

Mit „Spinnennetz-Effekt“ und UV-Absorbern gegen den Vogeltod an transparenten und spiegelnden Scheiben

von FRIEDRICH BUER, und MARTIN REGNER, Neustadt/Aisch

Keywords: Spinnennetz-Effekt, Vogeltod an Scheiben, Ultraviolett (UV)-Sehen, Schutz vor Kollisionen, Vogelschutz

Zusammenfassung

Jährlich verunglücken Millionen von Vögeln an transparenten oder spiegelnden Glasscheiben. Die bisherigen Schutzmöglichkeiten wirken nicht befriedigend oder sie sind ästhetisch nicht akzeptabel. Da Vögel sehr gut Ultraviolett (UV)-Licht sehen, könnten solche Scheiben mit Mustern aus transparenten UV-Absorbern „vogelbunt“ gefärbt werden und so die Vögel vor Kollisionen warnen. Mit dem gleichen Effekt schützen Radnetzspinnen ihre Netze vor Zerstörung durch Vögel, daher nennen wir es „Spinnennetz-Effekt“. Auch Stromnetze, Windmühlen und Flughäfen könnten so sicherer gemacht werden. Für Menschen sind diese Muster unsichtbar, weil sie UV-Licht nicht sehen können. Deshalb schlagen wir Untersuchungen vor, Vögel mit dem „Spinnennetz-Effekt“ zu schützen.

Abstract

Every year there are millions of collisions between birds and transparent or reflecting glass panes. Previous methods of protection are ineffective because they do not prevent birds from colliding with windows or they are unacceptable from the esthetical point of view. As birds can see ultraviolet (UV) light very well, it could be useful to stain glass panes ‘bird-coloured’ with pattern of transparent UV-absorbing material which could warn the birds against colliding with the pane. Web spiders protect their webs by the same effect against destruction by birds. That’s why we call it

‘spider’s web effect’. Power supply systems, windmills and airports will become safer, too. These patterns for men are invisible, because they can’t see UV-light. Therefore we suggest to do experiments to protect birds based on the ‘spider’s web effect’.

1. Aufgabe für Naturschutz, Tierschutz, Technik und Architektur

Jeder aufmerksame Beobachter kennt den Vogeltod an transparenten oder spiegelnden Flächen von Fenstern, Wintergärten, Gewächshäusern, Bushaltestellen, Durchgängen, Fassaden und Wind- oder Lärmschutzeinrichtungen. Auch Vögel, die zunächst überleben, sterben oft später an inneren Verletzungen. Betroffen sind sehr viele Arten. Nach OTTO (1994) fanden sich in der Wiederfunddatei beringter Vögel der Vogelwarte Hiddensee folgende 60 Arten:

Amsel	Gartengrasmücke
Austernfischer	Gartenrotschwanz
Bachstelze	Gebirgsstelze
Bartmeise	Gimpel
Bergfink	Grünfink
Beutelmeise	Goldammer
Birkenzeisig	Habicht
Blaumeise	Hausrotschwanz
Buchfink	Haubenmeise
Buntspecht	Hänfling
Drosselrohrsänger	Heckenbraunelle
Eichelhäher	Hohltaube
Eisvogel	Kernbeißer
Elster	Kiebitz
Fitis	Kleiber
Gartenbaumläufer	Knäkente

Kohlmeise	Sumpfmeise
Krickente	Sumpfrohrsänger
Lachmöwe	Tannenmeise
Mauersegler	Teichhuhn
Mäusebussard	Teichrohrsänger
Mönchsgrasmücke	Trauerschnäpper
Neuntöter	Turmfalke
Rauchschwalbe	Uferschwalbe
Ringdrossel	Waldbaumläufer
Rotkehlchen	Waldlaubsänger
Schleiereule	Waldohreule
Singdrossel	Wasseramsel
Sperber	Weißstorch
Sturmmöwe	Wintergoldhähnchen

Damit ist die Liste keineswegs komplett, schon weil nicht alle Arten beringt werden. Das zeigen weitere Autoren und eigene Beobachtungen. Zu den Opfern gehören z. B. auch Feldsperling, Fichtenkreuzschnabel, Grünspecht, Haussperling, Kuckuck, Pirol, Star, Stieglitz, Türkentaube, Wacholderdrossel, Waldschnepfe, Wiesenpieper, Zaunkönig und Zeisig. Insgesamt dürften allein in Deutschland wenigstens 80 Vogelarten betroffen sein. KLEM (1989) fand in den USA und Kanada verunglückte Exemplare von 225 Arten, was 25 % des Artenbestandes entspricht.

Die genaue Zahl der an transparenten und spiegelnden Flächen tödlich verunglückten Vögel ist nicht bekannt, aber es gibt Stichproben und Hochrechnungen. Sie ergeben eine erschreckend hohe Zahl. KLEM (1979) schätzt sie für die USA auf jährlich mindestens 97,6 Millionen Todesfälle. Wegen der hohen Dunkelziffer könnte es aber auch das Zehnfache sein. Für Europa dürfte die Zahl in der gleichen Größenordnung liegen. Wir haben es also mit einem erheblichen Problem zu tun.

Umfragen bei Besitzern von 51 Gebäuden, meist Einfamilienhäusern, aber auch Kindergärten, Schulen und Gewerbebetrieben (BUER 1996) zeigen, daß der Vogeltod an Scheiben allgemein bekannt ist und daß praktikable Lösungsvorschläge auf breite Zustimmung stoßen. Deshalb sind Natur- und Tierschutz gefordert, aber auch Technik und Architektur. Wir sollten transparente

und spiegelnde Flächen so gestalten, daß sie nicht nur für uns, sondern auch für Vögel ungefährlich sind.

