

ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN
DEPARTMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT
INSTITUT FÜR UMWELT UND NATÜRLICHE RESSOURCEN



Raumnutzungsverhalten der Larve des Grossen Glühwürmchens

Lampyris noctiluca

Bachelorarbeit

von **Lorenz Achtnich**

Bachelorstudiengang 2016

Abgabedatum: 09. Januar 2020

Studienrichtung Umweltingenieurwesen

Fachkorrektoren:

Stefan Ineichen (Dozent ZHAW, Naturschutz und Stadtökologie)

Matthias Riesen (Wissenschaftlicher Mitarbeiter ZHAW, Forschungsgruppe Umweltplanung)

Impressum

Kontakt: achtnichlorenz@gmail.com

Schlagworte: *Lampyris noctiluca*, Raumnutzung, Larve

Zitervorschlag: Achtnich, L. (2020). Raumnutzungsverhalten der Larve des Grossen Glühwürmchens *Lampyris noctiluca*. Bachelorarbeit (unveröffentlicht). Wädenswil. Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Adresse des Instituts: Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen
Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
Grüntalstrasse 14, Postfach
8820 Wädenswil.

Titelbild: Larve des Grossen Glühwürmchens im Wehrenbachtobel (Bild: Lorenz Achtnich)

Zusammenfassung

Über das Raumnutzungsverhalten und die Mobilität der Larven des Grossen Glühwürmchens (*Lampyrus noctiluca*) ist noch wenig bekannt. Für das Verständnis der räumlichen Verteilung sind Informationen bezüglich des Verhaltens der Larven von grosser Bedeutung, insbesondere weil der überwiegende Teil des mehrjährigen Entwicklungszyklus von der Larvenphase eingenommen wird. Aus diesem Grund wurde ein Feldversuch mit markierten Larven durchgeführt. Auf dem ehemaligen Schiessplatz Rehalp auf dem Stadtgebiet von Zürich wurden zwei Untersuchungsflächen (25 m² und 288 m²) eingerichtet. Während 28 Untersuchungs Nächten konnten innerhalb der Untersuchungsflächen 90 Larven markiert und deren Fundkoordinaten notiert werden. Für die Markierung wurden nummerierte Plättchen, welche mit unter Schwarzlicht fluoreszierender Farbe bemalt wurden, verwendet. Insgesamt konnten 361 Larvenfunde (Erst- und Wiederfunde) erfasst werden. 85.6 % der markierten Larven konnten wiedergefunden werden. Anhand der Wiederfundkoordinaten konnten die Bewegungen der Larven nachverfolgt werden und die genutzte Fläche anhand des Minimum-Konvex-Polygons abgeschätzt werden. Der Median des Aktionsraums der Larven liegt für den Untersuchungszeitraum bei rund vier Quadratmetern. Die mittlere zurückgelegte Strecke pro Nacht liegt bei 153 cm. Weiter wurde die Larvendichte geschätzt und mit dem Resultat von knapp einer Larve pro Quadratmeter konnte das Resultat einer früheren Untersuchung im Gebiet bestätigt werden.

Weiter zeigt sich anhand der Bewegungen der Larven eine klare Präferenz für Bereiche mit lückiger Vegetation und starker Streuschicht. In den Randbereichen dichter Vegetationsgruppen konnten besonders viele Larvenbeobachtungen gemacht werden. Das Markieren der Larven mit unter Schwarzlicht fluoreszierender Farbe erleichterte das Wiederfinden der Larven ausserordentlich. Die speziell für diesen Versuch entwickelte Art der Markierung hat sich bewährt und kann für ähnliche Feldversuche empfohlen werden.

Die Riedfläche und die umgrenzenden Waldränder beheimaten eine starke Population des Grossen Glühwürmchens. Das Gebiet würde sich auch für weiterführende Untersuchungen anbieten. Nicht zuletzt wegen der starken Population des Grossen Glühwürmchens ist das Gebiet schützenswert.

Abstract

Little is yet known about the mobility and space-utilisation behaviour of the larvae of the common glow-worm (*Lampyrus noctiluca*). For the understanding of the spatial distribution, information on the behaviour of the larvae is of great importance, especially since the larval phase covers the major part of the perennial development cycle. Therefore, a field test with marked larvae was carried out. Two study areas (25 m² and 288 m²) were set up on the disused shooting range Rehalp in the Southeast of Zurich. During 28 investigation nights, 90 larvae could be marked within the study areas and their finding coordinates were noted. Numbered plates, coated with paint that fluoresces under black light, were used for marking. A total of 361 larvae (marking and recapture) could be recorded. 85.6 % of the marked larvae were found again.

Using the coordinates, the movements of the larvae could be traced and the area used could be estimated using the minimum-convex polygon. The median of the larval home range is about four square meters. The average distance covered per night is 153 cm. Furthermore, the larval density was estimated and with the result of almost one larva per square meter, the result of an earlier investigation in the area could be confirmed.

Furthermore, the movements of the larvae show a clear preference for areas with partial vegetation and a strong litter layer. In the peripheral areas of dense vegetation groups, many larval observations could be made. The marking of the larvae with paint fluorescent under black light facilitated the retrieval of the larvae extraordinarily. The method of marking developed especially for this experiment has proven to be very effective and can be recommended for similar field experiments.

The reed area and the surrounding forest edges are home to a large population of the common glow-worm. The area would also be suitable for further investigations. Last but not least, the area is worth protecting due to the large population of the common glow-worm.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
2	Theoretische Grundlagen.....	8
2.1	Das Grosse Glühwürmchen (<i>Lampyrus noctiluca</i>).....	8
2.1.1	Larve	9
2.1.2	Weibliche Imagines.....	9
2.1.3	Männliche Imagines.....	10
2.2	Markieren von Insekten	10
2.3	Sehvermögen und Lichtsensibilität von Glühwürmchen.....	11
2.4	Larvenstadien und Grössenklassen.....	13
3	Material und Methoden.....	15
3.1.1	Untersuchungsgebiet.....	15
3.1.2	Wahl der Untersuchungsfläche.....	17
3.1.3	Untersuchungsfläche	18
3.2	Erarbeitung der Methode zur Markierung der Larven.....	19
3.3	Datenerhebung im Feld	21
3.4	Lux-Messung.....	22
3.5	Vegetationsaufnahme.....	22
3.6	Verwendete Materialien	23
3.7	Populationsschätzung	24
3.8	Auswertung der Daten.....	24
4	Ergebnisse.....	25
4.1	Allgemeines zu den erhobenen Daten.....	25
4.1.1	Markierte Larven und Wiederfänge.....	25
4.1.2	Anzahl Larvenfunde pro Nacht.....	26
4.1.3	Zeitliche Verteilung der Larvenfunde.....	26

4.1.4	Wetterdaten	27
4.2	Einteilung in Grössenklassen.....	28
4.3	Raumnutzung.....	29
4.4	Populationsgrösse.....	35
4.5	Vegetation.....	36
4.6	Lux-Messung	37
5	Diskussion	38
5.1	Eignung der Methodik.....	38
5.2	Gewonnene Daten und Resultate	40
5.3	Populationsgrössenschätzung.....	43
6	Schlussfolgerungen	44
7	Literaturverzeichnis	45
8	Abbildungsverzeichnis.....	51
9	Tabellenverzeichnis.....	54
	Anhang.....	I

1 Einleitung

Das Grosse Glühwürmchen (*Lampyris noctiluca*) ist eine von vier Leuchtkäferarten, die in der Schweiz heimisch sind. Das auffällige, namensgebende Leuchten der Weibchen verschafft dem Insekt während der Sommermonate für kurze Zeit Aufmerksamkeit des Menschen. Leuchtkäfer gelten als Sympathieträger und werden bei der Umweltbildung wegen ihrer Attraktivität gerne herangezogen, um für Naturschutzthemen zu sensibilisieren. Zusätzliche Bekanntheit hat das Grosse Glühwürmchen im Jahr 2019 als Pro Natura «Tier des Jahres» erlangt (Pro Natura, 2019). Trotz der Bekanntheit wird das Grosse Glühwürmchen bei der Naturschutzarbeit noch zu wenig berücksichtigt (Ineichen, 2004).

Forschungsarbeiten aus der Schweiz und anderen europäischen Ländern weisen darauf hin, dass sich das Grosse Glühwürmchen als Bioindikator für ganz bestimmte Parameter eignet. Es scheint ein Zeiger für «gut strukturierte Räume mit hoher Diversität und guter Vertretung seltener und gefährdeter Arten» darzustellen, so Ineichen (2004). Populationen des Grossen Glühwürmchens kommen meist lokal und lediglich in Habitaten mit hoher Qualität vor (Tyler, 2002). Negativ wirken sich der Verlust von Kleinstrukturen, Fragmentierung, Eutrophierung, Bodenverdichtung, Pestizide (insb. Insektizide und Molluskizide) und die Lichtverschmutzung aus (Tyler, 2002). Das Grosse Glühwürmchen ist in der Schweiz nicht auf der Roten Liste der gefährdeten Arten aufgeführt (Cordillot & Klaus, 2011). Eine Rote Liste der Familie der Leuchtkäfer (Lampyridae) fehlt gänzlich.

Forschung zu Leuchtkäfern begann in Europa bereits vor Jahrzehnten (De Cock, 2009). Nichts desto trotz scheint die Forschung auf anderen Kontinenten zu Verhalten und Ökologie heute weiter zu sein. Für das Grosse Glühwürmchen ist in Bezug auf Mobilität und Raumnutzung des Imaginalstadiums einiges bekannt. Für die Larven liegen in dieser Hinsicht jedoch kaum Kenntnisse vor. Da sich der grösste Anteil des mehrjährigen Lebenszyklus des Grossen Glühwürmchens während der Larvenphase abspielt, ist es von entscheidender Bedeutung, Kenntnis und Verständnis des Verhaltens der Larven zu erlangen. Insbesondere fehlen Feldbeobachtungen zur Fortbewegungsgeschwindigkeit und zum Aktionsradius der Larven.

