

# Auswirkungen auf die Insekten-Fauna - durch die Umrüstung von Kugelleuchten - auf LED-Beleuchtungen -

Eine Auftragsstudie der Stadt Wien (MA 33 *Wien Leuchtet*) zu den  
quantitativen Auswirkungen auf nacht- und dämmerungsaktive  
Insekten (Insecta), im Zuge der Modernisierungsmaßnahmen der  
Leuchten auf der Donauinsel (Wien).

Verfasser  
Martin Soneira



In Zusammenarbeit mit,



## **Danksagung -**

Mein Dank gilt der Magistratsstelle 33, welche dieses Projekt ins Leben rief. Für wertvolle Unterstützung, Organisation und Bestärkung danke ich Gerald Wötzl. Für tatkräftige Hilfe sei Martin Hemmelmayer, Thomas Stika und den Mitarbeitern des Technischen Dienstes gedankt. Für die Vernetzungsarbeit und den inhaltlichen Beitrag danke ich Wilfried Doppler (Wiener Umwelthanwaltschaft). Für den technischen Beistand und den Erfindungsgeist im Lichtlabor danke ich Rudolf Hornischer und Horst Pribitzer. Der MA 31 (Wiener Wasser) gebührt Dank für die Bereitstellung der Areale zur Probennahme. Der MA 45 (Wiener Gewässer) gebührt Dank für die Erlaubnis des Befahrens der Donauinsel. Der MA 22 (Wiener Umweltschutzabteilung) gebührt Dank für die Fanggenehmigung der Insekten. Zu guter Letzt möchte ich Karl Panek und Wolfgang Siegl (ARGE Ökologie) für ihr Vertrauen und den fachlich kritischen Beistand danken.

### **Autor: Martin Soneira -**

#### **Kontakt:**

Martin Soneira  
Angewandte Ökologie  
Amethgasse 60/29  
1160 Wien  
martin@soneira.at

### **Kontakt ARGE Ökologie:**

ARGE Ökologie OG  
Technisches Büro für Ökologie  
Neubaugasse 64-66/2/10  
1070 Wien  
office@argeoekologie.com

Endbericht im Auftrag der MA33 (WIEN LEUCHTET) und der ARGE Ökologie (Technisches Büro für Ökologie, Neubaugasse 64-66/2/10, 1070 Wien).

Das Copyright der verwendeten Logos des Deckblattes gehört nicht dem Autor, wurde aber im Wissen der jeweiligen Stellen verwendet.

Erste Auflage März 2013.

# Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung.....	4
2 Einleitung.....	6
3 Material und Methoden.....	8
3.1 Untersuchungsgebiet (Donauinsel).....	8
3.2 Untersuchungszeitraum / Wetter.....	9
3.3 Lichtfallen (Luftklektoren).....	11
3.4 Masterdesign.....	11
3.5 Untersuchungsdesign zur Fragestellung 1 (Vorfeldstudie).....	13
3.6 Untersuchungsdesign zur Fragestellung 2 (Leuchte).....	14
3.7 Untersuchungsdesign zur Fragestellung 3 (Leuchtmittel).....	15
3.8 Untersuchungsdesign zur Fragestellung 4 (Anstellwinkel).....	16
3.9 Datenauswertung / Insektenbestimmung.....	17
3.10 Lichttechnik.....	17
4 Ergebnisse.....	21
4.1 Fragestellung 1 (Vorfeldstudie).....	21
4.2 Fragestellung 2 (Leuchte).....	26
4.3 Fragestellung 3 (Leuchtmittel).....	30
4.4 Fragestellung 4 (Anstellwinkel).....	32
5 Diskussion.....	34
5.1 Einleitung / Vorfeldstudie.....	34
5.2 Fragestellung 2 (Leuchte).....	36
5.3 Fragestellung 3 (Leuchtmittel).....	38
5.4 Fragestellung 4 (Anstellwinkel).....	40
5.5 Übersicht auf Ordnungsniveau, inkl. Gesamttendenz.....	41
Coleoptera, Hemiptera und Hymenoptera.....	42
Diptera.....	42
Lepidoptera.....	43
Trichoptera.....	44
5.6 Ausblick und Fazit.....	45
6 Literatur.....	46
7 Anhang.....	51
7.1 Gefährdete Arten.....	51
7.2 Grafiken zur Fragestellung 2 (Leuchte).....	51
7.3 Grafiken zur Fragestellung 3 (Leuchtmittel).....	56
7.4 Wetterbeschreibungs-Tabelle.....	59

# 1 Zusammenfassung

Von Frühjahr bis Sommer 2012 wurden an Straßenbeleuchtungseinrichtungen der Donauinsel (Wien) Versuche mit Lichtfallen durchgeführt. Ziel dabei war es, die Auswirkungen der technologischen Aufwertung zu LED-Kofferleuchten (*full cut off*) auf nacht- und dämmerungsaktive Insekten zu dokumentieren. Es wurden 83.882 Insekten, aus 14 Ordnungen, bei einem Stichprobenumfang von 288 Proben, am Ordnungsniveau ausgewertet.

In der ersten Untersuchungsphase (Vorfeldstudie) konnte die Eignung des Standorts gezeigt werden. Darüber hinaus wurden die organismischen Determinanten zum Vergleich von Kugel- und Kofferleuchten festgelegt. Es wurde gezeigt, dass Zweiflügler (Diptera) und Fransenflügler (Thysanoptera) bei einem Vergleich dieser beiden Leuchtentypen eine gesonderte Position einnehmen, da sie sich, im Gegensatz zu den übrigen Ordnungen, anders um Kugelleuchten bzw. die Lichtfallen verteilen.

In der zweiten Untersuchungsphase wurden Kugel- und Kofferleuchten-Lichtfallenfänge miteinander verglichen. Individuen der Ordnungen Diptera und Netzflügler (Neuroptera) wurden signifikant häufiger an Kugelleuchten gefangen. Schmetterlinge (Lepidoptera) und Köcherfliegen (Trichoptera) wurden hingegen signifikant häufiger an Kofferleuchten erbeutet. Die restlichen Ordnungen zeigten keine Unterschiede im Anflugverhalten an den beiden Leuchtentypen. Um die Vergleichbarkeit zu erhöhen, wurden je Leuchte zwei Lichtfallen eingesetzt, eine obere unbeleuchtete und eine untere beleuchtete. Durch diese Zugangsweise konnte gezeigt werden, dass Diptera an Kugelleuchten in beiden Lichtfallen ähnlich häufig gefangen werden, hingegen wurden sie bei Kofferleuchten in den oberen unbeleuchteten Fallen signifikant häufiger gefangen. Die restlichen statistisch auswertbaren Ordnungen zeigten ein einheitliches Bild und wurden in den unteren Fallen stets signifikant häufiger erbeutet. Überdies wurde festgestellt, dass größere Insekten (Vorderflügelänge > 5 mm) im Verhältnis weniger häufig in den oberen unbeleuchteten Lichtfallen anzutreffen waren als kleinere ( $\leq 5$  mm) (ohne kleine Diptera). Insgesamt wurde an Kugelleuchten im Mittel mindestens die 1,02fache Individuenanzahl (SD = 0,30) gefangen (ohne Diptera und Thysanoptera).

Die dritte Untersuchungsphase beschäftigte sich dem Vergleich zweier Leuchtmittel. Die verwendeten Lampen, inkl. Leuchten, wurden in ihrer Bestrahlungsstärke (Ee) angepasst, dabei diente die Position der Lichtfallen als Messpunkt. Die Ergebnisse zeigten, dass

Metalldampflampen signifikant mehr Insekten anlockten als LED-Lampen. Insgesamt wurde im Mittel mindestens die 5,27fache Individuenanzahl (SD = 1,19) an den Lichtfallen der Metalldampflampen gefangen (ohne kleine Diptera).

Ob eine Veränderung des Anstellwinkels einen Effekt auf den Fangerfolg bei Kofferleuchten mit LED-Leuchtmitteln hat, war die Fragestellung zur vierten und letzten Studienphase. Die Ergebnisse zeigten, dass der Unterschied im Fangerfolg zwischen horizontalen Leuchten und 10° nach oben versetzten Leuchten signifikant ist. Durch die 10° versetzte Leuchtenmontage wurde im Mittel mindestens die 1,73fache Individuenanzahl (SD = 0,61) an den Lichtfallen gefangen (ohne kleine Diptera). Aufgrund der Verwendung von Luftklektoren wurde der Effekt durch Reflexionen als potenzieller Faktor im Bezug auf eine gesteigerte Anlockwirkung erkannt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Bemühungen der Stadt Wien von einem populationsökologischen Standpunkt in die richtige Richtung weisen. In einer gesamtheitlichen Betrachtung der nacht- und dämmerungsaktiven Insekten werden durch die modernen LED-Leuchten weniger Individuen angelockt. Die Ergebnisse deuten jedoch auch darauf hin, dass Verbesserungen zur Erhöhung der Insektenfreundlichkeit sowohl im Bereich der Leuchten als auch bei den Lampen möglich sind.

In Anbetracht der Ergebnisse wird empfohlen, die horizontale Leuchtwirkung von Leuchten so gering wie möglich zu gestalten (vgl. BRUCE-WHITE & SHARDLOW 2011). Im Bereich der Lampen wurde an anderer Stelle empfohlen, auf Leuchtmittel im warmweißen Bereich umzusteigen, da diese als insektenfreundlicher eingestuft wurden (HUEMER ET AL. 2010, 2011). Ob die Einschätzung der Autoren auch auf das vorliegende Habitat extrapolierbar ist und welche konkreten Spektralbereiche entscheidend sind, bleibt zu untersuchen.

## 2 Einleitung

Viele Insekten zeigen Phototaxis, also gerichtete Lokomotion aufgrund eines Lichtreizes (JANDER 1963; CAMPBELL ET AL. 2003; BRUCE-WHITE & SHARDLOW 2011). Diese Phototaxis bestimmt dadurch in unterschiedlicher Weise das Leben vieler Insekten, vor allem jenes von nacht- und dämmerungsaktiven Arten. Solche Insektenarten sind in zunehmendem Maße durch das gestiegene Lichtbedürfnis der Menschen gefährdet (FREYHOFF & UHLMANN 2009; POSCH ET AL. 2010). Zu den besonders betroffenen Taxa gehören viele Familien der Trichopteren und Dipteren, die oft massenhaft künstliche Lichtquellen anfliegen (BURMEISTER 1985; SCHEIBE 2000). Die am besten untersuchte und mit am stärksten betroffene Gruppe ist jene der Nachtfalter (DANIEL 1950; CLEVE 1964, 1966, 1967; FRANK 1988; MEINEKE 1995; EISENBEIS & HASSEL 2000; EISENBEIS 2001; EISENBEIS ET AL. 2006; HUEMER ET AL. 2011, 2010; EISENBEIS & EICK 2011). Unter ihnen befinden sich viele Rote-Liste-Arten, wie beispielsweise das *Wiener Nachtpfauenaug*e (*Saturnia pyri* (DENIS & SCHIFFERMULLER 1775)), das *Abendpfauenaug*e (*Smerinthus ocellata* (LINNAEUS 1758)) oder der *Russische Bär* (*Euplagia quadripunctaria* (PODA 1761)) (HÖTTINGER & GRAF 2003). Durch das Anfliegen künstlicher Beleuchtungseinrichtungen werden die Insekten aus ihrem natürlichen Rhythmus gebracht, geschwächt und direkt oder indirekt getötet (BÖTTCHER 2001; HÖTTINGER & GRAF 2003; GEIGER ET AL. 2007; BRUCE-WHITE & SHARDLOW 2011). Als wichtige Glieder terrestrischer und aquatischer Nahrungsnetze sowie als Pflanzenbestäuber sind Insekten wichtige Akteure in intakten Ökosystemen und somit höchst schützenswert. Nicht nur der Rückgang von Individuenzahlen, auch der Verlust von Arten (EISENBEIS 2010) und die Veränderung von Insekten-Gesellschaften (DAVIES ET AL. 2012) konnte dokumentiert werden. Als Konsequenz müssen Außenbeleuchtungen möglichst insektenfreundlich gestaltet sein. Exzessive, künstliche Beleuchtung hat darüber hinaus auch schädliche Einflüsse auf die menschliche Gesundheit (vgl.: HOCKBERGER 2002; JASSER ET AL. 2006; CAJOCHEN 2010; WEST ET AL. 2011).

Neben diesen massiven naturschutzbiologischen und humanmedizinischen Gründen sprechen auch wirtschaftliche Aspekte für eine umweltfreundliche Optimierung von Beleuchtungsmitteln im öffentlichen Raum. Verschmutzungen durch verendete Insekten reduzieren beispielsweise die Lebensdauer von Beleuchtungsmitteln, verursachen Reinigungskosten und erhöhen durch die häufigen Servicearbeiten den generellen Verschleiß von Bauteilen (BAUMEISTER 2007; VALENTI 2012). Undichte Leuchtgehäuse bzw. Leuchtgläser können auch zum „Massengrab“ für Insekten werden, wodurch wiederum

Reinigungskosten entstehen oder, aufgrund von Eintrübungen der Abdeckgläser, die Lichtausbeute so gering wird, dass ein Leuchtentausch nötig wird (EISENBEIS 2010). Allein in Wien gibt es an die 150.000 Außenbeleuchtungsquellen (WIEN LEUCHTET (Magistratsabteilung 33) 2010), das bedeutet jeweils zumindest eine Lampe im Wert von € 50,- und eine Leuchte im Wert von € 400,- (LTG 2009). Ohne die Arbeitszeiten und etwaige Arbeitsunfälle mitzuberücksichtigen, ist der potenzielle monetäre Schaden durch an Straßenbeleuchtung angelockte Insekten als wirtschaftlich relevant zu betrachten.

Ziel dieser Untersuchung war es, unser Grundlagenwissen über die Attraktivität künstlicher Beleuchtungsquellen auf Insekten zu verfeinern sowie für die Entscheidungsträger der Stadt Wien zu dokumentieren, wie sich der Leuchtentausch auf der Donauinsel auf die Insekten-Fauna auswirken kann. Die Donauinsel ist ein naturnahes Wiener Naherholungsgebiet, auf der sich ca. 220 Straßenleuchten befinden, welche im Jahr 2012 technologisch aufgewertet wurden. Das Untersuchungsgebiet zeichnet sich als Schnittstelle zwischen urban, technologisch verändertem Raum und organismisch, naturnahem Raum aus, wodurch es hohe Relevanz in Bezug auf die gewählten Fragestellungen gewinnt.

Für diese Untersuchung wurden vier Datensätze erstellt. Die dazugehörigen Proben wurden im Jahr 2012, im Zuge der Leuchtenumstellung von Quecksilberdampf-Hochdruck-Kugelleuchten auf LED-Kofferleuchten, genommen. Die angewandten Methoden unterschieden sich vor allem in Bezug auf die verwendeten Leuchtmittel sowie in Ausrichtung bzw. Typus der Leuchte.

Im Detail sollten folgende Fragen beantwortet werden:

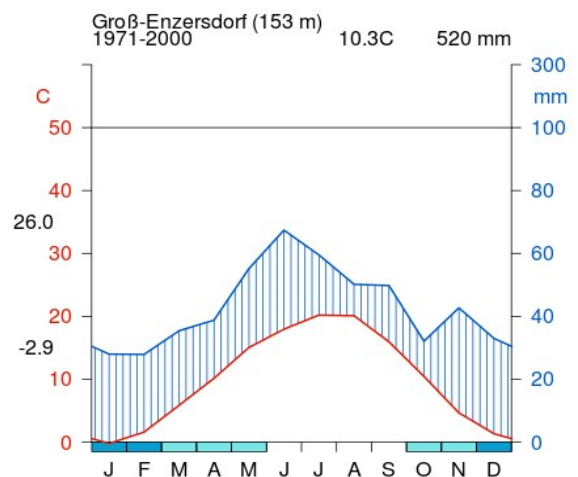
1. Sind die sechs Probenstandorte für eine Vergleichsstudie geeignet und wie lässt sich das Anflugverhalten der Insekten an eine Kugelleuchte beschreiben?
2. Unterscheidet sich die Anlockwirkung zwischen Kugelleuchten und Kofferleuchten?
3. Wie unterscheiden sich die Fangergebnisse bei Verwendung von Metalldampflampen im Vergleich zur neuen LED-Technologie?
4. Hat die Änderung des Anstellwinkels um 10° einen Effekt auf die Anlockwirkung bei Kofferleuchten mit LED-Leuchtmitteln?

### 3 Material und Methoden -

#### 3.1 Untersuchungsgebiet (Donauinsel)

Klimatisch ist das Untersuchungsgebiet von pannonischen sowie kontinentalen Wettereinflüssen bestimmt. Diese Einflüsse bedingen trockene Winde und einen Jahresniederschlag von weniger als 600 mm. Auf die trockenen und heißen Sommermonate, mit maximalen Monatsmittelwerten um die 20 °C, folgen kalte, schneearme Winter mit Monatsmittelwerten um den Gefrierpunkt (Abb. 3.1.1). Das Gebiet wird der pannonischen Klimaprovinz zugerechnet, gleichzeitig deckt sich diese Zuordnung mit der Ökoregion (zoogeografische Region) Ungarische Tiefebene nach ILLIES (1978) und der geologischen Großlandschaft des Wiener Beckens (FINK ET AL. 2000; POSCH ET AL. 2010).

**Abbildung 3.1.1:** Waltersches Klimadiagramm des Wiener Beckens, erstellt mit Hilfe des R-Pakets climatol auf Basis von öffentlich zugänglichen Klimadaten der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG 2012).



Die sechs verwendeten Areale befanden sich im nördlichsten Teil der Donauinsel (ca. Str.-km 1933,0 bis 1934,2) und sind durch Stahlgitter-Absperrungen begrenzt (Abb. 3.1.2). Mit freundlicher Genehmigung der MA 31 (Wiener Wasser) wurde auf den sechs Arealen der dort befindlichen Pumpwerke jeweils ein Lichtmast installiert. Für den Zeitraum der Untersuchungen wurden überdies die auf diesen Arealen befindlichen Beleuchtungseinheiten deaktiviert. Durch die Lage weit abseits der nächtlichen Beleuchtung Wiens kann eine Beeinflussung durch direkte Lichtkonkurrenz vernachlässigt werden. Die geringste Distanz zwischen den Arealen betrug ca. 200 m, wobei die Lichtquellen durch dichtes Buschwerk optisch getrennt waren. Die nächstgelegene Uferanschlagslinie (Entlastungsgerinne Neue Donau) lag jeweils unter 120 m entfernt von den sechs Probennahmepunkten.





**Abbildung 3.1.2:** Eines von insgesamt sechs Pumpwerksarealen vor der Installation eines Lichtmastes (© Martin Soneira, Januar 2012)

### **3.2 Untersuchungszeitraum / Wetter**

Für jede Untersuchungsnacht wurden die Wetterverhältnisse sowie Mondphase und Sonnenuntergangszeit dokumentiert. Als Untersuchungsnacht wurde der Zeitraum zwischen Sonnenuntergang plus 12 Stunden definiert. Die Lichtsteuerung erfolgte über handelsübliche mechanische Zeitschaltuhren mit Schaltintervallen von 15 Minuten.

Im Folgenden werden die dokumentierten abiotischen Faktoren der Untersuchungsphasen zusammenfassend beschrieben. Eine Detailtabelle der 32 Untersuchungs Nächte ist im Anhang zu finden (Tab. 7.4.1). Zur Beschreibung des mittleren Windgeschwindigkeitsbereiches einer Untersuchungsnacht wurde der Beaufort-Index (Bft.) herangezogen.

### **Untersuchungsphase 1: -**

Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich vom 27.05. bis 14.06.2012. Die Sonnenuntergangszeiten lagen zwischen 20:41 und 20:56 (MESZ). Die mittlere maximale Windgeschwindigkeit der acht Untersuchungs Nächte lag bei 11,6 km/h und minimal 4,5 km/h (Median Bft.= 2). Der Temperaturbereich lag im Mittel zwischen 20,6 und 15,8 °C bei einer mittleren Bewölkung zwischen 91,8 und 30,0 %. In einer Untersuchungs nacht wurde eine Gesamt-Niederschlagsmenge von 0,04 mm erreicht, in einer weiteren wurde ab 4:00 morgens eine Niederschlagsmenge von 0,21 mm/h verzeichnet.

### **Untersuchungsphase 2:**

Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich vom 21.07. bis 01.08.2012. Die Sonnenuntergangszeiten lagen zwischen 20:45 und 20:30 (MESZ). Die mittlere maximale Windgeschwindigkeit der acht Untersuchungs Nächte lag bei 10,1 km/h und minimal 4,5 km/h (Median Bft.= 1,5). Der Temperaturbereich lag im Mittel zwischen 22,8 und 17,5 °C bei einer mittleren Bewölkung zwischen 67,4 und 24,5 %. In zwei Untersuchungs Nächten wurde eine Gesamt-Niederschlagsmenge von <0,09 mm erreicht.

### **Untersuchungsphase 3:**

Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich vom 16.08. bis 23.08.2012. Die Sonnenuntergangszeiten lagen zwischen 20:07 und 19:54 (MESZ). Die mittlere maximale Windgeschwindigkeit der acht Untersuchungs Nächte lag bei 8,3 km/h und minimal 3,1 km/h (Median Bft.= 2). Der Temperaturbereich lag im Mittel zwischen 27,5 und 20,3 °C bei einer mittleren Bewölkung zwischen 63,6 und 7,3 %. In zwei Untersuchungs Nächten wurde eine Gesamt-Niederschlagsmenge von <0,02 mm erreicht.

### **Untersuchungsphase 4:**

Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich vom 27.08. bis 07.09.2012. Die Sonnenuntergangszeiten lagen zwischen 19:46 und 19:24 (MESZ). Die mittlere maximale Windgeschwindigkeit der acht Untersuchungs Nächte lag bei 11,3 km/h und minimal 4,9 km/h (Median Bft.= 2). Der Temperaturbereich lag im Mittel zwischen 22,5 und 16,3 °C bei einer mittleren Bewölkung zwischen 78,5 und 16,5 %. In nur einer Untersuchungs nacht wurde eine Gesamt-Niederschlagsmenge von 0,01 mm erreicht.

### 3.3 Lichtfallen (Luftelektoren)

Durch die Exposition des Luftelektors (Anprallfalle) zur Lichtquelle wird dieser zu einer Lichtfalle, d.h. er selbst hat eine Leuchtwirkung, durch welche Insekten angezogen werden (Abb. 3.3.1).

Die Einflugfläche wurde durch Plexiglasplatten im Format (LxBxT) 20x20x0,4 cm gebildet, die kreuzförmig im Winkel von 90° zueinander montiert waren. Die Befestigung der Luftelektoren erfolgte an Holzmasten mit Auslegern, welche durch die MA 33 bereitgestellt wurden. Zusätzlich wurden die Luftelektoren mit drei Spannseilen nach unten, gegen den Windeinfluss, gesichert. Das Einsetzen und Entnehmen der Fangbehälter erfolgte über einen Seilzug, welcher die Eklektoren nach oben mit einem Ausleger verband. Als Tötungsmittel wurde Ethanol verwendet.



**Abbildung 3.3.1:** Lichtfalle: die Einflugfläche betrug 20 x 20 cm; der Auffangbehälter (1l) wurde mit Ethanol als Tötungsmittel ausgestattet; die Befestigung nach oben erfolgte über einen Seilzug, nach unten über drei Spannseile (© Martin Soneira, Juni 2012).

### 3.4 Masterdesign

Auf sechs Pumpwerksarealen der MA 31 (Wiener Wasser) wurden insgesamt sechs Lichtmasten durch die MA 33 (WIEN LEUCHTET) aufgestellt (Abb. 3.4.1).

Beim Einsatz von Lichtfallen muss eine Vielzahl von Kofaktoren mitberücksichtigt werden (HÖTTINGER & GRAF 2003; BRUCE-WHITE & SHARDLOW 2011). Beispielsweise sollte man das Kriterium der Lichtkonkurrenz für den Standort möglichst ausschließen können. Für die sechs Probennahmestandorte konnten diese Beeinflussungen, z.B. durch Straßen-, Verkehrs- oder Wohnanlagenbeleuchtungen, wie bereits in Kapitel 3.1 angesprochen, ausgeschlossen werden. Zusätzlich fand die Untersuchung in einem naturnahen Setting statt, wodurch ein ausreichend hoher Insektenanflug, ohne zusätzlicher lichttechnischer Beeinflussung, gewährleistet werden konnte.

Die Lichtfallen wurden immer im gleichen Abstand zwischen Lichtfallen-Mittelpunkt und Leuchten-Brennpunkt montiert. Die Kalibrierung der Leuchtmittel erfolgte über dieses Bezugssystem, ausgehend von der Hypothese, dass nur bei gleicher Bestrahlung der Eklektoren auch gleiche Fangerfolge möglich sind. Die Kalibrierung sowie die Definition des Brennpunktes erfolgte über die Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien (MA 39).

