

Zur Anziehung nachtaktiver Insekten durch Straßenlaternen – eine Studie kommunaler Beleuchtungseinrichtungen in der Agrarlandschaft Rhein Hessens

Attraction of nocturnal insects to street lights – a study of municipal lighting systems in a rural area of Rheinhessen (Germany)

Gerhard Eisenbeis & Frank Hassel

1 Einleitung und Projekt

Flugaktive Insekten sind ein wichtiger Bestandteil unserer einheimischen Fauna. Der Flug führt sie zu ihren Nahrungsquellen, und häufig dient er dem Zusammentreffen der Geschlechter. Besondere Erscheinungen sind dabei die Schwarmbildungen, an denen sich Vertreter der verschiedensten Insektenordnungen beteiligen, etwa die Eintagsfliegen (*Ephemeroptera*) und die Zweiflügler (*Diptera*).

Eine wichtige Rolle für die Orientierung der Insekten und somit auch für den Flug spielt das Licht, daneben sind auch Duftstoffe von großer Bedeutung. Tagaktive Insekten wie Bienen benutzen Licht als Weiser zum Aufsuchen von Futterpflanzen, nachtaktive Insekten orientieren sich gleichfalls am Licht, etwa dem der Gestirne, und häufig bestimmt das Licht wichtige Schritte ihres Entwicklungszyklus. Versuche zur Lichtwirkung auf Insekten zeigen, dass unterschiedliche Lichtanteile für ihre Attraktion von Bedeutung sind (Zusammenfassungen in SCHANOWSKI & SPÄTH 1994 und STECK 1997). Hauptsächlich sind es die ultraviolette Strahlung (UV) und die kurzwelligen Anteile des sichtbaren Lichts (violett, blau bis grün), während das langwellige rote und gelbe Licht weniger wirksam ist.

Auch das künstliche Licht in der Umwelt wirkt in vielfältiger Weise auf Insekten. Betroffen sind vor allem die nachtaktiven Insekten, die sich meist zielgerichtet zu den Lichtquellen hin orientieren (SCHANOWSKI & SPÄTH 1994, STECK 1997). Hierbei kann es zu verschiedenen Flugmanövern kommen, die vom geradlinigen bis zum spiralförmigen Anflug variieren und häufig in einen endlosen Taumelflug um die Lichtzentren enden. In energetischer Hinsicht führt dieses Verhalten zu einer Verschwendung von Energie, da jede Flugleistung mit einer erheblichen Muskelarbeit verbunden ist. Hinzu kommt, dass das normale Fortpflan-

zungsverhalten in Gefahr gerät und in der Summe ein Verlust an Ressourcen und Nachkommen für die Population eintritt. Beobachtungen im Lichtkegel von Lampen haben gezeigt, dass der Taumelflug häufig mit dem Tod der Insekten endet (SCHANOWSKI & SPÄTH 1994). Von einigen Autoren stammen auch Hinweise auf die Verarmung von Insektenpopulationen (DANIEL 1950, WORTH & MULLER 1979, LODL 1984 zit. in: BAUER 1993, HAUSMANN 1992), allerdings fehlen bis dato umfassende langjährige quantitative Untersuchungen, wie hoch die tatsächlichen Verluste für die jeweiligen Insektenpopulationen einzuschätzen sind. KIFFNEY et al. (1997) berichten von einem erhöhten Driftverhalten bei Fließgewässerinvertebraten durch UV-Strahlung, vor allem bei der Eintagsfliege *Baetis*.

Besonders wegen der in Deutschland starken Ausbreitung von Siedlungsgebieten (jährlich etwa um die Fläche des Bundeslandes Bremen, UBA-Report 1989) nimmt die Zahl der künstlichen Lichtquellen ständig zu. Das Gefährdungspotenzial für die Insektenfauna vergrößert sich entsprechend. SCHANOWSKI & SPÄTH (1994) sprechen von der „Lichtverschmutzung“, womit auch die allgemeine Beeinflussung der Fauna (Vögel, Insekten etc.) durch Licht gemeint ist, mit langfristigen, heute noch nicht voll abzuschätzenden Auswirkungen auf die Ökosysteme. AIT & SCHULTZ (1995) und AIT (1997) beschreiben Wirkungen von Lichtemissionen auf die Gesangsaktivität von Vögeln und berichten über die Irritationen durchziehender Vögel durch eine beleuchtete Großgewächshausanlage. SCHMIDT (1989) vergleicht Straßenlaternen mit gigantischen Lichtfallen für Insekten. Allerdings können bestimmte Tiergruppen wie Fledermäuse auch von Licht profitieren, indem sie entlang von Lichtketten verstärkt ihre Nahrungsflüge durchführen (BLAKE et al. 1994, RYDELL & BAAGOE 1996).

Mittlerweile haben auch die Lampen- und Leuchtenhersteller erkannt, dass

Licht bei falscher Anwendung zur Gefahr für die Natur wird. Das Ergebnis sind Anstrengungen vielfältiger Art zur Verbesserung von Beleuchtungseinrichtungen im Sinne einer Minderung der Lichtfangwirkung auf Tiere, wie sie in verschiedenen Arbeiten (z. B. MINISTERIUM FÜR UMWELT BADEN-WÜRTTEMBERG 1990, BAUER 1993, SCHANOWSKI & SPÄTH 1994, KRAUSE-MOHR et al. 1995, MIEHT & KOLLIGS 1996, STECK 1997) vorgeschlagen bzw. gefordert werden. Hierzu gehören u. a.:

- Wahl spezieller Lampen mit geringem niederwelligen Strahlungsanteil,
- Konstruktion von Leuchten mit Richtcharakteristik durch entsprechende Abschirmung (Vermeidung von Kugelleuchten),
- Verwendung UV-absorbierender Leuchtenabdeckungen (Plexiglas versus transmittierende Silikatgläser, UV-Sperrfolien),
- Bau vollständig gekapselter Beleuchtungskörper gegen das Eindringen von Tieren,
- Berücksichtigung sinnvoller Masthöhen,
- Leistungsdrosselung und Zeitschaltungen.

Bisher liegen einige Studien zur Lichtfangwirkung öffentlicher Beleuchtungskörper vor (ESCHE et al. 1989, FRELUND & PAUSCHERT 1992, SCHMIEDEL 1992, BAUER 1993, MIEHT & KOLLIGS 1996). Darin zeichnet sich ab, dass Lampen mit geringem UV-Anteil signifikant weniger Insekten anlocken und dem Bau und der Exposition der Leuchtkörper große Bedeutung zukommt. Bei dem hier vorgestellten Projekt handelt es sich um eine über mehrere Monate angesetzte Feldstudie in Rheinhessen. Hierzu wurden drei Standorte ausgewählt, die sich landschaftsökologisch unterscheiden:

- ein *örtliches Wohngebiet* („An den Hecken“ in Sulzheim),
- freie *ortsnahe Agrarlandschaft* entlang der Kreisstraße 21 zwischen Wörrstadt und Sulzheim und

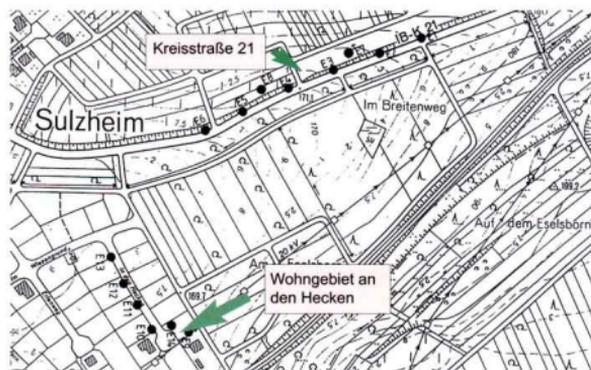


Abb. 1: Position der Leuchten an den Standorten Sulzheim Wohngebiet und Kreisstraße 21 bei Sulzheim

Fig. 1: Position of street lights in the Sulzheim residential district and along the nearby local road

- ein Ackerrandstreifen mit Heckenbegrenzung in der Nähe eines landwirtschaftlichen Betriebes (Eichenhof bei Wörstadt-Rommersheim, Landwirte Kussel).

Häufig wird die Agrarlandschaft in Rheinhesen als ökologische Wüste bezeichnet, da es in den großen Feldfluren nur noch wenig Saumbiotop mit Gehölzen etc. gibt. Hingegen sind in der Umgebung der gewählten Standorte noch zahlreiche ökologisch bedeutsame Kleinstrukturen zu finden, wovon die Vielfalt der Insektenfauna profitieren dürfte. Vorgabe für die Planung war, den Versuch möglichst praxisnah durchzuführen, weshalb alle Beleuchtungseinrich-

tungen vom Elektrizitätswerk Rheinhesen AG (EWR) in Wörstadt betreut wurden. Hauptziel war der Vergleich von Quecksilberdampfhochdrucklampen (internat. Bezeichnung HME) und Natriumdampfhochdrucklampen (internat. Bezeichnung HSE) sowie die Durchführung von Sonderversuchen mit Natrium-Xenondampfhochdrucklampen (internat. Bezeichnung HSXT) und zur Wirkung einer UV-Sperrfolie auf dem Leuchtentlaskörper. Daneben sollten Phänomene der Lichtkonkurrenz durch sukzessiven Parallel- und Wechselbetrieb der Lampen untersucht werden. Ferner bestand die Möglichkeit, die Daten im Hinblick auf Klimaeinflüsse und Abhängigkeiten zu den Mondphasen zu testen.



Abb. 2: Position der Leuchten am „Eichenhof“ bei Wörstadt-Rommersheim; Eklektor 18 und 19 vor der Hecke im Innenbereich zum Hof, Eklektor 15 bis 17 hinter der Hecke im Außenbereich zum Acker hin

Fig. 2: Position of street lights in the Eichenhof area near Wörstadt-Rommersheim

2 Material und Methoden

2.1 Untersuchungsstandorte

Die drei Untersuchungsstandorte liegen in der Rheinhesischen Agrarlandschaft in der Nähe von Wörstadt (Abb. 1, 2).

