

Die Erstpublikation der folgenden Arbeit erfolgte unter dem Titel „Ultraviolet film reduces bird–glass collision risk“ in englischer Sprache in *Ornis Fennica*, Band 99 (2022). Die Autoren (ebenso wie die Herausgeber von *Ornis Fennica*) haben der von verschiedener Seite vorgebrachten Anregung einer Publikation auch für deutschsprachige Leser gerne zugestimmt. Uns ist klar, dass der mögliche Beitrag von UV-Markierungen zur Reduzierung von Kollisionen von Vögeln mit Glasscheiben kritisch diskutiert und teilweise verneint wird. Dabei wird allerdings oft nicht ausreichend berücksichtigt, dass die Nachweise einer fehlenden Wirksamkeit im Wesentlichen auf Ergebnissen eines einzigen Versuchsaufbaus (dem sogenannten „Hohenau-Flugtunnel“; <https://www.auring.at/de/forschung/vogelanprall-auf-glas.html>) basieren. Dieser Aufbau ist zwar in vorbildlicher Weise technisch beschrieben und lässt Vergleiche von Glasscheibensignaturen untereinander zumindest unter der getesteten Fluchtsituation im Flugtunnel zu, es ist aber unklar, inwieweit dort die tatsächliche Freilandsituation repräsentativ abgebildet wird. Daher besteht nach wie vor ein großer Bedarf an Freilanduntersuchungen zu diesem Thema und vor allem deren Auswertung und Publikation. Für entsprechende wissenschaftliche Beiträge bieten wir – natürlich vollkommen ergebnisoffen – in der „Vogelwarte“ gerne den benötigten Raum.

Vogelwarte-Redaktion

## Ultraviolette Folie verringert das Risiko von Zusammenstößen zwischen Vögeln und Glas

Ewa Zysk-Gorczyńska & Michał Żmihorski

---

Zysk-Gorczyńska E & Żmihorski M 2023: Ultraviolet film reduces bird – glass collision risk. *Vogelwarte* 61: 123–130.

It is estimated that millions of birds globally die due to collisions with glass surfaces. In order to reduce this mortality, it is essential to provide an objective assessment of the effectiveness of bird-friendly preventive methods. Several types of opaque films and stickers are available nowadays and can be highly effective in protecting birds from fatal collisions. However, by being visible to the human eye, they can affect the users' quality of view from within protected spaces. Products that take advantage of the birds' ability to see ultraviolet light seem to offset these impediments. This study determines if UV-reflective BirdShades film prevents birds from collisions with glass in natural environmental conditions. We monitored eight glass bus stops, where we had previously recorded high numbers of birds collisions. On four of them, we applied UV film, and the other four bus stops were used as control. A generalized additive mixed model showed a significant interaction between time (before vs. after) and film UV treatment (control vs. treated). Before the treatment, the number of collisions tended to be higher at treated bus shelters than control. However, this significantly changed after the treatment, suggesting that UV film reduces bird glass collision rate over 5-fold. Our study is the first worldwide that tested UV film on glass shelters and supports a conclusion that the UV film efficiently reduces the risk of bird collision.

✉ EZ-G: Glass Traps Foundation, Murarska 25/27/6, 54–135 Wrocław, Poland. [ewa.zysk@interia.pl](mailto:ewa.zysk@interia.pl)  
MZ: Mammal Research Institute, Polish Academy of Sciences, ul. Stoczek 1, 17–230 Białowieża, Poland

---

### Einleitung

Millionen von Vögeln, die jedes Jahr durch Kollisionen mit Glasscheiben getötet werden, illustrieren, dass dieses Problem eine der Hauptursachen für die weltweite Vogelsterblichkeit (Loss et al. 2014; Machtans & Thogmartin 2014) darstellt. Vögel prallen oft gegen transparente Scheiben, wenn sie versuchen, den Bereich auf der anderen Seite des Glases zu erreichen (Klem 2009). Zu Kollisionen kommt es auch, wenn Vögel irrtümlich auf die im Glas gespiegelte Umgebung zufliegen, was bei einigen Glastypen und Lichtverhältnissen häufig

vorkommt. Vögel sterben an Fensterflächen unterschiedlicher Form und Größe, und zwar zu jeder Tages- und Jahreszeit und bei jedem Wetter. Daher können die tödlichen Zusammenstöße überall dort auftreten, wo Vögel und Glas nebeneinander existieren (Klem 2009, 2014; Żmihorski et al. 2021).

In letzter Zeit wird der Suche nach und dem Einsatz von Methoden, die Vögel wirksam vor tödlichen Zusammenstößen mit Glas bewahren, verstärkte Aufmerksamkeit geschenkt (Klem 2009; Klem & Saenger

2013; Sheppard 2019; Ribeiro & Piratelli 2020). Zahlreiche Tests von Oberflächenbehandlungen zeigen, dass undurchsichtige vertikale Streifen mit bestimmten Breiten und Abständen sowie einige Anordnungen von undurchsichtigen Punkten und anderen Formen und Mustern, die nicht zu viel unbehandelte Fläche auf den Glasscheiben frei lassen (entsprechend der „Handregel“: um ausreichende Erkennbarkeit der Gläser für Vögel sicherzustellen, sollte kein Bereich, der größer als eine Erwachsenenhand ist, unmarkiert sein), wirksam zur Verringerung von Vogelkollisionen beitragen (Klem 2009; Klem & Saenger 2013; Rössler et al. 2015; Ribeiro & Piratelli 2020). Undurchsichtigen Muster auf Glas können jedoch dem Zweck des Gebäudes, der architektonischen Vision des Architekten und den Interessen der Gebäudenutzer entgegenstehen. Daher besteht die Herausforderung darin, Glas so zu gestalten, dass dies für das menschliche Auge so wenig störend wie möglich ist und gleichzeitig Vögel vor tödlichen Kollisionen schützt.