Die Distanz zwischen dem Leuchtmittel-Mittelpunkt und dem Mittelpunkt der Lichtfallen betrug 45 cm. Der Öffnungswinkel zwischen Leuchtmittel-Mittelpunkt und den Mittelpunkten der unteren und oberen Lichtfalle betrug  $90^\circ$ . Die Distanz zwischen den Mittelpunkten der Einflugflächen (Prallplatten) der Lichtfallen betrug 63,6 cm.

Der Fangbehälter der oberen Lichtfallen wurde nur im Zusammenhang mit den ersten beiden Fragestellungen verwendet.

**Abbildung 3.4.1:** Lichtmast zwei von sechs, ausgestattet mit Kugelleuchte und zwei Lichtfallen. Das Detailbild (unten rechts) zeigt die Frontalansicht. Man beachte, dass der obere mittlere Bereich der Kugelleuchte mittels Zinkspray lichtundurchlässig gestaltet wurde (© Martin Soneira, Juni 2012).



### **3.5 Untersuchungsdesign zur Fragestellung 1 (Vorfeldstudie)**

Die erste Phase der Untersuchung diente der Klärung der Frage zur Eignung des generellen Untersuchungsdesigns. Zu diesem Zweck wurden auf den sechs Lichtmasten gleiche Beleuchtungseinrichtungen und Lichtfallen verwendet. Zur Anwendung kamen Kugelleuchten mit Quecksilberdampf-Hochdrucklampen, sowie zwei Insektenfangeinrichtungen (Lichtfallen Kap. 3.3), welche übereinander montiert waren (Konfiguration siehe Abb. 3.4.1). Die obere der beiden Fallen wurde im Gegensatz zur unteren nicht durch die Lichtquelle angeleuchtet. Erreicht wurde dies, indem der obere mittlere Teil der Kugelleuchte mittels Zinkspray für Licht undurchlässig gemacht wurde (Detail unten rechts Abb. 3.4.1). Der Mittelpunkt der Kugelleuchte befand sich in einer Höhe von ca. 3,5 m.

Die Teilfragestellungen dieser Untersuchungsphase waren:

1. Unterscheiden sich die sechs Probennahmestandorte signifikant voneinander bzw. kann ein Konfigurations-Setting gefunden werden, welches einen „drei gegen drei“-Parallelversuch zulässt? Anderenfalls wäre eine Vergleichsstudie unzulässig gewesen.
2. Gibt es einen signifikanten Unterschied im Fangerfolg bei angeleuchteten und nicht angeleuchteten Insektenfallen an der gleichen Kugelleuchte? Andernfalls wäre eine Vergleichsstudie zwischen Kugelleuchten und Kofferleuchten weniger aussagekräftig.

Ad 1: Aufgrund der Variabilität der Fangergebnisse zwischen den Standorten, wurden acht mögliche Kombinationen zur Aufteilung der Standorte in zwei Dreiergruppen gefunden. Gesucht wurde die Gruppenaufteilung mit dem geringsten statistischen Unterschied (zentrale Tendenz) bei der höchsten Varianzhomogenität. Zu diesem Zweck wurden die Unterschiede in den Variablen: Summe Insekten, Summe Insekten – kleine Dipteren (Vorderflügelänge  $\leq 5$  mm) sowie Summe Lepidoptera + Trichoptera untersucht. Die Ergebnisse für die gewählte Aufteilung der Standorte wird im Ergebnisteil dargestellt.

### 3.6 Untersuchungsdesign zur Fragestellung 2 (Leuchte)

Diese Fragestellung befasste sich mit der Anlockwirkung von zwei unterschiedlichen Leuchtentypen. Zum einen wurden Kugelleuchten verwendet (Abb. 3.6.1 links) und zum anderen Kofferleuchten (Abb. 3.6.1 Rechts).

In den Arealen vier bis sechs wurden Kofferleuchten montiert, in den Arealen eins bis drei Kugelleuchten. Als Bezugspunkt für die Montage der Lichtfallen diente der Beleuchtungsmittel-Mittelpunkt (Lichtpunkt), welcher durch die Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien (MA39) definiert wurde. Um gleiche Bestrahlungswerte an den Lichtfallen zu erreichen, wurden die Lichtaustrittsflächen der Kofferleuchten mittels Lochblechen modifiziert. Der Leuchten-Mittelpunkt befand sich in einer Höhe von ca. 3,5 m für die Kugelleuchten und bei 3,1 m für die Kofferleuchten.

In dieser zweiten Untersuchungsphase wurden beide Lichtfallen mit Fangbehältern ausgerüstet. Die Konfiguration der Distanzen der Lichtfallen entsprach für beide Leuchtentypen dem Masterdesign. Durch die MA 39 wurden die lichttechnischen Unterschiede zwischen den beiden Konfigurationen dokumentiert und gleiche Bestrahlungsstärken an den Lichtfallen gewährleistet (siehe Kap. 3.10 Lichttechnik).



**Abbildung 3.6.1:** Leuchtentypen der zweiten Untersuchungsphase. Links: Kugelleuchte mit zwei Lichtfallen. Man beachte, dass der obere mittlere Bereich der Kugelleuchte mittels Zinkspray lichtundurchlässig gestaltet wurde. Rechts: Kofferleuchte mit zwei Lichtfallen. Man beachte, dass die Lichtaustrittsfläche mittels Lochblech modifiziert wurde (© Martin Soneira, Juli 2012).

### **3.7 Untersuchungsdesign zur Fragestellung 3 (Leuchtmittel)**

Diese Fragestellung befasste sich mit der Anlockwirkung von zwei unterschiedlichen Leuchtmitteln (Lampentypen). Zum einen wurden Metalldampflampen (HIT) in Kofferleuchten (siehe Abb. 3.4.1 rechts) und zum anderen LED-Leuchtmitteln in baugleichen Kofferleuchten verwendet (Abb. 3.7.1). In den Arealen vier bis sechs wurden die LED-Leuchten montiert, in den Arealen eins bis drei HIT-Leuchten. Als Bezugspunkt für die Montage der Lichtfallen diente der Lampen-Mittelpunkt (Lichtpunkt), welcher durch die Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien (MA39) definiert wurde. Um gleiche Bestrahlungswerte an den Lichtfallen zu erreichen, wurden die Lichtaustrittsflächen der Kofferleuchten mittels Lochblechen (HIT) bzw. Kunststoff (LED) modifiziert. Der Leuchten-Mittelpunkt befand sich in einer Höhe von ca. 3,10 m.

Es wurden nur die unteren Lichtfallen mit Fangbehältern ausgerüstet (Abb. 3.7.1). Die Lichtfalle befand sich bei beiden Konfigurationen in einer Distanz von 45 cm bei einem Winkel von  $45^\circ$  zum Lampenmittelpunkt. Durch die MA 39 wurden die Unterschiede zwischen den beiden Konfigurationen dokumentiert und gleiche Bestrahlungsstärken an den Lichtfallen gewährleistet (siehe Kap. 3.10 Lichttechnik).



**Abbildung 3.7.1:** Kofferleuchte mit LED-Leuchtmittel am Standort 4. (© Martin Soneira, August 2012).

### 3.8 Untersuchungsdesign zur Fragestellung 4 (Anstellwinkel)

Bei dieser Fragestellung kam ein moderner Kofferleuchten-Typus zum Einsatz. Als Leuchtmittel wurden LEDs verwendet. In Areal eins bis drei wurden die Leuchten mit einem versetzten Anstellwinkel von  $10^\circ$  zur Horizontale montiert. In den Arealen vier bis sechs wurden die Leuchten horizontal ( $0^\circ$ ) montiert. Als Bezugspunkt für die Montage der Lichtfallen diente der Beleuchtungsmittel-Mittelpunkt (Lichtpunkt), welcher durch die Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien (MA39) definiert wurde. Der Leuchten-Mittelpunkt befand sich in einer Höhe von ca. 3,10 m.

In dieser vierten und letzten Untersuchungsphase wurde nur die untere der beiden Lichtfallen mit Fangbehältern ausgerüstet (vgl. Abb. 3.8.1). Die Lichtfalle befand sich bei beiden Konfigurationen ( $0^\circ$  u.  $10^\circ$ ) in einer Distanz von 45 cm bei einem Winkel von  $45^\circ$  zum Lichtpunkt. Durch die MA 39 wurden die Unterschiede zwischen den beiden Konfigurationen dokumentiert (siehe Kap. 3.10 Lichttechnik).

**Abbildung 3.8.1:** Konfigurationen mit modernen LED-Kofferleuchten bei einem Anstellwinkel von  $10^\circ$ . Nur die untere Lichtfalle wurde mit einem Fangbehälter ausgerüstet (© Martin Soneira, August 2012).





### **3.9 Datenauswertung / Insektenbestimmung**

#### **Insektenbestimmung**

Alle Individuen wurden mittels Binokular gesichtet und auf Ordnungsniveau bestimmt. Es wurden keine Schätzmethoden angewandt. Einzelne große Individuen wurden auf Gattungs- bzw. Artniveau bestimmt. Die Artenliste befindet sich im Anhang (Kapitel 7.1 Gefährdete Arten).

#### **Statistik**

Vor der Anwendung eines parametrischen Tests (ANOVA) wurde zuerst auf Varianzhomogenität geprüft (Bartlett-test, F-test). Nötigenfalls wurden die Daten transformiert. Auf Normalverteilung getestet wurden die Datensätze mittels Shapiro-Wilk-test. Bei fehlender Varianzhomogenität oder Normalverteilung wurden nicht-parametrische Tests verwendet (Kruskal-test, Mann-Whitney U-test). Für alle angeführten Tests galt ein Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$ .

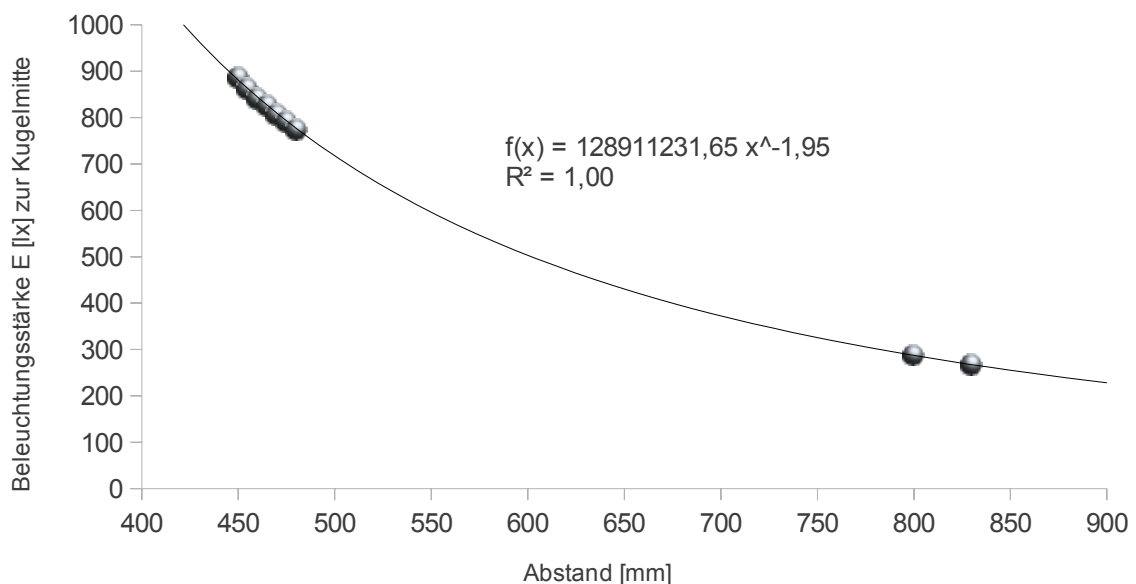
#### **Fragestellung 4 (Anstellwinkel)**

Am 28.08.2012 kam es zum Ausfall einer Zeitschaltuhr am Probenstandort sechs. Um die Stichprobengrößen der beiden untersuchten Faktoren gleich zu halten, wurden für die Ergebnisse die Proben der Standorte eins und sechs dieser Nacht nicht berücksichtigt. Dadurch belief sich die Stichprobenanzahl auf 46 im Gegensatz zu den andernfalls möglichen 48. Am gewählten Standort eins konnte der höchste Anflug der sechs Standorte in dieser Nacht verzeichnet werden.

### **3.10 Lichttechnik**

Die begleitenden Lichtlabor-Untersuchungen wurden von der Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien (MA39) durchgeführt. Grundprämisse für diese Untersuchungen war, dass die Luftkletonen (Lichtfallen) innerhalb eines Untersuchungsschrittes möglichst gleiche Bestrahlungswerte empfangen. Um den Messvorgang zu vereinfachen, wurde für die dritte Fragestellung, bei der unterschiedliche Beleuchtungsmittel verwendet wurden, zuerst die Bestrahlungsstärke vermessen und anschließend auf die Beleuchtungsstärke umgerechnet (bei 4100 K). Bei den restlichen Fragestellungen wurde die Beleuchtungsstärke als Bezugsmaß gewählt, da sich die Beleuchtungsmittel in diesen Versuchen nicht unterschieden. Ein weiterer wichtiger Punkt

war die Verwendung der in situ benutzten Leuchten, inklusive Lampen, um Streuungen der Werte aufgrund dieser Faktoren mitzuerfassen und gegebenenfalls auszugleichen. Die Bestrahlungs- wie auch Beleuchtungsstärke nimmt mit dem Quadrat des Abstands zur Strahlungsquelle ab (vgl. Abb. 3.10.1). Aus diesem Grund wurden die im Labor verwendeten Abstände während der Messungen ins Feld übertragen. Mit anderen Worten, die Lichtfallen wurden während der Freilandversuche in der entsprechenden Entfernung montiert. Bei einer Montagegenauigkeit von  $\pm 2$  cm, ergibt dies eine Änderung der Beleuchtungsstärke von  $\pm 80$  lx.



**Abbildung 3.10.1:** Regressionskurve zur Veranschaulichung der Abnahme der Beleuchtungsstärke mit der Distanz zur Lichtquelle. Die aufgetragenen Werte wurden an Quecksilberdampf-Kugelleuchten gemessen. Mittlere Standardabweichung der Messungen = 1,40 lx.

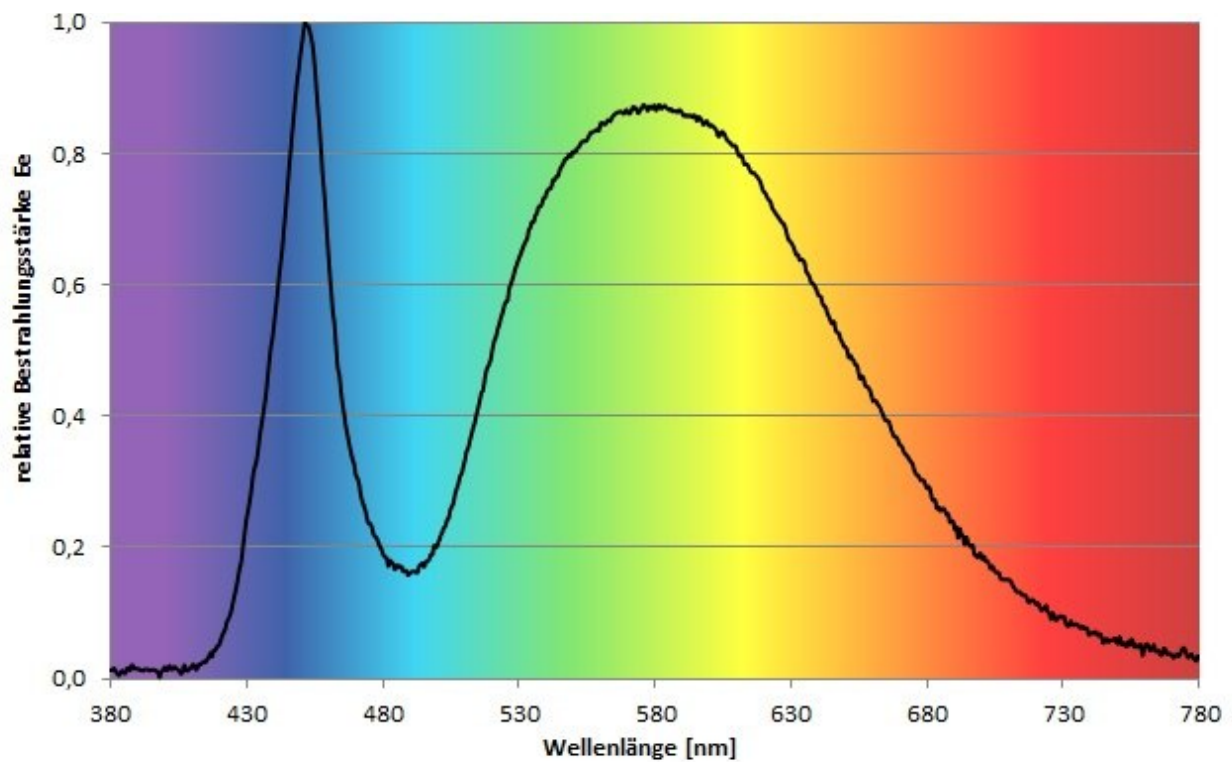
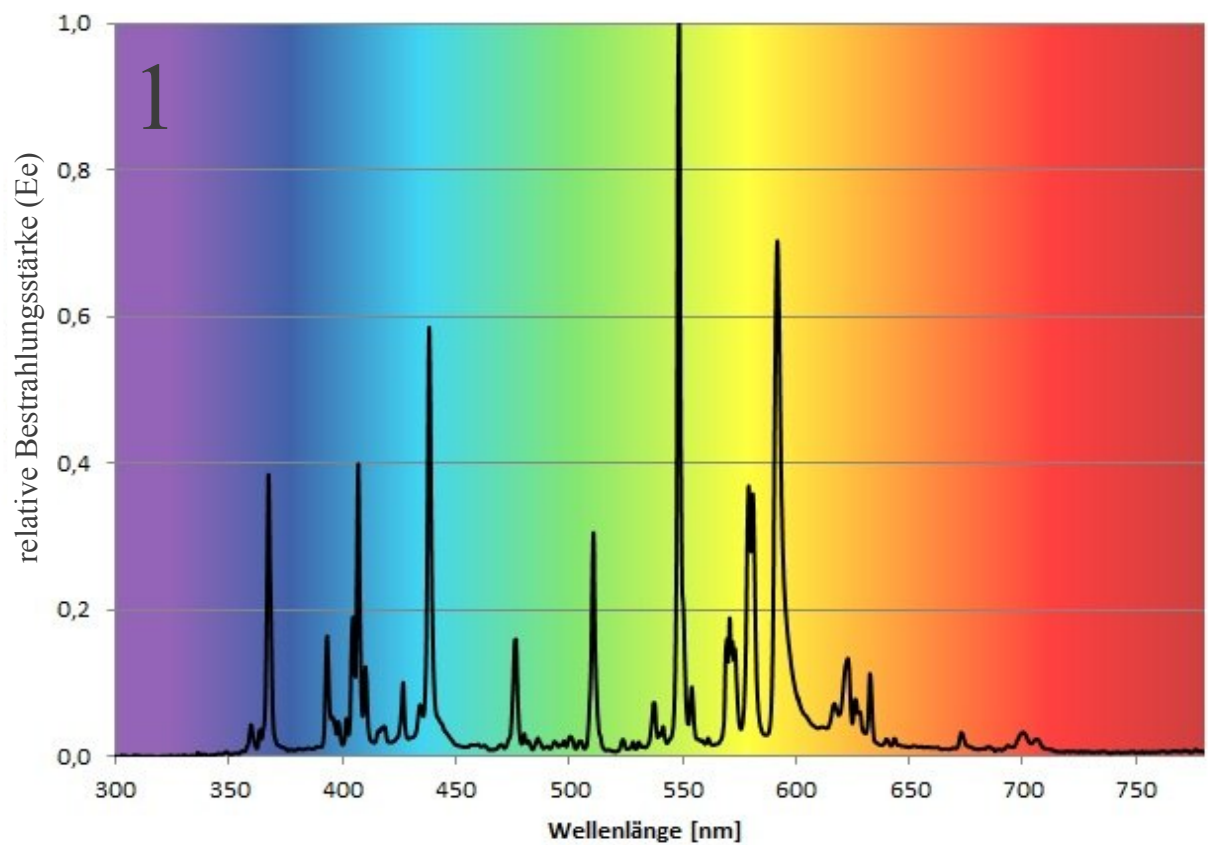
**Messgeräte:** Leistungswerte wurden mit dem Yokogawa WT 210 gemessen, wobei die geregelte Stromversorgung über ein Gerät der Firma Statron bewerkstelligt wurde. Die Messungen der Versuchsaufbauten wurden auf einem optischen Tisch der Firma Thorlabs durchgeführt. Die Beleuchtungsstärke wurde mit einem LMT Photometer B360 mit Beleuchtungsstärkemesskopf P15 SC0 gemessen. Als Spektralmessgerät diente ein UV-VIS Spektrometer der Firma Dr. Gröbel.

**Fragestellung 1:** An den verwendeten Quecksilberdampf-Kugelleuchten (HQL-) wurden im Mittel Beleuchtungsstärken von  $814 \pm 30$  lx (SD) im Abstand von 45 cm (Kugelmittelpunkt) bei einem Winkel von  $45^\circ$  gemessen. Die mittlere Wirkleistung betrug  $91,3 \pm 0,82$  W (SD).

**Fragestellung 2:** Die verwendeten Quecksilberdampf-Kugelleuchten entsprachen denen der Fragestellung 1. In den Kofferleuchten wurden baugleiche HQL-Lampen verwendet, an welchen im Mittel ebenfalls Beleuchtungsstärken von  $814 \pm 30$  lx (SD) im Abstand von 45 cm bei einem Winkel von  $45^\circ$  eingestellt wurden.

**Fragestellung 3:** In baugleichen Kofferleuchten der Fragestellung 2 wurden Metaldampflampen (HIT) und LED-Lampen (baugleiche Lampen-Module bei Fragestellung 4) verbaut. Die beiden Lampentypen wurden einerseits durch Metallgitter (HIT mit klarem Abdeckglas) und andererseits durch Kunststoffabdeckungen (LED) in ihrer Bestrahlungsstärke aneinander angepasst. Die Kunststoffabdeckungen wurden verwendet, da die Lampenmodule nur werksseitig dimmbar waren. An den HIT-Leuchten, inkl. Metallgitter, wurden im Mittel Bestrahlungsstärken von  $286,8 \pm 1,6$   $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  (SD) ( $897,7 \pm 8,5$  lx) im Abstand von 45 cm (Lampenmittelpunkt) bei einem Winkel von  $45^\circ$  gemessen. Die Farbtemperatur betrug 3500 K, bei einem Farbwiedergabeindex von 55. Das Gesamtspektrum ist in Abbildung 3.10.2-1 dargestellt. An den LED-Leuchten, inkl. Kunststoffabdeckungen, wurden im Mittel Bestrahlungsstärken von  $287,0 \pm 10,1$   $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  ( $915,7 \pm 59,8$  lx) im selben Abstand gemessen. Die Farbtemperatur betrug 4100 K, bei einem Farbwiedergabeindex von 75. Das Gesamtspektrum ist in Abbildung 3.10.2-2 dargestellt. Die mittlere Wirkleistung der HIT-Lampen betrug  $88,7 \pm 2,5$  W, die der LED-Lampen  $18,3 \pm 1,6$  W.

**Fragestellung 4:** An den modernen LED-Kofferleuchten wurden im Mittel Beleuchtungsstärken von  $881,7 \pm 40,4$  lx (SD) im Abstand von 45 cm (Kugelmittelpunkt) bei einem Winkel von  $45^\circ$  gemessen. Die mittlere Wirkleistung der LED-Lampen betrug  $16,5 \pm 0,1$  W.



