

Künstliches Licht und Lichtverschmutzung – eine Gefahr für die Diversität der Insekten?

Gerhard Eisenbeis

Zusammenfassung

Es wird zunächst auf die Frage eingegangen, was ist Lichtverschmutzung und in welchen Dimensionen spielt sich dieses Phänomen ab? Hierzu wird ein Bogen gespannt von der 'Global change'-Ebene bis zum Ökosystem und zur Population. Es folgen Hinweise zum öffentlichen Widerstand gegen Lichtverschmutzung, wofür beispielhaft die Aktion 'Die helle Not' in Österreich steht. Unter den Tieren erweisen sich die Insekten als extrem empfindlich gegenüber Lichteinwirkung, da sie über UV-sensitive Lichtrezeptoren verfügen. Dies erklärt ihre magische Anziehung durch UV-emittierende Lampen, doch kommen sonstige exogene und endogene Faktoren modulierend hinzu. Nach einer Demonstration undichter Leuchtengehäuse als Massengräber für Insekten folgt eine Aufstellung der wichtigsten negativen Lichteinwirkungen auf Tiere. Begriffe wie 'Fesseleffekt', 'Leitplankeneffekt' und 'Staubsaugerwirkung' stehen für Störungen im Orientierungsverhalten und für permanente Populationsverluste durch die Lampen. Aus der Praxis werden Ergebnisse einer Studie in Rheinhessen vorgestellt, nach denen das UV-haltige weiße Licht von Straßenbeleuchtungen (Quecksilberdampfdrucklampen) den stärksten Insektenanflug bewirkt, gefolgt von Licht aus Natrium-Xenon- und Natriumdampfdrucklampen. UV-Sperrfolie wirkt stark reduzierend auf den Anflug, doch technische Gründe (Minderung der Lichtleistung nach DIN) sprechen noch gegen die Umrüstung bestehender Altanlagen. Es werden Fangrelationen für die Gesamtheit der Insekten und für die nachtaktiven Schmetterlinge bei unterschiedlicher Beleuchtung gezeigt sowie Unterschiede im Lampenanflug bei Voll- und Neumond und bei vergleichsweise hohen und niedrigen Temperaturen. Danach wird die Frage nach der Bedrohung der Diversität der Insekten allgemein gestellt. Hierzu werden Berechnungen zur Größenordnung der Mortalität von Insekten an den Lampen auf der Basis des Leuchtenparks der Stadt Kiel und bis zur Ebene der Bundesrepublik durchgeführt. Es folgen qualitative Überlegungen zur Beeinflussung von Arten und Populationen mit unterschiedlichen Lebensstrategien, wobei Begriffe wie 'risk focussing' und 'risk displacement' im Hinblick auf die Fortpflanzungsbiologie fallen. Abschließend werden Energiespareffekte der Straßenbeleuchtung durch moderne Lampen- und Leuchtentechnik demonstriert. Natriumdampflicht erweist sich in der Summe als doppelt umweltfreundlich, da es die Anlockung von Insekten signifikant mindert und gleichzeitig eine Ersparnis in Größenordnungen von 30-70% er-

möglichst. Dies impliziert, dass sich die Umstellung auf umweltfreundliche Beleuchtung für die Kommunen in höchstem Maße lohnt. Ferner kann damit ein nicht unwesentlicher Beitrag zur Reduzierung des allgemeinen CO₂-Ausstosses geleistet werden. Lichtverschmutzung und ihre Folgen werden deshalb als Topphema für die lokale Agenda 21 vorgeschlagen.

Summary

At first the issue is addressed to the question, what is light pollution and what is the dimension of this phenomenon? It is shown that it covers a range from both animal populations and ecosystems up to the global change level. Some special notes are given to public opposition against increasing light pollution, e.g. the austrian campaign 'Die helle Not/The light trouble', which is organized by the provincial government of Tyrol. Among animals the insects seem to be extremely sensitive to outdoor lighting because they have evolved special receptors within their eyes, which are mainly sensitive to ultraviolet radiation and the lower wavelengths of the visible spectrum. Therefore they are strongly influenced by all kinds of UV and visible light emitters which attract them magically, but additionally there are some other exogenic and endogenic factors which control their behavior towards light in the environment. It has been demonstrated that in the case of unsealed lamp enclosures these change to mass graves filled over and over with thousands of dead insects. A table is given summarizing some of the basic effects which influence both the physiology and ecology of insects. Some special terms are introduced describing the death struggle of insects around all kinds of light sources, e.g. captivation effect ('Fesseleffekt'), crash barrier effect ('Leitplankeneffekt'), and hoover effect ('Staubsaugereffekt'). In many cases insects become disorientated by these effects and are no longer able to perform such basic functions as nutrition and reproduction. Some results are shown from a study within the rural landscape of Rheinhessen, showing the strong impact of both high-pressure mercury and high-pressure sodium-xenon street lamps compared to high-pressure sodium lamps. The differences between these lamp types are quantified as capture ratios including all insect orders or moths alone. Additionally the influence of full and new moon and of temperature on the nocturnal activity of insects is shown. All these facts give reason to consider whether outdoor lighting is a serious threat of insects or not? Therefore some preliminary calculations have been performed on the dimension of insect mortality based on the size of the street lamp pool of a medium sized city like Kiel in Germany up to the state level of Germany. Thereafter some qualitative aspects are considered as to how species and populations with different life strategies may be influenced by lighting. First of all characteristics of their reproduction biology are regarded to be important and some terms like 'risk focussing' und 'risk displacement' are discussed. Finally some examples of how to reduce the energy loss by converting of older street light systems into modern lighting systems are given. Especially the change from high-pressure mercury to high-pressure sodium lamps may reduce the energy costs in a range of 30 to 70%. This implies that the modernization of public lighting is at least beneficial for the budgets of all townships and promotes

nature conservation, especially of insects. Furthermore it contributes to the general aim of modern environmental politics to reduce the emission of CO₂ significantly. Light pollution and its consequences should become one of the main topics of the local agenda 21.

1. Einleitung

Wenn sich schon die NASA eines Themas im Rahmen ihrer satellitengestützten Umweltüberwachung annimmt (Abb. 1), dann lässt es sich mit hoher Wahrscheinlichkeit einer Ebene zuordnen, die heute gewöhnlich mit dem englischen Begriff **'Global change'** charakterisiert wird. In der Tat, die Erde gewinnt in den siedlungsintensiven Gebieten des nachts immer mehr den Charakter einer Leuchtkugel, indem Myriaden künstlicher Lichtquellen ihre Energie in die Atmosphäre schicken. Über den Siedlungsgebieten breiten sich Lichtglocken aus, die in dunklen Nächten über viele Kilometer wahrgenommen werden. Dieses Phänomen wird von Fachleuten zunehmend mit dem Prädikat **'Lichtverschmutzung'** belegt. Natürlich ist damit nicht gemeint, dass Licht schmutzig ist, sondern dass es im Übermaß verbraucht und zunehmend als Störgröße im Naturhaushalt wirksam wird (MINISTERIUM FÜR UMWELT BADEN WÜRTTEMBERG 1990, SCHMIE-



Abb. 1: Europa bei Nacht via Satellit. Sowohl die Hauptstädte als auch Ballungszentren (Ruhrgebiet, Rhein-Main etc.) und Küstenlinien zeichnen sich besonders ab. Länder wie Belgien und die Niederlande emittieren nahezu flächendeckend.

