

**Zur Anlockwirkung öffentlicher Beleuchtungseinrichtungen auf
nachtaktive Insekten**

**Hinweise für Freilandversuche im Wiener Stadtgebiet zur
Minimierung negativer Auswirkungen**

Studie im Auftrag der MA 22 (Umweltschutz)

Endbericht

Helmut Höttinger & Wolfram Graf

Wien, Dezember 2003

INHALT

1	Einleitung	3
2	Umwelt- und artenschutzrelevante Aspekte der „Lichtverschmutzung“	4
2.1	Warum fliegen nachtaktive Insekten überhaupt Lichtquellen an?	4
2.2	Grundlagen der Wahrnehmung des Lichtes durch Insekten	5
2.3	Gefährdungen von Insekten an künstlichen Lichtquellen	5
2.4	Welche Insektengruppen werden von Lichtquellen besonders stark angelockt ?... 12	
2.5	Einflussgrößen auf die Quantität und Qualität des Anfluges von Insekten an Lichtquellen.....	14
2.5.1	<i>Art und Typ der Lichtquelle (Lampe und Leuchte)</i>	14
2.5.2	<i>Abiotische Faktoren</i>	19
3	Weitere methodische Hinweise zum Versuchsdesign	21
3.1	Vergleichende Lichtfangmethoden	21
3.2	Fallentypen und Tötungsmittel.....	22
3.3	Standort, Art und Anzahl der zu vergleichenden Lampentypen	23
3.4	Erfassungszeitraum.....	24
3.5	Versuchsareal	25
3.6	Versuchsdesign.....	25
3.7	Rechtliche Grundlagen zum Schutz von Insektenarten in Wien.....	25
4	Zusammenfassung	29
5	Danksagung	31
6	Literaturverzeichnis	31

1 EINLEITUNG

Straßenbeleuchtungen, Autoscheinwerfer, Werbung, Flutlichter auf Parkplätzen, Beleuchtungseinrichtungen an Gewerbe- und Industriegebieten und viele weitere Außenbeleuchtungsanlagen haben in den letzten Jahrzehnten vom Siedlungsbereich ausgehend extrem zugenommen und dringen zunehmend in die offene Landschaft vor (letztes Beispiel: LKW-Mautstellen). Die ökologischen Gefahrenpotenziale der künstlichen Beleuchtung wurden noch bis vor kurzem weitgehend negiert, rücken aber inzwischen zunehmend in das öffentliche Interesse. Diese „Lichtverschmutzung“ wird definiert als die Richtung, Quantität und Qualität emittierter Strahlung innerhalb des Infrarot-, sichtbaren und UV-Lichtes in Außenräumen, die auf den Raum neben, unter und über uns ökologisch und landschaftlich lästige oder schädliche Auswirkungen haben kann (KOBLER 2002).

Die Auswirkungen von Lichtemissionen auf die Tierwelt sind in ihrer gesamten Dimension noch unzureichend bekannt. Exakte Aussagen zur Gefährdung einzelner Arten mangels einschlägiger wissenschaftlicher Studien sind noch nicht möglich. Umfassendere Studien belegen jedoch erhebliche Belastungen für verschiedenste Insektengruppen (ESCHE et al. 1989, KOLLIGS 2000, SCHMIEDEL 2001, SCHANOWSKI 2001, KOLLIGS & MIETH 2001).

Da Insekten jedoch wesentliche Glieder von Ökosystemen darstellen (Stoffhaushalt, Nahrungsketten, Blütenbestäubung, etc.), sind Veränderungen nicht nur in Hinsicht auf Art- und Populationsebene zu sehen, sondern im gesamtökologischen Kontext nicht auszuschließen. Während Entomologen und Ökologen diese Problematik schon seit langem bekannt ist, sind rechtliche Grundlagen für eine Eindämmung der Lichterflut erst im Entstehen (z.B. Italien und Tschechien). Die Gründe dafür liegen u.a. in der kontinuierlichen Zunahme von Lichtemissionen, deren Auswirkungen dem Menschen als anpassungsfähiges Wesen wenig bewusst werden.

Ziel vorliegender Studie ist es, umfassende Entscheidungsgrundlagen für die Wiener Naturschutzbehörde hinsichtlich der Entwicklung eines nachhaltigen, umweltschonenden Beleuchtungskonzeptes zu erarbeiten. Folgende Schritte wurden hiezu durchgeführt:

- 1) Erstellung eines Überblickes über den Stand des Wissens hinsichtlich angewandter Forschungen auf dem Gebiet der Lichtverschmutzung
- 2) Umfassende Literaturrecherche mit Kurzzusammenfassung der Erkenntnisse betreffend Anlockwirkung verschiedener Lampentypen auf Insekten (Bauart, Lichtstärke, Strahlungsspektrum)
- 3) Entwicklung einer Feldversuchsanordnung (Fallenbauart, Einsatzdauer und -ort der Fallen, Saisonalität, Anzahl der Parallelversuche)
- 4) Ausweisung der für den Wiener Raum repräsentativen Biotoptypen, an denen die Feldversuche durchgeführt werden können
- 5) Entwicklung einer problemadäquaten Analyseverfahrens.

Im Rahmen eines zweiten Projektabschnittes sollen Freilanddaten erhoben werden, um die komplexe Problematik mit Daten aus dem Wiener Raum zu hinterlegen.

2 UMWELT- UND ARTENSCHUTZRELEVANTE ASPEKTE DER „LICHTVERSCHMUTZUNG“

2.1 Warum fliegen nachtaktive Insekten überhaupt Lichtquellen an?

Nachtaktive Insekten (z.B. Schmetterlinge) orientieren sich nach heutigen Kenntnissen höchstwahrscheinlich nach den Himmelskörpern (Mond und Sterne). Für die eigentlichen Ursachen, weshalb Insekten überhaupt Lichtquellen anfliegen, gibt es bis heute keine eindeutige Erklärung, jedoch unterschiedliche Theorien (vgl. ROBINSON 1952, MARTEN 1956, CLEVE 1964, 1966, 1967, MIKKOLA 1972, SCHACHT & WITT 1986, HENKE 1991, KRISMANN 1994, EBERT 1994, LITG 1997, KOLLIGS 2000, SCHANOWSKI 2001, SCHEIBE 2001):

- 1) Navigationstheorie:
Insekten benutzen den Mond und hellere Sterne zur Orientierung. Im Falle einer künstlichen Lichtquelle nimmt die Flugbahn einen spiralförmigen Verlauf zu dieser hin.
- 2) March-Band-Theorie (HENKE 1991):
Insekten sind zunächst phototaktisch positiv orientiert, fliegen also das Licht an. In größerer Nähe der Lichtquellen versuchen sie jedoch die hohe Lichtintensität zu meiden. Sie richten ihren Flug auf den Grenzbereich zwischen Licht und Schatten aus und folgen so in spiralförmigen Bahnen um die Lichtquelle herum.
- 3) Flugsicherheitstheorie (Phototaxis) (vgl. MARTEN 1956, CLEVE 1964, MIKKOLA 1972):
Der direkte Flug in Richtung Lichtquelle bietet größere Sicherheit, da bei Sichtkontakt keine Kollision mit Hindernissen erfolgen kann.
- 4) Blendungstheorie (vgl. SCHACHT & WITT 1986, KRISMANN 1994, HENKE 1991):
Das Insektenauge ist extrem lichtempfindlich. Bei hoher Lichtintensität kommt es zum Ausfall der optischen Orientierung durch Blendung .
- 5) Theorie der Pigmentverlagerung (SCHANOWSKI 2001):
Nach Blendung der Tiere geschieht eine Anpassung an die Lichtverhältnisse durch Pigmentwanderung in den Augen. Dieser Prozess kann bis zu einer halben Stunde dauern.

Für die vorliegende Studie ist die Klärung, welche Mechanismen letztendlich für das auffällige, meist phototaktisch positive, Verhalten von Insekten verantwortlich sind, zwar relevant, sprengt aber den Rahmen dieser Arbeit.

2.2 Grundlagen der Wahrnehmung des Lichtes durch Insekten

(vgl. CLEVE 1964, 1966, 1967, MIKKOLA 1972, LiTG 1997, SCHEIBE 2001, SCHANOWSKI 2001)

Die relative spektrale Sehempfindlichkeit des Nachfalterauges unterscheidet sich erheblich vom menschlichen Auge. Insektenaugen sind im Gegensatz zum menschlichen Auge auch für ultraviolette Strahlung (UV) empfindlich. Das Maximum der relativen spektralen Empfindlichkeit ist dabei zu kürzeren Wellenlängen hin verschoben (zum Teil ins Blaue, zum Teil ins Violette oder in den UV-Bereich). Die relative spektrale Empfindlichkeit im gelben, orangefarbenen und roten Wellenlängenbereich ist bei nachtaktiven Insekten zum Teil geringer als beim Menschen. Insekten werden daher vor allem durch ultraviolettes, violettes, blaues und grünes Licht angezogen, weniger durch gelbes, orangefarbenes oder rotes Licht. Die bisherigen Untersuchungen (Zusammenfassung bei SCHEIBE 2001) zeigen folgende Maxima der Empfindlichkeitsbereiche bei Insekten: UV (340 nm), blau (450 nm), grün (500 nm), rot (620 nm).

Nachfalter nehmen Wellenlängen im Bereich zwischen ca. 330 und 800 nm wahr. Die für sie attraktivsten Spektralbereiche liegen zwischen 350 und 550 nm. Die spektrale Empfindlichkeit variiert von Art zu Art. Häufig finden sich Maxima um 410 - 480 nm und um 500 - 540 nm, also vor allem im blauen und ultravioletten Spektralbereich (CLEVE 1964, 1966, 1967, MIKKOLA 1972, EBERT 1994). Ein Maximum der Empfindlichkeit wird für Nachfalter bei etwa 410 nm angenommen, das des Menschen liegt bei 510 - 555 nm (CLEVE 1964, 1967).

Auch die Helligkeitseindrücke von Mensch und Insekt divergieren deutlich. So empfindet ein Insektenauge eine im Gelbbereich strahlende Natriumdampf-Hochdrucklampe nur etwa 1/10 so hell wie der Mensch, eine Quecksilberdampf-Hochdrucklampe hingegen ca. 9 mal heller (LiTG 1997). Generell wird weißes Licht vom Insektenauge als heller empfunden.

Allerdings muss angemerkt werden, dass autökologische Daten zur Lichtsensibilität einzelner Arten nahezu gänzlich fehlen.

2.3 Gefährdungen von Insekten an künstlichen Lichtquellen

(vgl. z.B. KOLLIGS 2000, SCHMIEDEL 2001, SCHANOWSKI 2001, KOLLIGS & MIETH 2001)

Die Anlockwirkung durch Lampen birgt für Insekten mehrere, oft tödliche Gefahren:

- 1) Die Hitzeentwicklung der Lampen kann die Insekten abtöten oder sie verbrennen sich die Flügel, was ihre Flugfähigkeit stark einschränken oder sogar völlig zerstören kann. Dies trifft insbesondere auf kleine und zart gebaute Insekten zu.

- 2) Durch den Aufprall an das Lampengehäuse können insbesondere größere, schnell fliegende Insekten getötet oder schwer verletzt werden. Bei Beschädigung von empfindlichen Rezeptoren ist mit erhöhter Mortalität bzw. reduzierter Fitness zu rechnen.
- 3) In das Lampengehäuse gelangte Insekten sind dort gefangen und gehen entweder durch Hitzeeinwirkung oder durch Verhungern zugrunde.
- 4) Tiere, die sich im Umfeld der Lampe unter Straßenlaternen auf Fahrbahnen oder Gehsteigen niederlassen, sind durch Überfahren oder Tritt bedroht.
- 5) Die sich im Bereich künstlicher Lichtquellen konzentrierenden Insekten sind eine leichte und beliebte Beute für Fressfeinde, insbesondere für Vögel, Fledermäuse und Spinnen, aber auch Eidechsen, verschiedene Säugetiere (u.a. Hauskatzen), räuberische Käfer, Wespen etc. (vgl. auch HAUSMANN 1992). Lichtquellen können auch den Tarneffekt vieler nachtaktiver Insektenarten (insbesondere Nachtfalter) zunichte machen (FRANK 1988) und so wiederum erhöhte Mortalität (z.B. durch Fressfeinde) bewirken.
- 6) Partnersuche und Partnerfindung, Begattung sowie die Eiablage können durch den Aufenthalt an Lichtquellen (mit zeitlicher „Fixierung“) zeitlich verzögert oder unterbunden werden.
- 7) Künstliches Licht führt zu gesteigerter Flugaktivität und zu künstlich verlängerten Aktivitätszeiten der Insekten. Die Tiere erleiden hierdurch höhere Energieverluste, unter Umständen zu Lasten der Partnersuche, Reproduktion, Nahrungssuche, Ausbreitung etc.