**Abbildung 3.10.2:** Normierte Spektren der Leuchtmittel der dritten Untersuchungsphase. 1: Metall dampflampe; 2: LED-Lampe inkl. Kunststoffabdeckung. Nähere Beschreibung siehe Text zu Fragestellung 3.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Fragestellung 1 (Vorfeldstudie)

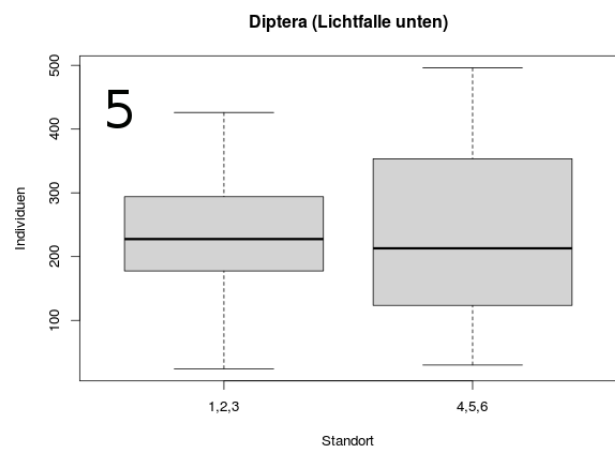
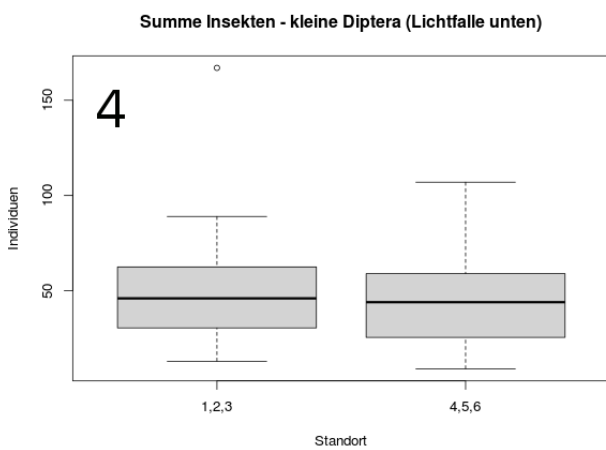
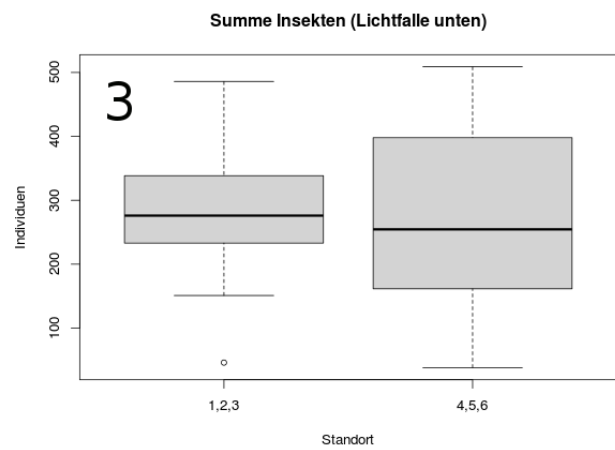
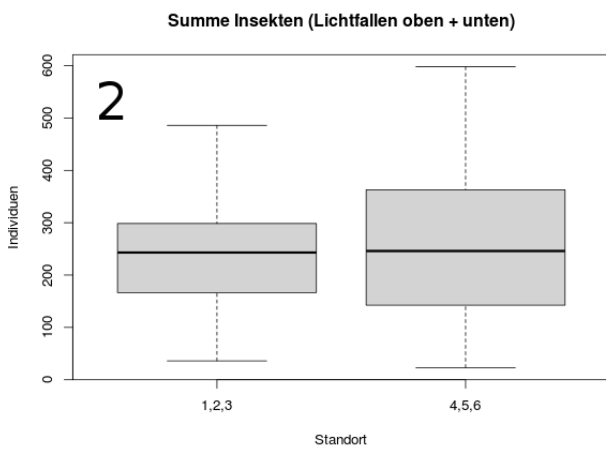
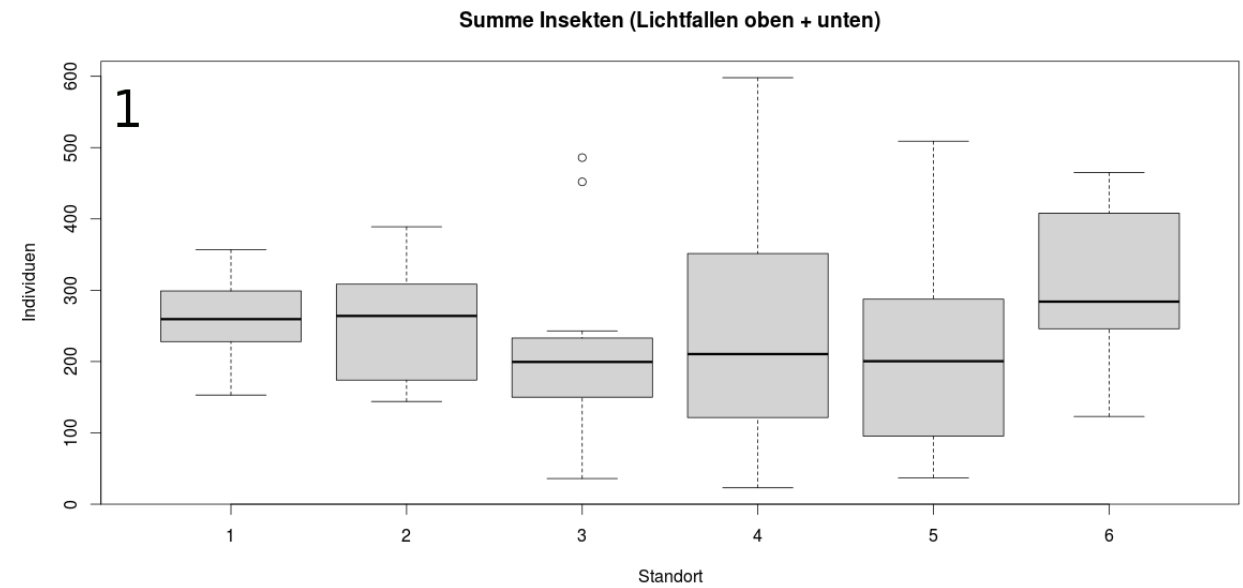
Zur Freistellung der Ergebnisse der Fragestellungen müssen vorab die Ergebnisse der ersten Teilfragestellung der Vorfeldstudie angeführt werden. Beim Untersuchungsdesign der folgenden Fragestellungen handelte es sich um Vergleichsstudien mit parallel gezogenen Stichproben. Die zu vergleichenden zwei Faktorstufen wurden jeweils drei Standorten zugeordnet. Im Folgenden soll gezeigt werden, inwieweit sich die gewählte Standortaufteilung für Vergleichsstudien eignet. Darüber hinaus soll im zweiten Schritt das Anflugverhalten an Kugelleuchten beschrieben werden.

#### Standortbewertung

Unter Berücksichtigung aller naheliegenden Kombinationen der Standorte wurde die Konfiguration: „Standort 1 bis 3 für Faktor 1“ und „Standort 4 bis 6 für Faktor 2“ zur Durchführung der folgenden Vergleichsstudien gewählt.

Die Standorte (Abb. 4.1.1 -1) unterschieden sich signifikant voneinander (Kruskal-Wallis:  $\chi^2 = 12,399$ , d.f. = 5,  $p = *$ ,  $n = 96$ ). Berücksichtigt man die Gruppe der kleinen Diptera nicht für das Ergebnis, so konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (Kruskal-Wallis:  $\chi^2 = 4,3349$ , d.f. = 5,  $p = 0,502$ ,  $n = 96$ ).

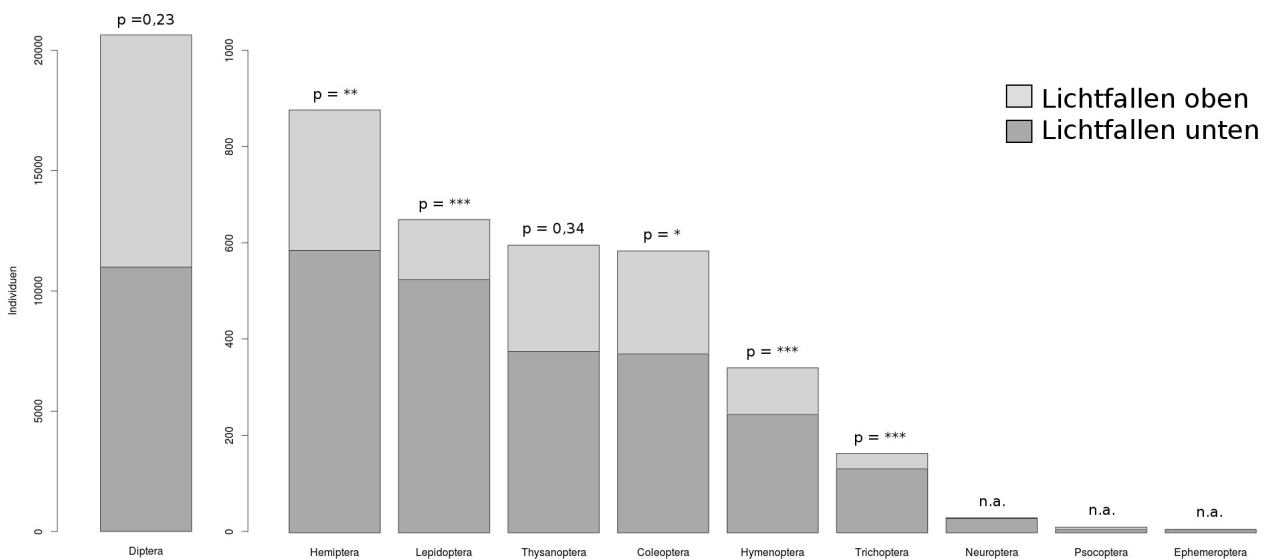
Nach Aufteilung der Standorte auf die endgültige Konfiguration (1,2,3 gegen 4,5,6) konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Standort-Gruppen festgestellt werden (U-Test:  $W = 1123$ ,  $p = 0,835$ ,  $n = 96$ ), auch nicht unter Ausschluss der oberen Lichtfallen (U-Test:  $W = 302$ ,  $p = 0,781$ ,  $n = 48$ ), den kleinen Diptera (U-Test:  $W = 321,5$ ,  $p = 0,496$ ,  $n = 48$ ) oder bei alleiniger Betrachtung der Diptera (U-Test:  $W = 296,5$ ,  $p = 0,869$ ,  $n = 48$ ) (vgl. Abb. 4.1.1 Grafik 2 bis 5). Die für diese Studie ebenfalls wichtigen Ordnungen Lepidoptera (U-Test:  $W = 348$ ,  $p = 0,219$ ,  $n = 48$ ) und Trichoptera (U-Test:  $W = 354$ ,  $p = 0,166$ ,  $n = 48$ ) sowie Coleoptera (U-Test:  $W = 291$ ,  $p = 0,959$ ,  $n = 48$ ), Hemiptera (U-Test:  $W = 313$ ,  $p = 0,613$ ,  $n = 48$ ) und Hymenoptera (U-Test:  $W = 298,5$ ,  $p = 0,836$ ,  $n = 48$ ) zeigten ebenfalls keinen signifikanten Unterschied im Anflug zwischen den beiden Standort-Gruppen.



**Abbildung 4.1.1:** Standortvergleichs-Graphiken. 1 = Boxplots der sechs Standorte im Vergleich, 2 bis 5 = Boxplots mit gruppierten Standorten (1,2,3 gegen 4,5,6). 2 = obere und untere Lichtfallenfänge aller Insekten (vgl. Abb. 3.4.1), 3 = nur untere Lichtfallenfänge berücksichtigt, 4 = wie 3, jedoch ohne Diptera mit einer Flügellänge  $\leq 5$  mm, 5 = wie 3, jedoch ausschließlich Diptera berücksichtigt.

## Anflugverhalten

Bei einem Stichprobenumfang von 96 Proben wurden 23.909 Insekten an allen Lichtfallen im Untersuchungszeitraum vom 27.05. bis 14.06.2012 gefangen. Hiervon wurden 55,5% an den unteren Lichtfallen erbeutet (Design siehe Kap. 3.5). Abbildung 4.1.2 zeigt die Verteilung der Individuen auf die zehn nachgewiesenen Insektenordnungen in diesem Zeitraum. Die mit Abstand am häufigsten gefangenen Insekten (86,31% vom Gesamtfang) gehörten zur Ordnung der Diptera (20.637 Fliegen), wobei 99,4% eine Vorderflügelänge  $\leq 5$  mm aufwiesen. Als zweitstärkste Ordnung erwiesen sich die Hemiptera (3,68% vom Gesamtfang), gefolgt von den Lepidoptera (2,72%), den Thysanoptera (2,50%), den Coleoptera (2,45%), den Hymenoptera (1,43%), den Trichoptera (0,69%) sowie den weniger abundanten Ordnungen Neuroptera (0,13%), Psocoptera (0,05%) und Ephemeroptera (0,03%). Alle zehn Ordnungen wurden jeweils häufiger an den unteren Lichtfallen gefangen, wobei nur die Ordnungen Diptera und Thysanoptera nicht signifikante Unterschiede zeigten. Berücksichtigt man die Masse an kleinen Diptera nicht, so sind 69,1% aller restlichen Insekten (2.353 Individuen) an den unteren Lichtfallen erbeutet worden, das bedeutet in Summe einen Mehrfang-Faktor von 2,24 im Vergleich mit Lichtfallenfängen der oberen Lichtfallen. Im Mittel war das Verhältnis (ohne Diptera) 2,49, bei einer Standardabweichung von 1,47.



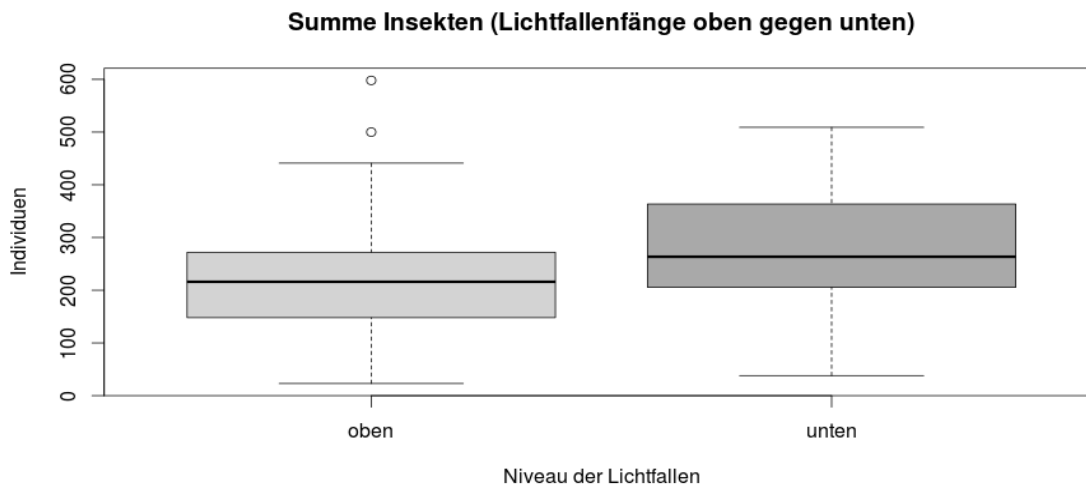
**Abbildung 4.1.2:** Individuenanzahlen pro Insektenordnung und Lichtfallenniveau (oben = Hellgrau, unten = Dunkelgrau) beim Quecksilberdampf-Kugelleuchten Lichtfangversuch. P = Signifikanzwert des Unterschieds in der zentralen Tendenz zwischen den beiden Faktorstufen innerhalb der jeweiligen Insektenordnung (ANOVA bzw. U-Test).

Bei einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05\%$  ist der Unterschied im Anflug zwischen den Individuenzahlen per Lichtfalle der beiden Faktorstufen, obere Lichtfallen und untere Lichtfallen, als signifikant zu bezeichnen ( $F = 5,326$ ,  $p = *$ , d.f. = 94) (vgl. Abb. 4.1.3). Bei Ausschluss der individuenstärksten Ordnung, den kleinen Diptera, werden die Unterschiede höchst signifikant ( $W = 420,5$ ,  $p = ***$ , d.f. = 94).

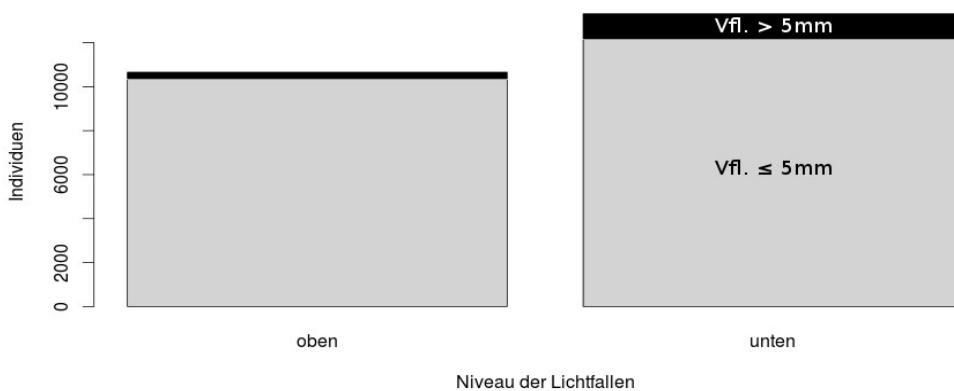
Der Unterschied im Anflug der Individuen mit einer Vorderflügelänge (Vfl.)  $\leq 5$  mm, zwischen den beiden Höhenniveaus, ist nicht signifikant ( $F = 2,587$ ,  $p = 0,111$ , d.f. = 94) (vgl. Abb. 4.1.4). Bei Ausschluss der individuenstärksten Ordnung, den kleinen Diptera, werden die Unterschiede signifikant ( $W = 823,5$ ,  $p = *$ , d.f. = 94). Der Unterschied im Anflug der Individuen mit einer Vorderflügelänge  $> 5$  mm, zwischen den beiden Höhenniveaus, ist als höchst signifikant zu bezeichnen ( $W = 150,5$ ,  $p = ***$ , d.f. = 94) (vgl. Abb. 4.1.4).

Für die zweite Fragestellung dieser Untersuchung, dem Vergleich zwischen Kugel- und Kofferleuchten, war es notwendig sicher zu stellen, dass das Verhältnis zwischen den Lichtfallenfängen der oberen und unteren Fallen für alle Standorte möglichst gleich hoch ist. Alle untersuchten Variablengruppierungen zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Standorten. In Abbildung 4.1.5 sind die Verteilungen der Quotienten (Fänge der unteren Fallen dividiert durch Fänge der oberen Fallen) für die untersuchten Variablen dargestellt. Die Variablen wurden auf Basis der vorangestellten Ergebnisse gewählt und spiegeln sie in ähnlicher Weise wider, diesmal für den Faktor Standort. Die ersten beiden Variablen sind durch die Ordnung der Diptera dominiert, daher sind die Ergebnisse auch für diese Variablen, *Summe* (aller Insekten) ( $F = 1,615$ ,  $p = 0,177$ , d.f. = 5,  $n = 48$ ) und *Insekten  $\leq 5$  mm* ( $F = 0,998$ ,  $p = 0,431$ , d.f. = 5,  $n = 48$ ), ähnlich. Mit anderen Worten, diese Variablen unterscheiden sich nicht signifikant für den Faktor Standort. Gleiches trifft auch auf die Variablen *Insekten  $> 5$  mm* ( $\chi^2 = 4,352$ ,  $p = 0,5$ , d.f. = 5,  $n = 48$ ) und *Summe der Insekten ohne Berücksichtigung der Diptera und Thysanoptera* ( $\chi^2 = 3,070$ ,  $p = 0,689$ , d.f. = 5,  $n = 48$ ) zu.

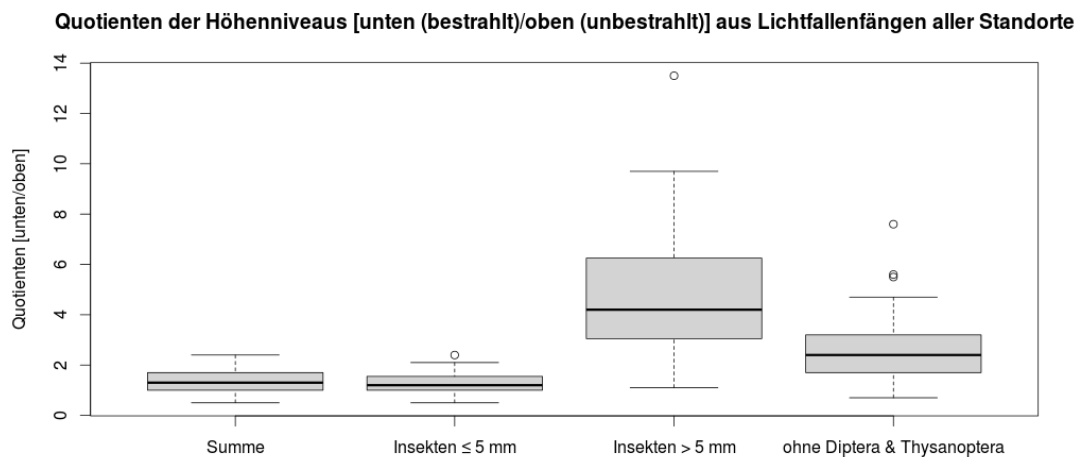




**Abbildung 4.1.3:** Boxplots zu Individuenanzahlen je Höhenniveau der Lichtfallen. Oben = Hellgrau (Standort 1-6), unten = Dunkelgrau (Standort 1-6).



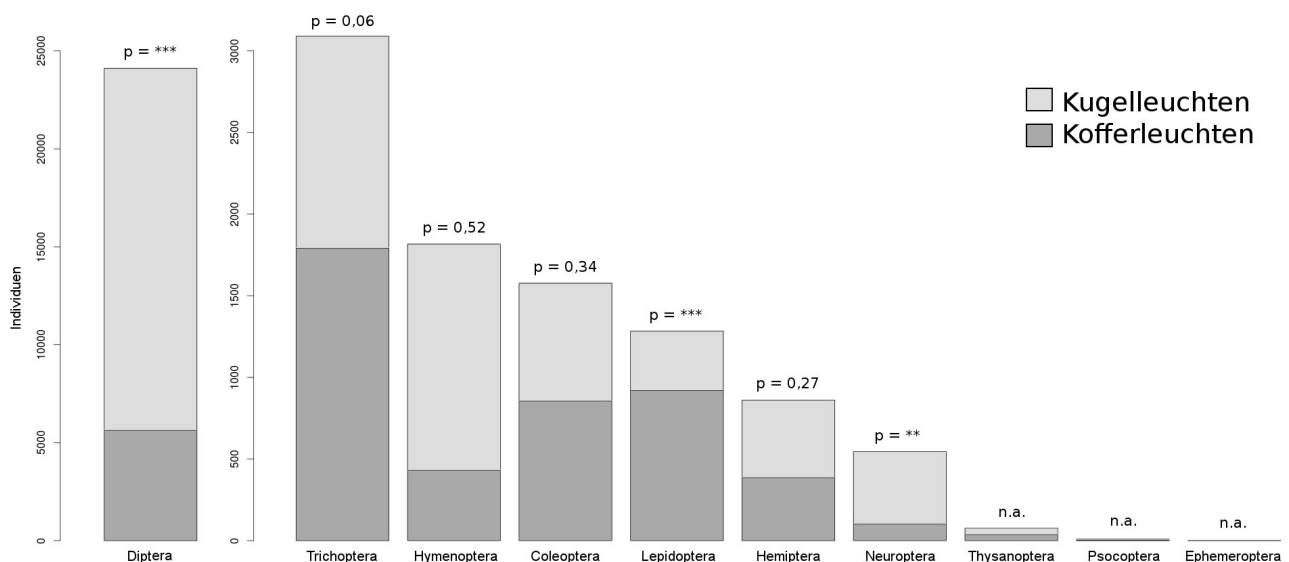
**Abbildung 4.1.4:** Individuenanzahlen je Höhenniveau der Lichtfallen (Standort 1-6). Kleine Insekten mit einer Vorderflügelänge (Vfl.)  $\leq 5$  mm = Hellgrau, Insekten mit einer Vfl.  $> 5$  mm = schwarz.



**Abbildung 4.1.5:** Boxplots der Quotienten der Höhenniveaus aus Lichtfallenfängen aller Standorte. Die Lichtfallenfänge der unteren bestrahlten Fallen wurden durch die oberen unbestrahlten dividiert. Unterschiedliche Variablengruppierungen werden dargestellt, die Längenangaben beziehen sich auf die Vorderflügel der Insekten.