2. Warum kommt es zu Kollisionen und was schützt davor?

Vermutet wird, daß Vögel transparente Scheiben nicht erkennen können und durch Spiegelungen getäuscht werden. Einen Lerneffekt gibt es nicht (KLEM 1989). Vor allem beschichtetes Glas kann die vor ihm liegende Umgebung so perfekt spiegeln, daß auf Dias Bild und Spiegelbild kaum zu unterscheiden sind (BUER 1996). Unter diesen Umständen und wenn Vögel ähnlich wie wir sehen, sind Kollisionen unvermeidbar.

Wirksame Schutzmaßnahmen müssen daher transparente und spiegelnde Flächen als Hindernis für Vögel sichtbar machen. Die bisher empfohlenen sind zusammengefaßt im „Merkblatt zur Verhütung von Vogelverlusten an Glasflächen“, Deutscher Bund für Vogelschutz (OTTO 1994) und in „Vogelkiller Glas“ (Tips zum Vogelschutz, Schweizerische Vogelwarte Sempach und Schweizer Vogelschutz SVS-BirdLife Schweiz). Am besten wirken außen angebrachte, senkrechte, schmale Tuchstreifen in 5–10 cm Abstand, entsprechende Klebestreifen oder das Verhängen mit Netzen. Die weit verbreiteten schwarzen oder weißen Attrappen von Greifvögeln sind nahezu nutzlos, besser scheint rote Reflexfolie zu sein. Allen diesen Schutzmaßnahmen gemeinsam ist, daß sie die Transparenz beeinträchtigen, oft die Ästhetik stören und deshalb häufig abgelehnt werden.

3. Besonderheiten der Sehphysiologie von Vögeln als neuer Lösungsansatz

Diesen Zielkonflikt könnte man möglicherweise umgehen, wenn man mit Markierungen arbeitet, die für Vögel sichtbar, für uns dagegen unsichtbar sind. Da Vögel Ultraviolett (UV)-Licht sehen können, sollten für unsere Augen transparente, dafür UV absorbierende Markierungen Vögel vor

Kollisionen warnen können. Da Menschen für UV blind sind, wären solche Markierungen für uns unsichtbar.

Wir sehen Licht mit Wellenlängen von etwa 400 nm bis 750 nm. Dieser Bereich umfaßt die Regenbogenfarben Violett, Blau, Grün, Gelb, Orange und Rot. Besonders empfindlich sind unsere Augen bei den Wellenlängen 440 nm, 530 nm und 590 nm, die wir als blau, grün und rot wahrnehmen. Für diese drei Wellenlängen finden sich in unserer Netzhaut drei spezialisierte Typen von Zapfen. Licht unterhalb von 400 nm wird von unserer Linse und von Schutzpigmenten unseres Auges absorbiert und ist daher für uns unsichtbar.

Vögel sehen zusätzlich ultraviolettes Licht (UV). Entsprechend haben sie einen vierten Zapfentyp, der speziell auf UV-Licht reagiert. Die Augen des gut dressierbaren Sonnenvogels, *Leiothrix lutea*, sind bei 370 nm (UV), 460 nm (blau), 530 nm (grün) und bei 620 nm (rot) besonders empfindlich (BURKHARDT & MAIER 1989).

UV-Sehen wurde zuerst beim Violett-ohr-Kolibri entdeckt (HUTH & BURKHARDT 1972) und dann bei Tauben (WRIGHT 1972), die zwischen 325 nm und 360 nm besonders empfindlich sind (KREITHEN & EISNER 1978). Untersuchungen an Zebrafinken haben gezeigt, daß der Austausch einer einzigen Aminosäure, Serin anstelle von Cystein, ausreicht, um den Violett-Lichtrezeptor in einen UV-Rezeptor zu verwandeln (vgl. BRENNICKE 2000). Evolutionsbiologisch ist es also nur ein kleiner Schritt zum UV-Sehen. Entsprechend nennt BURKHARDT (1989) 30 Arten aus 6 Ordnungen, für die UV-Sehen nachgewiesen ist und stellt 1992 fest: „Heute muß man annehmen, daß der ultraviolette Bereich des Tageslichts von vielen Vögeln als eine eigene Farbqualität wahrgenommen wird.“

Für unsere Problemstellung besonders bemerkenswert ist, daß *Leiothrix lutea* auf UV-Licht von 380 nm Wellenlänge fünfmal empfindlicher reagiert als auf grünes Licht mit 530 nm (BURKHARDT & MAIER 1989) und sogar 30-mal (!) empfindlicher als auf rotes Licht von 620 nm Wellenlänge (BURK-

HARDT 1992). Die verbreitete Meinung, Vögel sähen wegen der roten Vogelfrüchte und roten Vogelblüten besonders gut Rot, muß also ergänzt werden: Noch besser sehen sie UV!