Produkte, die das ultraviolette (UV) Sehen der Vögel berücksichtigen, erfüllen diese Ansprüche (Aidala et al. 2012; Swaddle et al. 2020). Das Spektrum des Sehvermögens von Vögeln reicht bis in den ultravioletten Bereich, so dass UV-Markierungen, die im UV-Bereich unterschiedlich reflektieren, für Vögel sichtbar, für den Menschen aber meist unsichtbar sind (Hart 2001; Lind et al. 2013). Die spektrale Empfindlichkeit der Vögel reicht bis in den UV-Bereich des Spektrums von 300–400 nm. Diese Empfindlichkeit ist jedoch nicht für alle Vogelarten gleich. Vielmehr ist sie eine Eigenschaft von Singvögeln, Papageien, Möwen und Seeschwalben sowie Straußenvögeln (Hart 2001). Zu den Arten, die in Amerika häufig mit Glas kollidieren, gehören zum Beispiel die Weißkehlammer *Zonotrichia albicollis*, die Winterammer *Junco hyemalis*, die Wanderdrossel *Turdus migratorius* und die Zwergmusendrossel *Catharus ustulatus* (Basilio et al. 2020). Einige Vogelarten (insbesondere Greifvögel) haben intraokulare Filter, die verhindern, dass UV-Licht die Retina erreicht. Bei anderen Arten, die keine Sperlingsvögel sind, kann UV die Retina zwar erreichen, wird aber von den Photorezeptoren nicht erkannt (Ödeen et al. 2011). Darüber hinaus sind UV-reflektierende Markierungen auf Glasoberflächen für Vögel nur dann sichtbar, wenn ausreichend UV-Licht auf das Glas fällt (z. B. bei Tageslicht, wenn das UV-Licht am stärksten ist) und die Markierungen ein hohes Reflexionsvermögen im UV-Bereich haben (Ödeen et al. 2011; Håstad & Ödeen 2014). BirdShades (BirdShades Innovations GmbH, Leoben, Österreich, [www.birdshades.com](http://www.birdshades.com)) hat eine im ultravioletten Spektrum des Lichts reflektierende Fensterfolie hergestellt, die für den Menschen ein nur schwach sichtbares Streifenmuster aufweist. Die Wirksamkeit der reflektierenden UV-Folie von BirdShades wurde von Swaddle et al. (2020) untersucht, die in Flugtunneltests zeigten, dass sie die Wahrscheinlichkeit von Kollisionen zweier

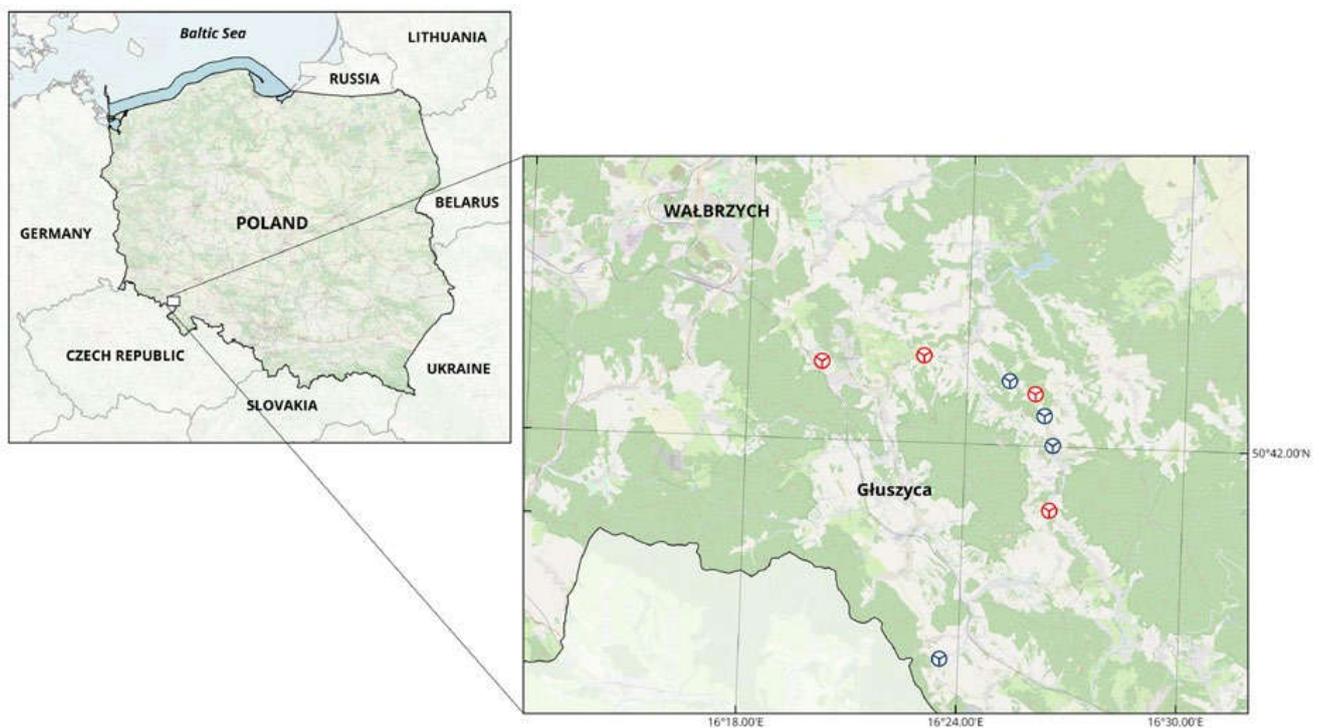
Singvögel (Zebraamadine *Taeniopygia guttata* und Braunkopf-Kuhstärkling *Molothrus ater*) mit Fenstern bei Tageslicht um 75 bis 90 % reduzierte. Außerdem wurde gezeigt, dass beide Arten ihren Flug um etwa 25 % verlangsamten, wenn sie sich Fenstern mit angebrachter BirdShades-Folie nähern, wodurch die Wucht von möglichen Zusammenstößen verringert wird.

