

Bericht zu den Auswirkungen von Blendschute und Halbnachtschaltung auf nachtaktive Insekten, sowie deren Flugzeitrhythmen und Aufenthaltszeiten an LED- und Langfeldleuchten

Eine Auftragsstudie von Wien Leuchtet (MA 33 der Stadt Wien)

Verfasser

MARTIN SONEIRA



Kirchberg am Wechsel, 2015

In Zusammenarbeit mit:



PHILIPS

Kontakt:

Martin Soneira

Büro für angewandte Ökologie

Au 94

2880 Kirchberg am Wechsel

martin@soneira.at

Bericht im Auftrag von Wien Leuchtet (MA 33 der Stadt Wien).

Die Kopierrechte der verwendeten Logos am Deckblatt liegen nicht beim Autor, wurden aber im Wissen der jeweiligen Stellen verwendet.

INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis	3
1 Zusammenfassung.....	4
2 Einleitung.....	5
3 Material und Methoden	6
3.1 Untersuchungsgebiet (Donauinsel).....	6
3.2 Untersuchungszeitraum / Wetter	7
3.3 Lichtquellen	8
3.4 Lichtfallen	9
3.5 Video-Insekten-Aktivitätsmessung (VIA).....	9
4 Ergebnisse.....	12
4.1 Einfluss der Blende & Halbnachtschaltung auf nachtaktive Insekten.....	12
4.2 Ergebnisse zu Blendschuten mittels Videoanalysen (VIA).....	15
4.3 Methodenvergleich: Lichtfalle & VIA.....	17
4.4 Analyse der Aufenthaltszeiten mittels VIA.....	21
4.5 Flugzeitrhythmen nachtaktiver Insekten (VIA).....	22
5 Diskussion	24
6 Literaturverzeichnis	26

1 ZUSAMMENFASSUNG

Mit Ausnahme der Gruppe der Käfer wurden LED-Leuchten ohne Blendschute nicht signifikant häufiger angefliegen als solche mit Blendschute. Insgesamt wurde ein Mittelwertunterschied von 16% festgestellt. Für die Summe der angelockten nachtaktiven Insekten bedeutet dies, dass es keinen signifikanten Unterschied in der Attraktivität zwischen diesen Leuchtentypen gibt.

Halbnachtschaltungen hatten keinen signifikanten Effekt auf nachtaktive Insekten. Auf Grund der Ergebnisse wird empfohlen, zukünftige Forschungsschwerpunkte auf die Lichtverteilung von Leuchten und auf Reflexionseigenschaften von beleuchteten Oberflächen zu setzen.

Die Analyse der Aufenthaltszeiten von nachtaktiven Insekten an LED- und Langfeldleuchten zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen diesen beiden Typen. Bei zukünftigen Vergleichsuntersuchungen dieser Leuchten kann somit die Stärke der Insektenaktivität, zumindest für die Gruppe der Mücken, als Ursache für Anflugunterschiede ausgeschlossen werden. Voraussetzung für solche Untersuchungen ist die Berücksichtigung der jeweiligen Leuchtgeometrie der Leuchten bzw. Leuchtmittel.

Dank der Videoanalysemethode konnten die Aktivitätsmuster der nächtlichen Insektenfauna an Außenbeleuchtungen der Donauinsel festgehalten werden. Im ersten Drittel der Nacht findet der stärkste Insektenanflug statt. Hier liegt die mittlere Aktivität bei 47 % des Nachtmaximums, im zweiten bei 30 % und im letzten Drittel bei 23 %. Die Spitzenaktivitätszeiten lagen in einem Bereich von 40 Minuten. Der Startpunkt dieses Bereichs lag bei einer Stunde nach Sonnenuntergang.

Eine Korrelationsanalyse der Lichtfallen- und Videoanalyseergebnissen zeigte je nach verwendeten Parametern signifikante Korrelationen innerhalb aller untersuchten Leuchtentypen. Zwischen den untersuchten Leuchtentypen konnte kein homogenes Muster in diesen Korrelationen gefunden werden. Aufgrund dieser Ergebnisse kann davon ausgegangen werden, dass je nach Fragestellung unterschiedliche Ergebnisse mit der Lichtfallen- und Videoanalysemethode (VIA) erzielt werden können. In der vorliegenden Untersuchung konnte beispielsweise ein stärker differenziertes Ergebnis mit Hilfe der VIA-Methode erzielt werden. So betrug der mittlere Unterschied zwischen den Fangergebnissen zwischen LED-Leuchten mit und ohne Blendschute mit der Lichtfallenmethode 1,1%, mit Hilfe der VIA-Methode hingegen 16%, jedoch in beiden Fällen ohne Signifikanz.

2 EINLEITUNG

Viele Insekten zeigen Phototaxis, also gerichtete Bewegung aufgrund eines Lichtreizes (JANDER 1963; CAMPBELL ET AL. 2003; BRUCE-WHITE & SHARDLOW 2011). Jährlich sterben aus diesem Grund unzählige Insekten an privaten und öffentlichen Außenbeleuchtungen. Das Ausmaß des monetären und ökologischen Schadens ist nur schwer zu schätzen. Historische Vergleiche (HAYBACH ET AL. 2004; EISENBEIS 2010; DAVIES ET AL. 2012) zeigen aber zweifelsfrei deutliche Veränderungen in der Artzusammensetzung und Häufigkeit der anzutreffenden Insekten.

Im Auftrag von Wien Leuchtet (MA 33 der Stadt Wien) wurde der Effekt von Blendschuten und Halbnachtschaltungen auf nachtaktive Insekten untersucht. Hierfür wurden eigens entwickelte Methoden verwendet, um möglichst stichfeste Ergebnisse zu produzieren. Darüber hinaus sollte die Untersuchung helfen, ein besseres Verständnis der zeitlichen Aktivitätsmuster der angelockten Insekten zu erwerben. Durch diese Untersuchung wird ein Beitrag zum Thema „Lichtverschmutzung“ geleistet (siehe: KOBLER 2002; TEIKARI 2007; RENAT AG 2008; VALENTI 2012). Überdies wird eine ökologisch fundierte Grundlage für Diskussionen zu zukunftsorientierten Beleuchtungen geliefert.

Eine in Kooperation von MA 33, MA 39 (Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien), Wiener Umweltschutzbehörde und Firma PHILIPS entstandene Blendschute ermöglicht die Reduktion der horizontalen Leuchtwirkung bei LED-Leuchten auf der Donauinsel. Diese Vorrichtung wurde entwickelt um die Blendwirkung auf Menschen zu reduzieren. In der vorliegenden Untersuchung soll gezeigt werden, ob und welche Insektenordnungen auf den Einsatz dieser Einrichtungen reagieren.

Halbnachtschaltungen dienen vorrangig einem ökonomischen Zweck. Die Anzahl der eingeschalteten Leuchtmittel innerhalb einer Leuchte werden aus diesem Grund während verkehrsschwacher Zeiten reduziert. Das resultierende Leuchtergebnis ist ein Kompromiss aus Verkehrssicherheit und reduzierten Energiekosten. Die vorliegende Untersuchung soll zeigen, ob dieser Kompromiss durch einen positiven Effekt auf die nächtliche Insektenfauna aufgewertet wird.

3 MATERIAL UND METHODEN

3.1 UNTERSUCHUNGSGBIET (DONAUINSEL)

Eine genaue Beschreibung des Untersuchungsgebiets findet sich in der Studie von SONEIRA (2013). Insgesamt wurden sieben Pumpwerksareale am nördlichsten Teil der Donauinsel (ca. Str.-km 1933,0 bis 1934,2) als Probennahmepunkte verwendet. Abbildung 1 zeigt eines der Pumpwerke, die durch Stahlgitter-Absperrungen begrenzt sind. Mit freundlicher Genehmigung von Wiener Wasser (MA 31) wurden auf diesen Arealen zusätzliche Lichtmasten installiert. Für den Zeitraum der Untersuchung wurden die auf den Arealen befindlichen Beleuchtungseinheiten deaktiviert. Eine Beeinflussung durch direkte Lichtkonkurrenz kann überdies durch die Lage abseits der nächtlichen Beleuchtung Wiens vernachlässigt werden.



Abbildung 1: Pumpwerksareal der Donauinsel (© Martin Soneira, Januar 2012). Die nächstgelegene Uferanschlagslinie (Entlastungserinne Neue Donau) liegt weniger als 120 m entfernt von den Untersuchungspunkten.

Innerhalb der untersuchten Leuchtentypen wurden die Standorte alle zwei Nächte gewechselt, um Standortunterschiede als Einflussfaktor auszuschließen. Für einen Vergleich zwischen den Leuchtentypen bleibt der Einfluss der Standortunterschiede offen, eine solche Analyse ist daher mit einem unbestimmten Fehler behaftet. Zugunsten der Interpretierbarkeit und Präzision der Ergebnisse wurde daher auf die Vergleichbarkeit innerhalb der Typen fokussiert.

3.2 UNTERSUCHUNGSZEITRAUM / WETTER

Für jede Untersuchungsnacht wurden die Wetterverhältnisse sowie Mondphase und Sonnenuntergangszeit dokumentiert. Die Beaufort-Skala (Bft.) wurde zur Beschreibung des mittleren Windgeschwindigkeitsbereiches herangezogen (siehe Tabelle 1).

Die Proben tage wurden so gewählt, dass in den betreffenden Nächten kein Regen und höchstens Windgeschwindigkeiten zwischen 12 – 19 km/h (Bft 3) zu erwarten waren. Der Probennahmezeitraum erstreckte sich von Anfang Juni bis Ende August. In diesen Monaten wurde ein Niederschlagsplus von 30 - 43 % im mehrjährigen Mittel verzeichnet. Überdies gab es ein mittleres Temperaturplus von 0,9 °C für die Monate Juni und Juli, sowie ein Minus von 1,2 °C für August (ZAMG 2014).

Tabelle 1: Wetterdaten: Uhrzeiten = MESZ, Bft = Beaufort-Skala, Temp. = Temperaturbereich (Durchschnitt Min.-Max. der kältesten bzw. wärmsten Stunde). Bei keinem Probentermin wurde Niederschlag festgestellt. Als Nacht wurde die Zeit von Sonnenuntergang bis Sonnenaufgang definiert.

