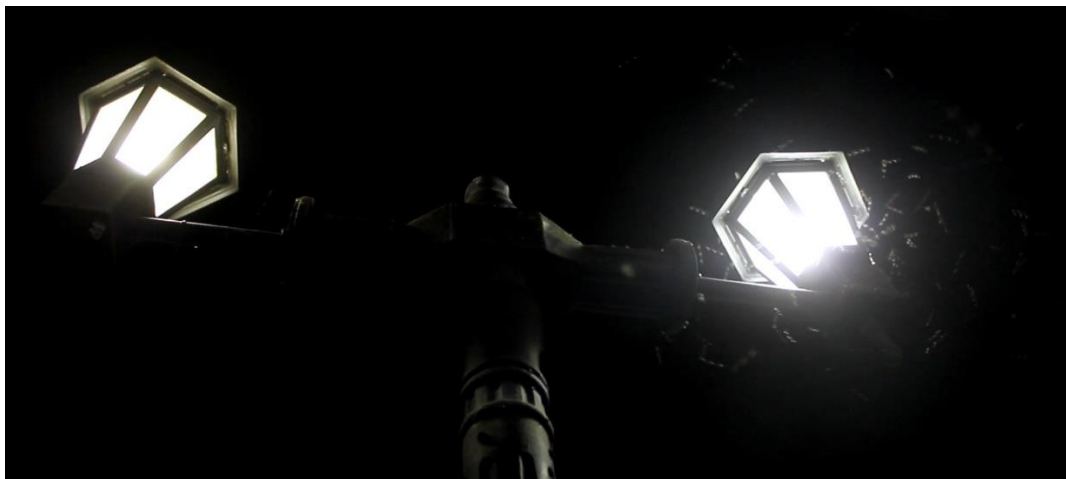


Was ist insektenfreundliche Beleuchtung?

Seitdem der massive Rückgang der Insekten ins öffentliche Bewusstsein gelangt ist, wird auch der Einfluss künstlicher Beleuchtung auf das Insektensterben anerkannt und gesetzliche Vorgaben für eine insektenfreundliche Beleuchtung formuliert (in Bayern und Baden-Württemberg, Neufassung Bundesnaturschutzgesetz). Doch was ist unter einer insektenfreundlichen Beleuchtung zu verstehen? Wie muss sie gestaltet sein?

In Kürze:

1. **Nur kein Licht ist insektenfreundlich - daher:** Künstliche Beleuchtung nur, wenn unbedingt notwendig.
2. **Möglichst geringe Lichtmenge.**
3. **Leuchtdauer beschränken** – besonders in den Monaten Mai bis August! Da es dann auch spät dunkel wird, sollte möglichst ganz auf Licht verzichtet werden.
4. **Kein Streulicht**, nur das beleuchten, was unbedingt beleuchtet werden muss mit vollabgeschirmten Leuchten.
5. **Keine großen hellen Flächenleuchten - keine hellen Leuchtwerbeflächen.**
6. **Geringe Lichtpunkthöhen:** Leuchten strahlen damit wenig in die Umgebung.
7. **Dichte geschlossene Leuchtengehäuse ab der Schutzklasse IP65 verwenden.**
8. **Warmweiße Lichtfarben ohne Ultraviolett- und mit geringen Blauanteilen.**
9. **Keine flackernden Lichtquellen.**



Eine kaltweiße Lichtquelle (rechts) zieht mehr Insekten an als eine warmweiße (links), Video unter https://youtu.be/e_JavLZkKx0

Hinweise auf eine insektenfreundliche Beleuchtung wurden bereits 1997 von der Lichttechnischen Gesellschaft LiTG veröffentlicht (LiTG, 1997). Inzwischen liegen zahlreiche weitere Untersuchungen vor, die teilweise im Skript 543 des Bundesamtes für Naturschutz (Schroer u.a., 2019) berücksichtigt wurden. Owens u.a. (2020) und Boyes u.a. (2021) haben aktuell die wissenschaftlichen Erkenntnisse zusammengefasst.

