

Stromschlagopfer in Pelagonien weisen auf populationsrelevante Verluste bei Vögeln hin

Borut Stumberger & Franc Janžekovič

Stumberger B & Janžekovič F 2025: Electrocution victims in Pelagonia indicate population-relevant losses in birds. *Vogelwarte* 63: 81–100.

North Macedonia is one of the few countries in Europe where the electrocution of birds has not yet been studied. This paper presents the results of an initial field study in the 1,104 km² tectonic depression of Pelagonia on medium-voltage overhead power lines (10 - 35 kV), focusing on the number and species of birds electrocuted, the correlation between the number of birds electrocuted and the different designs of power poles, and land use in midsummer 2023. The post-mortem interval was determined on the basis of the decomposition of the electrocuted birds. The electrocution potential of the examined poles was determined on the basis of photo documentation.

A total of 502 electricity poles were examined, of which 407 were made of concrete, 69 of wood and 26 of metal. Depending on the orientation of the insulator, 393 pylons had at least one pin insulator. In terms of construction, 78.1% were supporting poles, 7.6% were strain poles, 6.6% were transformer poles, 5.6% were switch poles and 2.2% were terminal poles. Of the poles examined, 41 were located in residential areas. The remaining 417 pylons were located in open land outside settlements and were distributed over 18 lines with a total length of 32.4 km.

The checks revealed 73 birds of 13 species killed by electrocution under 51 poles. Starlings, Magpies and White Storks were the most common victims, accounting for 65.7% of the total. The proportion of birds of prey, including Lesser Kestrel, Common Kestrel and Long-legged Buzzard, amounted to 13.7 percent. Looking at the absolute influence of the construction of individual poles on the total number of fatal electrocutions, 64.4% of birds died on support poles with pin insulators and a further 17.8% on transformer poles with pin insulators. In terms of the relative influence of individual structures on overall mortality, 33 transformers stand out, 39.4% of which electrocuted the birds, followed by 11 terminal poles, 27.3% of which resulted in fatal electrocutions. To identify dangerous constructions and predict mortality, the accumulative line of electrocution (EAL) was calculated: the most dangerous constructions in Pelagonia are the terminal and transformer poles, which cause an average of 11.2 victims per 30 poles. Support poles with suspended insulators have the lowest electrocution load with 1.6 victims per 30 poles.

Of the 73 bird carcasses, 49.3% were intact, 20.6% were torn apart by ground predators and only a few remains of 30.1% were still present, which did not allow any concrete conclusions to be drawn about the users. The energetic effect of electric current was still recognizable in 13 (17.8%) of the carcasses. In the post-mortem interval of 15 days, until the carcasses were largely or completely skeletonized, 49 (67.1%) of the electrocuted birds were classified. In midsummer, 98 to 156 electrocuted birds can be expected in one month on the surveyed poles in Pelagonia (less than 3% of all medium-voltage pylons in the area were checked). In Pelagonia, the overall rate of fatal electrocutions is 14.5 birds per 100 pylons and differs between the settlement (39.6 birds / 100 poles) and outside the settlement (11.3 birds / 100 poles). If the electrocution potential of earth faults and short circuits is combined for the poles inspected as part of this study, this results in an average of 3.5 different electrocution possibilities per pole, depending on the design. The ratio between the determined mortality and the electrocution potential of the poles is 1:24.

Linear densities of 5.0 ind. / 1 km for the Lesser Kestrel (n = 161) and 4.3 ind. / 1 km for the Lesser Grey Shrike (n = 139) in Pelagonia indicate the important role of overhead power lines for prey acquisition and post-breeding social behavior of both species. Their actual and regular use in Pelagonia is also evidenced by bird droppings on 34.3% of all poles surveyed, and by pellets on a further 3% of poles. In our study, the Lesser Kestrel is the most affected raptor species with 9.6% of all electrocutions. The fact that only 2% of the medium-voltage poles surveyed contained nests of the four bird species (White Stork, Spanish Sparrow, Hobby and Hooded Crow), of which only one species breeds successfully, indicates the negative effects of electrocution on reproduction.

✉ BS: Cirkulane 41, SI-2282 Cirkulane, Slowenien, Storch Slowenien – CICONIA Slowenien. E-Mail: stumberger@sio.net
FJ: University of Maribor, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Koroška cesta 160, SI-2000 Maribor, Slowenien.
E-Mail: franc.janzekovic@um.si

1 Einleitung

Das Bonner Übereinkommen zur Erhaltung der wandernden wildlebenden Tierarten (UNEP/CMS 2002) und das Berner Übereinkommen zum Schutz der wildlebenden Pflanzen und Tiere und ihrer natürlichen

Lebensräume (Bern Convention 2004) warnen ausdrücklich vor der Gefahr von Stromschlägen und Kollision der Tiere mit Freileitungen. Als am stärksten betroffene Tiergruppe werden die Vögel eingestuft.

Stromschlag (Elektrokution) und Anprall (Kollision) von Vögeln an Freileitungen sind Gegenstand zahlreicher Studien, da sie existenzielle Auswirkungen auf die Vogelpopulationen haben und wirtschaftliche Verluste aufgrund von Unterbrechungen der Stromversorgung sowie Brände verursachen (Bevanger 1994; Ferrer & Janss 1999; Lehman et al. 2007; Dwyer et al. 2019; Haas et al. 2020). Beim Stromschlag unterscheiden wir zwischen Kurz- und Erdschluss. Beide sind deutlich häufigere Unfallursachen als Kollisionen (Bäßler et al. 2000). Ein Kurzschluss entsteht, wenn der Vogel gleichzeitig zwei stromführende Leiter berührt. Wenn ein Vogel auf einem geerdeten Mast mit dem Fuß, Flügel, Schnabel oder Kotstrahl einen spannungsführenden Leiter und Konstruktionsteile berührt, kommt es zu einem Erdschluss. Die häufigste Ursache für Stromschläge der Vögel sind Masten der Mittelspannungs-Freileitungen 1 bis 60 kV aus Beton- und Metall sowie Masten aus Metallkonstruktionen (Bäßler et al. 2000). Der Grund liegt in der technisch fehlerhaften Konstruktion dieser Masten. Verschiedene Mastkonstruktionen haben eine unterschiedliche Stromschlagbelastung: alle Masten mit Stützisolatoren, Transformator- und Schaltermasten gelten in Europa als besonders gefährlich mit hohem Stromschlagpotential (VDEW 1991; Bevanger 1994; Lösekrug 1997; Bevanger 1999; Haas et al. 2005).

Nordmazedonien ist eines der wenigen Länder in Europa, in dem keine veröffentlichten Studien zu Stromschlag und Kollision von Vögeln vorliegen (vgl. Haas 1980; Haas & Fiedler 1997; Haas & Schürenberg 2008; Schneider-Jacoby 2008; Haas et al. 2020). Im Jahr 2002 berichteten Stumberger & Veleviski (2002) über den groß angelegten Umbau von Freileitungen von sicheren Holzmasten (sogar Mittelspannung) in sehr gefährliche Beton- und Metallmasten aller Spannungsbereiche in Pelagonien. Ein erheblicher Teil der Kolonie von elf Weißstorchpaaren *Ciconia ciconia* wurde dieses Jahr im Dorf Zhabeni elektrokutiert (Stumberger & Veleviski 2002). Das erste dokumentierte Stromschlagopfer in Nordmazedonien war 1958 ebenfalls ein Weißstorch aus Pelagonien (Rucner-Kroneisl 1962). Ein Storch war auch das erste fotografisch dokumentierte Opfer eines Stromschlags in den Reisfeldern bei Kočani im Jahr 2010 (Heckenroth & Heins 2010). Stromtod war bislang kein Thema in Nordmazedonien und wurde lediglich in Zusammenhang mit Todesfällen beim Weißstorch wahrgenommen, der bei der örtlichen Bevölkerung hohes Ansehen genießt.

Unser Ziel ist 1) die Anzahl und Artenzugehörigkeit der elektrokutierten Vögel in Pelagonien mit der ersten Felduntersuchung in Nordmazedonien zu dokumentieren, 2) auf der Grundlage von Primärdaten den Zusammenhang zwischen der Anzahl der elektrokutierten Vögel und den Mastenkonstruktionen zu erklären, 3) die Auswirkung der landwirtschaftlichen Landnutzung auf die Elektrokution zu bewerten, 4) die Last des Stromschlags verschiedener Konstruktionen der Elektro-

masten abzuschätzen, indem die Akkumulation der Elektrokution berechnet wird und 5) in Kombination mit der Zählung von Rötelfalken *Falco naumanni* und Schwarzstirnwürgern *Lanius minor* entlang der Trassen von Stromleitungen auf die Bedeutung und Gefahr von Mittelspannungsmasten für beide Arten in der kritischen Zeit nach der Brut aufmerksam zu machen.

2 Material und Methode

2.1 Gebiet

Pelagonien ist eine 1.104 km² große tektonische Senke im Südwesten Nordmazedoniens (41°30'–40°53'N, 21°15'–21°37'E). Sie erstreckt sich in Nord-Süd-Richtung und wird vom Fluss Crna reka durchflossen, einem der längsten Wasserläufe dieses Landes auf dem Balkan. Pelagonien ist von 1.400 m bis 2.600 m hohen Bergen umgeben. Der flache Boden der Senke liegt durchschnittlich 600 m über dem Meeresspiegel und hat eine Fläche von 900 km². Mit einer Länge von etwa 66 km und einer Breite von 16 km erstreckt sich die Senke noch weitere 15 km nach Süden bis nach Griechenland hinein (vgl. Stumberger & Veleviski 2002). Pelagonien ist eine rurale Landschaft mit weniger als 1 % Waldfläche. Der nördliche und mittlere Teil ist geprägt durch große ausgedehnte Weiden und Wiesen. Der südliche Teil Pelagoniens, vom Dorf Mogila bis zur griechischen Grenze, ist trockengelegt und mit Monokulturen wie Mais, Weizen oder Tabak bepflanzt. Obwohl 1959 in Pelagonien 540 km² Fläche trockengelegt wurde, treten Überschwemmungen immer noch auf (Stumberger & Schneider-Jacoby 2006). Seit der Jahrtausendwende sind auch die nördlichen und zentralen Teile Pelagoniens einem schnellen landwirtschaftlichen Wandel unterworfen, indem die traditionelle Beweidung aufgegeben wurde und Ackerlandwirtschaft die Oberhand gewinnt. Pelagonien ist von einer starken Landflucht und der Aufgabe ganzer Dörfer betroffen.

2.2 Methode

Im Zeitraum vom 28. Juli bis 3. August 2023 wurden in 35,5 Stunden 502 einzelne Masten und Linien der Mittelspannungsmasten (10–35 kV) in Pelagonien kontrolliert und nach Vogelkadavern abgesucht. Die untersuchten Einzelmasten und Mastenlinien decken das gesamte Gebiet ab und lassen somit Rückschlüsse auf die Situation in ganz Pelagonien zu (Abb. 1). Daten vor Ort wurden unter Anwendung der Applikation „My Location – Tracks GPS & Maps (2023)“ eingegeben. Aufgezeichnet wurden geografische Koordinaten, Standort, Spannungsbereich, Material (Holz, Beton, Metall) und Konstruktion des Masts (Trag-, Abspann-, Transformator-, Schalter- und Endmasten), Ausrichtung des Isolators (stütz, horizontal, hängend), Vogelart, Spuren von Exkrementen auf und unter den Masten und ausgewürgte Speiballen unter den Masten inklusive Lebensraumtyp (Anhang 1 und 2 online verfügbar). Bei den Standortangaben ist die Position des Mastes in oder außerhalb einer Siedlung erfasst. Außerhalb der Siedlungen wurden zwei Lebensraumtypen unterschieden: Grünland (Wiesen und Weiden) oder Acker. Von jedem Mast und seiner Umgebung sowie den verschiedenen ausgeführten Mastköpfen wurden Aufnahmen angefertigt. Mit der Durchsicht der Bilder der Isolatoren konnten diese gezählt und nach Material (Keramik, Glas, Komposit) und

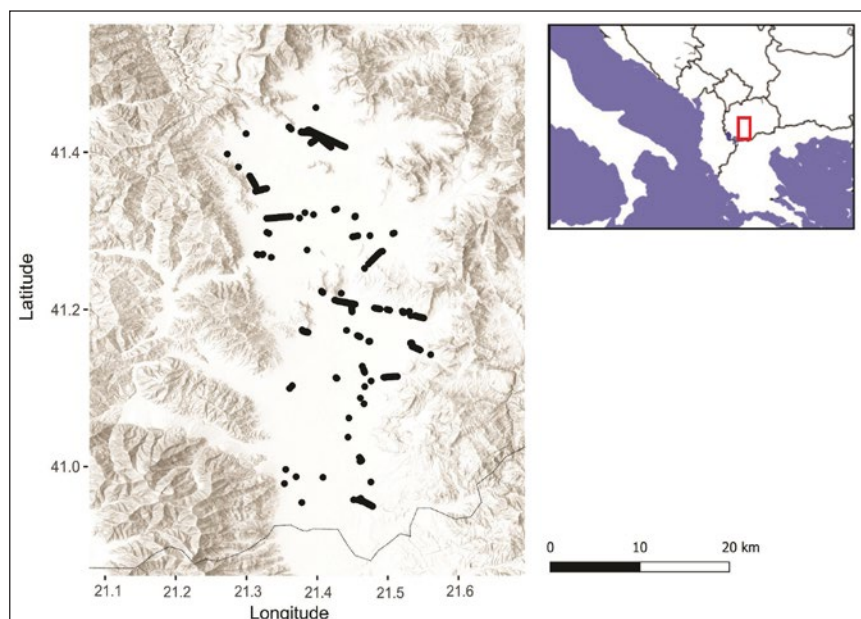


Abb 1: Das Gebiet Pelagoniens in Nordmazedonien. Punkte markieren die inspizierten Standorte der Mittelspannungsmasten (10–35kV). – *The area of Pelagonia in North Macedonia. Dots mark the inspected locations of medium-voltage power poles (10–35 kV).*

Form (Glocke, Kappe und Stab) klassifiziert werden. Dabei wurden auch die beschädigten Isolatoren und die Masten gezählt, an denen zwei oder mehr Generationen von Isolatoren gleichzeitig vorhanden waren – diese weisen auf mögliche Schäden hin, die durch die Einwirkung von elektrischem Strom auf Vögel verursacht wurden. So wurde das Stromschlagpotential der Masten numerisch berechnet, indem die Zahl der Isolatoren am geerdeten und die Zahl der Dubletten von Leitern unter Strom in einer Ebene am nicht geerdeten Mastenkopf summiert wurde. Dazu wurden an geerdeten Masten auch unter Strom stehende Teile, die Sitzgelegenheit bieten und Vögeln durch Erdschluss gefährlich sind, gerechnet (Details in Kapitel 3.2. Isolatoren). Dieses Potential wird definiert als die Fähigkeit, einen Vogel durch Stromschlag aufgrund der fehlerhaften Konstruktion eines Strommastes zu töten. Der Artikel bewertet Stromschläge aufgrund von Erdschluss und Kurzschluss.