In jedem Fall ist das Herumschwirren um Lichtquellen ein unnötiger Energieverbrauch und viele Individuen gehen möglicherweise durch Erschöpfung zugrunde.
- 8) Tiere einer Population werden aus ihren Herkunfts-Lebensräumen herausgelockt und finden bei der Lichtquelle keine geeigneten Entwicklungshabitate, Nahrungsquellen und Geschlechtspartner. Bei Nachtfaltern kommt es im eigentlich ungeeigneten Bereich um die Lichtquelle auch zur Eiablage (FRANK 1988). Sie fallen auf diese Weise für die Reproduktion der Population letztendlich aus („Leerfangeffekt“). Ein solcher Leerfangeffekt von Lebensräumen muss insbesondere in stark anthropogen geprägten Landschaften in Bezug auf besonders leicht durch Licht anlockbare Arten vermutet werden.
- 9) Die nächtliche zeitliche Synchronisation der Tiere, beispielsweise zur Partnerfindung und Nahrungsaufnahme, wird gestört (Störung der Inneren Uhr). Licht kann als wesentlicher Stimulus für Entwicklungen bzw. für gewisse Aktivitäten angesehen werden, eine Desynchronisierung solcher biologischer Vorgänge kann negative Auswirkungen für das Einzelindividuum sowie die ganze Population bedeuten (Wanderungen, Diapausestadien, Lebenszyklus etc.; MALICKY 1981).

- 10) Außenbeleuchtungsanlagen stellen vielfach zusätzliche belastende Barriereeffekte innerhalb der natürlichen Ausbreitungsbewegungen einzelner Arten dar. Mit derartigen Einflüssen ist zu rechnen, sobald wandernde Tiere in den Einflussbereich der Lichtquellen kommen. Sowohl mobile Arten wie Wanderfalter, aber auch Arten mit hohem Dispersionspotenzial sind von diesem Umstand betroffen.
- 11) Nicht unwesentlich sind in diesem Fall die Verwirbelung von Insekten im Zusammenhang mit dem unter oder an Straßenbeleuchtungen fahrenden Automobilen. Durch den entstehenden Luftsog werden Individuen auf die Fahrbahn geschleudert und erleiden durch den Aufprall bzw. zur das Überrollen mechanische Schädigungen.

Folgende Arten sind insbesondere gefährdet (KOLLIGS 2000, KOLLIGS & MIETH 2001, SCHMIEDEL 2001):

- Arten, die standorttreu sind sowie Arten, die auf bestimmte Lebensräume spezialisiert sind und meist niedrige Populationsdichten und Reproduktionsraten aufweisen (K-Strategen). Solche Arten stehen ohnehin meist schon auf den Roten Listen, sofern sie in solche aufgenommen wurden. Die meisten der unten angeführten Insektengruppen wurden jedoch noch keiner naturschutzfachlichen Bewertung unterzogen. Über viele von der Problematik betroffene Arten existieren nur wenige autökologische Daten.
- seltene Arten
- Arten, die als Imago nur kurze Zeit leben und deren Populationen sich durch einen hohen Weibchenanteil im Anflug an künstliche Lichtquellen auszeichnen.
- Arten, die im anthropogen genutzten Landschaftsraum ohnehin auf isolierte, naturnahe Restflächen zurückgedrängt wurden und zusätzliche Individuenverluste kaum noch kompensieren können.
- Arten, die in ihrer Hauptaktivität natürlicherweise vorwiegend auf mondlose Phasen beschränkt sind und die auf Grund des Konkurrenzphänomens heller Lichtquellen in dunklen Nächten besonders der Anlockwirkung künstlicher Lichtquellen unterliegen.
- Arten mit kurzer, hoch synchronisierter Flugzeit. Dies betrifft vor allem optisch orientierte Arten, die über keine anderen Mechanismen wie z.B. Pheromone oder akustische Signale zur Partnerfindung verfügen. Sinkt die Populationsgröße durch Individuenverlust aufgrund Lichteinwirkung unter einen Schwellenwert, können die verbliebenen Partner nicht mehr zueinander finden und die Population bricht zusammen.

Für Arten, auf die mehrere dieser Merkmale zutreffen, ist die Wahrscheinlichkeit des Erlöschens von Populationen erhöht. Demgegenüber können weit verbreitete, euryöke und hochmobile Arten hohe lokale Verluste durch Zuwanderung von außerhalb in der Regel kompensieren, zumindest solange dort noch stabile Populationen vorhanden sind (SCHMIEDEL 2001).

Negative Beeinflussungen der Populationen könnten sich über Konkurrenz- und Nahrungsbeziehungen auf weitere Arten und damit letztendlich auf ganze Lebensgemeinschaften auswirken. Hierzu gibt es aber bislang ebenso wenig Untersuchungen wie zu den Langfristeffekten, die künstliche Lichtquellen auf Arten und Lebensgemeinschaften haben könnten.

LÖDL (1984) schließt einen Selektionsdruck durch die Lichtverschmutzung nicht aus, sodass sich möglicherweise im Verlauf von Jahrzehnten „lichtunempfindlichere“ Populationen bilden. Es ist bisher jedoch ungeklärt, ob es auch **genetisch** bedingte Unterschiede in der Affinität bzw. Reaktion gegenüber künstlichen Lichtquellen gibt. Postuliert man eine Auslese innerhalb von Populationen durch den Anflug bestimmter, lichtempfindlicher Individuen an künstliche Lichtquellen, wären genetische Veränderungen von Populationen durch künstliches Licht nicht auszuschließen (KOLLIGS & MIETH 2001).

Zur Beurteilung der Gefährdung einer Art durch künstliche Lichtquellen ist es wichtig zu ermitteln, wie viele Individuen der jeweiligen Population überhaupt an die Lichtquelle fliegen. Dabei ist es relativ unerheblich, ob die Tiere direkt an der Lichtquelle in irgendeiner Weise zu Tode kommen. Entscheidender für die Populationsentwicklung der Tiere ist das **Herauslocken** aus ihren zur Fortpflanzung notwendigen Lebensräumen und eine durch das Licht induzierte abweichende Verhaltensweise, die dazu führt, dass angelockte Insekten aus der Reproduktion der Population herausfallen (KOLLIGS 2000).

Das Problem der Auswirkung von künstlichen Beleuchtungsquellen auf die **Aktivitätsrhythmik** einzelner Arten wurde bisher kaum untersucht. Umfangreichere Feldstudien wie z.B. jene von PERSSON (1971) oder DREISIG (1980) belegen aber, dass die meisten Eulenfalter erst unterhalb einer Beleuchtungsstärke zwischen 10 bis 1 Lux aktiv werden. Permanent höhere Beleuchtungsstärken verhindern somit *a priori* eine Aktivität der Falter. Zunehmende, stärkere Blendwirkung (bisher erst untersucht am Mond sowie am natürlichen Himmelslicht) führt hingegen zum Effekt einer Reduktion der Flugaktivität. Alle diese Auswirkungen sind erst für wenige Arten wissenschaftlich belegt. Überdies wurde durch KURTZE (1974) in Laborversuchen eine endogen gesteuerte Aktivitätsrhythmik registriert, die asynchron zur Tagesrhythmik war. Somit besteht eventuell für einzelne Arten auch bei hoher Blendwirkung die Möglichkeit, den Blendbereich wieder zu verlassen. Rückgänge in der Nachtfalterfauna in stark durch Lichtemissionen betroffenen Gebieten dürften aber teilweise auf das Problem der Blendwirkung in angrenzenden Gebieten zurückzuführen sein.

Künstliche Lichteinwirkung kann sich negativ auf die **Vermehrungsrate** einzelner Arten auswirken (TAYLER & DEAY 1950, PERSSON 1974). So wurde für den Eulenfalter *Mythimna zea* bereits bei einer Blendwirkung > 0,1 Lux eine Hemmung der Eiablage festgestellt. Im Freiland werden dementsprechend bei Vollmond, das entspricht einer Blendwirkung von ca. 0,2 Lux (MUIRHEAD-THOMSON 1991), nur wenige Eier abgelegt (NEMEC 1971). Laborversuche am Schwammspinner *Lymantria dispar* erbrachten sogar den Nachweis einer sterilisierenden Wirkung von Dauerlicht (GIEBULTOWICZ et al. 1990). Diese gravierenden Auswirkungen sind zwar bisher erst bei wenigen Arten untersucht bzw. nachgewiesen, allerdings ist zu erwarten, dass für viele Nachtfalterarten ähnliches gilt.

Zur Beurteilung der Auswirkungen künstlicher Beleuchtungsanlagen ist die Frage nach dem **Geschlechterverhältnis** („Sexualindex“) der angelockten Individuen der einzelnen Arten wichtig. In der Regel wird durch den Verlust weiblicher Tiere der Fortpflanzungserfolg einer Population stärker beeinträchtigt, als durch den Verlust einer gleichen Anzahl von Männchen. Geht auf Grund des Einflusses künstlicher Lichtquellen ein hoher Anteil Weibchen einer Population verloren, könnte dies zu einer erheblichen Schädigung des Fortpflanzungserfolges der betroffenen Art führen.

Bei Nachtfaltern und einigen andern Gruppen fliegen meist mehr Männchen als Weibchen ans Licht (KURTZE 1974). Bei Nachtfaltern liegt der Weibchenanteil im Mittel bei 20 bis 25 %. Als Ursache wird meist die höhere Mobilität der Männchen angegeben (ROBINSON & ROBINSON 1950, KRISMANN 1994, SCHMIEDEL 2001). Bei einzelnen Familien (z.B. den Wurzelbohrern) und einzelnen Arten kann dieser Anteil aber weitaus höher liegen und somit ein relativ hohes Gefährdungspotenzial künstlicher Lichtquellen bedeuten, insbesondere dann, wenn die Eiablage an ungeeigneten Orten in der Nähe der Lichtquelle erfolgt (KOLLIGS 2000, SCHMIEDEL 2001). Jedoch entsprechen diese Verhältniszahlen nicht den tatsächlichen Verhältnissen, da in einer Population im Allgemeinen beide Geschlechter etwa gleich ausgewogen verteilt sind, wobei ein leichter Männchenüberschuss die Regel sein dürfte. Dabei ist der Sexualindex bei gleicher Lichtquelle konstant und artspezifisch (MALICKY 1974).

Beispiele für Insektenverluste an Lichtquellen

Nach einer Schätzung werden in den Sommermonaten etwa 150 Insekten pro Straßenlampe und Nacht getötet (KOBLE 2002). Nach GEPP (1977) zog eine 2 Meter hohe blau-weiße Leuchtschrift, bestehend aus 3 Buchstaben in 35 Metern Höhe, im Stadtgebiet von Graz innerhalb eines Jahres 350.000 Insekten an. Nach dem selben Autor lockte eine mit Lichtbogenscheinwerfern bestrahlte Fabrikshalle an einem einzigen Abend 100.000 Insekten an, und zwar vor allem Eulenfalter. Der Nachtfalteranflug an einem Strahler zur Beleuchtung einer Statue in Süditalien wird in den Sommermonaten auf ca. 5.000 Individuen pro Nacht geschätzt, wovon ein Großteil davon zu Tode kommt (HAUSMANN 1992). Weitere Beispiele finden sich bei SCHMIEDEL (2001).

Ebenfalls dramatisch stellt sich der Anflug an Leuchtquellen im Falle von aquatischen Insekten, vor allem Köcherfliegen, dar. So wurden etwa 50.000 Individuen pro Nacht an ungarischen Flüssen gefangen (NÓGRÁDI & UHERKOVICH 2002). Etwa 20.000 Individuen wurden pro Nacht von MALICKY (1978) an der Donau bei Linz erbeutet. Mittels superaktinischer Leuchtstoffröhren (20 Watt, Abstrahlung 320 bis 480 nm, Maximum 365 nm, 5 Lichtfallen, permanent betrieben von Mai bis November) konnten von PITSCHE (1983) etwa 280.000 Individuen/Jahr dokumentiert werden.

Als Extrembeispiel kann der Anflug der Büschelmücke *Chaoborus astictopus* gesehen werden. In einer einzigen Nacht flogen 38,6 kg (etwa 85 Millionen Individuen) an (BAKER & HIENTON, 1952).

Auch der Einsatz von „Insekten-Killern“ im Außenbereich führt zu einer (vermeidbaren) Tötung und Dezimierung von Insekten unterschiedlicher Gruppen (vgl. PRETSCHER 2000).

Anflugdistanz

Die Anflugdistanz ist jene Entfernung, in der eine Lockwirkung durch das Licht auftritt. Die Anflugdistanz ist wesentlich für die Fragestellung, da dadurch die tatsächliche Stadtfäuna betroffen ist ("Staubsaugereffekt"). Sie betrifft jenen Umkreis, in dem unmittelbar negative Auswirkungen stattfinden. Allerdings hängt dies mit der Mobilität der betreffenden Arten zusammen. Zudem sind große artspezifische Unterschiede (je nach Tag/Nacht-Aktivitätsmuster und Orientierungsstrategien) feststellbar.

Die Anflugdistanz kann zwischen 20 und 200 m (SCHMIEDEL 2001) bzw. 400 bis 700 m nach EISENBEIS (Vakuum Cleaner Effect, 2001) betragen.

Die Anlockung erfolgt nicht nur über den Faktor Licht, da viele Insekten zur Partnerfindung Pheromone einsetzen und die Männchen auch über chemische Stoffe angezogen werden.