Standort 1: Ein dörfliches Siedlungsgebiet (Wohngebiet „An den Hecken“ in Sulzheim). Es ist geprägt durch eine aufgelockerte Bebauung mit umgebender Gartenlandschaft. Ein Teil des Geländes ist noch unbebaut, so dass sich blütenreiche Glattgraswiesen und Ruderalflächen einstellen konnten. Abb. 1 zeigt die Lageskizze der Leuchten. Es wurden zunächst drei Leuchten mit je einer HME-80W-Lampe, zwei Leuchten mit einer HSE-50W-Lampe und eine Kontrollleuchte ohne Lampe (Masthöhe 6 m) eingesetzt. Ab August wurden von den HME-Lampen je eine mit einer HSXT-Lampe und mit UV-Sperrfolie umgesetzt. Östlich grenzt der Siedlungsbereich an Agrarland mit intensiver Bewirtschaftung (Grünland mit Pferdeweidern, Äcker) an, im Norden befinden sich Feldgehölze. In der Nähe der Leuchten befindet sich ein Gartenteich.

Standort 2: Ortsnahe Agrarlandschaft entlang der Kreisstraße 21 bei Sulzheim (zwischen Wörstadt und Sulzheim, Abb. 1). Die Straße verläuft entlang einer Talmulde und grenzt an freies Feldgelände. Zwischen Straßenrand und den Feldern liegt eine Böschung mit aufgelockertem Heckenbewuchs (Abb. 3). In der Nähe des Standorts befindet sich ein periodisch fließendes Gewässer (Graben) mit einem Schilf- und Gehölzgürtel (verschiedene Weiden und eine Schwarzpappelreihe). Die Umgebung ist reich strukturiert mit Acker- und Weinanbauflächen, Feldgehölzen, Streubewiesen und Pferdeweidern. Die Beleuchtungseinrichtung bestand aus drei Leuchtmasten mit je einer HSE-70W-Lampe, drei Leuchtmasten mit je zwei HME-80W-Lampen sowie zwei Kontrollleuchten ohne Lampen. Durch die Höhe der Masten (9 m) und geländebedingt ergab sich eine windexponierte Lage für die Eklektoren. Abb. 1 zeigt die Lageskizze der Leuchten.

Standort 3: Umgebung eines landwirtschaftlichen Betriebes (Eichenhof bei Wörstadt-Rommersheim, Landwirte Kussel) mit Garten-, Obstanlagen und Gebäuden und angrenzendem Ackergelände mit Hecken als Saumbiotopen. Die Leuchtmasten mit einer Lichtpunkthöhe von 4,3 m wurden von EWR nur für diesen Versuch vor einer hohen Hecke in Hofnähe aufgestellt. An diese grenzt ein Versuchsgelände der Stiftung Ökologie & Landbau mit einem Wildkräuterversuch an. Im Vergleich zu Standort 2 ist die Lage der Leuchten als windgeschützt zu

bezeichnen. Je zwei Leuchten waren mit einer HSE-50W- oder einer HME-80W-Lampe ausgerüstet. Der fünfte Leuchtmast wurde als Kontrolle ohne Lampenbestückung installiert. Er wurde in der zweiten Versuchsperiode mit einer HSXT-Lampe bestückt. Abb. 2 zeigt die Lageskizze der Leuchten.

2.2 Lampentypen und UV-Sperrfolie

Unter Lampe wird hier der eigentliche lichterzeugende Körper (Leuchtkörper) verstanden, während die Leuchte aus dem Lampengehäuse mit der Lampe und dem Leuchenträger (Mast) besteht. Es wurden drei unterschiedliche Lampentypen eingesetzt; zusätzlich wurde eine UV-Sperrfolie zum Überkleben eines konventionellen Leuchtkörpers verwendet.

HME-Lampe – Quecksilberdampfhochdrucklampe in Ellipsoidform
Die Quecksilberdampfhochdrucklampe der Firma Philips besitzt eine Leistung von 80 Watt. Sie emittiert neben dem sichtbaren Licht auch Strahlung im UV-Bereich (Abb. 17A).

HSE-Lampe – Natriumdampfhochdrucklampe in Ellipsoidform
Die Natriumdampfhochdrucklampe der Firma Philips besitzt nur einen minimalen UV-Anteil und strahlt gelbes Licht mit zwei Maxima bei ca. 560 und 600 nm aus. Die Leistung beträgt 70 oder 50 Watt (Abb. 17b).

HSXT – Natrium-Xenondampfhochdrucklampe in Tubusform
Der dritte Lampentyp war eine Natrium-Xenondampfhochdrucklampe, Typ DSX 2 T80, der Firma Osram mit 80 Watt Leistung. Sie wurde an zwei Standorten eingesetzt. Gemäß Datenblatt emittiert die Lampe im UV-Bereich nur schwach.

UV-Sperrfolie
Die 100 µm dicke UV-Sperrfolie wurde für einen Sonderversuch auf die Verglasung einer Quecksilberdampfleuchte geklebt. Ihre starke Absorption im für den Menschen sichtbaren Bereich reduzierte allerdings den Wirkungsgrad von 75,9 auf 55,4 %, so dass ihre Anwendung in dieser Form nicht der DIN 5044 für Straßenbeleuchtungen entspricht (Fa. Schuch, Worms).

2.3 Leuchtentypen

Bei den vier unterschiedlichen Leuchtentypen handelte es sich um Standardleuchten mit verschiedenen Lichtpunkthöhen.

Am Standort Kreisstraße 21 zwischen Würzstadt und Sulzheim wurde der



Abb. 3: Leuchtmasten entlang der Kreisstraße bei Sulzheim, bestückt mit Netzektoren. Der Mast in der Bildmitte diente ohne Lampe als Kontrolle.

Fig. 3: Street lights along the roadside near Sulzheim. The electors are made with a net-like fabric.

Leuchtentyp 1 mit Lichtpunkthöhe 9 m (Abb. 3) eingesetzt. Der Regelabstand zwischen den einzelnen Leuchten betrug ca. 50 Meter.

Der Leuchtentyp 2 war die Standardaufsatzleuchte mit einer Lichtpunkthöhe von 6 m (Abb. 4). Sie ist im Wohngebiet „An den Hecken“ in Sulzheim installiert. Der Regelabstand zwischen den einzelnen Leuchten betrug ca. 40 Meter. Die Bestückung erfolgte mit HME-Lampen (80 Watt), HSE-Lampen (50 Watt) und als Kontrolle ohne Lampe oder mit einer HSXT-Lampe.

Der Leuchtentyp 3 und 4 war an einem Ackerrandstreifen mit Heckenbegrenzung in der Nähe des Aussiedlerhofes „Eichenhof“ (Landwirte Kussel) bei Würzstadt-Rommersheim eingesetzt. Es handelt sich hierbei um eine Aufsatzleuchte des Typs Rondo und um eine Rundhaube (Abb. 5) mit einer Lichtpunkthöhe von 4,3 m. Der Abstand der Leuchten betrug ca. 40 m. Die Bestückung erfolgte mit HME-Lampen (80 Watt), HSE-Lampen (50 Watt) und wechselweise als Kontrolle ohne Lampe bzw. mit einer HSXT-Lampe.



Abb. 4: Einsatz der „Crew“ vom BUND im Ortsgebiet Sulzheim. Unter der Kastenleuchte hängt ein Plastiksektor mit 4 Fangsektoren. Das 10 l Fanggefäß ist von unten angeköpelt.

Fig. 4: The BUND crew in action in the Sulzheim residential district. The plastic elector is fitted under a standard street light.



Abb. 5: Versuchsgelände am Eichenhof mit Hecke, Wildkräutergelände und einer Leuchte vom Typ „Rondo“

Fig. 5: Eichenhof study area with hedge-row, wild flower area and a street light of the „Rondo“ type



Abb. 5a: Helmleuchte vom Typ „Rondo“ mit Plastiksektor.

Fig. 5a: Street light of the 'Rondo' type equipped with a plastic ector

2.4 Luftsektoren: Aufbau und Betrieb

Von Mai bis September wurden an 60 Fangtagen über 600 Proben aus Luftsektoren der Firma Behre/Bonn gesammelt. Alle Ektoren waren prinzipiell von gleichem Bau, doch musste für die Untersuchung auf zwei Bauvarianten zurückgegriffen werden. Bei der Variante 1 ist der Fangraum durch zwei senkrecht aufeinander stehende Netzprallwände aus schwarzer Gaze unterteilt (Leinenektor; Abb. 3). Bei der Variante 2 sind die Netzprallwände durch Prallwände aus Plexiglas ersetzt (Abb. 4, 5) und alle Gehäuseteile einschließlich Fangtrichter bestehen aus Plastik (Plastikektor). Für beide Varianten ergibt sich eine Unterteilung des Fangraumes in 4 Quadranten. Beim Leinenektor schließt sich an den Fangraum ein oberer (dorsaler) und ein unterer (ventraler) Fangtrichter an. Beim Plastikektor gibt es nur einen unteren (ventralen) Fangtrichter, an den ein 10 l PE-Fanggefäß ange-

schraubt wird (Abb. 4, 5). Für die Beprobung der Standorte und für die Durchführung von Paarvergleichen wurde jeweils ein Ektortyp verwendet. Die Netzsektoren wurden an der Kreisstraße bei Sulzheim installiert, die Plastiksektoren im Wohngebiet Sulzheim und auf dem Gelände des Eichenhofs bei Würstadt-Rommersheim. Die Abtötung der Insekten erfolgte durch Betäubung mit Chloroform. Bei Entleerung der Fallen wurde das als „Trockenfang“ erhaltene Tiermaterial in Beutel überführt und bis zur Zählung und Bestimmung tiefgefroren.