Vogelfedern reflektieren oder absorbieren UV-Licht in art- und geschlechtsspezifischer Weise (BURKHARDT 1989). Der Geschlechtsdimorphismus beim Nashornvogel ist für unser Auge erkennbar, wird aber im UV-Licht deutlich auffälliger (BURKHARDT 1989). Die roten Brustfedern der Männchen von Gimpeln reflektieren erheblich UV. Bei Blaumeisen und vielen anderen Vögeln sind die Geschlechter für unsere Augen äußerlich gleich, was eigentlich zu chaotischen Verhältnissen bei der Partnersuche führen müßte. Im UV-Licht dagegen wird der Geschlechtsdimorphismus auch bei Blaumeisen auffällig sichtbar und die Männchen sind auf Anhieb zu erkennen (ANDERSSON et al. 1998, HUNT et al. 1997, GUILFORD & HARVEY 1998). Auch für Zebrafinken sind bei der Wahl der Geschlechtspartner Merkmale wichtig, die im UV-Licht sichtbar sind (BENETT et al. 1996, HUNT et al. 1997). Turmfalken (*Falco tinnunculus*) nutzen ihr UV-Sehen zur Jagd. Urin und Kot von Mäusen reflektieren UV nahe 340 nm. Da Mäuse ihre Laufwege mit ihren Exkrementen verunreinigen, erkennen die Falken schon aus der Luft, ob die Laufwege benutzt werden und ob es lohnend ist, über dem Feld zu rütteln. Auch der Raufußbussard (*Buteo lagopus*) nutzt die UV-Reflexion von Mäuseexkrementen zur Jagd (VITALA et al. 1995). Wichtig für unsere Überlegungen ist, daß erst der Kontrast zwischen UV-Reflexion der Exkremente und UV-Absorption der Umgebung die Laufwege für die Greifvögel sichtbar macht.

Insgesamt wird die UV-Tüchtigkeit von Vögeln für die Nahrungssuche und für die Erkennung der eigenen und von fremden Arten, sowie der Geschlechtspartner genutzt. Damit ist sie von grundsätzlicher Bedeutung für das Überleben und muß auch unter ungünstigen Bedingungen sicher funktionieren. Entsprechend gut sollten UV-Absorber von Vögeln erkannt werden.

Die Intensität der UV-Strahlung in der Nähe des Bodens schwankt stark. Sie ist abhängig von der geographischen Breite, der Höhe über Meeresspiegel, der Jahreszeit, der Tageszeit, vom Wetter und vom Bewuchs. Im Winter, in hohen Breiten, bei bewölktem Himmel, unter Bäumen sowie in den Morgen- und Abendstunden ist sie nur schwach. Trotzdem sollte auch dieses schwache UV-Licht wegen der überraschend hohen Empfindlichkeit des Vogel- auges für UV gesehen werden.

4. Der „Spinnennetz-Effekt“

Die Netze von Radnetzspinnen werden nach EISNER & NOWICKI (1983) von Vögeln gemieden und so vor Zerstörung bewahrt. Deshalb sollten ihre Netze für anfliegende Vögel sichtbar sein (OTTO 1994). Es konnte bewiesen werden, daß die Radnetze nicht nur passive Fangeinrichtungen sind, sondern daß sie durch UV-Reflexion aktiv Insekten anlocken, die ebenfalls UV-Licht sehen können (WICKELGREN 1989, FOELIX 1992). Die UV-Reflexion der Spinnfäden schützt zugleich das Netz vor Zerstörung durch Vögel, die UV besonders gut sehen und so ihr Gefieder vor lästigen, klebrigen Spinnfäden bewahren. Ursprüngliche Web- spinnen bauen Gespinste nur zum Schutz der Eier. Interessanterweise reflektieren diese Gespinste kein UV-Licht, was einer Tarnung vor hungrigen Vögeln gleich- kommt. Anscheinend haben die Radnetz- spinnen im Laufe ihrer Stammesgeschichte das Problem der Vogelkollisionen durch UV-Reflexion ihrer Spinnseide gelöst. Das vermutete auch KLEM (1989).

Allerdings können die Spinnfäden nach unserer Ansicht nur deshalb auffallen, weil der Hintergrund des Netzes UV-Licht absorbiert. Fensterglas reflektiert zwar ebenfalls UV, wenn auch nur schwach. Vor allem aber ist die Reflexion flächig und ohne Kontrast von UV-absorbierenden Bereichen und wird folglich von Vögeln nicht erkannt. Ein Muster auf dem Glas aus UV-absorbierendem, für unser Auge transparenten Ma-

terial, müßte Vögel aufgrund des Spinnen- netz-Effektes warnen können.

5. Ohne UV-A-Licht sehen Vögel bunt

Will man den Spinnennetz-Effekt zum Schutz der Vögel vor Kollisionen mit Glas- flächen nutzen, müssen die Unterschiede in der Sehphysiologie von Menschen und Vögeln beachtet werden. Während unsere Netzhaut drei farbtüchtige Zapfen jeweils für blau, grün und rot besitzt, verfügt die der Vögel über einen vierten Zapfentyp für UV-Licht (BURKHARDT 1989, 1992; FINGER & BURKHARDT 1993). Werden unsere drei Zapfentypen gleichzeitig mit Licht der spektralen Zusammensetzung und der Energiedichte des Tageslichtes gereizt, sehen wir unbunt, weiß oder grau. In Analogie dazu sollten nach BURKHARDT (1992) auch Vögel den Eindruck für un- bunt, weiß oder grau haben, aber nur, wenn zusätzlich ihre UV-empfindlichen Zapfen gereizt werden.

Farben sehen wir, wenn nur einer oder zwei unserer drei Zapfentypen gereizt werden. Analog dazu sollten Vögel ein Objekt dann farbig („vogelbunt“) sehen, wenn nur einer, zwei oder drei ihrer vier Zapfentypen gereizt werden. Wird z. B. von den vier Zapfentypen der für UV-Licht zuständige Zapfentyp nicht gereizt, sehen Vögel eine Farbe. Welche das ist, bleibt uns vielleicht für immer verborgen.