DEL 1992, SCHANOWSKI & SPÄTH, 1994, MOLENAAR et al. 1997, 2000, KRIENER 2000). Für die Stadt Kiel gibt KOLLIGS (2000) für den Zeitraum 1949-1998 eine Zunahme des Leuchtenparks von 380 auf rund 20000 an. Nach HAAS et al. (1997) erhöht sich in der Bundesrepublik infolge von Erschließungsmaßnahmen die beleuchtete Fläche täglich um 1 km². Besonders betroffen von dem Zuviel an Licht sind die Astronomen, für die ein dunkler Himmel für die Beobachtung der Gestirne unabdingbar ist. Sie schließen sich heute in den 'dark sky-Gruppen' zusammen und führen einen weltweiten Kampf gegen die Lichtverschmutzung, wobei sie auch die Möglichkeiten des Internet intensiv nutzen¹. Zum Widerstand gegen die Lichterflut und ihre schädlichen Auswirkungen formieren sich zunehmend auch Biologen, Umweltverbände und umweltbewusste Bürger. So wird in Innsbruck vom Landesumweltanwalt des Landes Tirol die Aktion 'Die helle Not' unterstützt, durch die in der Bevölkerung das Problembewusstsein für die Auswirkungen von künstlichem Licht auf die Insektenfauna und besonders auf die Nachschmetterlinge geweckt werden soll². Aus der Summe zahlreicher Beobachtungen und Meldungen ist jedoch bekannt, dass neben den Insekten noch viele andere Tiergruppen durch künstliches Licht betroffenen sind, und es erwächst die berechnete Frage, ob Licht nicht zur generellen Bedrohung von Lebensgemeinschaften und letztendlich der gesamten Natur signifikant beiträgt. Ökologen betrachten heute als Haupt-

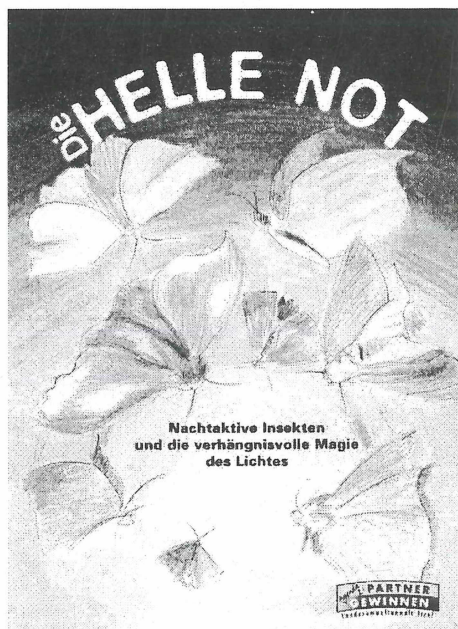


Abb. 2: Aktion 'Die helle Not' des Tiroler Landesumweltanwalts und des Tiroler Landesmuseums Ferdinandeum in Innsbruck.

¹ <http://www.lichtverschmutzung.de>

² Landesumweltanwalt, A-6020 Innsbruck, Brixnerstraße 2, <http://www.tirol.gv.at/landesumweltanwalt>

bedrohung für den Erhalt naturnaher Ökosysteme die Fragmentierung und Isolierung von Lebensräumen mit weitreichenden Folgen für das genetische Potential, doch ist dies nur die eine Seite der Medaille. Unsere Umwelt ist in immer stärkerem Maße allgemeinen und häufig latent wirkenden Umweltstressoren ausgesetzt wie Lärm, Verkehr, aggressiven Umweltchemikalien etc. Hinzu kommt die prognostizierte Zunahme extremer Klimaereignisse, wodurch sich das über lange Zeiträume angepasste Reaktionsmuster von Tier- und Pflanzenpopulationen verschieben kann.

2. Warum ist Licht so attraktiv für Insekten

Im folgenden möchte ich einige Argumente zusammentragen, warum gerade das Licht eine so starke Wirkung auf Tiere und besonders Insekten ausübt. Insekten verfügen häufig über sensibilisierende Proteine in ihren Augen, wodurch sich ihre Empfindlichkeit für UV-Licht im Wellenlängenbereich zwischen 300 und 400 nm erhöht (CLEVE 1967, MENZEL 1979). Dies gilt nicht für alle Taxa, doch sind vor allem nachtaktive Gruppen davon betroffen, etwa die Nachschmetterlinge. Auch der blau-grüne Bereich im Lichtspektrum zwischen 400 und 450 nm hat vermutlich noch große Bedeutung für die Anlockung, wie sich aus vergleichenden Experimenten mit unterschiedlichen Lampentypen ableiten lässt. Abb. 3 zeigt, welche Faktoren maßgeblich den Anflug von Insekten an künstliches Licht beeinflussen. Die wichtigsten abiotischen Faktoren sind dabei die Lichtqualität und die Temperatur, doch können sowohl das Mondlicht als auch die Windgeschwindigkeit größere Bedeutung erlangen. Von den biotischen Faktoren spielt das Biotopumfeld die wichtigste Rolle, wobei der Biotoptyp, der Grad der Naturnähe und die Vegetation an erster Stelle zu nennen sind. Unter Biologi-

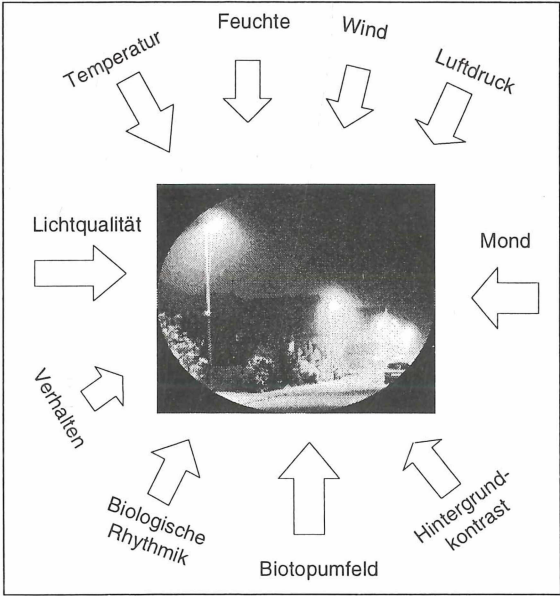


Abb. 3: Faktorenauswahl für den Anflug von Insekten an künstliches Licht in der Umwelt.

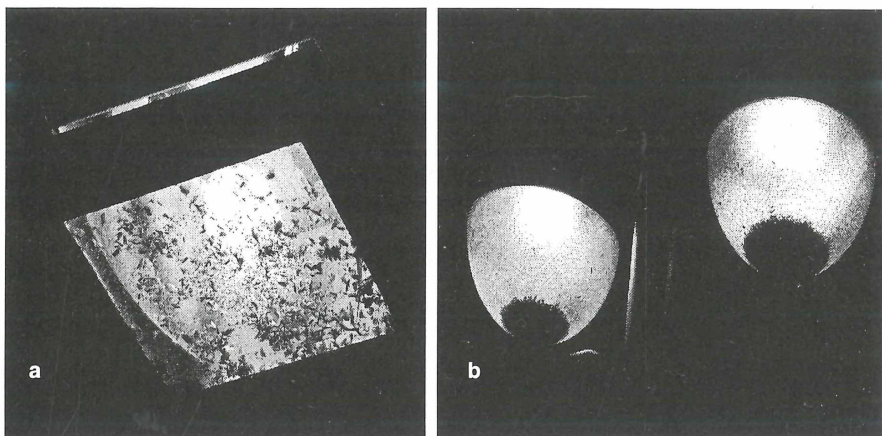


Abb. 4: Undichte Leuchtengehäuse als Massengräber für Insekten: a) Kastengehäuse mit klaffendem Deckel, b) fortschrittliche Halbkugelleuchten, jedoch ebenfalls mit undichten Stellen.

scher Rhythmik werden hauptsächlich entwicklungsbedingte Vorgänge verstanden, bei denen Licht als täglicher und saisonaler Zeitgeber eine Rolle spielt.