2.5 Auswertung

Von den Mitarbeitern des BUND wurden die Fangprotokolle erstellt und in eine Tabellenkalkulation übertragen. Daraus ergibt sich, dass die Lampen an den meisten Fangtagen im Parallelbetrieb eingesetzt waren (z. B. HSE gegen HME), nur am Standort Eichenhof kam es an ausgewählten Tagen zum Wechselbetrieb. Die Basis für die Auswertung ist die pro Fangtag und Ektor gefangene Insektenmenge.

Die eigentliche Auswertung der Fänge fand im Labor statt. Nach dem Auftauen der tiefgefrorenen Proben wurden die Insekten nach Ordnungen gezählt und nach Fangtagen und Ektoren geordnet in eine Tabelle übertragen. Die Nachtfalter (Lepidoptera) wurden darüber hinaus nach Möglichkeit bis zur Art bestimmt. Die statistische Aufbereitung der Daten erfolgte mit dem Programm Statistica der Firma Statsoft. Als Tests wurden für die nicht normalverteilten Daten der U-Test nach Mann-Whitney bzw. nach logarithmischer Datentransformation die Varianzanalyse (ANOVA) verwendet.

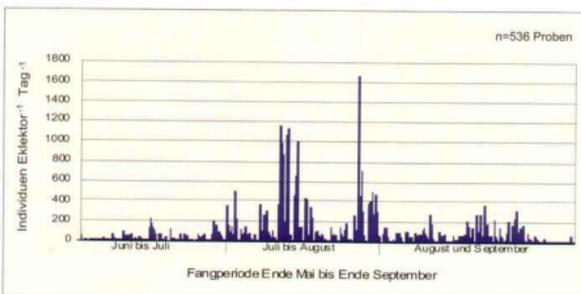


Abb. 6: Abfolge der Ektorfänge über den gesamten Versuchszeitraum

Fig. 6: Phenology of insect catches throughout the summer of 1997 (individuals per ector and day)

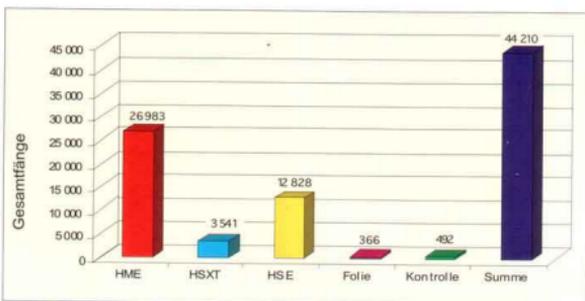


Abb. 7: Anteile der Lampentypen an den Gesamtfängen über den gesamten Versuchszeitraum

Fig. 7: Distribution of total insect catches across the different lamp types, the UV foil and the control

3. Ergebnisse

3.1 Vergleichende Darstellung der Fangergebnisse

Abb. 6 zeigt den chronologischen Verlauf der Fänge über den Zeitraum Ende Mai bis Ende September 1997. Dabei wird deutlich, dass im Juni und September eine vergleichsweise geringe Fangaktivität herrschte und die Fangspitzen auf den Zeitraum Juli bis Anfang August entfallen. Die höchste Fangrate wurde am 3.8.1999 unter einer HME-Lampe (Ektor E 17) mit 1 663 Insekten auf dem Eichenhof erzielt. Insgesamt ergaben sich 6 Fänge mit rund Tausend oder mehr Insekten pro Ektor und Fangnacht, der Rest liegt meist unter 500, weshalb die Fangdaten nicht normalverteilt sind. Erst durch eine Transformation der Rohdaten

in den natürlichen Logarithmus resultiert Normalverteilung, wodurch sich die statistischen Möglichkeiten verbessern.

Abb. 7 zeigt die Verteilung der Fangmengen auf die Lampentypen unabhängig von der Zahl der Fangtage. Danach entfällt die größte Menge an Insekten auf die HME-Fänge, gefolgt von HSE und HSXT, während sehr geringe Anteile auf die Versuche mit UV-Sperffolie und die Kontrollfänge ohne Licht entfallen. Diese Reihenfolge ändert sich, wenn die tatsächliche Zahl der Fangtage berücksichtigt wird (Abb. 8). Für die Lampen ergibt sich nun die Reihenfolge HME, HSXT und HSE. Abb. 9 vergleicht die Lage der Mediane, der Perzentilbereiche sowie die Häufung von Ausreißer- und Extremwerten. Aus Darstellungsgründen wurden hierbei 2 % der Extremwerte gestutzt, so dass alle Werte um und über 1 000 unberücksichtigt bleiben. Es wird sichtbar, dass sich einerseits die Fangaktivität der Lampen deutlich von der Aktivität unter Folie und ohne Licht (Kontrolle) unterscheidet, andererseits aber durch HME und HSXT mehr Insekten als von HSE angelockt werden. Die vergleichsweise niedrigen Medianwerte rühren daher, dass in der Grafik auch die Fangergebnisse der kühlen Nächte enthalten sind.

Der Unterschied zwischen HME und HSE erweist sich nach dem Mann-Whitney U-Test als hochsignifikant ($P < 0,0000$), nicht jedoch zwischen HME und HSXT. Ebenfalls hohe Signifikanz ($P = 0,000018$) ergibt sich für die höhere Anlockwirkung von HSXT gegenüber HSE. Hierbei wurde darauf geachtet, dass die Daten aus dem gleichen Zeitkollektiv stammten, da mit der HSXT-Beprobung erst Anfang August begonnen wurde. Die Varianzanalyse (ANOVA) mit Tests nach Scheffé, Tukey's HSD-Test und LSD liefert meist hochsignifikante Unterschiede zwischen den Lampentypen außer zwischen HME und HSXT. Tab. 1 zeigt die Ergebnisse der ANOVA mit den Haupteffekten für Standort und Lampe sowie eine hochsignifikante Interaktion zwischen beiden. Dies bedeutet, dass sich der Lampentyp an den Standorten unterschiedlich auswirkt. Ursache hierfür ist, dass am Standort Kreisstraße z. B. auch die HSE-Lampen stark angefliegen wurden, vor allem durch die Diptera.

3.2 Die Zusammensetzung der Fauna an den Standorten

Im Folgenden wird die Zusammensetzung der Insektenfänge insgesamt und an den drei Standorten miteinander verglichen (Abb. 10 und 11). Demnach entfällt der weitaus größte Teil auf die Diptera (Zweiflügler), Coleoptera (Käfer),

Tabelle 1: Ergebnis der Varianzanalyse (ANOVA) mit den Faktoren Standort und Lampe

Table 1: Results of analysis of variance (ANOVA) with factors 'site' and 'lamp'

Effekt	1-Standort		2-Lampe		F	P-Wert
	FG	MQ	FG	MQ		
	Effekt	Effekt	Fehler	Fehler		
1	2	17,50	470	1,253	13,97	0,000 001
2	2	197,23	470	1,253	157,40	0,000 000
12	4	5,59	470	1,253	4,46	0,001 508

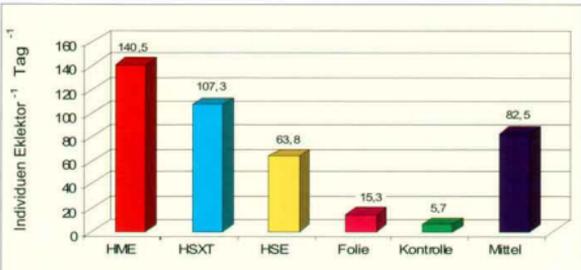


Abb. 8: Mittlere Fangzahlen (arithmet. Mittel) der Lampentypen über den gesamten Versuchszeitraum

Fig. 8: Average catches of insects (arithmetic means) for the different lamp types, the UV foil and the control (individuals per elector and day)

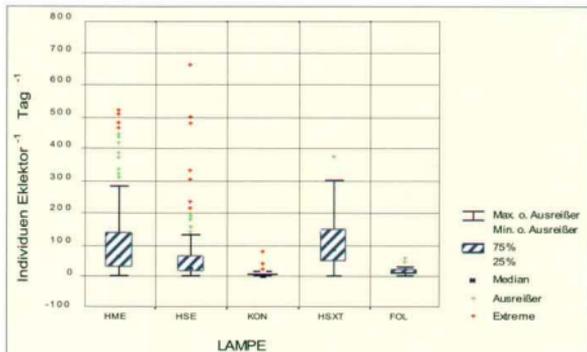


Abb. 9: Deskriptive Statistik der Fangaktivität nach Lampentypen mit allen Fangdaten (kühle und warme Abende). Aus grafischen Gründen wurden 2 % der Extremwerte gestutzt.

Fig. 9: Descriptive statistics of insect activity for the different lamp types, the UV foil and the control (individuals per elector and day). For reasons of presentation, 2 % of the extreme values are neglected.