2.3 Zustand und Alter von Kadavern

Die gefundenen Vogelkadaver oder deren Überreste wurden im Feld bis zur Art bestimmt und fotografiert ($n=57$). Gefieder und Körper wurden nach Anzeichen auf die Wirkung elektrischen Stroms abgesucht: das Vorhandensein von Verbrennungen (Brandmarke) oder ein charakteristisches elektrisches Zeichen (Strommarke) an mindestens einer Feder wurde als Beweis für die Wirkung des elektrischen Stroms bewertet (Pemsel-Tritschler & Haas 2008). Waren Verbrennungen an den Federn sichtbar, wurde nicht weiter nach der Strommarke gesucht. Abhängig von der Pathogenese (Verwesungszustand) können zwei Arten der Wirkung des elektrischen Stroms unterschieden werden: (i) eine energetische durch die Erzeugung von Joule-Wärme (Verbrennungen und Verkohlungen von Geweben und/oder Federn) und (ii) eine reaktive durch Nerven- und Muskelgewebe (Kontraktion der Muskeln von Kadavern). Anhand des Geruchs, der Totenstarre, des Zustands des Augapfels, des Zersetzungsgrads des Kadavers (und des Gefieders) und des Vorhandenseins von Aasfliegenlarven (Diptera) bzw. der Mumifizierung der Vogel-

leiche, wurde das Alter des Leichnams auf < 7 Tage, 7–14 Tage und > 14 Tage geschätzt. Es wurde angenommen, dass die komplette Todesstarre in drei bis sechs Stunden einsetzt und nach 24 Stunden nachlässt (vgl. Valverde et al. 2020).

Die Autoren gingen davon aus, dass das minimale postmortale Intervall für die Entwicklung der Maden der Goldfliegen (Lucilia), der Fleischfliegen (Sarcophagidae) und, unmittelbar nach ihnen, der Schmeißfliegen (Calliphora) auf Vogelkadavern mit den anderen Wirbeltieren vergleichbar ist und auf dem Höhepunkt des Mittelmeersommers zwei bis drei Tage beträgt (vgl. Dawson 2021) und davor die Fliegen maximal ein bis zwei Tage benötigen, um den Kadaver zu entdecken und mit der Eiablage zu beginnen. Im Kadaver erreichen aasfressende Maden ihren zahlenmäßigen Höhepunkt sieben Tage nach der Eiablage, danach nimmt die Zahl der Maden ab und wird nach 15 Tagen durch Ameisen und Käfer ersetzt (Valverde et al. 2020). Wenn die Kadaver beim Anheben deutlich an Gewicht verloren hatten und nur wenige oder keine Maden enthielten, wurde eine Liegezeit von mehr als zehn Tagen angenommen; waren diese bereits größtenteils oder vollständig skelettiert, von mehr als 15 Tagen. Durch die Untersuchung des Kadavers in Kombination mit der Konstruktion des Elektromastes, unter dem der durch den Stromschlag getötete Vogel lag, konnte auf die wahrscheinliche Todesart (Erd- oder Kurzschluss) geschlossen werden. Dabei wurde der Regel gefolgt, dass nur unter einem Mast liegende Vögel mit Anzeichen elektrischer Einwirkung als durch einen Stromschlag getötet gelten können, während Vögel zwischen den Masten ohne diese Anzeichen als Opfer einer Kollision mit den Leitungen betrachtet werden sollten (Ferrer et al. 1991; Bevanger 1994). Rationale Gründe und die der Untersuchung vorangegangene Felderfahrung führten dazu, dass aus Zeitgründen alle Vogelkadaver oder deren Überreste direkt unter den Masten als elektrotütiert behandelt wurden, auch ohne klinische Feststellung des definitiven Stromschlags. Als Beweis für einen letalen Stromschlag wurden somit Funde von einem Bündel von Flug- oder Steuerfedern oder einem Stück Haut mit Federn betrachtet, während Funde von nur

einer oder zwei Federn ausgeschlossen wurden (vgl. Shnayder 2021). Teilfunde von Knochen, Flug- und Steuerfedern wurden zusammengesetzt, um die Anzahl der elektrokutierten Individuen zu bestimmen (vgl. Abb. 2). Zerrissene Vogelleichen mit verstreut umherliegenden, häufig in eine Richtung vom Masten weg verschleppten Federn und Knochen sowie zerbissenen Kielen beweisen die Nutzung durch Prädatoren und sind als Prädation bewertet.

Außerhalb der Siedlungen haben wir in Pelagonien Rötelfalken und Schwarzstirnwürger entlang der inspizierten Linien von Strommasten gezählt, kartiert und ihr Sozialverhalten protokolliert (Familie, Gruppe, Individuum). Als Gruppe oder Familie galten mindestens drei Vögel. Als Familie nur, wenn die Altvögel die Jungvögel fütterten oder Jungvögel um Futter bettelten. Die Ergebnisse werden in Form von linearen Dichten (Anzahl Individuen / 1 km) dargestellt. Auch wurden Brutvogelnester auf Masten sowie Erdhöhleneingänge von Dachs *Meles meles* und Fuchs *Vulpes vulpes* neben Masten aufgenommen.

Die Ergebnisse der Erhebung der Strommasten wurden in eine Excel-Tabelle übertragen und mit der Fotodokumentation abgeglichen. Ein Fehler von 0,7 % ($n = 49$) in den Datensätzen wurde dabei eliminiert. Die Foto-Dokumentation der Masten wurde entsprechend der Reihenfolge in Form eines Katalogs zusammengestellt. Das gilt auch für die elektrokutierten Vögel (Anhang 3 online verfügbar).

2.4 Statistische Auswertung

Masten, die Stromschlag mit tödlichem Ausgang (Elektrokution) verursachten, wurden absolut und relativ bewertet: absolut – im Verhältnis zur Auswirkung einzelner Mastkonstruktionen auf die Gesamtzahl toter Vögel und relativ – im Verhältnis zur Auswirkung der standardisierten Anzahl einzelner Mastkonstruktionen auf den Stromtod der Vögel.

Die relative Auswirkung einzelner Konstruktionen auf die Elektrokution der Vögel wurde anhand der Stromschlagbelastung untersucht. Sie wurde als die Anzahl der durch Stromschläge getöteten Vögel pro 30 Masten definiert. Mit der akkumulativen Linie der Elektrokution (EAL) wurde die Stromschlagbelastung verschiedener Mastkonstruktionen dargestellt. Getrennt für jede Konstruktion wurde der Vektor für die akkumulierte Anzahl der Masten und der entsprechende Vektor für die akkumulierte Anzahl der durch Stromschläge getöteten Vögel berechnet. Der Zusammenhang zwischen den beiden Variablen wurde mit einer einfachen linearen Regression ausgewertet und durch Regressionslinien dargestellt (Legendre & Legendre 2012). Die akkumulierte Anzahl der Masten war die unabhängige und die akkumulierte Anzahl der elektrokutierten Vögel die abhängige Variable. Dies zeigte den Zusammenhang zwischen der Anzahl der Masten und der Anzahl der durch Stromschläge getöteten Vögel. Das Ergebnis der linearen Regressionsanalyse zwischen den beiden Variablen ist das statistische Modell der Beziehung, geschrieben in Form einer Regressionsgleichung (n letale Stromschläge = $a + b \times n$ Masten). Der Regressionskoeffizient b bzw. Richtungskoeffizient gibt die Änderung der Anzahl der durch Stromschläge elektrokutierten Vögel an, wenn dem Modell ein Mast hinzugefügt wird. Der Determinierungskoeffizient R^2 gibt den Anteil der erklärten Variabilität der Anzahl der durch Stromschläge getöteten Vögel an. Die Regressionsanalyse wurde für jeden Konstruktionstyp durchgeführt. Das statistisch signifikante Regressionsmodell lag bei $\lambda < 0,05$.

Regressionsmodelle für einzelne Konstruktionen wurden in die Schätzung der Anzahl von Elektrokutionen pro standardisiertem Wert von 30 Masten einbezogen. Diese Zahl wurde gewählt, weil es sich um eine relevante Zahl für einzelne Typen der Masten in Pelagonien handelt und weil sie aus der statistischen Praxis stammt, bei der 30 Messungen ausreichende Informationen bieten, um Rückschlüsse auf die Eigenschaften der Population zu ziehen (Krebs 2014). Außerhalb der Siedlungen wurden die Konstruktionen der Tragmasten gesondert behandelt, je nach Lebensraum, ob diese Masten auf bewirtschafteten Acker- oder Grünlandflächen standen.

Der Unterschied zwischen den relativen Häufigkeiten der Elektrokutionen je nach individueller Mastkonstruktion wurde mit dem Chi-Quadrat-Test geprüft, die Alternativhypothese wurde unter der Bedingung $\lambda < 0,05$ akzeptiert.

3 Ergebnisse

3.1 Masten

Es wurden 502 Strommasten kontrolliert, davon 407 aus Beton, 69 aus Holz und 26 aus Metall. Die häufigste Konstruktion mit 392 (78,1 %) entfällt auf Tragmasten, die seltenste Bauweise mit 11 (2,2 %) auf Endmasten. 85 Masten (16,9 %) befanden sich in 41 Siedlungen. Außerhalb der Siedlungen wurden 417 Masten in 18 Linien mit einer Gesamtlänge von 32,4 km kontrolliert, davon standen 252 (50,2 %) in Ackerland, 165 (32,9 %) in Weiden und Wiesen (Tab. 1). Jede Linie zählte zwischen sechs und 85 Masten (Median = 16). Der Anteil verschiedener Konstruktionen der Strommasten zwischen und außerhalb der Siedlungen unterscheidet sich signifikant (Chi-Quadrat = 90,59, $df = 4$, $p < 0,0001$). Außerhalb der Siedlungen dominieren mit 88,7 % die Tragmasten. In Siedlungen sind die Anteile einzelner Konstruktionen gleichmäßiger verteilt, wobei Transformatoren mit 35,3 % vorherrschen (Chi-Quadrat = 10,54, $df = 4$, $p = 0,0322$) (Tab. 1).

Der Anteil von 10–20 kV Masten betrug 86,9 %, der von 35 kV Masten 13,1 %. Die stromführenden Leiter wurden in einer bis drei Ebenen auf den Masten angebracht. Ein Erdseil war nur an einem Drittel der 35 kV Masten vorhanden.

3.2 Isolatoren

Je nach Ausrichtung des Isolators hatten 393 Masten Stützisolatoren (ihre Anzahl pro Mast variierte zwischen 1 und 12), 68 Masten hatten horizontal angeordnete Isolatoren und bei 41 waren Hängeisolatoren vorhanden. An den Masten befanden sich 1.018 Stützisolatoren aus Keramik (Trag-, Transformator- und Abspannmasten), davon 844 auf Beton- oder Gittermasten und 174 auf Holzmasten; 502 Stützisolatoren aus Komposit (Konstruktionen aller Art), davon 450 auf Beton- und Gittermasten und 52 auf Holzmasten; sowie 116 Glasisolatoren (hängend und horizontal). 84 Schalter an 28 Schaltermasten wurden als Stützisolatoren bewertet (sowohl Möglichkeit von Erd- als auch von Kurzschluss).

Tab. 1: Die Bauweisen der inspizierten Mittelspannungsmasten 10–35 kV und ihre Verteilung in Siedlungen und außerhalb von Siedlungen in Pelagonien. – *Construction of the 10-35 kV medium-voltage power poles inspected and their distribution in settlements and outside settlements in Pelagonia.*

Konstruktion - <i>construction</i>	in Siedlung - <i>in settlement</i>		außerhalb Siedlung - <i>outside settlement</i>						Gesamt - <i>total</i>	
	n	%	n	%	Acker - <i>arable land</i>	%	Grün- land - <i>grass land</i>	%	n	%
Tragmasten - <i>support pole</i>	22	25,9	370	88,7	219	86,9	151	91,5	392	78,1
Abspannmasten - <i>string pole</i>	10	11,8	28	6,7	18	7,1	10	6,1	38	7,6
Transformator - <i>transformer pole</i>	30	35,3	3	0,7	2	0,8	1	0,6	33	6,6
Schaltermasten - <i>switch pole</i>	13	15,3	15	3,6	12	4,8	3	1,8	28	5,6
Endmasten - <i>terminal pole</i>	10	11,8	1	0,2	1	0,4	0	0	11	2,2
Gesamt - <i>total</i>	85	100	417	100	252	100	165	100	502	100

Das Stromschlagpotenzial von Stützisolatoren an geerdeten inspizierten Masten in Pelagonien ergibt 1.378 Möglichkeiten, dass Vögel durch Erdschluss elektrokutiert werden – durchschnittlich 2,7-mal pro Mast ($n = 502$). Weitere 224 Möglichkeiten für die Elektrokution der Vögel zeigen sich auf Leitern in einer Ebene durch Kurzschluss (insbesondere Holzmasten ohne Erdung). Schließlich wurden 130 gefährliche unter Strom stehende Teile, wo die Vögel auch exponiert sitzen können, an geerdeten Masten mit zwei oder mehreren verschiedenen Konstruktionen identifiziert.