Die Beeren des Christophkrauts (*Actea alba*) sind für uns weiß, weil sie das Tages- licht vollständig reflektieren. Sie reflektieren zusätzlich UV, was für uns belanglos ist. Aber bei Vögeln reizt dieses UV-Licht auch den vierten, UV-empfindlichen Zapfentyp und erst dadurch sehen Vögel diese Beeren in reinem Weiß („vogelweiß“). Die Beeren der Mistel (*Viscum album*) sind für uns ebenfalls weiß. Aber sie absorbieren UV, was für uns wiederum belanglos ist. Bei Vögeln aber wird dadurch der für UV zu- ständige vierte Zapfentyp nicht gereizt. Daher sehen Vögel die Mistelbeeren nicht weiß sondern „bunt“ (BURKHARDT 1992).

6. UV-A färbt Hindernisse für Vögel bunt

Die Wellenlängen des UV-Lichtes reichen von 100 bis 380 nm. Kurzwelliges UV-Licht bis 200 nm breitet sich nur im Vakuum aus. UV-A reicht von 315 bis 380 nm, UV-B von 280 bis 315 nm und UV-C von 200 bis 280 nm. UV-B schädigt DNA, verursacht Sonnenbrand und Hautkrebs, UV-C greift DNA und Proteine an. Das macht Sehen unterhalb von 300 nm unwahrscheinlich. Außerdem steigt erst über 300 nm die für das Sehen wichtige spektrale Energiedichte des Tageslichtes steil an, um bei 490 nm ihr Maximum zu erreichen. Tatsächlich haben die für UV-Licht zuständigen Zapfentypen von Tauben bei 325 und 360 nm ihre höchste Empfindlichkeit (WRIGHT 1972) und die vom Sonnenvogel bei 370 nm (BURKHARDT & MAIER 1989). Daher reicht es vermutlich, wenn Flächen UV-A absorbierende Muster zeigen, damit Vögel sie farbig sehen.

Für transparente Flächen ergibt sich daraus, daß sie nur dann für uns unsichtbar sind, wenn sie für Tageslicht, also für blaues, grünes und rotes Licht durchlässig sind. Würden sie z. B. Rot absorbieren, erschienen sie uns in den Komplementärfarben Grün und Blau, also türkisfarben. Ob sie UV durchlassen oder schlucken, ist für unser Sehen ohne Belang. Bei Vögeln ist das anders. Für sie ist eine transparente Fläche nur dann unsichtbar, wenn sie für blaues, grünes, rotes und ultraviolettes Licht durchlässig ist. Wenn z. B. der UV-Anteil absorbiert würde, müßte die Fläche den Vögeln in den Komplementärfarben, also farbig („vogelbunt“) erscheinen. Eine spiegelnde Fläche spiegelt aus Sicht der Vögel die vor ihr liegende Umgebung nur dann naturgetreu wieder, wenn sie nicht nur das für uns sichtbare Licht reflektiert, sondern auch das UV-A-Licht. Das ist bei den üblichen Scheiben zumindest teilweise der Fall, und Kollisionen sind die Folge. Würden spiegelnde Flächen UV-A-Licht in Mustern absorbieren, wäre das für uns nicht zu erkennen. Dagegen würden Vögel solche Muster

auf den Flächen vogelbunt sehen und gewarnt werden.

Aus diesen Gründen sollten Streifen, Netzstrukturen und andere Muster, die zum Schutz vor Kollisionen auf transparente oder spiegelnde Flächen aufgebracht werden, UV-A absorbieren, damit sie von Vögeln als Hindernis erkannt werden können. Werden solche Muster aus transparenten Materialien hergestellt, bleiben sie für uns unsichtbar. Wir vermuten, daß wir so den Spinnennetz-Effekt, also die evolutive Erfindung der Radnetzspinnen, zum Schutze der Vögel nutzen können.

7. Vorschläge für Materialien und Techniken zur UV-Absorption

Transparente Materialien, die UV-A absorbieren, können als Klebefolien aufgeklebt, als Lacke aufgestrichen oder aufgesprüht werden. Auch Filzschreiber („Vogelschutz-Stifte“) sollten sich eignen. UV absorbierende Zusätze zu Fensterputzmitteln, die nach dem Putzen auf den Scheiben bleiben, wären besonders praktisch. Man könnte sie auch nach dem üblichen Putzen als „Vogelschutz-Spray“ wie Graffiti aufsprühen. Aber auch die bisher üblichen Schutzmaßnahmen wie Silhouetten, Streifen und Netze könnten mit Substanzen, die UV absorbieren, in ihrer Wirkung verbessert werden.

Bei Doppel- und Mehrscheibenglas könnte man während der Produktion das Material auf die Innenflächen aufbringen, ähnlich wie man es heute schon mit anderen Beschichtungen zur Wärmedämmung macht. Bei solchem „Vogelschutzglas“ wäre die Beschichtung vor Witterung und Fensterputzen geschützt. Eignen könnten sich auch Museumsglas mit UV-Schutz, sowie Glas mit aufgedampften Metallschichten. Der Kunststoff, der anstelle von Glas für handelsübliche UV-Schutzbrillen verwendet wird, absorbiert wirkungsvoll UV. Ein weiterer Ansatz wären elektrisch leitfähige Scheiben, deren optische Eigenschaften sich möglicherweise so regeln lassen, daß sie im

UV-Licht Muster zeigen, die Vögel abschrecken. Die Dicke einer Glasscheibe beeinflusst den Grad der Reflexion und Absorption von Photonen. Ursache sind Effekte der Quantenelektrodynamik (FEYNMAN 1992). Hier könnte sich ein besonders eleganter Lösungsansatz ergeben. Die UV-Reflexion von reifen Schlehen kommt durch Reif, das sind in diesem Fall winzige Wachsschüppchen, auf der Oberfläche zustande (BURKHARDT 1992). Deshalb gehören auch Wachse und Nanopartikel in die Prüfung. Im Handel gibt es spezielle UV-Schutzlacke, auch zum Schutz von Kunstwerken. Das Möbelpflegemittel „Poliboy“ verwendet Avocado-Öl als UV-Schutz. Frosch Möbel Spray von Erdal-Rex bietet ebenfalls UV-Schutz. Da Turmfalken Fäkalien von Mäusen am UV-Kontrast erkennen können und das zur Jagd nutzen, müssen darin UV-aktive Substanzen sein, die zumindest das Turmfalkenaugen erkennen kann.