In dieser Arbeit wurde das Raumnutzungsverhalten der Larven des Grossen Glühwürmchens im Freiland untersucht. Während die Weibchen des Grossen Glühwürmchens aufgrund ihrer Glühaktivität vergleichsweise einfach aufzuspüren sind und sich männliche Imagines mit Lichtfallen fangen lassen, sind die Larven nur mit erhöhtem Aufwand zu finden. Das ist wohl auch der Grund, wieso noch wenig über das Raumnutzungsverhalten der Larven bekannt ist. Wegweisende Arbeiten zum Grossen Glühwürmchen in deutscher Sprache von Hans Schwalb (1960) und Elke Wunsch (1990) stellen die theoretische Grundlage dieser Arbeit dar. Im Theorieteil werden die für das Gelingen des Feldversuchs relevanten Themen angesprochen. Es sind das neben der Biologie und Ökologie des Grossen Glühwürmchens auch eine Übersicht darüber, wie Insekten markiert werden können, die Lichtsensibilität von Glühwürmchen und die Einteilung der Larven in Grössenklassen nach Schwalb (1960) und Wunsch (1990).

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Das Grosse Glühwürmchen (*Lampyris noctiluca*)

Das Grosse Glühwürmchen ist ein Insekt, genauer gesagt ein Käfer der Familie der Leuchtkäfer. Weibchen, Männchen und Larve sehen nicht gleich aus (Tyler, 2002). Während die Männchen mit Flügeln ausgestattet sind und eher dem gemeinhin gültigen Bild eines Käfers ähneln, sind die Weibchen und die Larven flugunfähig und wurmähnlich (Abb. 1). Das Grosse Glühwürmchen ist über weite Teile Eurasiens, von Spanien bis Sibirien verbreitet (Tyler, 2002). In der Schweiz kommt es sowohl auf der Alpensüd- wie auch auf der Alpennordseite vor und ist bis in Höhenlagen von 2200 Meter über Meer anzutreffen (Verein Glühwürmchen Projekt, o. J.). Zu finden ist das Grosse Glühwürmchen in gut strukturierten Lebensräumen, welche vielfach an Übergangsstellen zwischen Kraut- und Gehölzschicht zu finden sind. Schwalb (1960) beschreibt, dass Populationen des Grossen Glühwürmchens oft im Einflussbereich von Wald- oder waldähnlicher Umgebung (z.B. Parkanlagen, Friedhöfe oder Feldgehölze) zu finden sind. Wunsch (1990), Bongardt (1904) und Verhoeff (1924) beschreiben Ähnliches und weisen darauf hin, dass die Männchen, Weibchen und Larven unterschiedliche Ansprüche an ihren Lebensraum haben. Im Allgemeinen beschreibt Tyler (2002) zwei Hauptcharakteristiken, welche einen idealen Lebensraum für Glühwürmchen ausmachen: Struktur und Erreichbarkeit. Weiter beschreibt er eine Affinität der Käferart zu Wasser und vernässten Stellen wie Riedflächen und Teichufer. Jedoch kommt die Art auch in Trockenwiesen und an Bahnböschungen vor. Die Larven ernähren sich von Schnecken, wobei sie keinen Unterschied zwischen Gehäuse- und Nacktschnecken machen. Die Larven können Beute, welche doppelt so lang ist wie sie selbst, überwältigen. Adulte Tiere nehmen keine Nahrung mehr zu sich (Tyler, 2002). Weibliche Imagines leben normalerweise maximal zirka zwei Wochen. Tyler (2002) konnte ein Exemplar in 23 aufeinander folgenden Nächten beobachten. Männliche Tiere, welche kurz nach der Paarung sterben, haben eine ähnliche Lebenserwartung. Riesen (2005) konnte in seiner Arbeit zur Flugaktivität bei einem Männchen eine Lebensdauer von mindestens 27 Tagen feststellen. Nachfolgend werden Männchen, Weibchen und Larven kurz portraitiert und deren Ansprüche an den Lebensraum aufgezeigt.

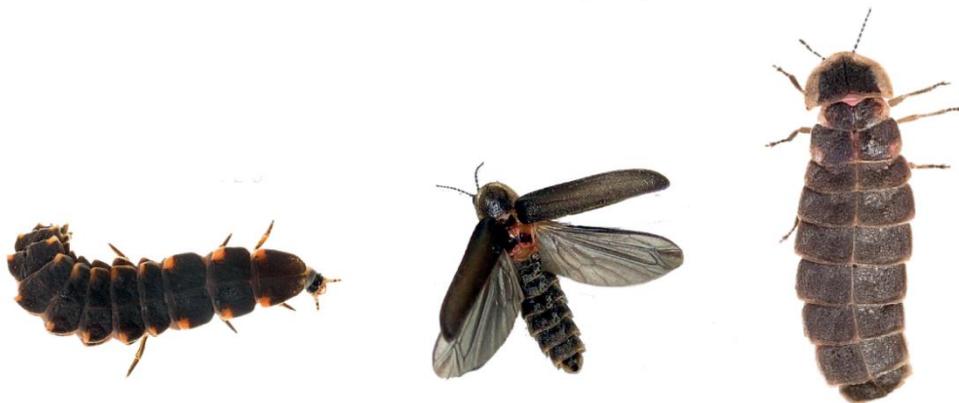


Abb. 1: Larve, Männchen und Weibchen des Grossen Glühwürmchens v.l.n.r. (Bilder: Marc Pihed, Olavi Niemi und Paul van Hoof)

2.1.1 Larve

Nach rund einem Monat im Ei schlüpfen die Larven. Nach dem Schlupf sind sie lediglich fünf Millimeter lang, sind jedoch schon als Juvenilstadium eines Glühwürmchens zu erkennen (Schwalb, 1960, Tyler, 2002). Die typische matt-schwarze Farbe und die zwei gelb-orangen Punkte, welche jedes der 13 Segmente zieren, geben der Larve ihr unverwechselbares Aussehen. Dieses charakteristische Erscheinungsbild verändert die Larve während ihrer ganzen Lebensphase nur geringfügig. Jedoch Grösse und Gewicht verändern sich stark. Die Larve wächst während rund 35 Monaten bis zu ihrer Verpuppung auf gut 20 Millimeter heran und wiegt rund das Dreihundertfache ihres Ursprungsgewichts. Dabei häutet sie sich diverse Male. Wegen der langen Entwicklungszeit verbringen die Larven mehrere Winterruhen. Die Larven haben die Fähigkeit, mit zwei punktförmigen Leuchtorganen am Ende des Abdomens ein diffuses, gelb-grünes Licht zu produzieren. Bei Störung, aber auch ohne erkennbaren Grund leuchten die Larven für zirka vier Sekunden auf. Schwalb (1960) beschreibt, dass der Beginn und das Ende des Blitzes willkürlich zu sein scheinen. Laut Schwalb spricht dafür, «dass bei Berührung eines gerade aufblitzenden Tieres das Leuchten augenblicklich aufhört (nicht immer dadurch bedingt, dass die Larve sich nach Berührung oder Erschütterung fallen lässt, sodass die ventral gelegenen Leuchtorgane unsichtbar werden)». Für Tyler (2002) und Wunsch (1990) ist eine mögliche Erklärung, dass das Aufblitzen eine Art Warnsignal für Fressfeinde sein könnte. Die Ansprüche der Larven an den Lebensraum sind:

- Hohe Abundanz von Beutetieren (Schnecken)
- Habitat mit vielen Strukturelementen als Rückzugsmöglichkeit
- Geeignete Bereiche zur Überwinterung (starke Streuschicht o.ä.)

2.1.2 Weibliche Imagines

Das Weibchen ähnelt in seinem Aussehen der Larve. Es hat ebenfalls einen segmentierten Körper und ist flugunfähig. Der auffälligste Unterschied ist das Fehlen der gelb-orangen Punkte auf den Segmenten (Tyler, 2002). Wie die Larven erzeugen auch die Weibchen ein gelb-grünes Licht. Jedoch kommen zu den beiden punktförmigen Leuchtorganen, welche das Imago mit der Larve teilt, noch zwei weitere, grössere und bandförmige Leuchtorgane dazu. Das Licht wird dadurch intensiver. Die Weibchen leuchten zudem viel ausdauernder als die Larven. Sie suchen sich eine exponierte Stelle und beginnen kurz nach Einbruch der Dunkelheit zu leuchten. Sobald die Weibchen begattet werden, leuchten sie nicht mehr. Tyler (2002) beschreibt, dass bereits nach der ersten Nacht 43 % der Weibchen begattet sind. Dass die Begattung dermassen schnell stattfindet, liegt wohl daran, dass die Imagines keine Nahrung mehr zu sich nehmen und ihr Leben als adulte Tiere ein Lauf gegen die Zeit ist (Tyler, 2002). Die Ansprüche der Weibchen an den Lebensraum sind:

- Exponierte Stellen am Vegetationsrand oder an Kleinstrukturen
- Sonnenexponierte Stellen für die Eiablage

2.1.3 Männliche Imagines

Männchen des Grossen Glühwürmchens können im Gegensatz zu den Larven und den weiblichen Imagines nicht leuchten. Sie besitzen Flügel und auffallend grosse Augen (Booth, 2004). Mit letzteren erkennen sie die Leuchtsignale der Weibchen (vgl. Sehvermögen und Lichtsensibilität von Glühwürmchen). Auf der Suche nach Weibchen überfliegen sie die Vegetation meist in ein bis zwei Metern Höhe. Die fliegenden Männchen sind auf Fressfeinde wie Webspinnen anfällig. Eine grössere Beeinträchtigung scheint jedoch die menschenverursachte Lichtverschmutzung durch Kunstlicht (Strassenbeleuchtung o.ä.) zu sein (Ineichen & Rüttimann, 2012). Die Ansprüche der Männchen an den Lebensraum sind:

- Offene Vegetation, um fliegen zu können (Lichtung, Waldrand o.ä.)
- Günstige Lichtverhältnisse