Einige der ältesten Glocken- und Kappenisolatoren aus Keramik waren beschädigt ($n=12$), bei den neueren Isolatoren aus Komposit konnten keine Schäden festgestellt werden. Kombinationen von alten Keramik- und Komposit-Isolatoren, insbesondere an alten Tragmasten, deuten eher auf einen fallweisen Austausch der ersteren aufgrund möglicher Schäden durch Vögel mit langanhaltender Spannungsüberbrückung als auf die reguläre Erneuerung hin ($n=19$). Sie können als indirekter Indikator für einen Stromschlag interpretiert werden.

3.3 Exkreme und Gewölle

Vogelkot wurde in 34,3 % entweder auf Masten oder unter den Masten registriert ($n = 175$). Gewölle lagen unter 43 Masten und wurden in 35 Fällen Falken (Rötel- oder Turmfalke *Falco tinnunculus*), in zwei Fällen dem Schwarzstirnwürger und acht Fällen dem Weißstorch zugeordnet. An 15 Masten, an denen Gewölle lagen, wurden keine Exkreme gefunden.

3.4 Brutvögel und Nester

Zwei Brutten des Baumfalken *Falco subbuteo* wurden in Krähenestern auf 35 kV-Masten festgestellt: In der

Nähe des Dorfes Sarandinovo saßen am 28. Juli 2023 eben flügge Jungvögel neben dem Nest, und in Alinci hockten am 30.07.2023 die flaumigen Küken noch immer im Nest. In Berovtsi befanden sich unweit der kommunalen Mülldeponie drei Nester des Weißstorchs ohne Bruterfolg auf 35 kV T-Masten. In einem Nest der Nebelkrähe *Corvus cornix* auf einem 10–20 kV-Schaltermast bei Krivogastani baute ein Paar des Weidensperlings *Passer hispaniolensis* sein Nest. In weiteren vier Konstruktionen der Transformatoren haben Weidensperlinge Nester angelegt. Der Anteil der inspizierten Masten mit Nestern beträgt 2 %. Alle Standorte der Masten mit Nestern wurden während der Brutzeit in April und Mai kontrolliert und nur der Baumfalke hat erfolgreich an Mittelspannungsmasten gebrütet.

3.5 Elektrokution

Unter 51 Masten wurden 73 elektrokutierte Vögel von 13 Arten gefunden. Die Todesursache lässt sich in 63,0 % der Fälle auf einen Erdschluss zurückführen, bei 13,7 % auf einen Kurzschluss. Bei den restlichen 23,3 % der Funde konnte die Todesursache nicht eindeutig auf Erd- oder Kurzschluss zurückgeführt werden (Tab. 2).

Die häufigsten Opfer von Stromschlägen waren Stare *Sturnus vulgaris* und Elstern *Pica pica*. 60 % der Stare kamen durch Gruppenstromschläge ums Leben, entweder durch einen Kurzschluss zwischen stromführenden Leitern ($n = 5$) oder durch Erdschluss auf geerdeten Betonmasten mit Stützisolatoren ($n = 7$). Unter Trag- und Transformatormasten mit Stützisolatoren lagen 90 % aller elektrokutierten Stare. Bei Elstern sind Stützisolatoren an Trag- und Trafomasten in 73,3 % die Todesursache. Elektrokutierte Weißstörche lagen unter allen



Abb. 2: Bei der Suche um den Schaltmasten am Dorfrand von Gneotino wurden am 1. August 2023 Federn eines Weißstorchs *Ciconia ciconia* gefunden. Eine erste Einschätzung, dass ein elektrokutierter Storch zerrissen wurde, erwies sich als Fehler, nachdem die gefundenen Hand- und Armschwingen zusammengestellt wurden. Das Resultat waren Federn von drei Störchen, deren Körper schon verschleppt worden waren (u.a. Schakal oder Hunde anwesend). Die Hühner waren dabei, die Reste der Flügel zu zersetzen und haben intensiv einzelne Federn bekippt, um an Eiweiß in Federfollikeln zu gelangen. Todesursachen (Erdschluss oder Kurzschluss) sind auf Schaltmasten schwer zu ermitteln: beide kommen in Betracht. – *During a search around the switch pole on the outskirts of the village of Gneotino on August 1, 2023, feathers from a White Stork *Ciconia ciconia* were found. Initial assessment: an electrocuted stork had been torn apart, but this proved to be a mistake after the found primaries and secondaries were collected. The result was feathers from three storks whose bodies had already been transported (e.g. jackals and dogs present). The hens were decomposing the remains of the wings and were intensively pecking at individual feathers to get protein from the feather follicles. The cause of death, earth fault, or short circuit is difficult to determine on switch poles: both are possible.*

Fotos: Borut Stumberger

Typen von Mastkonstruktionen, die Hälfte davon unter solchen mit Stützisolatoren. Für 30 % der tödlichen Stromschläge bei Störchen sind Schaltmasten verantwortlich, der höchste Prozentsatz unter den elektrokutiert festgestellten Arten (Abb. 2). Tragmasten mit Stützisolatoren sowie Konstruktionen auf Abspann- und Transformatormasten mit Stützisolatoren sind verantwortlich für die Elektrokution der Dohlen und Krähen. Dies gilt auch im Falle des Rötelfalken, für den die Stützisolatoren an Tragmasten die Hauptursache der Elektrokution sind (Abb. 3). Nur ein einziger Rötelfalke wurde an einem Schaltermast gefunden. Bestandsbedrohend könnten die Verluste auch für den lokalen

Brutbestand des Adlerbussards *Buteo rufinus* sein (Abb. 4). Zu den seltener elektrokutierten Arten gehört die in der Gegend häufig vertretene Grauammer *Emberiza calandra*. Ein Schwarzstirnwürger wurde unter der Traverse eines Abspannmasten mit zu kurzer Überbrückung eines nicht isolierten Leiters gefunden.

Die Artenzusammensetzung der elektrokutierten Vogelarten unterscheidet sich innerhalb und außerhalb von Siedlungen erheblich (Chi-Quadrat = 67,85, df = 2, $p < 0,0001$). In Siedlungen überwiegen Störche, außerhalb von Siedlungen Greifvögel, wobei sechs Arten in Siedlungen und elf Vogelarten außerhalb von Siedlungen von Stromschlag betroffen sind (Tab. 2).



Abb. 3: Dieser adulte männliche Rötelfalke *Falco naumanni* wurde auf einem gemähten Weizenacker ohne Kontakt zum Boden in der starren Todeshaltung mumifiziert unter einem 10–20-kV-Mast gefunden. Brandmarken waren auf der linken Flügelspitze präsent, am rechten Flügel hatte der Stromfluss an dem ventralen fleischigen Teil um das Metacarpalgelenk ein Federloch verursacht (Pfeil). Das Männchen könnte beim Abflug mit dem ventralen Flügelbereich den Isolator mit Leiter unter Spannung berührt und einen Erdschluss verursacht haben. Da Rötelfalken häufig die Nähe und die Deckung (z. B. Schatten) dicht beim Isolator suchen, wird ihnen dieses charakteristische Verhalten oft zum Verhängnis. Topolchani, 30. Juli 2023. – *This adult male Lesser Kestrel Falco naumanni was found mummified in a harvested wheat field, without contact with the ground, in the rigid death position beneath a 10-20 kV supporting pole. Burns of feathers were present on the left wingtip, and on the right wing, the current flow had caused a feather hole in the ventral fleshy part around the metacarpal joint (arrow). The male may have touched the insulator or conductor with the ventral wing side during take-off, causing an earth fault. Since Lesser Kestrel frequently seek proximity and cover (e.g., shade) close to the insulator, this characteristic behaviour often proves fatal. Topolchani, July 30, 2023.*

Fotos: Borut Stumberger



Tab. 2: Elektrokutierte Vögel, die in Pelagonien zwischen 28. Juli und 3. August 2023 unter 51 Mittelspannungsmasten 10–35 kV gefunden wurden. Bezugnehmend auf die Konstruktion des Strommasten (n = 502) und der Untersuchung der Kadaver ist die wahrscheinliche Todesursache dargestellt. – *Electrocuted birds found under 51 medium-voltage 10-35 kV poles in Pelagonia between July 28 and August 3, 2023. The probable cause of death is shown with reference to the construction of the electricity pole (n = 502) and the examination of the carcasses.*

Art - species	Anzahl der elektrokutierten Vögel - number of electrocuted birds			Ursache der Elektrokution - cause of electrocution		
	in Siedlung - in settle- ment	außerhalb Siedlung - outside settlement	Gesamt - total	Erd- schluss - earth fault	Kurz- schluss - short circuit	nicht bekannt - not know
Star <i>Sturnus vulgaris</i>	6	14	20	11	*5	4
Elster <i>Pica pica</i>	7	11	18	12	**1	5
Weißstorch <i>Ciconia ciconia</i>	9	1	10	5	**3	2
Dohle <i>Coloeus monedula</i>	2	5	7	6		1
Rötelfalke <i>Falco naumanni</i>		7	7	6	**1	
Nebelkrähe <i>Corvus cornix</i>		3	3	3		
Adlerbussard <i>Buteo rufinus</i>		2	2	1		1
Turmfalke <i>Falco tinnunculus</i>		1	1	1		
Kohlkrabe <i>Corvus corax</i>		1	1	1		
Türkentaube <i>Streptopelia decaocto</i>	1		1			1
Taube <i>Columba livia f. domestica</i>	1		1			1
Schwarzstirnwürger <i>Lanius minor</i>		1	1	1		
Grauammer <i>Emberiza calandra</i>		1	1			1
Gesamt - total	26	47	73	46	10	17

* Überbrückung zweier Phasen spannungsführender Leiter im Schwarm an Holzmasten

** Schaltermasten, möglich auch Erdschluss

Tab. 3: Durch Stromschlag verursachte Sterblichkeit der Vögel an einzelnen Konstruktionen der Strommasten in Pelagonien. – *Mortality of birds caused by electrocution on individual electricity pole constructions in Pelagonia.*

Konstruktion - constrution	Anzahl Masten - number of poles	Masten mit Kadavern - poles with carcasses	Anteil Masten mit Kadavern % - percentage of poles with carcasses	Anzahl Opfer - number of victims	Anteil Sterblichkeit bez. Konstruktion des Mastens % - Mortality rate related to pole construction %
Tragmasten - support pole	392	34	8,67	47	11,99
Abspannmasten - string pole	38	5	13,16	5	13,16
Transformator - transformer pole	33	7	21,21	13	39,39
Schaltermasten - switch pole	28	3	10,71	5	17,86
Endmasten - terminal pole	11	2	18,18	3	27,27
Gesamt - total	502	51	10,16	73	14,54



Abb. 4: Der adulte Adlerbussard *Buteo rufinus* ist durch einen länger anhaltenden Stromfluss an einem Tragmasten im Mittelspannbereich 10–20 kV gestorben, durch Erdschluss ausgelöst. An beiden Fängen ist die Haut abgeplatzt, am linken Fang sind auch deutlich am Knochen Verbrennungen des 4. Grades erkennbar. Der Stromfluss könnte auch über den fleischigen Anteil des rechten Handflügels unten gelaufen sein. Die neu angebrachten Stützisolatoren aus Komposit auf Betonmasten in Pelagonien, an denen der Adlerbussard umgekommen ist, sind für die Vögel von der Größe des Turmfalken und für die Vögel, die in Schwärmen leben, sehr gefährlich. Sarandinovo, 28. Juli 2023. – *The adult Long-legged buzzard Buteo rufinus died from a prolonged current flow on a supporting pole in the medium voltage range of 10-20 kV, caused by an earth fault. The skin on both legs has flaked off, and fourth-degree burns are clearly visible on the bone of the left tarsometatarsus and digits. The current may also have flowed through the fleshy part of the lower right wing. The newly installed composite pin insulators on concrete poles in Pelagonia, where the Long-legged buzzard died, are very dangerous for birds the size of Kestrel and for birds that live in flocks.* Sarandinovo, July 28, 2023.

Fotos: Borut Stumberger

Betrachtet man den absoluten Einfluss der Konstruktion einzelner Masten auf die Gesamtzahl der letalen Stromschläge, kamen 64,4 % der Vögel an Tragmasten mit Stützisolatoren ums Leben und 17,8 % an Transformarmasten mit Stützisolatoren. An Abspann-, End- und Schaltermasten wurden 4,1 bis 6,8 % der Vögel elektrokutiert (Abb. 5).

Betrachtet man den relativen Einfluss einzelner Konstruktionen auf die Gesamtsterblichkeit durch Elektrokution, stechen 33 Transformarmasten hervor, von denen 39,4 % zum Tod von Vögeln führten, gefolgt von elf Endmasten, von denen 27,3 % für die Vögel letal wurden. Die restlichen Konstruktionen waren für 12,0 % bis 17,7 % der Opfer verantwortlich (Tab. 3, Abb. 5). Die relativen Häufigkeiten tödlicher Strom-

schläge unterscheiden sich statistisch zwischen den einzelnen Mastkonstruktionen (Chi-Quadrat = 10,01 df = 4, p = 0,0403).