Anlockdistanz

Der Begriff Anlockdistanz ist definiert durch die Distanz, die Tiere von ihrem Brutbiotop zu der Lichtquelle zurücklegen. Da sich die meisten der auf Ausbreitungs- oder Wanderflügen befindlichen Tiere in größerer Höhe befinden, sind in großer Höhe aufgestellte Lichter „fängiger“. Dies betrifft auch die nach oben abstrahlenden Lampentypen (Kugellampen, Skybeamer) und vor allem Arten, deren Populationszentren nicht im unmittelbaren Siedlungsgebiet liegen. Der Anteil von genetisch festgelegten, ausbreitungsbereiten Individuen einer Population kann dadurch dezimiert und der genetische Austausch von Teilpopulationen dadurch beeinträchtigt werden (Metapopulationstheorie).

Eine genaue Trennung zwischen Anlock- und Anflugdistanz ist meist nicht möglich (Markierungsversuche) und für die vorliegende Studie auch nicht weiter notwendig.

In der Regel ist nicht bekannt, aus welchem Umkreis nachtaktive Insekten an eine bestimmte Lichtquelle angefliegen sind, wie viele Arten dort leben und insbesondere nicht, wie groß die jeweiligen Populationen sind. Auch ist nicht bekannt, welche Arten und wie viele Individuen an einer Lichtquelle tatsächlich direkt oder indirekt zu Tode kommen.

Einige Autoren beobachteten eine starke Abnahme von nachtaktiven Insekten innerhalb von 3 Jahren nach Errichtung von Straßenbeleuchtungen in (naturnahen) urbanisierten Gebieten (DANIEL 1950). Mehrere Langzeitversuche an Nachtfaltern mit Hilfe von Lichtfallen verliefen jedoch bisher ohne erkennbare Hinweise auf fangbedingte Bestandsrückgänge (vgl. MEINEKE 1995). Auch MALICKY (1965) konnte bei einer zweijährigen Untersuchung selbst bei Nachtfalterarten, deren Fallenfanganteil gut der zu erwartenden Flugdichte entspricht, keine wesentliche Abnahme im zweiten Jahr der Untersuchung bemerken. Es gibt auch keine einzige langjährige Untersuchung, welche die Abnahme von Insekten alleine durch die starke Zunahme von Lichtquellen im (sub)urbanen Bereich belegt (LÖDL 1984). Ein Gewöhnungseffekt von Nachtfaltern an die Lichtverhältnisse in Städten wird aber nicht ausgeschlossen (KURTZE 1974, LÖDL 1984).

HAUSMANN (1990) konnte an Hand von Markierungsexperimenten zeigen, dass Populationen standorttreuer Nachtfalterarten bei langfristigem Lebend-Lichtfang (und Freilassung der Falter nach dem Fang) keine spürbaren Abundanz-Einbußen erleiden.

LÖDL (1984) wies durch Auswertung vieler Lichtfallenuntersuchungen nach, dass dadurch eine objektive Abnahme oder Schwächung von Insektenpopulationen nicht feststellbar ist. Auch der Einsatz von Lichtfallen zur quantitativen „Schädlingsbekämpfung“ konnte Schädlingspopulationen selbst im Dauerbetrieb nicht ernsthaft bekämpfen bzw. schädigen (vgl. auch FRANK 1988, SCHMIEDEL 2001).

Aus der Literatur ist kein einziger Fall dokumentiert, in dem eine Nachtfalterart alleine durch die Auswirkungen künstlicher Beleuchtung (lokal) ausgerottet wurde (BOWDEN 1982, FRANK 1988). In kleinen, fragmentierten Habitaten können jedoch kleine Populationen standorttreuer Spezialisten (K-Strategen) durchaus geschädigt werden (BOWDEN 1982, FRANK 1988, SCHEIBE 2001), wie z.B. die Untersuchung von VÄISÄNEN & HUBLIN (1983) an der Pestwurzeule *Hydraecia petasites* (einer Art, die nur in eingeschränktem Ausmaß Lichtquellen anfliegt) zeigte. Allerdings ist über die „kritischen“ Populationsgrößen von Nachtfaltern so gut wie gar nichts bekannt. STADLER (2001) vermutet als kritische Schwelle, wenn 10 % einer Population vom Licht beeinträchtigt wird. Dieser Wert ist aber sicherlich art- und situationsbezogen unterschiedlich hoch anzusetzen.

Für aquatische Insekten kam SCHEIBE (2003) zu dem Schluss, dass das Aufstellen von Straßenlampen in Gewässernähe zu einer katastrophalen Artenverschiebung zu Ungunsten lichtempfindlicher Arten und damit zu einer Artenverarmung führen kann. Einzelne Fänge entsprachen einer Emergenz (die Gesamtzahl schlüpfender Tiere) von 1300 m Bachufer innerhalb 24 Stunden in einer Nacht.

GRAF (1997) wiederum dokumentierte in einem 2-jährigen Freilandversuch weder Arten- noch Dominanzwechsel anhand der mittels Lichtfang untersuchten Köcherfliegenzönose eines Gebirgsbaches.

Weitere negative Auswirkungen wie Summeneffekte (Zusammenspiel von Verarmung der Biotop- und Habitatstrukturen sowie der Fragmentierung von Populationen durch Zerschneidung und Zersiedelung in Kombination mit Individuenverlusten durch künstliche Lichtquellen und Straßenverkehr) sind gerade in städtischen Ballungsräumen wahrscheinlich.

2.4 Welche Insektengruppen werden von Lichtquellen besonders stark angelockt ?

An künstliche Lichtquellen werden in Mitteleuropa in größerer Zahl Insekten aus den folgenden Gruppen angelockt (nach SCHOENEMUND 1930, WILLIAMS 1939, KERSTENS 1961, MIKKOLA 1972, KURZE 1974, MALICKY 1975, 1978, 1980, BLOMBERG et al. 1976, LÖDL 1984, BURMEISTER 1985, DELLA GIUSTINA 1989, KURECK 1992, BAUER 1993, EISENBEIS & HASSEL 2000, KOLLIGS 2000, BAUERNFEIND & HUMPESCH 2001, KOLLIGS & MIETH 2001, SCHMIEDEL 2001; sowie eigene Beobachtungen):

- **Eintagsfliegen (Ephemeroptera):** Palingeniidae, Oligoneuriidae, Caenidae, Polymitarcidae
- **Steinfliegen (Plecoptera):** v.a. Chloroperlidae
- **Käfer (Coleoptera)**
 - Wasserkäfer (Hydrophilidae)
 - Hakenkäfer (Elmidae)
 - Schwimmkäfer (Dytiscidae)
 - Weichkäfer (Cantharidae)
 - Kurzflügler (Staphilinidae)
 - Schnellkäfer (Elateridae)
 - Erdflöhe (Halticinae)
 - Blatthornkäfer (Scarabaeidae)
 - Langtasterkäfer (Hydraenidae)
 - Furchenwasserkäfer (*Helophorus*)
- **Fransenflügler (Thysanoptera)**
- **Heteroptera (Wanzen)**
 - Ruderwanzen (Corixidae)
 - Weichwanzen (Miridae)
- **Homoptera (Gleichflügler)**
 - Zikaden (Cicadellidae)
 - Blattläuse (Aphidoidea)
- **Netzflügler (Neuroptera):** Chrysopidae, Hemerobiidae; seltener: Myrmeleontidae, Mantispidae, Osmylidae, Sisyridae
- **Köcherfliegen (Trichoptera):** fast alle Familien, v.a. Hydropsychidae

- **Schmetterlinge (Lepidoptera):** ein weites Spektrum nachtflygender Schmetterlinge (Groß- und Kleinschmetterlinge)
- **Fliegen und Mücken (Diptera, Nematocera)**
 - Zuckmücken (Chironomidae)
 - Stechmücken (Culicidae)
 - Gnitzen (Ceratopogonidae)
 - Spitzflügelfliegen (Lonchopteridae)
 - Tanzfliegen (Empididae)
 - Halmfliegen (Chloropidae)
 - Kugelhornfliegen (Spaeroceridae)
 - Ufer-Salzfliegen (Ephydriidae)
 - Schnaken (Tipulidae)
 - Kriebelmücken (Simuliidae)
 - Büschelmücken (Chaoboridae)
- **Hautflügler (Hymenoptera)**
 - Schlupfwespen (Ichneumonidae)
 - Ameisen (Formicidae)

Diese Liste stellt nur eine Auswahl dar und ließe sich, je nach befragten Spezialisten, erweitern und verfeinern. KOLLIGS (2000) fand beispielsweise Vertreter von 114 Insektenfamilien aus 11 Insektenordnungen am Licht. Dies unterstreicht die Relevanz der behandelten Tiergruppe hinsichtlich der vorliegenden Problematik.

Die Zusammensetzung der angelockten Gruppen (Arten) ist dabei insbesondere von folgenden Faktoren abhängig: Lebensraum, Jahreszeit (und Tageszeit), Witterung und Mond, Lichtquelle (Standort, Stärke, Spektralbereich etc.).

Auf Gesichtspunkte des Artenschutzes und der Reaktion der einzelnen Insektenordnungen im Hinblick auf verschiedene künstliche Lichtquellen wird im Rahmen dieser Studie nicht näher eingegangen. Dies muss der eigentlichen Untersuchung vorbehalten bleiben. Welche Artengruppen dabei genauer ausgewertet werden (sollen), hängt in erster Linie von den zur Verfügung stehenden Spezialisten und dem finanziellen Auftragsvolumen ab. Es wird empfohlen, folgende Gruppen näher zu betrachten (Spezialisten dieser Gruppen haben sich grundsätzlich bereit erklärt, für Determinationsarbeiten zur Verfügung zu stehen):

- Groß-Schmetterlinge
- aquatische Insekten (Köcherfliegen, Eintagsfliegen, Steinfliegen etc.)
- Wanzen
- Ameisen
- Xylobionte Käfer
- Raupenfliegen

Selbstverständlich ist es wünschenswert, auch andere Gruppen genau auszuwerten, sofern dafür entsprechende Spezialisten gewonnen werden können. Die Auswertung sollte dabei so weit wie möglich auf Artniveau geschehen, da einzelne Arten unterschiedlich auf Licht reagieren.

2.5 Einflussgrößen auf die Quantität und Qualität des Anfluges von Insekten an Lichtquellen

3 Gruppen von Einflussfaktoren können unterschieden werden:

- 1) Art und Typ der Lichtquelle (Lampe und Leuchte)
- 2) Abiotische Faktoren (Witterung und Mond)
- 3) Standortfaktoren (Geländestruktur, Verteilung von Wald-Offenland-Gewässern, Vegetationsstruktur und -zusammensetzung, Mikroklima). Auf diese Faktoren wird hier nicht näher eingegangen (vgl. dazu z.B. MALICKY 1974a, BAUER 1993, EBERT 1994, KOLLIGS 2000).

2.5.1 Art und Typ der Lichtquelle (Lampe und Leuchte)

Lampentyp und Lichtspektrum

(vgl. ROBINSON & ROBINSON 1950, MIKKOLA 1972, TAYLOR & FRENCH 1974, BLOMBERG et al. 1976, 1978, LÖDL 1984, BAUER 1993, SCHANOWSKI & SPÄTH 1994, EBERT 1994, LiTG 1997, SCHEIBE 2000, KOLLIGS 2000, SCHMIEDEL 2001, SCHANOWSKI 2001, ISEPY 2001, KOLLIGS & MIETH 2001, EISENBEIS 2001)

Insektenaugen haben eine unterschiedliche spektrale Sehempfindlichkeit als das menschliche Auge. Das Maximum der relativen spektralen Empfindlichkeit ist dabei zu den kürzeren Wellenlängen verschoben (Blau, Violett, UV-Bereich; 350 nm bis 500 nm). Im gelben, orangefarbenen und roten Wellenlängenbereich ist das Insektenauge generell unempfindlicher. Daher wird aus naturschutzfachlicher Sicht vielfach eine Umorientierung von den Quecksilberdampflampen, die das herkömmliche Weiß-Mischlicht emittieren, zu Natriumdampflampen (gelbe Lichtemission) gefordert. Etliche Studien der letzten Zeit untermauern diese These, vor allem mit der unterschiedlichen Anzahl angeflogener Gesamtindividuen, wobei ein Schwerpunkt der Beurteilung vor allem die Anflugszahlen von Schmetterlingen darstellt (LÖDL 1984, ESCHE et al. 1989, BAUER 1993, SCHANOWSKI & SPÄTH 1994, EISENBEIS & HASSEL 2000, KOLLIGS 2000, EISENBEIS 2001, KOLLIGS & MIETH 2001, etc.). Dementsprechend weisen die deutlich im kurzwelligen Bereich ausstrahlenden Quecksilberdampflampen gegenüber langwelligen Leuchtmitteln wie Natriumdampf-Hochdrucklampen eine 6-10 mal höhere Anlockwirkung auf Nachtfalter auf (LiTG 1997).