Probe	Datum	Zeitschaltung	„Nacht“	Bft	Temp.	Bewölkung	Mondphase
1	11.06.14	21:00 – 05:00	20:53 – 04:53	2	23 – 26 °C	0 – 84%	zweites Viertel
2	12.06.14	21:00 – 05:00	20:54 – 04:53	2	18 – 24 °C	19 – 100%	Vollmond
3	13.06.14	21:00 – 05:00	20:55 – 04:53	3	18 – 22 °C	12 – 89%	drittes Viertel
4	17.06.14	21:00 – 05:00	20:57 – 04:53	2	16 – 21 °C	5 – 51%	drittes Viertel
5	18.06.14	21:00 – 05:00	20:57 – 04:53	1	17 – 22 °C	0 – 37%	drittes Viertel
6	03.07.14	21:00 – 05:00	20:58 – 04:58	1	16 – 23 °C	0 – 46%	erstes Viertel
7	06.07.14	21:00 – 05:00	20:57 – 05:00	2	22 – 26 °C	0 – 40%	zweites Viertel
8	07.07.14	21:00 – 05:00	20:57 – 05:00	3	24 – 28 °C	24 – 57%	zweites Viertel
9	14.07.14	20:45 – 05:00	20:52 – 05:07	2	21 – 24 °C	57 – 83%	drittes Viertel
10	15.07.14	20:45 – 05:15	20:52 – 05:08	2	21 – 25 °C	12 – 34%	drittes Viertel
11	16.07.14	20:45 – 05:15	20:51 – 05:09	3	21 – 22 °C	7 – 68%	drittes Viertel
12	17.07.14	20:45 – 05:15	20:50 – 05:10	3	21 – 24 °C	0 – 31%	drittes Viertel
13	18.07.14	20:45 – 05:15	20:49 – 05:11	1	21 – 25 °C	0 – 13%	drittes Viertel
14	19.07.14	20:45 – 05:15	20:48 – 05:12	2	23 – 28 °C	0 – 31%	abn. Halbmond
15	06.08.14	20:30 – 05:30	20:25 – 05:34	2	18 – 24 °C	0 – 67%	zweites Viertel
16	07.08.14	20:30 – 05:30	20:24 – 05:35	2	20 – 24 °C	31 – 89%	zweites Viertel
17	08.08.14	20:15 – 05:30	20:22 – 05:37	2	21 – 24 °C	0 – 23%	zweites Viertel
18	27.08.14	19:45 – 06:00	19:48 – 06:03	2	12 – 17 °C	0 – 98%	erstes Viertel
19	28.08.14	19:45 – 06:00	19:46 – 06:04	1	13 – 18 °C	0 – 29%	erstes Viertel
20	29.08.14	19:45 – 06:00	19:44 – 06:05	2	17 – 23 °C	9 – 96%	erstes Viertel

Die Einschaltzeit und -dauer der Leuchten wurde über Zeitschaltuhren geregelt. Diese verfügten über eine 15 Minuten-Zeitschaltmechanik. Die resultierenden Zeitschaltungen sind in Tabelle 1 dargestellt. Der unterschiedliche Startzeitpunkt ergibt sich aus dem wechselnden Sonnenstand (siehe „Nacht“ in Tab. 1).

3.3 LICHTQUELLEN

Als Lichtquellen dienten LED- und Langfeldstraßenleuchten (LF), die freundlicherweise von PHILIPS™ bzw. Wien-Leuchtet bereitgestellt wurden. Die Bauart der LED-Leuchten entsprach jener der gegenwärtig auf der Donauinsel verwendeten (siehe Abbildung 2).

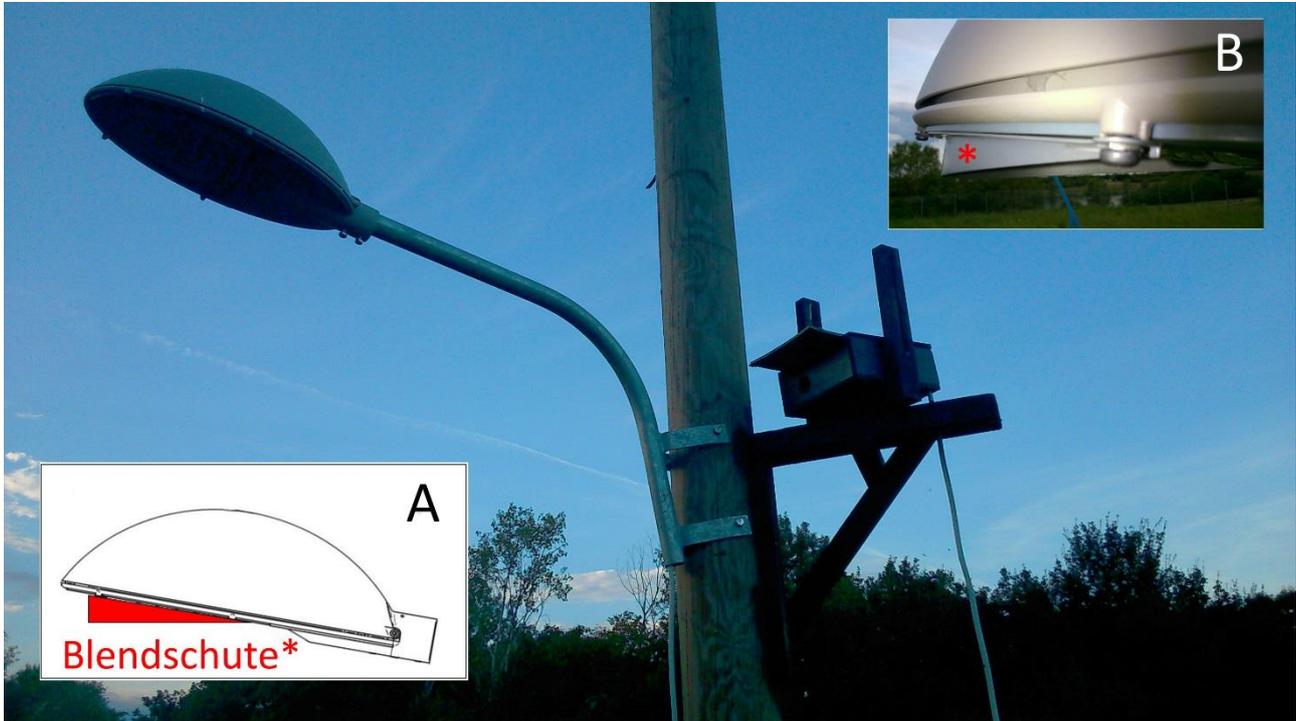


Abbildung 2: Holzmast mit installierter Leuchte ohne Blendschute (Philips MileWide®) und Videoaufnahmeeinrichtung (© Martin Soneira, 2014). A = schematische Darstellung einer Leuchte mit Blendschute, B = Detailaufnahme der Blendschute (seitlich).

Der verwendete Aufbau für Langfeldleuchten ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Leuchten wurden mit 2 x 36 W Leuchtstoffröhren, entweder normal (Ganznachtbetrieb; _voll) oder mit Halbnachtschaltung (_halb), betrieben. Als Halbnachtschaltung wird das Abschalten einer von zwei Leuchtmitteln innerhalb der Leuchte bezeichnet. Der Zeitpunkt der Abschaltung wurde für 23 Uhr (MESZ) gewählt. Aufgrund der Verschiebung



der erreichten Sonnenstunden variiert diese Uhrzeit im Untersuchungszeitraum. Sie liegt zwischen 2h02min und 3h16min nach Sonnenuntergang.

Abbildung 3: Aufbau mit Langfeldleuchte und Lichtfalle (© Martin Soneira, 2014).

3.4 LICHTFALLEN



Lichtfallen wurden eingesetzt, um einen Überblick über die angelockten Insekten am Ordnungsniveau zu erhalten. Diese Fallen, auch Luftelektoren genannt, fangen die an das Plexiglas anprallenden Insekten in einem Gefäß mit Tötungsmittel unterhalb eines Trichters (siehe Abbildung 4). Sie wurden bereits in der vorangegangenen Studie (SONEIRA 2013) verwendet.

Die in der Ethanollösung konservierten Insekten wurden umgehend gezählt und am Ordnungsniveau bestimmt. Das Probenmaterial wurde anschließend fachgerecht entsorgt.

Abbildung 4: Lichtfalle bestehend aus Plexiglas, Trichterstück und Auffangbehälter.

3.5 VIDEO-INSEKTEN-AKTIVITÄTSMESSUNG (VIA)

3.5.1 Videoequipment

Für die Videoaufnahmen wurden Sony Handycam® HDR-CX 240 Modelle verwendet. Die Spezifikationen sind über die Homepage des Herstellers abrufbar. Das Videorohmaterial wurde in full-HD-Qualität (2.073.600 Pixel), bei 25 Einzelbildern pro Sekunde (Frames) aufgenommen. Folgende Einstellungen wurden verwendet:

- Weißabgleich – Auto
- Belichtung – Auto
- Focus – manuell 1m
- Low Lux – eingeschaltet
- Videoblende – ausgeschaltet
- Tele-Makro – ausgeschaltet
- SteadyShot – eingeschaltet
- Autom. Gegenlicht – eingeschaltet
- Aufnahmemodus – hohe Qualität (FH) in HD Qualität
- Dual-Video-AUFN – ausgeschaltet
- x.v. Color – eingeschaltet
- Bildgröße – 16:9 L (9,2 M)

Die Bildausschnitte der Videokameras wurden bei gleichen Einstellungen aneinander angepasst. Zu diesem Zweck wurde eine Schablone angefertigt, welche den Referenzbildausschnitt darstellte. Sie wurde temporär an jener Stelle montiert, an der die Lichtfallen im parallelen Lichtfallenversuch zum Einsatz gekommen wären. Über die Zoomfunktion der Kameras wurde der erzielte Bildausschnitt angeglichen.

3.5.2 Videoauswertung

Im ersten Schritt der Videoauswertung wurde das Videomaterial in Einzelbilder konvertiert. Als Bildformat diente JPG mit 1920 x 1080 Pixeln bei einer Auflösung von 96 dpi und einer Bittiefe von 24. Das Zeitintervall zur Einzelbilderstellung wurde mit einer Sekunde bzw. 25 Frames gewählt.

Die einstellbaren Parameter wurden im Analysetool (ImageJ) schrittweise getestet, um optimale Zählergebnisse zu erzielen. Hierbei wurden die Parameter so gewählt, dass die Anzahl der gezählten Insekten (siehe Abb. 4) möglichst genau getroffen wurde bzw. eher unterschätzt als überschätzt wurde.

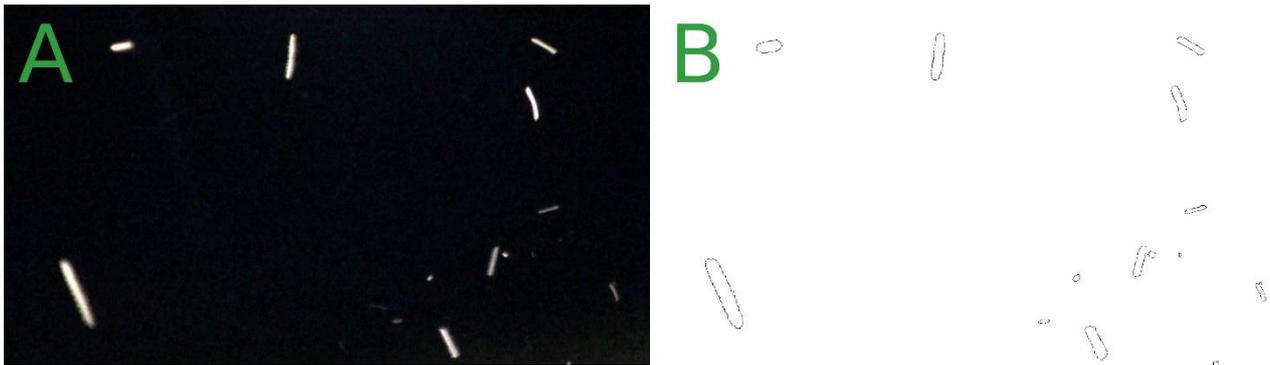


Abbildung 5 Veranschaulichung der Auswertungsmethode. A: Ausgangsbild, in dem Insekten als helle Lichtpunkte bzw. –spuren erkennbar sind; B: Nach Einstellung passender Parameter im Analysetool können einzelne Individuen extrahiert, gezählt und vermessen werden. Abbildung B zeigt hier nur noch die Insekten bzw. deren Umrisse.

