

Libellen und Photovoltaik: Minderung des Reflexionsgrads von Solarmodulen zur Vermeidung ökologischer Fallen und artenschutzrechtlicher Konflikte bei polarotaktischen Insekten

von Alexander Herrmann¹, Holger Hunger¹,
Franz-Josef Schiel¹, Klaus-Jürgen Conze²

¹ *Schutzgemeinschaft Libellen in Baden-Württemberg e.V. (SGL), www.SGLibellen.de, al.herrmann@web.de, holger.hunger@inula.de, franz-josef.schiel@inula.de*

² *Gesellschaft deutschsprachiger Odonatologen e.V. (GdO), www.libellula.org, kjc@loekplan.de*

Einleitung

Libellen orientieren sich fast ausschließlich optisch. Hierzu verfügen Sie über große Komplexaugen, bestehend aus bis zu 30.000 Einzelaugen (Abb. 1). Ihre Fähigkeit, durch die Wahrnehmung horizontal polarisierten Lichts – als Polarotaxis bezeichnet – Wasserflächen aufzufinden, hat dazu beigetragen, ihnen über Jahrmillionen das Überleben zu sichern. Heute jedoch wirken aufgrund dieser besonderen Fähigkeit von Menschen hergestellte, spiegelnde Oberflächen, die mit Wasserflächen verwechselt werden, als ökologische Fallen für Libellen. Aktuell und in den kommenden Jahren erfolgt ein rascher und umfangreicher Ausbau von Photovoltaik-Anlagen, die eine zentrale Rolle bei der Energiewende spielen sollen. Weil einmal errichtete Photovoltaik-Anlagen eine Lebensdauer von mehreren Jahrzehnten haben, ist es entscheidend, dass ihre negativen Wirkungen auf Libellen und andere polarotaktische Insekten ab sofort durch die bereits vorhandenen technischen Möglichkeiten minimiert werden.

Problemstellung: Das Land Baden-Württemberg hat sich vor dem Hintergrund des Klimawandels zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2030 die Treibhausgasemissionen des Landes um mindestens 65 % gegenüber dem Jahr 1990 zu reduzieren. Hierzu wurde das Klima-Maßnahmen-Register erstellt, in welchem Klimaschutz-Maßnahmen dezentral dokumentiert werden. Ein zentrales Instrument hierzu ist der Ausbau erneuerbarer Energien wie Photovoltaik (PV), für die ein starker Ausbau zu erwarten ist (HAEGEL et al. 2023). Hierzu hat die Landesregierung Baden-Württemberg am 26. Oktober 2021 die Errichtung einer Task Force zur Beschleunigung des Ausbaus der erneuerbaren Energien beschlossen. Auftrag und Ziel der Task Force ist es, Konzepte und Schritte zu erarbeiten und umzusetzen, die der Halbierung der derzeitigen Zeitdauer von der Planung über die Genehmigung bis zur Inbetriebnahme von Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien dienen. Eine dieser Maßnahmen kann, wie bereits vom Bundeswirtschaftsministerium vorgeschlagen, die Abwicklung der Genehmigungsverfahren in beschleunigten Verfahren sein, bei welchen unter anderem die Umweltverträglichkeitsprüfung auf eine Detailprüfung begrenzt wird. Vor diesem Hintergrund gibt es jedoch ungeklärte Fragen, welche eine Einschätzung der Umweltverträglichkeit vor dem Hintergrund des Ausbaus an Freiflächen-PV, Agri-PV oder schwimmenden PV-Anlagen erschweren. In beschleunigten Verfahren werden Eingriffe im Sinne des Artenschutzrechts auf europarechtlich streng geschützte Arten der Anhänge II bzw. IV der Natura 2000 Richtlinie begrenzt. Unter den einheimischen Libellen sind bundesweit zehn und in Baden-Württemberg acht Arten



Abb. 1: Kopfpartie der großen Königslibelle *Anax imperator*, Foto Holger Hunger

europarechtlich und weitere sechs Arten national streng geschützt. Alle übrigen einheimischen Libellenarten sind nach BNatSchG besonders geschützt. Im Zuge eines beschleunigten Verfahrens würden diese nur national streng und besonders geschützten Arten nicht berücksichtigt. Diese Betrachtung wird in Genehmigungsverfahren damit begründet, dass alle weiteren Arten im Rahmen der Eingriffsregelung abgehandelt werden sollten. Weil diese jedoch in beschleunigten Verfahren keine Anwendung findet, würden rund 90 % der einheimischen Libellenarten unberücksichtigt bleiben. Betrachtet man die Libellen als

Modell-Organismen für polarotaktische Arten mit Gewässerbindung, so ist die Beeinträchtigung weiterer Arten damit ebenfalls abgebildet.

