Bestandsrückgängen voraus (FERRER *et al.* 2003). Aus naturschutzfachlicher Sicht stellt diese Situation daher, trotz einer Stabilisierung der Bestandsentwicklung, eine erhebliche Gefährdung für den Fortbestand der Population dar. Hinzu kommt, dass die Bruten von zweijährigen Vögeln beim Rotmilan vermutlich im Mittel weniger erfolgreich sind als die Bruten von älteren Vögeln (PFEIFFER 2009). Daher könnte mit der kontinuierlichen Verjüngung der Altersstruktur der Brutvögel auch eine weiter verminderte Reproduktionsfähigkeit einhergehen. Im umgekehrten Fall, bei einer deutlichen Verbesserung der demografischen Parameter, würde eine solche Population die vorher unter hohem Druck stand auch nur mit einem begrenzten Wachstum des Brutvogelbestands reagieren, da gegebenenfalls ein steigender Anteil der Vögel zunächst als Nichtbrüter in die Population eintritt.

Wir zeigen, wie eine solche Dichteabhängigkeit in Populationsmodelle mit VORTEX integriert werden kann, um Modellprognosen diesbezüglich zu verbessern. Insbesondere auch bei Modellsätzen um den potenziellen Verlauf von Wiederansiedlungsprojekten bei Greifvögeln zu beurteilen spielt die Dichteabhängigkeit des Alters des Bruteintritts eine wichtige Rolle (MORANDINI *et al.* 2019). Unsere Ergebnisse zeigen zusätzlich, dass für ein besseres Verständnis der Populationsdynamik gegebenenfalls auch bei größeren Beständen Veränderungen im Alter des Bruteintritts und die Rolle der Nichtbrüter betrachtet werden müssen. Die Bedeutung der Nichtbrüter für die Populationsdynamik und die Veränderung von Nichtbrüter-Anzahlen über die Zeit spielen in der Literatur zum Rotmilan bisher allerdings kaum eine Rolle. Dass zu diesem Thema bisher keine gesicherten Erkenntnisse vorliegen, lässt sich sicherlich auch durch die die Mobilität der Vögel und die damit verbunden Schwierigkeiten bei der Erfassung begründen. So flog zum Beispiel ein besonderer Altvogel, der zuvor bereits gebrütet hatte, im einem Jahr in dem er nicht am Brutgeschehen teilnahm auch während der Brutzeit großräumig in Deutschland umher (KARTHÄUSER & KATZENBERGER 2018). Die von uns abgeleitete Funktion um ein

dichteabhängiges Erstbrutalter zu modellieren beruht zwar auf empirischen Studien, allerdings sollte dieser Zusammenhang nach Möglichkeit anhand weiterer Daten zum Alter des Bruteintritts in Abhängigkeit der lokalen Bestandsdichte und der Verfügbarkeit von Revieren untersucht werden. Insbesondere die aktuell in verschiedenen Projekten in Deutschland besenderten Rotmilan-Jungvögel können hier wichtige Informationen liefern, sofern sie sich als Brutvögel ansiedeln. Generell würde ein gezieltes Monitoring des Erstbrutalters, wenn auch aufwendig in der Umsetzung, wichtige Informationen zum Status der untersuchten Population liefern (HUNT 1998, FERRER *et al.* 2003, MONZÓN & FRIEDENBERG 2018).

Eine Annahme bei der vorgenommenen Rekonstruktion der Rotmilan-Brutbestandsentwicklung ist, dass die Dynamik einer Gesamtpopulation modelliert und diese zum Vergleich mit der realen Entwicklung herangezogen wird. Tatsächlich besteht der Rotmilan-Bestand in Deutschland aus einer Vielzahl lokaler oder zumindest regionaler Brutpopulationen, deren Austausch und Wechselspiel allerdings weitgehend unbekannt sind und die zum Teil auch unterschiedliche Bestandstrends aufweisen. Bei den ebenfalls für eine hypothetische Gesamtpopulation berechneten bundesweiten MEROS Indexwerten spielen in jedem Fall regionale Entwicklungen eine wichtige Rolle – daher kann bei dem vorgenommenen Vergleich mit Modellprognosen eine vollständige Übereinstimmung nicht erwartet werden. Die wesentlichen Phasen der Entwicklung des Brutbestands werden allerdings, wie zuvor beschrieben, gut mit den dichteabhängigen Modellprognosen abgebildet.