BAUER (1993) testete Quecksilberdampf-Hochdrucklampen (80 Watt, 3800 lm, 43 lm/W), Kompakt-Leuchtstofflampen (26 W, 1800 lm, 53 lm/W) und Natriumdampf-Hochdrucklampen (50 W, 3500 lm, 70 lm/W), wobei die Quecksilberdampf-Hochdrucklampe etwa 8250, die Kompakt-Leuchtstofflampe etwa 2700 und die Natriumdampf-Hochdrucklampe etwa 1700 Insektenindividuen anzog. Die untersuchten Gruppen waren Lepidopteren, Coleopteren, Dipteren, Ephemeropteren, Trichopteren und Heteropteren. SCHANOWSKI (2001) untersuchte die Anlockwirkung von Natriumdampf-Niederdrucklampen im

Verhältnis zu jeweils Quecksilberdampf-Hochdrucklampen, Kompakt-Leuchtstofflampen und Natriumdampf-Hochdrucklampen auf Schmetterlinge (SCHANOWSKI 2001). Hier wurden die geringsten Anflugzahlen im Falle der Natriumdampf-Niederdrucklampe registriert, die höchsten Fangwerte wurden für die Quecksilberdampf-Hochdrucklampe ermittelt.

Auch EISENBEIS (2001) dokumentiert etwa ein Viertel des Anfluges von Schmetterlingen an Natriumdampf-Hochdrucklampen im Vergleich zu Quecksilberdampf-Hochdrucklampen.

Dagegen diskutiert SCHEIBE (2001, 2003) die Problematik differenzierter. Demnach ging bei seinen Versuchsreihen die stärkste Anlockwirkung vom gelben Licht (579 nm) aus, das in Natriumdampf-Hochdrucklampen des Typs PHILIPS SON einen der wesentlichen Lichtanteile darstellt. Dabei werden allerdings hauptsächlich Zuck-, Gall- und Trauermücken angezogen, die aus naturschutzfachlicher Sicht noch keinen Schutzstatus genießen. Weiters kritisiert SCHEIBE die Versuchsanordnungen von BAUER (1993) sowie von EISENBEIS & HASSEL (2000), da unterschiedliche Lampentypen unabhängig voneinander an denselben Ort getestet werden sollten, um das Phänomen der Lichtkonkurrenz auszuschließen. Zudem sollten jeweils identische Werte bezüglich Lichtstrom und Wattstärke sowie Spektralbereich gegeben sein. Auch die Versuchsreihen sollten in exakt gleichen Situationen (Biotoptyp, Lampenhöhe) durchgeführt werden. Schon geringe Änderungen dieser Parameter können zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen führen (vgl. Kapitel Konkurrierende Lichtquellen und Standort).

Auf die verstärkte Anlockwirkung von längerwelligem Licht hinsichtlich unterschiedlicher Insektengruppen, besonders der Dipteren weist auch EISENBEIS (2001) hin. Auch FROST (1954) stellt einen verstärkten Anflug im Fall von Heteroptera und Chrysopiden an langwelligeres Licht (Glühbirnen) fest. LÖDL (1984) dokumentiert für Psychodiden (Schmetterligsmücken) ein ähnliches Phänomen und weist auf die Notwendigkeit von Untersuchungen auf Artniveau hin.

Die einzelnen Insektenarten sowie die Geschlechter innerhalb der einzelnen Arten reagieren in unterschiedlichem Maß auf Licht im allgemeinen und auf verschiedene Lampentypen (Spektralbereiche) im besonderen. Trotz methodischer Unklarheiten kann der generell höhere Anflug von Insekten am kurzwelligem Licht als unbestritten gelten. Als besonders gut untersuchte Insekten gelten in dieser Beziehung die nachtaktiven Lepidopteren, für etliche Insektenordnungen besteht jedoch dringender Forschungsbedarf. Vor allem die Auswirkungen auf Populationsniveau oder biozönotischem Niveau lassen sich durch reine Anflugsbilanzen nicht ermitteln.

Helligkeit der Lichtquelle (Lichtintensität)

Von wesentlichem Einfluss auf die Anlockwirkung ist neben der Lichtfarbe die Lichtintensität. Als Grundregel kann gelten, dass die anlockende Wirkung mit zunehmender Helligkeit der Lichtquelle zunimmt (ROBINSON & ROBINSON 1950). Wird die Lichtstärke erhöht, nimmt der Anflug an die Lichtquelle zwar zu, jedoch nicht proportional, sondern in geringerem Maß als die Lichtstärke. Eine Verdopplung der Leistung der Lampen führt zu einer ca. 70 %-igen

Steigerung des Anfluges (CLEVE 1964). Nicht nur die Wellenlänge und die Stärke (Lumen) der Lichtquelle, sondern auch deren Oberflächenhelligkeit (Lumen/Quadratzentimeter) und der Durchmesser der Leuchtquelle spielen eine wichtige Rolle bei der Anlockung von Insekten (ROBINSON & ROBINSON 1950, KRISMANN 1994, SCHMIEDEL 2001).

Die Einheit Watt für die Leistung gibt nur einen groben Hinweis auf die Helligkeit der Lichtquelle. Die Angabe „Watt“ bzw. „Lux“ dient nur im Ansatz zur Beschreibung der wahrgenommenen Lichtleistung, nicht der tatsächlichen Helligkeit, wie sie von der jeweiligen Insektenart empfunden wird. Ist z.B. die UV-Emission hoch (sie wird nicht von der Lux-Messung erfasst!), so erscheint das Licht für das Insekt möglicherweise außerordentlich hell, für den Menschen jedoch dunkel (SCHEIBE 2000).

Bauart (inkl. Abstrahlrichtung)

(vgl. WILLIAMS & EL-ZIADY 1957, OSNY & KHATTAB 1969, TAYLOR & FRENCH 1974, HANNA & HAMAD 1975, BAUER 1993, SCHEIBE 2000, SCHMIEDL 2001)

Die Leuchtenabdeckung, welche im Normalfall aus Kunststoffglas (Plexiglas) oder aus Silikatglas besteht, filtert Teile des Spektrums. Plexiglas ist für kurzwelliges Licht (UV) in den meisten Fällen fast undurchlässig, Silikatglas hat im hochwelligen UV (320 - 380 nm) noch eine beachtenswerte Durchlässigkeit (LiTG 1997). Für das Versuchsdesign bedeutet dies, dass bei allen zu testenden Leuchten dasselbe Material zur Leuchtenabdeckung verwendet werden muss bzw. Spektralmessungen der Abdeckungen vor Versuchsbeginn durchgeführt werden müssen (vgl. BAUER 1993). Veränderungen des Materials durch thermische Einwirkungen im Laufe des Betriebes sind zu berücksichtigen. Dadurch kann die spektrale Zusammensetzung des Lichtes verändert werden.

Höhe der Lichtquelle

Viele nachtaktive Insektengruppen zeichnen sich durch bestimmte Anflughöhen an Lichtquellen aus (KURTZE 1974). Sie werden umso größerer Entfernung angelockt, je höher der Lichtpunkt angelegt ist (BAKER & SADOVY 1978, TIROLER UMWELTANWALT 2003). Die Zahl der nachtaktiven Insekten, welche von künstlichen Lichtquellen abgelockt werden, wächst in der Regel mit zunehmender Höhe der Lichtquelle, da sie einen größeren Bereich bestrahlt und auch höher fliegende Insekten anlockt (SCHANOWSKI & SPÄTH 1994). Die vertikale Flughöhe ist artspezifisch (teilweise sogar geschlechtsspezifisch) verschieden und hängt mit der Lebensweise, Körpergröße und Flugtüchtigkeit zusammen (vgl. FROST 1958, HOSNY & KHATTAB 1969, TAYLOR & FRENCH 1974, HANNA & HAMED 1975, EBERT 1994). BAUER (1993) stellte bei in 5 m Höhe angebrachten Leuchten durchschnittlich die 1,5-fache Anflugmenge verglichen mit 2,5 m hohen Leuchten fest. Die höheren Artenzahlen von in großer Höhe postierten Lichtfallen gehen vor allem auf in Wanderflügen befindliche Insekten zurück (SCHMIEDEL 2001).

Bei den Freilandversuchen im Wiener Stadtgebiet müssen daher alle Versuche mit der gleichen Lichtpunkthöhe durchgeführt werden.

Fläche der Lichtquelle

Bei gleichem oder ähnlichem Lichtspektrum fliegen mehr Individuen zu großflächigeren Lichtern. Die Zunahme der Leuchtfläche bedingt jedoch keine proportionale Zunahme des Anfluges, zumindest bezüglich der Lepidoptera. Das Lichtspektrum hat einen stärkeren Einfluss auf Quantität und Qualität des Anfluges als die Größe der Lichtquelle (KOLLIGS & MIETH 2001).

Konkurrierende Lichtquellen (Lichtkonkurrenz) und Standort

Konkurrierende Lichtquellen in der Umgebung verringern in der Regel den Anflug an die einzelne Lichtquelle (ROBINSON & ROBINSON 1950, KURTZE 1974), wahrscheinlich weil der Kontrast zwischen Lichtquelle und Umgebung verringert wird (FRANK 1988). Wenn keine gegenseitige Beeinflussung zweier Lichtquellen auftreten soll, müssen diese ohne Sichtkontakt ca. 50 m voneinander entfernt stehen (MEIER 1992). So konnte HAUSMANN (1992) schon bei zwei 45 m voneinander entfernten Lichtquellen (allerdings in unterschiedlichen Lebensräumen) deutliche Unterschiede im Nachtfalter-Artenspektrum und deren Individuenverteilung feststellen. Auch KOLLIGS (2000) stellte schon bei 25 m Abstand der untersuchten Straßenleuchten deutliche Unterschiede im Anflug bei Insekten fest, was er vor allem auf das kleinräumig unterschiedliche Lebensraumpotenzial der Umgebung der Lichtquellen zurückführt. SCHEIBE (2000) konnte bei zwei gleichzeitig aufgestellten Lichtquellen (Abstand 30 m) feststellen, dass deutlich diejenige mit dem „attraktiveren“ Spektrum angefliegen wurde. Zu einem ähnlichen Ergebnis kam auch MIKKOLA (1972). Dieser konnte feststellen, dass die Unterschiede in der Attraktivität bei nahe beieinander aufgestellten Lichtquellen stieg.

WILLIAMS (1951) und WILLIAMS et al. (1955) wiesen nach, dass der Einfluss des Standortes der Lichtfalle nur einen sehr geringen Einfluss auf das Fangergebnis hat (erklärte Varianz: 1,5 bis 5,1 %). Auch LEINONEN et al. (1998) schätzen bei einem Versuch mit 4 Lichtfallen (Abstand untereinander < 100 m) in Rotation den Einfluss des Standortes auf das Fangergebnis der Nachtfalter mit unter 10 % ein. Nach EBERT (1994) können jedoch schon bei einer Entfernung von 20 m bei anscheinend gleicher Umgebung bedeutende qualitative und quantitative Unterschiede im Anflug von Nachtfaltern an die Lichtquellen auftreten. Auch KOLLIGS (2000) wies einen deutlichen Einfluss des Standortes der Lichtfalle auf das Anflugergebnis bei Insekten (insbesondere Schmetterlingen) nach, auch bei relativ geringen Abständen der Lichtquellen von 30 m zueinander. BAUER (1993) stellte einen „Randeffekt“ bei 3 gleichartigen Lampen in einer Reihe fest: bei der mittleren Lampe registrierte er niedrigere Fangzahlen bei Schmetterlingen. Bei Betrachtung der Summe aller angeflogenen Insekten waren jedoch alle 3 Lampen äquivalent. Beim Versuch mit zwei Lampen (Abstand 28 m) stellte er für keine Insektenordnung eine signifikante Bevorzugung fest.

Anlockdistanz und Kontrast der Umgebung (Hintergrundkontrast)

Die Anlockdistanz bezeichnet diejenige Entfernung, in der tatsächlich eine Lockwirkung durch die Lichtquelle auftritt. Die Anlockdistanz ist in vielen Fällen nicht mit der Anflugdistanz identisch, da insbesondere mobile Arten (z.B. Wanderfalter) oder herumvagabundierende Tiere aus Lebensräumen stammen können, die zum Teil wesentlich weiter als obige Distanzen von der Lichtquelle entfernt sein können (SCHMIEDEL 2001). Die Insektenanlockung nimmt in dem Maße zu, wie sich der Raum erweitert, aus dem die Lichtquelle sichtbar ist und wird insbesondere von der Höhe und Abstrahlrichtung der Lichtquelle bestimmt (vgl. BAUER 1993).

Die Entfernung der anlockenden Wirkung ist artspezifisch (und zum Teil geschlechtsspezifisch) unterschiedlich und nur für relativ wenige Arten ausreichend gut belegt. Sie hängt von verschiedenen Faktoren ab, z.B. der Leistung, der Lichtpunkthöhe, dem Lichtspektrum der Lichtquelle, den Mondphasen, der Witterung und dem „Hintergrundkontrast“.