Lepidoptera (Kleinschmetterlinge und Nachtfalter), Heteroptera (Wanzen) und Aphidina (Blattläuse), der Rest verteilt sich auf eine Reihe kleinerer Ordnungen. Intermediäre Anteile entfallen auf die Hymenoptera (Hautflügler; vorw. Ameisen), Neuroptera (Netzflügler), die Cicadina (Zikaden) und Trichoptera (Köcher-

fliegen). Gruppen unter 1 % werden als selten bezeichnet, wozu die Ephemeroptera (Eintagsfliegen), Dermaptera (Ohrwürmer) und Thysanoptera (Fransenflügler) gehören. Auch einige anemochor verbreitete Spinnentiere (Milben und Spinnen) wurden aus den Elektoren selektiert. Von den aquatischen Insekten

nehmen die Trichoptera mit rund 2 000 Tieren einen angemessenen Anteil ein. Insgesamt wurden 12 Insektenordnungen ermittelt (Abb. 10), jedoch ändern sich die Dominanzverhältnisse an den Standorten z. T. beträchtlich (Abb. 11). Am Standort Kreisstraße mit den relativ frei exponierten Leuchten sind die Diptera mit rund 68 % eudominant, während die Käfer mit nur 7,4 % eine untergeordnete Rolle spielen. Diese wiederum sind in der Ortslage Sulzheim und auf dem Eichenhof mit mehr als 30 % dominierend. Beim Spitzenfang von 1 663 Insekten auf dem Eichenhof entfielen rund 1 500 auf die Käfer. Unterschiede zwischen den Standorten ergeben sich auch hinsichtlich der Anteile aquatischer Insekten. Durch die Grabennähe in Sulz-

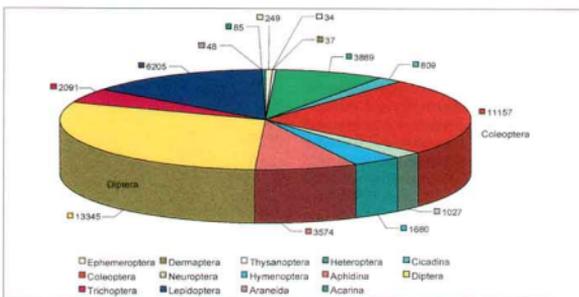


Abb. 10: Verteilung des Gesamtfanges auf die Insektenordnungen

Fig. 10: Distribution of total catches among insect orders

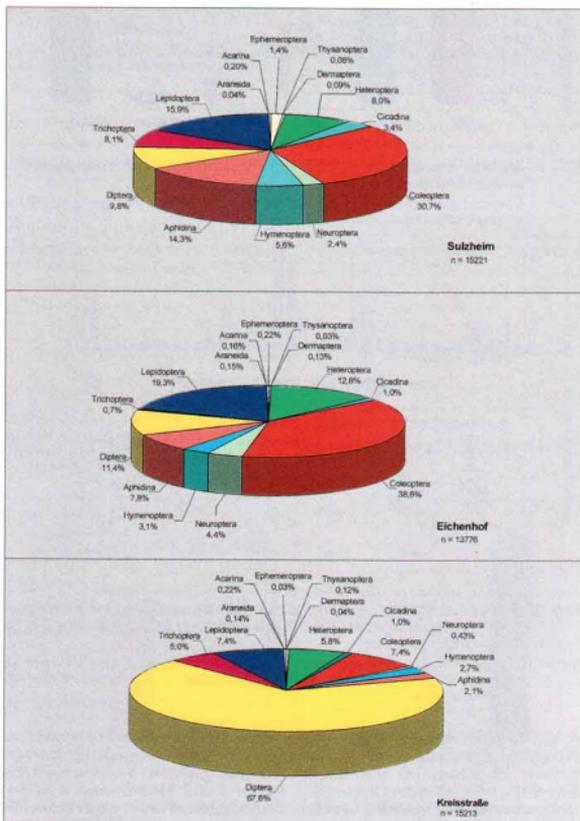


Abb. 11: Verteilung der Insektenordnungen auf die Standorte

Fig. 11: Distribution of total catches among insect orders and sites

heim und an der Kreisstraße beträgt der Anteil der Trichoptera 8,1 bzw. 5,0 %, während sie auf dem gewässerfernen Eichenhof nur 0,7 % beanspruchen. Betrachtet man die Fangzahlen für diese Ordnung genauer, so wird deutlich, dass die Trichoptera nur während zweier kurzer Perioden im Sommer schwärmen und in der restlichen Zeit kaum in den Fallen auftreten.

3.3 Die Lepidoptera – Kleinschmetterlinge und Nachtfalter

Mit 6 205 Individuen stellen die Schmetterlinge (vorwiegend Klein- und Nachtschmetterlinge) rund 14 % der ausgewerteten Insekten. Dabei entfielen 102 Arten auf 7 Familien der Nachtfalter und 8 Arten auf die Kleinschmetterlinge (Microlepidoptera), wovon 6 als Rote Liste Arten eingestuft werden. Diese Zahlen beziehen sich auf ein Kollektiv von 429 ausgewerteten Proben.

Abb. 12 zeigt vergleichend die Sequenz der Fänge für die Lampentypen HSE und HME über die gesamte Fangperiode. Es wird deutlich, dass die HSE-Fänge für die Lepidoptera generell auf einem niedrigeren Niveau liegen. Dies wirkt sich auch auf den Unterschied der Fangaktivitäten aus (Abb. 13), die sich um den Faktor 4,4 hochsignifikant ($P < 0,0000$) unterscheiden. Abb. 14 vergleicht die Datenparameter für die Lepidoptera. Es fällt auf, dass der Schwerpunkt der Ausreißer- und Extremwerte beim HME-Licht liegt. Auch die Standorte unterscheiden sich in der Reaktion der Lepidoptera auf Licht, doch bleiben die Relationen zwischen den Lichtarten erhalten.

3.4 Die Diptera – Zweiflügler

Die Ordnung der Diptera ist in der einheimischen Fauna durch zahlreiche Fa-

milien vertreten, wozu auch alle als Mücken, Fliegen und Schnaken bezeichneten Insekten gehören.

Während der Untersuchung fielen die Diptera durch ihre Schwärme auf, die unabhängig vom Lampentyp im Bereich der Leuchten auftraten. Betroffen war vor allem der Standort Kreisstraße. Hieraus ergaben sich Konsequenzen für das Testergebnis HSE versus HME, das bei Einbeziehung der Diptera für die Kreisstraße nicht signifikant ausfiel. Erst bei Nichtberücksichtigung der Diptera stellte sich ein Ergebnis wie für die übrigen Standorte ein.

3.5 HSE- und HME-Wechselbetrieb

Um die gegenseitige Beeinflussung der Lampen im Simultanbetrieb auszuschließen, wurden am Standort Eichenhof Einzelleuchten oder Leuchtenpaare für eine Dauer von 1–2 Tagen nur mit einer Lichtart betrieben. Danach wurde wieder auf die andere Lichtart umgestellt. Hierbei musste in Kauf genommen werden, dass es zu kurzfristigen Klimaänderungen kam, die sich auf das Ergebnis des Insektenanfluges auswirken. So lag Anfang September die 22 Uhr-Temperatur meist deutlich unter 20 °C, am 1.9.1997 (HSE-Tag) fiel sie jedoch mit 21,5 °C außergewöhnlich hoch aus, was sich sofort auf das Fangergebnis niederschlug. An diesem Abend wurde für die HSE-Leuchten ein vergleichsweise hoher Anflug festgestellt. Abb. 15 und 16 zeigen das Ergebnis dieses Teilversuchs. An den HME-Leuchten fand ein 2,35-fach stärkerer Gesamtanflug statt. Der Unterschied nach dem Mann-Whitney-U-Test ist bei Einschluss aller Fänge hochsignifikant ($P=0,004$). Bleibt das Fangergebnis des warmen Abends am 1.9.1997 unberücksichtigt, so verbessert sich die Signifikanz noch auf $P=0,0005$.

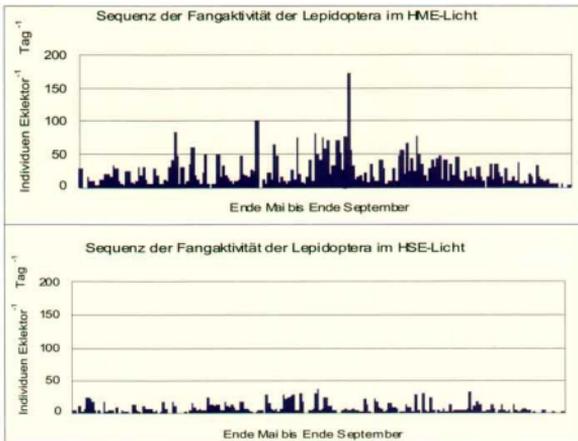


Abb. 12: Phänologie der Lepidoptera im HSE- und HME-Licht

Fig. 12: Phenology of moths in HSE and HME light (individuals per elector and day)

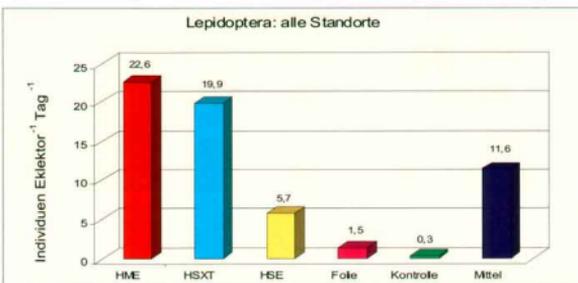


Abb. 13: Mittlere Fangaktivitäten der Lepidoptera (arithmet. Mittel) über alle Standorte und den gesamten Versuchszeitraum

Fig. 13: Average flight activity of moths (arithmetic mean) over all sites (individuals per elector and day)

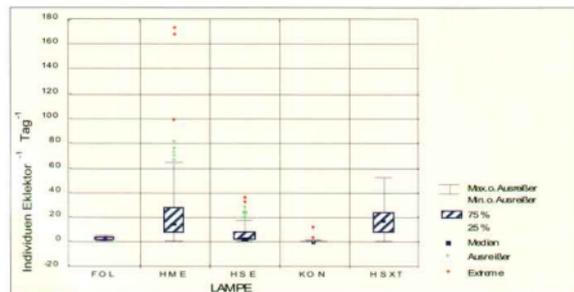


Abb. 14: Deskriptive Statistik der Fangaktivität für die Lepidoptera nach Lampentypen

Fig. 14: Descriptive statistics of moth activity for the different lamp types, the UV foil and the control (individuals per elector and day)

3.6 Wirtschaftlichkeitsberechnung der Beleuchtungskosten für HME- und HSE-Beleuchtung

Für die öffentlichen Beleuchtungseinrichtungen sind von den Kommunen jährlich viele Millionen Mark für die Installation, den Betrieb und die Erhaltung aufzuwenden. In Box 1 wird eine vergleichende Berechnung für die Neueinrichtung von 50 Leuchten in einem Neubaugebiet vorgestellt. Hieraus ergibt sich eine signifikante Ersparnis für die Beleuchtung mit Natriumdampflicht, wobei die Kosten für längere Wechselintervalle (ca. 30 % länger; Quelle: Gemeindewerke Gundelfingen) und geringere Reinigungskosten noch nicht berücksichtigt sind.