Vogelkadaver wurden unter 10,2 % der inspizierten Masten, also im Durchschnitt unter jedem zehnten Strommasten gefunden. Die Zahl der durch Stromschlag getöteten Vögel unter den Masten schwankte zwischen 1 und 7, wobei es maximal zwei verschiedene elektrokutierte Vogelarten gleichzeitig gab.

Es konnten keine Kollisionsopfer registriert werden, obwohl ein 20 Meter breiter Streifen unter den Leitungen zwischen den Masten abgesucht wurde (nur 4,4 % der untersuchten Masten waren mit einem dünneren und gefährlichen Erdseil, ausschließlich in 35 kV Bereich, ausgestattet).

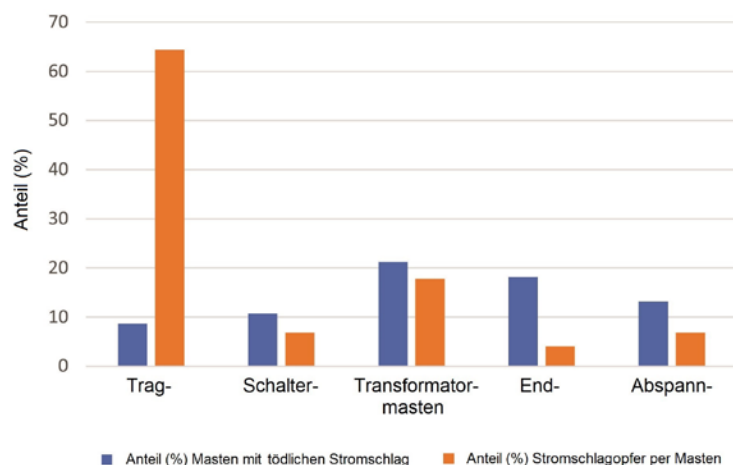


Abb. 5: Bewertung der relativen Sterblichkeit der Vögel durch Elektroktion an verschiedenen Konstruktionen der Strommasten in Pelagonien: a) blau, Anteil der Masten, die Vögel elektrokutiert haben und b) orange, Gesamtwirkung auf Stromtod der Vögel an einzelnen Konstruktionen der Masten. – *Assessment of the relative mortality of birds due to electrocution at different power pole constructions in Pelagonia: a) blue, proportion of poles that electrocuted birds and b) orange, total effect on electrocution of birds at individual pole construction. From left to right: supporting pole, switch pole, transformer pole, terminal pole, string pole.*

3.6 Akkumulative Linie der Elektroktion (EAL)

Die Regressionsmodelle, welche die Variabilität der Anzahl der durch Elektroktion getöteten Vögel erklären, waren für alle Mastkonstruktionen statistisch signifikant (Tab. 4). Der Anteil der erklärten Varianz R^2 , der erklärt, wie die Zahl der Elektroktionen mit zunehmender Zahl der Masten zunimmt, hat Werte von 77 % für End- bis 91 % für Abspannkonstruktionen ergeben (Tab. 4). Die Regressionskoeffizienten b , welche die Veränderung der Zahl der Elektroktionen bei einer Erhöhung der Zahl der Masten um ein Strommasten angeben, lagen zwischen 0,06 und 0,45 und waren alle statistisch signifikant. Berechnet man diese Werte auf zehn Masten, bedeutet dies, dass Tragmasten mit hängenden Isolatoren relativ am wenigsten gefährlich sind und durchschnittlich 0,6 Todesfälle pro zehn Masten

verursachen. Im Allgemeinen sind Vogelpopulationen in Pelagonien am stärksten durch Transformator- und Endmasten betroffen, mit durchschnittlich 4,5 bzw. 3,9 Todesfällen pro zehn Masten (vgl. Abb. 6).

Aus den Regressionsgleichungen für verschiedene Konstruktionen der Masten wurde die Vorhersage der durchschnittlichen Anzahl von durch Stromschlag elektrokutierten Vögeln berechnet. Diese Vorhersage wird als Last des Stromschlages bezeichnet und stellt einen standardisierten Wert zum Vergleich zwischen einzelnen Mastkonstruktionen dar. Die Vorhersage der EAL an 30 Masten ergibt für eine bestimmte Konstruktion eine Spanne von 1,6 Todesfällen an Tragmasten mit hängendem Isolator bis zu 11,2 Todesfällen an Transformator- und Endmasten (Tab. 4, Abb. 6). Die berechneten Werte gelten für den Höhepunkt des Sommers.

Tab. 4: Lineare Regressionsmodelle für die Vorhersage der akkumulierten Elektroktion (EAL) der Vögel in Pelagonien auf Mittelspannungsmasten 15–35 kV. Ergebnisse des ANOVA-Regressionsmodells: F ; $df1$, $df2$; p . Determinationskoeffizient R^2 . Vorhersage EAL für 30 Masten - vorhergesagte durchschnittliche Anzahl der elektrokutierten Vögel für 30 Masten (NE - Anzahl elektrokutierter Vögel, NM - Anzahl der Masten). – *Linear regression models for predicting accumulated electrocution (EAL) of birds in Pelagonia on medium-voltage poles 15-35 kV. Results of the ANOVA regression model: F ; $df1$, $df2$; p . Determination coefficient R^2 . Predicted EAL for 30 poles - predicted average number of electrocuted birds for 30 poles (NE - number of electrocuted birds, NM - number of poles).*

Konstruktion - construction	Regressionsmodell $NE \sim a + b \cdot NM$	F ; $df1$, $df2$; p	R^2	Vorhersage EAL für 30 Masten
Endmasten – terminal pole	$NE \sim -0,53 + 0,391 \cdot NM$	31,3; 1, 9; 0,0003	0,777	11,2
Transformator – transformer pole	$NE \sim -2,39 + 0,451 \cdot NM$	297,8; 1, 31; < 0,0001	0,906	11,1
Schaltermasten – switch pole	$NE \sim -0,78 + 0,187 \cdot NM$	116,4; 1, 26; < 0,0001	0,818	4,8
Abspannmasten – string pole	$EN \sim -0,87 + 0,157 \cdot NM$	416,8; 1, 36; < 0,0001	0,924	3,8
Tragmasten Stützisolator (Ackerland) - support pole with pin insulator + arable land	$NE \sim -0,65 + 0,110 \cdot NM$	796,8; 1, 188; < 0,0001	0,809	2,6
Tragmasten Stützisolator (Grünland) - support pole with pin insulator + grass land	$NE \sim -0,21 + 0,205 \cdot NM$	2162,6; 1, 138; < 0,000	0,904	2,3
Tragmasten Hängeisolator – support pole with suspension insulator	$NE \sim -0,23 + 0,060 \cdot NM$	249,5; 1, 38; < 0,0001	0,868	1,6

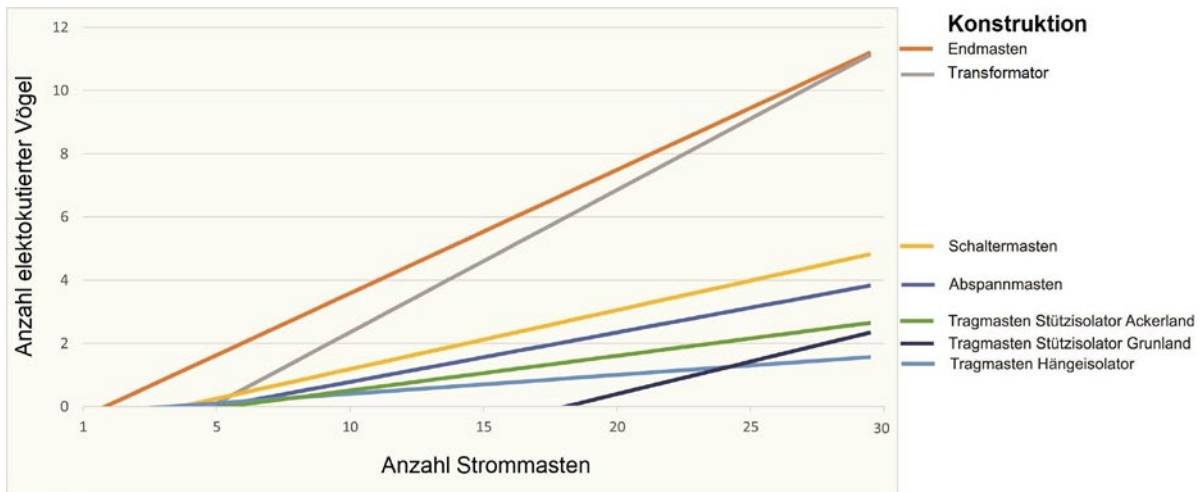


Abb.6: Zusammenhang zwischen der Anzahl der elektrokutierten Vögel und der Anzahl der Masten in 15–35 kV Mittelspannbereich in Pelagonien. Regressionslinien der akkumulierten Elektroktion (EAL) beschreiben die Zunahme der Anzahl von Vögeln, die durch Stromschläge getötet wurden, abhängig von der Anzahl verschiedener Konstruktionen der Strommasten. Für die Tragmasten mit Stützisolatoren werden getrennte Linien für Grün- und Ackerland dargestellt. Die Regressionskoeffizienten und statistischen Merkmale der Regressionsmodelle sind in Tab. 4 dargestellt. – *Relationship between the number of electrocuted birds and the number of poles in the 15–35 kV medium-voltage range in Pelagonia. Regression lines of accumulated electrocution (EAL) describe the increase in the number of birds electrocuted depending on the number of different electricity pole constructions. Separate lines for grassland and arable land are shown for supporting poles with pin insulators. The regression coefficients and statistical characteristics of the regression models are shown in Table 4.*

3.7 Zustand und Alter von Kadavern

Die durch Stromschlag getöteten Vögel lagen direkt neben den Masten auf dem Boden. Von dieser pathognomonischen Lokation des Stromschlags durch Erdschluss abweichend waren eine Graumammer und eine Elster, die von einem Dornbusch direkt neben dem Mast aufgefangen, sowie zwei Elstern, die von einem Aasnutzer zerstückelt und im Umfeld zerstreut worden waren. Von 73 Vogelopfern wurden in 49,3 % der Fälle entweder komplette Kadaver gefunden oder die im Anschluss an die Dekomposition (Zersetzung) nah beieinander liegenden Überreste derselben. 20,6 % waren durch Bodenprädatoren zerrissen. Bei 30,1 % der Opfer konnte Prädatoren nicht zuverlässig bestätigt werden; diese ist jedoch wahrscheinlich, da die Überreste im Umfeld der Masten verstreut lagen.

An elf Kadavern wurden durch die energetische Wirkung des elektrischen Stroms Verbrennungen registriert (Federn, Beine, Schnabel, Kopf und auf der Unterseite der Flügel im fleischigen Gelenkbereich des Metacarpus). Unter den Kadavern ohne Verbrennungen wurden nur zwei mit einer Strommarke am Gefieder gefunden. Damit war die energetische Wirkung von elektrischem Strom bei insgesamt 13 (17,8 %) Kadavern zu finden. Einige Vögel erlitten durch elektrischen Schock einen tödlichen Krampf der Bein- und Flügelmuskulatur und wurden in dieser Position unter Masten gefunden. Außerdem wurde Opisthotonus (Halsverdrehen) festgestellt.

Zwei Stare und ein Turmfalke befanden sich noch in der Todesstarre und waren, auch dem noch hervortretenden Augenbulbus zufolge, erst wenige Stunden vor dem Fund elektrokutiert. Bei sieben Kadavern mit hydratisiertem Bulbus wurde der Todeszeitpunkt auf zwei bis vier Tage vor dem Fund geschätzt. Bei anderen Kadavern war der Bulbus konkav oder die Dekomposition war so weit fortgeschritten, dass dieses Kriterium nicht anwendbar war. Zwölf Kadaver waren durch Maden der Fliegen befallen. Die Kadaver einer Graumammer, einer Nebelkrähe und eines Rötelfalken waren mumifiziert (Abb. 3). Das durch den Prozess der Dekomposition geschätzte Alter von Vogelkadavern betrug durchschnittlich ein bis zwei Wochen mit einem Median von zehn Tagen ($n = 60$). Im postmortalen Intervall von 15 Tagen, bis zum Großteil oder bis zur vollständigen Skelettierung der Vogelleichen, wurden 49 (67,1 %) durch Stromschlag getötete Vögel eingeordnet (Anhang 4).

Auf dem Höhepunkt des Sommers kann, allein an den 502 inspizierten Masten in Pelagonien, den Berechnungen des postmortalen Intervalls, Zahl der elektrokutierten Vögel und Zahl der Elektroktionen zufolge, pro Monat von 98 bis 156 Vogelopfern ausgegangen werden.

3.8 Rötelfalke und Schwarzstirnwürger

Auf Mittelspannungsstrecken außerhalb von Siedlungen haben wir 161 Rötelfalken (5,0 Ind. / 1 km Freileitung) und 139 Schwarzstirnwürger (4,3 Ind. / 1 km

Freileitung) registriert. 77,2 % der Schwarzstirnwürger in 28 Familien saßen auf den Freileitungen, die Erwachsenen fütterten noch die Jungen. Nur sechs Rötelfalken wurden einzeln gezählt, die absolute Mehrheit in Gruppen von drei bis 25 Vögeln (Median = 6). An Leitern und Masten brachten die Altvogel beider Arten den Jungen tagsüber Futter, ruhten, jagten oder versammelten sich in losen Gruppen. Rötelfalken haben einige Freileitungsstrecken, z. B. vor dem Dorf Krivogashtani, als Sammelplatz vor dem Abflug zum gemeinsamen Schlafplatz gewählt.