Eine UV-Folie, die kürzere Wellenlängen des Lichts reflektiert (Spektrum 300–400 nm), würde für viele Vögel sichtbar sein, sowohl für Sing- als auch für Nicht-Singvögel (Goldsmith & Butler 2005; Aidala et al. 2012; Lind et al. 2013). Für das menschliche Auge erscheint die BirdShades-Folie sehr transparent, und die UV-reflektierenden Streifen sind nur in bestimmten Lichtverhältnissen sichtbar (Wenn man direkt auf die Glasoberfläche blickt, sind die Streifen unsichtbar; aber bei viel Sonnenlicht und aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet, wird ein leichtes Streifenmuster sichtbar). Dennoch sind weitere Untersuchungen erforderlich (z. B. unter verschiedenen Beleuchtungsbedingungen und mit anderen Methoden), um die Wirksamkeit solcher Produkte bei der Vermeidung von Vogelkollisionen zu überprüfen.

Mit dieser Studie sollte festgestellt werden, ob UV-reflektierende Folien Vögel unter natürlichen Umweltbedingungen wirksam vor Kollisionen mit Glasflächen schützen (zu verschiedenen Tageszeiten nehmen Vögel die Glasoberfläche möglicherweise anders wahr, was sich auf das Risiko von Kollisionen auswirken kann). Daher geht diese Studie weiter als diejenige von Swaddle et al. (2020), weil sie die Wirksamkeit des Produkts in einer realen Umgebung mit freilebenden Vögeln und einem zufälligen Artenspektrum testet. Dazu haben wir unsere früheren Daten zu Kollisionen zwischen Vögeln und Glasflächen von Bushaltestellen (Zysk-Gorczyńska et al. 2020, 2021a) in Polen verwendet und die UV-Folie versuchsweise auf einigen von ihnen angebracht. Dies ermöglichte es uns, zufällige zeitliche Schwankungen des Kollisionsrisikos vom Untersuchungsgegenstand in einem Vorher-Nachher-Kontrollstudien-Design zu trennen.

## Material und Methoden

In den Jahren 2017 und 2018 haben wir 85 Buswartehäuschen mit Glaswänden in der Woiwodschaft Niederschlesien (im Südwesten Polens) im Rahmen einer größeren Studie zu Kollisionen zwischen Vögeln und Glas untersucht (Zysk-Gorczyńska et al. 2020, 2021a,b). Unter diesen 85 Standorten wählten wir acht Wartehäuschen mit Glaswänden aus, bei denen wir 2017 und 2018 eine besonders hohe Anzahl von Vogelkollisionen festgestellt hatten. Wir teilten die acht Wartehäuschen in Versuchs- und Kontrollgruppen ein (je vier Bushaltestellen pro Gruppe; Abb. 1). Wir ordneten sie entsprechend der Anzahl der Kollisionen zu. Generell bestand die Versuchsgruppe aus den Wartehäuschen mit der höchsten Anzahl an Vogelkollisionen. An diesen Buswartehäuschen brachten wir die BirdShades UV-Folie an. Die gesamte Außenfläche der hinteren Glasscheiben wurden im Mai 2021



**Abb. 1:** Studiengebiet mit den beobachteten Wartehäuschenstandorten (rote Markierungen kennzeichnen die mit UV-reflektierender Folie beklebten Wartehäuschen und blaue Markierungen kennzeichnen die Kontrollwartehäuschen). Quelle: Open Street Map. – *Study area with monitored bus shelter locations (red markers indicate bus shelters treated with UV reflective film and blue markers indicate control bus shelters). Source: Open Street Map.*



**Abb. 2:** (A) Die UV-Folie wurde auf der Außenseite der Glasscheiben der Bushaltestellen angebracht. (B) Eine beispielhafte Bushaltestelle, die mit der UV-Folie von BirdShades beklebt wurde (sie ist für das menschliche Auge weitgehend unsichtbar). – (A) *The UV film was applied on the outer side of the bus stop glass panels.* (B) *An exemplary bus stop covered with BirdShades UV film (it is mostly invisible for human eyes).*

mit der Folie beklebt, die auf einer Rolle (30 cm breit) bereitgestellt wurde (Abb. 2). Die BirdShades-Folie ist im nahen UVA-Bereich zwischen 300 und 400 nm reflektierend, d. h. sie ist für Singvögel sichtbar und für das menschliche Auge weitgehend transparent. Die Folie wurde uns vom Hersteller zur Verfügung gestellt, so dass wir eine experimentelle Be-

wertung ihrer Wirksamkeit durchführen konnten und die Ergebnisse veröffentlichen. Die Seitenwände wurden freigelassen, also nicht beklebt, da wir herausfinden wollten, ob es zu Kollisionen an Buswartehäuschen kommt, wenn nur die Rückwände mit der Folie beklebt sind (d. h. einseitige UV-Folie). Ein weiterer Grund dafür, dass wir die Seitenwände

nicht beklebt haben, waren die Kosten für die Folie. Die vier übrigen Wartehäuschen wurden nicht vor Vogelkollisionen geschützt und dienten als Kontrollgruppe. Die Umgebung der beiden Gruppen war ähnlich. Sie befanden sich in einem ähnlich urbanen Gebiet mit ähnlichen Vogelgemeinschaften. Darüber hinaus hat unsere frühere Studie an diesen Unterständen gezeigt, dass die einzelnen Vogelvorkommen kein geeigneter Indikator für die Anzahl an Kollisionen zwischen Vögeln und Glas sind. Auch die Habitatzusammensetzung in der Nähe der Wartehäuschen gab kaum Aufschluss bezüglich des Kollisionsrisikos von Vögeln mit Glaswänden (siehe Zysk-Gorczyńska et al. 2021a).