Hier soll es nicht um die Biologie nachtaktiver Insekten gehen, da es nicht das Fachgebiet des Autors ist, sondern um die Umsetzung von Beleuchtungsmaßnahmen, die aufgrund derzeitiger Erkenntnisse Insekten am wenigsten beeinflussen.

Das Problem

Seit der sog. Krefelder Studie (*Hallmann, 2017*) ist der dramatische Rückgang der Insekten um 75% in 27 Jahren in die Öffentlichkeit gelangt, obwohl es bereits früher zahlreiche Hinweise darauf gab (u.a. *Eisenbeis & Hänel, 2009*). Wieviel künstliches Licht in der Nacht (Lichtverschmutzung) zum Aussterben der Insekten beiträgt, wird teilweise kontrovers diskutiert (*Grubisic, 2018, Reichholf, 2020*). Doch ist die Attraktion auf Insekten vor allem von Leuchtmitteln mit hohen Ultraviolett- und Blauanteilen schon lange bekannt (z.B. *Schanowski & Späth, 1994*) und wird beim Insektenfang für wissenschaftliche Untersuchungen ausgenutzt (mehr unter Punkt 8).



Verschiedene Nachtfalter aus der Sammlung des Museums am Schölerberg, Osnabrück

Insekten werden von Lichtquellen angezogen, vielleicht fliegen sie wieder weg, oft kreisen sie um die Lichtquelle, versuchen sie anzufliegen, dringen in das Gehäuse ein oder sinken erschöpft zum Boden. Im Lichtschein werden sie die Opfer von Jägern, beispielsweise Fledermäusen oder Spinnen. So wird das Ökosystem gestört, sie fehlen anderen Jägern als Nahrungsquelle oder fallen als wichtige Bestäuber aus.

Bei den Insekten handelt es sich nicht nur um vermeintlich unnötige Mücken, sondern auch um eindrucksvolle Nachtfalter oder auch die Glühwürmchen.



Erste Untersuchungen zum Anflugverhalten von Insekten an LED (links im Bild) wurden von G. Eisenbeis 2008 in Düsseldorf am Fleher Deich durchgeführt

Die folgende Reihenfolge ist entsprechend der Wichtigkeit der Maßnahmen gewählt!

1. Kein Licht!

In einem dunklen Umfeld kann künstliches Licht Insekten selbst aus großen Entfernungen anziehen. Davon sind besonders aquatische Insekten betroffen und auch untersucht worden:

Scheibe (2003) beobachtete an einem Bach im Taunus, dass Insekten selbst von einer als insektenfreundlich geltenden Natriumhochdruckdampf Lampe aus 1300 m Entfernung angezogen werden.

Carannante u.a. (2021) fanden heraus, dass Insekten bis in 60 m Entfernung (vertikale Beleuchtungsstärke $< 0,1 \text{ lx}$) von einem Bach von LED-Leuchten (5700 K) angezogen werden.

In naturnahen Räumen muss daher **auf künstliches Licht verzichtet** und nur in begründbaren Ausnahmefällen eingesetzt werden. In besiedelten Gebieten soll künstliches Licht ebenfalls nur eingesetzt werden, wenn es unbedingt notwendig ist. Insbesondere sollten ausgehend von Industrie- oder Gewerbegebieten keine Naturräume oder Naturobjekte durch Streulicht angeleuchtet werden.



Eine auf einem Verkehrskreisel montierte energieautarke (durch Photovoltaik und Windkraft) LED-Leuchte beleuchtet kaum die Verkehrsfläche, zieht jedoch Insekten aus der weiten Umgebung an.

2. Möglichst geringe Lichtmenge

Der Einfluss des Lichtstroms auf Insekten ist kaum untersucht worden. *Bollinger u.a. (2019)* haben gezeigt, dass eine geringere Lichtmenge (Dimmung!) deutlich weniger Insekten anzieht. Im Sinne der Reduzierung von Lichtverschmutzung sollen in besiedelten Räumen nur geringe Lichtmengen eingesetzt werden. Wenn gemäß Norm beleuchtet wird

(was gesetzlich nicht vorgeschrieben ist), soll die Beleuchtungsklasse mit der **geringsten Leuchtdichte/Beleuchtungsstärke** gewählt werden. Bei Anstrahlungen darf die Leuchtdichte der angestrahlten Fläche nicht 2 cd/m^2 übersteigen. Im privaten Bereich sollen nur Leuchtmittel mit möglichst geringem Lichtstrom eingesetzt werden, oft sind 100 Lumen mehr als ausreichend!