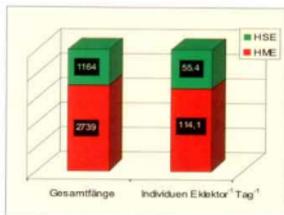


Abb. 15: Gesamtänge und Fangaktivitäten für den HME- und HSE-Wechselbetrieb auf dem Eichenhof

Fig. 15: Total catches and insect activity in alternating HSE and HME light

4 Diskussion

Licht übt auf Insekten eine hohe Anziehung aus, was häufig dazu benutzt wird, sie gezielt anzulocken und zu vernichten. Bestes Beispiel sind die im Englischen als „Insect-O-Cutor lamp“ oder „Black light lamp“ bezeichneten Insektenkillerlampen, die ihr Emissionsmaximum im UV-nahen Bereich (UV-A) haben und im Wohnbereich und gegen Schädlinge in der Landwirtschaft eingesetzt werden (ROBERTS et al. 1992, STOLZENBERG & WOHLGEMUTH 1992, OKAMOTO 1995, VEAL et al. 1995, ZHANG et al. 1995).

Auch ein Teil der in Siedlungsgebieten verwendeten Leuchtkörper ist mit Lampen bestückt, die einen gewissen Anteil an UV-Strahlung emittieren, so dass von ihnen eine stark anziehende Wirkung auf Insekten ausgeht. Abb. 17A, B vergleicht die spektralen Sehbereiche für Mensch und nachtaktive Insekten (div. Quellen

Box 1: Beispielrechnung*

Neuinstallation von 50 Leuchten mit je einer Lampe in einem Neubaugebiet bei vergleichbarer Beleuchtungsstärke.

Kapitalkosten:

Leuchtenkosten mit HSE-Lampe 1 900,- DM, mit HME-Lampe 1 800,- DM, Standzeit der Leuchten 20 Jahre, 90 % der Kosten umlagefähig, Zinsfuß 6 %.

Energiekosten:

Leistungsaufnahme der HME-Leuchte 135 W, HSE-Leuchte 80 W. Jährliche Nutzungsdauer 2980 h in der Niedertarif- und 1020 h in der Hochtarifzeit
Energiekosten NT 0,12 DM, HT 0,32 DM

Wartungskosten:

Kosten einer HSE-Lampe 22,20 DM, HME-Lampe 6,90 DM, Wechselintervall 12 000 Betriebsstunden, Jährliche Reinigungskosten 15,- DM, Lampenwechsel 60,- DM

	HME 125 W	HSE 70 W
Kapitalkosten	784,66 DM	828,25 DM
Energiekosten	4 617,00 DM	2 736,00 DM
Wartungskosten	1 865,00 DM	2 131,67 DM
Gesamtkosten	7 266,66 DM	5 695,92 DM

Bei der Installation von HSE-Leuchten spart die Kommune jährlich 1570,- DM ein. Hierbei sind eventuelle längere Wechselintervalle und geringere Reinigungskosten, die bei HSE-Lampen anfallen, noch nicht berücksichtigt.

* Quelle: Berechnung modifiziert nach DIN 5035

und MENZEL 1979) mit den Emissionsspektren der verwendeten Philips-Lampen für HME- und HSE Licht. Die Auswahl der Lichtqualität wird somit zum Umweltfaktor, der potenziell zu einer Störquelle im Naturhaushalt werden kann (siehe auch die Öko-Information der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten NRW zum Thema „Leuchtende Todesfallen“ vom Juli 1996).

Dieses Problem ist schon seit Jahren bekannt, doch gibt es nur wenige Studien und Veröffentlichungen zu diesem Thema. Eine der ersten umfangreichen Untersuchungen hierzu wurde von BAUER (1993) als Diplomarbeit an der Universität Konstanz angefertigt. Es handelt sich um eine Feldstudie an vier Standor-

ten, wovon einer als naturnah zu charakterisieren ist.

Insgesamt wurden von Bauer 40 522 Insekten gefangen, wovon allein 25 464 auf den naturnahen Standort entfielen. Die Fangzahlen an den übrigen besiedelten Standorten fallen mit 1 896 bis 8 846 weit moderater aus. Dies muss als Hinweis gesehen werden, dass Siedlungseinflüsse, wozu auch die Beleuchtung gehört, einen nachhaltig negativen Einfluss auf die Gesamtpopulation der Insekten ausüben. Ferner zeichnet sich die Studie von BAUER noch dadurch aus, dass mehrere potenzielle Einflussgrößen wie Leuchtenhöhe, Abstrahlwinkel, Zahl der Leuchten, Wechselbetrieb etc. getestet wurden. Eine weitere Diplomarbeit über das Thema der künstlichen Lichtquellen wurde von SCHMIEDL (1992) durchgeführt, doch war diese Arbeit nicht zugänglich.

Im Rahmen einer an der Universität Kiel durchgeführten FE-Studie des Umweltbundesamtes ging es um die Wirkung dauerbeleuchteter Großanlagen auf die Entomofauna (MIEHT & KOLLIGS 1996). Verglichen wurde die Anlockwirkung eines mit Natriumdampflicht auch nachts beleuchteten Gewächshauses sowie je einer punktuellen HME- und HSE-Lichtquelle. Der Schwerpunkt der zweijährigen Untersuchung, in der mehrere hundert Insektenarten bestimmt wurden, bestand in der Analyse der angrenzenden Biotop hinsichtlich Nahrungsgrundlagen und Möglichkeiten der Populationsentwicklung. Auch die klimatischen Einflüsse (Temperatur, Feuchte, Luftdruck, Windstärke) und die Mondphasen wurden mittels einer kanonischen Korrespondenzanalyse ausgewertet. Hierbei kristallisierten sich die

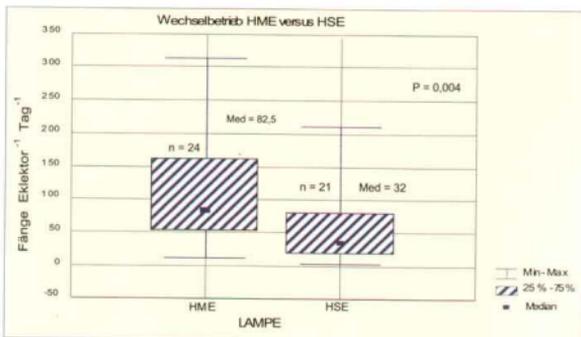


Abb. 16: Deskriptive Statistik für den HME- und HSE-Wechselbetrieb auf dem Eichenhof

Fig. 16: Descriptive statistics of insect activity in alternating HSE and HME light

Mondphase, Mondzu-/Mondabnahme, die Luftdrucktendenz, Temperatur und Luftfeuchte als wichtige Einflussgrößen heraus (s. a. BLOMBERG et al. 1978). Etwas genauer wurden die Zusammensetzung der Schmetterlingsfauna und mögliche Verhaltensmuster gegenüber Licht und dem damit verbundenen Gefährdungsgrad untersucht. Demnach müssen besonders standorttreue und spezialisierte Arten als durch die Lichtquellen gefährdet gelten. Ferner solche Arten, die in naturnahen Relikträumen von Siedlungsgebieten leben und deren Ressourcen bedroht sind. Es werden Gefährdungspotenziale für Ordnungen, Familien und Arten diskutiert, doch lassen sich sichere Aussagen bei dem gegenwärtigen Kenntnisstand nicht treffen. Daraus resultiert die Kernaussage, dass bis dato eine Gefährdung bestimmter Insektenpopulationen durch eine flächenhafte Lichtquelle nicht sicher nachgewiesen werden kann. Andererseits wird darauf hingewiesen, dass sich jede Lichtquelle ökologisch negativ auswirkt und die Summe der Auswirkungen aller Beleuchtungseinrichtungen mit Sicherheit einen tiefen Einschnitt in die Prozesse der artspezifischen Fortpflanzungsbeziehungen darstellt. Vor allem Insektenpopulationen auf naturnahen Flächen sind davon betroffen. Die Untersuchung zeigt klar, dass eine lampenspezifische Lockwirkung von HME und HSE auf Insekten vorliegt und Natriumdampfampfen signifikant weniger von ihnen angezogen werden.

Die Hinweise auf eine mögliche Ausdünnung von Populationen sind bis dato noch gering. Kontrollversuche zur Populationsveränderung von Schaben in einem natürlichen Habitat ergaben, dass der Fang mit UV-Lampen zu einer Abnahme der Populationsdichte auf 1/13 innerhalb eines Monats führte (OKAMOTO 1995). HAUSMANN (1992) untersuchte die Auswirkungen einer punktförmigen Lichtquelle auf Nachtschmetterlinge in Süditalien. Er bilanzierte 5 000 Anflüge je Lampe pro Monat und 5 Millionen für das Untersuchungsgebiet. Die Zahl toter Schmetterlinge stieg stark an, nachdem das Lampenglas geborsten war und es zu starken Verbrennungsschäden an der Lampe kam. Die höchste Mortalität ereignete sich jedoch kurioserweise in den Morgenstunden, wenn Wespen und Hornissen um die Lichtquelle herum ihre Beutezüge durchführten.