Alle acht Wartehäuschen haben wir bereits 2017 und 2018 beobachtet (insgesamt 130 Besuche; Zysk-Gorczyńska et al. 2020) und 2021 erneut. Für unsere Untersuchung haben wir nur die Daten der Frühjahrs- und Sommersaison (Mai bis August) in die Analysen einbezogen, da wir in diesen Monaten in den Jahren 2017 und 2018 die höchste Anzahl von Kollisionen festgestellt haben (siehe Zysk-Gorczyńska et al. 2020). In diesem Zeitraum wurde jedes Buswartehäuschen ca. alle ein bis zwei Wochen besucht (insgesamt 173 Besuche). Die Gesamtzahl und der Zeitpunkt der Besuche waren für alle Wartehäuschen gleich. Bei jedem Besuch wurden alle Glasflächen jedes Wartehäuschens sorgfältig auf Spuren von Vogelkollisionen (d. h. Federn oder Vogelkonturen aus Federstaub), untersucht, die dann nach jedem Besuch entfernt wurden, um zu verhindern, dass sie bei späteren Besuchen erneut gezählt werden. Alle Spuren, die nicht zweifelsfrei als Vogelkollision identifiziert werden konnten (z. B. Schmutzflecken), wurden ignoriert. Außerdem suchten wir bei jedem Besuch im Umkreis von drei Metern um das Wartehäuschen nach Vogelkadavern. Als Ergebnis erhielten wir die Anzahl der Kollisionen für jedes Wartehäuschen sowohl für die Besuche in den Zeiträumen vor als auch nach dem Anbringen der Folie.

### Statistische Analyse

Wir analysierten Vogel-Glas-Kollisionsdaten mit einem Generalisierten Additiven Gemischten Modell („mixed model“, GAMM) mit einer logarithmischen Verteilung und Poisson-Fehlerverteilung, das im „mgcv“-Paket (Wood 2017) in R (R Core Team 2021) implementiert wurde. In das GAMM haben wir jeden Besuch an jedem Wartehäuschen als einen einzelnen Datensatz ( $n = 173$ ) und die Anzahl der Kollisionen als Antwortvariable aufgenommen. Wir wendeten ein „before-after-control-impact Design“ (BACI) an, indem wir die Interaktion der beiden erklärenden Variablen berücksichtigten: Zeitpunkt (vor oder nach dem Anbringen der UV-Folie, d. h. 2017 und 2018 vs. 2021) und Maßnahme (Anbringen der UV-Folie oder kein Anbringen der UV-Folie, wobei letztere als Kontrolle diente). Wir gingen davon aus, dass ein signifikanter Interaktionsterm im GAMM die Wirkung der UV-Folie auf das Kollisionsrisiko von Vögeln mit Glasflächen anzeigt (Chavelier et al. 2019). Darüber hinaus haben wir in das Modell den Monat als kategorialen Faktor (Mai–August) sowie zufällige Effekte der Wartehäuschen-ID und der Jahres-ID aufgenommen, um eine mögliche zeitliche und räumliche Datenabhängigkeit zu berücksichtigen. Zufällige Effekte wurden mit Hilfe von „Ridge Penalty Splines“ (Wood 2017) angepasst. Zusätzlich verglichen wir die Anzahl der Kollisionen von innen und von außen an den Wartehäuschen mit Hilfe des Chi-Quadrat-Tests.

### Hintergrundinformationen zum Manuskript

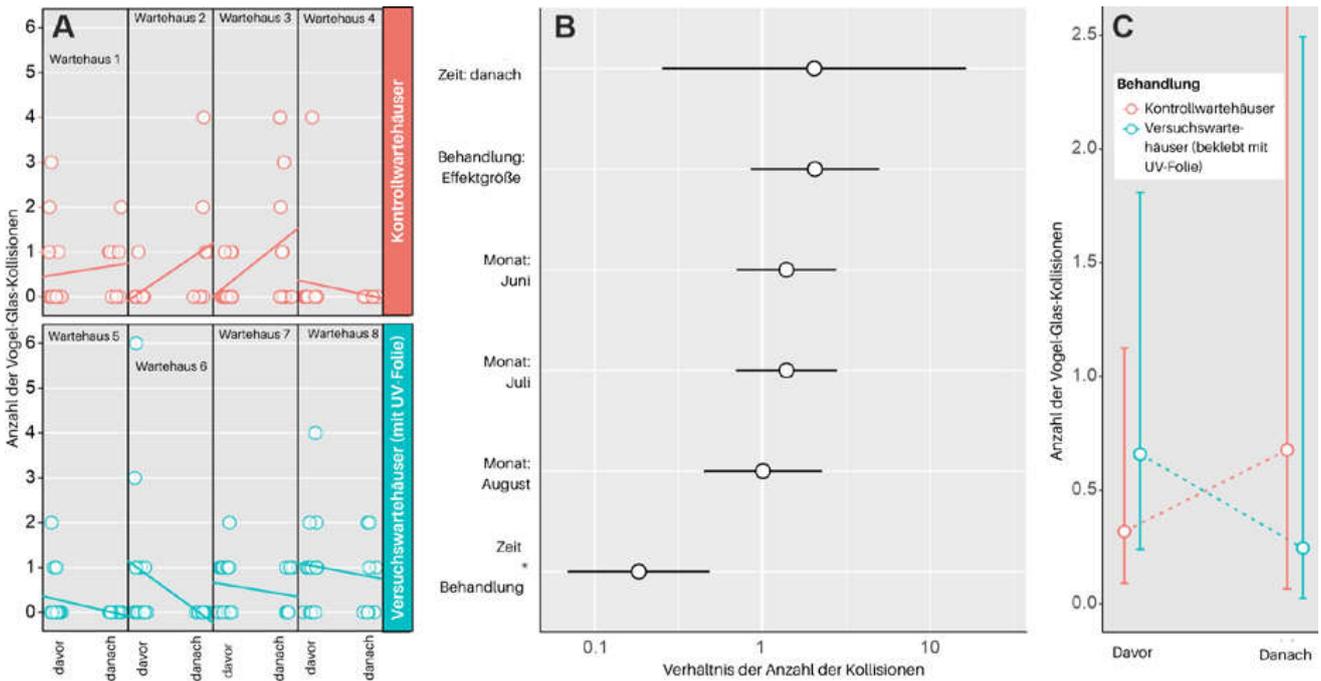
Dieser Beitrag wurde aus einem Artikel erstellt, der in englischer Sprache im Jahr 2022 in *Ornis Fennica* publiziert wurde (Zysk-Gorczyńska & Żmihorski 2022). Wir danken den Herausgebern von *Ornis Fennica* für die Zustimmung zur Erstellung und zum Abdruck einer deutschen Fassung. Zur englischen Originalarbeit ist ergänzendes Onlinematerial mit Ergebnissen der Modellberechnung verfügbar. Die Kommentare von drei anonymen Gutachtern waren bei der Fertigstellung dieser Publikation sehr hilfreich. Wir danken Aleksandra Kolanek für die Erstellung der Landkarte.