PV-Anlagen bilden mit ihren reflektierenden Oberflächen Objekte in der freien Landschaft, die nachgewiesene Wirkungen auf das Verhalten von Insekten haben (HORVÁTH 1995). Dies ist darin begründet, dass Insekten durch Polarotaxis, also durch die Orientierung entlang polarisierter Lichtanteile, nach Wasser suchen (HORVÁTH et al. 2007). Dort finden Eiablageversuche statt, da die Tiere die Reflexion der Glasoberfläche der Module mit einer Wasseroberfläche

verwechseln (SCHWIND 1995, WILDERMUTH & HORVÁTH 2005, HORVÁTH & KRISKA 2008, KRISKA et al. 2009, HORVÁTH et al. 2020). Die Gelege sind auf einer sich stark erhitzenden Oberfläche außerhalb des Wassers nicht überlebensfähig und gehen damit vollständig verloren. Solche PV-Anlagen bilden somit ökologische Fallen für Arten, die einen mit Wasser assoziierten Eiablageprozess durchlaufen (ROBERTSON et al. 2013). Ähnliche Effekte wurden bereits für Reflexionen von Folien in der Landwirtschaft sowie für Fahrzeugoberflächen bei Libellen dokumentiert (WILDERMUTH 2007, WILDERMUTH & HORVÁTH 2012).

Problemlösung: Durch den Einsatz entspiegelter PV-Module lässt sich die Reflexion polarisierter Lichtanteile stark reduzieren. Zusätzlich lässt sich die Leistung der Module durch die Absorption der ansonsten reflektierten Strahlen erhöhen (LUO et al. 2019, FRITZ et al. 2020b). Untersuchungen zum Verhalten von Insekten an PV-Anlagen mit Entspiegelungsgraden unter 3 % sind bisher kaum durchgeführt worden. Obwohl heutzutage nahezu alle PV-Module frontseitig mit Anti-Reflexbeschichtung ausgerüstet sind, ist ein Reflexionsgrad unter 3 % bisher nicht Standard (Dr. R. Hünig, pers. Mitt.).

Um diesen Standard etablieren zu können, sollte der Einsatz von entspiegelten Modulen mit einem maximalen Reflexionsgrad von 3 % als Vermeidungs-/Minderungsmaßnahme in Verfahren zur Errichtung von PV-Anlagen gefordert werden.

Diese lässt sich auf Basis der annehmbaren anlagebedingten erheblichen Störwirkung im Sinne des § 44 Abs. 1

Nr. 2 i.V.m. Abs. 1 Nr. 1 BNatSchG für die Artgruppe Libellen festsetzen. Dies gilt in jedem Fall nicht nur für die wenigen streng geschützten, sondern auch für alle anderen – besonders geschützten – einheimischen Libellenarten, da zumutbare Alternativen in Form von Modulen mit Reflexionsgrad unter 3 % vorhanden sind und somit diese Lösung umsetzbar und für den Vorhabenträger zumutbar ist. Zudem ist auch das integrierte Beschichten der häufig genutzten, importierten Module als nachträgliche Maßnahme möglich (Fa. Phytonix, 2023). Die Wirksamkeit dieser bearbeiteten Module ist bereits für die polarotaktische Eintagsfliege *Ephemera danica* belegt (FRITZ et al. 2020a, c). Der Einsatz einer Beschichtung auf den in der Studie von FRITZ et al. (2020a, c) untersuchten Modulen führte zudem zu einer Steigerung von deren Wirkungsgrad. Da das Ziel der Solarzelle darin liegt, möglichst effizient Strom aus der Sonneneinstrahlung zu produzieren, wird eine möglichst hohe Lichtabsorption angestrebt. Die genannten Techniken mit Beschichtung der Panels mit Anti-Reflexionsbeschichtungen (bspw. sogenannten «moth eye surfaces») zeigen eine sehr effiziente Absorption und verringern die Reflexion auf ein Minimum (DEWAN et al. 2012, QARONY et al. 2018). Es ist belegt, dass mit solchen beschichteten Solarzellen auch die Polarisationsverschmutzung minimiert oder sogar verhindert wird (FRITZ et al. 2020a). Da eine solche Beschichtung die Stromerzeugung in den, bisher vielversprechenden, neuen Perowskit-Solarzellen um bis zu 15% und in den, momentan am meisten verwendeten, Silizium-Solarzellen bis zu 25% steigern kann, ist es nur eine Frage der industriellen Produktionsmöglichkeit und

der marktwirtschaftlichen Interessen, ob diese Technik bald schon eingesetzt werden kann (QARONY et al. 2018, FRITZ et al. 2020b, c). Höhere Wirkungsgrade bei PV-Anlagen können zudem – vergleichbar mit dem Repowering von Windkraftanlagen – dafür sorgen, dass eine geringere Flächeninanspruchnahme für die Erreichung der Klimaziele der Bundesregierung erforderlich ist, was wiederum der Zielvorgabe des Minimierungsgebots des BNatSchG entspricht.