Im Analysetool wurde der Helligkeitsbereich mit 40 bis 255 eingestellt. Darüber hinaus wurde die Minimalgröße der gewerteten Bildpunkte mit $\geq 120^2$ Pixel (px) gewählt.

Als Startzeitpunkt wurde die Sonnenuntergangszeit plus 40 Minuten definiert. Die Dauer der ausgewerteten Videoausschnitte betrug 6,5 Stunden. Dieser Zeitraum ist durch einheitliche Helligkeit geprägt, wodurch die Auswertung erleichtert wird. Mit zusätzlichem Arbeitsaufwand und gleichzeitigem Anstieg der Zählgenauigkeit wäre auch der Dämmerungszeitraum auswertbar (SONEIRA 2014).

3.5.3 Aufenthaltszeiten der Insekten im Video

Die relative Größe der Insekten musste erfasst werden, da sich die Leuchtfläche zwischen den Leuchtentypen unterscheidet. Hierdurch konnte die Distanz der Insekten zur Videokamera approximiert werden. Die zu vergleichende Größenklasse wurde aus dem Bildmaterial einer LED-Leuchte erhoben, da deren erleuchteter Bildausschnitt kleiner ist. Zu diesem Zweck wurde ein Video mit hoher Insektenaktivität gewählt und innerhalb von 1500 Frames (LED_mit Nacht 4; 1h12min16sec nach Sonnenuntergang = 22:09:16 Uhr, Dauer = eine Minute) 100 Insekten vermessen. Es wurden nur Insekten gewählt, die sich nicht weiter als 50px vom Bildrand befanden. Als Parameter wurden die Länge und die scharf abgebildete Breite dokumentiert.

Für den Leuchtentypus Langfeldleuchte wurde der gleiche Zeitraum, des gleichen Tages für den Vergleich verwendet. Hierdurch werden Einflüsse durch das Makroklima ausgeschlossen. Anhand der in Abbildung 6 dargestellten Ergebnisse, wurde für die kleinsten zu wertenden Insekten eine Mindestgröße von 3 px Breite und 11px Länge (gerundete Werte) definiert. Als maximale Größe wurde 8 px Breite und 55 px Länge

definiert. Nur Insekten die sich innerhalb dieser Größenklassen befanden wurden bei der anschließenden Zeitmessung berücksichtigt. Wenn Insekten beispielsweise aufgrund ihrer Flugbahn die maximale Größe überschritten, wurde neben der Gesamtdauer auch die Aufenthaltsdauer bis zu diesem Zeitpunkt festgehalten.

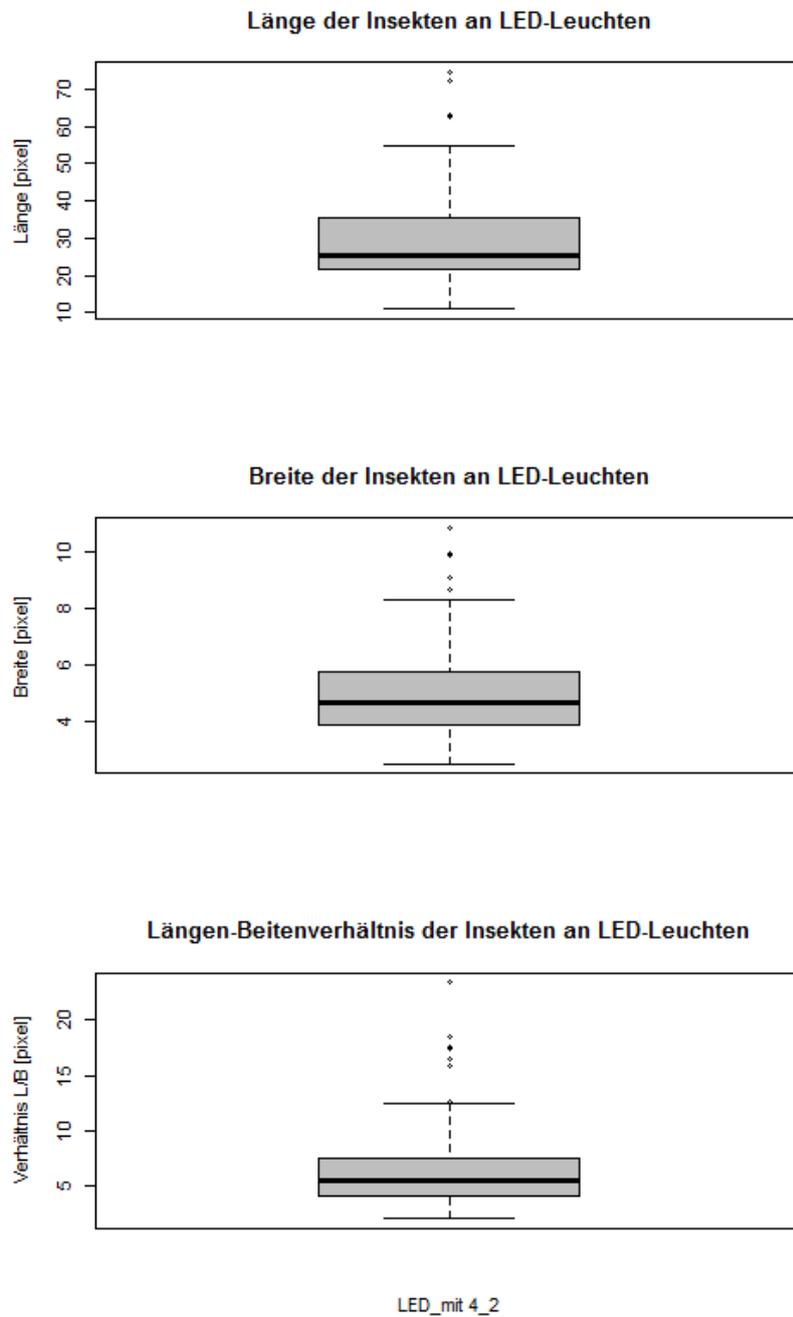


Abbildung 6: Größenverteilung der Insekten in einem LED-Leuchten Video. Näheres siehe Text.

4 ERGEBNISSE

4.1 EINFLUSS DER BLENDE & HALBNACHTSCHALTUNG AUF NACHTAKTIVE INSEKTEN

In den 20 Untersuchungs Nächten wurden mit Lichtfallen insgesamt 27151 Insekten gefangen. Abbildung 7 zeigt eine Übersicht der gefangenen Insektenordnungen je Leuchtentypus (LED- und Langfeldleuchten (LF)) und deren Modifikationen (mit Blendschute (_mit), Halbnachtschaltung (_halb)). Die Grafik zeigt deutlich, dass Insekten der Ordnung Diptera am häufigsten gezählt wurden. Zu dieser Ordnung zählen Vertreter der Mücken und Fliegen (Details siehe Tabelle 2). Das Untersuchungsdesign wurde, abgesehen von der Analyse der Aufenthaltszeiten (siehe Kapitel 3.5.3 & 4.4), für einen Vergleich innerhalb der Leuchtentypen optimiert (siehe Material und Methoden).

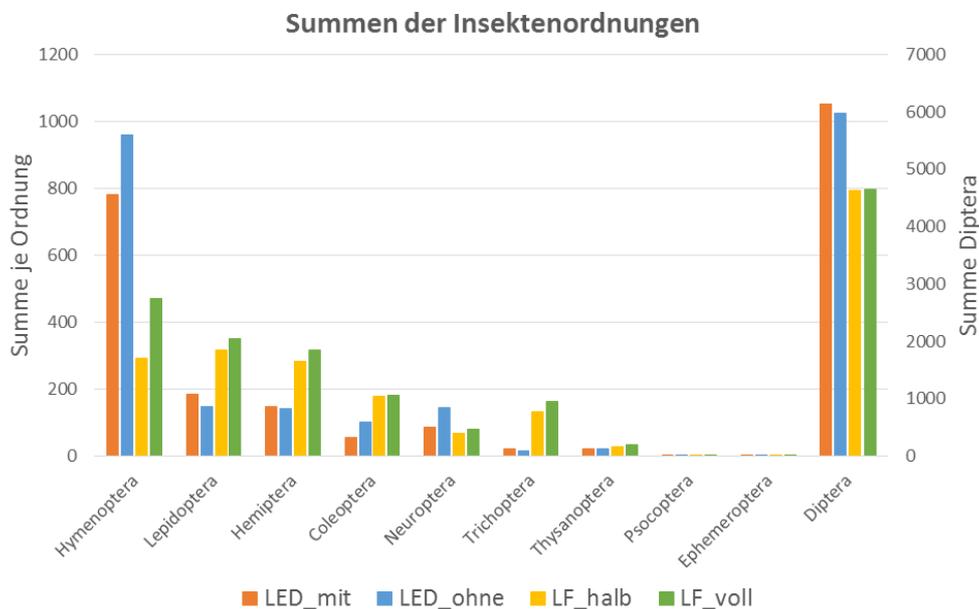


Abbildung 7: Summe der gefangenen Insekten je Ordnung. Die Ordnung Diptera ist auf Grund ihre Häufigkeit als sekundäre Achse dargestellt. Die Farbkodierung ist konsistent durch alle Grafiken der Studie: Leuchtentyp LED mit Blendschute (_mit) = orange, LED ohne Blendschute (_ohne) = blau, Langfeldleuchte (LF) mit Halbnachtschaltung (_halb) = gelb, LF mit durchgehendem Betrieb (_voll) = grün.

Abbildung 8 zeigt die Summen der gefangenen Insekten je Untersuchungsnacht. Die meisten Insekten wurden in Nacht 9 gefangen. Insgesamt wurden mit allen vier Fallen dieser Nacht 4816 Insekten gefangen, die meisten an der Langfeldleuchte mit durchgehendem Betrieb (LF_voll mit 1591 Insekten). Im Mittel (arithmetisches) wurden pro Falle und Nacht 339,4 Insekten gefangen (LED 374,1, LF 304,7). Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Leuchtentypen ($W = 872$, $p\text{-Wert} = 0,4914$) festgestellt werden. Auf die Problematik des Vergleichs zwischen den Typen wurde bereits hingewiesen.