3. Leuchtdauer beschränken

Eine **Reduzierung oder Abschaltung** der Beleuchtung nach Nutzungsende, besonders aber in den späten Nachtstunden (spätestens 23 Uhr) ist allein aus Energiespargründen sinnvoll. Das mag den Insekten zugutekommen, die die ganze Nacht hindurch fliegen und aktiv sind. Viele Insekten sind jedoch dämmerungsaktiv, denen eine Reduzierung spät in der Nacht nicht viel nutzt. In unserem Klima sind die meisten Insekten in den Monaten **Juni-August aktiv**, wenn die Sonne erst spät (bedingt auch durch die Umstellung auf Sommerzeit) untergeht und Beleuchtung ohnehin erst spät eingeschaltet wird. Daher ist zu überlegen, die **Beleuchtung im Sommer gleich ausgeschaltet** zu lassen.

4. Kein Streulicht

Nachaktive Insekten werden durch nicht abgeschirmte Leuchten wesentlich stärker angezogen als durch (voll) abgeschirmte. Im Einzelnen (nach *Schanowski & Späth, 1994*, und *Soneira, 2013*):

- Leuchten müssen horizontal montiert werden und dürfen nicht nach oben oder in der Horizontalen abstrahlen. Schräg montierte Leuchten locken 1,5mal mehr Insekten an.
- Wannen oder Glas-Halbkugeln locken 1,5 - 5 mal mehr Insekten an als Leuchten mit flachen Abdeckgläsern.

Die Lichtpunkthöhe sollte gering gewählt werden, doppelte Leuchtenhöhe zieht 1,5- bis 2-mal mehr Insekten an.

Keine Bodenstrahler oder freistrahrenden Leuchtmittel (z.B. Röhren) einsetzen!



Die großen leuchtenden Flächen von Kugelleuchten ziehen besonders viele Insekten an (links), während voll abgeschirmte Leuchten, die nicht seitlich abstrahlen, (rechts) kaum Insekten anziehen.

Insbesondere soll kein Licht auf Wasserflächen fallen, da ansonsten aquatische Insekten ihrem Lebens- und Fortpflanzungsraum entzogen werden. Angezogen von künstlichem Licht legen beispielsweise Schwärme von Eintagsfliegen ihre Eier auf Brücken am Main ab oder Mauerspinnen in der Hamburger Hafenstadt ernähren sich von den Insekten und verschmutzen die Hausfassaden.



Die Beleuchtung von Gewässern soll vermieden werden, um möglichst wenig aquatische Insekten anzuziehen und in ihrer Entwicklung zu stören.

5. Keine großen hellen Flächenleuchten - keine hellen Leuchtwerbeflächen

Großflächige Leuchten (Pilzleuchten, Kugelleuchten mit Mattglas) ziehen mehr Insekten an als kleine Leuchtflächen (Bollinger u.a., 2019), sie sollten daher nicht eingesetzt werden.



Eine angestrahlte Säule (links) zieht ebenso wie eine Kugelleuchte (rechts) zahlreiche Insekten an.

Großflächige Anstrahlungen von Gebäuden müssen zu den Hauptflugzeiten von Insekten in den Monaten Juni-August unbedingt vermieden werden, da es dann ohnehin erst spät dunkel wird. Das gilt besonders für den naturnahen Raum (z.B. Burgen) aber auch in besiedelten Gebieten, da dort mittlerweile die Insektenvielfalt deutlich größer und deren Schutzbedarf entsprechend höher ist (Reichholf, 2020).



Anstrahlungen in naturnahen Räumen (links: Burg im Pfälzer Wald) oder in Städten (Stuttgart) sollten wenigstens in den Sommermonaten abgeschaltet werden

6. Geringe Lichtpunkthöhen

Um eine (oft übertrieben) gleichmäßige Beleuchtung zu erreichen, werden selbst in Wohngebieten hohe Masten eingesetzt, die unvermeidlich eine große Fläche ausleuchten, wodurch Insekten aus Naturräumen angezogen werden. Deswegen sollten die Masthöhen niedrig (etwa 4 m) gehalten werden, um Streulicht in die Umgebung zu reduzieren.