TinosorpTMFR ist ein Produkt der Ciba Specialty Chemicals Inc, Basel. Es ist ein UV-Absorber und macht Baumwolltextilien zum Schutz der Haut für UV schwer durchlässig. Es ist im deutschen Handel als „Frosch UV-Schutz Waschpulver“ erhältlich.

Die Firma 3M hat einen transparenten „Kratzschutzfilm“ gegen Vandalismus an Scheiben von öffentlichen Verkehrsmitteln entwickelt. Er wird mit einem Acrylatklebstoff aufgeklebt, der einen UV-Absorber enthält und kann bei Bedarf rückstandslos entfernt werden. Dieses Material erfüllt eigentlich schon unsere Vorstellungen von einer Vogelschutzfolie.

Geeignet könnten auch Fluorochrome sein, die sichtbare Wellenlängen absorbieren und im UV-A emittieren. Bei nur schwacher natürlicher UV-Einstrahlung wäre das vorteilhaft. Fluorochrome, allerdings solche die im sichtbaren Wellenlängenbereich emittieren, sind schon heute in Waschmitteln verbreitet und bewirken das „strahlende Weiß“ im Blacklight der Disco.

Carotinoide und Flavonoide sind bei Pflanzen weit verbreitet und werden von ihnen als Wegweiser für Blütenbesucher und als Schutzpigmente gegen übermäßige

UV-Strahlung benutzt. Carotinoidpigmente reflektieren UV, Flavonoide dagegen absorbieren stark in UV. Carotinoide sind fettlöslich, Flavonoide wasserlöslich. Beide markieren in Blüten die Wege zu den Nektarien für Nektar suchende Insekten u. a. bei *Rudbeckia hirsuta*, dem Sonnenhut (THOMSON et al. 1972). Weitere Beispiele sind aus den Gattungen *Helianthus*, *Eriophyllum*, *Bidens* und *Oenothera* bekannt. Bei *Coronilla* und *Potentilla* fanden sich UV-Absorber aus der Gruppe der Flavonolglykoside, die selbst farblos sind (Übersicht bei HARBORNE 1995). Schmetterlinge können gut im UV sehen. Die Weibchen des Hauhechel-Bläulings nehmen als Raupe Flavonoide aus den Blüten ihrer Futterpflanzen wie z. B. von *Lotus corniculatus*, *Trifolium repens* und *Medicago sativa* auf und lagern sie als Muster in ihre Flügel ein. Diese nur im UV-Licht sichtbaren Muster machen sie für Männchen attraktiv (BURKHARDT 2000).

DNA absorbiert UV-Licht. Im UV-Mikroskop erscheint deshalb z. B. die DNA der Zellkerne dunkel. Dabei entstehen Photoprodukte, die im Strang benachbarte Thyminbasen vernetzen und so die DNA schädigen können. Blütenpollen sind männliche DNA-Pakete, die auf weibliche Blüten übertragen werden sollen. Dazu müssen sie für längere Zeit wirksam vor UV-Licht geschützt werden. Besonders wichtig ist das für windblütige Pflanzen wie z. B. Koniferen, deren Pollen bei sonnigem Hochdruckwetter frei fliegend der UV-Strahlung ausgesetzt sind. Die Exine des Sporoderms enthält dazu u. a. das äußerst widerstandsfähige Sporopollinin. Dieses Polymerisat aus Carotinoiden und Carotinoidestern absorbiert UV und schützt so die DNA der Geschlechtszellen im Pollenkorn (STRASSBURGER 1998). Interessant ist, daß es nach eigenen Beobachtungen an Fenstern, die mit Pinus-Pollen verstaubt waren, keinen Vogelschlag mehr gab.

Eine weitere Fundgrube für UV-Absorber sollten Sonnenschutzmittel sein. Sie sollen die DNA der Hautzellen vor allem vor UV-B und damit vor Sonnenbrand und

Hautkrebs schützen. Gebräuchlich sind z. B. 4-MBC (4-Methylbenzyliden-Campher), Benzophenon-3, Homomethylsalicylat, Octyl-Methoxyzimtsäureester und Octyl-Dimethyl-p-Aminobenzoesäure.

Bei Windmühlen, Flugzeugen und Flughäfen sollten neben passiven UV-Absorbern auch aktive Abschreckungssysteme, die UV in geeigneter Weise emittieren, in die Überlegungen einbezogen werden. UV-Lampen bzw. entsprechende Filter sind handelsüblich, aber unseres Wissens bisher noch nicht für den Vogel- bzw. Flugzeugschutz untersucht worden.

Welche Materialien sich auch immer als geeignet erweisen, sie müssen auch besonders haltbar sein oder sich nach dem Putzen leicht wieder aufbringen lassen. Wind, Regen, Nebel, Feuchtigkeit, Trockenheit, Sonnenlicht im Tageslauf, Wärme, Kälte, Emissionen und Putzmittel im ständigen Wechsel bilden ein aggressives Gemisch. Im Idealfall müßten sie die Lebensdauer von Fenstern erreichen.