Die in der Literatur angegebenen Distanzen liegen im Bereich zwischen 3 und 700 m, meist zwischen 10 und 250 m (vgl. BOWDEN & MORRIS 1975, BAKER & SADOVY 1978, BOWDEN 1982, McGEACHY 1988, MUIRHEAD-THOMSON 1991). Bei klarem Wetter und Neumond können Insekten aus einer Distanz von 400 - 700 m, bei Vollmond aus 50 m angelockt werden (KOBLER 2002). KOLLIGS (2000) stellte mit Anlockversuchen an drei unterschiedlich flugstarken (markierten) Arten fest, dass aus über 50 m Entfernung nur noch vereinzelt Nachtfalter an die Lichtquelle flogen, aus 150 m keine mehr. Weitere lepidopterologische Beispiele finden sich bei EBERT (1994), SCHEIBE (2000) und SCHMIEDEL (2001). Entfernungsangaben von 500 m oder mehr beruhen dabei meist auf Extrapolation und/oder speziellen (künstlich hergestellten) Verhältnissen (FRANK 1988).

Allgemein lässt sich sagen, dass die Fernwirkung einer Lichtquelle mit der Größe des Raumes, aus dem die Lampe als deutlicher Lichtpunkt im Kontrast zur Umgebung für die Insekten zu erkennen ist, wächst (SCHANOWSKI 2001). Die großen Differenzen in den Angaben zur Anlockentfernung beruhen zum Teil darauf, dass sich die Stärke des Hintergrundlichtes und somit der Kontrast zur künstlichen Lichtquelle ändert (KOLLIGS 2001). Je stärker der Kontrast zwischen der Lichtquelle und der Beleuchtung der Umgebung ist, desto mehr Insekten lockt die Lichtquelle in der Regel auch an. Verschiedene Faktoren können diesen Kontrast beeinflussen, z.B. geographischer Breitengrad, Jahreszeit, Tageszeit, Mondphasen sowie Bewölkungsgrad und Vegetationsbedeckung (vgl. ROBINSON & ROBINSON 1950, MIKKOLA 1972, BOWDEN & MORRIS 1975, BLOMBERG et al. 1978, BOWDEN 1982, 1984).

Bei den Freilandversuchen in Wien muss daher der Versuchsstandort konstant gehalten werden und die Bewölkung innerhalb der einzelnen Versuchsreihen sollte in den einzelnen Nächten möglichst gleich hoch sein (am besten also bedeckt oder aber wolkenlos, da dies am leichtesten auch nachts zu beobachten und kontrollieren ist).

2.5.2 Abiotische Faktoren

(vgl. z.B. WILLIAMS 1940, MALICKY 1965, HARLING 1968, PERSSON 1971, 1976; MIKKOLA 1972, KURZE 1974, BLOMBERG et al. 1976, 1978; NOWINSZKY et al. 1979, BOWDEN 1982, LÖDL 1984, BAUER 1993, EBERT 1994, SCHEIBE 2000, KOLLIGS 2000)

Die Aktivität und der Anflug von Insekten an künstliche Lichtquellen wird wesentlich von der Witterung und dem Mond beeinflusst. Generell sind an warmen, windstillen und mondlosen Nächten besonders viele Insekten an künstlichen Lichtquellen zu finden. Im folgenden werden die wichtigsten Einflussfaktoren abgehandelt.

Temperatur

Viele Arbeiten konnten zeigen, dass die Lufttemperatur der entscheidende Faktor für die Aktivität von Insekten ist. Bei höherer Temperatur erhöht sich der Anflug an Lichtquellen (vgl. WILLIAMS 1940, PERSSON 1971, 1976, KURTZE 1974, BLOMBERG et al. 1976, 1978, LÖDL 1984, McGEACHIE 1989, MUIRHEAD-THOMSON 1991, BAUER 1993, EBERT 1994, SCHEIBE 2000, 2003, KOLLIGS 2000, EISENBEIS 2001).

In warmen Sommernächten werden insbesondere auch viele aquatische Insekten vom Licht angelockt (SCHEIBE 2003), wobei sich der Anflug unter 10°C drastisch reduziert (WARINGER 1989).

Wind

Bei zunehmender Windgeschwindigkeit nimmt der Anflug in der Regel ab, wobei insbesondere kleine und/oder flugschwache Tiere davon betroffen sind (MALICKY 1965, PERSSON 1971, 1976, KURTZE 1974, BLOMBERG et al. 1976, McGEACHIE 1989, MUIRHEAD-THOMSON 1991, SCHEIBE 2000). Dies ist v. a. bei der Versuchsanordnung zu bedenken, da in unterschiedlicher Höhe bzw. bei unterschiedlicher Physiographie des Geländes der Faktor Wind deutliche Auswirkungen haben kann.

Niederschlag

Bei starkem Regen (insbesondere mit großen Tropfen) geht der Anflug zurück. Nieselregen hingegen ist für den Anflug oft sogar förderlich (KURTZE 1974, BLOMBERG et al. 1978, EBERT 1994). Warmer Regen wirkt eher anflugfördernd, kalter Regen hemmt den Anflug (PERSSON 1971, LÖDL 1984).

Luftfeuchtigkeit

Hier gibt es geteilte Ansichten über die hemmende oder fördernde Wirkung (KURTZE 1974, LÖDL 1984). Nach SCHMIEDEL (2001) steigt bei hoher Luftfeuchtigkeit im Allgemeinen auch der Insektenanflug an künstliche Lichtquellen deutlich an. Nach EISENBEIS (2001) entfallen auf feuchtere Abende mehr „Spitzenfänge“. In allen Fällen muss die Luftfeuchtigkeit jedoch in Zusammenhang mit der Temperatur gesehen werden.

Mond und Hintergrund-Helligkeit

Als Grundregel kann gelten, dass in klaren, mondhellen Nächten der Anflug (wesentlich) geringer ist als bei Neumond (WILLIAMS 1940, PERSSON 1971, 1976, KURTZE 1974, NOWINSZKY et al. 1979, McGEACHIE 1989, MUIRHEAD-THOMSON 1991, BAUER 1993, EBERT 1994, KOLLIGS 2000, EISENBEIS 2001).

Der direkte Einfluss des Mondes wird aber allgemein überschätzt, vor allem deshalb, weil mondhelle Nächte mit anderen Faktoren kombiniert sein können, z.B. niedrigere Temperatur und relative Luftfeuchte (KRISMANN 1994).

Vollmond fördert hingegen den Anflug dämmerungsaktiver Arten und verlängert insbesondere die nächtliche Gesamtflugzeit (KURTZE 1974, BOWDEN & MORRIS 1975). Auf Grund des zu Vollmond weniger starken Kontrastes zwischen Hintergrundlicht und künstlicher Lichtquelle fliegen solche Arten gleichzeitig weniger stark an die Lichtquelle an, weshalb dämmerungsaktive Arten grundsätzlich auch weniger durch Kunstlicht gefährdet sind (KOLLIGS 2000).

Bewölkung

Diese steht im Zusammenhang mit der Temperatur, dem Niederschlag, der Luftfeuchtigkeit, der Sichtbarkeit der jeweiligen Mondphase und dem Hintergrundkontrast. Stärkere Bewölkung wirkt in der Regel anflugfördernd, was meist auf die Reduzierung der „Hintergrundhelligkeit“ und damit auf eine Kontrastverstärkung zurückgeführt wird (WILLIAMS 1940, PERSSON 1971, 1976, BLOMBERG et al. 1978, BOWEN 1982, LÖDL 1984, EISENBEIS 2001).

Luftdruck

Die Stärke des Einflusses ist umstritten. Niedriger Luftdruck gilt als ungünstig für den Anflug (LÖDL 1984). Bei steigendem Luftdruck fliegen mehr Mücken (Nematocera) zum Licht (KOLLIGS 2000).

Wechselwirkung der einzelnen Faktoren

Durch die Vielzahl von Witterungseinflüssen auf den Insektenanflug sowie deren Zusammenwirken ist eine Bewertung außerordentlich schwierig und von Unsicherheiten geprägt. Der Einfluss der verschiedenen Wetterfaktoren variiert auch mit dem verwendeten Lampentyp (vgl. BLOMBERG et al. 1978).

Optimale Witterungsbedingungen für einen starken Anflug sind meist nur an wenigen Tagen pro Jahr gegeben (KOLLIGS 2000, eigene Beobachtungen).

Empfehlung für das Versuchsdesign in Wien: Die Vergleichsfänge sollten in den Sommermonaten bei hohen Temperaturen, niederschlagsfreiem Wetter, geringen Windgeschwindigkeiten, möglichst um Neumond und bei gleichbleibenden Bewölkungsverhältnissen (von Vergleichsnacht zu Vergleichsnacht) durchgeführt werden.

3 WEITERE METHODISCHE HINWEISE ZUM VERSUCHSDESIGN

Im Rahmen von Versuchen sind die abiotischen und biotischen Variablen (art- und geschlechtsspezifische Mobilität sowie Aktivitätsperiodik, spezifische spektrale Empfindlichkeiten einzelner Arten etc.) nicht beeinflussbar. Sie müssen möglichst konstant gehalten werden, um den Einfluss folgender regulierbarer Faktoren möglichst gut beurteilen zu können:

- Standort der Lichtquelle und Lichtpunkthöhe
- Konstruktionsweise der Leuchten, Lampen und Sammelbehälter
- Kontur und Oberflächengröße des Leuchtkörpers
- Lichtstärke (Leuchtdichte) der Lichtquelle
- Spektrale Zusammensetzung der Lichtquelle

Das Grundproblem der Versuchsanordnung besteht in der simplen Tatsache, dass zwei (oder mehr) Lampentypen nicht gleichzeitig an ein und demselben Ort getestet werden können (WILLIAMS 1952, WILLIAMS et al. 1955). Daher ist der direkte Vergleich nicht möglich und es sind immer die Einflüsse unterschiedlicher Fangnächte einerseits bzw. unterschiedlicher Standorte andererseits zu berücksichtigen. Deshalb gibt es auch zwei verschiedene Methoden des vergleichenden Lichtfanges (vgl. LÖDL 1984, 1989), die im Folgenden beschrieben werden.

3.1 Vergleichende Lichtfangmethoden

Simultanmethode

Die zu vergleichenden Geräte werden nebeneinander, gleichzeitig und im selben (möglichst „homogenen“) Lebensraum betrieben. Die Schwierigkeit besteht darin, die Versuchsanordnung so zu wählen, dass eine störende, gegenseitige Beeinflussung der Geräte durch Lichtkonkurrenz ausgeschlossen wird. Stellt man die zu vergleichenden Geräte

aber zu weit voneinander entfernt auf, ist die Forderung nach möglichst gleichen Biotopverhältnissen und kleinklimatischen Bedingungen nicht mehr erfüllt.

Schwierig ist dabei die Entscheidung, ob jede der zu vergleichenden Lichtquellen „ihre“ Insekten anlockt oder ob eine der beiden (oder mehreren) gewissermaßen als „Zugpferd“ für die Anlockung dient. Tiere, die von einer Lampe auf weite Distanz angelockt werden, können im Nahbereich jedoch von beiden Lichtfallen erfasst werden, was zur Verfälschung der Ergebnisse führt. SCHEIBE (2003) konnte nachweisen, dass Tiere bei der Wahl der zur Verfügung stehenden Leuchtmittel die „attraktivere“ Lampe anfliegen, während beim Vorhandensein nur eines Lampentyps die Fänge der unterschiedlichen von ihm getesteten Lampen sich stark annäherten.

Rotationsmethode

Die Geräte (Lampentypen), die verglichen werden sollen, werden unabhängig voneinander betrieben, man wechselt jedoch regelmäßig (am besten täglich) die Standorte, so dass die Geräte abwechselnd auf jedem der definierten Plätze zum Einsatz kommen. Hier sind die Witterung und der Standort die entscheidenden Einflussfaktoren auf das Fangergebnis. Die Versuche sollten daher bei stabiler Großwetterlage in möglichst „homogenen“ Biotoptypen durchgeführt werden.

Nach dem bisherigen wissenschaftlichen Kenntnisstand ist es sinnvoller, die Versuche in Rotationsmethode ohne Lichtkonkurrenz (bei stabilen Witterungsbedingungen) durchzuführen, d.h., unterschiedliche Lampentypen müssen unabhängig voneinander an einem Ort getestet werden. Die gleiche Testreihe kann dann in unterschiedlichen Habitaten durchgeführt werden (z.B. einmal in vorwiegend terrestrischer, einmal vorwiegend in aquatischer Umgebung).

Diese Anordnung ohne Lichtkonkurrenz entspricht in der Regel der Situation von Beleuchtungsanlagen auf Straßen und Plätzen (wo meist nur ein Lampentyp verwendet wird), womit die Praxisrelevanz (im Gegensatz zu Versuchen mit Lichtkonkurrenz) weitgehend gegeben ist.

3.2 Fallentyp und Tötungsmittel

Als Fallentyp wird eine einfache Trichterfalle (Minnesota- oder Jermy-Lichtfalle) vorgeschlagen. Dies ist ein einfaches Modell mit unproblematischer Handhabung, das für alle betroffenen Tiergruppen als fängig beschrieben wird und sich daher für den Versuchsaufbau besonders eignet (siehe Abbildung. 1).