Ein weiterer Faktor der die Prognosen mit der beschriebenen Modellstruktur stark beeinflusst ist die angenommene Kapazität. Letztlich muss diese

die Kapazität der Landschaft für brütende Rotmilane darstellen – allerdings ist bisher nicht untersucht, wie eine solche Kapazität sinnvoll empirisch abgeleitet oder beschrieben werden kann. Tatsächlich wird sich die Kapazität auch im Laufe der Zeit verändern – in Abhängigkeit von Faktoren wie Brutplatz- und Nahrungsverfügbarkeit, aber auch durch den Flächenbedarf der einzelnen Vögel sowie möglicherweise veränderte Verhaltensmuster von Individuen. Für die Modellvorhersage einer zukünftigen Entwicklung, mit einem Modell das ein dichteabhängiges Alter des Bruteintritts berücksichtigt, ist daher die Bestimmung von realistischen Kapazitätswerten eine wesentliche Voraussetzung.

Abschließend lässt sich festhalten, dass die Betrachtung von Nichtbrüterzahlen und des Alters des Bruteintritts eine wichtige Rolle für ein besseres Verständnis der Bestandsentwicklung der deutschen Rotmilan-Population spielt. Eine im gewissen Rahmen begrenzte Flexibilität der Brutpopulationen gegen erhöhte Mortalität oder verschlechterte Reproduktion kann wie hier gezeigt, aber auch aus der Literatur bekannt, den langfristigen Verlauf der Bestandsentwicklung beeinflussen. Um die aktuelle Bestandssituation einer Population und ihre mögliche Entwicklung zu beurteilen ist also auch ein Verständnis der Nichtbrüteranteile wichtig. Generell muss daher das Zusammenspiel zwischen Bruteintritt, Mortalität, Reproduktion sowie gegebenenfalls Zu- und Abwanderung für eine robuste Prognose berücksichtigt werden.

**Dank.** Wir danken dem Bundesamt für Naturschutz für die Förderung im Rahmen des Bundesprogramms Biologische Vielfalt mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Für Anmerkungen zur Verbesserung des Manuskripts danken wir Johannes KAMP, Stefan FISCHER und Christoph SUDFELDT.

## 5. Zusammenfassung

**Katzenberger, J. & E. Gottschalk 2019: Abhängigkeit des Erstbrutalters von der Populationsdichte: Eine Integration in Populationsmodelle für den Rotmilan *Milvus milvus*. Vogelwelt 139: 171 – 180.**

Die Populationsmodellierung mit Matrix-Modellen hat sich als Standard-Methode im wissenschaftlichen aber auch im angewandten Naturschutz etabliert. Wesentliche Eingangsgrößen für diese Modelle sind die Überlebensraten verschiedener Altersklassen, die Reproduktion sowie gegebenenfalls Zu- und Abwanderung. Abgesehen von diesen Parametern ist der Anteil der Vögel, die tatsächlich zur Brut schreiten, für territorial brütende Greifvögel eine wichtige Kenngröße. Insbesondere eine Abhängigkeit des Erstbrutalters von der Dichte bzw. Größe des Gesamtbestands hat eine wesentliche Bedeutung für die Populationsstruktur und die Bestandsentwicklung. Für den aus naturschutzfachlicher Sicht besonders bedeutsamen Rotmilan gibt es schon eine Reihe von publizierten Populationsmodellen, welche allerdings eine Dichteabhängigkeit des Erstbrutalters nicht berücksichtigen.

Wir leiten eine einfache, dichteabhängige Formel für das

Alter des Bruteintritts beim Rotmilan anhand von empirischen Studien ab und zeigen wie diese in Populationsmodelle mit der Software VORTEX integriert werden kann. Basierend auf demografischen Daten rekonstruieren wir eine Rotmilan-Modellpopulation in Deutschland von 1975–2015 und vergleichen deren Bestandsentwicklung mit den Indexwerten aus Brutvogel-Erfassungen auf Probeflächen von 1988–2014.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Modellstruktur mit einer Dichteabhängigkeit des Erstbrutalters besser zu den vorliegenden Daten passt, als die Annahme fester Anteile in verschiedenen Altersklassen. Mit Modellprognosen, die eine solche Dichteabhängigkeit berücksichtigen, kann der bekannte Verlauf der Bestandsentwicklung beim Rotmilan von 1988–2014 in Deutschland gut rekonstruiert werden.