Ausleuchtung einer Straße mit niedrigen Masthöhen und orangenen LED-Leuchten

7. Dichte geschlossene Leuchtengehäuse einsetzen - Keine Insektengräber!

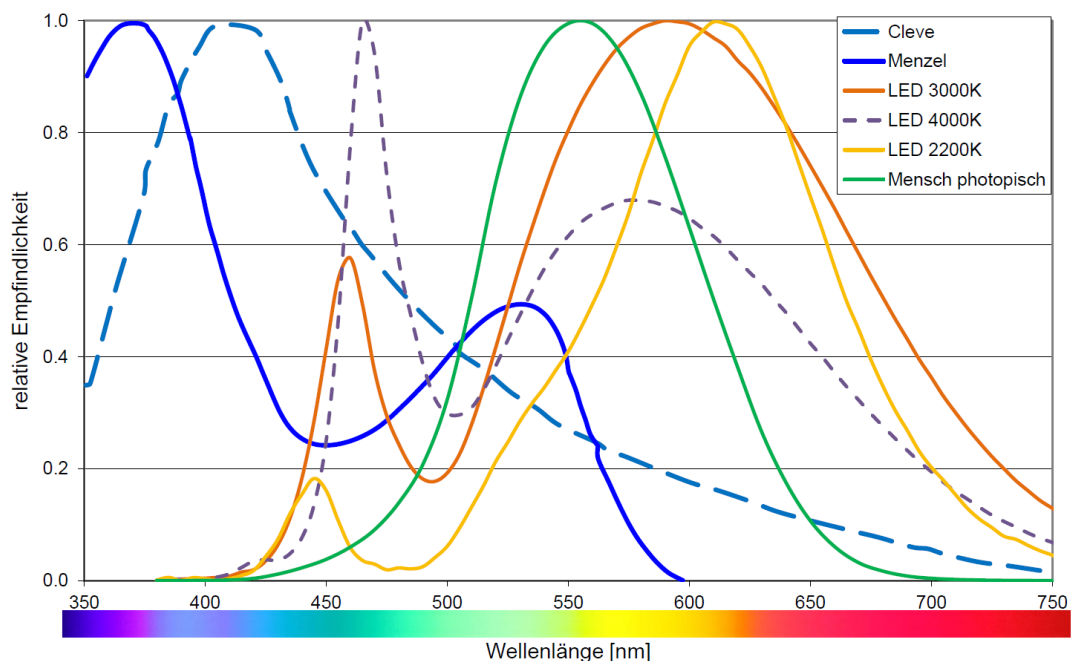
Für die Leuchtengehäuse soll mindestens die Schutzklasse IP 65 gewählt werden, die den Insekten ein Eindringen ins Innere erschwert und damit eine Verschmutzung vermeidet.



In undichten Leuchtengehäuse können Insekten eindringen und kommen darin um, da sie es nicht wieder verlassen können.