4 Diskussion

4.1 Masten und Isolatoren

Einzelne Mastkonstruktionen haben ein unterschiedliches Gefährdungspotential (Bäßler et al. 2000), bilden aber als Gesamtheit das Stromschlagpotential eines Gebietes oder einer Region. Den Verfassern ist keine Studie bekannt, die das Stromschlagpotential an Freileitungen anhand von Mastkonstruktionen quantitativ bewerten und mit der ermittelten Sterblichkeitsrate vergleichen würde. Die Sterblichkeitsrate in Stromschlagstudien wird in der Regel anhand der Anzahl getöteter Vögel pro Mast geschätzt (vgl. Loss et al. 2014; Guil & Pérez-García 2022). In der vorliegenden Untersuchung zeigt das Stromschlagpotential von Stützisolatoren an den 502 untersuchten Mittelspannungsmasten in Pelagonien 1.378 Möglichkeiten für Erdschluss, der sich auf Vögel fatal auswirken kann – durchschnittlich Faktor 2,7 pro Mast. Das Zusammenfügen einzelner Mastkonstruktionen zu komplexen technischen Konstruktionen erhöht die Gefahr eines Stromschlags und ist für die Vögel, die diese Masten nutzen, sehr risikoreich (RPS & NABU 2021). Da es sich bei 75 (14,9 %) der untersuchten Konstruktionen in Pelagonien um Hybridkonstruktionen handelt, ist das dargestellte Stromschlagpotential durch Stützisolatoren mit Erdschluss nicht ausgeschöpft. Dieser erreicht mit 130 gefährlichen Ausführungen, die Sitzgelegenheit bieten, in unserer Untersuchung 1.508 Möglichkeiten, um Vögel durch Erdschluss zu töten – durchschnittlich Faktor 3,0 pro Mast. Bei in Gruppen oder Schwärmen lebenden Arten, wie Staren, Elstern, Weißstörchen und Rötelfalken mit zusammen 13,69 % der ermittelten Gesamtsterblichkeit sind theoretisch weitere 224 Tötungsmöglichkeiten durch Kurzschluss möglich (alle Kurzschlussopfer befanden sich neben den Holz- oder Schaltermasten). Das kombinierte Stromschlagpotential durch Erd- und Kurzschluss auf 502 Masten in Pelagonien weist auf 1.732 Möglichkeiten hin, durch die Vögel durch Stromschlag getötet werden können – und damit durchschnittlich auf den Faktor 3,5 pro Mast. Das Verhältnis zwischen festgestellter Sterblichkeit und dem Stromschlagpotential beträgt somit 1:24.

Die Autoren schätzen, dass im Rahmen dieser Untersuchung weniger als 3 % aller Mittelspannungs-

masten in Pelagonien untersucht wurden. Durch die Zahl der Killermasten und ihr Stromschlagpotential weist Pelagonien eine bedeutende Gefahr für die Vögel auf, an Strommasten zu verenden. Diese Gefahr ist persistent und weicht damit grundsätzlich von natürlichen periodischen oder stochastischen Ereignissen, die auf Populationen limitierend wirken, ab.

4.2 Brutvögel und Nester

Die demografischen Folgen für Vögel, die auf elektrischen Freileitungen brüten, sind kaum untersucht (D'Amico et al. 2018). Den Autoren liegt keine Untersuchung vor, welche Nieder- (< 1 kV), Mittel- (1–60 kV) und Hochspannung (> 60 kV) vergleicht. Obwohl die Stichprobe von zehn Nestern auf Mittelspannungsmasten in Pelagonien klein ist, wurden nur zwei erfolgreiche Bruten des Baumfalken festgestellt. Alle Bruten der Weißstörche, Nebelkrähen und Weidensperlinge waren erfolglos. Diese vier Vogelarten belegen nur 2 % der inspizierten Mittelspannungsmasten. Dagegen ist die Lage im Niederspannungsbereich in Pelagonien anders: im Jahr 2022 befanden sich 334 bzw. 79,1 % aller besetzten Storchhorste auf Niederspannungsmasten. 12.694 Paare von sieben Vogelarten nisteten in Storchennestern, oft in Kontakt mit spannungsführenden Leitern; kolonial oder einzeln haben auch Weidensperlinge und Türkentauben die Nester an Niederspannungsmasten angelegt (Stumberger & Veleviski, eigene Daten). Der geschätzte Anteil an Niederspannungsmasten mit Storchennestern in Pelagonien liegt bei über 5 %. Auf 171 Hochspannungsmasten in Slowenien befanden sich bei 21 % Vogelneester zweier Arten (Janžekovič & Šorgo 1995), während 4.336 Masten im Nordosten Spaniens zu 5 % mit Vogelnestern von fünf Vogelarten belegt waren (Infante & Peris 2003). Im Verbreitungsgebiet des Weißstorchs in Portugal verfügten 7,7 % der 8.680 Hochspannungsmasten über Storchennester (Moreira et al. 2018).

Die geringe Belegung von 10–35 kV-Mittelspannungsmasten in Pelagonien kann auf die Auswirkung der Elektroktion hinweisen, da Transformatormasten aus Metallkonstruktionen und alle Hybridmasten viele Möglichkeiten zur Nestplatzierung bieten, diese jedoch ohne Nester waren. Trockene Vogelfedern sind ein sehr guter Isolator, feuchte oder nasse Federn hingegen nur bis etwa 7 kV. Im Mittelspannungsbereich wird ein Stromschlag häufig durch Flug- und Steuerfedern ausgelöst (Haas & Böhmer 2016), während im Hoch- und Höchstspannungsbereich die Gefahr eines Stromschlags aufgrund langer Isolatorenketten zu vernachlässigen ist (cf. Haas et al. 2005). Zukünftige Studien sollten den demografischen Effekt brütender Vogelpopulationen zwischen verschiedenen und innerhalb einzelnen Spannungsbereichen untersuchen. So stieg beispielsweise die Länge des Hochspannungsnetzes im Brutgebiet des Weißstorchs (Beitrag zur Sterblichkeit) in Portugal um 1,8-mal und damit viel langsamer als die Anzahl der

Nester an Hochspannungsmasten (Beitrag zur Fortpflanzung) die 12,1-mal zunahm (Moreira et al. 2017). An 11 % der 1.196 Hochspannungsmasten im Südwesten Spaniens mussten aus Gründen des Betriebs- und Storchenschutzes innerhalb von fünf Jahren 839 Storchennester entfernt oder umgesiedelt werden (Burdett et al. 2022).

4.3 Elektrokution

Die Arten und die Anzahl der elektrokutierten Vögel bezüglich Anzahl der Masten, Jahreszeit, Lebensraum, Konstruktion und Dauer der Untersuchung sowie Standort variieren zwischen den Studien erheblich. Im Hinblick auf die Anzahl der untersuchten Masten und der Länge der Freileitungen identifizierten vergleichbare Studien bei mehreren Begehungen 13 Arten mit 160 Opfern in Katalonien (Mañosa 2001), 45 Arten mit 297 Opfern in Bulgarien (Demerdzhiev 2014) zwei Arten mit zwei Opfern in Albanien (Bashmili et al. 2020), bei je einer einzigen Begehung neun Arten mit 186 Opfern in Kasachstan (Lasch et al. 2010) und 13 Arten mit 161 Opfern in Rajasthan, Indien (Harness et al. 2013). Bei unserer einmaligen Erhebung wurden 13 Arten mit 73 Opfern belegt (Tab. 2). Obwohl die Opfer von Stromschlägen im Allgemeinen Greifvögel, Raben (Krähen) und Thermiksegler sind (Janss 2000; Demerdzhiev et al. 2009), ist die Ordnung der Passeriformes in Pelagonien mit einem hohen Anteil von 69,9 % vertreten (52,1 % bilden Stare und Elstern). Eine Besonderheit unserer Erhebung ist der hohe Anteil an durch Stromschlag getöteten Rötelfalken (siehe Kapitel 3.8. Rötelfalke und Schwarzstirnwürger).

In einer globalen Übersicht, die 114 Studien mit mindestens 20 untersuchten Masten berücksichtigte, wurde die höchste durchschnittliche Stromschlagrate bei Vögeln in Europa festgestellt: $13,9 \pm 29,4$ durch Stromschlag getötete Individuen pro 100 untersuchten Masten; außerdem wurden drei Gebiete mit mehr als 100 elektrokutierten Vögeln pro 100 Masten ebenfalls in Europa belegt (Guil & Pérez-García 2022). In Pelagonien beträgt die Gesamtrate der tödlichen Stromschläge 14,5 Individuen pro 100 Masten und unterscheidet sich zwischen der Siedlung (39,6 Ind. / 100 Masten) und außerhalb der Siedlung (11,3 Ind. / 100 Masten). Unsere Erhebung hat die Rate der Elektrokution für den Hochsommer identifiziert. Die Bestimmung der Elektrokution auf saisonaler oder jährlicher Ebene erfordert einen größeren Input für eine relevante Bewertung der Populationsverluste. Unter Berücksichtigung des postmortalen Intervalls ($67,1 \% \leq 15$ Tage) gehen wir davon aus, dass für die Auswertung der saisonalen Stromschlagrate, z. B. im Sommer, in Pelagonien mindestens eine monatliche Begehung erforderlich wird.

Die absolute Mehrheit der Elektrokutionen in Pelagonien ist auf Erdschluss zurückzuführen. Absolut verursachen die meisten tödlichen Stromschläge die Tragmasten mit Stützisolatoren und relativ die Transformator-

masten mit Stützisolatoren. Die Sterblichkeit an den Endmasten ist relativ gesehen hoch, die Relevanz der Aussage wird jedoch durch die kleine Stichprobe untergraben ($n = 11$). Lebensräume mit niedriger Vegetation (Grünland und niedrigwüchsige Kulturen) sind positiv mit höheren Stromschlagraten verbunden (Guil & Pérez-García 2022). Da Pelagonien nahezu ohne Wald ist und die Büsche und Bäume nur in schmalen Streifen vorhanden sind, kann der Unterschied zwischen dem Einfluss hoher und niedriger Vegetation auf die Elektrokution nicht ermittelt werden.

4.4 Akkumulative Linie der Elektrokution (EAL)

Für die Bewertung der Stromschlagbelastung verschiedener Mastkonstruktionen durch Elektrokution und um das Risiko und die Schutzprioritäten in Gebieten und Ländern ohne Überwachung der Vogelpopulationen zu bewerten, empfehlen wir die Berechnung der Akkumulativen Linie der Elektrokution (EAL) anzuwenden. Auf Basis von Felddaten ist es so möglich, gefährliche Maststrukturen schnell zu identifizieren, letalen Stromschlag vorherzusagen und bei einer Wiederholung der Erhebung dessen Häufung zu erkennen.

Opfer von Stromschlägen häufen sich auf einem kleinen Anteil der Masten (Williams & Colson 1989). Auch Mañosa (2001) stellte anhand einer Stichprobe von 507 Masten in Katalonien fest, dass nur 2 % der Masten 50 % der Todesfälle verursachen und dass es mit einer einzigen Untersuchung möglich ist, 78 % der Killermasten zu identifizieren, die für 91 % aller Todesfälle durch Elektrokution verantwortlich sind (Mañosa 2001). Das Risiko eines Stromschlags an 3.869 Masten wurde in einer anderen katalanischen Studie anhand der Konstruktionen und der Anzahl der elektrokutierten Vögel bewertet. Dabei wurde festgestellt, dass 9,2 % der Masten mit hohem Stromschlagrisiko für 53,2 % der Sterblichkeit verantwortlich waren, während 54,5 % der Masten, die mit geringem Stromschlagrisiko eingestuft wurden, nur 3,5 % Todesfälle durch Elektrokution verursacht hat (Tinto et al. 2010).

Zwei Monate nach der hier vorgestellten Untersuchung wurden in Pelagonien am 5. Oktober 2023 erneut zwei Linien von Strommasten außerhalb der Siedlungen abgegangen: bei Topolchani (48 Masten) konnten dabei in Hutweiden 41 elektrokutierte Vögel von sieben Arten, und zwar elf Elstern, zehn Graumammern, sieben Turmfalken, sechs Stare, fünf Bussarde und eine Nebelkrähe dokumentiert werden. Bei Podvis (25 Masten) wurden im Mosaik von Äckern und Hutweiden zwei Bussarde elektrokutiert. Bei der ersten Inspektion wurden bei Topolchani 19 elektrokutierte Vögel von fünf Arten dokumentiert, und bei Podvis keine. Die Vorhersage der letalen Stromschläge (EAL) für den Monat August unter Berücksichtigung aller Konstruktionstypen der Strommasten ist für Grünland mit 17 Ind. / 100 Masten berechnet (Abb. 6). Dieser Wert verdoppelt sich im Oktober. Ein Vergleich der Strommasten der beiden

Linien, an denen im August (Sommer) und Oktober (Herbst) Kadaver der Vögel gefunden wurden, zeigt, dass sich die Opfer von Stromschlägen auch in Pelagonien an denselben Killermasten häufen: von insgesamt 73 inspizierten Masten elektrokutierten 21 (28,3 %) die Vögel, darunter elf (15,1 %) Masten die für 83,6 % der Gesamtsterblichkeit verantwortlich waren ($n = 61$). Die Sterberate von Vögeln an elektrischen Freileitungen ist im Herbst am größten (Škorpíková et al. 2019).

In Gebieten mit starken Vogelbeständen und einem aggregierten Muster von Stromschlägen ist das Vorhandensein toter Vögel ein guter Indikator für gefährliche Masten, in Gebieten mit kleinen Vogelpopulationen hingegen ist ein geringer Grad und eine geringe Häufung von Stromschlägen ein schlechter Indikator für gefährliche Masten (Williams & Colson 1989, Mañosa 2001). Da Pelagonien zweifellos zur ersten Gruppe gehört (vgl. Veleviski et al. 2010), muss zunächst die Strategie gewählt werden, die identifizierten Killermasten zu entschärfen und erst im zweiten Schritt die kostspielige Modifikation jedes gefährlichen Strommastes umgesetzt werden. Die akkumulative Linie der Elektroktion (EAL) ist ein geeignetes Hilfsmittel zur schnellen Identifizierung gefährlicher Strommasten und der Anhäufung von Stromschlägen.