BirdShades Innovations GmbH ([www.birdshades.com](http://www.birdshades.com)) hat dieses Projekt teilfinanziert und die UV-Folie zur Verfügung gestellt. Das Unternehmen hatte keinen Einfluss auf die Feldarbeit, die Analyse, die Interpretation oder die Präsentation der Daten und hat nicht an der Erstellung dieses Manuskripts mitgewirkt. BirdShades war auch nicht an der Entscheidung beteiligt, diese Studie zu veröffentlichen.

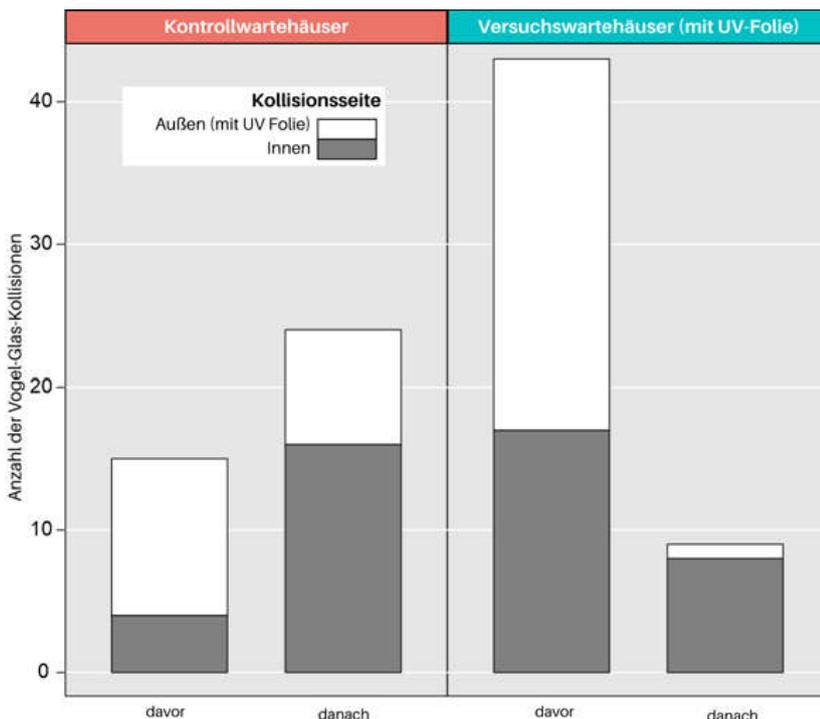
### Ergebnisse

Während der dreijährigen Studie wurden an den acht Buswartehäuschen 91 Kollisionen von Vögeln mit Glaswänden aufgezeichnet, pro Wartehäuschen und Besuch waren es zwischen null und sechs Fälle. In den Jahren 2017 und 2018 (d. h. vor dem Anbringen der Folie) verzeichneten wir 58 Kollisionen, davon 15 in den Kontrollwartehäuschen und 43 in den Versuchswartehäuschen. Im Jahr 2021 (d. h. nach dem Anbringen der Folie) fanden wir 33 Beweise für Vogelkollisionen (Federn, Vogelkonturen oder Kadaver), davon 24 Kollisionen in Kontrollwartehäuschen und neun Kollisionen in den Versuchswartehäuschen (mit UV-Folie beklebt). Vor dem Anbringen der Folie (d. h. in den Jahren 2017 und 2018) war die Anzahl der Kollisionen in den später mit UV-Folie beklebten Wartehäuschen im Vergleich zu den Kontrollwartehäuschen tendenziell geringfügig höher ( $p = 0,113$ ), was sich jedoch nach dem Anbringen der Folie änderte: Im Jahr 2021 war die Anzahl der Kollisionen in den Wartehäuschen mit Folie im Vergleich zu den Kontrollwartehäuschen geringer ( $p = 0,050$ ; Abb. 3), und die Interaktion zwischen Zeit und Behandlung war signifikant ( $p < 0,001$ ). Die Effektgröße der Interaktion wurde auf 0,175 (95 %-Konfidenzintervall: 0,066–0,463) geschätzt, was bedeutet, dass die vorhergesagte Anzahl der Zusammenstöße nach dem Anbringen der UV-Folie in der Versuchsgruppe der Wartehäuschen um das 5,71-fache (95 %-Konf.: 2,15–15,13) im Vergleich zu den Kontrollwartehäuschen reduziert wurde. Es wurde kein signifikanter Einfluss des Monats gefunden.

Von den 91 registrierten Kollisionen wurden 46 an der Außenseite und 45 an der Innenseite der Glaswartehäuschen registriert. Das Verhältnis der Anzahl der Kollisionen zwischen Außen- und Innenseite unterschied sich bei den Kontrollwartehäuschen nicht von 1:1 (Chi-Quadrat-Test,  $p = 0,071$  für den Zeitraum „vorher“ und  $p = 0,103$  für den Zeitraum „nachher“).