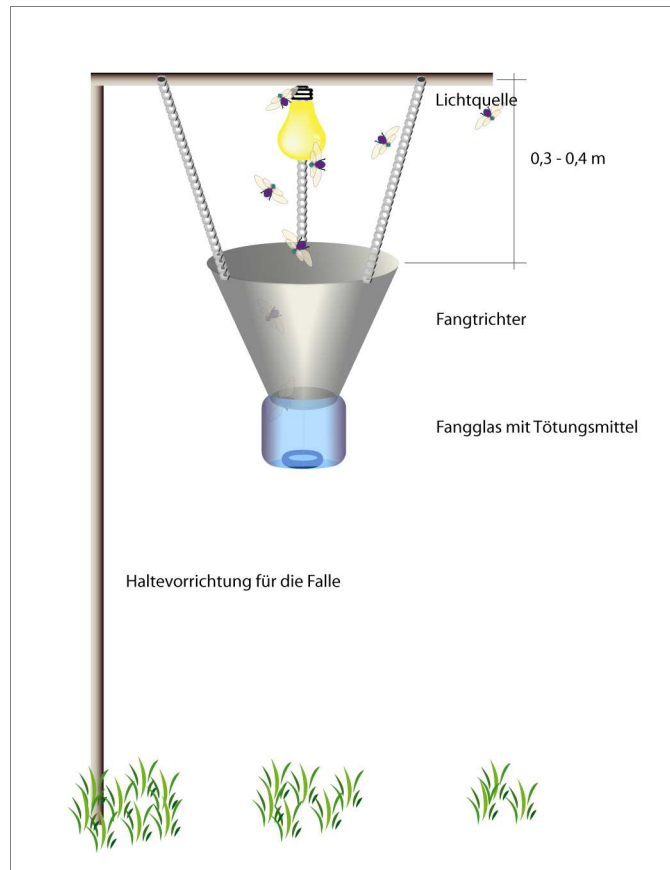


Abbildung 1: Jermy Lichtfalle (nach LÖDL, 1984).

LÖDL (1984, 1985) behandelt die Vor- und Nachteile unterschiedlicher Anästhetika (Tötungsmittel) in der Lichtfallentechnik. Wir empfehlen bei der Versuchsanordnung Tetrachlorkohlenstoff als Tötungsmittel, welcher in einem Evaporator (flaches Glas mit getränkter Watte) in die Falle eingebracht wird (zu Details vgl. LÖDL 1984, 1985).

3.3 Standort, Art und Anzahl der zu vergleichenden Lampentypen

In der öffentlichen Beleuchtung in Wien werden vorwiegend die in Tabelle 1 aufgelisteten Lampentypen verwendet (www.magwien.gv.at/Licht/; BÖTTCHER 2001).

Tabelle 1: In Wien hauptsächlich verwendete Lampentypen inklusive Stückzahlen.

Lampentyp	1982	2001
Leuchtstofflampen	201.900	198.584
Natriumdampf-Hochdrucklampen	7.700	32.810
Quecksilberdampflampen	5.200	7.140
Natriumdampf-Niederdrucklampen	5.000	1.371
Glühlampen	2.300	105

Da im modernen Lichtdesign hauptsächlich Natriumhochdrucklampen, Leuchtstofflampen und Quecksilberdampflampen eingesetzt werden, erscheint es sinnvoll, diese drei Lampentypen für die Versuchsreihe heranzuziehen. Die, bei LKW Mautstellen eingesetzten, Lampen des Typs "Blue Light" sind aus naturschutzfachlicher Sicht ebenfalls problematisch. Diese Vorgangsweise bleibt jedoch mit der Naturschutzbehörde abzusprechen.

3.4 Erfassungszeitraum

Da die meisten Insektenordnungen und -arten in den Sommermonaten (Juni bis August) ihre Haupt-Aktivitätsperiode aufweisen, empfehlen wir, die Untersuchungen in Wien auf diesen Zeitraum zu konzentrieren.

Zum Problem des Lichtfanges an aufeinanderfolgenden Abenden gibt es nur einige wenige Erkenntnisse: WILLIAMS (1952) und WILLIAMS et al. (1955) konnten keinen Rückgang des Fanges der vorhergehenden Nacht auf nachfolgende Fänge feststellen. MIKKOLA (1972) wies nach, dass die Fangergebnisse bei den meisten Insektengruppen deutlich weniger durch unterschiedliche Witterungsbedingungen, als vielmehr durch unterschiedliche Lichtquellen (Lampentypen) variieren. KOLLIGS (2000) konnte an markierten Eulenfaltern zeigen, dass die Wiederfangrate nach einem Tag deutlich unter 50 % lag, die Wiederfänge der folgenden Tage lagen alle unter 25 %. Er wies des weitern nach, dass die Verweilzeit an künstlichen Lichtquellen artspezifisch ist und nur Tiere einzelner Nachtfalter-Familien (z.B. Schwärmer und Spinner) längere Zeit am Licht verbleiben.

Beim Versuchsdesign im Wiener Stadtgebiet ist es notwendig, die unterschiedlichen Lampentypen an aufeinanderfolgenden Abenden am selben Standort bei möglichst gleichbleibenden Witterungsbedingungen zu testen. Da die Wahrscheinlichkeit, dass an mehreren hintereinander folgenden Abenden gleiche oder sehr ähnliche Witterungsbedingungen mit der Anzahl der Abende, an denen Versuche stattfinden, drastisch abnimmt, ist es nicht möglich, mehr als drei verschiedene Lampentypen (noch besser nur zwei) an einem Standort zu testen.

3.5 Versuchsareal

Aus Gründen der Machbarkeit wird nur je ein terrestrisch und ein aquatisch geprägter Biotoptyp zu Versuchszwecken vorgeschlagen.

3.6 Versuchsdesign

Die drei (vier) oben erwähnten Lampentypen werden zu stabilen klimatischen Bedingungen am selben Ort jeweils einen Tag lang eingesetzt. Die beiden anlockschwächeren Lampen werden danach ebenfalls einen Tag lang eingeschaltet. Wie weiter oben erwähnt, müssen die zu testenden Variablen wie Spektralbereich, die Lichtintensität und -stärke, sowie die Lampenhöhe und der Abstrahlwinkel konstant gehalten werden. Um Lichtkonkurrenz auszuschließen muss die Lichtquelle isoliert (keine weiteren Lichtquellen in 100 m Umgebung) installiert werden.

Die angeflogenen Individuen werden auf ein möglichst niedriges taxonomisches Niveau (im Idealfall auf Artniveau) bestimmt. Eine naturschutzfachliche Interpretation der Ergebnisse ist dabei prinzipiell nur für ähnliche Biotoptypen durchzuführen.

3.7 Rechtliche Grundlagen zum Schutz von Insektenarten in Wien

Wiener Naturschutzgesetz und Wiener Naturschutzverordnung

Im folgenden werden die wichtigsten Bestimmungen dieser beiden Gesetze insofern kurz angeschnitten, als sie für den Schutz von Insekten im Rahmen dieser Studie von Interesse sind.

Im 1. Abschnitt der Anlage zur Naturschutzverordnung werden Tierarten aufgelistet, die streng geschützt sind. Wenn sie als „prioritär bedeutend“ eingestuft sind, erfolgt die Kennzeichnung mit einem Stern („*“). Zur Erhaltung und Verbesserung der Lebensbedingungen der als prioritär bedeutend eingestuften Arten muss nach § 15 Wiener Naturschutzgesetz ein Arten- und Biotopschutzprogramm erstellt werden.

Streng geschützte Tierarten sind vom Aussterben bedrohte Arten, stark gefährdete Arten und Arten von überregionaler Bedeutung, die eines strengen Schutzes der Vorkommen bedürfen (§ 9 Abs. 1, Z. 1 Wiener Naturschutzgesetz). Diese Arten weisen eine negative Bestandsentwicklung auf. Der fortschreitende Lebensraumverlust bedingt die Notwendigkeit eines konsequenten Schutzes der bestehenden Vorkommen, um ein mittelfristiges Erlöschen der Vorkommen zu verhindern.

Kriterien für die Einstufung als streng geschützt sind vor allem die Aufnahme und Einstufung der Art in eine internationalen oder nationalen Roten Liste, die Aufnahme in Anhang II oder IV der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie oder in Anhang 1 der Vogelschutz-Richtlinie bzw. überregional bedeutende Vorkommen einer Art im Landesgebiet von Wien.

Als Kriterien für die Einstufung als prioritär bedeutend gelten einerseits die Gefährdung dieser Arten und andererseits die Möglichkeit, für diese Erhaltungs- und Verbesserungsmaßnahmen zu setzen.

Für diese Arten gelten die Verbote des § 10, Abs. 3 des Wiener Naturschutzgesetzes. Danach dürfen streng geschützte lebende Tiere nicht verfolgt, gefangen, befördert, gehalten, verletzt, getötet oder mutwillig beunruhigt sowie im lebenden oder toten Zustand feilgeboten, erworben, übertragen oder verwahrt werden. Der Schutz erstreckt sich auf alle Entwicklungsformen der Tiere sowie auf Tierteile.

Auf Antrag können von der Naturschutzbehörde Ausnahmen von diesen Verboten erteilt werden. Voraussetzung ist jedoch, dass der Erhaltungszustand der betroffenen Art im Stadtgebiet trotz der Durchführung der beantragten Maßnahme günstig bleibt (vgl. § 11 Abs. 1 und 2 Wiener Naturschutzgesetz). Der Erhaltungszustand einer Art ist dann günstig, wenn im natürlichen Verbreitungsgebiet dieser Art genügend geeignete Lebensräume sowie eine ausreichende Anzahl von Exemplaren für die Besiedelung von geeigneten Lebensräumen vorhanden sind (vgl. § 11 Abs. 3 Wiener Naturschutzgesetz).

Im 2. Abschnitt der Anlage zur Naturschutzverordnung werden Tierarten aufgelistet, die geschützt sind. Für diese Arten gelten die Verbote des § 10 Abs. 4 des Wiener Naturschutzgesetzes nur während des jeweils angegebenen Zeitraumes oder während des jeweils angegebenen Entwicklungsstadiums. Auch hier können auf Antrag Ausnahmen erteilt werden.

Geschützte Tierarten sind gefährdete Arten, potentiell gefährdete Arten und Arten von regionaler Bedeutung, deren Entnahme aus der Natur oder sonstige menschliche Nutzung einer Regelung bedarf (§ 9 Abs. 1, Z. 2 Wiener Naturschutzgesetz).

Lebensraumschutz (Schutz der Habitate)

Der Schutz des Lebensraumes streng geschützter und geschützter Arten gliedert sich in folgende Schutzkategorien:

- A) Streng geschützte Arten mit Lebensraumschutz im gesamten Stadtgebiet.
- B) Streng geschützte Arten, deren Lebensräume in allen nach dem Wiener Naturschutzgesetz, Wiener Nationalparkgesetz und der Wiener Nationalparkverordnung geschützten Objekte, Flächen und Gebiete („Schutzgebiete“) geschützt sind.
- D) Geschützte Arten ohne Lebensraumschutz. Dies betrifft alle anderen, nicht unter A) oder B) angeführten Arten.

Tabelle 2: Vorwiegend nachtaktive flugfähige Insektenarten der Wiener Artenschutzverordnung, welche durch die Anlockwirkung von Lichtquellen betroffen sein können (ohne Tagfalter und Widderchen, Libellen, Heu- und Fangschrecken und hügelbauende Waldameisen)

Insektenart	Schutz nach Wiener Artenschutz-Verordnung
Käfer	
Alpenbock	A
* Heldbock	A
Hirschkäfer	B
* Eremitischer Juchtenkäfer	B
* Kolbenwasserkäfer	B
Körnerbock	A
Schluchtwald-Laufkäfer	A
Nashornkäfer	A
Violetthalsiger Ölkäfer	A
Kirschen-Prachtkäfer	A
Goldgepunkteter Puppenräuber	A
Großer Puppenräuber	A
Scharlachkäfer	A
Bruch-Schwarzkäfer	A
Genetzter Schwarzkäfer	A
Gepunkteter Splintbock	A
Großer Wespenbock	A
Nachtfalter	
Abendpfauenaug	A
Russischer Bär	A
Schwarzer Bär	A
* Wiener Nachtpfauenaug	A
Skabiosenschwärmer	A
Ordensbänder	D
Zikaden	
Eschenzikade	B
Weinbergzikade	B

In den geschützten Lebensraum darf nicht auf eine solche Weise eingegriffen werden, dass das weitere Vorkommen der Art in diesem Lebensraum erschwert oder unmöglich gemacht wird (§ 7 Abs. 3 Wiener Artenschutzverordnung). Ausnahmen können aber gemäß § 11 Abs. 3 Wiener Naturschutzgesetz erteilt werden.

Biotope, die einem im 3. Abschnitt der Anlage zum Entwurf der Wiener Naturschutzverordnung bezeichneten Biotoptyp zuzuordnen sind, können gemäß § 7 Abs. 2 und 3 des Wiener Naturschutzgesetzes mit Bescheid zu geschützten Biotopen erklärt werden.

Es handelt sich dabei um jene Biotoptypen, die

1. in Wien vorkommen und in Anhang I der FFH-Richtlinie angeführt sind oder
2. in Wien vom Verschwinden bedroht sind oder in Folge ihres Rückganges oder auf Grund ihres an sich schon begrenzten Vorkommens in Wien ein geringes Verbreitungsgebiet haben.