4.5 Zustand und Alter von Kadavern

Mit Ausnahme von Hausgeflügel *Gallus gallus domesticus* wurden keine Anzeichen für eine Prädation der Kadaver durch Vögel gefunden. Bodenlebende Aasfresser zerrissen mindestens 20,6 % und höchstens 50,7 % der elektrokutierten Vogelleichen. Außerhalb der Siedlungen wurden drei direkt bei Masten angelegte, aktive Dachsbaue und ein Fuchsbau gefunden. Zwischen den Masten gab es regelrechte Dachswegen und typisch gespurte Kreise um die Masten, sowohl im Grünland als auch auf Äckern. Seit Beginn der wissenschaftlichen Untersuchung von Stromschlag und Kollision von Vögeln wurden kontinuierlich und regelmäßig Spuren von Füchsen entlang der Freileitungen gefunden (Bevanger et al. 1994) und in Experimenten mit ausgelegten Vogelkadavern ein schnelles Verschwinden (turnover) durch Aasfresser dokumentiert (Hoerschelmann et al. 1988). Diese wurden bis zu einem Anteil von 71 % in 24 Stunden (Heijnis 1980), zu 62 % in 24 Stunden (Hoerschelmann 1997), zu 50 % in 48 Stunden (Schicker 1997) oder sogar zu 44 % in zwölf Stunden (Scott et al. 1972) entfernt. Auch neuere Studien zeigen eine schnelle Entsorgung durch Aasfresser. Die Wahrscheinlichkeit, dass Vogelkadaver innerhalb von drei bis fünf Tagen entfernt werden, liegt bei 50 % (Constantini et al. 2016). Die Dichte der Dachsbauten mit 1 Bau / 10 km und die Wege der Dachse zwischen den Masten sind ein indirekter Indikator für die Langzeitwirkung von Stromschlägen an Vögeln in Pelagonien. Nicht nur Vögel, sondern auch Aasfresser wie der Dachs nutzen in Pelagonien regelmäßige Freileitungen als Requisiten

(Fortpflanzung, Orientierung) und als ein lineares Landschaftselement (Nahrung). Im Rahmen dieser Studie wurden die gespurten Wege der Bodenprädatoren nicht aufgezeichnet. Ebenso wurden nicht alle Einzelfedern unter den Masten dokumentiert, da in diesen Fällen von Mauser ausgegangen wurde. Auch diese Federn können jedoch wichtige Hinweise zu Stromschlagopfern geben und ein mögliches Zeichen für Prädation sein (Rupfung der Kadaver durch aasfressende Vögel). Bei der vorliegenden Studie wurden Hühner beobachtet, die an Federn pickten, um an die organischen Teile im Follikel oder Umbilicus der Feder zu gelangen (Abb. 2).

Entgegen den Erwartungen wirkt sich eine lineare Struktur aus Freileitungen und Straßen nicht positiv auf die Persistenz von Kadavern aus oder verlängert sie sogar. So kommen Bernardino et al. (2020) zu dem Schluss, dass die Auswirkung einer linearen Struktur auf die Entfernungsmuster bei Aasfressern unter Wirbeltieren regional spezifisch ist: im Experiment entfernten Wild- und Hauskarnivoren 42 % bis 55 %, Greifvögel 2 % bis 8 % und Krähen 12 % bis 22 % der Kadaver, während für 14 % bis 44 % der Kadaver der Prädatoren unbekannt war (Bernardino et al. 2020). Die Verfasser gehen davon aus, dass in Pelagonien die Aasfresser einen bedeutenden Teil der elektrokutierten Vögel entsorgen, insbesondere die omnipräsenten Hirten- und streunenden Hunde *Canis lupus familiaris* sowie der Fuchs. In den Siedlungen ist der menschliche Einfluss nicht zu unterschätzen – in Slavej und Zhabeni wurden kurz vor dem Eintreffen zwei elektrokutierte Jungstörche durch Anwohner entfernt. Die Entsorgung von Kadavern durch Aasfresser und die Präzision bei der Erhebung bestimmen die Bewertung des letalen Stromschlags auf Freileitungen (Ponce et al. 2010). Die Gesamtzahl der von Aasfressern entfernten Kadaver stieg logarithmisch an, wobei 32 % innerhalb von zwei Tagen nach der ersten Platzierung entfernt wurden, weitere 20 % am siebten Tag und 71,5 % bis zum 28. Tag (Ponce et al. 2010). Im Durchschnitt entdeckt der Beobachter 53 % (25,0–70,4 %) der Kadaver (Ponce et al. 2010). Daher unterschätzt eine Suche der Vogelkadaver und ihrer Überreste die Zahl der Vögel, die durch Stromschläge getötet wurden. Da in Pelagonien das Grünland durch Aufgabe der Beweidung und der Mahd verfilzt und sogar verbuscht, beeinflusst dies auch die Resultate dieser Studie. Fleischige Teile der Kadaver werden von Insekten genutzt, während lose Federn oder gar abgerissene Flügel vom Wind und Regen weggeweht beziehungsweise weggeschwemmt werden. Weidetiere halten sich gerne um die Masten auf (Scheuern, andere Vegetation als im Umfeld) und zertreten die Kadaver, während Hirten an den Masten Rast einlegen (Christian Fackelmann, schriftlich).

Ohne die Bestimmung des postmortalen Intervalls von elektrokutierten Vögeln ist es nicht möglich, die Sterblichkeit(srate) zu bestimmen und die Populations-

verluste abzuschätzen. Standardmethoden empfehlen alle Vogelkadaver unter Freileitungen zu sammeln, damit neue Opfer einem bekannten Zeitintervall zugeordnet werden können (Moraleda et al. 2022). Dies ist aus verschiedenen Gründen nicht immer umsetzbar. Valverde et al. (2020) entwickelten ein Bewertungsprotokoll für die Feldarbeit, um den Grad der Kadaverzersetzung einzustufen und die Todeszeit für kleine Arten der Greifvögel abzuschätzen. In der vorliegenden Studie wurde dieses Protokoll für Vögel aller Größen verwendet – vom Storch bis zu den Ammern. Für diese Entscheidung spricht auch die experimentell untersuchte Zersetzung von elektrokrutierten Vögeln unterschiedlicher Größe, wonach ihre Dekomposition im Sommer nicht von ihrer Größe abhängt (Moraleda et al. 2022). Darüber hinaus wird empfohlen, die Kadaver detailliert zu fotografieren, einschließlich aller Körperöffnungen, in denen sich die Leichenfauna befinden könnte (Valverde et al. 2020). Im Rahmen dieser Studie wurden Aufnahmen von 78,1 % der Kadaver und ihrer Überreste angefertigt.

Wir fanden die energetische Wirkung von elektrischem Strom bei 17,8 % der Kadaver ($n = 13$). Bei einer genauen Untersuchung großer Vögel unter klinischen Bedingungen stellte Haas (1993) einen ähnlichen Anteil von 17 % an der definitiven Elektrokrution fest ($n = 42$).

4.6 Rötelfalke und Schwarzstirnwürger

Das Stromnetz aus Freileitungen spielt eine wichtige Rolle im Leben der Vögel. Einige Arten brüten auf Masten, was ihre Zahl erhöht (Infante & Peris 2003), andere nutzen Freileitungen zum Singen und Jagen und Masten wirken sich in einer intensiven Agrarlandschaft positiv auf Abundanz und Diversität der Vögel aus (Tryjanowski et al. 2014), drittens erweitern Vögel ihr Brutareal über Masten (Cunningham et al. 2016). Das Stromnetz wirkt sich also auch positiv auf Vögel aus (vgl. Guil & Pérez-García 2022) und die Vögel profitieren davon (D'Amico et al. 2018).

Die demografischen Auswirkungen des Kompromisses zwischen Kosten (Kollision und Elektrokrution) und Nutzen (Jagd, Rast, Sammeln) elektrischer Freileitungen auf die Fortpflanzungsleistung von Vögeln auf Populationsebene wurden nicht zufriedenstellend untersucht (D'Amico et al. 2018). Lineardichten von 5,0 Ind. / 1 km für den Rötelfalken und 4,3 Ind. / 1 km für den Schwarzstirnwürger in Pelagonien weisen auf die wichtige soziale Rolle und Bedeutung von elektrischen Freileitungen für die Ernährung beider Arten nach der Brut hin. Vögel nutzen sie als Landschaftselemente und Requisiten für ganz bestimmte Funktionen (vgl. Flade 1994). Ihre tatsächliche und regelmäßige Nutzung in Pelagonien wird auch durch Vogelkot auf 34,3 % der untersuchten Masten und Gewölle unter weiteren 3 % der Masten belegt. Es ist paradox, dass Hunderte von Individuen – der Großteil der Population beider Arten – nachdem die Jungen flügge werden, die Siedlungen

mit größtenteils sicherer niedriger elektrischer Spannung verlassen und sich bis zur Dispersion und zum Abzug auf die Trassen von Mittelspannungs-Freileitungen außerhalb von Siedlungen verlegen, wo sie elektrokrutiert werden könnten. Der Rötelfalke, dessen Bestand in Pelagonien von minimal 762 (2002) und 327 (2012) auf nur noch 237 (2022) Paare zurückging, mit einem negativen Bestandstrend von -68,9 % über einen Zeitraum von 20 Jahren (Stumberger & Schneider-Jacoby 2006, Veleviski et al. 2010, eigene Daten), ist nicht nur aufgrund seiner morphologischen Eigenschaften und der Jagd von einer Ansitzwarte aus dem Stromschlag ausgesetzt, sondern auch aufgrund seines kryptischen Verhaltens, da er oft Rast, Schutz und Schatten in unmittelbarer Nähe oder in Kontakt eines Isolators oder Mastkörpers sucht (Abb. 7, Anhang 3).

In unserer Erhebung ist der Rötelfalke mit 9,6 % aller Elektrokrutionen die am stärksten betroffene Greifvogelart. Widersprüchlich: Guil et al. (2015) fanden die geringste Sterblichkeitsrate beringter Vögel im Verhältnis zur Gesamtzahl beringter Vögel bei Rötelfalken: von den 42.887 beringten Vögeln in den Jahren 1990 bis 2010 erlitten in Spanien nur zwei einen Stromschlag (vgl. Guil et al. 2011). In Portugal wurden in einem Monat 16 elektrokrutierte Individuen gefunden (Iñigo & Barov 2010). Für Albanien ist ein elektrokrutierter Rötelfalke belegt (Bashmili et al. 2020) und in Bulgarien wurde angeblich einer durch Stromschlag verletzt (Daskalova et al. 2016). Für weitere Mittelmeerländer liegen wahrscheinlich keine veröffentlichten Daten über elektrokrutierte Rötelfalken vor. Basierend auf einer Übersicht der Referenzen zur Elektrokrution und Kollision für Kasachstan und Russland (Dwyer et al. 2023) liegen mehr Daten zu Stromschlagopfern für die östlichen Populationen vor. Aus Zentralkasachstan wurde jeweils von drei elektrokrutierten Rötelfalken von Voronova et al. (2012) und Karyakin (2008) berichtet. Außerdem wurden in Zentralkasachstan 61 nicht bis zur Art bestimmte Turm-/ Rötelfalken gefunden (Lasch et al. 2010). In den südlichen Teilen der Russischen Föderation wurden vier Individuen im östlichen Bezirk Orenburg durch Stromschläge getötet (Barbazyuk 2021) sowie drei Individuen (Gadzhiev & Melnikov 2012) und 91 Individuen in zwei Gebieten in Dagestan (Gadzhiev 2013). In der Autonomen Republik Nachitschewan in Aserbaidschan erlitten drei Rötelfalken einen Stromschlag (Kollision?) (Mammadov & Matsyura 2020). Elektrokrution wurde erst sehr spät als Bedrohung für den Rötelfalken erkannt und soll laut Aktionsplan aufgrund der Sterblichkeit erwachsener Individuen eine untergeordnete Auswirkung auf die Population haben (Iñigo & Barov 2010). Obwohl Stromschläge auch in den afrikanischen Überwinterungsgebieten des Rötelfalken festgestellt wurden (Smallie 2011), wurden sie nicht speziell untersucht und diskutiert. Modelle der relativen Auswirkung anthropogen verursachter Sterblichkeit des Rötelfalken durch Windkraftanlagen zeigen