Beobachtungen über das Verhalten von Insekten an erleuchteten Objekten zeigen, dass diese in aller Regel magisch von den Lichtquellen angezogen und in den Bannkreis des Lichtes gefesselt werden. Sie geraten in endlose energiezehrende Schwirrflüge mit dem Ergebnis, dass viele von ihnen direkt an den heißen Leuchten verbrennen, im Umfeld der Leuchten verenden bzw. den dort lauernnden Feinden zum Opfer fallen. Hinzu kommt, dass viele Beleuchtungseinrichtungen technisch unvollkommen konstruiert sind und häufig aus Kostengründen oder Unkenntnis schlecht gewartet werden. Abb. 4 veranschaulicht, wie undichte Leuchtengehäuse zum Massengrab tausender von Insekten werden können. Wären die Gehäuse von vornherein dicht bzw. könnten sie nach Wartungseingriffen wieder dicht verschlossen werden, dann würden aufwendige Reinigungsaktionen entfallen, und es ließen sich enorme Kosten einsparen. Ganz zu schweigen von der besseren Lichtleistung sauberer Leuchtengehäuse. Das Verhalten der Arten gegenüber Lichtquellen ist schließlich durch ihre unterschiedliche Vagilität geprägt, ferner durch ihre Größe. Nach Beobachtungen von (KOLLIGS 2000) geraten die großen und schnellen Flieger, etwa die Noctuidae, häufiger in den Lichtkegel und somit in die Fallen als kleinere flugschwache Arten.

Die beobachteten und ableitbaren Schäden bei Tieren durch ihre Vorliebe für künstliche Lichtquellen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Fehlverhalten bei der Orientierung allgemein

z.B. Störungen von Wanderungszügen, permanente Punktorientierung ('Fesseleffekt') an Lichtquellen, Störungen durch 'Leitplankeneffekte' von Lichterketten, Flugkollisionen mit großen beleuchteten Bauwerken

- Störungen der Fortpflanzung und Reproduktion
- Störungen der Nahrungsbiologie
- Populationsverluste durch permanente Ausfälle an Individuen
z.B. Mortalität direkt an den Leuchten oder in ihrem Umfeld ('Staubsaugereffekt')
- Störungen im Hormonhaushalt
- Störungen in der Biorhythmik (im Tagesablauf und saisonal)
- Negative Energiebilanz

In der Summe ist zu erwarten, dass alle diese Effekte zu einer kontinuierlichen Schwächung der Insektenfauna und vor allem sensibler Populationen führen, doch besteht noch erheblicher Forschungsbedarf der Quantifizierung und Validierung.

3. Ergebnisse einer Projektstudie in Rheinhessen

Im Sommer 1997 wurde in der rheinhessischen Gemeinde Sulzheim der Anflug von Insekten an ortsübliche Straßenlaternen untersucht (EISENBEIS & HASSEL 2000 und EISENBEIS, in press). Projektpartner waren die Kreisgruppe Alzey Worms des BUND als Initiator und das Institut für Zoologie der Universität Mainz. Für die Unterstützung vor Ort wurde das Elektrizitätswerk Rheinhessen (EWR) gewonnen, dem die technische Betreuung und Beratung oblag. Eingesetzt wurden für den Insektenfang 19 Luft-
eklektoren (Abb. 5), die an drei Standorten von Ende Mai bis Ende September im Leuchtkegel ortsüblicher Straßenleuchten installiert waren. Sie wurden jeweils durch

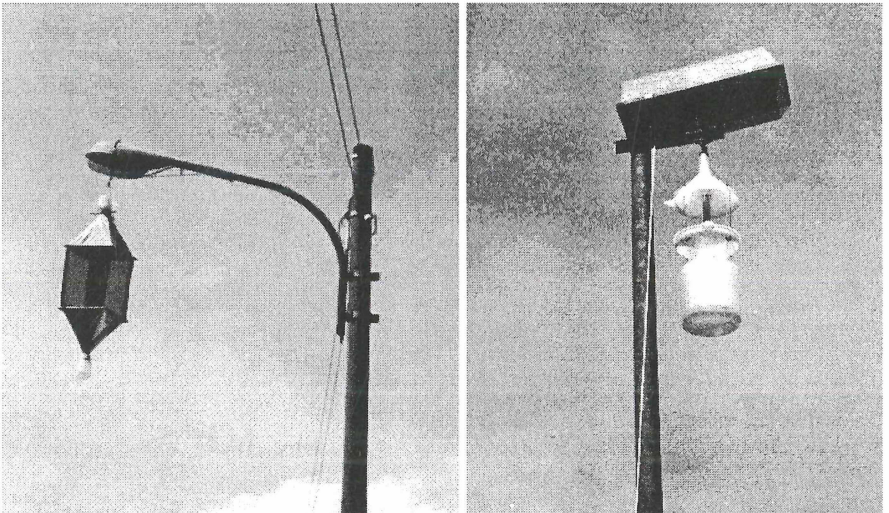


Abb. 5: Die von uns verwendeten Typen von Lufteklektoren (Fa. Behre/Bonn) mit vom EWR installierter Seilzugtechnik. An den Standorten wurde jeweils nur der gleiche Eklektortyp eingesetzt.

Mitarbeiter des BUND in den Abendstunden in Betrieb genommen und am darauffolgenden Morgen geleert. Als Ergebnis konnten 536 lampenspezifische Nachtfänge mit einer Gesamtzahl von 42210 Insekten ausgewertet werden. Verglichen wurden Straßenlaternen, die mit Quecksilberdampf-Hochdrucklampen bzw. Natriumdampf-Hochdrucklampen ausgerüstet waren. Erstere bilden heute noch das Gros der öffentlichen Beleuchtung, doch finden seit Jahren in zahlreichen Gemeinden verstärkt Umrüstungen auf das umweltfreundlichere Natriumdampflicht statt. Die Versuche waren so angelegt, dass der Vergleich zwischen den Hauptlichtarten -Quecksilberdampf- und Natriumdampflicht - an allen drei Standorten parallel und unter gleichen Witterungsbedingungen durchgeführt wurde. Daneben gab es noch einige Sonderversuche mit Quecksilberdampflicht betriebenen Straßenleuchten, bei denen das Lampenglas mit einer UV-Sperrfolie überklebt war, ferner wurden an einigen Leuchten die Lampen über mehrere Wochen täglich gewechselt, um eine gegenseitige Beeinflussung der Lichtarten auszuschließen. Schließlich wurde noch eine vom Hersteller als insektenfreundlich apostrophierte neue Lampenart untersucht, deren Licht etwas weißer getönt ist als das der konventionellen Natriumdampf-Hochdrucklampen. Es handelt sich hierbei um die Natrium-Xenondampf-Hochdrucklampen, die häufig in Innenstädten eingesetzt werden. Schließlich wurden einige Leuchten ganz ohne Lampenbestückung betrieben, um Daten über die allgemeine Nachtflugaktivität zu erhalten (sog. Dunkel-fänge = Kontrollfänge).