Es sind dies folgende Biotoptypen:

1. Gewässer:

- Naturnahe und unverbaute Fließgewässerabschnitte (Bäche und Flüsse) und deren naturnahe Uferbereiche
- Auengewässer und deren naturnahe Uferbereiche
- Tümpel und deren naturnahe Uferbereiche
- Teiche und deren naturnahe Uferbereiche (ausgenommen Garten-, Schwimm- und Fischzuchtteiche)
- Quellstandorte

2. Felsstandorte

- Felsbildungen und natürliche, offene Geröllhalden
- Lesesteinhaufen

3. Sümpfe, Wiesen, Trocken- und Magerrasen, Saumgesellschaften

- Sümpfe, Feuchtwiesen und wechselfeuchte Wiesen
- Trocken-, Halbtrocken- und bodensaure Magerrasen
- Extensive Fettwiesen
- Wärmeliebende Saumgesellschaften

4. Wälder

- Naturnahe Wälder und deren Waldränder

Biotopkartierung (vgl. PRESSE- UND INFORMATIONSDIENST DER STADT WIEN 1990)

Im Zuge der Wiener Biotopkartierung im Zeitraum von 1981 bis 1989 wurden in 12 Bezirken (mit Ausnahme der „inneren Bezirke“) Phytotope (im Sinne der Kartierungsrichtlinien) im Gesamtausmaß von 9239 ha kartiert, das entspricht 22,2 % der Fläche Wiens. Die 110 zur Auswahl gestellten Phytototypen wurden zu folgenden 19 Gruppen zusammengefasst (Tabelle 3):

Tabelle 3 : Übersicht zu den im Rahmen der Wiener Biotopkartierung erhobenen Phytotope

Phytotope	Fläche in ha	Fläche in %
Wälder	4837	53,3
Auwälder	946	10,4
Fettwiesen	547	6,0
Feldgehölze / Vorwaldstadien	452	5,0
Laubholzforste	313	3,4
Wasserpflanzenzone	242	2,7

Phytotope	Fläche in ha	Fläche in %
Hochgrasbestände	237	2,6
Baumgruppen / Alleen	222	2,4
Heißländen	207	2,3
Trocken- / Halbtrockenrasen	179	1,9
Nadelholzforste	173	1,9
ältere Ruderalvegetation	153	1,7
Gebüsche / Hecken	138	1,5
Röhrichte	88	< 1,0
Bachauen	77	< 1,0
Segetalvegetation	61	< 1,0
junge, oft gestörte Ruderalvegetation	51	1,7
Waldränder	22	< 1,0
Feucht- / Nasswiesen	15	< 1,0

Der „Wienerwald“ macht dabei mit 61 % (5560 ha Wald und 460 ha Wiesen) den Großteil der kartierten Phytotope aus. Es folgt die Lobau mit 1338 ha. Die Summe der Phytotopflächen im Bereich des Wienerwaldes und der Lobau ergibt zusammen ca. 7000 ha bzw. 76 % der kartierten Phytotope. Die restlichen 24 % verteilen sich auf die Bezirke 2, 10, 11, 21 und außerhalb der Lobau gelegene Teile des 22. Bezirkes.

Eine Verschneidung von Phytotopen und gefährdeten Habitaten sowie der daran gebundenen gefährdeten Arten könnte zu einer naturschutzrelevanten, repräsentativen Auswahl von Versuchsarealen führen.

4 ZUSAMMENFASSUNG

Die Literaturrecherche ergibt, dass das emittierte Lichtspektrum einen dominierenden Einfluss auf Quantität und Qualität des Insektenanfluges hat. Dabei sind Natriumdampflampen generell umweltverträglicher einzustufen als Quecksilberdampflampen, da sie in Wellenlängenbereichen emittieren, die einen großen Bereich des Sehempfindlichkeitsspektrums von Insekten abdecken.

Nach den bisher bekannten Auswirkungen von Lichtemissionen sollten folgende Konsequenzen für den Umgang mit künstlichem Licht in Natur und Landschaft gezogen werden (u.a. KOLLIGS & MIETH 2001, LiTG 1997, KOBLER 2002):

- Prüfung, ob Beleuchtungsanlagen reduziert oder vermieden werden können
- sensible Wahl des Standortes der Beleuchtungsanlagen, um empfindliche Biotope nicht zu beeinflussen
- Minimierung der eingesetzten Lichtmenge (Anzahl der Lampen und Leistung) sowie der Länge des Betriebes
- Abstrahlung des Lichtes nur nach unten, laterale Abstrahlung sollte vermieden werden

- flächenhafte Ausleuchtung heller Fassaden sollte vermieden werden
- langwellige Lichtemissionen sind allen anderen Lichttypen vorzuziehen; generell können Natriumdampf-Niederdrucklampen sowie Natriumdampf-Hochdrucklampen als umweltschonender als Quecksilberdampf-Hochdruck und Mischlichtlampen gelten
- UV-absorbierende Leuchtenabdeckungen sind als positiv zu bewerten
- Leuchtgehäuse sollten insektendicht schließen und die Oberflächentemperatur sollte 60°C nicht überschreiten

Allerdings ergeben sich große gruppen- (art- gattungs-, familien- und geschlechter-) spezifische Anflugspräferenzen hinsichtlich des Spektralbereiches.

Da naturschutzfachliche Bewertungen der Auswirkungen von Lichtemissionen nicht allein über generelle, quantitative Anflugbilanzen getroffen werden können, ist eine zentrale Frage zur Minimierung von negativen Auswirkungen folgende: Welche Insektengruppen bzw. -arten sind in den jeweiligen Biotoptypen prioritär zu schützen und welche Spektralbereiche beeinflussen diese Organismen negativ ? Allgemeine Empfehlungen (siehe oben) können biotop- und biozönosenspezifische Fragestellungen nicht ersetzen.

Für den Freilandversuch werden aus Gründen der Machbarkeit nur je ein terrestrisch und ein aquatisch geprägter Biototyp zu Versuchszwecken vorgeschlagen.

Es werden Lampen des Typs "Blue Light", Leuchtstofflampen, Natriumdampf-Hochdrucklampen und Quecksilberdampflampen zu stabilen und vergleichbaren klimatischen Bedingungen am selben Ort (gleiche Biotopverhältnisse, gleiches Mikroklima) ohne Lichtkonkurrenz, also unabhängig voneinander, jeweils eingesetzt. Die beiden anlockschwächeren Lampen werden danach ebenfalls getestet. Wie weiter oben erwähnt, müssen die Variablen wie Spektralbereich, die Lichtintensität und -stärke, sowie die Lampenhöhe und der Abstrahlwinkel bis auf den zu untersuchenden Parameter konstant gehalten werden.

Die angeflogenen Individuen werden auf ein möglichst niedriges taxonomisches Niveau (im Idealfall auf Artniveau) bestimmt. Die naturschutzfachliche Bewertung kann prinzipiell hinsichtlich der ermittelten Anflugzahlen (Biomasse) an den unterschiedlichen Lampentypen getroffen werden oder es werden die betroffenen, gefährdeten Arten der Wiener Naturschutzverordnung verstärkt berücksichtigt. Darüber hinaus können an gefährdete Biotope gebundene Arten in die Bewertung eingehen. Eine Kombination aller Bewertungsschritte ist ebenfalls möglich.

Eine naturschutzfachliche Interpretation der Freilandergebnisse ist prinzipiell nur für ähnliche Biotoptypen durchzuführen.

5 DANKSAGUNG

Mag. Dr. Peter Huemer, Mag. Dr. Martin Lödl, Dr. Mark Andreas Scheibe und Dr. Ulrich Straka sei für wertvolle Hinweise und kritische Anmerkungen zur vorliegenden Studie sehr herzlich gedankt!

6 LITERATURVERZEICHNIS

- BAKER, H. & T.E. HIENTON (1952): Traps have some value. – Yearbook of Agriculture 1952: 406-4011.
- BAUER, R. (1993): Untersuchung zur Anlockung von nachtaktiven Insekten durch Beleuchtungseinrichtungen. - Diplomarbeit Universität Konstanz. 112 pp.
- BAUERNFEIND, E. & HUMPECH, H. (2001): Die Eintagsfliegen Zentraleuropas (Insecta: Ephemeroptera): Bestimmung und Ökologie. Verlag des Naturhistorischen Museums Wien: 239 pp.
- BLOMBERG, O., ITÄMIES, J. & KUUSELA K. (1978): The influence of weather factors on catches in traps equipped with different lamps in northern Finland. - Ann. ent. Fenn. 44: 56-62.
- BLOMBERG, O., ITÄMIES, J., KUUSELA, K. (1976): Insects catches in a blended and a black light-trap in northern Finland. - Oikos 27: 57-63.
- BÖTTCHER, M. (2001): Lichtmissionen in naturschutzrelevanten Planungen. - Einführung und Problemaufriss. - Schriftenr. Landschaftspflege Naturschutz 67: 7-17.
- BOWDEN, J. & MORRIS, M. J. (1975): The influence of moonlight on the catches of insects in light-traps in Africa – III. The effective radius of a mercury-vapour light-trap and the analysis of catches using effective radius. – Bull. ent. Res. 65: 303-348.
- BOWDEN, J. (1982): An analysis of factors affecting catches of insects in light-traps. - Bull. ent. Res. 72: 535-556.
- BOWDEN, J. (1984): Latitudinal and seasonal changes of nocturnal illumination with a hypothesis about their effect on catches of insects in light-traps. - Bull. ent. Res. 74: 279-298.
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2001): Auswirkungen von Fremdlicht auf die Fauna im Rahmen von Eingriffen in Natur und Landschaft. - Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, 67:1-190, Bonn-Bad Godesberg.
- BURMEISTER, E. G. (1985): Der Massenflug aquatischer Insekten (Imagines)-ein Charakteristikum unserer großen Flüsse am Beispiel der Alz (Chiemgau). Nachrichtenblatt der Bayrischen Entomologen Jg. 34, Nr.1:1-5.
- CLEVE, K. (1964): Der Anflug der Schmetterlinge an künstliche Lichtquellen. – Mitt. dt. ent. Ges. 23: 66-76.
- CLEVE, K. (1966): Das Sternenlicht und dessen vermutliche Wahrnehmung durch nachts fliegende Schmetterlinge. - Dtsch. Ent. Z., N. F. 13 (IV-V): 359-375.

- CLEVE, K. (1967): Das spektrale Wahrnehmungsvermögen nachts fliegender Schmetterlinge (Lep.). - NachrBl. bayer. Ent. 16: 33-53.
- DANIEL, F. (1950): Mit welchen Organen nehmen Nachtfalter künstliche Lichtquellen wahr? Eine Erfahrungszusammenstellung mit der Bitte um Bekanntgabe weiterer Beobachtungen. - Ent. Z. 59(20): 153-157.
- DEUTSCHE LICHTTECHNISCHE GESELLSCHAFT (LITG) E. V., BERLIN (1996): Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen. - LitG-Publikationen Nr.12.2, ISBN 3-927787-14-0.
- DREISIG, H. (1980): The importance of illumination level in the daily onset of flight activity in nocturnal moths. - Physiol. Ent. 5: 327-342.
- EBERT, G. (1994; Hrsg.): Die Schmetterlinge Baden-Württembergs. Band 3: Nachtfalter I. - Ulmer, Stuttgart, 518 pp.
- EISENBEIS, G. & HASSEL, F. (2000): Zur Anziehung nachtaktiver Insekten durch Straßenlaternen – eine Studie kommunaler Beleuchtungseinrichtungen in der Agrarlandschaft Rheinhessens. - Natur und Landschaft 75(4): 145-156.
- EISENBEIS, G. (2001): Künstliches Licht und Insekten: eine vergleichende Studie in Rheinhessen. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, 67:75-101.
- ESCHE, T., FREUNDT, S., PAUSCHERT, P. & SCHANOWSKI, A. (1989): Untersuchung zur Auswirkung unterschiedlicher Lichtquellen auf nachtaktive Grossschmetterlinge (Macrolepidoptera) im Rastatter Oberwald, Landkreis Rastatt. – Institut für Ökologie und Artenschutz im DBV, Fachbereich Waldökologie, 24+17 pp.
- FRANK, K. D. (1988): Impact of outdoor lighting on moths: an assessment. - Journal of the Lepidopterists' Society 42(2): 63-93.
- FROST, S. W. (1954): Responses of insects to black and white light. - J. Econ. Ent. 46: 376-377.
- FROST, S. W. (1958): Insects attracted to light traps placed at different heights. – J. Ecol. Ent. 51: 550-551.
- GEPP, J. (1977): Technogene und Strukturbedingte Dezimierungsfaktoren der Stadttierwelt - ein Überblick. - In: Stadtökologie. Tagungsbericht, Graz: 69-127.
- GIEBULTOWICZ, J. M., RIDGEWAY, R. L. & IMBERSKI, R. B. (1990): Physiological basis for sterilising effects of constant light in *Lymantria dispar*. – Physiol. Ent. 15: 149-156.
- GRAF, W. (1997): Ein Beitrag zur Köcher- und Steinfliegenfauna Kärntens (Insecta:Trichoptera, Plecoptera): Das Oswaldbachsystem (Nockberge, Kärnten). - Dissertation an der Universität Wien, 250 pp.
- HANNA, H. M., & HAMAD, N. E. F. (1975): Height of flight of nocturnal Lepidoptera as indicated by three light traps. - Bull. Soc. ent. Egypte 59: 29-38.