Position der Schutzgemeinschaft Libellen in Baden-Württemberg e. V. (SGL) und der Gesellschaft deutschsprachiger Odonatologen e. V. (GdO): Der Einsatz von entspiegelten Photovoltaik-Modulen mit einem maximalen Reflexionsgrad von 3 % (aktueller Stand der Technik, der zukünftig ggf. weiter anzupassen ist) sollte ab sofort als Vermeidungs-/Minderungsmaßnahme in Verfahren zur Errichtung von Photovoltaik-Anlagen gefordert werden.

Diese Position wird von der Schutzgemeinschaft Libellen in Baden-Württemberg e. V. (SGL) vertreten und von der Gesellschaft deutschsprachiger Odonatologen e.V. (GdO) geteilt. Die beteiligten Personen streben an, ggf. zusammen mit weiteren Experten, zu dem Thema eine Veröffentlichung auf Bundesebene zu verfassen.

Literatur (zitierte und weiterführende)

BLAHÓ, M., Á. EGRI, A. BARTA, A., G. ANTONI, G. KRISKA & G. HORVÁTH, G. (2012): How can horseflies be captured by solar panels? A new concept of tabanid traps using light polarization and electricity

produced by photovoltaics. *Veterinary Parasitology* 189 (2–4): 353–365. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.04.016>.

Bundesnaturschutzgesetz vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 8. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2240) geändert worden ist.

DEWAN, R., J. I. OWEN, D. MADZHAROV, V. JOVANOVIĆ, J. HÜPKES & D. KNIPP (2012): Analyzing nanotextured transparent conductive oxides for efficient light trapping in silicon thin film solar cells. - *Applied Physics Letters* 101 (10).

FRITZ, B., G. HORVÁTH, R. HÜNIG, Á. PERESZLÉNYI, Á. EGRI, M. GUTTMANN, M. SCHNEIDER, U. LEMMER, G. KRISKA G. & G. GOMARD, G. (2020a): Multifunctional light-harvesting layers for solar panels with no polarised light pollution. *Journal of the Royal Society Interface*.

FRITZ, B., R. HÜNIG, M. GUTTMANN, M. SCHNEIDER, K. S. REZA, K. S., O. SALOMON, P. JACKSON, M. POWALLA, U. LEMMER & G. GOMARD (2020b): Upscaling the fabrication routine of bioreplicated rose petal light harvesting layers for photovoltaic modules. - *Solar Energy* 201: 666–673.

FRITZ, B., G. HORVÁTH, R. HÜNIG, Á. PERESZLÉNYI, Á. EGRI, M. GUTTMANN, M. SCHNEIDER, U. LEMMER, G. KRISKA, G. & G. GOMARD (2020c): Bioreplicated coatings for photovoltaic solar panels nearly eliminate light pollution that harms polarotactic insects. - *Plos one* 15 (12), e0243296.

GÜNTHER, A. (2003): Eiablage von *Sympetrum vulgatum* auf ein parkendes Auto (Odonata: Libellulidae). *Libellula* 22: 19–23.

HAEGEL, N. M., P. VERLINDEN, P., M. VICTORIA, P. ALTERMATT, H. ATWATER, T. BARNES, C. BREYER, C. CASE, S. DE WOLF, C. DELINE, M. DHARMIRIN, B. DIMMLER, M. GLOECKLER, J.