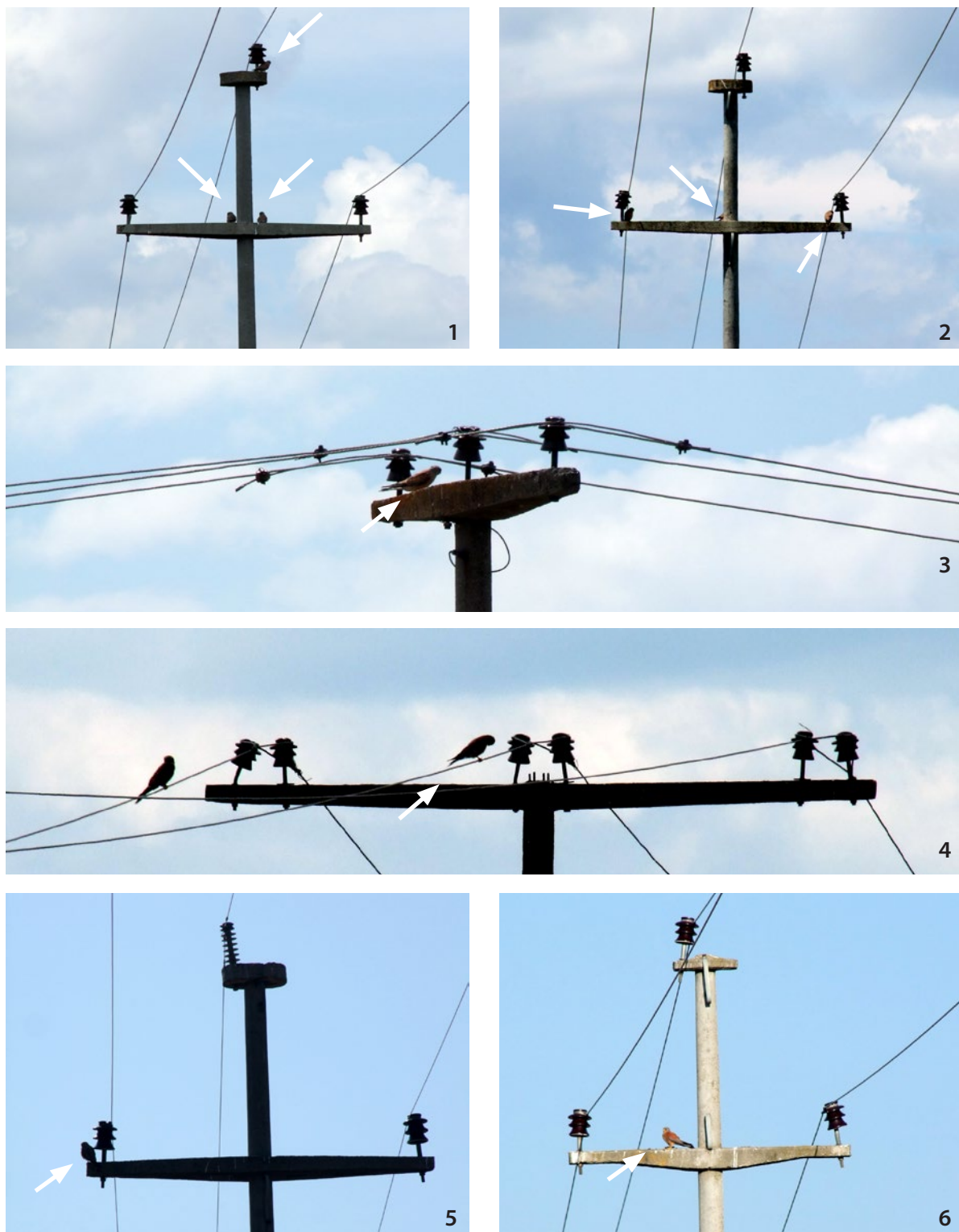


Abb. 7: Rötelfalken *Falco naumanni* sind dem Stromschlag nicht nur wegen der Ansitzjagd ausgesetzt, sondern vor allem wegen des kryptischen Verhaltens, auf Freileitungen direkt neben den Isolatoren oder Mastenkörpern zu ruhen oder Schutz und Schatten zu suchen. – Lesser Kestrel *Falco naumanni* is exposed to electrocution not only because of its perching, but primarily because of its cryptic behavior, resting on overhead power lines directly next to insulators or poles or seeking shelter and shade.

Fotos: Borut Stumberger

einen Rückgang von 48 % über einen Zeitraum von 30 Jahren (Chambert et al. 2023), und selbst die wachsende französische Population der Art würde ohne Immigration demografisch zurückgehen (Duriez et al. 2023). Obwohl die Zahl oder die jährliche Rate der durch Stromschläge verursachten Todesfälle in Pelagonien nicht bekannt ist, müssen wir Stromschläge als eine der Hauptursachen für den Populationsrückgang des Rötelfalken annehmen. Nach dem groß angelegten Umbau von Freileitungen von sicheren Holz- auf gefährliche Beton- und Metallgittermasten in Pelagonien seit dem Jahr 2002 (vgl. Stumberger & Veleviski 2002) folgte im Monat Mai ein Rückgang der größten Schlafplätze von 1.026 (2002) auf insgesamt 174 (2022) Individuen, was einem Minus von 83,0 % entspricht (Stumberger & Veleviski, eigene Daten). Verluste von Vögeln durch elektrische Freileitungen in der Kulturlandschaft können in Einzelfällen erheblich sein und nicht ohne Einfluss, insbesondere auf kleine Populationen, bleiben – sicherlich insbesondere im Zusammenhang mit anderen anthropogenen Faktoren (Bezzel 1982).

Der Schwarzstirnwürger ist ein unbeschriebenes Blatt zum Thema Stromschlag. Bei unserer Erhebung wurde ein Vogel elektrokutiert, und zwei Jungvögel wurden als indirekte Opfer des Verkehrs unter Mittelspannungsfreileitungen in der Nähe der Dörfer Alinci und Presil gefunden. In den Ländern Mittel- und Osteuropas gilt der Schwarzstirnwürger als eine durch Stromschläge bedrohte Art (Haas & Nipkow 2002).

5 Zusammenfassung

Nordmazedonien ist eines der wenigen Länder in Europa, in denen die Elektrokution von Vögeln bislang noch nicht untersucht wurde. In der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse einer ersten Felduntersuchung in der 1.104 km² großen tektonischen Senke Pelagoniens an Mittelspannungsfreileitungen (10–35 kV) im Hochsommer dargestellt, wobei die Anzahl und Artzugehörigkeit der durch Stromschläge getöteten Vögel, die Zusammenhänge zwischen der Anzahl der getöteten Vögel und den verschiedenen Konstruktionen der Strommasten sowie die Landnutzung im Hochsommer thematisiert werden. Anhand der Zersetzung der elektrokutierten Vögel wurde das postmortale Intervall bestimmt. Das Stromschlagpotenzial der untersuchten Masten wurde anhand von Fotodokumentationen ermittelt.

Untersucht wurden 502 Strommasten, davon 407 aus Beton, 69 aus Holz und 26 aus Metall. Je nach Ausrichtung des Isolators hatten 393 Masten zumindest einen Stützisolator. Bezüglich der Konstruktion wurden 78,1 % Trag-, 7,6 % Abspann-, 6,6 % Transformator-, 5,6 % Schalter- und 2,2 % Endmasten ermittelt. Von den untersuchten Masten standen 41 im Siedlungsbereich. Die restlichen 417 Masten lagen im Offenland außerhalb von Siedlungen und verteilten sich auf 18 Linien mit einer Länge von insgesamt 32,4 Kilometern.

Die Kontrollen ergaben 73 durch Stromschlag getötete Vögel von 13 Arten unter 51 Masten. Stare, Elstern und Weißstörche waren mit einem Anteil von 65,7 % die häufigsten

Opfer. Der Anteil der Greifvögel, darunter Rötelfalke, Turmfalke und Adlerbussard, belief sich auf 13,7 Prozent. Betrachtet man den absoluten Einfluss der Konstruktion einzelner Masten auf die Gesamtzahl der tödlichen Stromschläge, kamen 64,4 % der Vögel an Tragmasten mit Stützisolatoren ums Leben und weitere 17,8 % an Transformatormasten mit Stützisolatoren. Bei relativem Einfluss einzelner Konstruktionen auf die Gesamtsterblichkeit stechen 33 Transformatoren hervor, von denen 39,4 % die Vögel elektrokutiert haben, gefolgt von elf Endmasten, von denen 27,3 % zu letalen Stromschlägen führten. Um gefährliche Konstruktionen zu identifizieren und die Sterblichkeit vorherzusagen wurde die akkumulative Linie der Elektrokution (EAL) berechnet: die gefährlichsten Konstruktionen in Pelagonien sind die End- und Transformatormasten, die durchschnittlich 11,2 Opfer pro 30 Masten verursachen. Tragmasten mit hängenden Isolatorn weisen mit 1,6 Opfern pro 30 Masten die geringste Stromschlagbelastung auf.

Von den 73 Vogelkadavern waren 49,3 % intakt, 20,6 % von Bodenprädatoren zerrissen und von 30,1 % nur noch wenige Reste vorhanden, die keine konkreten Rückschlüsse auf die Nutzer zuließen. Die energetische Wirkung von elektrischem Strom war bei 13 (17,8 %) der Kadaver noch erkennbar. Im postmortalen Intervall von 15 Tagen, bis die Kadaver größtenteils oder vollständig skelettiert waren, wurden 49 (67,1 %) der elektrokutierten Vögel eingeordnet. Im Hochsommer kann in einem Monat mit 98 bis 156 elektrokutierten Vögeln an den untersuchten Masten gerechnet werden (< 3 % aller Mittelspannungsmasten im Gebiet wurden kontrolliert). In Pelagonien beträgt die Gesamtrate der tödlichen Stromschläge 14,5 Individuen pro 100 Masten und unterscheidet sich zwischen Siedlung (39,6 Ind. / 100 Masten) und außerhalb der Siedlung (11,3 Ind. / 100 Masten). Wird das Stromschlagpotenzial von Erd- und Kurzschlüssen für die im Rahmen dieser Studie kontrollierten Masten kombiniert, ergeben sich je nach Konstruktion durchschnittlich 3,5 verschiedene Stromschlagmöglichkeiten pro Mast. Das Verhältnis zwischen der ermittelten Sterblichkeit und dem Stromschlagpotenzial der Masten beträgt 1 : 24.

Lineardichten von 5,0 Ind. / 1 km für den Rötelfalken (n = 161) und 4,3 Ind. / 1 km für den Schwarzstirnwürger (n = 139) in Pelagonien weisen auf die wichtige Rolle der elektrischen Freileitungen für den Beuteerwerb und soziales Verhalten beider Arten nach der Brut hin. Ihre tatsächliche und regelmäßige Nutzung in Pelagonien wird auch durch Vogelkot an 34,3 % aller untersuchten Masten und Gewöllen an weiteren 3 % der Masten belegt. In unserer Untersuchung ist der Rötelfalke mit 9,6 % aller Elektrokutionen die am stärksten betroffene Art aus der Gruppe der Greifvögel und Falken. Ein Anteil von lediglich 2 % an untersuchten Mittelspannungsmasten mit Nestern der vier Vogelarten (Weißstorch, Weidensperling, Baumfalke und Nebelkrähe), von denen aber nur eine Art erfolgreich brütet, weist auf die negativen Auswirkungen von Stromschlägen auch auf die Fortpflanzung hin.

Dank

Die Vorbereitung und der Feldbesuch wurde von der Stiftung Temperatio (CH) unterstützt (erster Autor). Die Studie wurde teilweise von der öffentlichen Agentur für Forschung der Republik Slowenien mit

der No. P1-0403 unterstützt (zweiter Autor). Die Information über die tödlichen Massenstromschläge bei Störchen, die den Anlass für die vorliegende Untersuchung bildeten, waren das Ergebnis einer Studie zur Storchenkolonialität im Jahr 2022, die von der Deutschen Ornithologischen Gesellschaft unterstützt wurde. Christian Fackelmann, Stephan Ernst, Dr. Martin Flade,

Dr. Dieter Haas, Hartmut Heckenroth, Merlin Jacoby (D), Dr. Tone Novak (SI), Dr. Metodija Veleviski, Slave Nakev, Danka Uznova (NMK) halfen mit Beratung, Korrekturlesen und Informationen. Im Dorf Lazhani gewährten uns die Einheimischen Samedin Dervishoski und Alatin Dzaferoski Zugang zu einem umzäunten Transformatormast.

Unter www.do-g.de/publikationen/vogelwarte/inhalte-online können weitere Materialien zum Beitrag heruntergeladen werden.

6 Literatur

- Barbazyuk E 2021: Effects of the Russian-Kazakh frontier zone: increased mortality of red-listed diurnal birds of prey on overhead power lines in the Orenburg Region frontier steppe. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 817: 012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/817/1/012011>
- Bashmili K, Keka E & Duro K 2020: Study on the mortality rate of birds caused by electrocution and collision with power lines in Drino valley, Albania, 2020. Technical report under action A3 of the “Egyptian Vulture New LIFE” (LIFE16 NAT/BG/000874) project. Albanian Ornithological Society. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35211.82725>
- Bäzler R, Schimkat J & Ulbricht J 2000: Artenschutzprogramm Weißstorch in Sachsen. In: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.) Materialien zu Naturschutz und Landschaftspflege, Dresden.
- Bern Convention 2004: Convention on the conservation of European wildlife and natural habitats, recommendation No. 110 (2004) on minimising adverse effects of above-ground electricity transmission facilities (power lines) on birds. Adopted by the Standing Committee on 3 December 2004. <https://rm.coe.int/16807467c3> (Zugriff am 12.10.2023)
- Bernardino J, Bispo R, Martins RC, Santos S & Moreira F 2020: Response of vertebrate scavengers to power line and road rights-of-way and its implications for bird fatality estimates. Scientific Reports 10: 15014. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72059-7>
- Bevanger K 1994: Bird interactions with utility structures: collision and electrocution, causes and mitigating measures. Ibis 136: 412–425.
- Bevanger K 1999: Estimating bird mortality caused by collision and electrocution with power lines; a review of methodology. In: Ferrer M & Janss GFE (eds) Birds and power lines. Collision, electrocution and breeding: 29–56. Quercus, Madrid.
- Bevanger K, Bakke O & Engen S 1994: Corpse removal experiments with Willow Ptarmigan (*Lagopus lagopus*) in power-line corridors. Ökologie der Vögel 16: 597–607.
- Bezzel E 1982: Vögel in der Kulturlandschaft. Ulmer, Stuttgart.
- Burdett EM, Muriel R, Morandini V, Kolnegari M & Ferrer M 2022: Power lines and birds: drivers of conflict-prone use of pylons by nesting White Storks (*Ciconia ciconia*). Diversity 14: 984. <https://doi.org/10.3390/d14110984>
- Chambert T, Duriez O, Deleaux M & Besnard A 2023: EolPop, a R-shiny tool for quantifying the demographic impact of species exposed to fatalities: application to bird collisions with wind turbines. Journal of Environmental Management 345: 118923. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118923>
- Constantini D, Gustin M, Ferrarini A & Dell’Omo G 2016: Estimates of avian collision with power lines and carcass disappearance across differing environments. Animal Conservation 20: 173–181. <https://doi.org/10.1111/acv.12303>
- Cunningham SJ, Madden CF, Barnard P & Amar A 2016: Electric crows: powerlines, climate change and the emergence of a native invader. Diversity and Distributions 22: 17–29. <https://doi.org/10.1111/ddi.12381>
- D’Amico M, Catry I, Martins RC, Ascensão F, Barrientos R & Moreira F 2018: Bird on the wire: landscape planning considering costs and benefits for bird populations coexisting with power lines. Ambio 47: 650–656. <https://doi.org/10.1007/s13280-018-1025-z>
- Daskalova G, Shurulinkov P, Stoyanov GP & Borisov B 2016: Observations of the Lesser Kestrel (*Falco naumanni*) in Bulgaria during the period of post-breeding dispersal. Slovak Raptor Journal 10: 95–100. <https://doi.org/10.1515/srj-2016-0001>
- Dawson BM 2021: Forensic and ecological perspectives on insect succession on vertebrate remains. PhD Thesis, University of Wollongong. <https://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=2440&context=theses1> (Zugriff 11.9.2024)
- Demerdzhiev DA 2014: Factors influencing bird mortality caused by power lines within special protected areas and undertaken conservation efforts. Acta zoologica Bulgarica 66: 411–423.
- Demerdzhiev DA, Stoychev SA, Petrov TH, Angelov ID & Nedyalkov NP 2009: Impact of power lines on bird mortality in Southern Bulgaria. Acta zoologica Bulgarica 61: 175–183.
- Duriez O, Pilard P, Saulnier N, Boudarel P & Besnard A 2023: Windfarm collisions in medium-sized raptors: even increasing populations can suffer strong demographic impacts. Animal Conservation 26: 264–275. <https://doi.org/10.1111/acv.12818>
- Dwyer JF, Harness RE, Gallentine T & Stewart AH 2019: Documenting and preventing wildlife caused fires in power line rights of way. Environmental Concerns in Rights-of-Way Management. 12th International Symposium. Utility Arborist Association 12: 23–31.
- Dwyer JF, Karyakin IV, Garrido López JR & Nikolenko EG 2023: Avian electrocution on power lines in Kazakhstan and Russia. Ardeola 70: 3–27.
- Ferrer M, de la Riva M & Castroviejo J 1991: Electrocution of raptors on power lines in southwestern Spain. Journal of Field Ornithology 62: 181–190.