Abb. 6 zeigt das Hauptergebnis dieser Fänge bei den unterschiedlichen Lichtarten sowie mit UV-Sperrfolie und an den Kontrollmasten. Der eindeutig stärkste Anflug wurde für Quecksilberdampflicht gemessen, gefolgt von Natrium-Xenon- und Natriumdampflicht. Signifikante Wirkung zeigte die über das Lampenglas von Quecksilberdampfleuchten geklebte UV-Sperrfolie durch eine Reduktion der Fänge bis nahezu auf das Niveau der Kontrollfänge. Leider ergibt sich für die verwendete UV-Folie ein negativer Nebeneffekt, indem die Leuchtenintensität unter den zulässigen DIN-Wert

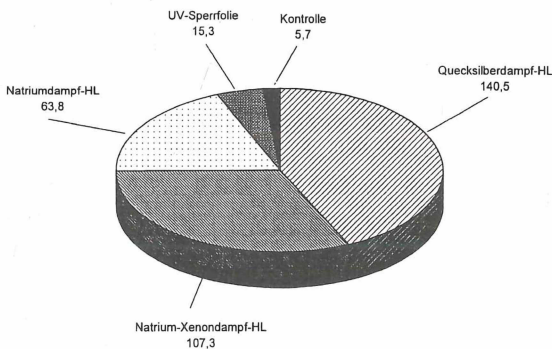


Abb. 6: Durchschnittliche Fallenfänge von Insekten - Individuen Eklektor⁻¹ Nacht⁻¹ - im Projekt Sulzheim. In den Zahlen sind auch die nur mäßigen Anflüge von Insekten an kühlen Abenden berücksichtigt. (verändert nach EISENBEIS & HASSEL 2000).

gesenkt wird, so dass diese Variante einer einfachen Leuchtenumrüstung (nach Maßgabe von Fachleuten) derzeit nicht in Frage kommt. Die maximale Fallenausbeute wurde in einer warmen Augustnacht an einer Quecksilberdampfleuchte mit 1663 Insekten registriert, wobei über 90% einer schwärmenden Käferart angehörten. Spitzenfänge von einigen Hundert Insekten und mehr wurden insgesamt nur im Juli und August registriert. Das Gros der Fänge ergab etwa 50 bis 200 Insekten pro Eklektor und Nacht.

Setzt man die in Abb. 6 gezeigten Werte in Beziehung zueinander, dann erhält man die Fangrelationen (Tab. 1). Hierbei zeigt sich, dass die durchschnittliche Fangquote für alle Insekten bei Natriumdampflicht um den Faktor 2,2 bzw. 55% geringer ausfällt als für das weiße Quecksilberdampflicht. Allerdings stellt sich jetzt die Frage, wie sich eine Insektengruppe verhält, die insgesamt noch wesentlich sensibler auf künstliches Licht reagiert als das Gros der Insekten. Hierbei fällt der Blick sofort auf die Schmetterlinge, bei denen nach Erhebungen in Tirol ca. 85% auf die Nachtschmetterlinge entfallen³. Tab. 2 zeigt wiederum das Ergebnis aus dem Projekt Sulzheim. Der Vergleich der Hauptlichtarten ergibt insgesamt einen um 75% reduzierten Anflug an die Natriumdampf-Hochdrucklampen mit z.T. noch deutlicheren Unterschieden an den Standorten. Dies unterstreicht die außerordentliche Bedeutung der richtigen, d.h. ökologisch verträglichen Lichtart für die Gruppe der Nachtschmetterlinge. Insgesamt fallen die hier gezeigten Fangrelationen im Vergleich zu früheren Untersuchungen noch moderat aus, denn es werden teilweise Unterschiede in den Lichtarten von bis zu 10:1 genannt (SCHANOWSKI & SPÄTH 1994).

Tab. 1: Vergleich der Fangrelationen zwischen Quecksilberdampf- und Natriumdampflicht.

	[Individuen Eklektor ⁻¹ Tag ⁻¹]		
	Quecksilber-	Natriumdampf-HL	Fangrelation Quecksilber-/Natriumdampf-HL
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

Tab. 2: Vergleich der Fangrelationen zwischen Quecksilberdampf- und Natriumdampflicht für die Lepidoptera (Nachtfalter und Kleinschmetterlinge).

	[Individuen Eklektor ⁻¹ Nacht ⁻¹]		
	Quecksilber-	Natriumdampf-HL	Fangrelation Quecksilber-/Natriumdampf-HL
Alle Standorte	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

³ Quelle: Aktion Die Helle Not/Innsbruck

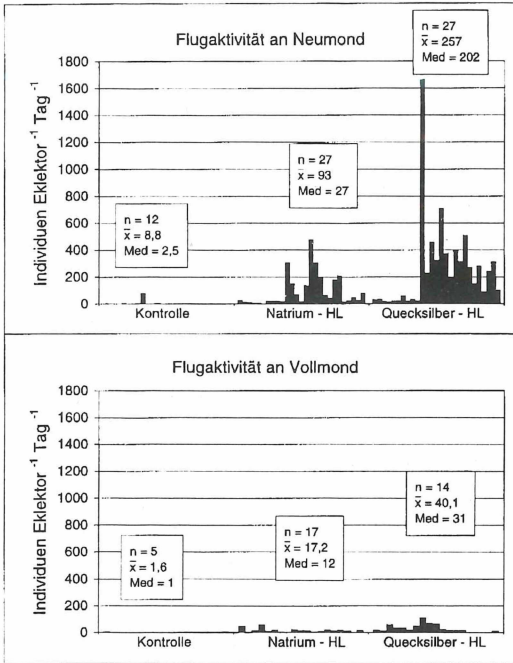


Abb. 7: Flugaktivität von Insekten an Neu- und Vollmond bzw. den angrenzenden Tagen. $\bar{x}$ = Mittelwerte, Med = Mediane.

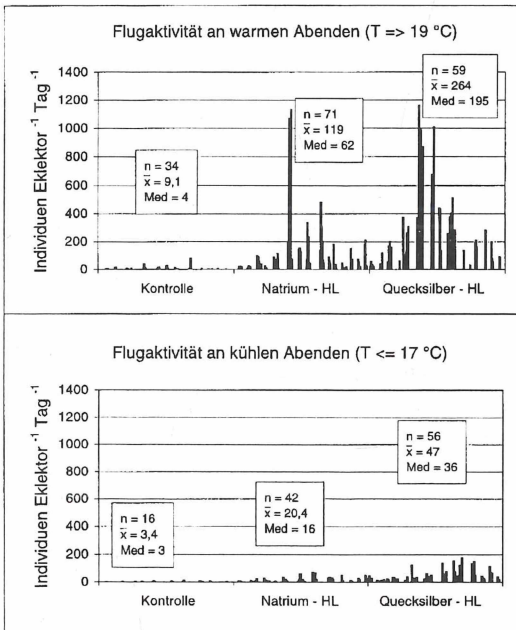


Abb. 8: Flugaktivität von Insekten an warmen und vergleichsweise kühlen Abenden. $\bar{x}$ = Mittelwerte, Med = Mediane

Neben dem signifikanten Einfluss der künstlichen Lichtquellen bleiben die natürlichen Lichtquellen weiterhin von überragender Bedeutung für das Nachtflugverhalten von Insekten. Dies ergibt sich vor allem aus dem Vergleich der Flugdaten in den Mondnächten (Abb. 7). An Vollmond halten sich die Insekten weitgehend von den künstlichen Lichtquellen fern, die Fallen bleiben fast leer. Als Deutung bietet sich der reduzierte Hintergrundkontrast vor allem bei Vollmond an. Das Licht des Vollmondes konkurriert offenbar mit dem künstlichen Licht, die Sogwirkung der Leuchten lässt nach. Einen vergleichbar starken Einfluss übt die Temperatur aus. Hierzu wurden solche Fangnächte ausgewählt, in denen die Temperatur um 22 Uhr Sommerzeit noch deutlich über 18 °C lag. Dem gegenübergestellt wurden die Daten aus Nächten mit relativ kühler Abendtemperatur (Abb. 8). Auch hier zeigt sich eine deutliche Konzentration der Anflüge an die Leuchten in den warmen Nächten. Als weniger gravierend erwies sich der Einfluss der Feuchtigkeit. Sie spielt als Co-Faktor für das Verhalten von Insekten sicherlich eine Rolle, doch bleibt der dominierende Faktor stets die Temperatur.