8. Auf Blauanteile im Licht verzichten

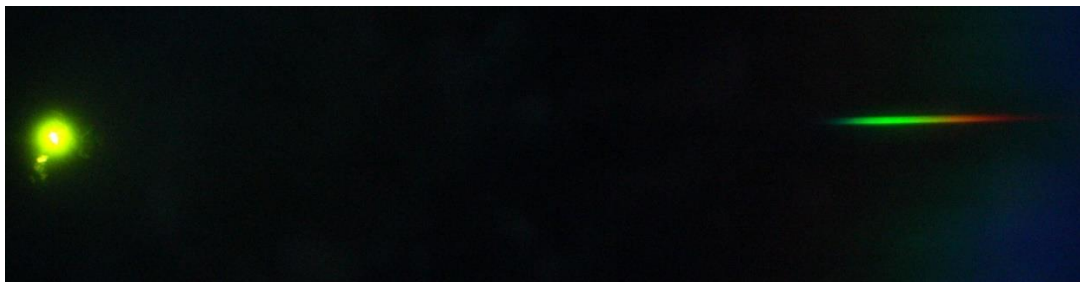
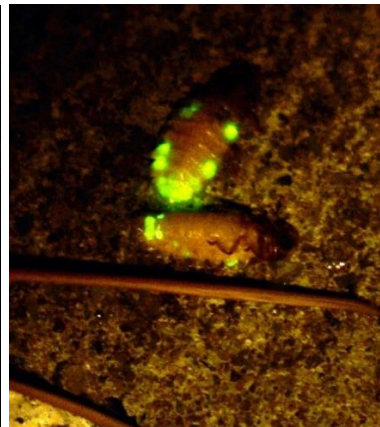
Insekten haben eine stark unterschiedliche spektrale Augenempfindlichkeit gegenüber dem Menschen, sie sehen stärker im ultravioletten/blauen Spektralbereich bis zu einer Wellenlänge von 550 nm. Allerdings gibt es hierzu recht unterschiedliche Angaben, zudem scheint die spektrale Empfindlichkeit bei verschiedenen Arten auch sehr unterschiedlich zu sein.



Normierte spektrale Empfindlichkeitsverteilung von Nachtinsekten- (Cleve, blaugrün-gestrichelt, und Menzel, blau, nach LiTG, 1997), dem menschlichen Augen (grün) und LEDs verschiedener Farbtemperaturen (2200K, 3000K, 4000K)

Der Einfluss der spektralen Empfindlichkeitsverteilung ist häufig untersucht worden, teils mit widersprüchlichen Ergebnissen:

- Quecksilberdampf-Hochdrucklampen (HQL) ziehen die meisten Insekten an, die dürfen in der EU nicht mehr gehandelt werden, entsprechend geht ihr Einsatz in der öffentlichen Beleuchtung stark zurück.
- Kompaktleuchtstofflampen (CFL) ziehen nur 25% (Unger, 2008) - 33% der Anzahl von HQL an, andererseits 50% mehr als SON (Bauer, 1993), was eigentlich dem folgenden Ergebnis widerspricht.
- Natriumdampf-Hochdrucklampen (SON) ziehen 30% (Unger) - 45% der Anzahl von HQL-Lampen an (Eisenbeis, 2000, 2013)
- Natrium-Xenondampf-Hochdrucklampen ziehen noch 76% der Anzahl von HQL an (Eisenbeis)
- Unpublizierte Daten von Unger deuten auf 30 % (damit wie SON) bis 66% (blaue MHD) Insektenfänge gegenüber der HQL. Unger hat dabei auf identische Leuchtstärke aller Lampen geachtet.
- Metall-Halogenlampen (MHD) ziehen etwa 3mal mehr Insekten an als 4000 K LED (Soneira, 2013).
- Die Ergebnisse von Huemer u.a. (2010/11) bestätigte im Wesentlichen die Ergebnisse von Eisenbeis, dass LED deutlich weniger Insekten anziehen. Vermutlich wurden diese Lampen pulsweitenmoduliert gedimmt, was ebenfalls zu geringerem Anflug führen dürfte (s.u.).
- Die niedrigste Attraktivität haben offenbar Natriumdampf-Niederdrucklampen, die nur 4% der Insekten gegenüber einer HQL-Lampe anziehen, das beruht allerdings auf Fangraten nur einer Nacht (Schanowski, 1994)
- PCAmber (1800-2200 K) ziehen weniger tropische Insekten an als 2700 K gefilterte oder 3000 K LED (Deichmann u.a., 2021)
- PCAmber stört am meisten die Partnersuche von Glühwürmchen (Owens & Lewis, 2021)
- UV (v.a. Leuchtstoffröhren und Kompakt-) und Blauanteile sollen vermieden werden (Laborexperimente mit Insekten) (Brehm u.a., 2021).
- Niedrige Beleuchtungsniveaus (800 lm) in Vorort: LED (3000 und 5000 K) zieht weniger Insekten an als CFL, Halogen und Glühlampe (!) (Justice & Justice, 2017, Wakefield u.a., 2016).
- Bollinger u.a.(2020), van Grunsven u.a. (2020) u.a., finden keine Hinweise darauf, dass warmweißes Licht weniger Insekten anzieht als kaltweißes, vermutlich durch Gewöhnungseffekte.
- Neuere Untersuchungen von Bollinger u.a. (z.B. ALAN 2021) deuten darauf hin, dass PCamber-LED deutlich weniger Insekten anziehen als 3000 oder 4000 K-LED.