2.2 Markieren von Insekten

Es existieren bereits viele Methoden, um die Bewegungen von Tieren nachverfolgen zu können. Bei vielen Arten sind Tiere als Individuen zu erkennen. So ist die Fellmusterung der Luchse, die Bauchmusterung der Gelbbauchunke oder die Flügelunterseite der Wespenbussarde wie eine Art Fingerabdruck und bei jedem Individuum anders (van Bergen, 2019; Jacob, Scheel & Buschmann, 2009; Kora, 2012). Wo Individuen nicht zu erkennen sind, werden die Tiere markiert. So werden beispielsweise Vögel beringt oder besendert, um das Zugverhalten nachvollziehen zu können. Für grosse Säugetiere wie Bären oder Wölfe, wurden Senderhalsbänder entwickelt, mit welchen anhand von GPS-Loggern das Raumnutzungsverhalten der Tiere nachvollzogen werden kann. Je kleiner das Tier, desto leichter sollte auch der Sender, respektive die Markierung sein. Für Insekten bedeutet das vielfach, dass die Technik zu schwer oder zu gross ist, um vom Tier getragen zu werden. Doch in diesem Bereich finden grosse Fortschritte statt. Um dem Bienensterben auf den Grund zu gehen, wurden Sensoren entwickelt, welche lediglich 5.4 Milligramm wiegen (Abb. 3). Die Sensoren registrieren die Bewegungen der Honigbienen (*Apis mellifera*) und liefern exakte Bewegungsmuster (Süddeutsche Zeitung, 2015). Solche GPS-Logger sammeln enorme Datenmengen und lassen sehr präzise Aussagen zur Raumnutzung zu. Für Insekten hat sich die seit langer Zeit genutzte Farbmarkierung bewährt, welche auch heute noch häufig zum Einsatz kommt. Beispiele dafür finden sich in diversen Publikationen, in welchen das Raumnutzungsverhalten oder Wanderbewegungen untersucht wurden. So wurden Admirale (*Vanessa atalanta*) farbmarkiert, um ihre Wanderung durch Europa nachverfolgen zu können (Abb. 2) und die Lebensraumzerschneidung anhand der Raumnutzung des Libellen-Schmetterlingshaft (*Libelloides cocajus*) untersucht (Müller, Schlegel & Krüsi, 2013; Naturwissenschaften Schweiz, 2016). Ähnliche Projekte gibt es auch mit diversen anderen Insektenarten. Es wurden weitere Arbeiten zu Libellen, Wildbienen, Laufkäfer, Schwebfliegen und Heuschrecken gefunden. Vielfach kommen wasserfeste Lackstifte (edding 1200 o.ä.) oder verdünnter Nagellack (1:5 verdünnt mit Aceton) zum Einsatz. Auch für Leuchtkäfer scheint die Farbmarkierung die am häufigsten verwendete Methode zu sein. Wunsch

(1990) nutzte weissen TipEx-Farbstoff, weil dieser einen starken Kontrast zur Larvenfarbe aufweist. Riesen (2005) verwendete für das Markieren von männlichen Grossen Glühwürmchen einen goldfarbenen Marker (edding 751) und Tyler (2002) klebte den Larven nummerierte Plastikplättchen auf den Halsschild.



Abb. 2: Markierter Admiral (*Vanessa atalanta*).
(Bild: Christoph Fischer)



Abb. 3: Honigbiene mit sehr leichtem Sensor auf dem Thorax.
(Bild: Csiro)

2.3 Sehvermögen und Lichtsensibilität von Glühwürmchen

Owens und Lewis (2018) beschreiben in ihrer Metastudie bezüglich des Einflusses von künstlichem Licht auf nachtaktive Insekten wie sich deren Sehvermögen im Lauf der Evolution entwickelt und verändert hat. Je nach Spezialisierungsgrad der Insekten auf eine ökologische Nische passte sich evolutionsbedingt auch die Ausprägung der Fotorezeptoren an. So haben beispielsweise tagaktive Insekten wie Schmetterlinge und Libellen ein eher ausgeprägtes Sehvermögen und erkennen Farben. Im Gegensatz dazu haben viele nachtaktive Insekten wie Leuchtkäfer und Nachtfalter ein verringertes Farbsehvermögen. Am Beispiel der Honigbiene (*Apis mellifera*) und *Photinus pyralis*, einer in Nordamerika weit verbreiteten Leuchtkäferart, zeigen Owens und Lewis (2018 nach Lall, Chapman, Truth & Holloway (1980)) die unterschiedliche Sensibilität für Lichtspektren. In der nachfolgenden Grafik lässt sich die Fähigkeit des Leuchtkäfers ablesen, Licht mit einer Wellenlänge um 600 Nanometer (nm) wahrzunehmen (Abb. 4).

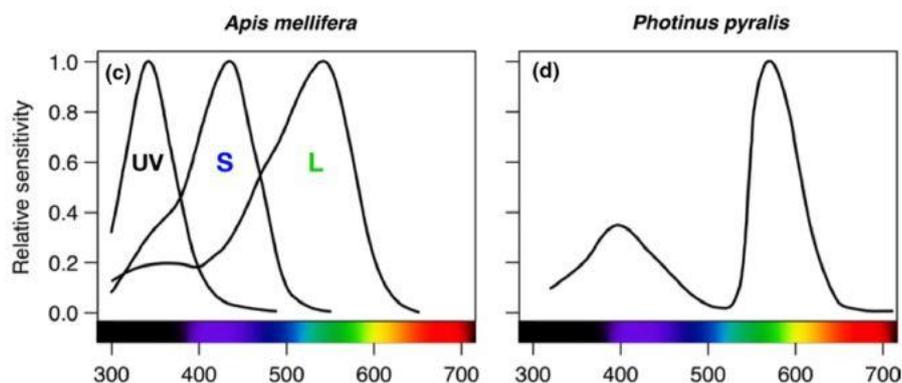


Abb. 4: Sensibilität der Fotorezeptoren von *Apis mellifera* und *Photinus pyralis* im Bezug auf die Wellenlänge des Lichts
(Grafik: Owens und Lewis, 2018).

Das macht insofern Sinn, als dass auch das von Leuchtkäfern produzierte Licht meist in diesem Wellenlängenbereich liegt. So verhält es sich auch beim Weibchen des Grossen Glühwürmchens. Das produzierte Licht liegt zwischen 545 und 575 nm (Booth, 2004). Dass dieses Leuchten von Artgenossen, im Fall des Grossen Glühwürmchens vor allem Männchen auf Partnersuche, wahrgenommen werden kann, scheint schlüssig. Weiter zeigt die Grafik (Abb.4[d]), dass *Photinus pyralis*, als ein Beispiel für Leuchtkäfer im Allgemeinen, Wellenlängen im Bereich um 300 nm oder 700 nm eher schlecht wahrnimmt. Für einen Feldversuch bedeutet dies, dass möglichst auf gelbes oder grünes Licht zu verzichten ist. Alternativ könnten Rot- oder Schwarzlichtlampen verwendet werden. Buck (1937) fand heraus, dass *Photinus pyralis* auf Licht mit einer Wellenlänge unter 500 nm nicht reagiert. Ähnliches beschreibt Schwalb (1960) für das Grosse Glühwürmchen. So sei eine nur sehr geringe Reaktion auf Blaulichtreize beobachtet worden. Entgegen der von Lall et al. (1980) veröffentlichten Abbildung (Abb.4[d]) wonach Wellenlängen unter 500 nm von *Photynus pyralis* wahrgenommen werden, beschreiben Lall und Wothy (2000), dass der genannte Leuchtkäfer nicht auf Reize mit einer Wellenlänge von weniger als 480 nm reagiert. Schwarzlicht (UV) umfasst ein Spektrum von 100-380 nm und sollte nach den vorgängig beschriebenen Erkenntnissen während eines Feldversuchs wenig Einfluss auf das Grosse Glühwürmchen haben. Anders ist das bei Lichtverschmutzung, welche durch künstliches Licht in besiedelten Gebieten verursacht wird. Der Einfluss von künstlichem Licht auf Leuchtkäfer (Coleoptera: Lampyridae) scheint ein erkanntes Problem zu sein und wurde bereits in diversen Studien untersucht. In allen gefundenen Studien wird, wenn auch teilweise aus verschiedenen Gründen, der Einfluss des Kunstlichts als negativ bewertet. Beispiele dafür finden sich in Publikationen von folgenden Autoren: Beck (2015), Bird & Parker (2014), Costin & Boulton (2016), Dreisig (1975), Ineichen & Rüttimann (2012), Lusti & Ineichen (2016), Owens & Lewis (2018) Meyer-Rochow & Yang (2018).

2.4 Larvenstadien und Grössenklassen

Larven können anhand morphologischer Merkmale in Altersstadien eingeteilt werden. Dies hilft dabei, das Alter der Larven und damit die Zeit bis zur Verpuppung abzuschätzen. Wunsch (1990) hat sich eingehend mit den Larvenstadien auseinandergesetzt und einen Schlüssel zur Bestimmung des Larvenstadiums entwickelt. Ein Merkmal ist die Larvengrösse (Länge in mm).