## 4.2 Fragestellung 2 (Leuchte)

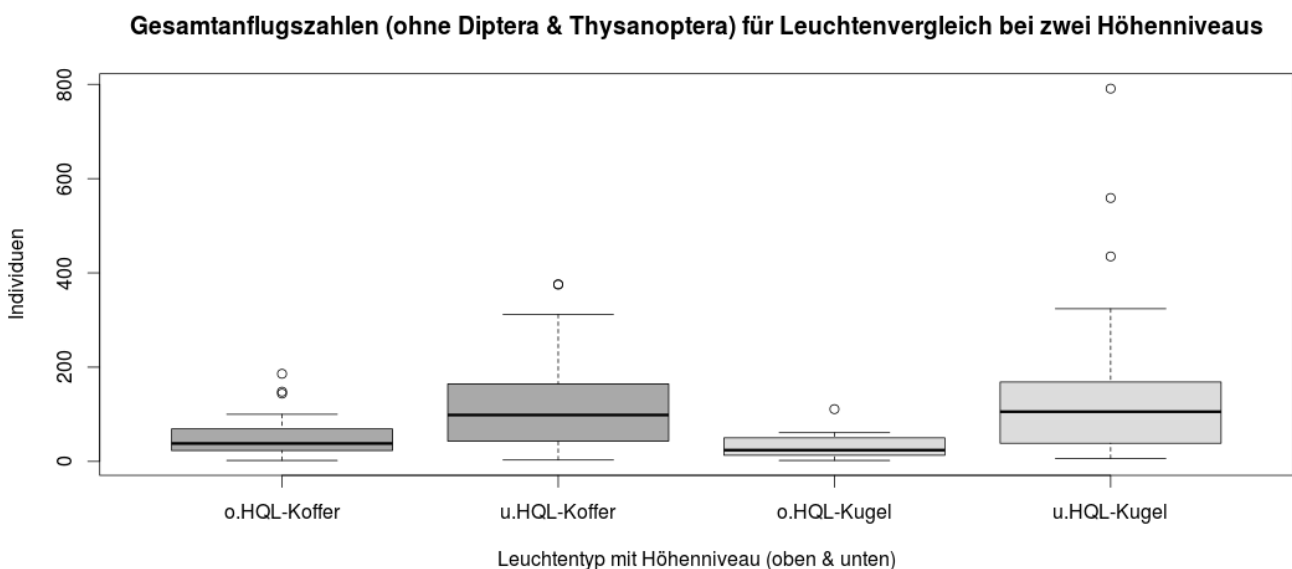
Bei einem Stichprobenumfang von 96 Proben wurden 33.380 Insekten an allen Lichtfallen im Untersuchungszeitraum vom 21.07. bis 01.08.2012 gefangen. Hiervon wurden 69,6% an den Lichtfallen der Masten mit Kugelleuchten erbeutet (Untersuchungsdesign siehe Kap. 3.6). Abbildung 4.2.1 zeigt die Verteilung der Individuen von 10 der 13 in diesem Zeitraum nachgewiesenen Insektenordnungen. Die mit Abstand am häufigsten gefangenen Insekten (72,25% vom Gesamtfang) gehörten zur Ordnung der Diptera (24.116 Fliegen), wobei 99,1% eine Vorderflügelänge  $\leq 5$  mm aufwiesen. Als zweitstärkste Ordnung erwiesen sich die Trichoptera (9,26% vom Gesamtfang), gefolgt von den Hymenoptera (5,44%), den Coleoptera (4,72%), den Lepidoptera (3,85%), den Hemiptera (2,58%), den Neuroptera (1,63%) sowie den weniger abundanten Ordnungen Thysanoptera (0,23%) und Psocoptera (0,03%). Die Ordnungen Ephemeroptera, Strepsiptera, Saltatoria und Dermaptera waren jeweils mit weniger als zwei Individuen vertreten. An Kugelleuchten wurden die Ordnungen Diptera und Neuroptera signifikant häufiger gefangen, Lepidoptera hingegen signifikant häufiger an Kofferleuchten. Individuen der Ordnung Trichoptera zeigten eine Tendenz zur Signifikanz in Richtung Kofferleuchten, für die restlichen Ordnungen konnte kein Unterschied im Fangergebnis zwischen Koffer- und Kugelleuchten festgestellt werden.



**Abbildung 4.2.1:** Individuenanzahlen pro Insektenordnung und Leuchtentyp (Kugelleuchten = Hellgrau, Kofferleuchten = Dunkelgrau) beim HQL-Leuchten-Lichtfangversuch. Die Fänge der oberen und unteren Lichtfallen wurden jeweils kombiniert. P = Signifikanzwert des Unterschieds in der zentralen Tendenz zwischen den beiden Faktorstufen innerhalb der jeweiligen Insektenordnung (U-Tests).

Berücksichtigt man die Masse an kleinen Diptera nicht, so sind 51,6% aller restlichen Insekten (9490 Individuen) an Lichtfallen der Masten mit Kugelleuchten erbeutet worden. Das bedeutet in Summe einen Mehrfang-Faktor von 1,06 im Vergleich zu Lichtfallenfängen der Masten mit Kofferleuchten. Im Mittel wurde an Kugelleuchten mindestens die 1,02fache Individuenanzahl (SD = 0,30) gefangen (ohne Diptera und Thysanoptera).

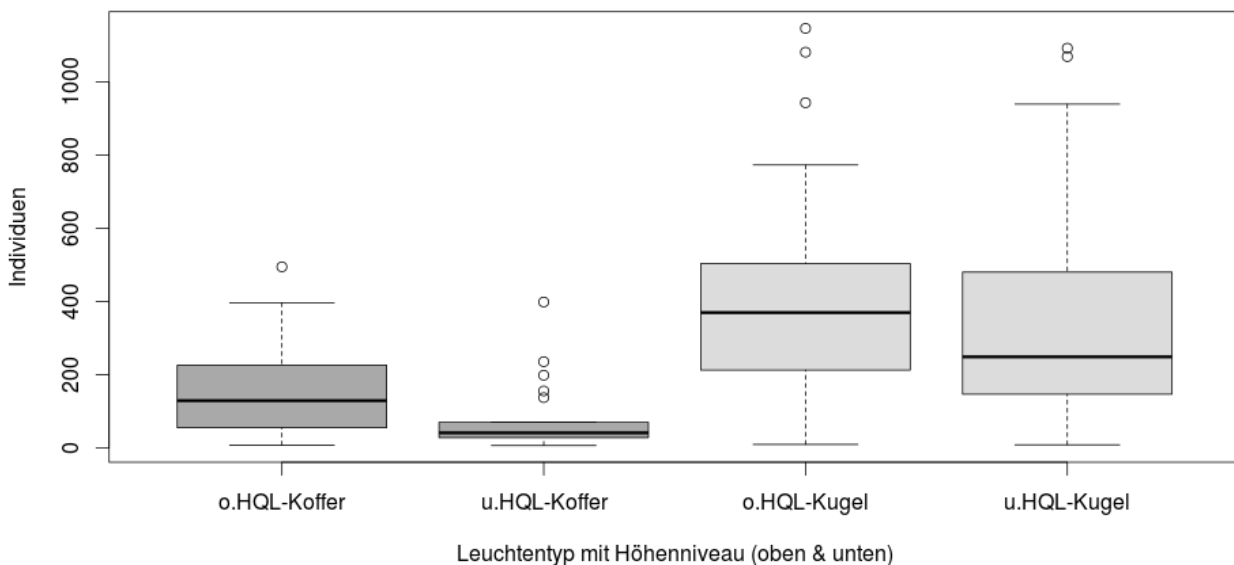
Eine multifaktorielle ANOVA, mit dem Modell: Summe gefangener Insekten an einer Lichtfalle – Diptera – Thysanoptera ~ Höhenniveau + Leuchtentyp + Tag + Standort, konnte 89,9% der Variabilität erklären (d.f. Residuen = 81). Der Unterschied in den Anflugzahlen der beiden Höhenniveaus ist höchst signifikant ( $F = 150,3$ ,  $p = ***$ ,  $n = 96$ ) und zwischen den Leuchtentypen signifikant ( $F = 3,97$ ,  $p = *$ ,  $n = 96$ ) ausgefallen. Bei Aufteilung der Faktoren Höhenniveau und Leuchtentyp ist der Unterschied zwischen den Typen bei gleichem Höhenniveau der Lichtfallen für die unteren Fallen nicht signifikant ( $F = 0,019$ ,  $p = 0,892$ , d.f. = 46) und ebensowenig für die oberen ( $F = 1,725$ ,  $p = 0,196$ , d.f. = 46). Innerhalb des gleichen Leuchtentypus ist der Unterschied zwischen den Höhenniveaus für Kofferleuchten signifikant ( $F = 9,524$ ,  $p = *$ , d.f. = 46) und für Kugelleuchten höchst signifikant ( $F = 16,46$ ,  $p = ***$ , d.f. = 46). In Abbildung 4.2.2 wird gezeigt, dass Quecksilberdampf-Kugelleuchten und -Kofferleuchten eine sehr ähnliche Verteilung der Anflugzahlen an den Lichtfallen bei jeweils gleichem Höhenniveau aufweisen, aber auch, dass in den unteren Lichtfallen jeweils mehr Individuen gefangen wurden.



**Abbildung 4.2.2:** Boxplots der Lichtfallenfänge aller Insekten ohne Individuen der Ordnungen Diptera und Thysanoptera, gefangen an zwei Leuchtentypen (Koffer, Kugel) bei gleichem Leuchtmittel (Quecksilberdampflampen = HQL) und an unterschiedlichen Höhenniveaus (oben = o, unten = u).

Die Verwendung des obigen Modells, angewandt auf die Ordnung der Diptera, konnte 76,6% der Variabilität erklären (d.f. Residuen = 81). Der Unterschied in den Anflugzahlen der beiden Höhenniveaus ist hoch signifikant ( $F = 10,32$ ,  $p = **$ ,  $n = 96$ ) und zwischen den Leuchtentypen höchst signifikant ( $F = 93,81$ ,  $p = ***$ ,  $n = 96$ ) ausgefallen. Bei Aufteilung der Faktoren Höhenniveau und Leuchtentyp ist der Unterschied zwischen den Typen bei gleichem Höhenniveau der Lichtfallen für die unteren Fallen höchst signifikant ( $F = 22,08$ ,  $p = ***$ , d.f. = 46) und ebenso für die oberen ( $F = 13,66$ ,  $p = ***$ , d.f. = 46). Innerhalb des gleichen Leuchtentypus ist der Unterschied zwischen den Höhenniveaus für Kofferleuchten signifikant ( $F = 6,727$ ,  $p = *$ , d.f. = 46) und für Kugelleuchten nicht signifikant ( $F = 0,601$ ,  $p = 0,442$ , d.f. = 46). In Abbildung 4.2.3 wird gezeigt, dass Quecksilberdampf-Kugelleuchten durchschnittlich mehr Diptera anziehen als -Kofferleuchten (vgl. Abb.: 4.2.1), aber auch, dass in den oberen Lichtfallen der Kofferleuchten mehr Individuen gefangen wurden als in den unteren. Im Folgenden soll geklärt werden, ob das Verhältnis der Insektenfänge der oberen und unteren Lichtfallen zwischen den beiden Leuchtentypen gleich ist.

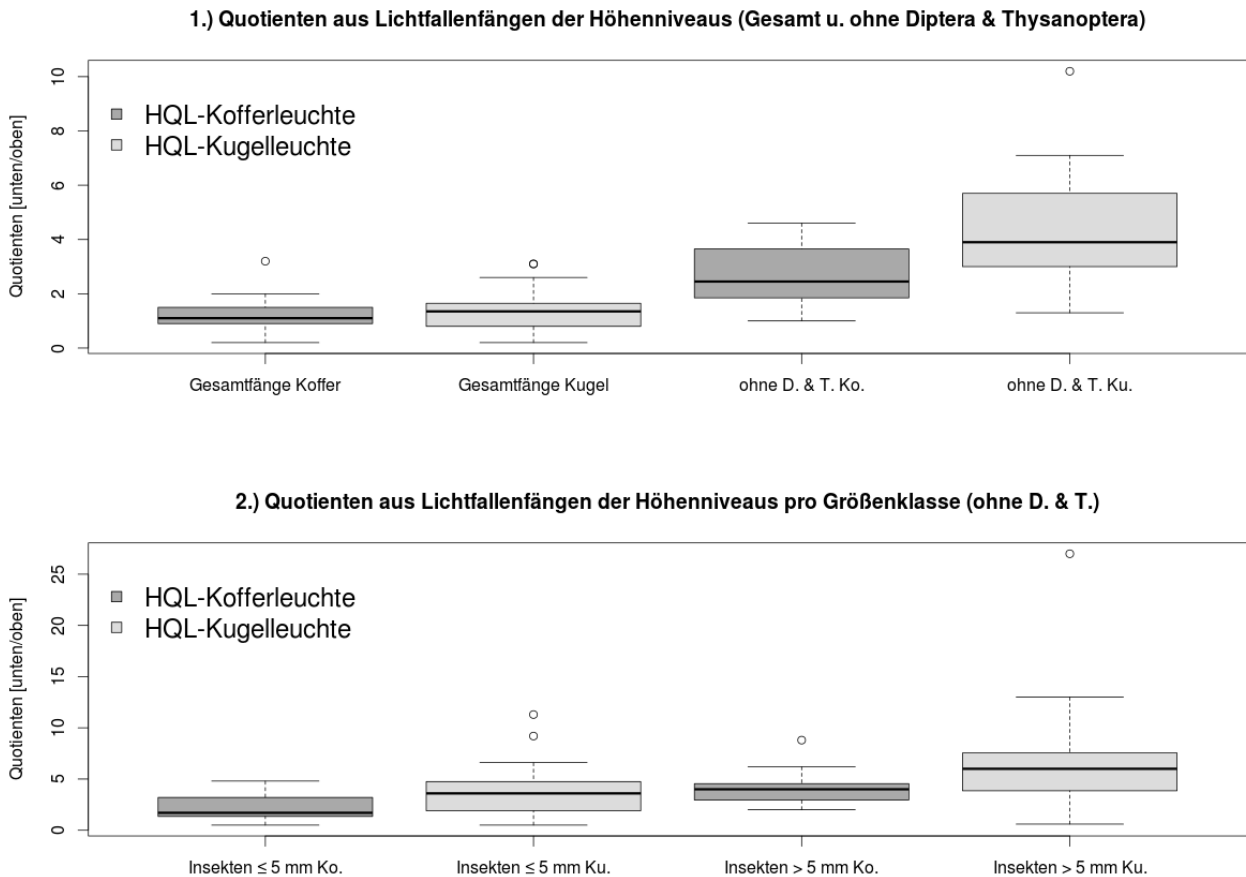
**Diptera-Anflugszahlen für Leuchtenvergleich bei zwei Höhenniveaus**



**Abbildung 4.2.3:** Boxplots der Lichtfallenfänge der Ordnung Diptera an zwei Leuchtentypen (Koffer, Kugel) bei gleichem Leuchtmittel (Quecksilberdampf = HQL) und unterschiedlichen Höhenniveaus (oben = o, unten = u).

In Abbildung 4.2.4 sind die Quotienten der unteren und oberen Lichtfallenfängen je Leuchtentypus dargestellt. Der Unterschied der Quotienten (unten / oben) ist bei Betrachtung der Gesamtfänge (72,25% Diptera) zwischen den beiden Leuchtentypen nicht

signifikant ( $F = 0,378$ ,  $p = 0,542$ ,  $n = 48$ ). Berücksichtigt man die Ordnungen Diptera und Thysanoptera nicht für den Gesamtfang, zeigen sich hoch signifikante Unterschiede ( $\chi^2 = 8,519$ ,  $p = **$ ,  $n = 48$ ). Bei Aufteilung letzterer Teilmenge in zwei Größenfraktionen konnten ebenfalls signifikante Unterschiede in den Quotienten der Fangzahlen zwischen den beiden Leuchtentypen festgestellt werden (Vorderflügel  $\leq 5$  mm:  $\chi^2 = 6,536$ ,  $p = *$ ,  $n = 48$ ; Vorderflügel  $> 5$  mm:  $\chi^2 = 5,900$ ,  $p = *$ ,  $n = 48$ ) (Abb. 4.2.4-2).



**Abbildung 4.2.4:** Boxplots der Quotienten (unten / oben) aus Lichtfallenfängen der beiden Höhenniveaus. Kugelleuchten = Ku., Kofferleuchten = Ko.. Es wurden jeweils gleiche Leuchtmitteln (HQL = Quecksilberdampf) verwendet. Die Lichtfallenfänge der unteren bestrahlten Fallen wurden durch die oberen unbestrahlten dividiert. 1.) Gesamtfänge an Lichtfallen der beiden Leuchtentypen, mit und ohne Berücksichtigung der Diptera und Thysanoptera (D. & T.). 2.) Wie oben, jedoch in zwei Größenklassen sortiert und jeweils ohne Berücksichtigung der Diptera und Thysanoptera. Die Längenangaben beziehen sich auf die Vorderflügel der Insekten.

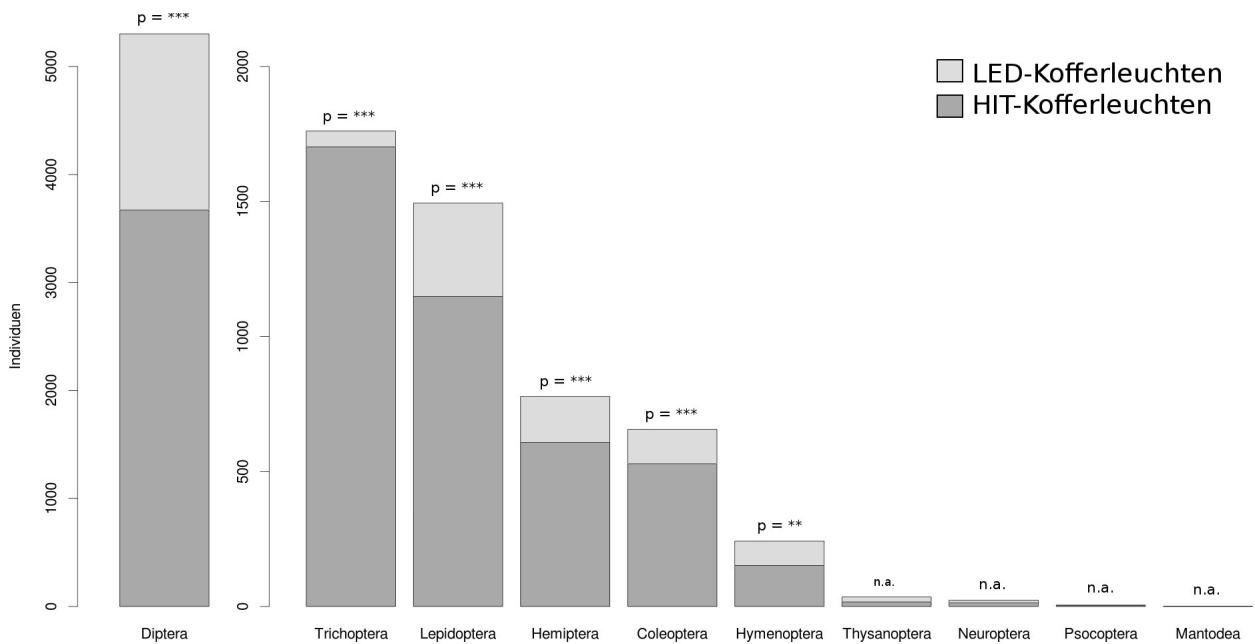
Konkret belief sich der Mehrfang-Faktor, ohne Berücksichtigung der Ordnungen Diptera und Thysanoptera, im Mittel auf 2,67 (SD = 1,10) zugunsten der unteren Lichtfallen bei Kofferleuchten und auf 4,41 (SD = 2,15) bei Kugelleuchten. Für die Ordnung Diptera lag das Verhältnis im Mittel bei 0,73 (SD = 0,66) für Kofferleuchten und bei 0,99 (SD = 0,64) für Kugelleuchten und fiel somit zugunsten der oberen Lichtfallen aus.

Eine vollständige Übersicht der Verteilungen (Boxplots) der häufigsten Ordnungen für die Faktoren Leuchtentyp, Höhenniveau, Standort und Probestag ist zugunsten der Übersichtlichkeit im Anhang ab Seite 51 zu finden.

### **4.3 Fragestellung 3 (Leuchtmittel)**

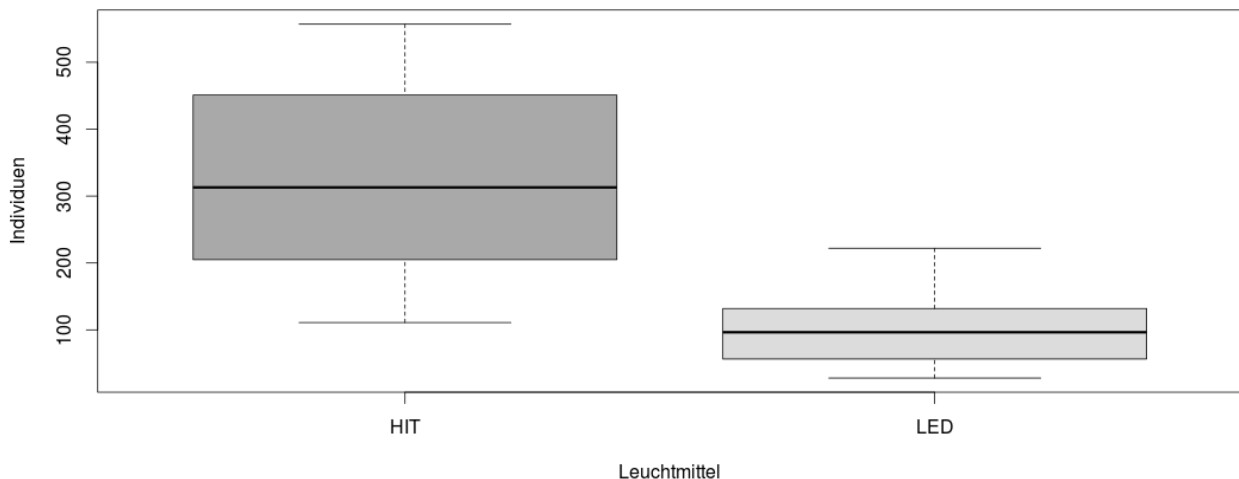
Bei einem Stichprobenumfang von 48 Proben wurden 10.298 Insekten an allen Lichtfallen im Untersuchungszeitraum vom 16.08. bis 23.08.2012 gefangen. Hiervon wurden 76,2% an den Lichtfallen der Masten mit Metaldampflampen erbeutet (Untersuchungsdesign siehe Kap. 3.7). Abbildung 4.3.1 zeigt die Verteilung der Individuen auf die 10 nachgewiesenen Insektenordnungen in diesem Zeitraum. Die mit Abstand am häufigsten gefangenen Insekten (51,50% vom Gesamtfang) gehörten zur Ordnung der Diptera (5.303 Fliegen), wobei 99,6% eine Vorderflügelänge  $\leq 5$  mm aufwiesen. Als zweitstärkste Ordnung erwiesen sich die Trichoptera (17,1% vom Gesamtfang), gefolgt von den Lepidoptera (14,5%), den Hemiptera (7,55%), den Coleoptera (6,37%), den Hymenoptera (2,35%) sowie den weniger abundanten Ordnungen Thysanoptera (0,39%), Neuroptera (0,22%) und Psocoptera (0,05%). Die Ordnung Mantodea war nur mit einem Individuum vertreten. Alle zehn Ordnungen wurden jeweils häufiger an Lichtfallen der Metaldampflampen gefangen.

Berücksichtigt man die Masse an kleinen Diptera nicht, so sind 83,5% aller restlichen Insekten (5014 Individuen) an Lichtfallen der Masten mit Metaldampflampen erbeutet worden, das bedeutet in Summe einen Mehrfang-Faktor von 3,20 (Mittelwert = 3,34, Standardabweichung = 0,53) im Vergleich zu Lichtfallenfängen der Masten mit LED-Lampen. Ohne Diptera war das Verhältnis im Mittel 5,27, bei einer Standardabweichung von 1,19.



**Abbildung 4.3.1:** Individuenanzahlen pro Insektenordnung und Lampentyp. LED-Lampen = Hellgrau, Metalldampf lampen (HIT) = Dunkelgrau. P = Signifikanzwert des Unterschieds in der zentralen Tendenz zwischen den beiden Faktorstufen innerhalb der jeweiligen Insektenordnung (U-Tests).

Bei einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05\%$  ist der Unterschied im Anflug zwischen den Individuenzahlen per Lichtfalle der beiden Faktorstufen, Metalldampf lampen (HIT) und LED-Lampen (LED), als höchst signifikant zu bezeichnen ( $F = 67,28$ ,  $p = ***$ , d.f. = 46) (Abb. 4.3.2). Bei Ausschluss der individuenstärksten Ordnung, den kleinen Diptera, bleiben die Unterschiede höchst signifikant ( $F = 211,7$ ,  $p = ***$ , d.f. = 46).



**Abbildung 4.3.2:** Boxplots zu gefangenen Individuenanzahlen an Lichtfallen je Leuchtmittel. LED-Kofferleuchten = Hellgrau (LED), Metalldampf lampen-Kofferleuchten = Dunkelgrau (HIT).