4.1 Fangtechnik

Das Fangkonzept der Lufttektoren beruht darauf, dass aus der Grundgesamtheit der eine Leuchte anfliegenden Insekten ein Aliquot weggefangen wird. BAUER (1993) führte Versuche zur Effek-

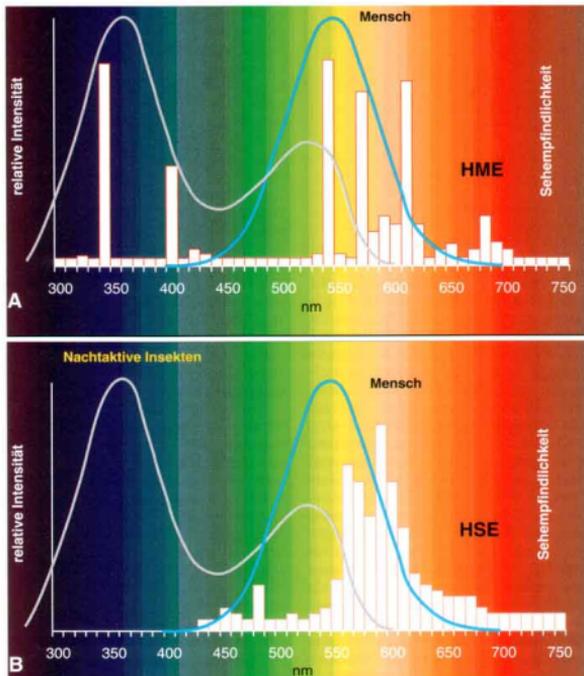


Abb. 17A und B: Seheempfindlichkeitsbereiche für den Menschen (Tag) und Nachtfalter, mod. nach div. Autoren und MENZEL und kombiniert mit den Emissionsspektren der verwendeten HME-(A) und HSE-(B) Hochdruckdampfampfen.

Fig. 17A and B: Visual sensitivity of human (day) and nocturnal insect eyes (according to various authors and MENZEL 1979) in comparison to the emission spectra of the HME (A) and HSE (B) lights used

tivität der Fallen durch. Es zeigte sich, dass von den leichteren Kleinschmetterlingen (Microlepidoptera) ein weit geringerer Bruchteil (41:1) der Anflugmenge in den Fallen landete als von den schwereren Noctuidae (Eulen) (11:1). Vergleichsweise günstiger fiel das Verhältnis für Käfer und Wanzen aus. Es ist also davon auszugehen, dass stets nur ein Bruchteil der Anflugmenge in die Fallen gerät. Es muss folglich auch hier der Grundsatz gelten, den Versuch mit allen Fallen möglichst unter gleichen Bedingungen durchzuführen, um Vergleichbarkeit der Daten zu erreichen. Die von uns eingesetzten Fallen arbeiten, ähnlich wie in der Untersuchung von BAUER (1993), mit Prallwänden, von denen die Insekten über einen Trichter in das Fanggefäß gelangen. Um Unterschiede in der Fangdauer auszugleichen,

wurde die Fangaktivität als Individuen Ekkektor⁻¹ Tag⁻¹ berechnet.

4.2 Einfluss der Standorte

Die Unterschiede zwischen den Standorten wirken sich am deutlichsten auf das Dominanzmuster der Insektenordnungen aus. So findet sich am Standort Kreisstraße eine hohe Dichte an Diptera und Trichoptera, während Coleoptera und Lepidoptera nur schwach vertreten sind. Letztere wiederum treten in Sulzheim und auf dem Eichenhof dominant oder sogar eudominant auf. Als Ursache kommen die Nähe eines periodisch fließenden Gewässers und Unterschiede in der Vegetation in Frage. Alle Standorte besitzen eine spezifische Vegetation aus genutzten und z. T. noch naturnahen Bereichen. Eine Besonderheit auf dem Ge-

Tabelle 2: Vergleich der Fangrelationen zwischen HME und HSE (alle Fänge)

Table 2: Comparison of HME- and HSE catches (total insect catches, individuals per ecollector and day)

	[Fänge Eklektor ⁻¹ Tag ⁻¹]		
	HME	HSE	HME/HSE
Alle Standorte	140,5	63,8	2,2
Sulzheim	140,6	27,2	5,2
Eichenhof	124,3	56,3	2,2
Kreisstraße	162,8	133,2	1,2

lände des Eichenhofes ist ein Ackerwildkräuterversuch in der Nähe der Leuchten, wodurch sich das Angebot an krautigen Blütenpflanzen stark erhöhte. Möglicherweise spielt auch die Geländemorphologie eine Rolle. Während die Leuchten auf dem Eichenhof und im Ortsgebiet Sulzheim mehr in geschützter Lage stehen, sind sie entlang der Kreisstraße stärker windexponiert. Das Ergebnis an der Kreisstraße wurde stark durch das Auftreten von Dipterenschwärmen beeinflusst, wovon auch die HSE-Leuchten betroffen waren. So wurden an diesen Leuchten zwei Tausenderfänge registriert, die beide einen Anteil von über 900 Diptera enthielten. Generell enthielten alle größeren Fänge an der Kreisstraße stets über 50% Diptera, und in der Summe entfielen zwei Drittel aller Insekten auf diese Ordnung. Möglicherweise wurde die Drift der Schwärme durch eine stärkere Luftbewegung begünstigt. Umgekehrt muss angenommen werden, dass Wind die Anflughäufigkeit von Insekten insgesamt mindert. Dies lässt sich aus der Anflughäufigkeit von Fledermäusen an die Lampen schließen, für die die Attraktivität der Lampen bei windigem Wetter nachließ (BLAKE et al. 1994). Nach MIETH & KOLLIGS (1996) sollen windstille Nächte den Insektenanflug verstärken. Schließlich ist auch ein sog. Eklektoreffekt am Standort Kreisstraße nicht auszuschließen, da die dort installierten Netzelektoren über eine zusätzliche obere Fangdose verfügten. Grundsätzlich fällt der Standortvergleich in der Untersuchung von BAUER (1993) ähnlich aus. Die Fänge spiegeln stets eine standortspezifische Insektenfauna wider.

4.3 Kontrollfänge

Als Kontrollfänge dienen Fänge an Leuchten ohne Lampen. Hierdurch sollte das Ausmaß der normalen Flugaktivität ohne Lichtanlockung erfasst werden. Das Ergebnis ist eine stets minimale Ausbeute an Insekten auf allen Testflächen. Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass alle eingesetzten Lichtarten auf Insekten anziehend wirken und sich die

Anflughäufigkeit signifikant erhöht. BAUER (1993) verzichtete auf solche Kontrollfänge. Als Kontrolle definierte er die Fangausbeute dreier parallel mit HME betriebener Lampen und setzte die Ausbeute der übrigen Lichtarten dazu ins Verhältnis.

4.4 Wirkung der Lichtarten

Um die Unterschiede zwischen den Lampentypen zu zeigen, wurden auch Diagramme mit der Lage des Medians, der 25-75% Perzentile und der jeweiligen Min-Max-Werte benutzt. Dabei fällt auf, dass die Mediane häufig sehr niedrig liegen. Grund hierfür ist, dass auch die kühleren Tage mit minimaler Flugaktivität einbezogen wurden.

Die Tests zur Wirkung der Lichtarten fielen zwischen HME und HSE meist hochsignifikant zu Gunsten von HSE aus. Ausnahme war der Standort Kreisstraße mit seinem hohen Anteil an schwärmenartigen Diptera, deren Bewegungen vermutlich weniger gerichtet erfolgen. Vergleich man die Histogramme zur Verteilung der Fänge, so wird sichtbar, dass die höheren Ränge meist bei HME liegen und für HSE der Schwerpunkt bei den geringeren Fangzahlen liegt. Für die HME-Fänge der Lepidoptera fällt auch auf, dass sie weit stärker sog. Ausreißer und Extremfänge enthalten (s. a. Abb. 14). Zumindest lässt sich daraus, auch ohne Tests, bereits eine stärkere Anlockwirkung der HME-Lampen ableiten. Eindeutige Testergebnisse lieferte auch der Vergleich HSXT versus HSE. Die Natrium-Xenonlampen (HSXT) wirkten mit $P < 0,0000$ anziehender auf Insekten als letztere. Dieses Ergebnis fällt unerwartet aus, da dieser Lampentyp gemäß Datenblatt des Herstellers kaum im UV-Bereich emittiert und eine vergleichsweise niedrige Anziehung auf Insekten zu erwarten ist (Angabe ca. 80% weniger). Eine Erklärung für die hier gemessene starke Anlockung liegt noch nicht vor. Möglicherweise sind kleine Peaks im Blau- und Grün-Bereich dieses Lampentyps bedeutender für die Insektenattraktion als bisher angenommen. Auch in den Versuchen von SCHEIBE (1997, 1999) wo der gleiche Lampentyp entlang eines Bachlaufes eingesetzt wurde, erwies er sich als äußerst fähig und zeigte keinen Unterschied zum HME-Licht (bei Scheibe als HQL bezeichnet).

Umgekehrt wirkte die UV-Sperrfolie an HME-Leuchten stark dämpfend auf die Anlockung. Zwar ist der Unterschied zwischen Folie und Kontrolle signifikant, doch nähert sich die Aktivität an der Folie (15,3 Individuen Eklektor⁻¹ Tag⁻¹) bereits deutlich derjenigen der Kontrolle (5,7 Individuen Eklektor⁻¹ Tag⁻¹). Für die Praxis soll eine Umrüstung von Leuchten durch einfaches Aufkleben auf das

Leuchtglass derzeit aber nicht in Frage kommen, da die Leuchtstärke die DIN-Norm nicht mehr erfüllt.

Vergleicht man die Ergebnisse mit denen anderer Untersuchungen, so fällt auf, dass die Fangrelationen zwischen HME und HSE teilweise in den Bereich 2,5 bis 10 reichen (BAUER 1993, SCHANOWSKI & SPÄTH 1994). In einigen Fällen entfielen auf die HSE-Fänge weniger als 10%. Demgegenüber fällt der Unterschied zwischen HSE und HME in dieser Untersuchung deutlich moderater aus (Tab. 2). Bei Einbeziehung aller Fänge ergibt sich ein Verhältnis der Fangaktivität HME/HSE von 2,2, d. h. die Fängeigkeit von HSE liegt etwa unter 50%. Für die Standorte gilt: Sulzheim 5,2, Eichenhof 2,2 und Kreisstraße 1,2. Demnach ist der Unterschied für die Kreisstraße am geringsten, wofür das stärkere Auftreten der Diptera bereits oben diskutiert wurde. Als zunächst ungewöhnlich ist das Ergebnis für Sulzheim zu sehen mit der sehr hohen Attraktivität der HME-Lampen. Möglicherweise spielt hier die im Ort vergleichsweise höhere Leuchtdichte eine Rolle, wodurch sich die Präferenz für HME erhöht.