Glühwürmchen senden nur ein grün-gelb-rotes Spektrum (unten rechts) aus und reagieren nur darauf!

Zusammenfassend scheinen warmweiße Leuchtmittel mit geringen Blauanteilen (Farbtemperatur unter 3000 K, besser bis 2200 K) weniger Insekten anzuziehen als neutral- oder kaltweiße Leuchtmittel. Da es aber auch andere Ergebnisse gibt, sollte die Lichtfarbe nicht der einzige und wichtigste Grund zur Reduzierung der Insektenanziehung an künstliches Licht sein! Glühwürmchen werden jedoch grade durch gelbes Licht angezogen, daher sollten deren Lebensräume im Juni und Juli möglichst nicht oder nur stark reduziert beleuchtet werden.

9. Flackerndes Licht vertreibt Insekten

Zur Steuerung des Lichtstroms wird das Prinzip der Pulsweitenmodulation (PWM) eingesetzt, mit hohen Frequenzen, die das menschliche Auge normalerweise nicht erfassen kann. Oft ist jedoch nicht bekannt, wie eine Dimmung bei einer Leuchte erfolgt, ob PWM eingesetzt wird oder ein anderes Verfahren. Insekten reagieren auf ein höherfrequentes Flackern und fliegen solche flackernden Lichtquelle weniger an. *Inger et al (2014)* haben in einer Literaturstudie gezeigt, dass für viele Insekten die kritische Flickerfrequenz (CFF) bei 200 Hz (beim Menschen 50 Hz) liegt. Teilweise werden LED mit PWM von 900 Hz betrieben, was Insekten nicht beeinträchtigen sollte. *Barroso u.a. (2015)* zeigten, dass mit 120 bzw. 240 Hz PWModulierte LEDs ca. 1/3 weniger Insekten anziehen, als bei Konstantlicht.

Fazit: Um Insekten nicht zu beeinflussen, sollte Licht konstant leuchten oder mit hoher Frequenz moduliert werden.



Zahlreiche Insekten kreisen um eine helle Fußballstadium-Beleuchtung und sind als Lichtspuren auf dem Foto zu erkennen, die durch die 50 Hz Netzfrequenz unterbrochen sind.

Dr. Andreas Hänel, Fachgruppe Dark Sky, ahaenel@uos.de
Sabine Frank, Sternenpark Rhön, Sabine.Frank@landkreis-fulda.de

Literatur:

- Barroso, A., Haifig, I., Janei, V., da Silva, I., Dietrich, C., Costa-Leonardo, A.M., 2017. Effects of flickering light on the attraction of nocturnal insects. *Light. Res. Technol.* 49, 100–110
- Bollinger, J. und Haller, J.: planBAR? Smart Light – Bei grosser Planung auch das Kleine sehen, Forum für Wissen 2019, 11-14
- Bolliger, J., Hennet, T., Wermelinger, B. *et al.* Low impact of two LED colors on nocturnal insect abundance and bat activity in a peri-urban environment. *J Insect Conserv* 24, 625–635 (2020).
- Brehm G, Niermann J, Jaimes Nino LM, Enseling D, Jüstel T, Fiedler K (2021) Moths are strongly attracted to ultraviolet and blue radiation. *Insect Conservation and Diversity* 14:188–198.
- Carannante, D, Blumenstein, CS, Hale, JD, & Arlettaz, R. LED lighting threatens adult aquatic insects: Impact magnitude and distance thresholds. *Ecol Solut Evidence*. 2021; 2:e12053.
- Deichmann, J.L., Ampudia Gatty, C., Andía Navarro, J.M., Alonso, A., Linares-Palomino, R. & Longcore, T. (2021) Reducing the blue spectrum of artificial light at night minimizes insect attraction in a tropical lowland forest. *Insect Conservation and Diversity*, 14, 247– 259.
- Eisenbeis, G., Hänel, A.: Light Pollution and the impact of artificial night lighting on insects, in: McDonnell u.a.: Ecology of Cities and Towns, Cambridge, 2009, 243
- Eisenbeis, G., Hasselt, Zur Anziehung nachtaktiver Insekten durch Straßenlaternen, Natur und Landschaft, 2000, Heft 4, 145
- Eisenbeis, G. (2013): Insekten und künstliches Licht, in Posch, T. u.a. Das Ende der Nacht², Wiley-VCH, Weinheim
- Grubisic, M., van Grunsven, R.H.A., Kyba, C.C.M., Manfrin, A. & Hölker, F. (2018) Insect declines and agroecosystems: does light pollution matter? *Annals of Applied Biology*, 173, 180– 189.
- Hallmann, C. A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., ... de Kroon, H. (2017). More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS One*, 12, e0185809.
- Huemer, P., Kühtreiber, H., & Tarmann, G.M. (2010) Anlockwirkung moderner Leuchtmittel auf nachtaktive Insekten – Ergebnisse einer Feldstudie in Tirol (Österreich).
- Huemer, P., Kühtreiber, H., & Tarmann, G.M. (2011) Anlockwirkung moderner Leuchtmittel auf nachtaktive Insekten – Feldstudie 2011, Tirol (Österreich).
- Inger, R., Bennie, J., Davies, T.W., Gaston, K.J., 2014. Potential biological and ecological effects of flickering artificial light. *PLoS One* 9, e98631.
- Justice, M.J. & Justice, T.C. (2016) Attraction of insects to incandescent, compact fluorescent, halogen, and LED lamps in a light trap: implications for light pollution and urban ecologies. *Entomological News*, 125, 315– 327.
- LiTG: Zur Einwirkung von Außenbeleuchtungsanlagen auf nachtaktive Insekten, Berlin, 1997
- Owens, A.C.S. & Lewis, S.M. (2018) The impact of artificial light at night on nocturnal insects: a review and synthesis. *Ecology and Evolution*, 8, 11337– 11358.
- Owens, A., Cochard, P., Durrant, J., Perkin, E. & Seymoure, B. (2020) Light pollution is a driver of insect declines. *Biological Conservation*, 241, 108259.
- Reichholf, J.: Niedergang der Insekten, Biol. In unserer Zeit 5/2020, 346
- Scheibe, M.A.. 2003: Über den Einfluss von Straßenbeleuchtungen auf aquatische Insekten, Natur und Landschaft 78, 264
- Schroer u.a., 2019: Leitfaden zur Neugestaltung und Umrüstung von Außenbeleuchtungsanlagen Anforderungen an eine nachhaltige Außenbeleuchtung, BfN-Skript 543, 2019:
- Soneira, M. Auswirkungen auf die Insekten-Fauna durch die Umrüstung von Kugelleuchten auf LED-Beleuchtungen, Wien 2013
- Schanowski, A., Späth, V.: Überbelichtet, ILN/NABU, 1994
- C. Unger, Stadt Wien, zit. nach W. Doppler, The Plight with Light (Vortrag Wien 2008)
- van Grunsven, R.H.A. van Deijk, Donners, J.R.M., Berendse, F. Visser, M.E., Veenendaal, E., Spoelstra, K. 2020: Experimental light at night has a negative long-term impact on macro-moth populations, *Current Biology*, Volume 30, Issue 12, 2020, R694-R695,
- Wakefield, A., Broyles, M., Stone, E. L., Jones, G., & Harris, S. (2016). Experimentally comparing the attractiveness of domestic lights to insects: Do LEDs attract fewer insects than conventional light types? *Ecology and Evolution*, 6, 8028–8036.

Anhang: Lampen

Quecksilberdampf-Hochdrucklampen (HQL, HME)

haben intensive Emissionslinien im UV-/Blaubereich, deren schädliche Wirkung auf das menschliche Auge schon lange bekannt ist, das aber durch die spektrale Transmission der meisten Glaskolben reduziert wird. Insektenaugen sind für den UV-/Blau-Spektralbereich aber besonders empfindlich, weshalb sie auf diese Lichtquellen bevorzugt zufliegen. Wegen des enthaltenen Quecksilbers und der geringen Energieeffizienz ist der Handel mit den Lampen in der EU verboten.