Ein erhöhter Anteil von Brutvögeln im Alter von zwei und drei Jahren bei einer geringeren Bestandsdichte ermöglicht

so zwar eine langfristige Stabilisierung der Bestandsentwicklung, allerdings führt dies zu einem kontinuierlichen Rückgang der Nichtbrüter in der Population. Diese Nichtbrüter wirken normalerweise als Reserve – welche bei einer weiteren Verschlechterung von Reproduktion oder Mortalität negative Entwicklungen abschwächen könnte. Aus naturschutzfachlicher Sicht stellt diese Situation von minimierten Nichtbrüteranteilen, trotz einer kurzfristigen Stabilisierung der Bestandsentwicklung, eine erhebliche Gefährdung für den Fortbestand der Population dar.

## 6. Literatur

- AEBISCHER, A. 2009: Der Rotmilan. Ein faszinierender Greifvogel. Haupt Verlag, Bern.
- BELLEBAUM, J., F. KORNER-NIEVERGELT, T. DÜRR & U. MAMMEN 2013: Wind turbine fatalities approach a level of concern in a raptor population. *J. Nat. Conserv.* 21: 394-400.
- BFN 2017: Agrar-Report 2017 - Bundesamt für Naturschutz. Bonn-Bad Godesberg.
- BÖHNER, J. & T. LANGGEMACH 2004: Warum kommt es auf jeden einzelnen Schreiadler *Aquila pomarina* in Brandenburg an? Ergebnisse einer Populationsmodellierung. *Vogelwelt* 125: 271-281.
- BUSCH, M., S. TRAUTMANN & B. GERLACH 2017: Overlap between breeding season distribution and wind farm risks: a spatial approach. *Vogelwelt* 137: 169-180.
- EVANS, I. M., R. W. SUMMERS, L. O'TOOLE, D. C. ORR-EWING, R. EVANS, N. SNELL & J. SMITH 1999: Evaluating the success of translocating Red Kites *Milvus milvus* to the UK. *Bird Study* 46: 129-144.
- FERRER, M., F. OTALORA & J. M. GARCÍA-RUIZ 2004: Density-dependent age of first reproduction as a buffer affecting persistence of small populations. *Ecol. Appl.* 14: 616-624.
- FERRER, M., V. PENTERIANI, J. BALBONTÍN & M. PANDOLFI 2003: The proportion of immature breeders as a reliable early warning signal of population decline: evidence from the Spanish imperial eagle in Doñana. *Biol. Conserv.* 114: 463-466.
- 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 geförderten Verbundvorhaben.
- HUNT, W. G. 1998: Raptor floaters at Moffat's equilibrium. *Oikos* 82:191-197.
- KATZENBERGER, J., E. GOTTSCHALK, N. BALKENHOL & M. WALTERT 2019: Long-term decline of juvenile survival in German Red Kites. *J. Ornithol.* 160: 337-349.
- KARTHÄUSER, J. & J. KATZENBERGER 2018: Liebeskummer, Winterflucht und Sitzenbleiber: Die kuriosen Reisen der Rotmilane. *Falke* 65: 31-33.
- LACY, R. & J. POLLAK 2018: VORTEX: A Stochastic Simulation of the Extinction Process. In: Version 10.3.650. <http://www.vortex10.org/>
- LANGGEMACH, T. & T. DÜRR 2018: Informationen über Einflüsse der Windenergienutzung auf Vögel. Landesamt für Umwelt, Gesundh. und Verbraucherschutz Brand. Staatl. Vogelschutzware. [https://lfu.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/vsw\\_dokwind\\_voegel.pdf](https://lfu.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/vsw_dokwind_voegel.pdf) (Abgerufen am 02.05.2018)
- MAMMEN, U. 2016: Anwendungsmöglichkeiten einer Datenbank zur Langzeitdynamik von Greifvögeln und Eulen. Beiträge zur Jagd- und Wildforsch. 41: 203-210.
- MAMMEN, U., B. NICOLAI, J. BÖHNER, K. MAMMEN, J. WEHRMANN, S. FISCHER & G. DORNBUSCH 2014: Artenhilfsprogramm Rotmilan des Landes Sachsen-Anhalt. Ber. Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt 5: 1-163.
- MEYER, C. B., J. S. MEYER, A. B. FRANCISCO, J. HOLDER & F. VERDONCK 2016: Can ingestion of lead shot and poisons change population trends of three European birds: Grey partridge, common buzzard, and red kite? *PLoS One* 11: 1-28.
- MONZÓN, J. D. & N. A. FRIEDENBERG 2018: Metrics of population status for long-lived territorial birds: A case study of golden eagle demography. *Biol. Conserv.* 220: 280-289.
- MORANDINI, V., S. DIETZ, I. NEWTON & M. FERRER 2019: The role of age of first breeding in modeling raptor reintroductions. *Ecol. Evol.* 9: 2978-2985.
- MURGATROYD, M., S. ROOS, R. EVANS, A. SANSOM, D. P. WHITFIELD, D. SEXTON, R. REID, J. GRANT & A. AMAR 2018: Sex-specific patterns of reproductive senescence in a long-lived reintroduced raptor. *J. Anim. Ecol.* 87: 1587-1599.
- NACHTIGALL, W. 2008: Der Rotmilan (*Milvus milvus*, L. 1758) in Sachsen und Südbrandenburg – Untersuchungen zu Verbreitung und Ökologie. Diss., Univ. Halle-Wittenberg.
- NEWTON, I., P. E. DAVIS, & J. E. DAVIS 1989: Age of first breeding, dispersal and survival of Red Kites *Milvus milvus* in Wales. *Ibis* 131: 16-21.
- NICOLAI, B. & H. KÖNIG 1990: Der Bestand des Rotmilans in der DDR - Ergebnisse der Brutvogelkartierung. *Abh. Ber. Mus. Heineanum* 1: 1-12.
- PFEIFFER, T. 2009: Untersuchungen zur Altersstruktur von Brutvögeln beim Rotmilan *Milvus milvus*. In: *Populationsökol. Greifvogel- und Eulenarten* 6: 197-210.
- R CORE TEAM 2018: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- SCHAUB, M. 2012: Spatial distribution of wind turbines is crucial for the survival of red kite populations. *Biol. Conserv.* 155: 111-118.
- SCHÖNFELD, M. 1984: Migration, Sterblichkeit, Lebenserwartung und Geschlechtsreife mitteleuropäischer Rotmilane, *Milvus milvus* (L.), im Vergleich zum Schwarzmilan, *Milvus migrans* (Boddaert). *Hercynia* 3: 241-257.