8. Gedanken und Vorschläge für Untersuchungen

Spinnennetz-Effekt, UV-Absorber und die besondere Sehphysiologie der Vögel sind ein neuer Denkansatz. Leider können wir nur indirekt erschließen, was Vögel sehen und was sie vor Kollisionen warnen könnte. Außerdem gibt es viele offene Fragen zu klären z. B. wie stark Kontraste im UV-A-Bereich sein müssen, um für Vögel auffällig zu werden. An sorgfältigen Laborversuchen mit dressierten Vögeln und Feldversuchen über ausreichend lange Zeiträume führt deshalb kein Weg vorbei. Nur so kann letztlich erkannt werden, ob und wie sich das UV-Sehen der Vögel dazu nutzen läßt, Kollisionen mit transparenten und spiegelnden Flächen zu vermeiden

8.1 Laborversuche

Flachgläser können UV sowohl durchlassen, absorbieren oder reflektieren und

zeigen meist eine Mischung dieser Eigenschaften. Abhängig ist das von der Wellenlänge des UV und der Glasqualität. Dieser Ist-Zustand muß zunächst an den üblichen Materialien (z. B. Glas, Acryl) von Fenstern und Fassaden gemessen werden, denn die Absorption der aufgetragenen Schutzmuster muß dazu in einem für Vögel ausreichenden Kontrast stehen. Dabei wäre der Bereich um 380 nm im UV-A besonders interessant, weil er sehr intensiv von Vögeln gesehen wird.

Anschließend wären die oben genannten und eventuell weitere Materialien und Methoden auf ihre UV-Eigenschaften zu prüfen und ob sie sich technisch eignen.

In einem nächsten Schritt könnten dann Versuche mit zahmen Vögeln folgen. Sie müßten klären, ob und welcher UV-Kontrast vom Vogel erkannt wird und welche Muster wirksam sind. Dazu könnte sich z. B. der optomotorische Reflex eignen oder Tests an Scheiben mit piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmern.

8.2 Feldversuche

Die Nagelprobe sind die Feldversuche, schon weil man sich im Labor auf eine oder wenige Vogelarten beschränken muß. Sie sollten über mindestens ein Jahr laufen, weil die Häufigkeit von Kollisionen auch von der Jahreszeit abhängt.

Ein besonders wichtiger Punkt wird sein, wie die Kollisionen erfaßt werden. Da die Kollisionen nicht immer oder nicht sofort tödlich sind und Beutegreifer sich der Opfer gern bedienen, sind regelmäßige Inspektionen für eine quantitative Auswertung zu ungenau und außerdem sehr aufwendig. Unverzichtbar sind sie trotzdem, weil nur so das Artenspektrum erfaßt werden kann.

Sensoren, die auf Erschütterungen reagieren, sollten sich für die quantitative und eingeschränkt auch für die qualitative Analyse der Kollisionen eignen. Verwenden könnte man nach LERCH (2001) piezoelektrische Beschleunigungsaufnehmer mit einer

elektronischen Auswerte-Schaltung, die ohne großen Aufwand entwickelt werden kann. Solche Sensoren könnten an die Versuchsscheiben angebracht werden und automatisch jede Kollision mit Datum und Uhrzeit und Intensität aufzeichnen. Denkbar wäre auch, daß ihre Daten zentral abgerufen werden können.

9. Kommerzielle Verwertbarkeit

Natur- und Tierschutz haben in den letzten Jahrzehnten weltweit an Bedeutung gewonnen. Dies zeigt sich am Interesse der Medien, an der steigenden Mitgliederzahl einschlägiger Vereine und global agierender Organisationen, den Aktivitäten der UNO, an den Programmen politischer Parteien und der Weiterentwicklung der Gesetzgebung, in Deutschland bis hin zur Verfassungsebene. Wenn wir den Spinnennetz-Effekt auf Scheiben übertragen könnten und unsere neue Methode wirksam sein sollte, können wir mit einer breiten Aufmerksamkeit der Medien, einschlägiger Tier- und Naturschutzorganisationen und der Politik rechnen. Das käme einer kostenlosen und zugleich besonders wirksamen Werbung gleich.

Außerdem zeigt die Erfahrung, daß Natur- und Tierschutz immer dann gut voran kommen, wenn sich damit gleichzeitig Geld verdienen und Arbeit schaffen läßt. Das beachtliche Spendenaufkommen für Natur- und Tierschutz beweist, daß man auch bereit ist, Geld zu investieren. Besonders wenn es um den Schutz der Vögel geht, ist man freigiebig. Allein das Wintervogelfutter sollen sich die Deutschen jährlich über 50 Millionen Euro kosten lassen (SCHMIDT & WOLFF 1985).

Wirksame, transparente Vogelschutzmarkierungen beseitigen den Konflikt zwischen Architektur und Vogelschutz. Dadurch erweitern sich die Anwendungsmöglichkeiten für Glas z. B. bei Lärmschutzbauten, Durchgängen, Wintergärten und der passiven Nutzung der Sonnenenergie.

Kein Thermobruch mehr. Dunkle Markierungen wie z. B. schwarze Greifvogelsilhouetten erwärmen sich im Sonnenlicht schneller und stärker als das umgebende Glas. Es kommt zu thermischen Spannungen zwischen Aufkleber und Scheibe, die bis zum Thermobruch führen können. Bei transparenten Materialien gibt es dieses Problem nicht mehr.