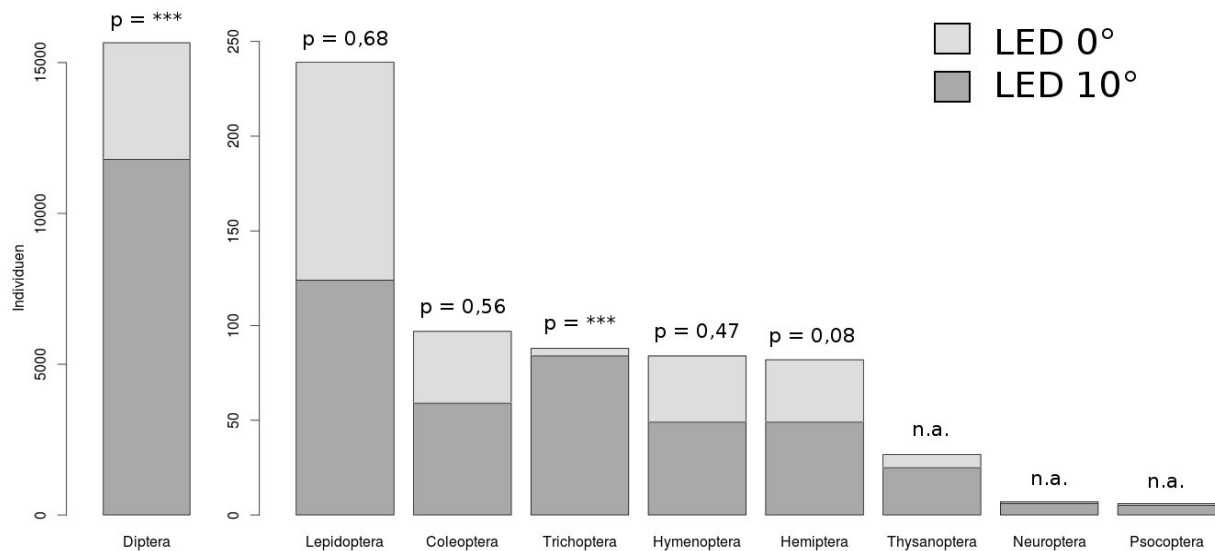
Eine vollständige Übersicht der Verteilungen (Boxplots) der häufigsten Ordnungen für die Faktoren Leuchtentyp, Standort und Proben tag ist zugunsten der Übersichtlichkeit im Anhang ab Seite 56 zu finden.

#### **4.4 Fragestellung 4 (Anstellwinkel)**

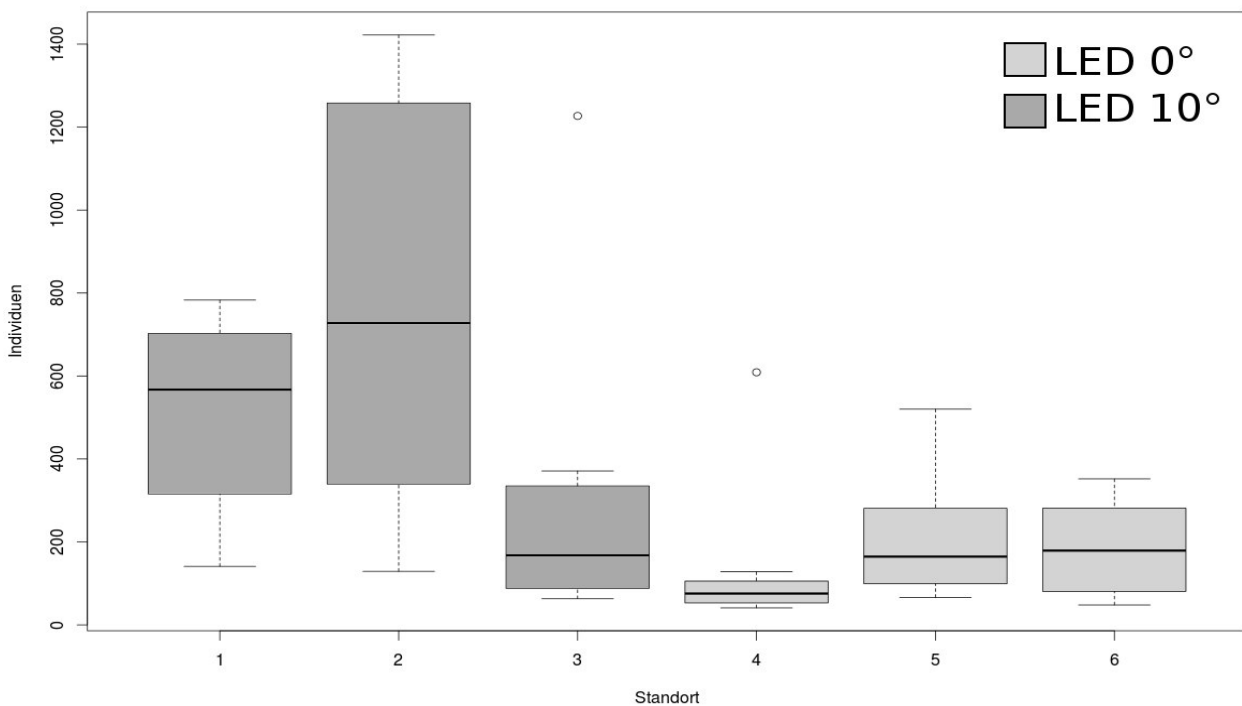
Bei einem Stichprobenumfang von 46 Proben wurden 16.295 Insekten an allen Lichtfallen im Untersuchungszeitraum vom 27.08. bis 07.09.2012 gefangen. Hiervon wurden 74,9% an den Lichtfallen der Masten mit höherem Anstellwinkel ( $10^\circ$ ) erbeutet (Untersuchungsdesign siehe Kap. 3.8). Abbildung 4.4.1 zeigt die Verteilung der Individuen auf die neun nachgewiesenen Insektenordnungen in diesem Zeitraum. Die mit Abstand am häufigsten gefangenen Insekten (96,09% vom Gesamtfang) gehörten zur Ordnung der Diptera (15.660 Fliegen), wobei 99,9% eine Vorderflügelänge  $\leq 5$  mm aufwiesen. Als zweitstärkste Ordnung erwiesen sich die Lepidoptera (1,47% vom Gesamtfang), gefolgt von den Coleoptera (0,60%), den Trichoptera (0,54%), den Hymenoptera (0,52%), den Hemiptera (0,50%), sowie den weniger abundanten Ordnungen Thysanoptera (0,20%), Neuroptera (0,04%) und Psocoptera (0,04%). Alle neun Ordnungen wurden jeweils häufiger an den Masten mit  $10^\circ$  versetzt montierten Leuchten gefangen, wobei nur die Ordnungen Diptera und Trichoptera signifikante Unterschiede zeigten. Berücksichtigt man die Masse an kleinen Diptera nicht, so sind 62,8% aller restlichen Insekten (651 Individuen) an Lichtfallen der Masten mit  $10^\circ$  Anstellwinkel erbeutet worden, das bedeutet in Summe einen Mehrfang-Faktor von 1,69 im Vergleich mit Lichtfallenfängen der Masten mit  $0^\circ$  Anstellwinkel. Im Mittel war das Verhältnis (ohne Diptera) 1,73 bei einer Standardabweichung von 0,61.

Bei einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05\%$  ist der Unterschied im Anflug zwischen den Individuenzahlen per Lichtfalle der beiden Faktorstufen, Leuchte horizontal (LED  $0^\circ$ ) und Leuchte mit  $10^\circ$  Anstellwinkel (LED  $10^\circ$ ), als höchst signifikant zu bezeichnen ( $F = 15,57$ ,  $p = ***$ , d.f. = 44) (vgl. Abb. 3.6.1). Bei Ausschluss der individuenstärksten Ordnung, den kleinen Diptera, bleiben die Unterschiede hoch signifikant ( $F = 10,45$ ,  $p = **$ , d.f. = 44).





**Abbildung 4.4.1:** Individuenanzahlen pro Insektenordnung und Anstellwinkel (0° = Hellgrau, 10° = Dunkelgrau) beim LED-Kofferleuchten-Lichtfangversuch. P = Signifikanzwert des Unterschieds in der zentralen Tendenz zwischen den beiden Faktorstufen innerhalb der jeweiligen Insektenordnung (ANOVA bzw. U-Test).



**Abbildung 4.4.2:** Boxplot mit Individuenanzahlen pro Standort. Leuchtenkonfiguration: 0° = Hellgrau (Standort 4-6), 10° = Dunkelgrau (Standort 1-3).

## 5 Diskussion

### 5.1 Einleitung / Vorfeldstudie

Bei Freilandversuchen mit Lichtfallen müssen unzählige beeinflussende Faktoren mitberücksichtigt werden (BLOMBERG ET AL. 1978; HAUSMANN 1993; HÖTTINGER & GRAF 2003; BRUCE-WHITE & SHARDLOW 2011; BYERS 2011). Groß angelegte Versuche, wie sie beispielsweise in Deutschland durchgeführt wurden, scheitern in ihrer Aussagekraft oft am Fehlen der notwendigen Vorfeldversuche (z.B. EISENBEIS & EICK 2011). Diesbezüglich konnte gezeigt werden, dass sich das Untersuchungsgebiet auf der Donauinsel bestens für die gewählten Fragestellungen eignete. Nicht nur der Ausschluss von Lichtkonkurrenz, auch das biologische Potenzial und die Vergleichbarkeit der sechs Probenstandorte konnte gewährleistet werden.

Diese und andere Studien zeigen, wie die Verstrickung zwischen Biologie und Technik oft zu interdisziplinären Fragestellungen führt, die wissenschaftlich herausfordernd sind. Ein Beispiel hierfür sind die Tiroler Studien in diesem Forschungsfeld (HUEMER ET AL. 2010, 2011). Dort wurde auf Basis eines ersten Versuchs die technische Zugangsweise in Folge deutlich verbessert. Ähnlich wie in der vorliegenden Studie, wurde die Wichtigkeit der Integration von Lichtlabor-Untersuchungen erkannt. Im Unterschied zu anderen Studien wurde in der vorliegenden ein neuer Zugang gewählt, um verschiedene Leuchtmittel miteinander zu vergleichen. Nicht die Leistung, der Lichtstrom oder die Beleuchtungsstärke wurde als Referenz herangezogen, sondern die Bestrahlungsstärke. Lichtstrom und Beleuchtungsstärke sind photometrische Größen, die an die Wellenlängenempfindlichkeit des menschlichen Auges angepasst sind. Die Bestrahlungsstärke berücksichtigt auch jene Wellenlängenbereiche, die nicht durch die Hellempfindlichkeitskurve ( $v$ - $\lambda$ -Kurve) abgedeckt werden.

In der Vorfeldstudie konnte gezeigt werden, dass an den unteren und somit bestrahlten Lichtfallen ca. doppelt soviel Insekten gefangen werden als an den oberen unbestrahlten. Dieser signifikante Unterschied war jedoch für die Ordnungen Diptera und Thysanoptera nicht signifikant. Die primäre Konsequenz für den weiteren Studienverlauf war, dass für einen Leuchtenvergleich, Kugelleuchte gegen Kofferleuchte, diese Ordnungen eine gesonderte Aussage für das Ergebnis liefern würden, da sie sich anders um Kugelleuchten verteilen als die restlichen Insektenordnungen.

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass Diptera die zahlenmäßig am häufigsten gefangene Insektenordnung war und an unbeleuchteten Luftteklektoren („Lichtfallen“) nicht signifikant weniger gefangen wurden als an beleuchteten. Gleiches traf auch auf die Ordnung Thysanoptera zu. Der Umstand, dass die Masse der gefangenen Diptera keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Lichtfallen zeigten, lässt Raum für neue Überlegungen. Vor allem der Aspekt Blendung soll im Folgenden diskutiert werden. Ob die menschliche Wahrnehmung von Blendung mit der von Insekten vergleichbar ist bleibt jedoch zu testen. SCHACHT & WITT (1986) diskutieren in ihrer Arbeit die Wirkung von Blendung auf Schmetterlinge und die damit verbundenen panischen Ausbruchsbemühungen in den überstrahlten und so für sie unsichtbaren Raum. Die Ergebnisse dieser Untersuchung legen den Schluss nahe, dass Schmetterlinge Lichtquellen gezielter ansteuern und sich im Nahbereich weniger zufällig (chaotisch) verhalten als es Diptera tun. HSIAO (1973) formulierte in diesem Zusammenhang die Theorie, dass Nachtfalter, ähnlich wie Menschen, einen Mach-Band-Effekt erleben und daher die Fluchtbewegung in Richtung Kontrastbereich zwischen Lichtquelle und Hintergrund durchführen. Der in dieser Untersuchung gefundene höchst signifikante Unterschied im Fangergebnis eines beleuchteten und eines nicht beleuchteten Luftteklektors, deren Einflugflächen nur 40 cm voneinander entfernt waren, kann diese Theorie jedoch nicht direkt bestätigen. Die effektive Anlockdistanz bei Nachtfaltern wird, bei der Verwendung einer 125 W Quecksilberdampflampe, mit drei Metern angegeben (BAKER & SADOVY 1978). In der Fachliteratur werden auch weit größere Distanzen diskutiert (EISENBEIS 2001; HÖTTINGER & GRAF 2003). Für den Fall, dass die Anlockdistanzen im kürzeren Bereich liegen (10 m) und die Fluchtbewegungen bei Schmetterlingen auf einer horizontalen Ebene erfolgen, könnten die Ergebnisse dieser Studie erklärt werden, womit auch die Hypothese von HSIAO (1973) wieder besser ins Bild passen würde.

Warum nachtaktive Insekten künstliche Lichtquellen anfliegen ist bis heute nicht allgemeingültig geklärt. Linear polarisiertes Licht, z.B. reflektiert durch dunkle glatte Oberflächen wie Häuserfassaden, Autos oder Fahrbahnen, lockt beispielsweise aquatische Insekten an, welche dort zum Teil ihre Eier ablegen (KRISKA ET AL. 2006, 2008; HORVÁTH ET AL. 2009).

## 5.2 Fragestellung 2 (Leuchte)

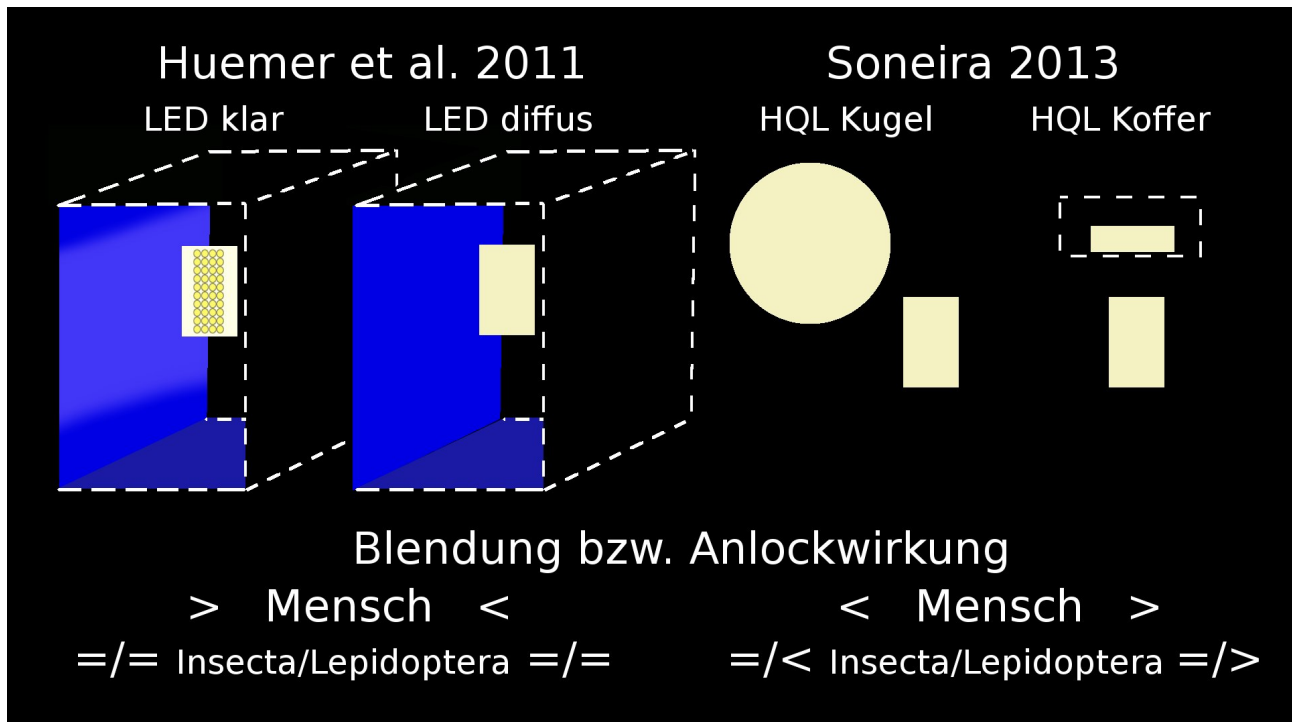
### Unterscheidet sich die Anlockwirkung zwischen Kugelleuchten und Kofferleuchten?

In Summe wurde bei Kugelleuchten im Vergleich mit Lichtfallenfängen der Masten mit Kofferleuchten ein Mehrfang-Faktor von 1,06 erzielt. Unter Einbezug der Ergebnisse der Vorfeldstudie wurde dieser Mehrfang weiter kritisch hinterfragt. Diesbezüglich wurden die Ordnungen Diptera und Thysanoptera gesondert behandelt. Es zeigte sich, dass die restlichen Ordnungen, bei Kombination der Lichtfallenfänge aus oberen und unteren Fallen, kumulativ gesehen, signifikant häufiger Kofferleuchten anfliegen. Diese Signifikanz begründet sich in den unterschiedlichen Quotienten zwischen den beiden Leuchtentypen, welche aus den Fängen der oberen und unteren Fallen gebildet wurden. Werden die Höhenniveaus separiert voneinander betrachtet verliert sich die Signifikanz. Der eigentliche Mehrfang ist somit in den oberen unbeleuchteten Lichtfallen zu finden. Wie sich zeigte, stachen in den Ergebnissen vor allem die Ordnungen Diptera, Lepidoptera, Neuroptera und Trichoptera heraus. Bevor näher auf diese Ordnungen eingegangen wird, werden folgend einige Theorien der Fachliteratur vorgestellt, die bei der Interpretation der Ergebnisse helfen sollen. Ein Leuchtenvergleich dieser Art war wissenschaftliches Neuland, daher lassen sich Vergleiche zu anderen Studien nur schwer ziehen. Überdies kann die Beantwortung der Frage nach dem *Warum* nur hypothetischer Natur bleiben, da das Versuchsdesign nicht für die Beantwortung von Warum-Fragen ausgelegt war.

Der Mond und das von ihm reflektierte Licht wird in vielen Publikationen als wichtiger Faktor für die Anlockkraft von künstlichem Licht gesehen. So soll das Mondlicht in Konkurrenz mit den Leuchtmitteln stehen und durch den verminderten Hintergrundkontrast bei Vollmond der Anflug an die Leuchtmittel geringer ausfallen (DREISIG 1980; SCHACHT & WITT 1986; EISENBEIS & HASSEL 2000; NOWINSZKY 2004; EISENBEIS ET AL. 2006; NOWINSZKY ET AL. 2010). Andere Studien zeigten umgekehrt aber auch, dass bei Vollmond der Anflug von Insekten höher ausfiel bzw. der Effekt des Mondes vernachlässigbar ist. Argumentiert wird, dass der Anflug von dämmerungsaktiven Insekten durch den Vollmond gesteigert wird bzw., dass sich durch ihn die nächtliche Flugzeitdauer verlängert (NABLI ET AL. 1999; SCHEIBE 2000; HÖTTINGER & GRAF 2003; NOWINSZKY 2004). Auch die Anflugdistanz soll sich in Abhängigkeit mit dem Hintergrundkontrast durch natürliche Lichtquellen verändern. So soll der Unterschied zwischen Voll- und Neumond bei 20 bis 300 m liegen, in einigen Fällen sogar über 800 m. Die eigentliche Anlockdistanz der Leuchten wurde dabei auf 7 bis 20 m eingeschätzt, wobei unterschiedliche Lampen verwendet wurden (NOWINSZKY 2004). Für die

vorliegende Studie könnte man hieraus ableiten, dass eine beleuchtete Falle neben einer Kugelleuchte sichtbar ist, als neben einer Kofferleuchte, ähnlich der Kontrastverringern durch den Vollmond. Dies würde erklären, warum Lepidoptera („Nachtfalter“) höchst signifikant häufiger an Kofferleuchten gefangen wurden und ebenso die Ordnung Trichoptera (Köcherfliegen), bei tendenzieller Signifikanz, die gleiche Tendenz zeigte. Auch der höhere Quotient (unten / oben) bei Kugelleuchten spricht für diese Hypothese. HUEMER ET AL. (2011) konnten in ihrer Studie zeigen, dass bei einem Abstand von 10 m, zwischen diffus abstrahlenden LED-Leuchten (größere Leuchfläche) und punktförmigen kein Unterschied im Anflug von Lepidopteren festzustellen ist. Ebenso bei Betrachtung der Anflugszahlen aller Insekten (mehr als 60% Diptera), wobei der jeweils höhere Lichtstrom von ca. 1600 lm bei klaren Abdeckgläsern (punktförmige Lampen) nicht berücksichtigt wurde (ca. 5000 lm bei diffusen Leuchten). Eine mögliche Ursache, warum diese Aussage im Widerspruch zur vorliegenden Studie steht, kann die unterschiedliche Artzusammensetzung oder die andere gestaltete Fallenkonstruktion sein. Es ist möglich, dass die Kastenform der Fallen die Leuchflächen angeglichen hat, auch wenn die Lichtverteilungskurven für die beiden LED-Typen unterschiedlich waren. In Abbildung 5.2.1 wird der Versuchsaufbau der genannten Studie neben der vorliegenden schematisch dargestellt. Die objektive Licht emittierende Fläche war im Fall der diffusen LED-Leuchten um ca. 2200fach größer als an den klaren (80 LED-Chips), für die NAV-Leuchten ca. 600fach (nicht dargestellt). Die subjektive Leuchfläche erreicht jedoch nicht diese Größenordnungen. In Anbetracht des geringeren Auflösungsvermögens von Insektenaugen (SCHACHT & WITT 1986; SCHEIBE 2000; DUPARRÉ ET AL. 2004) könnte die wahrgenommene Fläche der klaren LED-Leuchten wesentlich größer gewesen sein. Dadurch würde sich auch der Unterschied in der subjektiven Leuchfläche zwischen den klaren und diffusen LED-Leuchten verringern. Die scheinbaren Widersprüche lassen sich auf Ebene der Klasse (Insecta) schwer interpretieren, im Kapitel 5.5 wird auf Ordnungsniveau zu den Wirkfaktoren Stellung genommen. HUEMER ET AL. (2011) testeten auch NAV-Lampen auf die gleiche Weise wie beim beschriebenen LED-Lampen-Vergleich. Die Medianwerte der gefangenen Insekten (insgesamt und Lepidoptera) an diffusen Leuchten waren deutlich höher als bei klaren Leuchten, wobei kumulativ gesehen kein Unterschied erkennbar war. Die Autoren gingen in ihrer Studie nicht auf diesen Unterschied ein und bieten auch keine Signifikanzanalysen oder eine Diskussion an. Ein signifikanter Unterschied würde die Leuchfläche als wichtigen Faktor unterstreichen. Ein anderer weiter zu untersuchender Faktor ist die Lichtverteilungskurve. An Kofferleuchten

der vorliegenden Studie könnten sie zu stärkeren gerichteten Reflexionen an den Oberflächen der Lichtfallen geführt haben, wodurch diese punktuell heller erschienen wären. Klarheit können nur Folgestudien liefern. Faktoren die ebenfalls eine Rolle gespielt haben könnten sind beispielsweise polarisiertes Licht sowie Temperaturunterschiede (Infrarotstrahlung) an den Leuchten bzw. Lichtfallen. Pheromone, die durch Artgenossen abgegeben werden, können überdies die Anlockwirkung verstärken (BYERS 2011) und so die Ergebnisse beeinflusst haben.



**Abbildung 5.2.1:** Schematischer Vergleich der Ergebnisse aus HUEMER ET AL. (2011) und der vorliegenden Studie. HUEMER ET AL. (2011): schematische Darstellung der Gehäuse (strichliert) und zweier Leuchtmittel / Leuchten, „LED klar“ = klarer Plexiglaszylinder mit innenliegenden LED-Zylinder, „LED diffus“ = wie „LED klar“, jedoch mit LEE-Folie auf dem Plexiglas. Blaue Flächen stellen die theoretische Leuchtdichte durch Reflexionen an den Gehäusewänden dar.