- HAUSMANN, A. (1990): Die Bedeutung des genauen Lichtfallen-Standortes für die Aussagekraft des Fangergebnisses. - *Atalanta* 21(3/4): 301-312.
- HAUSMANN, A. (1990): Untersuchungen zum Massensterben von Nachtfaltern am Industriebeleuchtungen (Lepidoptera, Macroheterocera). - *Atalanta* 23(3/4): 411-416.
- HENKE, H (1991): Empfehlungen für eine umweltverträgliche Außenbeleuchtung. Mitteilungen des Beauftragten für Naturschutz und Landschaftspflege des Landkreises Peine.
- HOSNY, M. M. & KHATTAB, A. A. S. (1969): Average flight level and type of distribution in some nocturnal insects species as indicated by caches in three light-traps. - *Bull. Soc. ent. Egypte* 53: 109-116.
- KOBLER, R. L. (2002): Die Lichtverschmutzung in der Schweiz. Mögliche Auswirkungen und praktische Lösungsansätze. - Diplomarbeit FHBB Fachhochschule beider Basel). 43 pp.
- KOLLIGS, D. & A. MIETH 2001: Auswirkung kleinflächiger und großflächiger Lichtquellen auf Insekten. *Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz*, 67:53-67.
- KOLLIGS, D. (2000): Ökologische Auswirkungen künstlicher Lichtquellen auf nachtaktive Insekten, insbesondere Schmetterlinge (Lepidoptera). – *Faun.-Ökol. Mitt. Suppl.* 28: 3-136.
- KRISMANN, A. (1994): Der Lichtfang von Nachtfaltern: Theorie - Methodik - Beispiele. - *Naturkundliche Beiträge des DJN* 29: 28-63.
- KURECK, A. (1992): Das Massenschwärmen der Eintagsfliegen am Rhein. Zur Rückkehr von *Ephoron virgo* (Olivier, 1791). *Natur Landsch.* 67, 9: 407-409.
- KURTZE, W. (1974): Synökologische und experimentelle Untersuchungen zur Nachtaktivität von Insekten. - *Zool. Jb. Syst.* 101: 297-344.
- LEINONEN, R., SÖDERMANN, G., ITÄMIES, 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.
- LiTG (Deutsche Lichttechnische Gesellschaft) (1997): Zur Einwirkung von Außenbeleuchtungen auf nachtaktive Insekten. - *LiTG-Publikationen* 15. 24 pp.
- LÖDL, M. (1984): Kritische Darstellung des Lichtfanges, seiner Methode und seine Bedeutung für die ökologisch-faunistische Entomologie. – Dissertation, Univ. Wien. 245 + 157 pp.
- LÖDL, M. (1985): Die Anästhetika in der Lichtfallentechnik. - *Ent. Z.* 95(22): 321-336.
- LÖDL, M. (1989): Die Grundlagen des vergleichenden Lichtfanges. *Beitr. Ent.* 39/2: 413-424.
- MALICKY, H. (1965): Freilandversuche an Lepidopterenpopulationen mit Hilfe der JEREMYschen Lichtfalle, mit Diskussion biozöologischer Gesichtspunkte. - *Z. ang. Ent.* 56: 358-377.
- MALICKY, H. (1974): Über das Geschlechterverhältnis von Lepidopteren in Lichtfallen. - *Z. ang. Ent.* 75: 113-123.

- MALICKY, H. (1974a): Der Einfluss des Standortes einer Lichtfalle auf das Anflugergebnis der Noctuidae (Lepidoptera). - Fol. Ent. Hung. 27. Suppl.: 113-127.
- MALICKY, H. (1975): Über die Brauchbarkeit der Lichtfallenmethode für die Freilanduntersuchungen an Neuroptera. - Anz. Schädlingskde, Pflanzenschutz, Umweltschutz 48: 120-124.
- MALICKY, H. (1978): Köcherfliegen-Lichtfallenfang am Donauufer in Linz (Trichoptera). - Linzer biol. Beitr. 10/1: 135-140.
- MALICKY, H. (1981): Artificial Illumination of a Mountain Stream in Lower Austria: Effekt of Constant Daylength on the Phenology of the Caddisflies (Trichoptera). - Aquatic Insects, Vol. 3, 1: 25-32.
- MARTEN, W. (1956): Beobachtungen beim Lichtfang. Versuch zur Lösung der Frage nach dem „Warum“ des Anfluges der Insekten an künstliches Licht. - Ent. Z. 66(11): 121-133.
- McGEACHIE, W. J. (1989): The effects of moonlight illuminance, temperature and wind speed on light-trap catches of moths. - Bull. ent. Res. 79: 185-192.
- MEIER, M. (1992): Nachtfalter. Methoden, Ergebnisse und Problematik des Lichtfanges im Rahmen landschaftsökologischer Untersuchungen. - In: TRAUTNER J. (Hrsg.): Arten- und Biotopschutz in der Planung: Methodische Standards von Tierartengruppen. - Ökologie in Forschung und Anwendung: 203-218. J. Margraf, Weikersheim.
- MEINEKE, T. (1995): Nachtfalter in der naturschutzrelevanten Raumplanung: Grundlagen, Methoden, Auswertung. - Schriftenr. Landschaftspflege Naturschutz 43: 79-106.
- MIKKOLA, K. (1972): Behavioural and electrophysiological responses of night-flying insects, especially Lepidoptera, to near-ultraviolet and visible light. - Ann. Zool. Fennici 9: 225-254.
- MUIRHEAD-THOMSON, R. C. (1991): Trap responses of flying insects. The influence of trap design on capture efficiency. - Academic Press, London, 287 pp.
- NEMEC, S. J. (1971): Effects of lunar phases on light-trap collections and populations of bollworm moths. - J. econ. Ent. 61: 861-863.
- NÓGRADI, S. & UHERKOVICH Á. (2002): Magyarorszá Tegezesei (Trichoptera). The Caddisflies of Hungary (Trichoptera). Donántuli Dolgozatok (A) Természettudományi Sorozat, 11:1-386, Pécs.
- NOWINSZKY, L., SZABÓ, S., TÓTH, G., EKK I. & KISS, M. (1979): The effect of the moon phases and the intensity of polarized moonlight on the light-trap catches. - Zeitschr. f. angew. Ent. 88:337-353.
- PERSSON, B. (1971): Influence of light on flight activity of Noctuids (Lepidoptera) in South Sweden. - Ent. scand. 2: 215-232.
- PERSSON, B. (1974): Dial distribution of oviposition in *Agrotis ipsilon* (Huf.), *Agrotis munda* (Walk.) and *Heliothis armigera* (Hbn.), Lep. Noctuidae, in relation to temperature and moonlight. - Ent. scand. 5: 196-208.

- PERSSON, B. (1976): Influence of weather and nocturnal illumination on the activity and abundance of populations of Noctuids (Lepidoptera) in south coastal Queensland. - Bull. ent. Res. 66: 33-63.
- PITSCH, T. (1983): Die Trichopteren der Fulda, insbesondere ihre Verbreitung im Längsverlauf. - Diplomarbeit Freie Universität Berlin: 189 pp.
- PRESSE- UND INFORMATIONSDIENST DER STADT WIEN (1990): BLUBB - Biotope-Landschaften-Utopien-Bewußt-Beleben. Sinnliche Ausstellung zur Wiener Biotopkartierung 1990. - Wien, 168 pp.
- PRETSCHER, P. (2000): Einsatz eines elektrischen „Fly-Killers“ im Außenbereich. - Natur und Landschaft 75(4): 165-166.
- REZBANYAI, L. (1977): Insektensammeln mit Lichtfallen. - Mitt. naturforsch. Ges. Luzern 25: 161-178.
- ROBINSON, H. S. & ROBINSON, P. J. M. (1950): Some notes on the observed behaviour of lepidoptera in flight in the vicinity of light-sources together with a description of a light-trap designed to take entomological samples. - Ent. Gaz. 1: 3-20.
- ROBINSON, H. S. (1952): On the behaviour of night-flying insects in the neighbourhood of a bright source of light. - Proc. R. ent. Soc. Lond. (A) 27: 13-21.
- SÁNDOR, I. (2001): Möglichkeiten zur Verminderung von Lichtimmissionen am Beispiel der Stadt Augsburg. - Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, 67:163-171, Bonn-Bad Gödersberg.
- SCHACHT, W. & WITT, T. (1986): Warum nachtaktive Insekten künstliche Lichtquellen anfliegen (Insecta). - Entomofauna 7(9): 121-128.
- SCHANOWSKI, A. & SPÄTH, V. (1994): Überbelichtet. Vorschläge für eine umweltfreundliche Außenbeleuchtung. - Naturschutzbund Deutschland (NABU), Landesverband Baden-Württemberg e. V. (Hrsg.), Kornwestheim, 28 pp.
- SCHANOWSKI, A. (2001): Auswirkungen von Außenbeleuchtungen auf nachtaktive Tiere am Beispiel von Nachtfaltern. - Schriftenr. Landschaftspflege Naturschutz 67: 67-74.
- SCHEIBE, M. A. (1999): Über die Attraktivität von Straßenbeleuchtungen auf Insekten aus nahegelegenen Gewässern unter Berücksichtigung unterschiedlicher UV-Emissionen der Lampen. - Natur & Landschaft 74(4): 144-146.
- SCHEIBE, M. A. (2001): Quantitative Aspekte der Anziehungskraft von Straßenbeleuchtungen auf die Emergenz aus nahegelegenen Gewässern (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Diptera: Simuliidae, Chironomidae, Empididae) unter Berücksichtigung der spektralen Emission verschiedener Lichtquellen. - Dissertation Universität Mainz, 302 pp.
- SCHEIBE, M. A. (2003): Über den Einfluss von Straßenbeleuchtung auf aquatische Insekten (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Diptera: Simuliidae, Chironomidae, Empididae). - Natur und Landschaft 78(6): 265-267.

- SCHOENEMUND, E. (1930): Eintagsfliegen oder Ephemeroptera. In: Dahl, F: Die Tierwelt Deutschlands und der angrenzender Meeresteile, 19. Teil: 106 pp.
- SCHMIEDEL, J. (1992): Auswirkungen von künstlichen Lichtquellen auf die wildlebende Tierwelt. - Diplomarbeit Universität Hannover. 145 pp.
- SCHMIEDEL, J. (2001): Auswirkungen künstlicher Beleuchtung auf die Tierwelt - ein Überblick. - Schriftenr. Landschaftspflege Naturschutz 67: 19-51.
- STADLER, S. (2001): Tödliches Licht. Anlockung von Insekten durch verschiedene Lichtquellen. - NaturLand Salzburg 1/2001: 31-32.
- TAYLOR, L. R. & FRENCH, R. A. (1974): Effects of light-trap design and illumination on samples of moths in an English woodland. - Bull. ent. Res. 63: 583-594.
- TIROLER LANDESUMWELTANWALT (2001; Hrsg.): Die Helle Not. Künstliche Lichtquellen - ein unterschätztes Naturschutzproblem. 32 pp., Innsbruck.
- VÄISÄNEN, R. & HUBLIN, C. (1983): The effect of continuous light trapping on moth populations. A mark-recapture experiment on *Hydraecia petasites* (Lepidoptera, Noctuidae). - Notulae Entomologicae 63: 187-191.
- WARINGER, J.A. (1989): The abundance and temporal distribution of caddisflies (Insecta: Trichoptera) caught by light traps on the Austrian Danube from 1986 to 1987. - Freshwater Biology 21, 387-399.
- WILLIAMS, C. B. & EL-ZIADY, S. (1957): On the relative distribution of insects at 5 and 30 feet. - Bull. Soc. Ent. Egypte 41: 663-675.
- WILLIAMS, C. B. (1940): An analysis of four years captures of insects in a light trap. Part II. The effect of weather conditions on insect activity; and the estimation and forecasting of changes in the insect population. - Trans. R. Ent. Soc. Lond. 90(8): 227-306.
- WILLIAMS, C. B. (1952): Comparing the efficiency of insect traps. - Bull. ent. Res. 42: 513-517.
- WILLIAMS, C. B., FRENCH, R. A. & HOSNI, M. M. (1955): A second experiment on testing the relative efficiency of insects traps. - Bull. ent. Res. 46: 193-204.

Anschrift der Autoren:

DI Dr. Helmut Höttinger
 Institut für Zoologie
 Universität für Bodenkultur
 Gregor Mendel-Strasse 33
 1180 Wien
 e-mail: helmut.hoettinger@boku.ac.at

Dr. Wolfram Graf
Institut für Hydrobiologie & Gewässermanagement
Universität für Bodenkultur
Max Emanuelstrasse 17
1180 Wien
e-mail: wolfram.graf@boku.ac.at