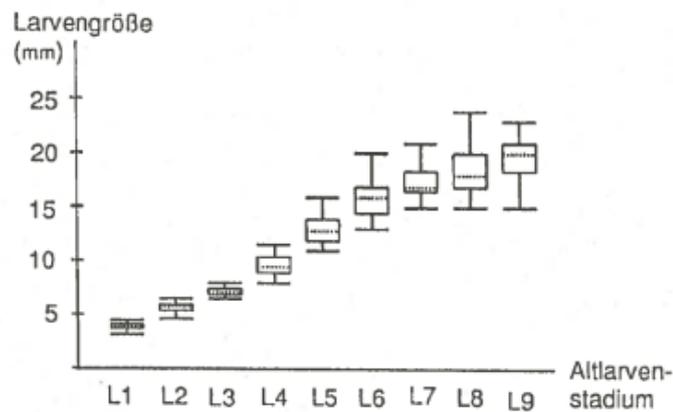


Abb. 5: Korrelation zwischen Larvengrösse und Altersstadium in einem Box- und Whiskerplot (Grafik: Wunsch, 1990)

Die Korrelation zwischen Länge und Alter ist in der Abbildung 5 gut ersichtlich (Wunsch, 1990). Nach Wunsch beginnt ein neues Larvenstadium jeweils mit der Häutung der Larve. Die Larven brauchen mindestens fünf und maximal 12 Häutungen, bevor sie sich verpuppen. Die Zeit zwischen den Häutungen und auch die Anzahl Häutungen hängt laut Wunsch (1990) massgeblich von der Futterverfügbarkeit und dem Geschlecht ab. Wohlgenährte Larven benötigen weniger Zeit bis zur Verpuppung als solche welche in Wunschs Versuch einem Nahrungsmangel ausgesetzt wurden. Weiter verpuppen sich Männchen meist bereits nach sieben oder acht Häutungen, Weibchen erst nach neun oder zehn. Die Anzahl Larvenstadien, welche eine Larve durchläuft, hängt demnach davon ab, nach wie vielen Häutungen sich die Larve verpuppt. Schwalb (1960) wählt einen etwas anderen Ansatz. Er spricht zwar ebenfalls von Larvenstadien, teilt die Larven jedoch in lediglich drei Grössenklassen ein. Schwalb (1960) macht die Grössenklassen abhängig von der Anzahl Überwinterungen. Drei Winterpausen entsprechen drei Grössenklassen. Demnach ist die Einteilung von Wunsch in bis zu zwölf Larvenstadien eine Verfeinerung der Einteilung in drei Grössenklassen von Schwalb. Vergleicht man die Grafiken und Abbildungen der beiden Arbeiten, so kann folgende Aussage getroffen werden. Wunschs Larvenstadien 1-4 entsprechen wohl Schwalbs Grössenklasse I. Dasselbe Prinzip kann auch für die Grössenklassen II und III angewendet werden.

Tab. 1: Vergleich der Grössenklassen und Larvenstadien nach Schwalb und Wunsch.

Grössenklasse (Schwalb, 1960)	I				II				III			
Larvenstadium (Wunsch, 1990)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Die Larvenstadien, welche Wunsch definiert hat, sind sehr präzise und das Resultat von chaetotaxonomischen und morphometrischen Untersuchungen. Es wurden zwölf verschiedene Merkmale verglichen. Diese zeitintensive Erfassung der Merkmale zur Bestimmung des Larvenstadiums ist für einen Feldversuch wie den durchgeführten nicht praktikabel. Um trotzdem eine Aussage über das Alter der Larven treffen zu können wurde die Länge der Larven beim Fang gemessen. Der Feldtauglichkeit halber wurde auf die Messung weiterer Merkmale unter der Stereolupe zur Bestimmung des Larvenstadiums verzichtet. Zumal Wunsch keinem der morphologischen Merkmale über alle Larvenstadien eine Normalverteilung (Varianzquotiententest) attestiert. Besonders Individuen ab dem sechsten Larvenstadium lassen sich nicht mit statistischer Sicherheit einem Larvenstadium zuweisen, da die Zuwächse zwischen den Larvenstadien abnehmen und die Streuung zunimmt. Auch ist laut Wunsch, anders als von Naisse (1966) beschrieben, ab dem siebten Larvenstadium eine Unterscheidung des Geschlechts möglich, jedoch nicht anhand der Körperlänge. Da in diesem Versuch die Tiere nicht bis zum Erreichen des Imago-Zustands beobachtet wurden, bleibt die Unsicherheit ob des Geschlechtsdimorphismus bei der Länge bestehen. So kann beispielsweise eine Larve mit 18 mm Länge ein Männchen im achten oder ein Weibchen im sechsten Larvenstadium sein (vgl: Abb. 5). Wie aus der Darstellung weiter ersichtlich ist, überschneiden sich die von Wunsch gemessenen Längen der Larven in sämtlichen Stadien. So bezeichnet selbst Wunsch die Länge als kein eindeutiges Trennungsmerkmal für die Entwicklungsstufen. Eine zusätzliche Schwierigkeit liegt darin, dass die Larven verteilt über neun Stadien im Schnitt lediglich 18 mm wachsen.

Die im Feldversuch gefangenen und gemessenen Larven lassen sich jedoch relativ gut in eine der drei Grössenklassen nach Schwalb (1960) einteilen.

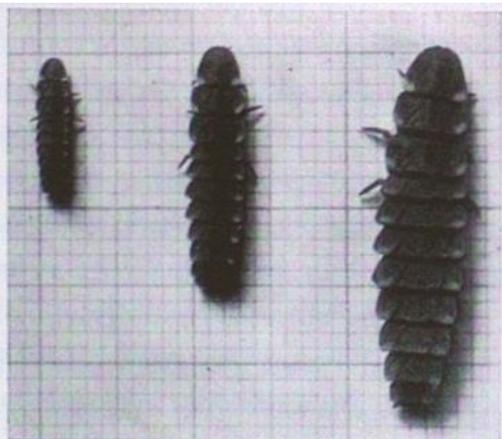


Abb. 6: Drei *Lampyrus*-Grössenklassen (I-III), welche Schwalb entsprechend dem Stadium als ein-, zwei-, oder dreijährige Larven bezeichnet (Schwalb, 1960). (Bild: Hans Schwalb)



Abb. 7: Drei markierte *Lampyrus*-Larven, welche in Schwalbs Grössenklassen I, II und III eingeteilt wurden. Die Einteilung erfolgte anhand der Grösse der Larven, wobei es nicht bei allen Individuen auf den ersten Blick klar war, welcher Grössenklasse sie angehören. (Bild: Lorenz Achtnich)

3 Material und Methoden

3.1.1 Untersuchungsgebiet

Für die Feldarbeit wurde das von Stefan Ineichen vorgeschlagene Gebiet um den ehemaligen Schiessplatz Rehalm ausgewählt. Die Fläche liegt auf Stadtzürcher Gemeindegebiet und gehört zum im Stadtkreis 7 gelegenen Quartier Witikon. Es handelt sich um ein Hangried, welches in der Feuchtgebietskartierung von 1976 als Knotenbinsenried, Hochstauden- und Schachtelhalmquellflur katalogisiert wurde (GIS-ZH, 2019a). Das Hangried befindet sich im Natur- und Landschaftsschutzinventar von 1980 und untersteht als Feuchtbiotop der Kantonalen Naturschutzverordnung (GIS-ZH, 2019b). Bis 1994 diente der Hang als Kugelfang der Schiessanlage Rehalm. Im Jahr 2011 wurde der Kugelfang, in welchem sich knapp 100 Jahre lang Schwermetalle ablagern konnten, saniert (Stadt Zürich, 2013). Die Oberfläche wurde rekultiviert und die ursprünglichen Vegetationsgesellschaften konnten sich nach dem Eingriff wieder etablieren. Um den Zustand des Schutzgebiets zu erhalten, werden Unterhaltsarbeiten und Aufwertungen ausgeführt. So wurde beispielsweise neben den jährlich erfolgenden Schnittmassnahmen auch aufkommendes Schilf entfernt, Kleinstrukturen angelegt und Randbereiche ausgelichtet (Verein Glühwürmchen Projekt, 2002). Das Hangried ist von verschiedenen Waldgesellschaften eingfasst.



Abb. 8: Die Lage des Hangrieds (rot) am Wehrenbach in Raum Zürich, beim Quartier Witikon und im umliegenden Wald (Grafiken: GIS-ZH, verändert).

Im unteren Hangbereich, nahe des Wehrenbachs, dominiert eine Waldmeister-Buchenwaldgesellschaft, stellenweise geht die Vegetation in eine Erlen-Eschengesellschaft über (GIS-ZH, 1993). Eine Gesellschaft besonders frischer bis zu nassen Standorten. Im Bereich oberhalb des Rieds findet sich ein Lungenkraut-Buchenwald. Eine Gesellschaft, welche den Waldmeister-Buchenwald auf kalkigen, eher trockenen Böden ablöst (Delarze, Gonseth, Eggenberg & Vust, 2015).



Abb. 9: Die Riedfläche auf dem ehemaligen Schiessplatz Rehalp. (Bild: Lorenz Achtnich)



Abb. 10: Abgestufter Übergang von der Riedfläche zum Wald. Hier ist der östliche Riedrand zu sehen, an welchem sich die Untersuchungsflächen befanden. (Bild: Lorenz Achtnich)



Abb. 11: Ausgesteckte Untersuchungsfläche 2 entlang eines Trampelpfads. (Bild: Lorenz Achtnich)



Abb. 12: Ausgesteckte Untersuchungsfläche 1 im Buchen-Unterholz. (Bild: Lorenz Achtnich)

3.1.2 Wahl der Untersuchungsfläche

Ab dem 18. Juli 2019 wurde das Gebiet rund um das Hangried nach Glühwürmchen und deren Larven abgesucht. Bei der Erstbegehung mit Stefan Ineichen wurden besonders geeignete Bereiche abgegriffen. Dabei wurden die Resultate der Untersuchung zum Vorkommen des Grossen Glühwürmchens aus dem Jahr 2004 und aktuellere Beobachtungen von Ineichen berücksichtigt. Die Untersuchung zeigte, dass der grösste Teil des Hangrieds von Larven genutzt wird (Ineichen, 2004). Besonders aber im Randbereich südlich und östlich des Rieds konnten hohe Larvendichten (ca. 4 Larven/m²) nachgewiesen werden. Speziell erwähnt wird der stark vernässte südwestliche Randbereich des Rieds (Abb. 13, Teilbereich 2), wo 2004 viele Larven gefunden wurden. An dieser Stelle wurde zwischen dem 29. Juli und dem 1. August vier Nächte lang nach Larven gesucht. Mit 11 Individuen wurde die grösste Anzahl Larven in der Nacht des 30. Juli gezählt. Ebenfalls wurden erste Markierungsversuche durchgeführt (vgl. Kapitel 3.2: Erarbeitung der Methode zur Markierung der Larven). Am 2. und 3. August wurde das Gebiet etwas weitläufiger abgesucht und es wurden auch in den Teilbereichen 1 und 3 (Abb. 13) hohe Larvendichten festgestellt. Während dieser Vorbereitungszeit machte es den Anschein, als ob im Teilbereich 3 die meisten Larven zu finden seien. So wurde am 9. August festgelegt, dass die Felduntersuchung in diesem östlichen Randbereich des Rieds durchgeführt wird.