4. Ist die Diversität der Insekten durch Lichtüberflutung bedroht?

Berücksichtigt man die Ergebnisse früherer Untersuchungen zu diesem Thema, so ergeben sich starke Hinweise für bereits vorliegende Leerfangeffekte in den Siedlungsgebieten. Vergleichende Fänge zwischen naturnahen Landschaftsabschnitten und anthropogen stark geprägten Biotopen weisen eine deutliche Abnahme in der Anflugdichte auf. So konnte BAUER (1993) zeigen, dass von den 40522 an den Leuchten gefangenen Insekten 63% auf den naturnahen Standort entfielen. Die Fangausbeuten in den untersuchten drei Ortsteilen fielen hingegen vergleichsweise mager aus. Zu einem ähnlichen Schluss kommt man nach der Untersuchung von SCHEIBE (1999), der in einer Nacht an einem Bach in einem entlegenen Taunustal rund 12000 Insekten an einer Leuchte erbeutete. Die in unserer Untersuchung in Rheinhessen festgestellten Zahlen repräsentieren wahrscheinlich einen mittleren bis unteren Bereich, wie er für sog. ausgeräumte waldfreie Kulturlandschaften zu erwarten ist. Alles spricht dafür, dass die Lichtfänge mit der Insektendichte einer Landschaft oder eines Ökosystems korrelieren. Allerdings gibt es eine große Unbekannte. Der Anteil der tatsächlich zu Tode kommenden Insekten an der Grundgesamtheit des nächtlichen Anfluges ist nicht bekannt und kann bis dato nur geschätzt werden. Beobachtungen und Aufsammlungen im Umkreis der Leuchten machen einen zweistelligen Prozentanteil wahrscheinlich. Allerdings weiß man schon etwas genauer Bescheid, welcher Anteil der an die Leuchten anfliegenden Insekten in den Fallen landet. BAUER (1993) verglich die Fangaktivität seiner Fallen für verschiedene Insektenordnungen und ermittelte eine Bandbreite für das Verhältnis von Anflug und Fangergebnis von fast 1:1 bis 41:1. Käfer und Wasserwanzen (Corixiidae) wurden nahezu zu 100% mit den Fallen erfasst, Eintagsfliegen (1,4:1) und Makrolepidopteren (1,6:1) landeten zu deutlich mehr als die Hälfte in den Fallen, während die Anteile von Nematoceren (7:1) und Microlepidopteren (41:1) im unteren Prozentbereich lagen. Nach Bauers Beobachtungen ist der Fallenanteil von der Größe und Fluggeschwindigkeit der Insekten abhängig. Die Gesamtfangaktivität für Insekten betrug rund 3:1.

Die folgenden Berechnungen erfolgen demzufolge unter der Annahme, dass die Fallenausbeute etwa 33% eines nächtlichen Anfluges repräsentiert. Bei durchschnittlich 150 Insekten pro Falle und Nacht ergibt sich ein Gesamtanflug von rund 450 Insekten. Bei einer weiteren Annahme, dass die effektive Populationsstörung (= Mortalität + Störung der natürlichen Funktionen wie Nahrungsaufnahme und Fortpflanzung) ebenfalls im Bereich von 33% des Anfluges liegt, folgt, dass die Fallenfänge somit in etwa ein Maß für die nächtliche Abnahme der Insekten sein könnten. Bei einem Leuchtenpark von 20000 Lichtquellen (Straßenlaternen) würde dies bedeuten, dass in einer Nacht rund 3 Millionen Insekten zu Tode kommen bzw. eine Störung erleiden. Hochgerechnet auf drei Flugmonate kommt man zu einer Zahl, die sich bereits der Grenze des Vorstellungsvermögens nähert, ca. 270 Millionen. Dies wäre die Zahl, die man für Kiel – Einwohnerzahl ca. 240000 - etwa für die Straßenbeleuchtung annehmen müsste. Leider ist mir die Zahl der in Deutschland installierten Leuchten nicht bekannt. Auch hier kann wieder nur eine spekulative Hochrechnung helfen. Bei derzeit 82 Mill. Einwohnern käme man bei der in Kiel festgestellten Einwohner/Lampenrelation - 12 Einwohner auf eine Straßenleuchte - auf ca. 6,8 Mill. Leuchten. Für die genannte mittlere Anflugdichte ergäbe sich eine Zahl von einer Milliarde und 20 Millionen pro Nacht und 91,8 Milliarden über drei Monate. Da die Leuchtdichte in den ländlichen Gebieten jedoch geringer ist, müsste diese Zahl reduziert werden. Für naturnahe Gebiete und strukturreiche Waldgebiete sind allerdings wesentlich höhere Flugraten zu veranschlagen, so dass die obige Berechnung vermutlich weit untertrieben ist. HAUSMANN (1992) bilanzierte den Anflug von Schmetterlingen an eine punktförmige Lichtquelle in Süditalien mit 5000 Tieren pro Monat. Dies entspricht etwa 166 Tieren pro Nacht, d.h. größenordnungsmäßig korrespondiert dieser Anflug gut mit unseren Zahlen. Schließlich taucht in obiger Berechnung die Zahl der unzähligen privaten Leuchten sowie der dekorativen Leuchtflächen nicht auf und mitzuberücksichtigen sind auch noch die Leuchtenparks von Industrieeinrichtungen. BAUER (1993) lieferte auch Zahlen, die Hinweise zur Größenordnung der Mortalität geben. So sammelte er für einige Insektenordnungen von nur mäßig warmen Leuchtgehäusen die toten Insekten des morgens ab, wobei sich Anteile von 10-76 % des Gesamtfanges ergaben. An sehr heißen Lampen dürften sich die Anteile noch signifikant erhöhen, ferner wurden von Bauer die noch im Umfeld der Leuchten befindlichen toten Insekten nicht miterfasst. Deshalb dürfte die zugrundegelegte Mortalitätsrate von 33% eher untertrieben sein.

Meine Absicht war es, mit dieser Berechnung einen Anriss der Dimensionen zu geben, mit denen man rechnen muss. Da künstliches Licht nur als ein Umweltstressor unter vielen zu gelten hat, so unterstreicht dies umso mehr die katastrophale Lage und Perspektive für Natur und Umwelt und besonders für die Insekten. Niemand kennt die Zahl der an Windschutzscheiben getöteten Insekten im Laufe einer Sommerperiode, doch jeder weiß, dass diese Zahl ebenfalls sehr hoch ist.

Neben dieser mehr quantitativen Betrachtung gibt es noch qualitative Aspekte, die das Thema Diversität berühren. Es geht um den Gefährdungsgrad für bestimmte Insektengruppen und einzelne Arten. MIETH & KOLLIGS (1996) und KOLLIGS (2000) analysier-

ten etwas genauer die Zusammensetzung der Schmetterlingsfauna und mögliche Verhaltensmuster von Arten gegenüber einer flächenhaften Großlichtquelle und normalen Punktlichtquellen. Detaillierte Angaben zum Verhalten einzelner Arten stammen auch von BAUER (1993). So gibt es einzelne Arten, die ganz anders auf die Lichtarten reagieren als das Gros der Insekten. Als Beispiel nennt er die Baumwanze *Pentatoma rufipes*, die mit einer positiven Fangrelation von 1,54 auf das gelbe Natriumdampflicht reagiert. Dies sind aber Ausnahmen, die prozentual kaum ins Gewicht fallen. Ferner gibt es in dem weiten Spektrum an Gruppen und Formen natürlich auch solche, die sich wenig um die künstlichen Lichtquellen kümmern und anscheinend unbeeinflusst ihre Nachtflüge durchführen (KOLLIGS 2000).