Führt man den Vergleich der Lampenwirkung nur mit den Lepidoptera durch, so ergeben sich noch schärfere Unterschiede (Tab. 3), d. h. der HME-Effekt ist für die Lepidoptera stärker ausgeprägt. Eine Auswertung einzelner Lepidoptera-Arten hinsichtlich ihres Verhaltens gegenüber den Lichtarten ist noch nicht erfolgt. BAUER (1993) konnte aber für 7 häufige Arten mit Fangrelationen meist deutlich unter 0,03 zeigen, dass sie durch HSE weniger angezogen werden. Als einzige Art reagierte die Wanze *Pentatoma rufipes* positiv auf HSE mit einer Fangrelation von 1,54. Nachtfalter aus der Gruppe der Lymantriidae (Trägspinner) zeigten nach einer russischen Feldstudie ein differenziertes Verhalten gegenüber Schwarzlicht-UV-, Quecksilberdampf- und Natriumdampfdrucklampen (WALLNER et al. 1995). Am größten war die Attraktion für Schwarzlicht-UV, während Quecksilberdampflicht geringfügig (slightly higher) stärker anlockte als Natriumdampflicht. Beide Lampentypen büßten ihre Attraktivität ein, wenn sie mit UV-Sperrfolie überzogen waren. Als interessantes Ergebnis dieser Studie ist noch festzuhalten, dass drei Lymantridenarten abgestufte Aktivitätspeaks während der Nacht aufwiesen (*L. dispar* zwischen 23 und 1 Uhr, *L. mathura* zwischen 1 und 3 Uhr und *L. monacha* zwischen 3 und 5 Uhr). Fasst man alle Ergebnisse über die Gruppe der Nachtfalter zusammen, so erweist sie sich als besonders sensitiv gegenüber Lichteinwirkung. Einige neuere Arbeiten (BLAKE et al. 1994, RYDELL & BAAGOE 1996) verdeutlichen auch, dass Nachtfalter im

Tab. 3: Vergleich der Fangrelationen zwischen HME und HSE für die Lepidoptera (Nachtflatter und Kleinschmetterlinge)

Table 3: Comparison of HME- and HSE Lepidoptera catches (night flying and microlepidoptera, individuals per elector and day)

	[Individuen Elektor ⁻¹ Tag ⁻¹]		
	HME	HSE	HME/HSE
Alle Fänge	22,6	5,7	4,0
Sulzheim	25,1	1,6	15,7
Eichenhof	24,8	10,5	2,4
Kreisstraße	15,9	6,1	2,6

Lichtkegel von Leuchten bevorzugte Nahrungsobjekte für Fledermäuse sind. Hierbei wurde die Anflughäufigkeit letzterer nach der Lichtart quantifiziert (Anflüge km⁻¹), wobei Natriumdampflicht die geringste Anflugrate aufwies. Ferner wurde das Jagdverhalten analysiert mit seinen Auswirkungen für den Fledermausschutz (RYDELL 1992). FENTON (1997) sieht im massierten Auftreten von Insekten an Lampen eine wirksame Schutzkomponente.

4.5 HME/HSE-Wechselbetrieb

Gelegentlich wird angezweifelt (SCHEIBE 1997), dass die HSE-Lampen durch einen qualitativen Effekt weniger Insekten anlocken. Die Insekten würden sich nur in einer vorliegenden Konkurrenzsituation (HME versus HSE) stärker für die HME-Lampen entscheiden. Bei alleinigem Angebot von HSE würde der Anflug genauso intensiv erfolgen wie bei HME. Um dies zu prüfen wurden Leuchtenpaare tageweise von HME auf HSE und umgekehrt gewechselt. Das Ergebnis (Kap. 3.5) fällt deutlich zu Gunsten für HSE aus, d. h. dieser Lampentyp lockt hochsignifikant weniger Insekten an ($P=0,004$). Allerdings konnte auch gezeigt werden, dass an einem sehr warmen Septemberabend (am 1.9.1997) von den HSE-Leuchten vergleichsweise viele Insekten angezogen wurden, deutlich mehr als an den benachbarten kühlen Tagen durch die HME-Lampen. Gerade hierdurch wird die Bedeutung der Temperatur für die Lichtversuche unterstrichen. Dennoch lässt sich das Ergebnis so interpretieren, dass die HSE-Lampen auf Grund ihrer spezifischen Lichtqualität im unteren Wellenlängenbereich weniger anlockend auf Insekten wirken. LEINONEN et al. (1998) führten in Finnland einen Wechselbetrieb mit vier verschiedenen Lichtfallen und Lampentypen durch, wobei die Fallen während einer Nacht gewechselt wurden. Auch hier fiel das Ergebnis deutlich zu Un-

gunsten des Quecksilberdampflichts aus.

5 Abschließende Kernaussagen

Unsere Untersuchungen führen im Wesentlichen zu vier Schlussfolgerungen:

- 1) Trotz der intensiven Landbewirtschaftung in Rheinhessen gibt es noch Gebiete, die über eine reiche Insektenfauna verfügen. Wir führen dies auf die Erhaltung und Pflege zahlreicher ökologisch wertvoller Biotope im Untersuchungsgebiet zurück.
- 2) Die Untersuchung zeigt, dass die richtige Lichtwahl zur Reduzierung der Insektenanlockung die Belange des Naturschutzes unterstützt. Auf Grund der Senkung des Insektenanfluges um mehr als die Hälfte, empfehlen wir im öffentlichen Bereich die Verwendung von Natriumdampflicht soweit möglich.
- 3) Natriumdampflicht wird in verschiedenen Varianten angeboten und erfüllt als Hochdruckvariante weitgehend die Anforderung einer für den Menschen ausgewogenen Beleuchtung. Von der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft wird sie als die geeignetste Lichtquelle für die Beleuchtung von Straßen und Plätzen bezeichnet.
- 4) Wir schlagen vor, dass bei Neuinstallation von Beleuchtungsanlagen bzw. bei Ersatz veralteter Beleuchtungseinrichtungen grundsätzlich der umweltfreundlichen und energiesparenden Natriumdampfbeleuchtung der Vorzug gegeben wird. Fortschrittliche Energieversorger, z. B. das Elektrizitätswerk Rheinhessen AG (EWR) mit Sitz in Worms, stehen den Kommunen beratend zur Seite. Neben der Wahl der Lichtart sind in diesem Kontext der Bau geeigneter Beleuchtungsträger unter Wahrung eines optimalen Abstrahlwinkels, die Leistungsreduzierung und intelligente Zeitschaltungen gefragt.

6 Zusammenfassung

Für das Projekt „Insektenfreundliche Außenbeleuchtung im kommunalen Bereich“ wurde mit Hilfe der Kreisgruppe Alzey-Worms des BUND (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e. V.) und des Elektrizitätswerks Rheinhessen AG (EWR) eine praxisnahe Feldstudie zur Wirkung öffentlicher Beleuchtungsanlagen durchgeführt. Hauptziel der Untersuchung war es, die Wirkung verschiedener Lampentypen auf die Anflughäufigkeit von Insekten zu testen. Zum Einsatz kamen: Quecksilberdampf-

hochdruck- (HME), Natriumdampf-hochdruck- (HSE), Natrium-Xenon-dampfhochdrucklampen (HSXT) und eine auf dem Lampenglas angebrachte Sperrfolie für den UV-Anteil des Lichts. Zur Kontrolle wurden lampenfreie Leuchten eingesetzt.

Als Fanggeräte dienten 19 Luftelektronen, die unmittelbar im Lichtkegel der Leuchten installiert wurden. Insgesamt wurden 536 Fangeinheiten (= Fangmenge eines Elektors pro Tag) ausgewertet. Die erhaltene Gesamtmenge an Insekten und Spinnentieren betrug 44 210. Diese verteilen sich auf 12 Insektenordnungen, ein geringer Anteil entfiel auf Spinnen und Milben. Die Elektoren wurden an drei Standorten eingesetzt: 1) ein dörfliches Siedlungsgebiet in der Ortschaft Sulzheim bei Wörstadt, 2) ein Straßendorf entlang einer außerörtlichen Kreisstraße bei Sulzheim und 3) die Umgebung eines landwirtschaftlichen Betriebes bei Wörstadt-Rommersheim. Das Ergebnis fiel für jeden Standort spezifisch aus. Nach der Höhe der Fängigkeit ergab sich folgende Reihenfolge: HME > HSXT > HSE > UV-Sperrfolie > Kontrolle. Die HSE-Lampen lockten ca. 2,2-fach weniger Insekten an als HME-Licht; bei den Nachtschmetterlingen fiel das Ergebnis noch günstiger aus. Schwärmende Dipteren nahmen einen großen Einfluss auf das Ergebnis. Durch den Wechsel zwischen Simultan- und Wechselbetrieb der Lampen konnte eindeutig die Bedeutung der Lichtqualität nachgewiesen werden. Es wird eine Umstellung von Beleuchtungseinrichtungen auf Natriumdampflicht zum Schutz der Insektenfauna empfohlen, wodurch ein Beitrag für den allgemeinen Naturschutz geleistet wird. Darüber hinaus wird durch eine Wirtschaftlichkeitsberechnung gezeigt, dass den Kommunen durch die Umstellung auf diese Lichtart ein enormes Einsparpotenzial zur Verfügung steht.