### 5.3 Fragestellung 3 (Leuchtmittel)

**Wie unterscheiden sich die Fangergebnisse bei Verwendung von Metalldampflampen im Vergleich zur neuen LED-Technologie?**

Da Leuchtmittel vom Typ HQL seitens des Gesetzgebers nur noch bis 2015 zu verwenden sind (LTG 2009), wurden Metalldampflampen (HIT) gewählt, um sie mit LED-Lampen zu vergleichen. Das Ergebnis zur Fragestellung ist hier sehr eindeutig ausgefallen. Durch Metalldampflampen wurden durchwegs höchst signifikant mehr Insekten gefangen als

durch LED-Lampen, sowohl gesamt gesehen als auch auf Ordnungsniveau. In den eingangs erwähnten Leuchtmittel-Vergleichsstudien wurden 2010 zwei LED-Beleuchtungen (6000 K und 3000 K) verglichen, jedoch wurden weder die Bestrahlungsstärke noch der Lichtstrom angepasst (HUEMER ET AL. 2010). 2011 wurde der Versuch mit Natriumhochdrucklampen (NAV) und LEDs mit 4000 K sowie mit 3000 K, unter lichttechnisch kontrollierten Bedingungen wiederholt. Sowohl 2010 als auch 2011 stellte sich die 3000 K LED-Lampe als die insektenverträglichste heraus (HUEMER ET AL. 2010, 2011). Für die vorliegende Studie bedeutet dies, dass auch die zukünftig verwendeten 4000 K LED-Lampen der Donauinsel durch insektenfreundlichere ausgetauscht werden könnten. Ob die Einschätzung der Autoren auch auf das vorliegende Habitat extrapolierbar ist und welche konkreten Spektralbereiche entscheidend sind, bleibt zu untersuchen.

Die Komplexaugen der Insekten besitzen bis zu fünf unterschiedliche Farbrezeptor-Zellen. Meist sind es jedoch drei, diese sind empfindlich für UV, Grün und Blau sowie unempfindlicher für Rot (SCHEIBE 2000; BRUCE-WHITE & SHARDLOW 2011). Neben anderen Taxa können einige Insekten mit aquatischen Larvenstadien (merolimnisch) auch Rot gut wahrnehmen (HEISE 1992; SCHEIBE 2000; BRUCE-WHITE & SHARDLOW 2011). Viele der in dieser Studie gefangenen Diptera sind merolimnisch und wurden von allen Ordnungen am häufigsten gefangen. Sie besitzen hochentwickelte Augen, die nicht nur für Dunkelheit sondern auch für schnelles Fliegen optimiert sind (KIRSCHFELD 1967; LAND ET AL. 1999; SCHEIBE 2000). Ein nicht zu unterschätzender Faktor ist auch die Variabilität in der Affinität zu künstlichem Licht zwischen unterschiedlichen Arten. SCHEIBE (2000) diskutiert in seiner Arbeit, dass sogar für sehr nah verwandte Arten nicht nur generell die Attraktivität von künstlicher Beleuchtung, sondern auch die Attraktivität von unterschiedlichen Lichtqualitäten zum Teil drastisch verschieden ist. Er konnte auch zeigen, dass für Chironomidae (Zuckmücken, Diptera) Gelblicht (579 nm) attraktiver ist als Blaulicht (437 nm), welches wiederum attraktiver als orangefarbiges Licht (599 nm) ist. CAMMAERTS (2007) argumentiert bezüglich Farbwahrnehmung, dass das Vorhandensein von Rezeptoren bei Tieren nicht unbedingt bedeutet, dass sie auch Unterschiede in Farben verarbeiten können und dass zur Klärung Verhaltensstudien nötig wären, ähnlich argumentiert auch SCHEIBE (2000). In der vorliegenden Studie unterschieden sich die Spektren der beiden Lampentypen vor allem im Bereich zwischen 350 und 400 nm (UV-A und Violett) und in der Form der Spektren (HIT: Linienspektrum, LED: kontinuierliches Spektrum, vgl. Abb.

3.10.2 S.20). Um allgemeingültige Empfehlungen für insektenfreundliche Lampen geben zu können wären weitere Untersuchungen nötig. Unter Berücksichtigung bestehender Ergebnisse wäre die Anlockwirkung der LED-Lampen weiter reduzierbar .

#### **5.4 Fragestellung 4 (Anstellwinkel)**

##### **Hat die Änderung des Anstellwinkels um 10° einen Effekt auf die Anlockwirkung bei Kofferleuchten mit LED-Leuchtmitteln?**

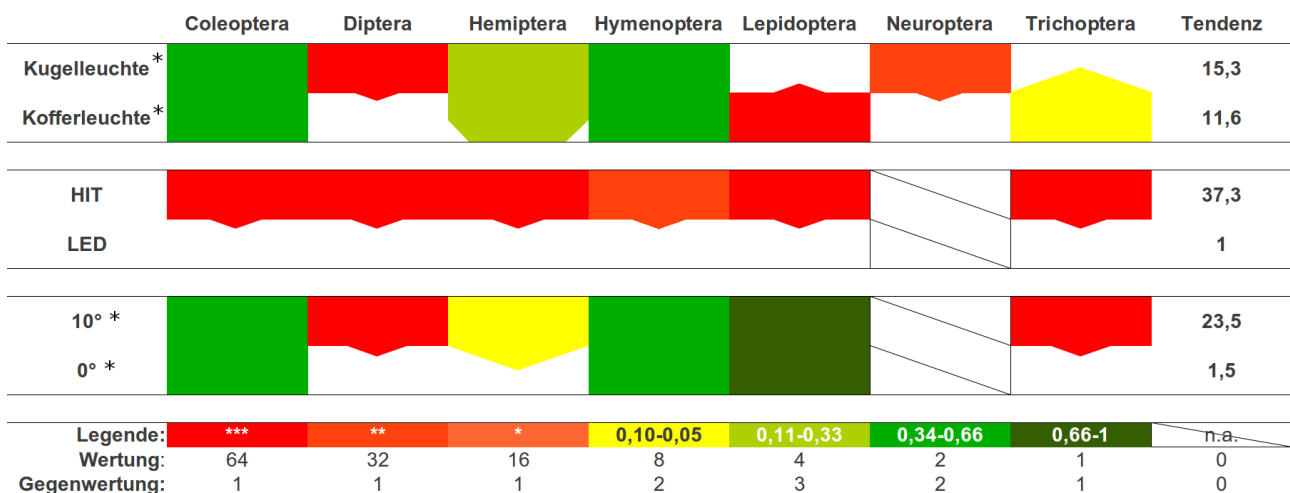
Laut BYERS (2011) konnte bei einer Anzahl von über 100 Insektenarten eine mittlere Flughöhe von 0,17 bis 5,40 m (SD 0,12 bis 3,83) festgestellt werden. Diese Ergebnisse legen den Schluss nahe, dass eine Lichtquelle, die einen breiteren Höhensektor bestrahlt, eine größere Chance hat Insekten anzulocken als es im umgekehrten Fall möglich wäre. Diesbezüglich konnte die vorliegende Untersuchung, in der die Anflugzahlen bei zwei unterschiedlichen Anstellwinkeln (0° und 10°) verglichen wurden, einen hoch signifikanten Anstieg im Anflug zeigen. An den Lichtfallen der Leuchten mit höherem Anstellwinkel wurde mindestens die 1,69fache Individuenanzahl angelockt. Dieser Unterschied kann, wie einleitend dargelegt, an dem breiter beleuchteten Höhenbereich liegen. Andere Erklärungsvarianten könnten die größere, direkt beleuchtete Fläche oder die weiter erkennbare Lichtquelle (Leuchtfläche) sein. Vor allem die Ordnungen Diptera und Trichoptera zeigten signifikant höhere Anflugzahlen an den 10° steileren Leuchten, aber auch Hemiptera (Schnabelkerfe: Pflanzenläuse, Wanzen und Zikaden) zeigten eine Tendenz zur Signifikanz.

Die zweite Fragestellung dieser Untersuchung, die sich mit dem Unterschied in der Anlockwirkung zwischen Kugelleuchten und Kofferleuchten befasste, zeigte für Diptera und Hemiptera ähnliche Verhältnisse. Der größte Unterschied ist bei den Lepidoptera und Trichoptera zu finden. Lepidoptera zeigten keine signifikanten Unterschiede im Anflug an die Leuchten mit 0° und 10° Anstellwinkel, Trichoptera hingegen schon, jedoch wurden beide in der zweiten Versuchsreihe an Kofferleuchten signifikant häufiger erbeutet. In dieser Versuchsreihe war der Unterschied in der horizontalen Leuchtfläche gering im Vergleich zur Fläche der Lichtfallen, dies könnte den geringen Effekt auf Lepidoptera erklären (vgl. Studienvergleich S.37 sowie Abb.5.2.1). Reflexionen könnte für die höhere Anlockwirkung von Trichoptera eine Rolle gespielt haben. Sowohl die Lichtverhältnisse am Boden (Lichtverteilungskurve) als auch Polarisierungseffekte sollten weiter untersucht werden.



## 5.5 Übersicht auf Ordnungsniveau, inkl. Gesamttendenz

Unterschiedliche Insektenordnungen wurden unterschiedlich stark von den untersuchten Faktoren angelockt. Als Konsequenz mussten in den Ergebnissen abundante Ordnungen (Diptera) gesondert untersucht werden, andernfalls hätten sie die Ergebnisse verzerrt. Um dennoch alle häufigen Ordnungen für eine Gesamtbeurteilung heranzuziehen, wurde ein Bewertungsschema entwickelt, welches die relativen Auswirkungen auf Ordnungsniveau berücksichtigt (Abb. 5.5.1). Als Grundlage zur Berechnung einer Tendenz wurden die Signifikanzwerte (p-Werte) aus den einzelnen Untersuchungsphasen herangezogen, die je Faktor mit Zahlenwerten verbunden wurden (Tendenz =  $((\sum \text{Wertungen bzw. Gegenwertungen der Ordnungen}) / \text{Anzahl Ordnungen})$ ). Je näher die Tendenzwerte der verglichenen Faktor aneinander liegen, desto ähnlicher sind sie in ihrer Auswirkung für die in die Berechnung einbezogenen Ordnungen. Bis zu einem Differenzwert der Tendenz von 6 ist kein Unterschied zu attestieren, von 6 bis 8 kann man von einer Tendenz sprechen, von 8 bis 15 von einem signifikanten Unterschied. Die Ergebnisse zu den einzelnen Faktoren wurden bereits in den vorherigen Kapiteln besprochen. Im Folgenden werden die Ergebnisse für die am häufigsten gefangenen Ordnungen zusammenfassend dargestellt und zukünftige Forschungsschwerpunkte auf Ordnungsniveau angeboten.



**Abbildung 5.5.1:** Zusammenfassung der Ergebnisse auf Ordnungsniveau. Die Farbkodierung basiert auf Signifikanztests anhand der dargestellten sieben Insektenordnungen. Das angebotene Bewertungsschema dient der Ermittlung einer Tendenz, als Hilfe zur Gesamtbeurteilung. Tendenz =  $((\sum \text{Wertungen bzw. Gegenwertungen der Ordnungen}) / \text{Anzahl Ordnungen})$ ; n.a. = nicht anwendbar, da zu wenig (statistisch) oder keine Insekten gefangen wurden. Beurteilung der Tendenz-Ergebnisse siehe Text. \* = die verwendeten Lichtfallen hatten eine zusätzliche horizontale Leuchtwirkung (vgl. Kap. 3.3).

## **Coleoptera, Hemiptera und Hymenoptera**

Studien belegen, dass Coleoptera (Käfer) und Hymenoptera (Hautflügler) natürliche Lichtquellen u. a. als Navigationshilfe nutzen (DÄCKE ET AL. 2003, 2004; CAMMAERTS 2007; ALY ET AL. 2010). In der vorliegenden Studie konnten beide Taxa häufig an künstlichen Lichtquellen angetroffen werden. Gleiches gilt für die Ordnung Hemiptera (Schnabelkerfe). Alle drei wurden beim Lampenvergleich signifikant häufiger von HIT-Leuchtmitteln angezogen als vom LED-Leuchtmittel. Beim Leuchtenvergleich und bei der Fragestellung zum Anstellwinkel zeigten Coleoptera und Hymenoptera keine signifikanten Unterschiede und Hemiptera nur Tendenzen, einerseits zur Kugelleuchte und andererseits zum 10° Anstellwinkel.

Genauer zu untersuchende Faktoren für diese Gruppen wären:

- Coleoptera, Hemiptera und Hymenoptera → spektrale Präferenzen
- Hemiptera (v. a. Corixidae) → Anlockdistanzen, polarisiertes Licht

## **Diptera**

Die Ordnung Diptera (Zweiflügler) wurde durch die künstlichen Beleuchtungseinrichtungen am häufigsten angelockt. Vor allem die Unterordnung Nematocera (Mücken) war stark betroffen (vgl. SCHEIBE 2000). Chironomidae (Zuckmücken) sind weltweit als Auslöser für allergische Reaktionen bei Menschen identifiziert worden (CRANSTON 1988). Es ist somit auch von medizinischem Interesse den Massenanflug an Beleuchtungen zu unterbinden. Darüber hinaus erfüllen alle Vertreter dieser Ordnung wichtige Aufgaben in Ökosystemen. So sind sie beispielsweise die zweitwichtigsten Bestäuber von Pflanzen und für die Gesundheit von Gewässern von entscheidender Bedeutung (LARSON ET AL. 2001; SVENSSON & LEONARDSON 2003). Trotz ihrer wichtigen Rollen wird ihnen, aus naturschutzrechtlicher Sicht, zuwenig Interesse entgegen gebracht.

Auf Grundlage der Vorfeldstudie wurden Diptera und Thysanoptera als Ordnungen identifiziert, die nicht differenziert auf beleuchtete und unbeleuchtete Fallen reagierten, daher wurden sie für den Leuchtenvergleich gesondert behandelt. Die Ordnung Diptera ist besonders interessant, da sie einerseits an Kugelleuchten höchst signifikant häufiger gefangen wurden und andererseits, umgekehrt zu den anderen häufigen Ordnungen, an Kofferleuchten signifikant häufiger in den oberen Lichtfallen gefangen wurden. An Kugelleuchten konnte hingegen kein signifikanter Unterschied im Anflug an den beiden Lichtfallen festgestellt werden. Dieser Umstand lässt die Hypothese zu, dass für Diptera

die Leuchtfläche die entscheidende Größe für die Attraktivität einer Leuchte ist und somit auch die Distanzwirkung. Reflexionen, polarisiertes Licht und Auswirkungen durch verschiedene Lichtverteilungskurven könnten auch eine Rolle für die Anlockwirkung gespielt haben.

Genauer zu untersuchende Faktoren für diese Gruppe wären:

- spektrale Präferenzen, leuchtende Fläche, Anlockdistanzen, polarisiertes Licht

## **Lepidoptera**

Wie bereits in der Einleitung dargestellt, sind Lepidoptera (Schmetterlinge), im Speziellen auch die Nachtfalter, von besonderem naturschutzrechtlichem Interesse. Trotzdem ist das Wissen um die Anlockwirkung durch künstliche Beleuchtung lückenhaft, auch wenn einige Aspekte bereits untersucht wurden. Beispielsweise wurden Anflugdistanzen einzelner Arten und die Auswirkungen auf die Lebensraumqualität untersucht (MEINEKE 1995; HÖTTINGER & GRAF 2003; WIROOKS 2004, 2006). Die Facettenaugen von einigen Schmetterlingsarten wurden ebenfalls untersucht. Es wurde gezeigt, dass bei der Pigmentwanderung in den Einzelaugen eine geraume Zeit (ca. 30 min) verstreicht, bis sie sich nach einer Blendung wieder an die Dunkelheit angepasst (SCHANOWSKI 2001; nach HÖTTINGER & GRAF 2003). Die 1000fach geringere Auflösung im Vergleich zum Menschen wurde ebenfalls diskutiert, jedoch wurden hierzu in den angeführten Literaturbeispielen keine konkreten empirischen Versuche durchgeführt (SCHACHT & WITT 1986; SCHEIBE 2000). Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung deuten darauf hin, dass bei Lepidoptera die Anlockwirkung getrennt von der Fangwirkung zu sehen ist. Die Fangwirkung wird eventuell durch die Blendung verstärkt, wobei der Begriff nicht zwangsweise gleichzustellen ist mit der Blendung, wie sie Menschen wahrnehmen. Grundlegende Forschungsarbeit ist hier immer noch nötig, vor allem die vermeintlich gegenteiligen Ergebnisse bei HUEMER ET AL. (2011) unterstreichen den Bedarf nach spezifischeren Fragestellungen.

Genauer zu untersuchende Faktoren für diese Gruppe wären:

- Blendung, spektrale Präferenzen, Lichtverteilung

## Trichoptera

Fast alle Trichoptera (Köcherfliegen) haben einen merolimnischen Lebenszyklus (Ausnahme Enoicyla). Das bedeutet, dass sie, ähnlich wie Plecoptera (Steinfliegen) und Ephemeroptera (Eintagsfliegen), mehrere aquatische Larvenstadien durchlaufen und nur in ihrer adulten Lebensphase terrestrisch leben (WICHARD 1988). Die Larven und Imagos dienen als Nährtiere für Fische und können zuweilen auch als Schädlinge auffallen. Beispielsweise können Larven von *Limnephilus lunatus* Curtis 1983 als Schädling in Brunnenkresse-Plantagen angetroffen werden und andere Arten in Reisfeldern (HICKIN 1968). Neben Fischen dienen die Köcherfliegen auch anderen insektivoren Wirbeltieren als Nahrung, wie beispielsweise Fledermäusen. Die meiste Zeit ihres Lebens verbringen Köcherfliegen als Larven im Wasser, dort dienen sie nicht nur als Nährtiere, sondern erfüllen weitere wichtige ökologische Funktionen wie die Zerkleinerung von toten Pflanzenteilen oder das Filtern von Schwebstoffen.

Die Interpretation der Ergebnisse der vorliegenden Studie lässt folgende Hypothesen zu: einerseits zeigten Trichoptera im Bezug auf die Fangwirkung (Thema Blendung) ähnliche Tendenzen wie ihrer Schwesterngruppe die Schmetterlinge, andererseits Unterschiede in der Anlockwirkung. Für letzteren Punkt scheint die Vermutung naheliegend, dass der Reflexionswinkel und die Polarisierung des Lichts einen Einfluss auf die Anlockwirkung hatten (vgl. KRISKA ET AL. 2006, 2008). Die Oberflächen der Lichtfallen könnten als Wasseroberflächen interpretiert worden sein, die von Weibchen zur Eiablage angefliegen werden. Klarheit könnte die Bestimmung der Geschlechterverhältnisse bringen. Das Geschlechterverhältnis der Imagos an Lichtfallen kann generell unterschiedlich ausfallen. Für *Philopotamus montanus* (Donovan, 1813) wurde bei nicht aktivierten Lichtfallen ein Männchen-Weibchen-Verhältnis von 7 zu 3 berichtet, welches sich bei Aktivierung der Lichtfalle umkehrte. Bei *Rhyacophila nubila* (Zetterstedt, 1840) blieb das Ergebnis von ebenfalls ca. 7 zu 3 unberührt davon ob die Lichtfalle tatsächlich aktiviert wurde oder als reiner Luftkolektor betrieben wurde (SCHEIBE 2000). SONEIRA (2013) bestimmte die Geschlechterverhältnisse bei Trichopteren an einem Standort in der Lobau auf Artniveau. Die mit UV-Fallen gewonnenen Daten könnten als Referenzwerte herangezogen werden, um die Hypothese zu testen.

Genauer zu untersuchende Faktoren für diese Gruppe wären:

- spektrale Präferenzen, Blendung, polarisiertes Licht, Anlockdistanzen

## **5.6 Ausblick und Fazit**

Die wissenschaftliche Literatur zum Thema Licht und Insekten ist durchaus umfangreich, jedoch meist an sehr speziellen Fragen zu einzelnen Arten oder Familien ausgerichtet (z.B.: DACKER ET AL. 2003; GAMMAERTS 2007). Es wurden sowohl Fragen zum veränderten Verhalten bei unterschiedlichen abiotischen Faktoren (CLEVE 1966; KRISKA ET AL. 2008) als auch zum physiologischen und anatomischen Bereich (DANIEL 1950; JANDER 1963) gestellt. Der technische Bereich ist jedoch weitestgehend unangetastet, mit Ausnahme von Fragestellungen zur Schädlingsbekämpfung (NABLI ET AL. 1999) oder beim Thema Windturbinen (LONG ET AL. 2010; RYDELL ET AL. 2010). Künstliches Licht hat überdies schädliche Auswirkungen auf Vögel (GOLDSMITH 2007), Fledermäuse (KUIJPER ET AL. 2008; STONE ET AL. 2009) sowie auf Fische (WEYL ET AL. 2004) und natürlich auch auf den Menschen (JASSER ET AL. 2006; POSCH ET AL. 2010). Die Technik selbst steht jedoch meist zu wenig im Mittelpunkt der Fragestellungen. Grundlegende Forschungsarbeit im Bereich Licht und Insekten ist hierbei nötig. Vorrangig fehlt der Vergleich zwischen unterschiedlichen Habitaten wie auch konkrete Vergleichswerte bei unterschiedlichen lichttechnischen Größen bzw. Lichtspektren. Ähnliche und weitere nötige Forschungsfragen werden auch bei BRUCE-WHITE & SHARDLOW (2011) diskutiert. Ein hierauf basierender industrieller / naturschutzbiologischer Standard zur Insektenverträglichkeit bei Außenbeleuchtungen wäre wünschenswert.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Bemühungen der Stadt Wien von einem populationsökologischen Standpunkt in die richtige Richtung weisen. In einer gesamtheitlichen Betrachtung der nacht- und dämmerungsaktiven Insekten werden durch die modernen LED-Leuchten weniger Individuen angelockt. Die Ergebnisse deuten jedoch auch darauf hin, dass Verbesserungen zur Erhöhung der Insektenfreundlichkeit sowohl im Bereich der Leuchten als auch bei den Lampen möglich sind.

In Anbetracht der Ergebnisse wird empfohlen, die horizontale Leuchtwirkung von Leuchten so gering wie möglich zu gestalten (vgl. BRUCE-WHITE & SHARDLOW 2011). Im Bereich der Lampen wurde an anderer Stelle empfohlen, auf Leuchtmittel im warmweißen Bereich umzusteigen, da diese als insektenfreundlicher eingestuft wurden (HUEMER ET AL. 2010, 2011). Ob die Einschätzung der Autoren auch auf das vorliegende Habitat extrapolierbar ist und welche konkreten Spektralbereiche entscheidend sind, bleibt zu untersuchen.

## 6 Literatur

- ALY, M.Z., MOHAMMED, E.E. & BADAWY, A.M. (2010): Studies catches of certain species of nocturnal coleoptera as indicated by two different light traps at two different levels in Qena Governorate. – *Egypt. Acad. J. biolog. Sci.*, **3/1**: 49–56.
- BAKER, R.R. & SADOVY, Y. (1978): The distance and nature of the light-trap response of moths. – *Nature/276*: 818–821.
- BAUMEISTER, J. (2007): Adaptives Stadtlcht: Untersuchung einer sich an Passanten und Umweltbedingungen anpassenden LED-Beleuchtung urbaner Räume. – (Universitätsbibliothek Braunschweig).
- 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.
- BÖTTCHER, M. (2001): Auswirkungen von Fremdlicht auf die Fauna im Rahmen von Eingriffen in Natur und Landschaft. – (Landwirtschaftsverlag).
- BRUCE-WHITE, C. & SHARDLOW, M. (2011): A Review of the Impact of Artificial Light on Invertebrates. – . (Buglife.org.uk). [Http://www.buglife.org.uk/Resources/Buglife/Impact %20of%20artificial%20light%20on%20invertebrates\\_docx.pdf](http://www.buglife.org.uk/Resources/Buglife/Impact%20of%20artificial%20light%20on%20invertebrates_docx.pdf) [zugegriffen am 18 Oktober 2011].
- 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**: 1–5.
- BYERS, J.A. (2011): Analysis of vertical distributions and effective flight layers of insects: three-dimensional simulation of flying insects and catch at trap heights. – *Environmental entomology*, **40/5**: 1210–1222.
- CAJOCHEN, C. (2010): Licht auf die innere Uhr. – In: Das Ende der Nacht. First Edition. – pp. 134 – 146. (Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA).
- CAMMAERTS, M.C. (2007): Colour vision in the ant *Myrmica sabuleti* Meinert, 1861 (Hymenoptera: Formicidae). – *Myrmecological News*, **10**: 41–50.
- CAMPBELL, N.A., REECE, J.B. & MARKL, J. (2003): Biologie. 6. A. – (Spektrum Akademischer Verlag).
- CLEVE, K. (1964): Der Anflug der Schmetterlinge an künstliche Lichtquellen. – *Mitt. deut. Ent. Ges*, **23**: 66–76.
- CLEVE, K. (1966): Das Sternenlicht und dessen vermutliche Wahrnehmung durch nachts fliegende Schmetterlinge. – *Deutsche Entomologische Zeitschrift*, **13/4 5**: 359–375.
- CLEVE, K. (1967): Das spektrale Wahrnehmungsvermögen nachts fliegender Schmetterlinge (Lepidoptera). – *NachrBl. bayer. Ent*, **16**: 33–53.
- CRANSTON, P.S. (1988): Allergens of non-biting midges (Diptera: Chironomidae): a systematic survey of chironomid haemoglobins. – *Medical and Veterinary Entomology*, **2/2**: 117–127.