**Abb. 3:** (A) Beobachtungsdaten zusammen mit Regressionslinien von Vogel-Glas-Kollisionen vor und nach der Anbringung der Folie (mit leichter Punktverschiebung, um überdruckte Punkte sichtbar zu machen) an Kontroll- und Versuchswartehäuschen, (B) Parameterschätzungen des GAMM-Modells zur Analyse von Vogel-Glas-Kollisionen in Abhängigkeit von der Zeit und der Maßnahme und (C) Anzahl der Vogel-Glas-Kollisionen (mit 95 %-Konfidenzintervallen), die durch das GAMM-Modell für Buswartehäuschen aus Glas mit verschiedenen Maßnahmen vor und nach dem Anbringen von UV-Folie auf dem Glas vorhergesagt wurden. Bei den mit UV-Folie beklebten Wartehäuschen sank die Anzahl der Kollisionen im Vergleich zu den Kontrollwartehäuschen auf etwa ein Fünftel. – (A) Observations together with regression lines of bird–glass collisions before and after treatment (with point jittering to reduce overplotting) at controlled and treated bus shelters, (B) parameter estimates of GAMM model analyzing bird–glass collisions in relation to time and treatments, and (C) number of bird–glass collisions (with 95 % confidence intervals) predicted by the GAMM for glass bus shelters with different treatments, before and after applying UV film on the glass. At shelters covered with UV film, the number of collisions dropped by ca. 5-times compared to control shelters.



**Abb. 4:** 91 Vogel-Glas-Kollisionen (Außen-seite vs. Innenseite eines Wartehäuschens) an vier Kontroll- und vier Versuchswartehäuschen vor (2017 und 2018) und nach (2021) der Maßnahme. Nach dem Anbringen von UV-Folie an der Außenseite von vier Wartehäuschen wurde nur eine Kollision an der Außenseite (d. h. mit UV-Folie beklebt) registriert. – Location of 91 bird–glass collisions (outer vs. inner side of a bus-shelter) recorded at four control and four impact bus-shelters before (2017 and 2018) and after (2021) treatment. After applying UV film at the outer side of four shelters, only one collision was recorded at outer side (i.e., UV film-covered).

Bei den Versuchswartehäuschen war der Anteil der Kollisionen an den Innen- und Außenseiten für den „Vorher“-Zeitraum ähnlich ( $p = 0,170$ ), unterschied sich aber signifikant von 1:1 für den „Nachher“-Zeitraum ( $p = 0,020$ ), in dem nur eine Kollision an der äußeren (d. h. mit UV-Folie beklebten) Seite registriert wurde, während sechs an der inneren, nicht beklebten Seite registriert wurden und zwei der Kollisionen an den Seitenwänden stattfanden, die ebenfalls nicht mit UV-Folie geschützt waren (Abb. 4).

## Diskussion

Wir konnten zeigen, dass die Verwendung der UV-BirdShades-Folie Kollisionen von Vögeln mit Glaswänden wirksam reduzieren kann. Wir haben einen signifikanten Rückgang der Anzahl der Kollisionen nach dem Anbringen der UV-Folie festgestellt (in der Versuchsgruppe der Wartehäuschen 5,71-mal weniger als in der Kontrollgruppe), was im Allgemeinen frühere Erkenntnisse über die Wirksamkeit der BirdShades UV-Folie bei der Verhinderung von Kollisionen in Flutunnelversuchen bestätigt (Swaddle et al. 2020). Mehrere Studien haben gezeigt, dass einige Vogelarten UV-Wellenlängen von etwa 300 bis 400 nm wahrnehmen (Bennett & Cuthill 1994; Hunt et al. 1998; Klem 2009; Swaddle et al. 2020). Klem (2009) beschrieb eine Lösung, die ultraviolette (UV) Signale in Form von nebeneinander liegenden und kontrastierenden UV-reflektierenden und UV-absorbierenden Elementen verwendet, während Klem & Saenger (2013) feststellten, dass Außenfolien mit UV-reflektierenden Anteilen von 20 % bis 40 % bei 300 bis 400 nm Vogel-Fenster-Kollisionen wirksam verhindern. Im Gegensatz zu einigen experimentellen Studien, die in einem Flutunnel durchgeführt wurden, konnten wir die Wirksamkeit der UV-Folie unter natürlichen Lichtverhältnissen und an den tatsächlichen Objekten im Freiland testen: hochreflektierende Glasscheiben von Buswartehäuschen, die als wesentlicher Faktor für die Sterblichkeit von Vögeln an Glasscheiben gelten (Zysk-Gorczyńska et al. 2020).

Charakteristisch für Feldstudien ist, dass man die Bedingungen nicht vollständig kontrollieren kann. Wir gehen davon aus, dass es möglicherweise mehr Vogelerschlag an den Glasscheiben gab, als von uns erfasst wurden – sowohl an den Kontroll- als auch an den Versuchswartehäuschen. Erstens waren viele Flecken schwer eindeutig als Spuren von Vogelkollisionen zu klassifizieren (Zysk-Gorczyńska et al. 2020, 2021a), und alle diese nicht offensichtlichen Spuren wurden ignoriert. Folglich wurden eventuell einige der indirekten Beweise für Vogelkollisionen ignoriert. Zweitens hinterlassen manche Vogelkollisionen an Fenstern möglicherweise keine Kollisionsspuren (z. B. Federn, Schmutzflecken, Vogelkadaver). Wichtig ist, dass das Vorhandensein der UV-Folie unserer Meinung nach keinen Einfluss auf das Erkennen von Kollisionsspuren