Summary

Street lamps which illuminate public areas and places at night are of different types, emitting different spectra. All of them (e.g. white mercury (HME), orange sodium (HSE) or sodium-xenon vapour lamps (HSXT)) attract insects. During summer nights, myriads of insects fly restlessly around the lamps, which therefore have a marked impact on insect biology. There is some evidence that lamps differ with respect to their insect attraction. Sodium lamps, for instance, attract insects less strongly than white mercury lamps. We tested the attraction of three lamp types and, in addition, an ultraviolet absorber foil and some con-

trols (lights without illumination). All installations were carried out by the electric utility of Rheinhessen/Germany (EWR) at three sites in a rural area. To trap insects, we used 19 air-eclector traps which had been positioned within the light cones of the street lights. We caught a total of 44,210 insects (including some arachnids), distributed among 12 orders. Altogether the data set comprised 536 night trapping records. The results show that the number of insects captured at the three sites and the attraction per eclector per day depends significantly on both the type of lamp and the site. By using sodium vapour street lamps (HSE), the number of insects caught was reduced significantly by more than 50 %, and in the case of Lepidoptera by about 75 %. We therefore recommend the use of sodium high pressure vapour lamps to improve the conservation of insect fauna. The results further show that there is a large potential to reduce costs for municipalities by switching street illumination from mercury vapour (HME) to sodium vapour (HSE) lamps.

7 Literatur

ART, K. F. & SCHULTZ, G. (1995): Auswirkungen der Lichtemissionen einer Großgewächshausanlage auf den nächtlichen Vogelzug. *Corax* 16: 17–29.

ART, K. F. (1995): Auswirkungen von Lichtemissionen auf den Beginn der Gesangsaktivität freilebender Singvögel. *Corax* 17: 1–5.

BAUER, R. (1993): Untersuchung zur Anlockung von nachtaktiven Insekten durch Beleuchtungseinrichtungen. Diplomarbeit am Fachbereich Biologie, Universität Konstanz, unveröff.

BLAKE, D., HUTSON, A. M., RACEY, F. A., RYDELL, J. & SPEAKMAN, J. R. (1994): Use of lamplight roads by foraging bats in southern England. *J. Zool.* 234: 453–462.

BLOMBERG, O., ITAMIES, J. & KUUSILA, K. (1978): The influence of weather factors on insect catches in traps equipped with different lamps in northern Finland. *Ann. Ent. Fenn.* 44: 56–62.

DANIEL, F. (1962): Praxis des Nachtfanges mit Licht. *Nachr. Bl. Bayer. Entom.* 1: 44–68.

ESCHE, T., FREUNDT, S., PAUSCHERT, P. & SCHANOWSKI, A. (1989): Untersuchung zur Auswirkung unterschiedlicher Lichtquellen auf nachtaktive Großschmetterlinge (Macrolepidoptera). Institut für Landschaftsökologie und Naturschutz, Bühl, unpubl.

FENTON, M. B. (1997): Science and the conservation of bats. *J. Mamm.* 78: 1–14.

FREUNDT, S. & PAUSCHERT, P. (1992): Kontrolluntersuchungen zur Auswirkung unterschiedlicher Beleuchtungstypen auf nachtaktive Insekten. Institut für Landschaftsökologie und Naturschutz, Bühl, unpubl.

GEPP, J. (1977): Technogene und strukturbedingte Dezinierungsfaktoren der Stadtwelt. Ein Überblick. *Stadtökologie (Tagungsbericht)*. Graz, 99–127.

HAUSSMANN, A. (1992): Studies of the mass mortality of moths around a spot light near municipal lights (Lepidoptera, Macrobatheroera). *Atalanta, Marktkeuthen*, 23: 411–416.

KRAUSE-MOHR, G., RÖDGER, W. & WEIS, B. (1995): Energieeinsparungen in der Straßenbeleuchtung. *Licht* 10/95: 808–815.

KIFFNEY, P. M., LITTLE, E. E. & CLEMENTS, W. H. (1997): Influence of ultraviolet-B radiation on the drift response of stream invertebrates. *Freshwater Biology* 37: 485–492.

LANDANANSTALT FÜR ÖKOLOGIE, BODENORDNUNG UND FORSTEN NRW (1996): Leuchtende Todesfallen. – Öko-Information der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten NRW, Juli 1996.

LEINONEN, R., SODERMAN, G., ITAMIES, J., RYTKÖNEN, S. & RUTANEN, I. (1998): Intercalibration of different light-traps and bulbs used in moth monitoring in northern Europe. *Ent. Fenn.* 9: 37–51.

LÖDL, M. (1984): Kritische Darstellung des Lichtfanges, seiner Methoden und seine Bedeutung für die ökologische-faunistische Entomologie. *Diss. Univ. Wien*.

MENZEL, R. (1979): Spectral sensitivity and colour vision in invertebrates. In: AURUM, H. (ed.): *Handbook of Sensory Physiology*. Springer, Berlin – Heidelberg – New York, Vol. VII/6A: 503–580.

MIETH, A. & KOLLIGS, D. (1996): Ökologische Auswirkungen von flächenhaften Lichtquellen unter besonderer Berücksichtigung der Wirkung von künstlichem Licht auf wirbellose Tiere. *Forschungsbericht Universität Kiel, Biologiezentrum, Forschungsstelle für Ökotechnologie als FE-Vorhaben des UBA Nr. 108 03 075, ÜBA Fachbibliothek Nr. 96-084, Berlin*.

MINISTERIUM FÜR UMWELT RHEINLAND-PFALZ (1992): Rote Liste der bestandsgefährdeten Schmetterlinge (Lepidoptera; Tagfalter, Spinnerzetterlinge, Eulen, Spanner) in Rheinland-Pfalz. 33 pp.

MINISTERIUM FÜR UMWELT BADEN-WÜRTTEMBERG (ed.) (1990): *Insektenfreundliche Beleuchtungen – Auswirkungen großer Beleuchtungsanlagen auf nachtaktive Tiere, insbesondere Insekten*. Stuttgart, 17 pp.

OKAMOTO, K. (1995): Tests of cockroach control with UV-radiation: II. A field test on the German cockroach. *Jap. J. Sanitary Zool.* 46: 9–17.

ROBERTS, A. E., SYMS, P. R. & GOODMAN, L. J. (1992): Intensity and spectral emission as factors affecting the efficacy of an insect electrocutor trap towards the housefly. *Entomol. exp. appl.* 64: 259–268.

RYDELL, J. (1992): Exploitation of insects around street lamps by bats in Sweden. *Functional Ecology* 6: 744–750.

RYDELL, J. & BAAGOE, H. J. (1996): Street lamps increase bat predation on moths. *Entomol. Tidskrift* 117: 129–135.

SCHANOWSKI, A. & SPÄTH, V. (1994): *Überlebelit – Vorschläge für eine umweltfreundliche Außenbeleuchtung*. Naturschutzbund Deutschland Kornwestheim (ed.), Kornwestheim.

SCHIEBE, M. A. (1997): Quantitative Aspekte der Anziehungskraft von Straßenbeleuchtungen auf die Emergenz aus nahegelegenen Gewässern. Diplomarbeit am Fachbereich Biologie, Universität Mainz.

SCHIEBE, M. A. (1999): Über die Attraktivität von Straßenbeleuchtungen auf Insekten aus nahegelegenen Gewässern unter Berücksichtigung unterschiedlicher UV-Emission der Lampen. *Natur und Landschaft* 74 (4): 144–146.

SCHMIDT, F. (1989): Straßenlaternen – gigantische Lichtfallen für Insekten. *Leben und Umwelt*, Wiesbaden, 26: 5–7.

SCHMIDEL, J. (1992): Auswirkungen von künstlichen Lichtquellen auf die wildelebende Tierwelt. Diplomarbeit am Institut für Land-

schaftspflege und Naturschutz der Universität Hannover, unveröff.

SCHWEIZERISCHER BUND FÜR NATURSCHUTZ (1997): *Schmetterlinge und ihre Lebensräume*. Band 2. Egg, 679 pp.

STECK, B. (1997): Zur Einwirkung von Außenbeleuchtungsanlagen auf nachtaktive Insekten. In: *Deutsche Lichttechnische Gesellschaft* (ed.), Berlin. *LITG-Publikationen* 15: 1–24.

STOLZENBERG, K. & WOHLGEMUTH, R. (1992): Development of ultra-violet baited traps for control of *Ahasuerus advena* (Waldl. 1832) in poultry farms. *Anz. Schädlingssk. Pflanzensch. Umweltsch.* 65: 129–137.

VEAL, L.; BATH, C. & HUTCHESON, D. (1995): A comparison of the attractiveness towards house flies of two lamps used in insect electrocutoring traps. *Int. J. Env. Health Res.* 5: 247–254.

WALLNER, W. E.; HUMBLE, L. M.; LEVIN, R. E.; BARANCHIKOV, Y. N. & CARDE, R. T. (1995): Response of adult lymantriid moths to illumination devices in the Russian Far East. *J. Econ. Ent.* 88: 337–342.

WORTH, B. C. & MULLER, J. (1979): Captures of large moths by an ultraviolet light-trap. *J. Lep. Soc.* 33: 261–264.

ZHANG, G.; ZHENG, L.; LIU, Y. & ZHANG, W. (1995): Studies on cotton bollworm control by mercury vapour lamp traps. *Sinozoologia* 0 (12 Suppl): 115–119.

Danksagung

Wir danken dem BUND Kreisgruppe Alzey – Worms für die Initiierung des Projekts und die Durchführung der Feldarbeiten, dem Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz in Mainz für die finanzielle Förderung, der Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz Mainz-Bretzenheim für die Bereitstellung von Klimadaten und den Landwirten Kussel vom Eichenhof in Wörstard-Rommersheim und der Orts-gemeinde Sulzheim für die logistische Unterstützung des Projekts. Unser besonderer Dank gilt dem Elektrizitätswerk Rheinhessen AG (EWR) für die großzügige technische Hilfe. Herr Dr. Steck von der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft, Herr Dr. Merker von der Fördergemeinschaft Gutes Licht und Herr Groehl vom EWR halfen beratend in terminologischen Fragen.

Anschriften der Autoren:

Prof. Dr. Gerhard Eisenbe
Institut für Zoologie der Joh. Gutenberg
Universität
55099 Mainz
E-Mail: Geisenbe@mail.uni-mainz.de

Dipl. Ing. Frank Hassel
BUND-Kreisgruppe Alzey-Worms
Hermannstr. 32
55286 Wörstard
E-Mail: Frank.Hassel@bund.net
http://www.bund.net/alzey-worms