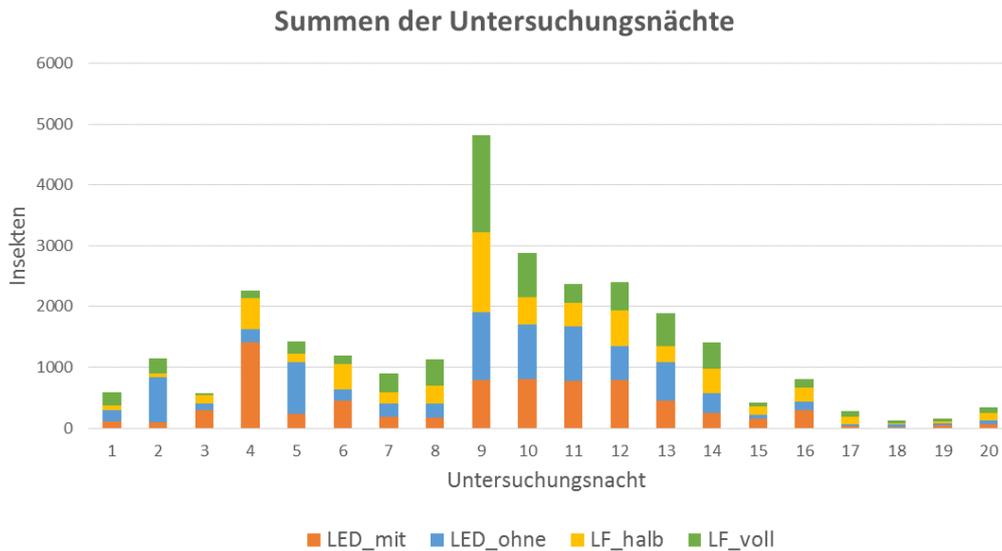


Abbildung 8: Summe der gefangenen Insekten je Untersuchungsnacht. Leuchtentyp LED mit Blendschute (_mit) = orange, LED ohne Blendschute (_ohne) = blau, Langfeldleuchte (LF) mit Halbnachtschaltung (_halb) = gelb, LF mit durchgehendem Betrieb (_voll) = grün.

Abbildung 9 zeigt Boxplots zu den gefangenen Insekten je Leuchtentyp und deren Modifikationen. Innerhalb der farbigen Kästen (Boxen) liegen 50% der erfassten Werte, wobei der Trennstrich die Lage des Medians (mittlerer Wert) darstellt. Die Whiskers (Antennen) geben die Spannweite der Werte wieder, wobei Ausreißer als Kreise dargestellt sind (größer als das 1,5fache des Interquartilabstands (Box)). Auch innerhalb der Leuchtentypen konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($p\text{-Wert} > 0,9$).

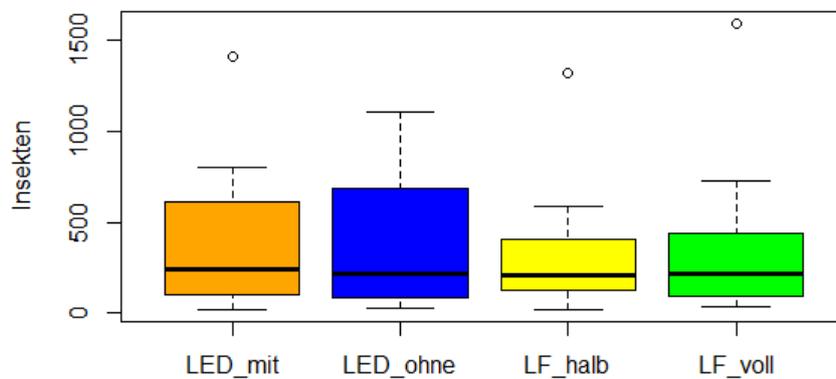


Abbildung 9: Boxplots zu den gefangenen Insekten je Leuchtentyp und deren Modifikationen. Der Aufbau der Boxplots wird im Text erläutert und ist konsistent für alle folgenden Boxplots. Leuchtentyp LED mit Blendschute (_mit) = orange, LED ohne Blendschute (_ohne) = blau, Langfeldleuchte (LF) mit Halbnachtschaltung (_halb) = gelb, LF mit durchgehendem Betrieb (_voll) = grün.

4.1.1 Insektenordnungen

Mit Hilfe der Lichtfallen konnten in den Untersuchungs Nächten zwischen drei und zehn von insgesamt zehn Insektenordnungen festgestellt werden. Abbildung 10 zeigt die Verteilung der erfassten Insektenordnungen je Leuchtentyp bzw. deren Modifikationen. Im Mittel (arith.) wurden an LED-Leuchten 6,4 Ordnungen bestimmt, an Langfeldleuchten 7,2. Der Unterschied zwischen den beiden Leuchtentypen ist als signifikant zu bewerten ($W = 566,5$, $p\text{-Wert} = 0,0199$), der zugrundeliegende statistische Test ist nicht parametrisch (Wilcoxon-Rangsummentest). Innerhalb der Leuchtentypen konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (LED: $W = 182,5$, $p\text{-Wert} = 0,6352$; LF: $W = 215$, $p\text{-Wert} = 0,6791$).

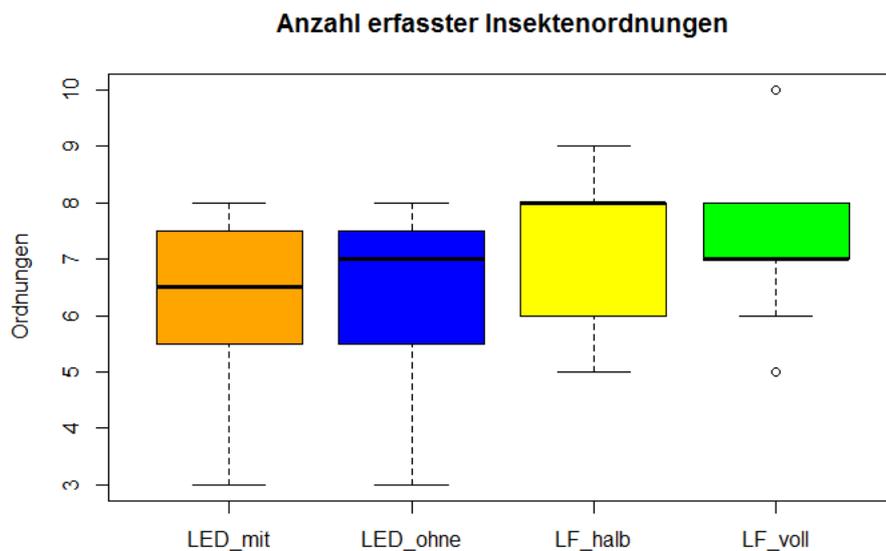


Abbildung 10: Boxplots zu den erfassten Insektenordnungen je Leuchtentyp und dessen Modifikationen. Leuchtentyp LED mit Blendschute (_mit) = orange, LED ohne Blendschute (_ohne) = blau, Langfeldleuchte (LF) mit Halbnachtschaltung (_halb) = gelb, LF mit durchgehendem Betrieb (_voll) = grün.

In der folgenden Tabelle werden die einzelnen Ordnungen in Reihenfolge ihrer festgestellten mittleren Häufigkeit angeführt. Signifikante Unterschiede zwischen den Leuchtentypen wurden bei vier Insektenordnungen festgestellt (graublau hinterlegt in Tabelle 2). Innerhalb der Leuchtentypen konnte ausschließlich für die Ordnung Coleoptera (Käfer) ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Hierbei nur signifikant zwischen den beiden LED-Leuchten, jedoch nicht bei Langfeldleuchten. Somit werden an LED-Leuchten, die mit Blendschuten ausgerüstet sind, signifikant weniger Käfer gefangen als an LEDs ohne Blendschuten.

Tabelle 2: Übersicht zu der Ergebnisse am Ordnungsniveau. Angegeben sind arithmetische Mittelwerte (\bar{x} *arith* der Untersuchungsächte) zu den Leuchtentypen und deren Modifikationen (_mit Blendschute, _ohne Blendschute, _halb = Halbnachtschaltung, _voll = Ganznachtbetrieb), sowie die Teststatistik W (Wilcoxon-Rangsummentest) und der p-Wert (Wahrscheinlichkeit das die Nullhypothese zutrifft - bei einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$). Signifikante (*), sehr signifikante (**) und hoch signifikante (***) Ergebnisse sind blaugrau hinterlegt; n.a. = nicht auswertbar.

Ordnung	Leuchte	\bar{x} <i>arith</i>	W	p	Modifikation	\bar{x} <i>arith</i>	W	p
Diptera Zweiflügler (Mücken und Fliegen)	LED	302,8	886	0,411	_mit	306,6	3230,5	0,919
	Langfeld	232,0			_ohne	299,1		
					_halb	231,5		
					_voll	232,5		
Hymenoptera Hautflügler (Ameisen, Wespen u. Bienen)	LED	43,5	889,5	0,391	_mit	39,1	194,5	0,892
	Langfeld	19,1			_ohne	48,0		
					_halb	14,7		
					_voll	23,6		
Lepidoptera Schmetterlinge (Nacht- u. Tagfalter)	LED	8,4	374	***	_mit	9,3	242	0,259
	Langfeld	16,7			_ohne	7,5		
					_halb	15,8		
					_voll	17,6		
Hemiptera Schnabelkerfe (Zikaden, Wanzen u. Pflanzenläuse)	LED	7,3	506,5	**	_mit	7,5	181	0,615
	Langfeld	15,0			_ohne	7,2		
					_halb	14,1		
					_voll	15,9		
Coleoptera Käfer	LED	4,0	564	*	_mit	2,9	117,5	*
	Langfeld	9,0			_ohne	5,2		
					_halb	8,9		
					_voll	9,2		
Neuroptera Netzflügler (Florfliegen, Staubhafte, usw.)	LED	5,8	842	0,675	_mit	4,4	186,5	0,715
	Langfeld	3,4			_ohne	7,2		
					_halb	3,4		
					_voll	4,0		
Trichoptera Köcherfliegen	LED	1,0	275	***	_mit	1,1	234,5	0,311
	Langfeld	7,4			_ohne	0,9		
					_halb	6,6		
					_voll	8,2		
Thysanoptera Fransenflügler	LED	1,1	n.a.	n.a.	_mit	1,1	n.a.	n.a.
	Langfeld	1,6			_ohne	1,1		
					_halb	1,5		
					_voll	1,7		
Psocoptera Staubläuse	LED	0,1	n.a.	n.a.	_mit	0,1	n.a.	n.a.
	Langfeld	0,2			_ohne	0,1		
					_halb	0,2		
					_voll	0,2		
Ephemeroptera Eintagsfliegen	LED	0,2	n.a.	n.a.	_mit	0,3	n.a.	n.a.
	Langfeld	0,1			_ohne	0,1		
					_halb	0,1		
					_voll	0,1		

4.2 ERGEBNISSE ZU BLENSCHUTEN MITTELS VIDEOANALYSEN (VIA)

Ein arithmetischer Mittelwert wurde herangezogen, um die Aktivität der Insekten an den Leuchten zu beschreiben. Dieser wurde aus den Zählergebnissen der sekundlichen Einzelbilder berechnet (n = 23400 pro Video, 20 Videos je Typ). In Abbildung 11 werden die Ergebnisse in Form von Boxplots dargestellt. Der gesamte Mittelwert (arith.) an LEDs mit Blendschute ergab 0,24 Insekten pro Sekunde, an LEDs ohne Blende

0,29. Ein nichtparametrischer Signifikanztest konnte keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden LED-Leuchten-Modifikationen zeigen ($W = 186$, p -Wert = 0.718).