Was den Gefährdungsgrad betrifft, so sind es vor allem die standortstreuen und spezialisierten Arten und Gruppen (k-Strategen), die in höchstem Maße durch die Lichtquellen gefährdet gelten müssen, etwa Pflanzensauger und Blütenbesucher aus den Gruppen der Wanzen, Zikaden und Schmetterlinge. Ferner solche Arten, die in naturnahen Relikträumen von Siedlungsgebieten leben und deren Ressourcen bedroht sind. Aus der Phänologie der Fänge lässt sich ferner ableiten, dass sich die Flugzeiten von Arten und Gruppen beträchtlich unterscheiden. Von Wasserinsekten ist bekannt, dass sie häufig in ganz kurzen Zeiträumen schlüpfen, ihre Fortpflanzungsperiode ist folglich eng begrenzt. In unserem Sulzheimer Projekt traten denn auch die rund zweitausend Köcherfliegen an zwei sehr dicht aufeinander folgenden Flugperioden an den Lampen auf. Dies bedeutet, dass sich bei solchen Alles- oder Nichts-Schlüpfen die Fortpflanzung in einem sehr engen Zeitfenster abspielt. Gerade solche Arten und Gruppen müssen als höchst gefährdet gelten. Störungen ihrer Populationsbiologie durch den massenhaften Entzug von Individuen sind geradezu vorprogrammiert. Das Überlebensrisiko für diese Populationen ist in höchstem Maße zeitlimitiert. EISENBEIS (in press) hat dafür den Begriff des 'risk focussing' geprägt. Ein Ereignis größeren Ausmaßes ist das Schwärmen der heimischen Eintagsfliege *Ephoron virgo*, die an beleuchteten Uferanlagen (zit. als sommernächtliches 'Schneetreiben') in solchen Massen auftritt, dass die Tiere häufig zentimeterdick mit einer klebrigen Masse die Straßen bedecken (KURECK, 1992; TOBIAS, 1996). Dies ist letztlich ein durch Licht verursachtes Fehlverhalten, da die Weibchen ihre Geschlechtsprodukte an der falschen Stelle abklatschen und in der Umgebung der Lampen zugrunde gehen.

Umgekehrt dürfte sich für andere Insekten mit breiterem Zeitfenster für Nahrungserwerb und Fortpflanzung das Risiko gegenüber künstlichem Licht mehr verteilen. EISENBEIS (in press) klassifizierte ein solches Verhalten als 'risk displacement'. Daraus müssten solchen Populationen langfristig Vorteile erwachsen, d.h. sie müssten sich robuster gegenüber dem Lichteinfluss verhalten. KOLLIGS (2000) nennt in diesem Zusammenhang die Käfer und die Dipteren. Gerade die Dipteren, die sich mit ihren im Boden lebenden Larven maßgeblich an der Zersetzung des pflanzlichen Bestandesabfalls beteiligen, sind in ihren Nahrungsansprüchen kaum ressourcenlimitiert. Zwar konnte FELDMANN (1992) zeigen, dass das Schlüpfen einzelner Arten aus einem Waldboden sukzessiv in vergleichsweise kurzen Abständen erfolgt (Strategie zur Vermei-

dung der Nischenüberlappung), doch sind die Zeiträume wesentlich gedehnter als etwa bei den Wasserinsekten.

Grundsätzlich lassen sich also Gefährdungspotentiale für Ordnungen, Familien und Arten diskutieren, doch sind sichere Aussagen bei dem gegenwärtigen Kenntnisstand noch nicht möglich. Es muss aber mit Sicherheit von einer pauschalen Gefährdung ausgegangen werden, die langfristig zu einer steten Abnahme der Insektenfauna beiträgt. Die von der Aktion 'Die Helle Not' genannten Zahlen, dass von den in Tirol nachgewiesenen 2700 Schmetterlingsarten rund 85% nachtaktiv sind, unterstreicht die Bedeutung des künstlichen Lichtes für diese Insektengruppe. Sie verrichtet, von den meisten Menschen unbemerkt, des nachts ihre Blütenbesuche zur Blütenbestäubung. Ein Rückgang der Population der Nachtschmetterlinge durch künstliches Licht impliziert deshalb negative Auswirkungen auch auf die Pflanzenvielfalt.

Die Älteren unter uns werden sich sicher daran erinnern, dass etwa in den 50/60-iger Jahren die Windschutzscheiben der Autos meist schon nach kurzen Intervallen über und über mit Insekten übersät waren, man war gezwungen, sie häufig zu reinigen. Heute reduziert sich dies nach meiner persönlichen Erfahrung weitgehend auf einige wenige Aktionen während des Sommers. Natürlich unterscheiden sich die Landschaften hinsichtlich ihrer Insektenfauna voneinander, doch ist die Umweltbelastung heute allgegenwärtig. Letztendlich spiegelt sich in solch simplen Beobachtungen die stete Abnahme der Diversität der Insekten.

5. Gutes Licht und Energieersparnis – kein Gegensatz

Das von der Leuchtentechnik vorgelegte Datenmaterial erlaubt ein eindeutiges Plädoyer für die Umrüstung alter, noch mit Quecksilberdampflicht betriebener öffentlicher Beleuchtungen auf die moderne, umweltfreundliche Lichttechnik. Die Erhaltung und Pflege des Leuchtenpools ist für die Kommunen und Stadtwerke ein gewichtiger Kostenfaktor. Die Argumente für die Umstellung auf Natriumdampf-Hochdrucklampen seien kurz (nach div. Quellen) aufgelistet:

- 30-70% geringerer Energieverbrauch bei meist günstigerer Lichtausbeute moderner Lampen/Leuchtensysteme und Minderung der Betriebsenergie. Jährliche Ersparnisprognose pro Leuchte ca. 30 DM und mehr
- Verminderte Wartungskosten durch:
 - geringere Verschmutzung der Leuchtengehäuse durch Insekten,
 - höhere Langlebigkeit der Natriumdampflampen
- Größere Reichweite der Natriumdampfleuchten
- Bessere Sichtbarkeit des gelbgetönten Natriumdampflichtes bei Nebel
- Keine Entsorgungsprobleme für Quecksilber

Eisenbeis & Hassel (2000) stellten einen Kostenvergleich für die Errichtung eines Leuchtenpools aus 50 Einheiten für ein Neubaugebiet vor. Hierbei wurden nach DIN 5035 die jährlichen Kapitalkosten für die Leuchten, ausgerüstet mit 135 Watt Quecksilberdampf- bzw. 80 Watt Natriumdampf-Hochdrucklampen, sowie die Energie- und Wartungskosten für eine Standzeit von 20 Jahren berechnet. Obwohl die Kapitalkosten für die Natriumdampfbeleuchtung etwas höher ausfallen, so rechnet sich doch die Entscheidung für diese Lichtart. Es ergibt sich eine jährliche Ersparnis von rund DM 1570. Darin fehlen noch die reduzierten Kosten für verlängerte Wartungsintervalle und weniger Reinigungsaufwand. Ferner sind noch erhebliche Einsparungen durch Zeitschaltungen, sog. Teilnachtschaltungen, möglich. In der Summe sind Energieeinsparungen bis zu 70% möglich.