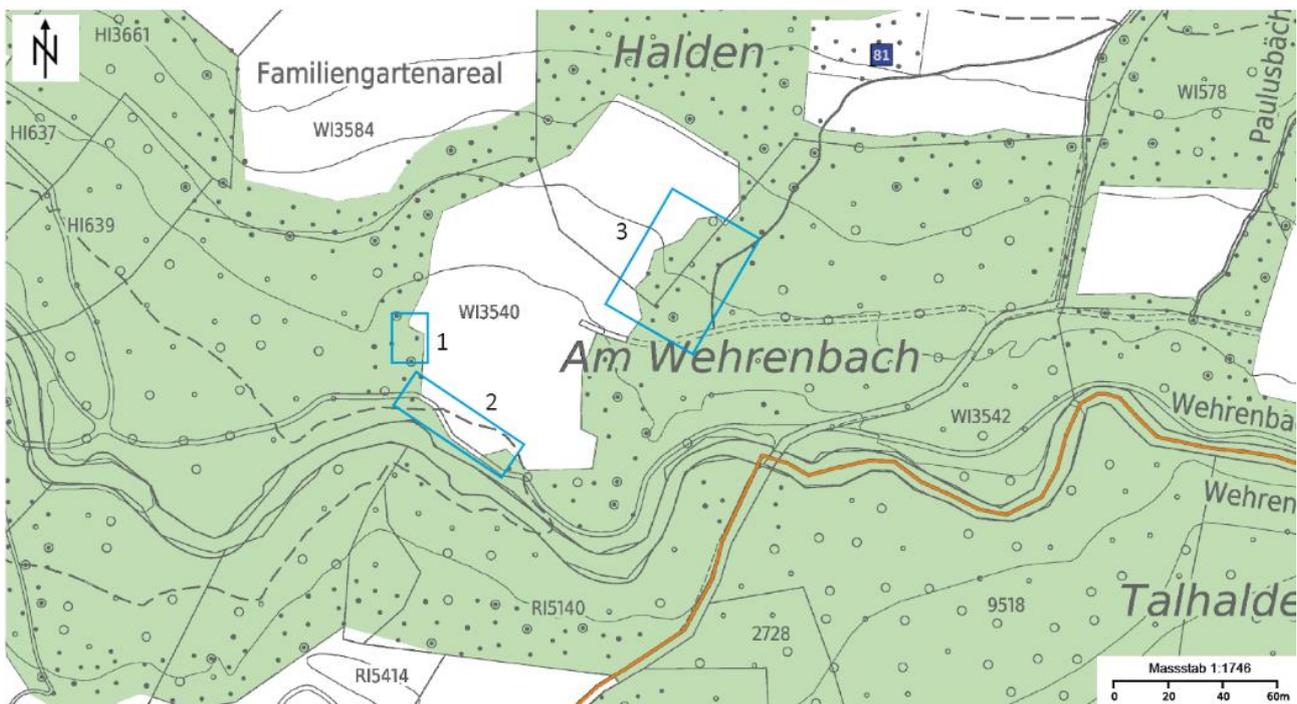


Abb. 13: Bereiche (blau), welche vor Beginn des Feldversuchs anhand qualitativer Beobachtungen als geeignet eingestuft wurden (Grafik: GIS-ZH, verändert).

3.1.3 Untersuchungsfläche

Die Abbildung 14 zeigt die eigentliche Untersuchungsfläche, welche sich am Rand des Hangrieds befindet. Dabei handelt es sich um zwei Rechtecke (rot) mit den Massen 5x5 m und 12x24 m. Die Untersuchungsflächen liegen gänzlich im als Waldmeister-Buchenwald kartierten Bestand. Da sich die Flächen jedoch am Waldrand befinden, macht sich in der Vegetation ein Randeffect bemerkbar und so sind auch Pflanzen des Krautsaums in den Untersuchungsflächen zu finden. Die Untersuchungsflächen wurden im Feld mit Schnüren ausgesteckt und unterteilt.

Am 12. August wurde der 5x5 m Plot (U1) eingerichtet. Um die Bewegungen der Larven nachverfolgen zu können wurde ein Gitternetz aus Schnur mit Maschenweite 1m angelegt. Als Nullpunkt wurde die südöstliche Ecke gewählt. Für die Untersuchungsfläche 1 liegt die Ecke auf den Koordinaten 2 686 696/1 245 379 (Swissgrid CH1903+). Am 22. August wurde der Versuch ausgeweitet und eine weitere Untersuchungsfläche (U2) in unmittelbarer Umgebung zur U1 ausgesteckt. Der Nullpunkt liegt bei 2 686 683/1 245 349 und die Plotgrösse beträgt 24x12 m. Es wurde ein Raster mit einer Maschenweite von 2 m angelegt.

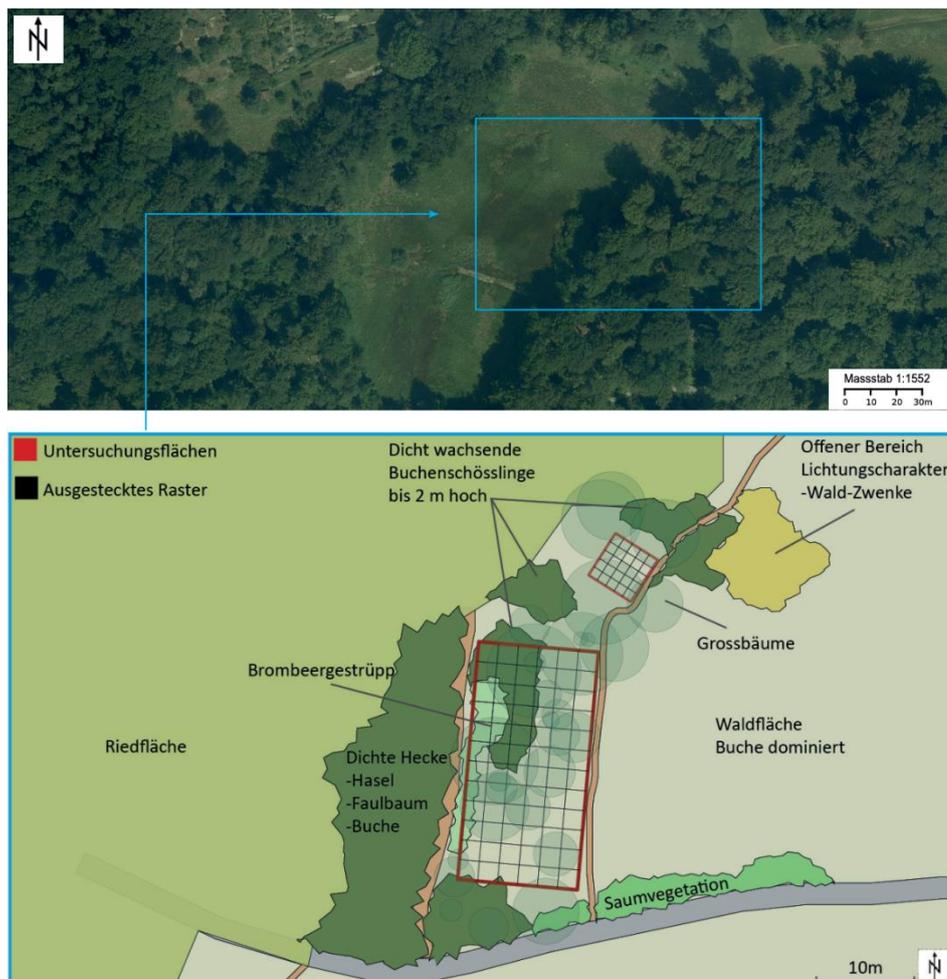


Abb. 14: Lage der Untersuchungsflächen U1 und U2 am Rand der Riedfläche und die verschiedenen Vegetationsgesellschaften (Grafik: GIS-ZH, verändert)

3.2 Erarbeitung der Methode zur Markierung der Larven

Die Markierung sollte sich durch zwei Eigenschaften auszeichnen. Sie sollte das Erkennen von Individuen ermöglichen und den Wiederfang erleichtern. Der Literatur war zu entnehmen, dass bereits einige Varianten zur Markierung von Insekten erarbeitet wurden (vgl: Kapitel 2.2: Markieren von Insekten). Vor allem für Bestandesschätzungen werden Insekten markiert und wiedergefangen. Für eine Bestandesschätzung ist das Individuum jedoch irrelevant und durch die Markierung meist auch nicht erkennbar. Ein zentraler Punkt bei dieser Untersuchung war jedoch, dass eine Larve als Individuum erkannt und so der zurückgelegte Weg nachvollzogen werden kann. Ermöglicht würde dies durch eine Farbcodierung. Die Kombination von verschiedenen Farben ergibt eine Vielzahl unterschiedlicher Markierungen.

Der Wiederfang sollte durch eine grelle oder reflektierende Farbe vereinfacht werden. Bei der Recherche hat sich gezeigt, dass unter Schwarzlicht fluoreszierende Farben für den Versuch geeignet sein könnten. Je dunkler die Umgebung, desto besser sind die fluoreszierenden Farben im Licht einer Schwarzlicht-Taschenlampe zu sehen. Zudem wurde aufgrund der Studie von Owens und Lewis (2018) angenommen, dass Glühwürmchen durch Schwarzlicht weniger gestört werden als durch Licht einer üblichen Taschenlampe (vgl. Kapitel 2.3: Sehvermögen und Lichtsensibilität von Glühwürmchen).