Aus eigenen Gesprächen wissen wir, daß man gern einen Euro für jede Scheibe ausgeben würde, um das Elend des Vogel-todes zu stoppen. In Baumärkten werden z. B. schwarze Greifvogel-Silhouetten (Werga, Ø 20 cm) im Dreierpack für Euro 3,50 verkauft, obwohl sie kaum helfen. 1995 gab es im ehemaligen Bundesgebiet 12,8 Mio Wohngebäude. Jährlich kommen neue hinzu, 1993 waren es in Deutschland 235 679 und zusätzlich 59 219 Nichtwohngebäude, das sind Bürogebäude, Landwirtschaftliche Betriebsgebäude, Fabriken, Werkstätten, Hotels, Gaststätten. (Statistisches Jahrbuch 1995). Bei der Nachrüstung haben wir es also pro Scheibe mit geringen Kosten, insgesamt jedoch mit einem erheblichen Marktvolumen zu tun.

Für die Hersteller von Flachglas wäre „Vogelschutzglas“ ein ganz neues Marktsegment. Sie haben bereits mit Umweltschutz und damit auch mit Naturschutz beste wirtschaftliche Erfahrungen gemacht. Die Produktion von umweltschonenden Wärmeschutzgläsern, wie Doppel- und Dreifach-scheiben, Beschichtungen und Gasfüllungen sind inzwischen zu tragenden Säulen des Geschäfts geworden. Allein 1999 wurden in Deutschland 11 Mio m² Flachglas produziert. Vogelschutzglas wäre ein neuer Schub für diesen Trend.

Der Vogel-tod an Freileitungen ist nach wie vor ein ungelöstes Problem. Er führt seit Jahren zu Konflikten zwischen Vogelschützern und Stromversorgern. Zwar sind inzwischen Sicherungen gegen tödliche Kurzschlüsse an Masten üblich, aber immer noch kollidieren vor allem Großvögel mit den Leitungsdrähten, weil sie offensichtlich von den Tieren nicht erkannt werden. Auch hier böte unsere Methode einen ganz neuen Ansatz.

Ein weiteres altes Problem ist der Schutz von Weinbergen und Obstanlagen vor Vögeln. Netze können Vögeln und anderen Tieren schaden, und Böllerschüsse nerven Anwohner und arglose Spaziergänger. Lautloses UV-Licht geeigneter Wellenlänge, z. B. in Form von Blitzen, wäre zumindest einen Versuch wert.

Ein neues Ärgernis ist der Vogelschlag an Windkraftanlagen. Hier kollidieren die Vorteile regenerativer Energiegewinnung mit den Nachteilen des Vogelschutzes. Windparks an Land und zunehmend auch „offshore“ sind besonders gefährlich. Ornithologen sprechen schon von „Kranichhäckslern“. Entsprechend wächst der Widerstand gegen solche Anlagen, was zu Verzögerungen und Verhinderungen führt. Außerdem haben verschmutzte Rotoren gerade bei den ertragreichen hohen Windgeschwindigkeiten einen um 50% geringeren Wirkungsgrad. Auch hier wären UV-Muster auf den Flügeln oder aktive UV-Emittenten möglicherweise hilfreich.

Unter dem Vogelschlag an Flugzeugen, vor allem im Flughafenbereich, leiden nicht nur die Vögel, sondern auch die Sicherheit. Auch hier können wir uns vorstellen, daß man die ausgeprägte UV-Tüchtigkeit der Vögel nutzen kann, um das Problem zu mildern. Neben passiven UV-Absorbern ist auch bei Flugzeugen und Flughäfen an aktive UV-Abschreckungssysteme zu denken.

Erhebliches Interesse dürfte es auch am Export der neuen Technik in andere europäische Staaten und die USA geben. Das beweisen schon Publikationen zum Thema Vogelstod an Scheiben aus USA und die Aktivitäten der dortigen Vogelschutzorganisationen. Darüber hinaus ist Vogelschutz auch in vielen anderen Ländern ein wichtiges Thema und damit ein interessantes Geschäftsfeld.

Naturgemäß hängen realistische Schätzungen vor allem davon ab, wie effizient die neue Methode gegen den Vogelstod an Scheiben ist und wie hoch die Produktionskosten sein werden. Bei guter Wirksamkeit und Kosten im derzeit üblichen Bereich schätzen wir den Umsatz für die Nach-

rüstung transparenter und spiegelnder Scheiben im zweistelligen Euro Millionen-Bereich. Viel höher sollte der Umsatzschub für diejenigen Hersteller ausfallen, die mit dem neuen Vogelschutzglas in den Wettbewerb gehen und damit nicht nur auf den bisherigen Markt zielen, sondern auch auf neue Anwendungsgebiete. Auf jeden Fall wäre die neue Technik auch wirtschaftlich interessant.

Die vielen Millionen Vögel, die jährlich an Scheiben zu Tode kommen, sollten uns eine ernsthafte Untersuchung wert sein. Vielleicht finden wir mit dem Spinnennetzeffekt und über die besondere Sehphysiologie der Vögel einen weiteren Weg, Natur und Technik miteinander zu versöhnen.