an sich hatte. Flecken, Schmutz und Staub entstehen auf den Glasscheiben als Ergebnis der typischen Nutzung der Bushaltestellen durch die Fahrgäste. Daher gehen wir davon aus, dass, wenn es Anzeichen für eine Kollision gab, z. B. in Form von Federn oder Vogelkonturen, diese bei den Kontrollen auf dem Glas sichtbar waren. Interessanterweise stieg die Zahl der festgestellten Vogelkollisionen an nicht beklebten Bushaltestellen im Jahr 2021 im Vergleich zu 2017 und 2018 an. Zur Erklärung dieses Trends können mehrere Gründe angeführt werden. Die Zahl der Kollisionen mit Vögeln könnte von verschiedenen Faktoren abhängen, darunter der Tageszeit, der Bodenbedeckung oder dem Vorhandensein von Orten, die für Vögel hinsichtlich Futtersuche, Nistplatz oder als Unterschlupf attraktiv sind (Klem 2009). Im Falle von Buswartehäuschen können sich diese Faktoren über mehrere Monate hinweg verändern haben. Darüber hinaus könnten der Verschmutzungsgrad der Glasscheiben bzw. der Grad der Sichtbarkeit des Glases für Vögel, Vandalismus (Graffiti) und sogar die Anwesenheit von Menschen an einer Bushaltestelle (und in deren Umgebung, z. B. Bürgersteig, Radwege) zusätzliche Variablen sein, die die Anzahl der Kollisionen mit Vögeln beeinflussen (Zysk-Gorczyńska et al. 2020). Außerdem gleicht der Anstieg der Zahl der Kollisionen an nicht beklebten Wartehäuschen im Jahr 2021 den potenziellen Fehler aus, der sich aus der nicht zufälligen Auswahl der Wartehäuschen für die Studie ergibt (wir ordneten die Wartehäuschen mit den meisten Kollisionen der „Versuchsgruppe“ und die mit weniger Kollisionen der „Kontrollgruppe“ zu). Es zeigte sich, dass die Zahl der Anflüge an den Wartehäuschen der Kontrollgruppe im Jahr 2021 zunahm, so dass die Unterscheidung zwischen der Kontrollgruppe und der Versuchsgruppe (die Haltestellen mit der höchsten Zahl von Vogelerschlag) möglicherweise nicht mehr so deutlich war. Verschiedene Faktoren können sich auf die Variabilität der Anzahl an Vogelkollisionen auswirken, die sich auch saisonal ändern können.

Glas bewirkt eine Brechung der Lichtstrahlen einschließlich der ultravioletten Strahlung, was die Sichtbarkeit der Markierung von der Seite, auf der die Folie nicht angebracht wurde, verringern kann. Unsere Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass zwar Kollisionen an mit UV-Folie beklebten Wartehäuschen stattfanden, aber fast ausschließlich an den Seitenscheiben ohne Folie. Wir können uns daher vorstellen, dass sich die Folie als besonders wirksam erweisen könnte, wenn sie an Fenstern von Gebäuden mit eindeutiger Anflugseite verwendet wird (und Problem-/Außenflächen bedeckt, an denen Vogelkollisionen auftreten). Bei anderen Glasflächen sollte die UV-Folie jedoch auf beiden Seiten des Glases angebracht werden, was allerdings noch empirisch bestätigt werden muss. Des Weiteren ist die BirdShades-Folie nicht ganz einfach anzubringen. Obwohl die Folie in Rollen geliefert wird, sind für die Anbringung zwei Personen, vorzugsweise mit Erfahrung in

dieser Art von Arbeit, erforderlich. Außerdem kann es trotz aller Bemühungen passieren, dass sich Luftblasen zwischen der Glasoberfläche und der Folie bilden. Unserer Meinung nach könnte das Problem darin bestehen, dass die Folie auf besonders großen Flächen angebracht wurde (bei kleineren Glasscheiben, die definitiv kleiner sind als die Scheiben von Buswartehäuschen, wäre die Anbringung wahrscheinlich einfacher). Diese Eigenschaft der Folie sollte nach Möglichkeit verbessert werden.

## Fazit

Um Kollisionen zwischen Vögeln und Fenstern zu verhindern, müssen die Fenster so verändert werden, dass sie von Vögeln leicht erkannt und gemieden werden können. Die Verwendung von UV-Signalen, die Vögel sehen und Menschen nicht, ist eine elegante und praktische Lösung. Unsere Studie hat gezeigt, dass die BirdShades UV-Folie das Risiko von Vogelkollisionen in einer natürlichen Umgebung mit freilebenden Vögeln verringert, und wir kommen zu dem Schluss, dass solche Produkte bei der Abschwächung und Vermeidung von Fensterkollisionen weitgehend wirksam sein könnten. UV-Folien sind in der Regel teurer als herkömmliche Glasauflöser oder andere Glasmarkierungstechniken. Um die Kosten zu senken kann man daher in Erwägung ziehen, die Randflächen des Glases freizulassen, also nicht mit UV-Folie zu bekleben, da Vögel nur selten Randflächen im Bereich der Einfassung anfliegen (Zyśk-Gorczyńska et al. 2021b). Selbstklebende UV-Folien können zur Nachrüstung bestehender Fenster verwendet werden, um sie vogelschlagsicher zu machen, und die Verwendung von Fensterscheiben mit UV-Beschichtungsmustern (Verglasung) bei Neu- und Umbauten kann eine langfristige Lösung zum Schutz vor den schädlichen Auswirkungen von Vogelschlag weltweit darstellen.

Zweifellos ist es von entscheidender Bedeutung, die Wirksamkeit der BirdShades-Folie an Fenstern von Gebäuden zu testen, an denen die Lichtverhältnisse im Inneren eines Raums oft niedriger sind als außerhalb. Dies führt zu einer hohen Reflexion des angrenzenden Lebensraums und des Himmels, was wiederum die Vögel, die dorthin zu gelangen versuchen, in die Irre führt.