Um das Fluoreszieren der Farbe unter Schwarzlicht zu testen, wurden die «LED UV Schwarzlicht» Taschenlampe von Brandson und die Schwarzlichtfarbe «New York Neon» von Marabu gekauft. Auf Kellersasseln (*Porcellio scaber*) wurde getestet, ob sich die Farbe auftragen lässt und ob sie wie gewünscht fluoresziert (Abb. 15). Das Markieren auf diese Weise schien gut zu funktionieren. Auch waren bereits kleinste Farbtupfen der fluoreszierenden Farbe unter Schwarzlicht gut zu sehen. So wurde dasselbe Vorgehen an drei Larven aus dem Teilbereich 2 (Abb. 13) getestet (Abb.15). Die Farbe liess sich im Gegensatz zum harten Chitinpanzer der Kellersasseln auf den weichen Thorax- und Abdominalsegmenten nur schlecht auftragen. Zudem hat die Farbe nicht lange auf den Larven gehalten und ist abgeblättert. Eine Erklärung dafür könnte sein, dass sich die Haut zwischen den Segmenten (Intersegmentalhaut) während der Nahrungsaufnahme stark ausdehnt (Wunsch, 1990; zitiert nach Vogel, 1912). Dieser Test zeigte, dass die Markierung mit Farbe direkt auf den Segmenten der Larven nicht für einen über mehrere Tage dauernden Versuch geeignet ist. Dazu kommt, dass eine der markierten Larven eingegangen ist.

Die Suche nach einer Alternative brachte dann die für den Feldversuch verwendete Methodik hervor. Die Alternative orientiert sich an der Markierung von Bienenköniginnen in der Imkerei. Dort werden nummerierten Plättchen mit einem Leim oder Lack auf das Bruststück (Thorax) geklebt. Um die Vorteile von fluoreszierender Farbe und nummerierter Plättchen zu vereinen, wurden die Plättchen vor dem Aufkleben mit der Farbe so bemalt, dass die Nummer sichtbar blieb. Um die Plättchen auf den Halsschild (Scutum) zu kleben, wurden verschiedene Leime getestet. Dazu wurden am 5. August aus dem Teilbereich 1 (Abb. 13) acht Larven abgesammelt. Sie kamen in ein mit etwas feuchtem Moos ausgelegtes Terrarium mit den Massen 30x40x40 cm (lxbxh). Zwei Individuen wurde zur Kontrolle kein Plättchen aufgeklebt. Den anderen

sechs wurden in Paaren zu zweit ein Plättchen mit transparentem Lack, Zeichenleim oder Sekundenkleber aufgeklebt. Die Plättchen wurden mit einem Zeichengriffel, einem Holzstab mit einem Edelstahlkopf, auf den Halsschild aufgelegt. Das Aufkleben gelang mit dem Sekundenleim am besten. Nach sieben Tagen waren alle Larven vital und weder das Plättchen noch der Klebstoff schien sie zu beeinträchtigen. Ein mit Zeichenleim aufgeklebtes Plättchen hat sich gelöst und der Leim brauchte zum Trocknen bis zu 30 Sekunden, was das Markieren erschwerte.

Im Test schnitt der Sekundenleim am besten ab und da dieser in der Imkerei zur Zeichnung der wertvollen Bienenköniginnen verwendet wird, schien er auch längerfristig keinen negativen Einfluss auf die markierten Insekten zu haben.



Abb. 15: Die verschiedenen Tests, um eine für den Feldversuch geeignete Methode zur Markierung von Larven zu finden: Das Auftragen der Farbe als Farbcode wurde an Kellerasseln ausprobiert (o.l.). Larve mit direkt auf einem Thoraxsegment aufgetragener, unter Schwarzlicht fluoreszierender Farbe (o.r.). Larven, welche für den Klebstoff-Test sieben Tage lang in einem Terrarium gehalten wurden (u). Dass mehrere Larven gleichzeitig an einer Schnecke fressen, kommt laut Schwalb (1960) fast ausschliesslich in Gefangenschaft vor (Bilder: Lorenz Achtnich)

3.3 Datenerhebung im Feld

Ab dem 12. August wurden in der Untersuchungsfläche 1, ab dem 22. August in der Untersuchungsfläche 2 Larven markiert. Die Suche nach Larven erfolgte jeweils nach der bürgerlichen Dämmerung. So startete die Suche mit wenigen Ausnahmen immer vor 22:00 Uhr. Im Verlauf des Feldversuchs verschob sich der Einbruch der Dunkelheit zeitlich nach vorne und so konnten auch bereits kurz nach 21:00 Uhr Larven beobachtet werden. In der Regel wurde bis 23:50 Uhr beobachtet. In zwei Nächten bis 01:30 Uhr. Wegen starken Regens und Gewitter wurde in drei Nächten nur bis 23:10, 22:50 und 22:30 Uhr beobachtet. Aus demselben Grund konnten am 20. August keine Beobachtungen durchgeführt werden. Weiter fielen die Beobachtungen vom 30. und 31. August aus.



Abb. 16: Die Markierung der Larven fand etwas abseits der Untersuchungsfläche statt, sodass der Einfluss des Lichts auf die Untersuchungsfläche minimiert werden konnte. Die Larven wurden bereits nach wenigen Minuten wieder an ihren Fundort gebracht. (Bild: Andreas Butti)

In der ersten Nacht (12. August) wurde in der Untersuchungsfläche 1 nach Larven gesucht. Nach dem Fund einer Larve wurde ihre Position eingemessen und die Stelle mit einem Fähnchen markiert. Die Larve wurde eingefangen und in einigen Metern Entfernung zum Untersuchungsplot im Licht einer Stirnlampe markiert. Anschliessend wurde sie voll ausgestreckt auf einem Millimeterpapier abfotografiert. Im Datenblatt wurde die Larven-ID (fortlaufende Nummer entsprechend der Nummer auf dem Plättchen), das Datum, die Uhrzeit und die Fundkoordinaten festgehalten, bevor die Larve wieder an der Fundstelle platziert wurde. Alle in der Untersuchungsfläche gesichteten Individuen wurden markiert. In den darauffolgenden Nächten wurden weiter unmarkierte Larven markiert und bei einem Wiederfund einer bereits markierten Larve Datum, Zeit und Fundkoordinaten aufgenommen, ohne diese aus der Untersuchungsfläche zu entfernen. Nach einigen Tagen zeigte sich, dass die Untersuchungsfläche zu klein gewählt worden war. Die Larven waren mobiler als

gedacht und diverse markierte Individuen wurden ausserhalb des Plots gefunden. So wurde der Versuch erweitert und eine zweite Untersuchungsfläche in unmittelbarer Nähe zum ersten Plot eingerichtet. Es wurde das gleiche Vorgehen zur Markierung der Larven angewendet, doch hatten die nummerierten Plättchen eine andere Farbe als in Untersuchungsfläche 1. Ab dem 28. August wurden vermehrt sehr kleine Larven gefunden. Es waren Larven, die im Spätsommer 2019 geschlüpft sind und nach Schwalb (1960) der Grössenklasse I zuzuteilen wären. Mit der verwendeten Methode war es nicht möglich, die kleineren Larven zu markieren, da die Plättchen nicht auf die Halsschilde passten. So wurden ab dem 28. August keine Neufunde mehr markiert, sondern nur noch deren Anzahl notiert. Der Feldversuch dauerte vom 12. August bis zum 11. September, insgesamt 31 Nächte. In 28 Nächten wurde nach Larven gesucht, drei Nächte wurden ausgelassen.

3.4 Lux-Messung

Als Richtwert wurde einmalig eine Lux-Messung durchgeführt. Das Messgerät wurde in der Mitte der Untersuchungsfläche 1 platziert. Am Abend des 9. September wurde ab 19:20 Uhr alle fünf Minuten die Beleuchtungsstärke abgelesen und notiert. Ab 20:22 Uhr zeigte der Lux-Meter 0.00 Lux an.



Abb. 17: Der Lux-Meter wurde im dichten Unterholz in der Mitte der Untersuchungsfläche platziert. (Bild: Lorenz Achtnich)

3.5 Vegetationsaufnahme

Für die beiden Untersuchungsflächen wurde die Vegetation erhoben. Am 9. September wurden alle oberirdisch sichtbaren Gefässpflanzen erfasst und daraus eine Gesamtartenliste pro Untersuchungsfläche erstellt. Die Deckungsgrade der einzelnen Arten wurden mit der Methode zur Bestimmung der Artmächtigkeit nach Braun-Blanquet (1964) ermittelt. Anhand der Vegetation wurden mit Hilfe des Programms Vegedaz gemittelte Zeigerwerte nach Landolt & Bäumler (2010) errechnet (Küchler, 2017). Weiter wurde eine Einteilung der Vegetationsgesellschaft nach Delarze et al. (2015) vorgenommen.

3.6 Verwendete Materialien

Nachfolgend werden die verwendeten Materialien aufgelistet. Um aufzeigen zu können, bei welchen Arbeitsschritten welche Materialien verwendet wurden, ist die Liste anhand der Methodik-Kapitel unterteilt. Da verschiedene Materialien bei mehreren Arbeitsschritten zum Einsatz kamen gibt es Doppelnennungen.

Tab. 2: Für den Feldversuch verwendete Materialien.