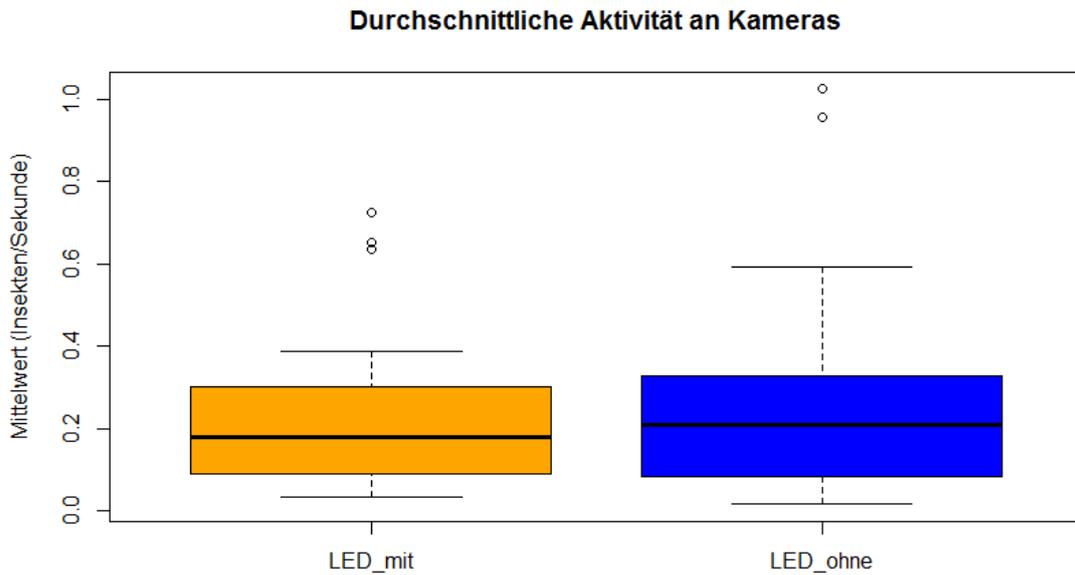


Abbildung 11: Boxplots zur durchschnittlichen Aktivität von Insekten an LED-Leuchten, mit und ohne Blendschute. Der mittlere Balken der Boxen ist der für die statistische Analyse herangezogene Median; die Boxen wurden aus arithmetischen Mittelwerten gebildet (siehe Text).

Der Maximalwert der in einem Einzelbild gezählten Insekten wurde als weiterer Vergleichsparameter herangezogen. Der Mittelwert dieser Maximalwerte beträgt für LEDs mit Blendschute 11,1 Insekten und für jene ohne Blendschute 9,5 Insekten. Abbildung 12 zeigt die dazugehörigen Boxplots. Der durchgeführte Signifikanztest zeigte wiederum keinen signifikanten Unterschied im gezählten Maximalwert der jeweils 20 Videos ($W = 221$, p -Wert = 0.5778).

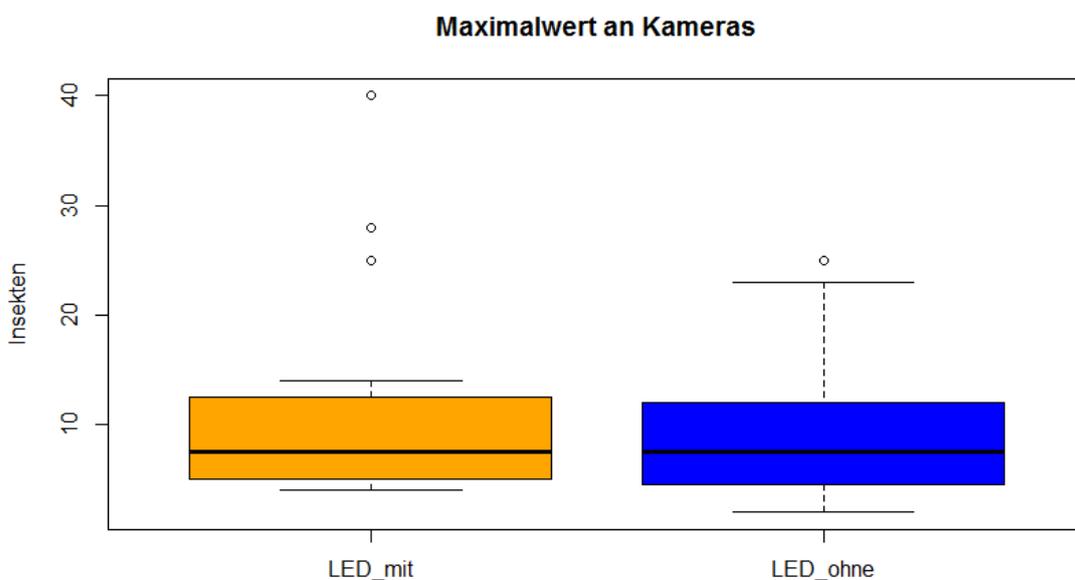


Abbildung 12: Boxplots zur maximalen Anzahl gleichzeitig erfasster Insekten an LED-Leuchten, mit und ohne Blendschute. Der mittlere Balken der Boxen ist der für die statistische Analyse herangezogene Median; die Daten für die Boxen wurden aus den Maximalwerten gebildet (siehe Text).

Um die Werte der Einzelvideos für die folgende Analyse vergleichbar zu machen, wurden Prozentwerte verwendet. Hierzu wurde für jede Nacht (Video) das Maximum an gezählten Insekten erfasst und anschließend wurden die Prozentwerte der restlichen Sekunden des Videos berechnet. Auf Basis dieser 23400 (Sekunden) x 20 (Tage) x 2 (LED Modifikationen) Datenpunkte wurden Mittelwerte über die 20 Untersuchungs Nächte gebildet, die als Punktwolke in Abbildung 13 dargestellt sind. Die ebenfalls dargestellten Kurven wurden aus dem gleitenden Durchschnitt gebildet (der Mittelwert aus 120 Werten ergibt einen Punkt, der zu einer Linie heranwächst). Als Zeitachse ist die Zeit nach Sonnenuntergang gewählt, näheres zur Thematik ist in Kapitel 3.2 zu finden.

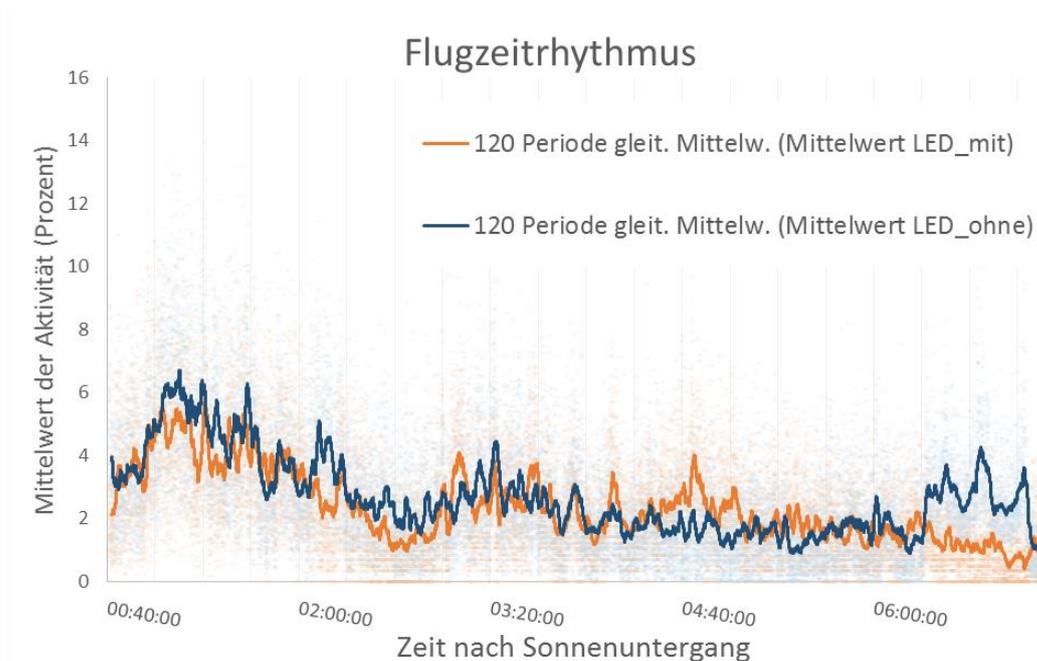


Abbildung 13: Flugzeitrhythmus nachtaktiver Insekten an LED-Leuchten. Orange Kurve = gleitender Durchschnitt an LEDs mit Blendschute, blaue Kurve = LEDs ohne Blendschute. Nähere Erleuterungen siehe Text. Zeit = hh:mm:ss, n je Typ = 23400 Prozentwerte.

4.3 METHODENVERGLEICH: LICHTFALLE & VIA

Lichtfallen (bzw. beleuchtete Luftklektoren) sind eine bewehrte Methode, um Insekten zu fangen. Der klare Vorteil dieser Methode liegt in der Möglichkeit, die Insekten bis auf Artniveau zu bestimmen. Der Vorteil der Video-Insekten-Analysemethode (VIA) liegt vorrangig in der Möglichkeit, die Zeitachsen besser untersuchen zu können und gleichzeitig das Verhalten der Insekten zu studieren. Zweifellos können beide Methoden adaptiert werden, um die Vorteile der anderen Methode zu implementieren. Letztendlich entscheidet die Fragestellung darüber, welche Methode geeignet ist oder sogar beide kombiniert werden sollten. In der vorliegenden Studie war dies der Fall. Da wir durch die Kombination der Methoden auch Überschneidungen in den möglichen Aussagen haben, wird im Folgenden ein Methodenvergleich durchgeführt. Hierdurch soll die Frage geklärt werden wie Ähnlich die erzielten Ergebnisse bei gleicher Fragestellung sind.

Tabelle 3 und 4 zeigen die ausgewählten Parameter, die für die Korrelationsanalyse (Spearman Rangkorrelation) verwendet wurden (siehe Tabelle 5).

Tabelle 3: Detailergebnisse zu LED-Leuchten-Zählergebnissen der Lichtfang- und Videoanalysemethode. Erklärungen siehe Text.