Betrachtet man dies vor dem Hintergrund der politischen Entscheidungen für eine Reduktion des Energieverbrauchs und der CO₂-Emission in Deutschland und weltweit, so gewinnt die Umstellung auf umweltfreundliches Licht noch an Bedeutung. Nach Berechnungen der Fa. AEG-Lichttechnik (Vortrag Dipl.-Ing. Class vor den Mainkraftwerken in Frankfurt November 2000) reduziert sich der Energieverbrauch und äquivalent dazu die CO₂-Emission durch Umstellung auf Natriumdampflicht wie folgt (Tab. 3-5).

Tab. 3: Energie- und CO₂-Bilanz für die einfache Umrüstung einer Altleuchtenanlage durch Austausch der Lampen und des Betriebsgerätes. Quelle: AEG-Lichttechnik.

	Altanlage	Neuanlage	Änderung	
	2xHPL 125W Quecksilberdampflampen	2xSON 70W Natriumdampflampen	abs.	%
Energieverbrauch bei Volllast	280Wx11h/d = 3,08 kWh/d	160Wx11h/d = 1,76 kWh/d	-1,32 kWh/d	-43
Energieverbrauch bei Teillast	280Wx5h+140Wx6h = 2,24 kWh/d	160Wx5h+80Wx6h = 1,280 kWh/d	-0,96 kWh/d	-43
CO ₂ -Äquivalente bei Volllast	1,848 kg/d	1,056 kg/d	-0,792 kg/d	-43
CO ₂ -Äquivalente bei Teillast	1,344 kg/d	0,768 kg/d	-0,576 kg/d	-43
Anmerkung: Bei diesem Beispiel reduziert sich die Lichtausbeute der Leuchten, doch lässt sich dies durch eine Verringerung des Mastabstandes um 1 m korrigieren.				

Ein letzter Vergleich soll zeigen, dass bei entsprechender Wahl moderner Beleuchtungssysteme Einsparungen pro Kilometer Leuchtstrecke von bis zu 70% zu erreichen sind (Tab. 6). Vor dem Hintergrund des Millionenpools an Leuchten weltweit ergibt sich somit eine Reduktionsmöglichkeit für den Energieverbrauch fast zum Nulltarif, d.h. ohne Minderung der geforderten Beleuchtungsstärke für bestimmte Straßen und

Tab. 4: Energie- und CO₂-Bilanz für die Umrüstung einer Altleuchtenanlage durch Austausch der gesamten Leuchte (Leuchten mit geändertem optischem System) Quelle: AEG-Lichttechnik.

	Altanlage	Neuanlage	Änderung	
	2xHPL 125W Quecksilberdampflampen	1xSON 150W Natriumdampflampen	abs.	%
Energieverbrauch bei Volllast	280Wx11h/d = 3,08kWh/d	170Wx11h/d = 1,87 kWh/d	-1,21 kWh/d	-39
Energieverbrauch bei Teillast	280Wx5h+140Wx6h = 2,24 kWh/d	170Wx5h+100Wx6h = 1,45 kWh/d	-0,79 kWh/d	-35
CO ₂ -Äquivalente bei Volllast	1,848 kg/d	1,122 kg/d	-0,726 kg/d	-39
CO ₂ -Äquivalente bei Teillast	1,344 kg/d	0,870 kg/d	-0,474 kg/d	-35
Anmerkung: Bei diesem Beispiel erhöht sich die Lichtausbeute der Natriumdampf-Leuchte um 3600 lm; dennoch vermindert sich der Energieverbrauch.				

Tab. 5: Energie- und CO₂-Bilanz für die Umrüstung einer Altleuchtenanlage durch Austausch der gesamten Leuchte (Leuchten mit optimierter Optik und Klarglaskolbenlampe). Quelle: AEG-Lichttechnik.

	Altanlage	Neuanlage	Änderung	
	2xHPL 125W Quecksilberdampflampen	1xSON-T Plus 100W Natriumdampflampen	abs.	%
Energieverbrauch bei Volllast	280Wx11h/d = 3,08 kWh/d	115Wx11h/d = 1,265 kWh/d	-1,815 kWh/d	-59
Energieverbrauch bei Teillast	280Wx5h+140Wx6h = 2,24 kWh/d	115Wx5h+90Wx6h = 1,115 kWh/d	-1,125 kWh/d	-50
CO ₂ -Äquivalente bei Volllast	1,848 kg/d	0,759 kg/d	-1,089 kg/d	-59
CO ₂ -Äquivalente bei Teillast	1,344 kg/d	0,669 kg/d	-0,675 kg/d	-50
Anmerkung: Bei diesem Beispiel vermindert sich zwar die Lichtausbeute der Lampe, doch durch die verbesserte Optik erhöht sich das Leuchtdichteniveau um 25%.				

ohne gravierende Einschränkung für den einzelnen Bürger. Leider scheint dies den Verantwortlichen in Politik und Wirtschaft kaum bewusst zu sein. Berücksichtigt man nun noch den hohen Schutzeffekt des umweltfreundlichen Lichts für den Naturhaushalt und die Insekten, dann dürfte die Entscheidung dafür umso leichter fallen.

Bei den in Tab. 3-5 gezeigten Berechnungen wurde 1 kWh mit 0,6 kg CO₂ gleichgesetzt (Quelle: AEG-Lichttechnik). Da die tägliche Energieersparnis pro Leuchte nach

Tab. 6: Vergleichende Energieberechnung für 1 km Leuchtstrecke unter Berücksichtigung der DIN 5044 für Quecksilberdampfbeleuchtung (=100%) und Natriumdampfbeleuchtung.
Quelle: AEG-Lichttechnik.

Lampenbestückung	Leuchten km ⁻¹	Energieverbrauch	%
2xHPL 125 W	42	11,760 kW	100
2xSON 70 W	44	7,040 kW	60
1xSON 150W	34	5,780 kW	49
1xSON-T 100 W	34	3,910 kW	33
1xSON-T 70W TO	46	3,680 kW	31
1xSON-T 100W TO	31	3,565 kW	30

der Umrüstung in etwa diesem Wert entspricht, so ergibt sich für einen Leuchtenpool von 6,8 Mill. Leuchten eine Ersparnis von 6,8 Mill. kWh bzw. rund 4 Mill. kg CO₂.

In Gesprächen mit Vertretern der Leuchtenindustrie im Rahmen einer Fachtagung zum Thema Beleuchtung gewann ich den Eindruck, dass für Teile der Industrie die Umstellung der öffentlichen Beleuchtungsanlagen auf das umweltfreundliche Natriumdampflicht primär nur wegen der damit verbundenen Energiespareffekte von Interesse sei. Der Schutz der Insekten sei, so wurde mir versichert, für die Industrie kein Thema, sondern nur ein positiver Nebeneffekt. Dies kann so nicht hingenommen werden. Diese Haltung berührt die allgemeine Verantwortung für die Natur und das Vorsorgeprinzip, das mittlerweile Bestandteil zahlreicher Gesetze geworden ist. Eine Pro- und Kontraddiskussion für die Umstellung auf umweltfreundliches Licht ist beim gegenwärtigen Kenntnisstand überflüssig, da die Fakten klar sind. Vor dem Hintergrund von Prognosen, dass bis zur Mitte dieses Jahrhunderts etwa 50% des derzeitigen Artenbestandes an Tieren ausgelöscht sein wird, darf es kein Zögern geben, das umweltfreundliche Licht in möglichst allen Kommunen zu etablieren. Glücklicherweise sind manche Firmen mehr und mehr gegenüber einer modernen Leuchtentechnik aufgeschlossen, indem sie die Forschung und Produktion umweltgerechter Leuchten- und Lampentechnik fördern. Auch die Deutsche Lichttechnische Gesellschaft (LTG) in Berlin und die Fördergemeinschaft 'Gutes Licht' in Frankfurt unterstützen diese Bestrebungen. Beispielhaft ist die Broschüre der LTG 'Zur Einwirkung von Außenbeleuchtungsanlagen auf nachtaktive Insekten' (STECK 1997).