Material	Hersteller/Verkäufer
Untersuchungsfläche	
Dachlatte (25x50 mm), abgelängt auf 25 cm	Hornbach Baumarkt AG
Nylonschnur (Ø 2.5 mm)	Hornbach Baumarkt AG
Fluoreszierende Schwarzlichtfarbe 'NEW YORK NEON'	Marabu GmbH & Co
Bandmass 30 m	Stanley Black & Decker
Winkelmass	wolcraft GmbH
Hammer	-
Klebeband 'Präzisionskrepp'	Tesa GmbH
Erarbeitung der Methode zur Markierung der Larven	
Fluoreszierende Schwarzlichtfarbe 'NEW YORK NEON'	Marabu GmbH & Co
LED UV Schwarzlichttaschenlampe	Brandson GmbH
Leuchtplättchen nummeriert	Imkereibedarf Wespi GmbH
Zeichenleim 'Opalith'	Imkereibedarf Wespi GmbH
Farblack transparent	Imkereibedarf Wespi GmbH
Sekundenkleber	UHU GmbH
Zeichengriffel	Imkereibedarf Wespi GmbH
Datenerhebung im Feld	
Fluoreszierende Schwarzlichtfarbe 'NEW YORK NEON'	Marabu GmbH & Co
LED UV Schwarzlichttaschenlampe	Brandson GmbH
Leuchtplättchen nummeriert	Imkereibedarf Wespi GmbH
Sekundenkleber	UHU GmbH
Zeichengriffel	Imkereibedarf Wespi GmbH
Taschenlampe klein	Ledlenser GmbH & Co
Stirnlampe 'Tikkina 150'	Petzl GmbH
Datenblatt pro Individuum	-
Doppelmeter	-
Spiegelreflexkamera 'D7200' mit Nikkor-Objektiv 18-55 mm	Nikon GmbH
Milimeterpapier	-
Kunststoff Fähnchen	-
Lux-Messung	
Digitaler Lux-Meter 'TES-1334'	Electrical Electronic Corp. (Leihgabe Stefan Ineichen)
Vegetationsaufnahme	
Flora Vegetativa (Eggenberg, Möhl & Purro, 2013)	Haupt Verlag

3.7 Populationsschätzung

Die Markierung der Individuen wie im Kapitel 3.3 beschrieben, lässt auch eine Schätzung der Populationsgrösse zu. Aus den gesammelten Daten lassen sich die, für eine Populationsgrössenschätzung anhand der Lincoln-Petersen-Methode, erforderlichen Informationen herauslesen. Die Schätzung basiert auf der Annahme, dass die Anzahl markierter Larven in der Stichprobe gleich gross ist, wie der Anteil markierter Individuen an der gesamten Population (Amler, Bahl & Henle, 1999). Es ist mindestens ein Fang und ein Wiederfang Termin notwendig. Erneute Wiederfänge erhöhen die Genauigkeit der Schätzung. In diesem Fall entspricht die erste Untersuchungsnacht (12. August für die Untersuchungsfläche 1 und 22. August für die Untersuchungsfläche 2) dem Fang-Ereignis. Alle folgenden Nächte bis zum 28. August sind Wiederfang-Ereignisse.

Die Populationsgrösse N lässt sich abschätzen als:
$$N = \frac{n \cdot M}{m}$$

Dabei ist M die Anzahl der bisher markierten Individuen, n die Anzahl Larven in der Stichprobe und m die Anzahl markierter Individuen in jener Stichprobe.

Für die Lincoln-Petersen-Methode müssen jedoch auch zwei Bedingungen erfüllt sein, welche mit der verwendeten Methodik nicht gegeben sind. In der Untersuchungsfläche sollte weder Zu- noch Abwanderung stattfinden (N ist konstant) und das Markieren der Larven hat keinen Einfluss auf den Wiederfang. Der Einfluss dieser zwei Gegebenheiten wird in Kapitel 5.3 diskutiert.

3.8 Auswertung der Daten

Die Auswertung der Daten erfolgte mit Excel (Microsoft Corporation, 2016) und dem Statistikprogramm R (R Core Team, 2018).

4 Ergebnisse

4.1 Allgemeines zu den erhobenen Daten

Um einen Überblick über die erhobenen Daten zu erlangen, werden nachfolgend allgemeine Resultate der Erhebung erläutert.

4.1.1 Markierte Larven und Wiederfänge

In den 28 Untersuchungs Nächten konnten insgesamt 90 Larven gefunden und markiert werden. 33 Larven in der Untersuchungsfläche 1 und 57 Larven in der Untersuchungsfläche 2. Total wurden 361 Larvenbeobachtungen notiert. So wurde im Durchschnitt jede Larve drei Mal wiedergefunden. Dabei war die Rückfangquote der einzelnen Larven sehr unterschiedlich. 13 Larven (14.4 %) wurden nicht wiedergefunden, eine andere Larve wurde zwölfmal wiedergefunden. In der folgenden Grafik (Abb. 18) ist die Anzahl Funde pro Individuum (Larven_ID (1-90)) dargestellt. Die Larven der Untersuchungsfläche 1 wurden mit einem gelben Plättchen markiert, jene der Untersuchungsfläche 2 mit einem rosa Plättchen. Diese Farben werden nachfolgend auch als farblicher Bezug zu den Untersuchungsflächen in den Grafiken genutzt. Die Larven wurden folgendermassen markiert. Gelbe Nummern von 1 bis 33 in Untersuchungsfläche 1 (Larven_ID: 1-33) und Rosa Nummern von 1 bis 57 in Untersuchungsfläche 2 (Larven_ID: 34-90).

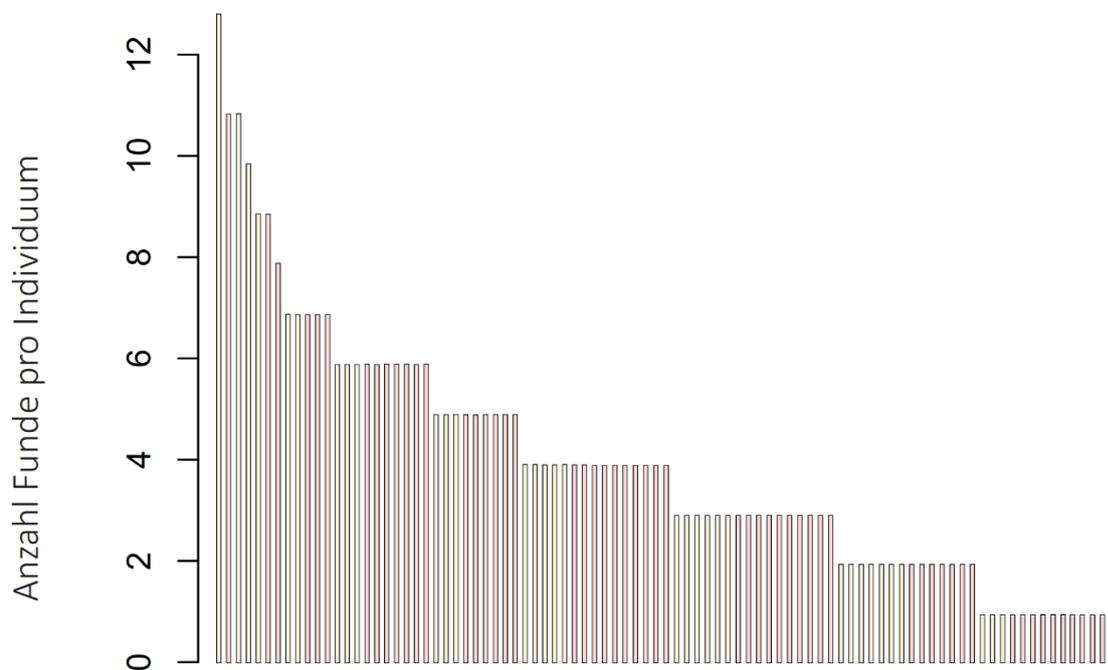


Abb. 18: Die Grafik zeigt, wie viel Mal einzelne Larven gefunden wurden. Die Werte liegen zwischen 1 (nur bei Markierung gefunden) und 13 (12 Wiederfunde). Larven der Untersuchungsfläche 1 sind gelb, jene der Untersuchungsfläche 2 rosa.

4.1.2 Anzahl Larvenfunde pro Nacht

Auch die Anzahl gefundener Larven pro Nacht hat stark variiert (Abb. 19). Es wurden zwischen Null und 27 Larven pro Nacht gefunden. Die Nacht des 19. Augusts war die einzige, in welcher keine einzige Larve gefunden wurde. An jenem 19. August fielen 35.2 mm Niederschlag (vgl. Abb. 21). Die meisten Larven wurden nach der Einrichtung der zweiten Untersuchungsfläche gefunden drei Nächte in Folge konnten je 27 Larven gefunden werden. Die Anzahl Neufunde pro Nacht nimmt entlang der Zeitachse erwartungsgemäss ab.

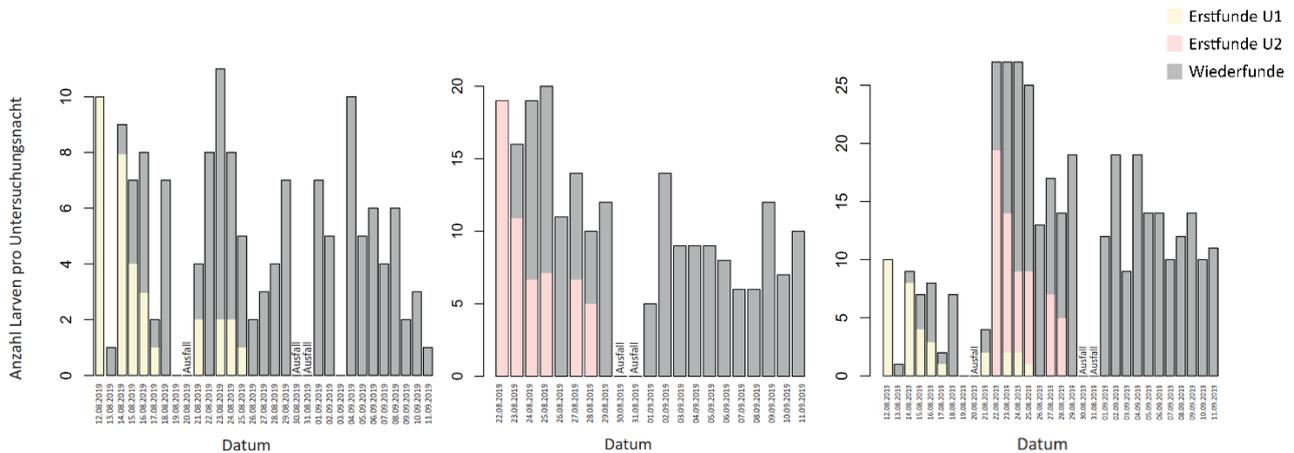


Abb. 19: Die Anzahl gefundener Larven pro Untersuchungsnacht für die Untersuchungsfläche 1, die Untersuchungsfläche 2 und beide Untersuchungsflächen kombiniert (v.l.n.r).