- Ferrer M & Janss GFE 1999: Birds and power lines: collision, electrocution and breeding. Quercus, Madrid.
- Flade M 1994: Die Brutvogelgemeinschaften Mittel- und Norddeutschlands: Grundlagen für den Gebrauch vogelkundlicher Daten in der Landschaftsplanung. IHW-Verlag, Esching.
- Gadzhiev AM 2013: Death of birds of prey on power lines in Daghestan. Raptor Conservation 72: 235–239.
- Gadzhiev AM & Melnikov VN 2012: On bird mortality on power lines of different design in the Republic of Dagestan in 2008–2011, Russia. Raptor Conservation 24: 61–64.
- Guil F, Colomer MA, Moreno-Opoc R & Margalida A 2015: Space-time trends in Spanish bird electrocution rates from alternative information sources. Global Ecology and Conservation 3: 379–388. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2015.01.005>
- Guil F, Fernández-Olalla M, Moreno-Opo R, Mosqueda I, Gómez ME, Aranda A, Arredondo A, Guzmán J, Oria J, González LM & Margalida A 2011: Minimising mortality in endangered raptors due to power lines: the importance of spatial aggregation to optimize the application of mitigation measures. Plos One 6: e28212. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028212>
- Guil F & Pérez-García 2022: Bird electrocution on power lines: spatial gaps and identification of driving factors at global scales. Journal of Environmental Management. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113890>
- Haas D 1980: Gefährdung unserer Großvögel durch Stromschlag – eine Dokumentation. Ökologie der Vögel – Ecology of Birds 2: 7–57.
- Haas D & Böhmer W 2016: Vogelschutz und Stromtod. Vogelschutz in Österreich 41: 12–14.
- Haas D & Fiedler G 1997: Für Vögel gefährliche Freileitungen – eine Recherche in 21 Ländern. Informationen der Stiftung Europäisches Naturerbe (Euronatur) zur Umweltpolitik in Europa. Euronatur, Radolfzell.
- Haas D & Nipkow M 2002: Caution: electrocution! Suggested practices for bird protection on power lines. NABU, Bonn.
- Haas D, Nipkow M, Fiedler G, Schneider G, Haas W & Schürenberg B 2005: Protecting birds on power lines. Nature and Environment Series 140: 1–90. Council of Europe. http://birdsandpowerlines.org/cm/media/Protecting_birds_on_powerlines.pdf (Zugriff am 24.12.2023)
- Haas DG, Schneider R, Fiedler G, Böhmer W, Wieding O, Schröder W, Mammen U, Haas W, Harness RE, Schneider R & Nahm N 2020: Weltweite Stromschlagverluste bei Vögeln – Ursachen und Vorschläge für globale Lösungen. Ornithologische Mitteilungen 72: 179–214.
- Haas D & Schürenberg B 2008: Stromtod von Vögeln. Ökologie der Vögel – Ecology of Birds 26: 1–304.
- Harness RE, Juvvadi PR & Dwyer RJ 2013: Avian electrocutions in western Rajasthan, India. The Journal of Raptor Research 47: 352–364.
- Heckenroth H & Heins J-U 2010: Weißstorch (*Ciconia ciconia*) Brutbestand im östlichen Makedonien im Jahr 2010. The Stork Foundation, Berlin.
- Hejinis R 1980: Vogelotod durch Drahtanflüge bei Hochspannungsleitungen. Ökologie der Vögel 2: 111–129.
- Hoerschelmann H, Haack A & Wohlgemuth F 1988: Verluste und Verhalten von Vögeln an einer 380 kV Freileitung. Ökologie der Vögel 10: 85–103.
- Hoerschelmann M 1997b: Wie viele Vögel fliegen gegen Freileitungen? UVP-report 3/97: 166–168.
- Infante O & Peris S 2003: Bird nesting in electric power supports in northwestern Spain. Ecological Engineering 20: 321–326. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(03\)00013-2](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(03)00013-2)
- Íñigo A & Barov B 2010: Action plan for the Lesser Kestrel *Falco naumanni* in the European Union. SEO & BirdLife International for the European Commission.
- Janss GFE 2000: Avian mortality from power lines: a morphologic approach of a species-specific mortality. Biological conservation 95: 353–359.
- Janžekovič F & Šorgo A 1995: Hooded Crow (*Corvus corone cornix*) and Common Kestrel (*Falco tinnunculus*) breeding on high tension transmission poles (in slovenian). Electrotechnical Review 62: 88–90.
- Karyakin IV 2008: Lines-killers continue to harvest the mortal crop in Kazakhstan. Raptor Conservation 11: 14–21.
- Krebs CJ 2014: Ecological methodology. Harper Collins Publisher Inc., New York.
- Lasch U, Zerbe S & Lenk M 2010: Electrocution of raptors at power lines in Central Kazakhstan. Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz 9: 95–100.
- Legendre P & Legendre L 2012: Numerical ecology. Elsevier. Amsterdam.
- Lehman, RN, Kennedy PL & Savidge JA 2007: The state of the art in raptor electrocution research: a global review. Biological Conservation 136: 159–174.
- Lösekrug RG 1997: Vogelverluste durch Stromleitungen – Erfahrungen aus Mitteleuropa und dem Mittelmeerraum. Vogel und Umwelt 9: 157–166.
- Loss SR, Will T & Marra PP 2014: Refining estimates of bird collision and electrocution mortality at power lines in the United States. Plos One 9: e101565. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101565>
- Mammadov AF & Matsyura A 2020: Bird collision with power lines in Nakhchivan autonomous republic. Ukrainian Journal for Ecology 10: 180–185.
- Mañosa S 2001: Strategies to identify dangerous electricity pylons for birds. Biodiversity and Conservation 10: 1997–2012.
- Moraleda V, Gómez-Catasús J, Schuster C & Carrascal LM 2022: Decomposition stages as a clue for estimating the post-mortem interval in carcasses and providing accurate bird collision rates. Scientific Report 12: 16188. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20628-3>
- Moreira F, Encarnação V, Rosa G, Gilbert N, Infante S, Costa J, D'Amico M, Martins RC & Catry I 2017: Wired: impacts of increasing power line use by a growing bird population. Environmental Research Letters 12: 1–7. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5c74>
- Moreira F, Martins RC, Catry I & D'Amico M 2018: Drivers of power line use by white storks: a case study of birds nesting on anthropogenic structures. Journal of Applied Ecology 55: 2263–2273. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13149>
- My Location – Tracks GPS 2023: Maps: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.location.test&pcampaignid=web_share
- Pemsel-Tritschler C & Haas D 2008: Zur Diagnostik der Strommarken. Ökologie der Vögel – Ecology of Birds 26: 183–188.
- Ponce C, Alonso JC, Argandoña G, García Fernández A & Carrasco M 2010: Carcass removal by scavengers and search accuracy affect bird mortality estimates at power lines. Animal Conservation 13: 603–612. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2010.00387.x>

- RPS & NABU 2021: Electrocution & collision of birds in EU countries: the negative impact & best practice for mitigation. An overview of previous efforts and up-to-date knowledge of electrocutions and collision of birds across 27 EU member states. Raptor Protection of Slovakia, Bratislava. <https://www.birdlife.org/wp-content/uploads/2022/10/Electrocutions-Collisions-Birds-Best-Mitigation-Practices-NABU.pdf> (Zugriff am 15.1.2024)
- Rucner-Kroneisl R 1962: Bird-banding in 1959. *Larus* 14: 7–24.
- Schicker J 1997: Experimentelle Untersuchung zur Verweildauer von Vogelkadavern unter Hochspannungsfreileitungen. *Vogel und Umwelt* 9: 147–155.
- Schneider-Jacoby M 2008: Erhöhtes Risiko durch Wiederaufbau und Neubau – das Stromtodproblem im östlichen Mitteleuropa und Südosteuropa. In: Haas D & Schürenberg B (Hrsg) *Stromtod von Vögeln. Ökologie der Vögel – Ecology of Birds* 26: 224–236.
- Scott RE, Roberts LJ & Cadbury CJ 1972: Bird deaths from power lines at Dungeness. *British Birds* 65: 273–285.
- Shnayder EP 2021: Electrocution of birds on power lines in the Altai Kray (Russia) in 2021. *Raptor Conservation* 43: 42–68.
- Škorpíková V, Hlaváč V & Křápek M 2019: Bird mortality on medium-voltage power lines in the Czech Republic. *Raptor Journal* 13: 27–44. <https://doi.org/10.2478/srj-2019-0007>
- Smallie JJ 2011: A power line risk assessment for selected South African birds of conservation concern. Thesis, University of the Witwatersrand, Johannesburg.
- Stumberger B & Schneider-Jacoby M 2006: Pelagonien (Mazedonien) einst und heute II. *Ornis* 3: 12–14.
- Stumberger B & Veleviski M 2002: White Stork *Ciconia ciconia* survey in Pelagonia indicates a decrease in its breeding population and colony disintegration. *Acrocephalus* 23: 67–74.
- Tinto A, Real J & Manosa S 2010: Predicting and correcting electrocution of birds in Mediterranean areas. *The Journal of Wildlife Management* 74: 1852–1862. <https://doi.org/10.2193/2009-521>
- Tryjanowski P, Sparks TH, Jerzak L, Rosin ZM & Skórka P 2014: A paradox for conservation: electricity pylons may benefit avian diversity in intensive farmland. *Conservation Letters* 7: 34–40. <https://doi.org/10.1111/conl.12022>
- Valverde I, Espín S, María-Mojica P & García-Fernández AJ 2020: Protocol to classify the stages of carcass decomposition and estimate the time of death in small-size raptors. *European Journal of Wildlife Research* 66: 1–13. <https://doi.org/10.1007/s10344-020-01429-3>
- VDEW 1991: Vogelschutz an Starkstrom-Freileitungen mit Nennspannungen über 1 kV. Erläuterungen zur Abschnitt 8.10. »Vogelschutz« der Bestimmung DIN VDE 0210/12.85. Verlags und Wirtschaftsges. d. Elektrizitätswerke, Frankfurt.
- Veleviski M, Hallmann B, Grubač B, Lisičanec T, Stojnov E, Lisičanec E, Avukator V, Božič L & Stumberger B 2010: Important bird areas in Macedonia: sites of global and European importance. *Acrocephalus* 31: 181–282.
- Voronova VV, Pulikova GI, Kim KK, Andreeva EV, Bekker VR & Aitbaev T 2012: The Impact of power lines on bird mortality in Central Kazakhstan. *Raptor Conservation* 24: 52–60.
- Williams RD & Colson EW 1989: Raptor association with linear rights-of-way. *National Wildlife Federation Scientific and Technical Series* 12: 173–192.
- UNEP/CMS 2002: Convention on the conservation of migratory species of wild animals (UNEP/SMS), resolution 7.12, electrocution of migratory birds. Adopted by the Conference of the Parties at its Seventh Meeting (Bonn, 18–24 September 2002). https://www.cms.int/sites/default/files/document/cms_cop13_doc.26.4.2.2_powerlines-and-migratory-birds_e.pdf

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Vogelwarte - Zeitschrift für Vogelkunde](#)

Jahr/Year: 2025

Band/Volume: [63_2025](#)

Autor(en)/Author(s): Stumberger Borut, Janzekovic Franc

Artikel/Article: [Stromschlagopfer in Pelagonien weisen auf populationsrelevante Verluste bei Vögeln hin 81-100](#)