- C. GOLDSCHMIDT, B. HALLAM, S. HAUSSENER, B. HOLDER, U. JAEGER, A. JAEGER-WALDAU, I. KAIZUKA, H. KIKUSATO, B. KROPSKI, S. KURTZ, S., K. MATSUBARA, K., S. NOWAK, K. OGIMOTO, C. PETER, I. M. PETERS, S. PHILIPPS, M. POWALLA, U. RAU, U., T. REINDL, M. ROUMPANI, K. SAKURAI, K., C. SCHORN, P. SCHOSSIG, R. SCHLATMANN, R. SINTON, A. SLAOU, B. L. SMITH, P. SCHNEIDEWIND, P., B. STANBERY, B.; M. TOPIC, W. TUMAS, W., J. VASI, J., M. VETTER, E. WEBER, A. W. WEEBER, A. WEIDLICH, A., D. WEISS, A. W. BETT (2023): Photovoltaics at Multi-Terawatt Scale: Waiting Is Not an Option. *Science* 2023, 380 (6640), 39-42, DOI: 10.1126/science.adf6957.
- HORVÁTH, G., M. BLAHÓ, A. EGRI, G. KRISKA, I. SERES, B. ROBERTSON (2010): Reducing the maladaptive attractiveness of solar panels to polarotactic insects. - *Conservation Biology* 2010 Dec. 24(6): 1644-1653. doi: 10.1111/j.1523-1739.2010.01518.x. PMID: 20455911.
- HORVÁTH, G. & G. KRISKA (2008): Polarization vision in aquatic insects and ecological traps for polarotactic insects. - In: *Aquatic Insects: Challenges to Populations*. (J. Lancaster, R. A. Briers, eds.) CAB international publishing, Wallingford, Oxon, UK, Chapter 11: 204-22.
- HORVÁTH, G., Á. PERESZLÉNYI, Á. EGRI, B. FRITZ, M. GUTTMANN, U. LEMMER, G. GOMARD & G. KRISKA (2020): Horsefly reactions to black surfaces: attractiveness to male and female tabanids versus surface tilt angle and temperature. *Parasitology research* 119: 2399-2409.
- ILGEN, K., D. SCHINDLER, S. WIELAND & J. LANGE, J. (2023): The impact of floating photovoltaic power plants on lake water temperature and stratification. - *Scientific Reports* 13(1): 7932.
- KRISKA, G., B. BERNÁTH, R. FARKAS, G. HORVÁTH (2009): Degrees of polarization of reflected light eliciting polarotaxis in dragonflies (Odonata), mayflies (Ephemeroptera) and tabanid flies (Tabanidae).- *Journal of Insect Physiology* 2009 Dec. 55(12): 1167-1173. doi: 10.1016/j.jinsphys.2009.08.013. Epub 2009 Sep 10. PMID: 19699746.
- KRISKA, G., G. HORVÁTH, S. ANDRIKOVICS, S. (1998): Why do mayflies lay their eggs en masse on dry asphalt roads? Water-imitating polarized light reflected from asphalt attracts Ephemeroptera. - *Journal of Experimental Biology* 1998 Aug. 201: 2273-2286. doi: 10.1242/jeb.201.15.2273. PMID: 9662498.
- LUO, X., L. LU, M. YIN, X. FANG, X. CHEN, D. LI, ... & J. MA, J. (2019): Antireflective and self-cleaning glass with robust moth-eye surface nanostructures for photovoltaic utilization. - *Materials Research Bulletin* 109: 183-189.
- QARONY, W., M. I. HOSSAIN, R. DEWAN, , S. FISCHER, V. B. MEYER-ROCHOW, A. SALLEO, D. KNIPP & Y. H. TSANG (2018): Approaching perfect light incoupling in perovskite and silicon thin film solar cells by moth eye surface textures. *Advanced Theory and Simulations* 1(8), 180030. DOI: 10.1002/adts.201800030.
- ROBERTSON, B. A., J. S. REHAGE & A. SIH (2013): Ecological novelty and the emergence of evolutionary traps. *Trends in Ecology & Evolution* 28(9): 552-560. https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.04.004.
- ROSSEL, S. (1989): Polarization Sensitivity in Compound Eyes. In D. G. Stavenga & R. C. Hardie (Hrsg.), *Facets of Vision*: 298-316. https://doi.org/10.1007/978-3-642-74082-4_15.
- SCHWIND, R. (1995): Spectral regions in which aquatic insects see reflected polarized light. *Journal of Comparative Physiology A*, 177(4). https://doi.

org/10.1007/BF00187480.

- WILDERMUTH, H. (2007): Polarotaktische Reaktionen von *Coenagrion puella* und *Libellula quadrimaculata* auf Erdbeerkulturen als ökologische Falle (Odonata: Coenagrionidae, Libellulidae) - *Libellula* 26: 143 - 150.
- WILDERMUTH, H. & G. HORVÁTH (2012): Visual deception of a male *Libellula depressa* by the shiny surface of a parked car (Odonata: Libellulidae). - *International Journal of Odonatology* 8. 10.1080/13887890.2005.9748246.