Typ	Σ Lichtfänge	Σ Lichtfänge/h	Σ Videoakt.	Σ Videoakt./h	Max. Wert
LED_ohne	193	24,13	3527	542,62	9
LED_ohne	736	92,00	5976	919,38	11
LED_ohne	97	12,13	855	131,54	3
LED_ohne	223	27,88	2438	375,08	6
LED_ohne	852	106,50	23968	3687,38	23
LED_ohne	187	23,38	12049	1853,69	13
LED_ohne	206	25,75	7875	1211,54	8
LED_ohne	224	28,00	7488	1152,00	25
LED_ohne	1107	134,18	13878	2135,08	16
LED_ohne	901	106,00	6123	942,00	9
LED_ohne	887	104,35	3007	462,62	6
LED_ohne	552	64,94	2348	361,23	5
LED_ohne	641	75,41	7326	1127,08	8
LED_ohne	324	38,12	22348	3438,15	23
LED_ohne	76	8,44	1497	230,31	3
LED_ohne	147	16,33	4263	655,85	4
LED_ohne	39	4,22	5566	856,31	7
LED_ohne	42	4,10	1189	182,92	5
LED_ohne	28	2,73	357	54,92	2
LED_ohne	59	5,76	1513	232,77	4
LED_mit	104	13,00	1411	217,08	5
LED_mit	101	12,63	1410	216,92	5
LED_mit	303	37,88	2096	322,46	28
LED_mit	1409	176,13	14898	2292,00	40
LED_mit	230	28,75	2593	398,92	4
LED_mit	451	56,38	5603	862,00	9
LED_mit	195	24,38	16981	2612,46	14
LED_mit	179	22,38	15234	2343,69	14
LED_mit	797	96,61	2738	421,23	25
LED_mit	801	94,24	2122	326,46	5
LED_mit	781	91,88	5958	916,62	11
LED_mit	794	93,41	4865	748,46	8
LED_mit	449	52,82	3499	538,31	5
LED_mit	254	29,88	5824	896,00	7
LED_mit	150	16,67	8112	1248,00	10
LED_mit	290	32,22	9064	1394,46	10
LED_mit	27	2,92	1161	178,62	4
LED_mit	21	2,05	737	113,38	4
LED_mit	45	4,39	2157	331,85	6
LED_mit	61	5,95	5710	878,46	7

Pro Nacht wurde mit jeder Lichtfalle eine Probe Insekten gefangen. Aus dieser Probe ergibt sich die Summe (Σ) an Insekten, die durch die Falle erbeutet wurde. Um die Zeitkomponente mit zu berücksichtigen, wurde dieser Wert durch die Dauer des Betriebs der Leuchten dividiert. Daraus ergibt sich die Summe pro Stunde, wobei die Dauer des Betriebs, aufgrund der unterschiedlichen Länge der tatsächlichen Nacht, variiert (siehe Kapitel 3.2). Die Dauer der ausgewerteten Videoausschnitte ist hingegen mit einer Länge von sechs Stunden und 30 Minuten konstant. Der maximale Wert (Max. Wert) beschreibt jenen Wert innerhalb der Videoanalyse, bei dem die meisten Insekten im Einzelbild gezählt wurden (von 23400 Bildern bzw. Sekunden per Video).

Tabelle 4: Detaillierergebnisse zu Langfeldleuchten-Zählergebnissen der Lichtfang- und Videoanalysemethode. Erklärungen siehe Text.

Typ	Σ Lichtfänge	Σ Lichtfänge/h	Σ Videoakt.	Σ Videoakt./h	Max. Wert
LF_voll	229	28,63	22980	3535,38	18
LF_voll	238	29,75	61345	9437,69	41
LF_voll	37	4,63	48978	7535,08	56
LF_voll	114	14,25	85674	13180,62	59
LF_voll	214	26,75	60143	9252,77	30
LF_voll	137	17,13	55261	8501,69	34
LF_voll	312	39,00	62714	9648,31	35
LF_voll	446	55,75	73869	11364,46	26
LF_voll	1591	192,85	88231	13574,00	40
LF_voll	728	85,65	90462	13917,23	47
LF_voll	305	35,88	48511	7463,23	33
LF_voll	469	55,18	90007	13847,23	33
LF_voll	532	62,59	52314	8048,31	23
LF_voll	430	50,59	124368	19133,54	53
LF_voll	57	6,33	24756	3808,62	15
LF_voll	141	15,67	58990	9075,38	29
LF_voll	93	10,05	41849	6438,31	26
LF_voll	42	4,10	7485	1151,54	10
LF_voll	49	4,78	10327	1588,77	10
LF_voll	93	9,07	34623	5326,62	16

Wie Tabelle 5 zeigt, ergeben sich zum Teil unterschiedliche Ergebnisse bei den Korrelationspaaren. Für LED-Leuchten ohne Blendschuten (LED_ohne) zeigen alle vier Kombinationen eine gleich signifikante Korrelation. Bei LED-Leuchten mit Blendschute (LED_mit) und bei Langfeldleuchten mit Ganznachtbetrieb (LF_voll) zeigen sich jedoch umgekehrte Ergebnisse. Jeweils zwei der vier Kombinationen weisen signifikante Korrelationen auf. Das unterschiedliche Muster der Korrelationen unterstützt die Vermutung, dass die beiden Methoden nur begrenzt miteinander vergleichbar sind bzw., dass ein geeigneter Vergleichsparameter zusätzliche Informationen benötigen würde.

Tabelle 5: Ergebnistabelle der Spearman Rangkorrelationsanalyse. Erläuterungen zu den Variablen siehe Text. Signifikanzschwelle $\alpha = 0,05$, NS = nicht signifikant, n je Variable = 20.

Typ	Variable A	Variable B	S-Wert	p-Wert	Signifikanz	Spearman's Rho
LED_mit	Summe des Lichtfangs	Summe der Videoaktivität	846.00	0.11530	NS	0.364
LED_mit	S. des L. pro Stunde	S. der V. pro Stunde	840.00	0.11060	NS	0.368
LED_mit	S. des L. pro Stunde	Maximalwert in Video	611.37	0.01392	*	0.540
LED_mit	Summe des Lichtfangs	Maximalwert in Video	636.55	0.01836	*	0.521
LED_ohne	Summe des Lichtfangs	Summe der Videoaktivität	516.00	0.00495	**	0.612
LED_ohne	S. des L. pro Stunde	S. der V. pro Stunde	462.00	0.00233	**	0.653
LED_ohne	S. des L. pro Stunde	Maximalwert in Video	453.69	0.00158	**	0.659
LED_ohne	Summe des Lichtfangs	Maximalwert in Video	490.79	0.00285	**	0.631
LF_voll	Summe des Lichtfangs	Summe der Videoaktivität	362.64	0.00028	***	0.727
LF_voll	S. des L. pro Stunde	S. der V. pro Stunde	356.00	0.00036	***	0.732
LF_voll	S. des L. pro Stunde	Maximalwert in Video	829.44	0.10190	NS	0.376
LF_voll	Summe des Lichtfangs	Maximalwert in Video	867.80	0.13330	NS	0.348

Abbildungen 13-15 zeigen die stärksten Korrelations-Paare für die drei Leuchtentypen (LED_mit, LED_ohne und LF_voll). Für die beiden LED-Leuchten ist dies die Kombination aus den Variablen Lichtfänge pro Stunde und Maximalwert der gezählten Insekten der Videos. Für die Langfeldleuchte ist dies hingegen die Kombination Lichtfänge pro Stunde und Summe der gezählten Insekten pro Stunde (gebildet aus Einzelbildern mit einem Intervall von einer Sekunde).

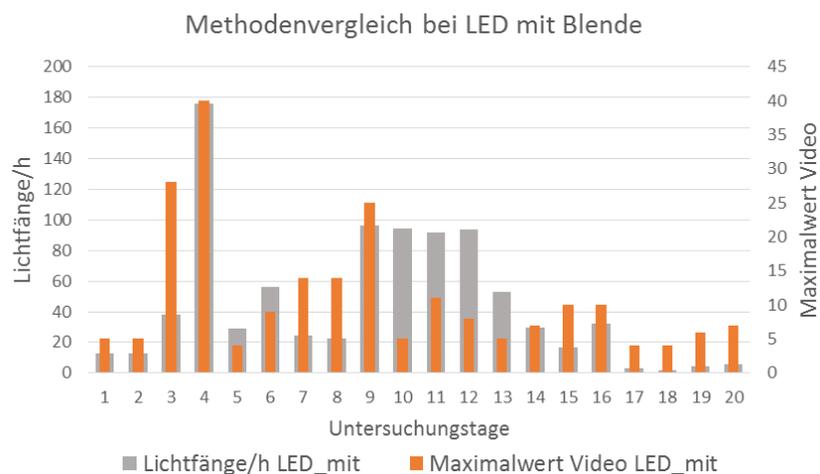


Abbildung 14: Graphische Darstellung der Korrelation der Variable Lichtfang pro Stunde (grau) und Maximalwert im Video (orange) bei LED-Leuchten mit Blendschute. Statistik siehe Tabelle 5. Erläuterungen zu den Variablen siehe Text.

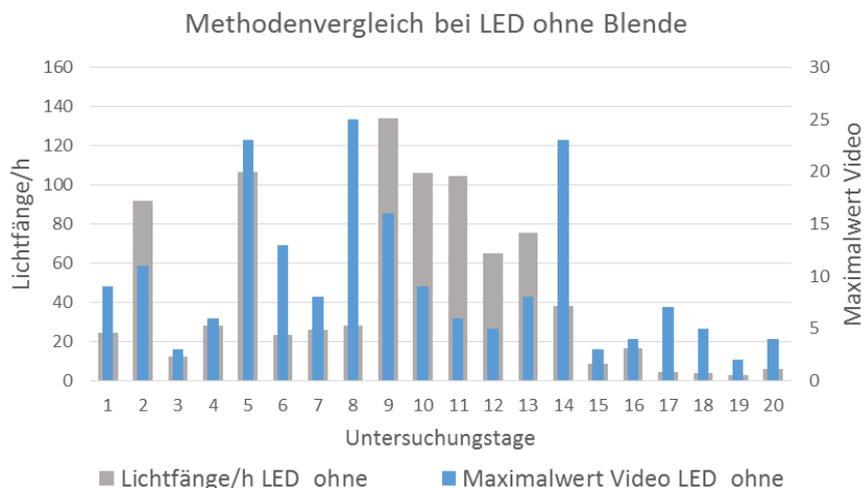


Abbildung 15: Graphische Darstellung der Korrelation der Variable Lichtfang pro Stunde (grau) und Maximalwert im Video (blau) bei LED-Leuchten ohne Blendschute. Statistik siehe Tabelle 5. Erläuterungen zu den Variablen siehe Text.

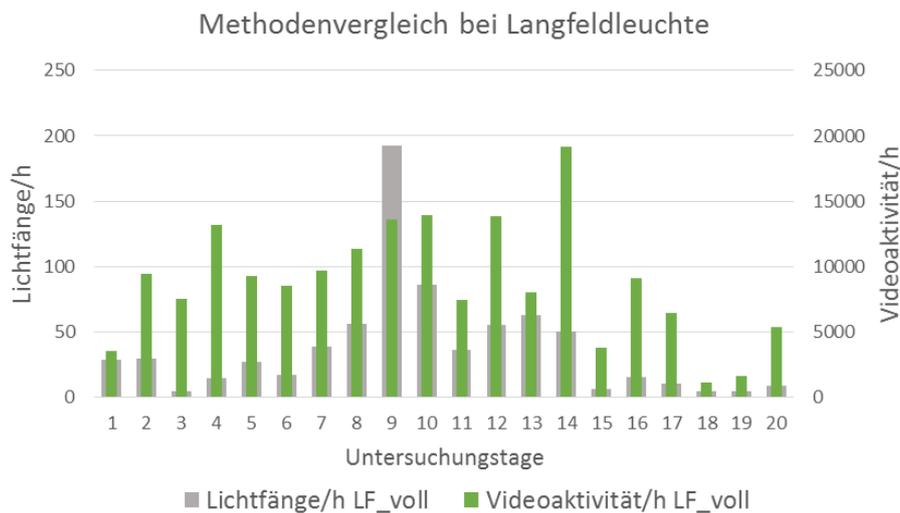


Abbildung 16: Graphische Darstellung der Korrelation der Variable Lichtfang pro Stunde (grau) und Aktivität im Video (grün) bei Langfeldleuchten mit Ganznachtbetrieb. Statistik siehe Tabelle 5. Erläuterungen zu den Variablen siehe Text.