## Zusammenfassung

Es wird geschätzt, dass weltweit Millionen von Vögeln durch Kollisionen mit Glasflächen sterben. Um diese Sterblichkeit zu verringern, ist eine objektive Bewertung der Wirksamkeit von vogelfreundlichen Präventionsmethoden unerlässlich. Heutzutage sind verschiedene Arten von blickdichten Folien und Aufklebern erhältlich, die Vögel sehr wirksam vor tödlichen Kollisionen schützen können. Da sie jedoch für das menschliche Auge sichtbar sind, können sie die Sicht des

Menschen aus verglasten Räumen mehr oder weniger stark beeinträchtigen. Produkte, die sich die Fähigkeit der Vögel ultraviolettes Licht zu sehen, zunutze machen, scheinen diese Beeinträchtigungen auszugleichen. In dieser Studie wird untersucht, ob die UV-reflektierende BirdShades-Folie Vögel vor Kollisionen mit Glas unter natürlichen Umweltbedingungen schützt. Wir haben acht verglaste Buswartehäuschen untersucht, an denen wir zuvor eine hohe Anzahl von Vogelkollisionen festgestellt hatten. Auf vier von ihnen brachten wir UV-Folie an, während die anderen vier Wartehäuschen als Kontrollgruppe dienten. Ein generalisiertes additives Modell (GAMM) zeigte eine signifikante Wechselwirkung zwischen der Zeit (vor oder nach) und der Anbringung von UV-Folie (ohne oder mit Folie). Vor der Anbringung war die Zahl der Zusammenstöße an den mit Folie beschichteten Versuchsbushaltestellen tendenziell höher als an denen der Kontrollgruppe. Dies änderte sich jedoch nach der Anbringung deutlich, was darauf hindeutet, dass die UV-Folie die Zahl der Kollisionen von Vögeln mit Glas um mehr als das Fünffache reduziert. Unsere Studie ist die erste weltweit, in der UV-Folie an verglasten Bushaltestellen getestet wurde und lässt den Schluss zu, dass die UV-Folie das Risiko von Vogelkollisionen wirksam verringert.

## Literatur

- Aidala Z, Huynen L, Brennan PLR, Musser J, Fidler A, Chong N, Machovsky Capuska GE, Anderson MG, Talaba A, Lambert D & Hauber ME 2012: Ultraviolet visual sensitivity in three avian lineages: paleognaths, parrots, and passerines. *J. Comp. Physiol. A* 198: 495–510.
- Basilio LG, Moreno DJ & Piratelli AJ 2020: Main causes of bird-window collisions: a review. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences* 92: e20180745.
- Bennett ATD & Cuthill IC 1994: Ultraviolet vision in birds: what is its function? *Vision Research* 34: 1471–1478.
- Goldsmith TH & Butler BK 2005: Color vision of the budgerigar (*Melopsittacus undulatus*): hue matches, tetrachromacy, and intensity discrimination. *J. Comp. Physiol. A*: 91: 933–951
- Hart NS 2001: The visual ecology of avian photoreceptors. *Progress in Retinal and Eye Research* 20(5): 675–703.
- Håstad O & Ödeen A 2014: A vision physiological estimation of ultraviolet window marking visibility to birds. *PeerJ* 2: e621.
- Hunt S, Bennett ATD, Cuthill IC & Griffith R 1998: Blue Tits are ultraviolet tits. *Proc. R. Soc. Lond. B* 265:451–455.
- Klem D Jr. 2009: Preventing bird-window collisions. *Wilson J. Ornithol.* 121: 314–321.
- Klem D Jr. 2014: Landscape, legal, and biodiversity threats that windows pose to birds: A review of an important conservation issue. *Landscape* 3: 351–361.
- Klem D Jr. & Saenger, P.G. 2013: Evaluating the effectiveness of select visual signals to prevent bird-window collisions. *Wilson J. Ornithol.* 125: 406–411.
- Lind O, Mitkus M, Olsson P & Kelber A 2013: Ultraviolet sensitivity and colour vision in raptor foraging. *J. Exp. Biol.* 216: 1819–1826.
- Loss SR, Will T, Loss SS & Marra PP 2014: Bird-building collisions in the United States: Estimates of annual mortality and species vulnerability. *Condor* 116: 8–23.

- Machtans CS & Thogmartin WE 2014: Understanding the value of imperfect science from national estimates of bird mortality from window collisions. *Condor* 116: 3–7.
- Ödeen A, Håstad O & Alström P 2011: Evolution of ultraviolet vision in the largest avian radiation – the passerines. *BMC Evol. Biol.* 11: 313.
- Ribeiro BC & Piratelli AJ 2020: Circular-shaped decals prevent bird-window collisions. *Ornithol. Res.* 28: 69–73.
- Rössler M, Nemeth E & Bruckner A 2015: Glass pane markings to prevent bird-window collisions: less can be more. *Biologia* 70: 535–541.
- Sheppard CD 2019: Evaluating the relative effectiveness of patterns on glass as deterrents of bird collisions with glass. *Global Ecol. Cons.* 20: e00795.
- Swaddle JP, Emerson LC, Thady RG & Boycott TJ 2020: Ultraviolet-reflective film applied to windows reduces the likelihood of collisions for two species of songbird. *PeerJ* 8: e9926.
- Wood SN 2017: *Generalized Additive Models: An Introduction with R* (2nd ed.). Chapman and Hall/CRC.
- Żmihorski M, Kotowska D & Zyśk-Gorczyńska E 2021: Using citizen science to identify environmental correlates of bird-window collisions in Poland. *Sci. Total Environ.* 811(2): 15235.
- Zyśk-Gorczyńska E, Bojarska K & Żmihorski M 2021b: Non-random Bird-Glass Collision Pattern: Fewer Strikes Near Glass Edge. *Acta Ornithol.* 56: 133–137.
- Zyśk-Gorczyńska E, Skórka P & Żmihorski M 2020: Graffiti saves birds: A year-round pattern of bird collisions with glass bus shelters. *Landscape and Urban Planning* 193: 103680.
- Zyśk-Gorczyńska E, Sztwiertnia H, Pietkiewicz M, Kolanek A, Bojarska K & Żmihorski M 2021a: Local bird densities and habitats are poor predictors of bird collision with glass bus shelters. *Landscape and Urban Planning* 217: 104285.
- Zyśk-Gorczyńska E & Żmihorski M 2022: Ultraviolet film reduces bird-glass collision risk. *Orn. Fenn.* 99: 95–103.