10. Literatur

- ANDERSSON, S., J. ÖRNBORG & M. R. ANDERSSON (1998): Ultraviolet sexual dimorphism and assortative mating in blue tits. – *Soc. Lond.* **265**: 445 – 450.
- BENNETT, A. T., I. C. CUTHILL, J. C. PARTIDGE & E. J. MAIER (1996): Ultraviolet vision and mate choice in zebra finches. – *Nature* **380**: 433 – 435.
- BRENNICKE, A. (2000): Ultraviolettes Sehen bei Vögeln. – *BIUZ* **30** (5): 250, ref. n.
- YOKOHAMA, S., F. B. RADLWIMER & N. S. BLOW (2000): *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*: (97): 7366 – 7371.
- BUER, F. (1996): Rote Reflexfolie gegen den Vogelstod an Scheiben; *Gartenratgeber* **9**: 268 – 269.
- BURKHARDT, D. (1989): Die Welt mit anderen Augen. – *BIUZ* **19**: 37–46.
- BURKHARDT, D. & E. MAIER (1989): The spectral sensitivity of a passerine bird is highest in the UV. – *Naturwissenschaften* **76**: 82 – 83.
- BURKHARDT, D. (1992): Ultravioletsehen bei Vögeln. – *Naturwissenschaftliche Rundschau* **45** (7).
- BURKHARDT, F., H. KNÜTTEL, M. BECKER & K. FIEDLER (2000): Flavonoid wing pigments increase attractiveness of

- female common blue (*Polyommatus icarus*) butterflies to mate-searching males. – *Naturwissenschaften* 2000 (87): 304.
- DEUTSCHER BUND FÜR VOGELSCHUTZ, Landesverband Berlin (o.J.), Merkblatt zur Verhütung von Vogelverlusten an Glasflächen.
- EISNER, T. & S. NOWICKI (1983): Spider web protektion through visual advertisement: role of the stablementum. – *Science* 219: 185.
- FEYNMANN, R. P. (1992): QED – die seltsame Theorie des Lichts und der Materie. – Piper: 26 ff.
- FINGER, E. & D. BURKHARDT (1993): Biological Aspects of Bird Colouration and Avian Colour Vision Including Ultraviolet Range. – *Vision Res.* Vol. 34. 11: 1509 – 1514.
- FOELIX, R. F. (1992): *Biologie der Spinnen*. – 2. Auflg. Thieme: 135.
- GUILFORD, T. & P. T. HARVEY (1998): Ornithology: The purple patch. – *Nature* 392: 867 – 869.
- HARBORNE, J. B. (1995): *Ökologische Biochemie*. – Spektrum, Akademischer Verlag, Heidelberg: 59 – 62.
- HUNT, S., A. T. D. BENNETT, I. C. CUTHILL & R. GRIFFITHS (1998): Blue tits are ultraviolet tits. – *Proc. R. Soc.* 265: 451 – 455.
- HUTH, H.-H. & D. BURKHARDT (1972): Der spektrale Sehbereich der Violett-ohr-Kolibris. – *Naturwissenschaften* 59: 659.
- KLEM, D. JR. (1979): *Biology of collisions between birds and windows*. – Dissertation Abstr. int. (B) 40 (8) 1980: 3618 – 3619.
- KLEM, D. JR. (1989): *Collision between birds and windows: Mortality and prevention*. – *J. Field Ornithol.* 61 (1): 120 – 128.
- KREITHEN, M. L. & T. EISNER (1978): Ultraviolet light detection by the homing pigeon. – *Nature* 272: 347 – 348.
- LERCH, R. (2001): *Lehrstuhl für Sensorik, Uni Erlangen, pers. Mitteilung v. 3. 9. 2001*.
- OTTO, W. (1994): *Vogelverluste an verglasten/verspiegelten Fassaden*. – Studie im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin.
- SCHMIDT, K. H. & S. WOLFF (1985): Hat die Winterfütterung einen Einfluß auf Gewicht und Überlebensrate von Kohlmeisen (*Parus major*)? – *J. Ornithol.* 126: 175 – 180.
- SCHWEIZERISCHE VOGELWARTE SEMPACH & SCHWEIZER VOGELSCHUTZ SVS – BirdLife Schweiz (o.J.): *Tips zum Vogelschutz: „Vogelkiller“ Glas*.
- STATISTISCHES JAHRBUCH F. D. BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (1995): 248 – 249.
- STRASSBURGER, E. (1998): *Lehrbuch der Botanik*. – Spektrum, Akad. Verlag, Heidelberg: 99 u. 689.
- THOMPSON, W. R., J. MEINWALD, D. ANESHANSLEY & T. EISNER (1972): *Flavonols: Pigments Responsible for Ultraviolet Absorption in Nectar Guide of Flower*. – *Science* 177: 528 – 530.
- VITALA, J., E. KORPIMÄKI, P. PALOKANGAS & M. KOIVULA (1995): *Attraktion of kestrels to vole scent marks in ultraviolet light*. – *Nature* 373: 425 – 427.
- WICKELGREN, L. (1989): *Spider webs: luring light may be a trap*. – *Science News* 135: 330 und (1990): *UV-Reflexion von Spinnennetzen*. – *Ref. Nat. Rundschau* 45 (5): 220.
- WRIGHT, A. A. (1972): *J. Exp. Anal. Behav.* 17: 325.

Danksagung

Auf die Idee, das UV-Sehen der Vögel als Schutz vor Kollisionen an Scheiben zu nutzen, ist einer von uns (Buer) nur deshalb gekommen, weil wir die Ergebnisse, die andere in jahrelanger Grundlagenforschung auf ganz verschiedenen Gebieten erarbeitet haben, zusammenfügen konnten. Von diesen Forschungsergebnissen erfuhren wir meist aus Berichten von Wissenschafts-

journalisten. Deshalb bedanken wir uns bei den Grundlagenforschern und den Fachjournalisten. Besonders bedanken möchten wir uns auch bei Herrn Albert Harbodt, Staatliche Vogelschutzwarte für Hessen, Rheinland-Pfalz und Saarland in Frankfurt am Main, für seine Aufgeschlossenheit und fachliche Unterstützung.

Anschrift der Verfasser:
DR. FRIEDRICH BUER und MARTIN REGNER,
Georg-Vogel-Straße 6,
D-91413 Neustadt/Aisch
E-mail: Info@Dr-Friedrich-Buer.de