4.4 ANALYSE DER AUFENTHALTSZEITEN MITTELS VIA

Ein vorab entwickelte Selektionsverfahren wurde verwendet, um die unterschiedliche Leuchtgeometrie von LED- und Langfeldleuchten zu berücksichtigen. Dies war nötig, um die Aufenthaltszeiten der Insekten adäquat vergleichen zu können. Besagtes Verfahren wird im Methodenkapitel 3.5.3 näher beschrieben.

In Abbildung 17 werden für die Langfeldleuchte zwei unterschiedliche Grafiken dargestellt: einmal die gesamte Aufenthaltsdauer der Insekten im Bildausschnitt und einmal adaptiert mit dem eingangs erwähnten Verfahren, bei dem die Größe der Insekten und dadurch die Distanz mitberücksichtigt wurden. Im Mittel betrug die Aufenthaltsdauer an der Langfeldleuchte 26,46 Frames (Median = 23); für die LED-Leuchte betrug der Wert 19,57 (Median = 16). Durch die Anwendung des Selektionsverfahrens ergaben sich für Langfeldleuchten niedrigere Werte (Mittelwert = 22,81, Median = 18). Der zuerst sehr signifikante Unterschied zwischen den Leuchten ($W = 6326,5$, $p = **$, $n = 100$), zeigte danach keinen signifikanten Unterschied mehr ($W = 5460$, $p = 0,2613$, $n = 100$). Diese Ergebnisse erlauben die Theorie, dass Insekten an Langfeldleuchten zwar länger sichtbar sind als an einer LED-Leuchte, sich jedoch gleichlange in einem repräsentativen Sektor innerhalb des Kamerablickfeldes aufhalten.

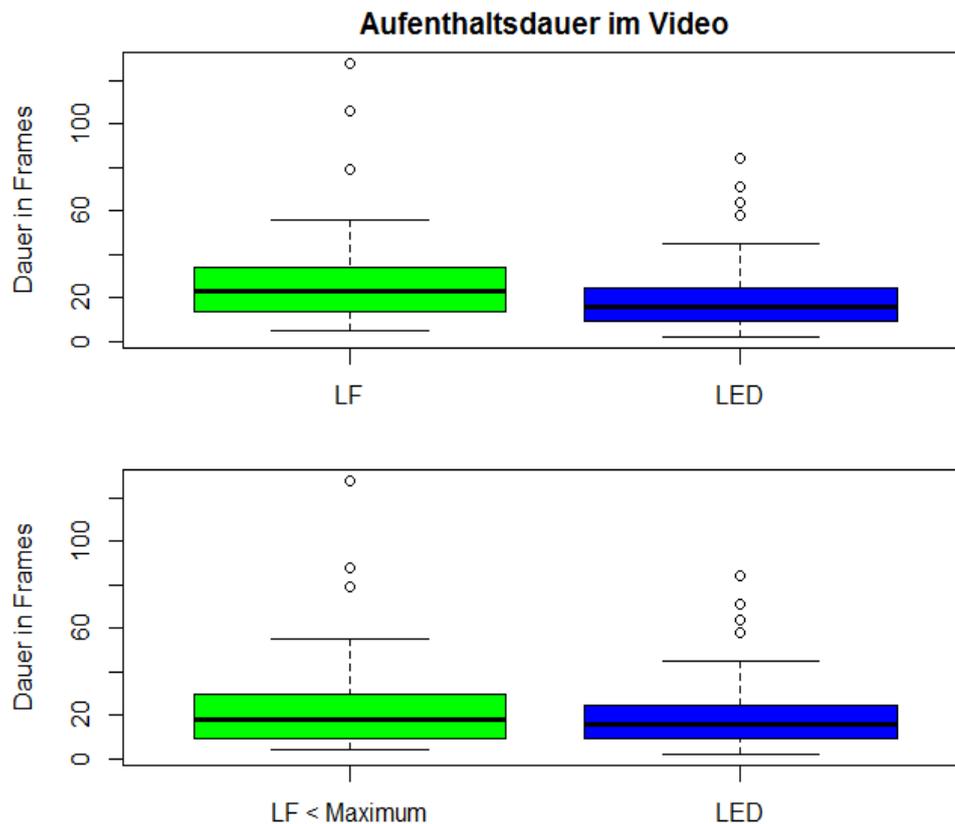


Abbildung 17: Aufenthaltsdauer der Insekten im Videoausschnitt (räumlich) gemessen in Frames (25 pro Sekunde). Für die untere Grafik der Langfeldleuchte (LF, grün) wurde ein Selektionsverfahren angewandt, um die Distanz bzw. die unterschiedliche Leuchtgeometrie zu berücksichtigen. Näheres siehe Text.

4.5 FLUGZEITRHYTHMEN NACHTAKTIVER INSEKTEN (VIA)

Es wurden 1.404.000 Datenpunkte ausgewertet, um die Flugzeitrhythmen nachtaktiver Insekten darzustellen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 17 und 18 dargestellt. Die Zeit nach Sonnenuntergang wurde als Zeitachse und Prozentwerte als y-Achse gewählt, um die einzelnen Untersuchungstage untereinander vergleichbar zu machen. Näheres hierzu wurde bereits in den Kapiteln 3.2 & 3.5 besprochen.

Die unteren beiden Kurven (Abb. 18) wurden bereits in Abbildung 13 gezeigt und im dortigen Kapitel (4.2, S.15) besprochen. In Grün wird hier die Kurve der Langfeldleuchte dargestellt, die, abgesehen von den Amplituden, einen ähnlichen Verlauf wie die LED-Kurven zeigt. Kleine Unterschiede wie beispielsweise ab sechs Stunden und 20 Minuten nach Sonnenuntergang, können zufällig sein oder durch unterschiedliche Anlockwirkung am Artniveau bedingt sein. Genauere Aussagen hierzu lässt der Versuchsaufbau nicht zu. Das Ziel des Versuches wurde mit Abbildung 19 erreicht. Diese zeigt die Zusammenfassung der Flugzeitrhythmen, erfasst an den drei Leuchtentypen.

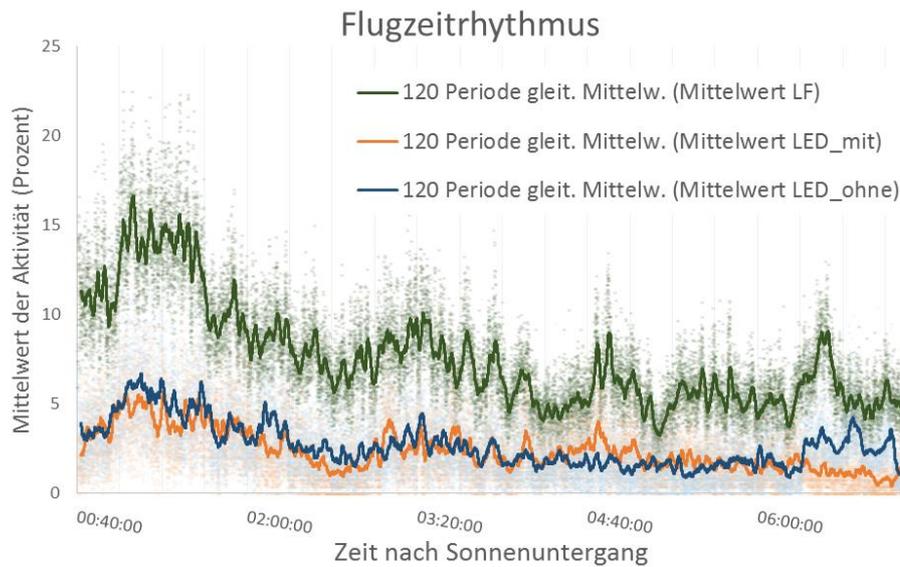


Abbildung 18: Flugzeitrhythmus nachtaktiver Insekten an LED- und Langfeldleuchten. Orange Kurve = gleitender Durchschnitt an LEDs mit Blendschute, blaue Kurve = LEDs ohne Blendschute, grüne Kurve = Langfeldleuchte im Ganznachtbetrieb. Nähere Erläuterungen siehe Text. Zeit = hh:mm:ss, n je Typ = 23400 Prozentwerte.

Teilt man die Untersuchungszeit von 6,5 Stunden in drei Teilbereiche, so zeigt sich, dass im ersten Drittel deutlich mehr Aktivität verzeichnet wurde (Mittelwert = 46,61 %) als in den beiden anderen. Im zweiten Drittel betrug die Aktivität im Mittel 29,99 % und im letzten Drittel 23,33% der Nachtmaxima. Die in Abbildung 19 dargestellten 6,5 Stunden umfassen nicht die Dämmerungszeiten, näheres hierzu ist in den Kapiteln 3.2 & 3.5.2 zu finden.

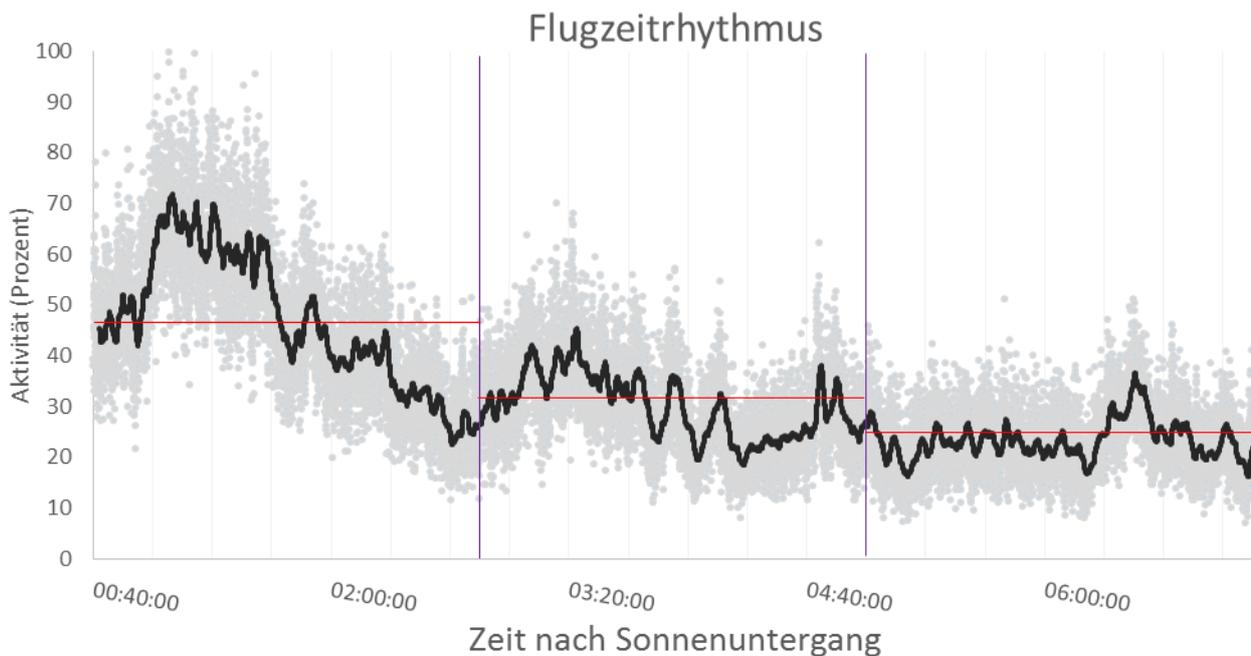


Abbildung 19: Flugzeitrhythmus nachtaktiver Insekten. Schwarze Kurve = gleitender Durchschnitt mit 120 Sekunden Intervall, graue Punkte = Datenmatrix (1 Punkt pro Sekunde) basierend auf Prozentwerten von 3 Leuchtentypen. Nähere Erläuterungen siehe Text. Zeit = hh:mm:ss. Die violetten Linien teilen die 6,5 Stunden in drei gleiche Teile, die roten zeigen den Mittelwert dieser Drittel.