6. Künstliches Licht in der Umwelt – ein Thema für die Lokale Agenda 21

Schaut man in den Wegweiser des Bundesumweltministerium für die 'Lokale Agenda 21', so findet sich im Fachthemenkatalog kein Hinweis auf das Thema Licht und Umwelt bzw. Lichtverschmutzung, auch nicht in den Sektionen Energie und Naturschutz und Landespflege. Eine Anfrage beim Umweltbundesamt (Stand März 2001) ergab, dass sich derzeit auch kein Referat mit dem Thema der Lichtverschmutzung befasst. Auf lokaler Ebene scheint dies schon etwas anders zu sein, da sich in vielen Gemeinden bereits Agenda 21 Gruppen etabliert haben und Agenda 21 Prozesse zu den verschiedensten Aspekten in Gang gekommen sind. Das Thema der öffentlichen Beleuch-

tung ist dabei meist unter dem Gesichtspunkt der Energieeinsparung eingebunden, weniger im Hinblick auf den Insekten- und Naturschutz. Das allgemeine Thema der Lichtverschmutzung wird als Problem erst in seltenen Fällen erkannt.

Dies sollte sich in Zukunft ändern. Das Modell der umweltfreundlichen Beleuchtung muss in die allgemeinen Maßnahmenkataloge aller Entscheidungsebenen aufgenommen werden. Dies gilt im besonderen für die kommunalen Träger und Bildungseinrichtungen, denen die Aufgabe der Aufklärung im privaten Sektor zufällt. Der sparsame Umgang mit dem Licht muss zu einem TopptHEMA für alle werden. Erfreulich, dass sich auch immer mehr Schulen und Arbeitsgemeinschaften dafür interessieren, denn hier wird das Fundament für nachhaltiges Denken und Bewusstsein gelegt. Die Forderung von KRIENER (2000): 'Macht das Licht aus', klingt wörtlich genommen etwas übertrieben, doch trifft sie den Kern des Problems.

7. Danksagung

Diese Arbeit wurde dankenswerterweise von der Feldbauschstiftung beim Fachbereich Biologie in Mainz unterstützt.

8. Literatur

- BAUER, R. (1993): Untersuchung zur Anlockung von nachtaktiven Insekten durch Beleuchtungseinrichtungen. - Diplomarbeit am Fachbereich Biologie, Universität Konstanz.
- CLEVE, K. (1967): Das spektrale Wahrnehmungsvermögen nachts fliegender Schmetterlinge. - *Nachr. Bayer. Entomol.* **16** (5/6): 33-55.
- EISENBEIS, G. & F. HASSEL (2000): Zur Anziehung nachtaktiver Insekten durch Straßenlaternen – eine Studie kommunaler Beleuchtungseinrichtungen in der Agrarlandschaft Rheinhessens. - *Natur und Landschaft* **75**, 4/2000: 145-156.
- EISENBEIS, G. (2001, in press): Künstliches Licht und Insekten: eine vergleichende Studie in Rheinhessen.
- FELDMANN, R. (1992): Die Bodenfauna im Lennebergwald. 1. Die Dipteren. - *Mainzer Naturw. Archiv* **30**: 171-241.
- HAAS, R., KRÄLING, W. & R. BOULOIS (1997): Lichtkontamination. - *UWSF - Z. Umweltchem. Ökotox.* **9**: 24.
- HAUSMANN, A. (1992): Studies of the mass mortality of moths around a spot light near municipal lights (Lepidoptera, Macroheterocera). - *Atalanta (Marktleuthen)* **23**: 411-416.
- INTERNETLINKS zum Thema Licht und Lichtverschmutzung:
<http://Licht.de>
<http://Lichtverschmutzung.de>
<http://deborapd.astro.it/cinzano/defaulten.html> (Referenzliteratur zur 'light pollution')

- KOLLIGS, D. (2000): Ökologische Auswirkungen künstlicher Lichtquellen auf nachtaktive Insekten, insbesondere Schmetterlinge (Lepidoptera). - Dissertation, Universität Kiel.
- Kolligs, D. (2000): Ökologische Auswirkungen künstlicher Lichtquellen auf nachtaktive Insekten, insbesondere Schmetterlinge (Lepidoptera). - Faunistisch-Ökologische Mitteilungen, Suppl. **28**.
- KRIENER, M. (2000): Macht das Licht aus! - Natur & Kosmos **3/2000**: 26-36.
- KURECK, A. (1996): Das Massenschwärmen der Eintagsfliegen am Rhein. Zur Rückkehr von *Ephoron virgo* (Olivier 1791). - Natur und Landschaft **67** 9/1992: 407-409.
- MENZEL, R. (1979): Spectral sensitivity and colour vision in invertebrates. - In: AUTRUM, H. (ed.): Handbook of Sensory Physiology. - Vol. **VIII/ 6A**: 503-580, , Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- MIETH, A. & D. KOLLIGS (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, UBA Fachbibliothek Nr. 96-084, Berlin.
- MINISTERIUM FÜR UMWELT BADEN WÜRTTEMBERG (ed.) (1990): Insektenfreundliche Beleuchtungen – Auswirkungen großer Beleuchtungsanlagen auf nachtaktive Tiere, insbesondere Insekten. - 17 S., Stuttgart.
- MOLENAAR, J.G. DE, JONKERS, D.A. & R.J.H.G. HENKENS (1997): Wegverlichting en Natuur. - Ministerie van Verkeer en Waterstaat (ed.), DWW serie Ontsnipperingsreeks deel **34**, 292 pp., Delft, Netherlands.
- MOLENAAR, J.G. DE, JONKERS, D.A. & M.E. SANDERS (2000): Road illumination and nature. III. Local influence of road lights on a black-tailed godwit (*Limosa l. limosa*) population. - DWW serie Ontsnipperingsreeks deel **38A**, 85 pp., Delft, Netherlands.
- SCHANOWSKI, A. & V. SPÄTH (1994): Überbelichtet – Vorschläge für eine umweltfreundliche Außenbeleuchtung. - Naturschutzbund Deutschland Kornwestheim (ed.), Kornwestheim.
- SCHEIBE, 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.
- SCHMIEDEL, J. (1992): Auswirkungen von künstlichen Lichtquellen auf die wildlebende Tierwelt. - Diplomarbeit am Institut für Landschaftspflege und Naturschutz der Universität Hannover.
- STECK, B. (1997): Zur Einwirkung von Außenbeleuchtungsanlagen auf nachtaktive Insekten. - In: Deutsche Lichttechnische Gesellschaft (ed.), LiTG-Publikationen **15**: 1-24, Berlin.

TIROLER LANDESUMWELTANWALT (ed.) (2001): Aktion 'Die Helle Not'. - 36 S., Brixnerstraße 2, A-6020 Innsbruck.

TOBIAS, W. (1996): Sommernächtliches 'Schneetreiben' am Main. Zum Phänomen des Massenfluges von Eintagsfliegen. - Natur und Museum (Frankfurt/M.) 2/1996: 37-54.

Prof. Dr. Gerhard Eisenbeis
Institut für Zoologie der Universität
Fachbereich Biologie
D 55099 Mainz
e-mail: Geisenbe@mail.uni-mainz.de

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen des Westdeutschen Entomologentag Düsseldorf](#)

Jahr/Year: 2001

Band/Volume: [2000](#)

Autor(en)/Author(s): Eisenbeis Gerhard

Artikel/Article: [Künstliches Licht und Lichtverschmutzung - eine Gefahr für die Diversität der Insekten? 31-50](#)