SERGIO, F., J. BLAS & F. HIRALDO 2009: Predictors of floater status in a long-lived bird: a cross-sectional and longitudinal test of hypotheses. *J. Anim. Ecol.* 78: 109-118.

SMART, J., A. AMAR, I.M.W. SIM, B. ETHERIDGE, D. CAMERON, G. CHRISTIE & J.D. WILSON 2010: Illegal killing slows population recovery of a re-introduced raptor of high conservation concern – The red kite *Milvus milvus*. *Biol. Conserv.* 143: 1278-1286.

TENAN, S., J. ADROVER, A. MUÑOZ NAVARRO, F. SERGIO & G. TAVECCHIA 2012: Demographic consequences of poison-related mortality in a threatened bird of prey. *PLoS One* 7: 1-11.

WICKHAM, H. 2009: *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag, New York.

---

Manuskripteingang: 16. April 2019  
Annahme: 9. August 2019

Jakob Katzenberger, Dachverband Deutscher Avifaunisten (DDA) e.V., An den Speichern 6, D-48157 Münster; E-Mail: [jakob.katzenberger@dda-web.de](mailto:jakob.katzenberger@dda-web.de)

Eckhard Gottschalk, Georg-August-Universität, Johann-Friedrich-Blumenbach-Institut, für Zoologie und Anthropologie, Abteilung Naturschutzbiologie, Bürgerstraße 50, D-37073 Göttingen; E-Mail: [egottsc1@uni-goettingen.de](mailto:egottsc1@uni-goettingen.de)

---