(Kompakt-)Leuchtstoffröhren (CFL, TC)

sind eigentlich Quecksilberdampf-Niederdrucklampen. Die erzeugte ultraviolette Strahlung wird durch Fluoreszenz-Stoffe an der Glasröhre in sichtbares Licht umgewandelt, die UV-/blauen Emissionslinien sind aber gut erkennbar. Durch unterschiedliche Fluoreszenz-Stoffe sind sehr unterschiedliche Farbtöne erzielbar. Diese Lampen ziehen Insekten stark an, wenn auch etwas geringer als Quecksilberdampf-Hochdrucklampen.

Halogen-Metallampen (HQL/HCI, CDM, HRI)

sind Quecksilber-Hochdruckdampfampeln, denen andere Halogengase beigemischt sind, um ein möglichst weißes Licht zu erzeugen. Oft haben sie relativ große Blauanteile.

Natriumdampf-Hochdrucklampen (NAV, HSE, SON)

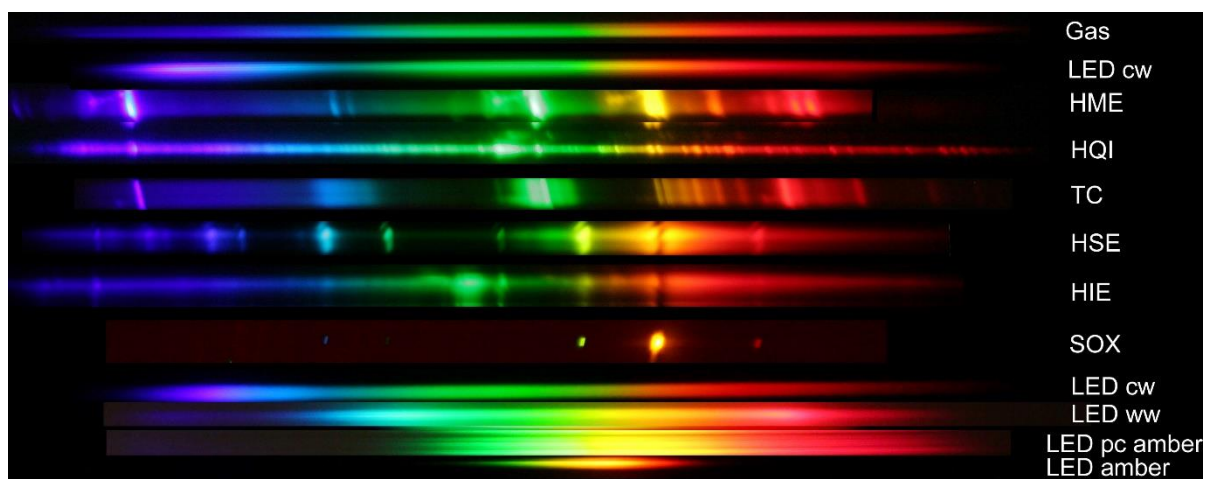
Durch den hohen Druck wird die gelbe Natriumlinie ins Gelbe und Rote verbreitert, während die Natriumlinie selbst in Absorption erscheint. Die Lampen haben einen geringen Blauanteil, weswegen sie schon immer als insektenfreundlich gelten.

Natriumdampf-Niederdrucklampen (SOX)

erzeugen das streng monochromatische Licht der gelben Natriumlinie. Sie erreichen die höchste Effizienz, das monochromatische Licht verursacht jedoch eine schlechte Farbwiedergabe. Ihre Produktion wurde leider eingestellt.

LED

LEDs werden mit unterschiedlichen Farbwiedergaben erzeugt. Kalt- oder neutralweiße (cw) haben hohe Blauanteile, die bei warmweißen (ww) geringer sind. Bei gelben (PCamber oder amber) LED ist der Blauanteil sehr gering.



Spektren verschiedener Lampen