- DACKE, M., BYRNE, M.J., SCHOLTZ, C.H. & WARRANT, E.J. (2004): Lunar orientation in a beetle. – *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, **271**/1537: 361.
- DACKE, M., NORDSTRÖM, P. & SCHOLTZ, C.H. (2003): Twilight orientation to polarised light in the crepuscular dung beetle *Scarabaeus zambesianus*. – *Journal of experimental biology*, **206**/9: 1535.
- DANIEL, F. (1950): Mit welchen Organen nehmen Nachtfalter künstliche Lichtquellen wahr. – *Ent. Z.*, **59**/20: 153–157.
- DAVIES, T.W., BENNIE, J. & GASTON, K.J. (2012): Street lighting changes the composition of invertebrate communities. – *Biology Letters*.
- DREISIG, H. (1980): The importance of illumination level in the daily onset of flight activity in nocturnal moths. – *Physiological Entomology*, **5**/4: 327–342.
- DUPARRÉ, J., DANNBERG, P., SCHREIBER, P. & BRÄUER, A. (2004): Ultra-thin vision system based on artificial compound eyes. – *Fraunhofer IOF Jahresbericht 2004*.
- EISENBEIS, G. (2001): Künstliches Licht und Insekten: eine vergleichende Studie in Rheinhessen. – *Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz*, **67**: 75–101.
- EISENBEIS, G. (2010): Insekten und künstliches Licht. – In: *Das Ende der Nacht*. Erste Ausgabe. – pp. 61 – 82. (Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA).
- EISENBEIS, G. & EICK, K. (2011): Studie zur Anziehung nachtaktiver Insekten an die Straßenbeleuchtung unter Einbeziehung von LEDs. – *Natur und Landschaft*, **86**/Heft 7: 298–306.
- 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., RICH, C. & LONGCORE, T. (2006): Artificial night lighting and insects: attraction of insects to streetlamps in a rural setting in Germany. – *Ecological consequences of artificial night lighting*, **12**: 281–304.
- FINK, M.H., MOOG, O. & WIMMER, R. (2000): *Fliessgewässer-Naturräume Österreichs*. – Wien (Umweltbundesamt).
- FRANK, K.D. (1988): Impact of outdoor lighting on moths: An assessment. – *Journal of the Lepidopterists Society*, **42**/2: 63–93.
- FREYHOFF, A. & UHLMANN, T. (2009): *The Dark Side of Light*. – Dokumentationsfilm (Interscience Film).
- GEIGER, A., KIEL, E.F. & WOIKE, M. (2007): Künstliche Lichtquellen – Naturschutzfachliche Empfehlungen. – *Natur in NRW*, **4**/07: 46–48.
- GOLDSMITH, T.H. (2007): Vögel sehen die Welt bunter. – *Spektrum der Wissenschaft*, **1**/2007: 96–103.

- HAUSMANN, A. (1993): Zur Methodik des Großschmetterling-Fangs in Malaisefallen (Lepidoptera, Macroheterocera). – *Entomofauna*, **14/12**: 233–252.
- HEISE, B.A. (1992): Sensitivity of mayfly nymphs to red light: implications for behavioural ecology. – *Freshwater Biology*, **28/3**: 331–336.
- HICKIN, N.E. (1968): Caddis larvae: larvae of the British Trichoptera. – (Fairleigh Dickinson Univ Press).
- HOCKBERGER, P.E. (2002): A History of Ultraviolet Photobiology for Humans, Animals and Microorganisms. – *Photochemistry and photobiology*, **76/6**: 561–579.
- HORVÁTH, G., KRISKA, G., MALIK, P. & ROBERTSON, B. (2009): Polarized light pollution: a new kind of ecological photopollution. – *Frontiers in Ecology and the Environment*, **7/6**: 317–325.
- HÖTTINGER, H. & GRAF, W. (2003): Zur Anlockwirkung öffentlicher Beleuchtungseinrichtungen auf nachtaktive Insekten: Hinweise für Freilandversuche im Wiener Stadtgebiet zur Minimierung negativer Auswirkungen. – *Wiener Umweltschutzabteilung (MA 22; online)*: 37.
- HSIAO, H.S. (1973): Flight paths of night-flying moths to light. – *Journal of Insect Physiology*, **19/10**: 1971–1976.
- HUEMER, P., KÜHTREIBER, H. & TARMANN, G. (2010): Anlockwirkung moderner Leuchtmittel auf nachtaktive Insekten: Ergebnisse einer Feldstudie in Tirol. – [Http://www.hellenot.org/fileadmin/user\\_upload/PDF/WeiterInfos/10\\_AnlockwirkungInsektenFeldstudie\\_TLMFUNDLUA.pdf](http://www.hellenot.org/fileadmin/user_upload/PDF/WeiterInfos/10_AnlockwirkungInsektenFeldstudie_TLMFUNDLUA.pdf) [zugegriffen am 26 Juni 2011].
- HUEMER, P., KÜHTREIBER, H. & TARMANN, G. (2011): Anlockwirkung moderner Leuchtmittel auf nachtaktive Insekten: Ergebnisse einer Feldstudie in Tirol. – *Wissenschaftliches Jahrbuch der Tiroler Landesmuseen/4*: 110–135.
- JANDER, R. (1963): Grundleistungen der Licht und Schwereorientierung von Insekten. – *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, **47/4**: 381–430.
- JASSER, S.A., BLASK, D.E. & BRAINARD, G.C. (2006): Light during darkness and cancer: relationships in circadian photoreception and tumor biology. – *Cancer Causes and Control*, **17/4**: 515–523.
- KIRSCHFELD, K. (1967): Die Projektion der optischen Umwelt auf das Raster der Rhabdomere im Komplexauge von Musca. – *Experimental Brain Research*, **3/3**: 248–270.
- KRISKA, G., CSABAI, Z., BODA, P., MALIK, P. & HORVÁTH, G. (2006): Why do red and dark-coloured cars lure aquatic insects? The attraction of water insects to car paintwork explained by reflection–polarization signals. – *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **273/1594**: 1667.
- KRISKA, G., MALIK, P., SZIVÁK, I. & HORVÁTH, G. (2008): Glass buildings on river banks as “polarized light traps” for mass-swarming polarotactic caddis flies. – *Naturwissenschaften*, **95/5**: 461–467.



- KUIJPER, D.P., SCHUT, J., VAN DULLEMEN, D., TOORMAN, H., GOOSSENS, N., OUWEHAND, J. & LIMPENS, H. (2008): Experimental evidence of light disturbance along the commuting routes of pond bats (*Myotis dasycneme*). – *Lutra*, **51/1**: 37.
- LAND, M.F., GIBSON, G., HORWOOD, J. & ZEIL, J. (1999): Fundamental differences in the optical structure of the eyes of nocturnal and diurnal mosquitoes. – *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, **185/1**: 91–103.
- LARSON, B.M.H., KEVAN, P.G. & INOUE, D.W. (2001): Flies and flowers: taxonomic diversity of anthophiles and pollinators. – *The Canadian Entomologist*, **133/04**: 439–465.
- LONG, C.V., FLINT, J.A. & LEPPER, P.A. (2010): Insect attraction to wind turbines: does colour play a role? – *European Journal of Wildlife Research*: 1–9.
- LTG (2009): EU-Verordnung für die Außenbeleuchtung. – (Lichttechnische Gesellschaft Österreichs). [www.ltg.at/2010\\_led\\_eup/2010\\_led\\_eup\\_folder\\_eup.pdf](http://www.ltg.at/2010_led_eup/2010_led_eup_folder_eup.pdf) [zugegriffen am 23 Oktober 2011].
- MEINEKE, T. (1995): Nachtfalter in der naturschutzrelevanten Raumplanung: Grundlagen, Methoden, Auswertung. – *Schriftenr. f. Landschaftspflege u. Naturschutz*, **43**: 79–106.
- NABLI, H., BAILEY, W.C. & NECIBI, S. (1999): Beneficial insect attraction to light traps with different wavelengths. – *Biological Control*, **16/2**: 185–188.
- NOWINSZKY, L. (2004): Nocturnal illumination and night flying insects. – *Applied ecology and environmental research*, **2**: 17–52.
- NOWINSZKY, L., PUSKÁS, J. & KÚTI, Z. (2010): Light trapping as a dependent of moonlight and clouds. – *Applied ecology and environmental research*, **8/4**: 301–312.
- POSCH, T., FREYHOFF, A. & UHLMANN, T. (2010): Das Ende der Nacht. First Edition. – 151 pp. (Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA).
- RYDELL, J., BACH, L., DUBOURG-SAVAGE, M.J., GREEN, M., RODRIGUES, L. & HEDENSTRÖM, A. (2010): Mortality of bats at wind turbines links to nocturnal insect migration? – *European Journal of Wildlife Research*: 1–5.
- SCHACHT, W. & WITT, T. (1986): Warum nachtaktive Insekten künstliche Lichtquellen anfliegen (Insecta). – *Entomofauna*, **7/9**: 121–128.
- SCHANOWSKI, A. (2001): Auswirkungen von Außenbeleuchtungen auf nachtaktive Tiere am Beispiel von Nachtfaltern. – *Schriftenr. Landschaftspflege Naturschutz*, **67**: 67–74.
- SCHEIBE, M.A. (2000): 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. – (Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Fachbereich 10: Biologie).
- SCHULZE, C.H. (2008): Vorkommen und Gefährdungsstatus von Ordensbändern *Catocala* spp. (Lepidoptera, Noctuidae: Catocalinae) in Wien. – (Wiener Umweltschutzabteilung). [Http://www.wien.gv.at/umweltschutz/pool/pdf/ordensbaender.pdf](http://www.wien.gv.at/umweltschutz/pool/pdf/ordensbaender.pdf) [zugegriffen am 24 Januar

2013].

- SONEIRA, M. (2013): Anlockwirkung unterschiedlicher Beleuchtungsmittel auf Insekten (Insecta) unter besonderer Berücksichtigung der Köcherfliegen (Trichoptera). – Diplomarbeit an der Universität Wien, in Arbeit.
- STONE, E.L., JONES, G. & HARRIS, S. (2009): Street Lighting Disturbs Commuting Bats. – *Current Biology*, **19**: 1123–1127.
- SVENSSON, J. & LEONARDSON, L. (2003): Effects of bioturbation by tube-dwelling chironomid larvae on oxygen uptake and denitrification in eutrophic lake sediments. – *Freshwater Biology*, **35/2**: 289–300.
- VALENTI, Z. (2012): Freiraumbeleuchtung ≠ Lichtverschmutzung? - kann eine Freiraumbeleuchtung so gestaltet werden, dass sie keine Lichtverschmutzung erzeugt? – Masterarbeit, Wien (Universität für Bodenkultur).
- WEST, K.E., JABLONSKI, M.R., WARFIELD, B., CECIL, K.S., JAMES, M., AYERS, M.A., MAIDA, J., BOWEN, C., SLINNEY, D.H. & ROLLAG, M.D. (2011): Blue light from light-emitting diodes elicits a dose-dependent suppression of melatonin in humans. – *Journal of Applied Physiology*, **110/3**: 619.
- WEYL, O.L.F., KAZEMBE, J., BOOTH, A.J. & MANDERE, D.S. (2004): An assessment of a light-attraction fishery in southern Lake Malawi. – *African Journal of Aquatic Science*, **29/1**: 1–11.
- WICHARD, W. (1988): Die Köcherfliegen. 2., Aufl. – 79 pp. (Westarp Wissenschaften).
- WIEN LEUCHTET (MAGISTRATSABTEILUNG 33) (2010): Öffentliche Beleuchtung - 150.000 Lichtpunkte erhellen Wien. – . [Http://www.wien.gv.at/verkehr/licht/beleuchtung/oeffentlich/](http://www.wien.gv.at/verkehr/licht/beleuchtung/oeffentlich/) [zugegriffen am 11 Juli 2012].
- WIROOKS, L. (2004): Möglichkeiten und Grenzen des Lichtfangs bei der ökologischen Bewertung von Nachtfalter-Artenspektren. – (Bibliothek der RWTH Aachen).
- WIROOKS, L. (2006): Zum Flächenbezug von Lichtfangartenspektren (Lepidoptera, Macroheterocera). – *MITT. DTSCH. GES. ALLG. ANGEW. ENT.*/15: 403–408.
- ZAMG (2012): Klimadaten von Österreich 1971 - 2000. – . [Http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten\\_oesterreich\\_1971\\_frame1.htm](http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm) [zugegriffen am 7 September 2012].
- ZULKA, K.P. (2009): Rote Listen gefährdeter Tiere Österreichs: Checklisten, Gefährdungsanalysen, Handlungsbedarf. – (Böhlau Verlag Wien).

## 7 Anhang -

### 7.1 Gefährdete Arten

Der aktuelle Gefährdungsstatus der bestimmten Schmetterlinge wurde mittels der Datenbank OASIS 2.0<sup>1</sup> des Umweltbundesamtes erhoben. Für die Bewertung der restlichen Ordnung wurde das aktuelle Standardwerk für Rote-Liste-Arten herangezogen (ZULKA 2009).

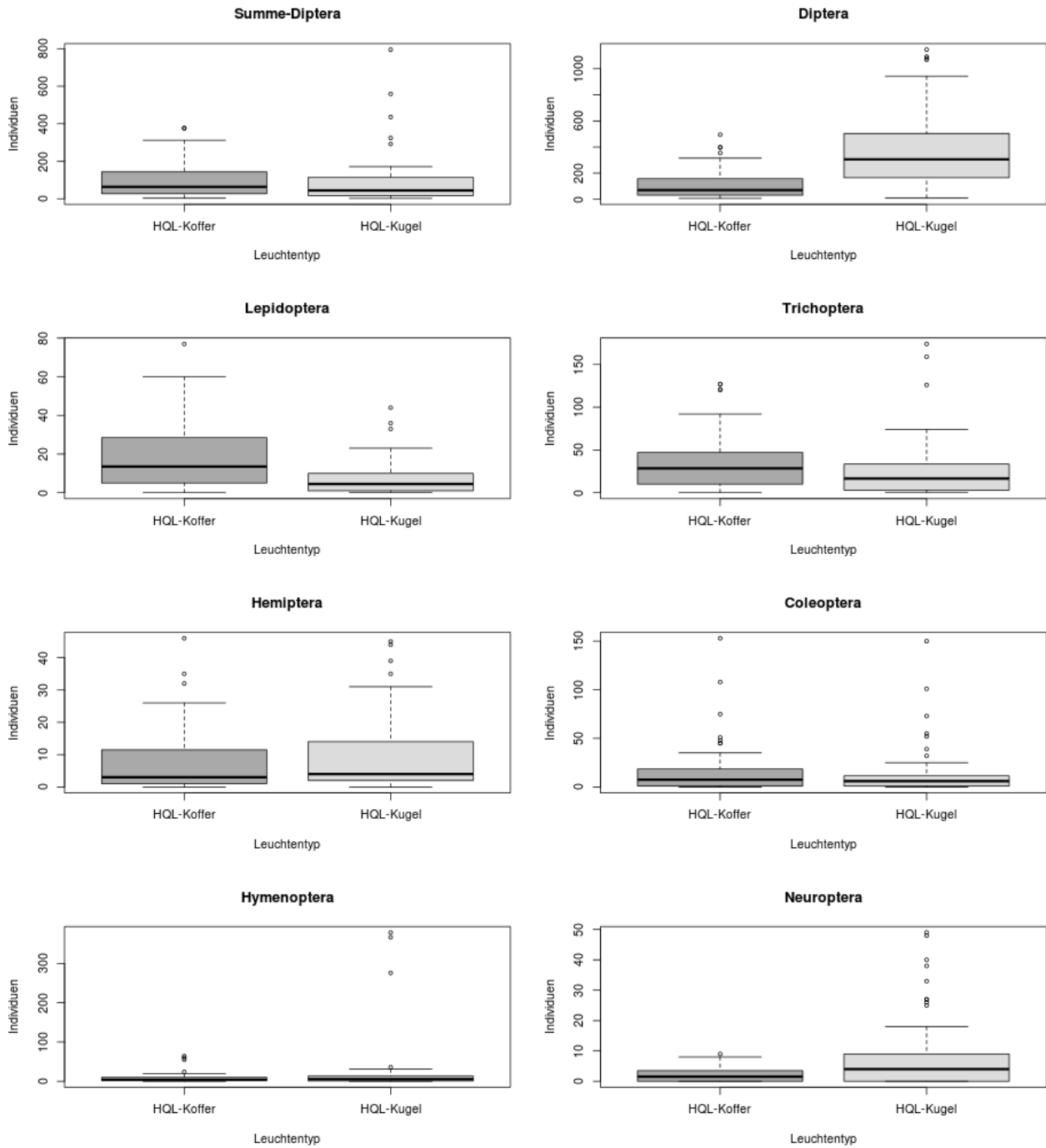
**Tabelle 7.1.1:** Liste der auf Art- bzw. Gattungsniveau bestimmten Individuen. \* ([sic]: 2008 wurde diese Art im Zuge einer Untersuchung der Wiener Umweltschutzabteilung u.a. auf der Donauinsel nachgewiesen (SCHULZE 2008))

Art	Stk	Tag	Ort	Leuchten-Typ	Gefährdung
Catocala fraxini (LINNAEUS, 1758)	1	18.08.12	2	HIT-Koffer	Wien: Letzter Nachweis vor über 10 Jahren* (Kat. +); Niederösterreich: Als ungefährdet angesehen (Kat. +)
Catocala sp. SCHRANK 1802	1	20.08.12	1	HIT-Koffer	*
Deilephia porcellus (LINNAEUS, 1758)	1	24.07.12	6	HQL-Koffer	nicht gefährdet
Euplagia quadripunctaria (PODA, 1761)	1	27.07.12	6	HQL-Koffer	Wien: Potenziell gefährdet (Kat. 4); Niederösterreich: Als ungefährdet angesehen (Kat. +)
	2	30.07.12	5		
	1	31.07.12	6		
Hyles gallii (ROTTEMBURG, 1775)	1	21.07.12	6	HQL-Koffer	Wien: Letzter Nachweis vor über 10 Jahren (Kat. +); Niederösterreich: Als ungefährdet angesehen (Kat. +)
	1	27.07.12	6		
	1	30.07.12	6		
	1	31.07.12	5		
Mantis religiosa (LINNAEUS, 1758)	1	23.08.12	2	HIT-Koffer	gefährdet (VU)
Necrophorus vespillo (LINNAEUS, 1758)	2	24.07.12	6	HQL-Koffer	nicht gefährdet

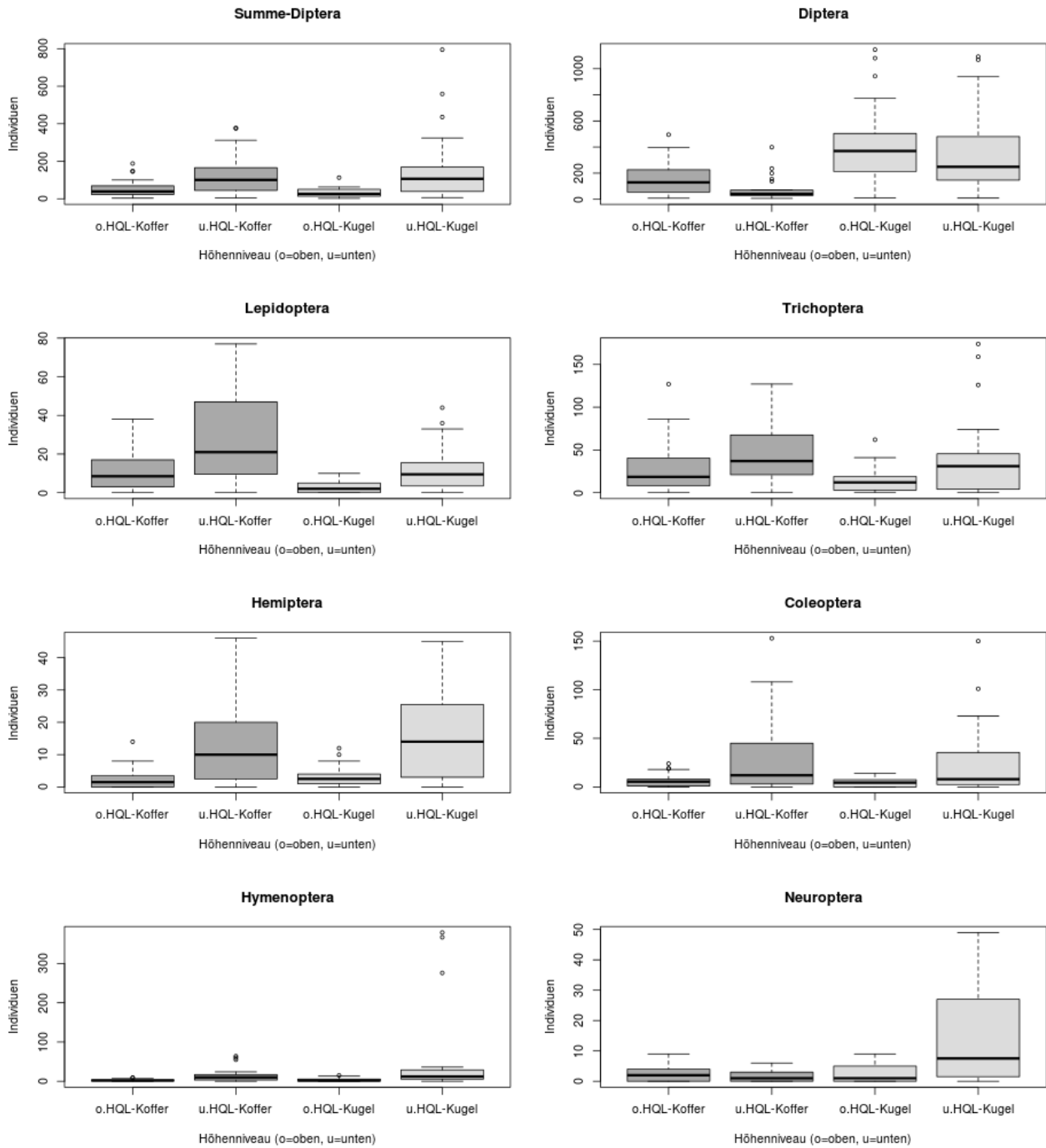
### 7.2 Grafiken zur Fragestellung 2 (Leuchte)

Im Folgenden sind die Boxplot zur zweiten Fragestellung zu finden. Es werden die Faktoren Leuchtentyp, Höhenniveau, Standort und Probenstag für die häufigsten Insektenordnungen gezeigt. Überdies, zeigen die jeweiligen ersten Grafiken die Gesamtverhältnisse ohne Berücksichtigung der Ordnung Diptera. Das Untersuchungsdesign dieser Fragestellung ist auf Seite 14 zu finden, die Ergebnisse auf Seite 26.