5 DISKUSSION

Der Unterschied in der Anlockwirkung bei 0° und 10° Anstellwinkel wurde in der vorangegangenen Studie (SONEIRA 2013) mit baugleichen LED-Leuchten untersucht. Es wurde festgestellt, dass Leuchten mit 10° Anstellwinkel signifikant mehr Insekten anlocken. In der vorliegenden Studie wurden selbige Leuchten mit einer Blendschute versehen. Beim Vergleich mit Leuchten ohne Blendschuten konnte kein signifikanter Unterschied am Klassenniveau (Insekten) festgestellt werden. Am Ordnungsniveau zeigte sich nur für die Gruppe der Käfer ein signifikanter Unterschied. Interessanterweise konnte SONEIRA (2013) für diese Gruppe keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Montagethoden (0° & 10°) feststellen.

Dank der vorliegenden Studie kann die Leuchtwirkung der Leuchten von 0° bis 10° als entscheidender Einflussfaktor zur Erklärung der Ergebnisse von 2013 entkräftet werden. Der positive Effekt der Reduktion der Nachthimmelsaufhellung bleibt weiterhin vorteilhaft für den Aspekt der Lichtverschmutzung. Wie die unterschiedlichen Ergebnisse für die Gruppe der Käfer ins Bild passen, bleibt hingegen ungeklärt. Daher sollten unter anderem die Einflüsse der Reflexionseigenschaften der Blendschute näher untersucht werden. Weitere zu untersuchende Faktoren sind die Leuchtfläche am Boden und der Einfluss des Leuchtwinkels sowie die dadurch veränderten Reflexionseigenschaften der beleuchteten Flächen.

Mit den Lichtfallen wurden, wie bereits in der vorangegangenen Studie, hauptsächlich Fliegen und Mücken gefangen. Insgesamt waren es 78,8% aller erbeuteten Tiere. Der größte Unterschied zu den damaligen Ergebnissen liegt in der Anzahl der gefangenen Hautflügler (primär Ameisen), die in der vorliegenden Untersuchung deutlich häufiger gezählt wurden. Eine mögliche Ursache könnten veränderte Witterungsbedingungen sein. Wahrscheinlicher ist jedoch, dass zufällig mehr Tage mit Massenflügen beprobt wurden.

Ein zweites Versuchsdesign wurde für die Fragestellung „mit vs. ohne Blendschute“ verwendet, um die Leuchtwirkung der Lichtfallen an den LED-Leuchten als Einflussfaktor ausschließen zu können. Hierbei wurde eine Video-Insekten-Analysemethode (VIA) angewandt, welche eigens zu diesem Zweck entwickelt wurde (SONEIRA 2014). Durch die dadurch verbesserten Untersuchungsbedingungen konnte ein größerer Unterschied zwischen der Anzahl der angelockten Insekten im Vergleich zur Lichtfallenmethode festgestellt werden. An Lichtfallen betrug der Unterschied der Mittelwerte 1,1 %, mit Hilfe der VIA-Methode jedoch 16,0 %. Trotzdem kann dieser Unterschied nicht als signifikant gewertet werden, wodurch sich die vorläufige Grundaussage zum Effekt von Blendschuten nicht verändert.

In dieser Studie wurden erstmals Langfeldleuchten mit Halbnachtschaltung auf der Donauinsel getestet. Für sie wurde kein signifikanter Unterschied in der Anlockwirkung im Vergleich mit gewöhnlichen Langfeldleuchten gefunden. Die Halbnachtschaltung ab 23:00 Uhr hat auf Basis dieser Ergebnisse keinen deutlich reduzierenden Effekt auf den Insektenanflug. Die Datenlage reicht jedoch nicht für die Aussage, dass

die Reduktion der verwendeten Lampen innerhalb einer Leuchte keinen Einfluss auf die Anlockwirkung hat. Hierfür wäre der Insektenanflug bis 23:00 Uhr von besonderer Bedeutung.

Das gewählte Untersuchungsdesign bot die Möglichkeit, die Lichtfangmethode und VIA-Methode mit Hilfe einer Korrelationsanalyse näher zu untersuchen. Wie gezeigt, ergaben sich zum Teil signifikante Korrelationen (siehe Kapitel 4.3). Für die hierbei untersuchten Leuchtentypen (LED_mit, LED_ohne, LF_voll) wurden die Korrelationen für unterschiedliche Parameter innerhalb des Leuchtentypus und zwischen den beiden Methoden analysiert. Das Ergebnis zeigte unterschiedliche Muster der erzielten Signifikanzen. Aus dem Fehlen von homogenen Ergebnissen kann geschlossen werden, dass sich die beiden Methoden zwar zum Teil ähneln, sie jedoch keineswegs in jedem Fall gleiche Ergebnisse liefern würden. Interessant ist auch das Zusammenführen dieser Ergebnisse mit jenen der Aufenthaltszeiten. Diese Analyse zeigte nämlich, dass sich Insekten zwar signifikant länger im Blickfeld der Videoaufnahmegeräte an einer Langfeldleuchte aufhielten, jedoch nicht signifikant länger wenn der untersuchte Bildsektor an jenes der LED-Leuchte angepasst wurde (siehe Kapitel 3.5.3). Dies lässt die Überlegung zu, dass jener größerer Bildausschnitt bei Langfeldleuchten-Videos für das Fehlen der Korrelationen zwischen den Parametern der Lichtfallen und jenen der maximalen Insektenanzahl per Video verantwortlich sein könnte. Warum sich die Korrelationen zwischen den beiden LED-Modifikationen unterscheiden, obgleich die restlichen Analysen keinen signifikanten Unterschied zeigen, bleibt hingegen offen. Unter kontrollierten Bedingungen (Laborversuch) wäre möglicherweise ein signifikanter Unterschied feststellbar.

Für eine Vergleichsstudie zwischen den Leuchtentypen LED und Langfeldleuchte ist die Leuchtgeometrie im besonderen Maße zu berücksichtigen. Es wird empfohlen, die hier angewandte Methode zu verwenden (Bildsektoranalyse mittels VIA). Noch besser wäre es, die für die Fragestellung entscheidenden Komponenten separat zu untersuchen, beispielsweise: Lampeneigenschaften in einer gleichartigen Leuchte oder unterschiedliche Leuchten mit den gleichen Lampen.

Durch das zeitliche Auflösungsvermögen der Videoanalyse und die Verteilung der Stichprobentage, ist es nunmehr möglich bessere Empfehlungen für den Betrieb von Außenbeleuchtungseinrichtungen zu geben. Die Halbierung der eingeschalteten Leuchtmittel innerhalb einer Leuchte, ab 23:00 Uhr, ist nicht ausreichend, um die Anzahl der angelockten Insekten signifikant zu reduzieren. Da gerade der Zeitraum bis 23:00 Uhr, sowohl für Insekten als auch für den Menschen, entscheidend ist, erscheinen alternative Lösungsansätze als zielführender. Für Insekten wäre kein Licht zweifelsfrei die beste Lösung, für Menschen jedoch nicht zwingend. Menschen entscheiden bei der Beleuchtungsfrage oft subjektiv über Empfindungen, wodurch effektive Lösungen erschwert werden bzw. sogar gesundheitlich nachteilige Situationen entstehen können (HEILIG 2014).

Auf Grund der vorliegenden Ergebnisse wird empfohlen, neue Forschungsschwerpunkte beim Thema Insektenanflug an Straßenbeleuchtungen zu setzen. Insbesondere der Effekt der Leuchtwirkung am Boden und der Effekt der Reflexionseigenschaften von Verkehrsflächen und Gebäuden sollte untersucht werden.

6 LITERATURVERZEICHNIS

- BRUCE-WHITE, C. & SHARDLOW, M. (2011): A Review of the Impact of Artificial Light on Invertebrates. – (Buglife.org.uk).
- CAMPBELL, N.A., REECE, J.B. & MARKL, J. (2003): Biologie. 6. A. – (Spektrum Akademischer Verlag).
- DAVIES, T.W., BENNIE, J. & GASTON, K.J. (2012): Street lighting changes the composition of invertebrate communities. – *Biology Letters*. doi: 10.1098/rsbl.2012.0216.
- EISENBEIS, G. (2010): Insekten und künstliches Licht. – In: Das Ende der Nacht. First Edition. – pp. 61 – 82, (Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA).
- HAYBACH, A., MÜLLER, J. & SCHLEUTER, M. (2004): Flugzeit und Flugaktivität von *Ephoron virgo* (Olivier, 1791)(Insecta: Ephemeroptera) am Main. – *Lauterbornia*/50: 59–65.
- HEILIG, P. (2014): Über-Stimulation. – *Österreichisches Forum Arbeitsmedizin*/2: 22 – 26.
- 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.
- KOBLER, R.L. (2002): Die Lichtverschmutzung in der Schweiz. – *Diplomarbeit Fachhochschule Basel*: 43.
- RENAT AG (2008): Lichtemissionen in Liechtenstein. – *Amt für Umweltschutz in Vaduz*: 30.
- SONEIRA, M. (2013): Auswirkungen auf die Insekten-Fauna durch die Umrüstung von Kugelleuchten auf LED-Beleuchtungen. – 60 pp. (Wien Leuchtet (MA 33; online)).
- SONEIRA, M. (2014): Methode zur Aktivitätsmessung von nachtaktiven Insekten mittels Videoequipment (VIA). – (Wiener Umweltschutz; online).
- TEIKARI, P. (2007): Light Pollution. – *UNIVERSITAT POLITECNICA DE CATALUNYA*.
- VALENTI, Z. (2012): Freiraumbeleuchtung ≠ Lichtverschmutzung? - kann eine Freiraumbeleuchtung so gestaltet werden, dass sie keine Lichtverschmutzung erzeugt? – Masterarbeit: Wien (Universität für Bodenkultur).
- ZAMG (2014): Monatsrückblick — ZAMG. – Retrieved September 26, 2014, from <http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/monatsrueckblick/wetterrueckblick?monat=06&jahr=2014>.