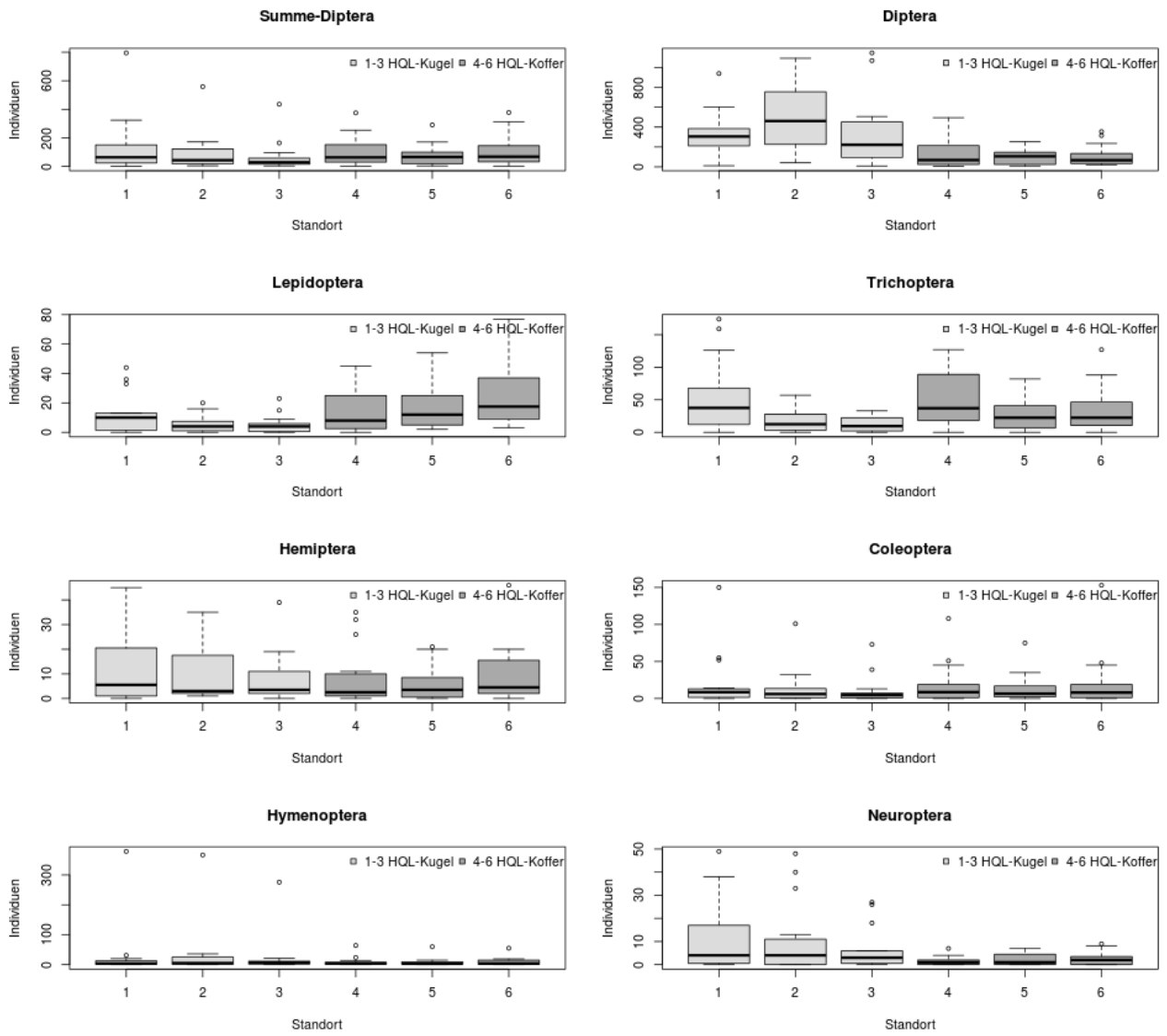
1 <http://www.umweltbundesamt.at/oasis>



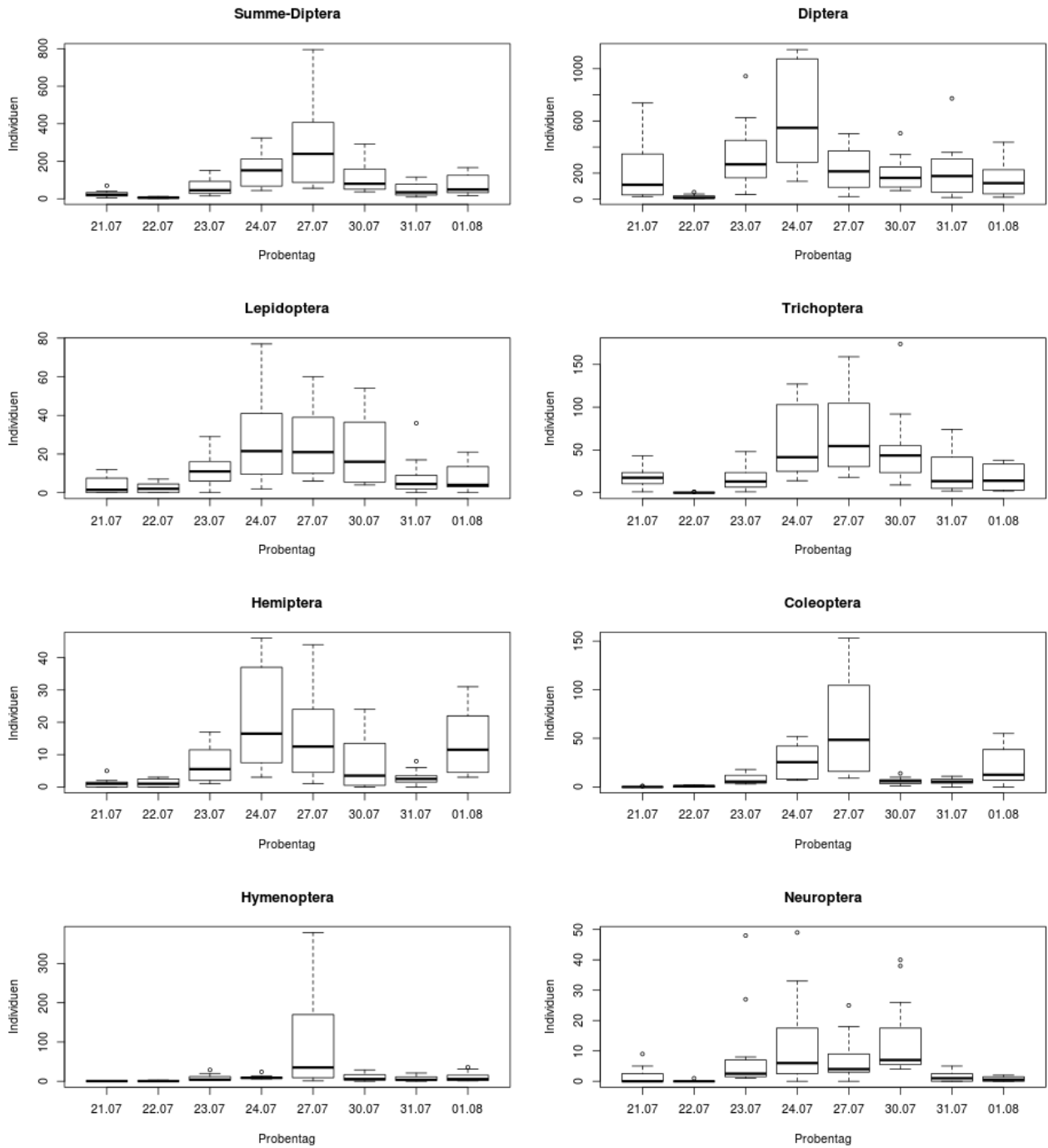
**Abbildung 7.2.1:** Boxplot mit Individuenanzahlen pro Leuchtentyp der zweiten Untersuchungsphase (Leuchtenvergleich).



**Abbildung 7.2.2:** Boxplot mit Individuenanzahlen pro Höhenniveau und Leuchtentyp der zweiten Untersuchungsphase (Leuchtenvergleich).



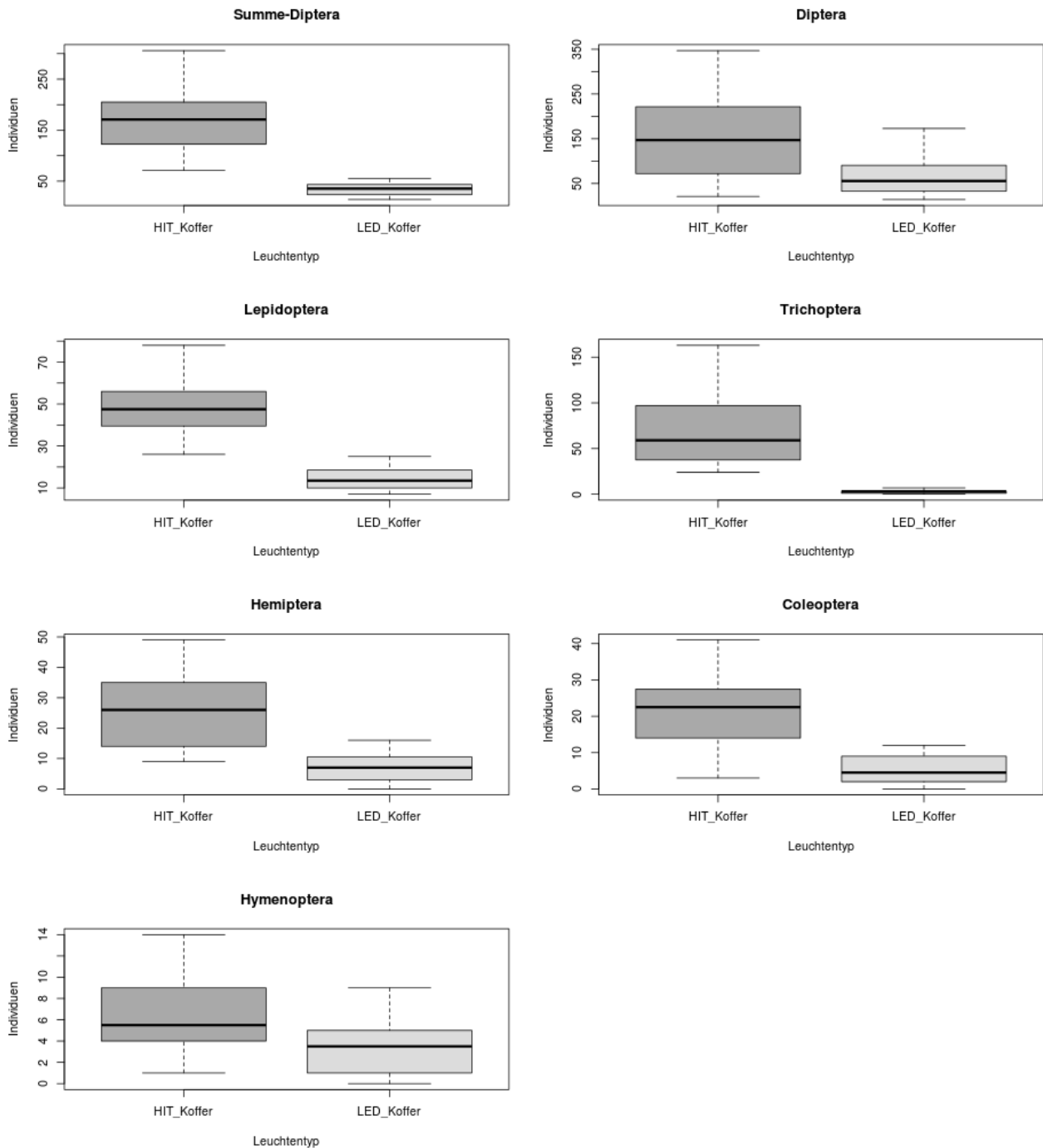
**Abbildung 7.2.3:** Boxplot mit Individuenanzahlen pro Standort und Leuchtentyp der zweiten Untersuchungsphase (Leuchtenvergleich).



**Abbildung 7.2.4:** Boxplot mit Individuenanzahlen pro Proben tag (Untersuchungsnacht) der zweiten Untersuchungsphase (Leuchtenvergleich).

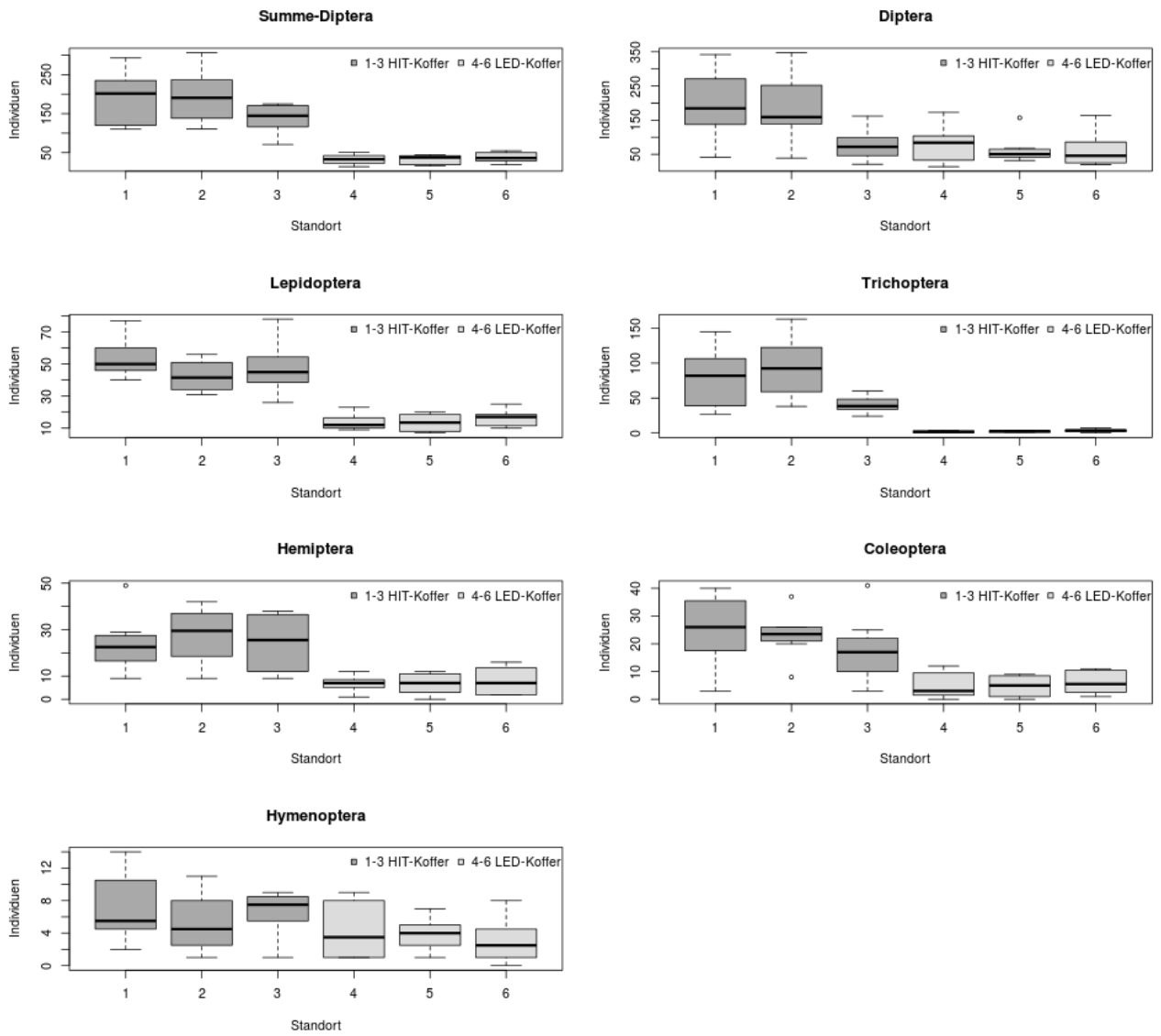
### 7.3 Grafiken zur Fragestellung 3 (Leuchtmittel)

Im Folgenden sind die Boxplot zur dritten Fragestellung zu finden. Es werden die Faktoren Leuchtentyp, Standort und Probestag für die häufigsten Insektenordnungen gezeigt. Überdies, zeigen die jeweiligen ersten Grafiken die Gesamtverhältnisse ohne Berücksichtigung der Ordnung Diptera. Das Untersuchungsdesign dieser Fragestellung ist auf Seite 15 zu finden, die Ergebnisse auf Seite 30.

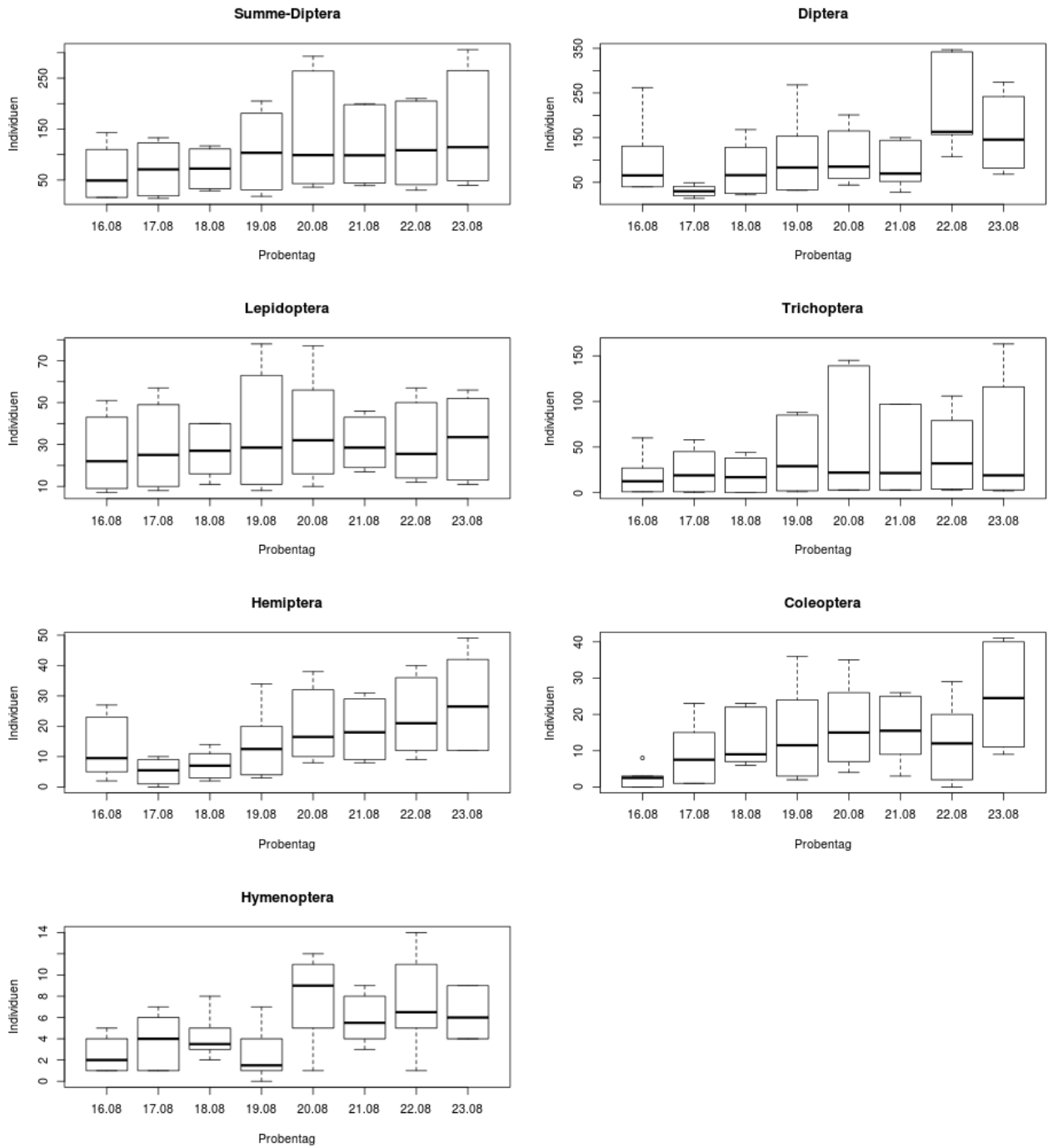


**Abbildung 7.3.1:** Boxplot mit Individuenanzahlen pro Leuchtentyp der zweiten Untersuchungsphase (Leuchtmittelvergleich).





**Abbildung 7.3.2:** Boxplot mit Individuenanzahlen pro Standort und Leuchtentyp der dritten Untersuchungsphase (Leuchtmittelvergleich).



**Abbildung 7.3.3:** Boxplot mit Individuenanzahlen pro Probenstag (Untersuchungsnacht) der dritten Untersuchungsphase (Leuchtmittelvergleich).

#### **7.4 Wetterbeschreibungs-Tabelle**

Die ergänzende Wetterbeschreibungstabelle mit zusätzlichen Detailinformationen ist im Folgenden zu finden. Die Zusammenfassungen sind im Material und Methoden Kapitel auf Seite 9 zu finden.

**Tabelle 7.4.1:** Wetterbeschreibungen der Untersuchungsächte (Sonnenuntergang + 12h = eine Nacht). Beaufort (Bft.) zur Beschreibung des mittleren Windgeschwindigkeitsbereiches einer Untersuchungsacht.

**Untersuchungsphase: 1 (27.05 bis 14.06.2012)**

Datum	Bft.	Wind max. [km/h]	Wind min. [km/h]	Windrichtung	Niederschlag	Temp. Max. [°C]	Temp. Min. [°C]	Bewölkung max. [%]	Bewölkung min. [%]	Mondphase	Sonnenuntergang
27.05.12	2	11	4	NW	-	22	17	90	46	zun. Halbmond	20:41
29.05.12	3	17	12	W	-	22	16	71	9	zweites Viertel	20:43
30.05.12	2	12	6	WNW	-	18	17	99	20	zweites Viertel	20:44
31.05.12	2	22	4	WNW	Ab 4:00 0,21mm/h	21	15	100	25	zweites Viertel	20:46
06.06.12	1	8	3	WSW	0,04 mm/Nacht	18	15	100	71	drittes Viertel	20:51
07.06.12	2	11	1	SSO	-	25	18	93	12	drittes Viertel	20:52
11.06.12	1	4	2	S	-	18	14	98	56	abn. Halbmond	20:54
14.06.12	2	8	4	WNW	-	21	14	83	1	viertes Viertel	20:56

**Untersuchungsphase: 2 (21.07 bis 01.08.2012)**

Datum	Bft.	Wind max. [km/h]	Wind min. [km/h]	Windrichtung	Niederschlag	Temp. Max. [°C]	Temp. Min. [°C]	Bewölkung max. [%]	Bewölkung min. [%]	Mondphase	Sonnenuntergang
21.07.12	2	13	8	NW	0,07 mm/Nacht	17	15	91	41	erstes Viertel	20:45
22.07.12	3	15	13	N	-	18	13	45	17	erstes Viertel	20:44
23.07.12	1	8	1	N	-	24	15	71	0	erstes Viertel	20:43
24.07.12	2	15	2	O	0,09 mm/Nacht	26	20	99	64	erstes Viertel	20:42
27.07.12	1	5	2	SO	-	25	20	55	0	zweites Viertel	20:38
30.07.12	2	12	5	NW	-	23	19	99	60	zweites Viertel	20:34
31.07.12	1	6	3	W	-	24	19	64	14	zweites Viertel	20:33
01.08.12	1	7	2	SO	-	25	19	15	0	zweites Viertel	20:30

**Untersuchungsphase: 3 (16.08 bis 23.08.2012)**

Datum	Bft.	Wind max. [km/h]	Wind min. [km/h]	Windrichtung	Niederschlag	Temp. Max. [°C]	Temp. Min. [°C]	Bewölkung max. [%]	Bewölkung min. [%]	Mondphase	Sonnenuntergang
16.08.12	3	17	11	WNW	0,01 mm/Nacht	24	20	79	43	Neumond	20:07
17.08.12	2	8	4	NNW	-	24	17	50	10	Neumond	20:05
18.08.12	1	3	1	W	-	26	18	65	0	erstes Viertel	20:03
19.08.12	2	7	3	S	-	27	19	0	0	erstes Viertel	20:02
20.08.12	2	10	0	SO	-	33	20	40	0	erstes Viertel	20:00
21.08.12	1	3	1	S	-	30	22	85	0	erstes Viertel	19:58
22.08.12	2	13	4	NW	-	26	23	98	6	erstes Viertel	19:56
23.08.12	1	6	1	O	0,02 mm/Nacht	30	23	92	0	erstes Viertel	19:54

**Untersuchungsphase: 4 (27.08 bis 07.09.2012)**

Datum	Bft.	Wind max. [km/h]	Wind min. [km/h]	Windrichtung	Niederschlag	Temp. Max. [°C]	Temp. Min. [°C]	Bewölkung max. [%]	Bewölkung min. [%]	Mondphase	Sonnenuntergang
27.08.12	1	8	1	W	-	21	12	80	4	zweites Viertel	19:46
28.08.12	1	11	1	W	0,01 mm/Nacht	23	18	89	2	zweites Viertel	19:44
29.08.12	1	2	1	W	-	27	16	68	0	zweites Viertel	19:42
03.09.12	2	13	7	NW	-	22	18	93	33	drittes Viertel	19:32
04.09.12	2	9	7	NW	-	24	19	94	64	drittes Viertel	19:30
05.09.12	3	17	8	NW	-	24	18	94	22	drittes Viertel	19:28
06.09.12	3	15	5	NW	-	18	13	41	7	drittes Viertel	19:26
07.09.12	3	15	9	W	-	21	16	69	0	drittes Viertel	19:24