4.1.3 Zeitliche Verteilung der Larvenfunde

Die zeitlich erste Larvenbeobachtung erfolgte um 20:36 Uhr, die letzte um 23:48 Uhr. Die meisten Larven konnten jeweils zwischen 22:30 Uhr und 23:15 Uhr gefunden werden. Die Höhepunkte der Larvenfunde pro Untersuchungsfläche sind zeitlich leicht versetzt. Das könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Untersuchungsfläche 1 zehn Tage vor der Untersuchungsfläche 2 eingerichtet und bearbeitet wurde, respektive es während der Bearbeitung der Untersuchungsfläche 2 früher dunkel wurde und somit die Larven etwas früher aktiv waren. Nach 23:15 Uhr namen die Larvenfunde ab. Ähnliches beschreibt auch Wunsch: «Nach Einbruch der Dunkelheit werden die Larven aktiv und innerhalb der ersten Stunde können die meisten «Leuchtflecke» beobachtet werden. Dieses Aktivitätsmaximum, sowie ein allmählicher Rückgang der insgesamt 3-4 stündigen Larvenaktivität war auch schon Verhoeff (1924), Dreisig (1974) und Gun & Gun (2012) aufgefallen. Als Erklärung gibt Dreisig die «fortschreitende Temperaturabkühlung im Laufe der Nacht» an. Während des Feldversuchs konnte demnach das ideale Zeitfenster für die Larvensuche genutzt werden.

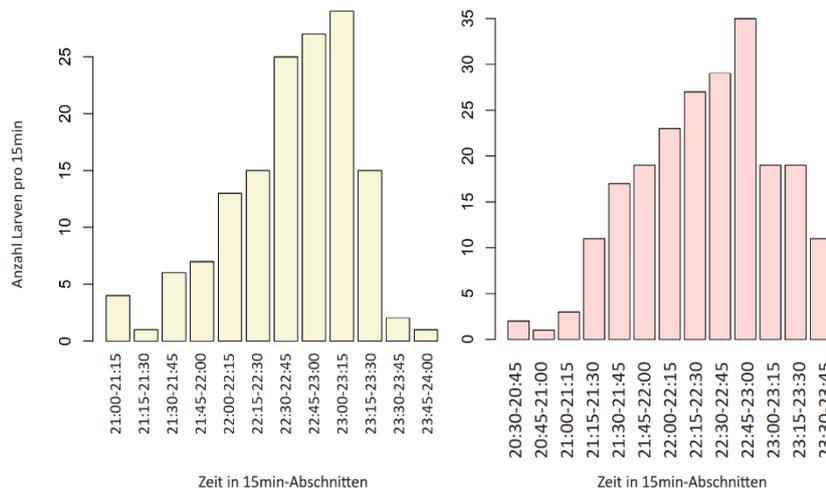


Abb. 20: Die Anzahl gefundener Larven pro Viertelstunde in der Untersuchungsfläche 1 (l.) und der Untersuchungsfläche 2 (r.).

4.1.4 Wetterdaten

Die Witterung schien beim Feldversuch keine entscheidende Rolle zu spielen. Abgesehen vom starken Niederschlag, wie er am 19. August stattgefunden hat, zeigt sich keine Korrelation zwischen Niederschlag und Larvenfunden. Auch zwischen der durchschnittlichen Tagestemperatur und der Anzahl gefundener Larven gibt es keinen signifikanten Zusammenhang. Um einen solchen festzustellen, war die Untersuchungsdauer zu kurz. Schwalb (1960) beschreibt, dass die Larven erst bei Tagesdurchschnittstemperaturen um +5°C (etwa Ende November) inaktiv werden. Insgesamt war der August 2019 zirka zwei Grad wärmer als im langjährigen Mittel, jedoch der kühlfte der drei Sommermonate (Meteo Schweiz, 2019a). Dazu gab es etwas mehr Regen als für den August üblich. Die warmen und eher feuchten Bedingungen begünstigen das Grosse Glühwürmchen, was Schwalb (1960) in einem Habitatwahlversuch zeigen konnte. Die Wetterdaten wurden vom Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie erhoben (Meteo Schweiz, 2019b). Sie stammen von der Messstation Zürich/Fluntern, welche sich rund 3200 Meter Luftlinie von den Untersuchungsflächen entfernt befindet.

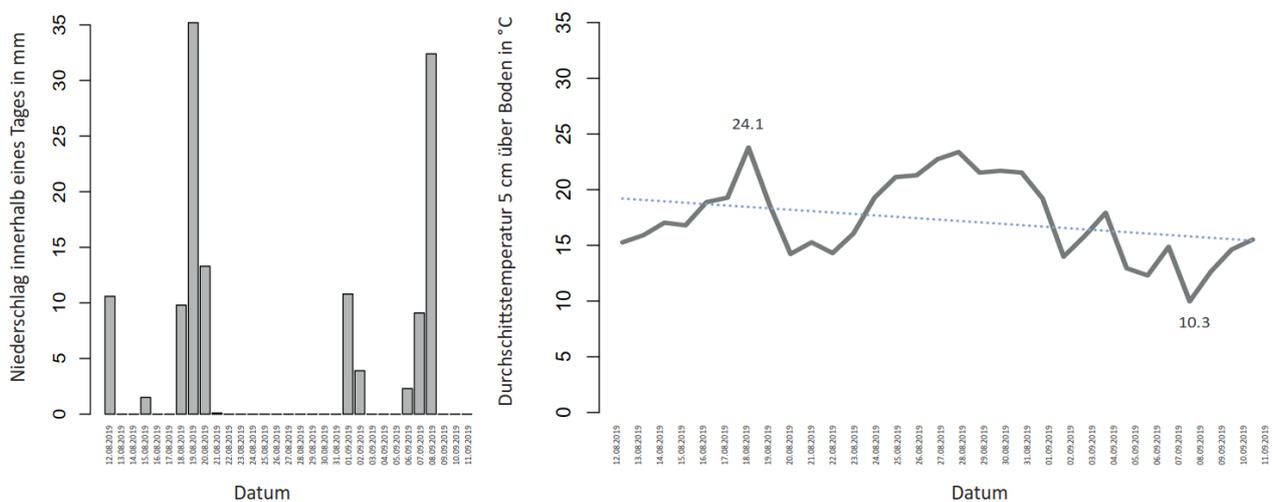


Abb. 21: Von der Messstation Fluntern gemessener Niederschlag für das Untersuchungsgebiet innerhalb von 24 Stunden in mm (l.) und die durchschnittliche Tages-Lufttemperatur, gemessen 5 cm über dem Boden (Meteo Schweiz, 2019).

4.2 Einteilung in Grössenklassen

Die 90 Larven wurden beim Fang gemessen. Ein Ziel war, einen Überblick über die Häufigkeit der drei Grössenklassen zu erhalten. Schwalb (1960) spricht von drei «wohldifferenzierbaren Grössenklassen», in welche die Larven einteilbar sind. Bei der Einteilung gab es oft Grenzfälle, welche sowohl der einen wie auch der anderen Grössenklasse hätten zugeordnet werden können. Eindeutig waren jedoch die Larven der ersten Grössenklasse. Sie sind wohl im Jahr 2018 geschlüpft und zirka 14 Monate alt. Sie waren maximal 15 mm lang und im Vergleich zu Larven aus der zweiten Grössenklasse auch schmaler. Bei Grenzfällen zwischen der zweiten und der dritten Grössenklasse (bei Larven um die 20 mm Länge) hat das allgemeine Erscheinungsbild den Ausschlag gegeben. Eher kräftige, breite Larven wurden der dritten Grössenklasse zugeteilt. Es sind Larven, welche sich im Sommer 2019 nicht zu Imagines entwickelt haben, obwohl sie, von der Länge her ausgewachsen scheinen. Wunsch (1990) nennt diese Larven Wintertiere, da sie aus spät abgelegten Eiern stammen, und wohl deshalb ein weiteres Mal überwintern. Laut Wunsch sind sogar vier Überwinterungen denkbar. Alle Larven, welche der dritten Grössenklasse zugeteilt wurden, sowie ein Teil der Larven der zweiten Grössenklasse werden sich demnach im Sommer 2020 zu Imagines entwickeln. Überraschend ist, dass lediglich neun Larven aus der ersten Grössenklasse gefunden wurden. Es wäre zu erwarten, dass von der jüngsten Generation am meisten Larven vorhanden sein sollten. Es stellt sich die Frage, ob einjährige Larven leicht abweichende Habitatpräferenzen haben oder ob im Jahr 2018 insgesamt weniger Larven geschlüpft sein könnten. Eine weitere Möglichkeit ist, dass die kleinen Larven aufgrund der geringeren Leuchtkraft schlechter zu sehen waren und deshalb weniger gefunden wurden. Dass deutlich weniger Larven der dritten als der zweiten Grössenklasse gefunden wurden, dürfte daran liegen, dass der Grossteil der Larven, welche im Jahr 2016 oder 2017 ausgeschlüpft sind, sich im Sommer 2019 bereits zu Imagines entwickelt haben.

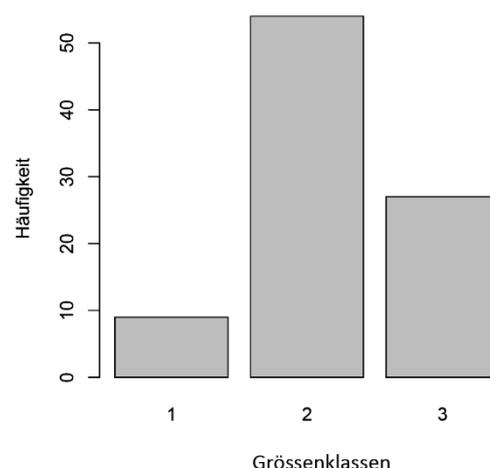


Abb. 22: Die Anzahl der markierten Larven aufgeteilt nach deren Grössenklasse.

4.3 Raumnutzung

Als Resultat der Felduntersuchung liegen 361 Koordinaten in zwei Untersuchungsflächen vor. Jede der Koordinaten entspricht einem Fund oder Wiederfund einer der 90 markierten Larven. Theoretisch wären 1721 Wiederfunde möglich gewesen. Die 361 Koordinaten entsprechen 17.5 % der möglichen Datenpunkte. Daraus können Rückschlüsse auf das Raumnutzungsverhalten der Larven gezogen werden. Beispielsweise zeigt sich, dass die Larven überraschend weite Distanzen zurücklegen können, sich dabei aber nicht zwingend vom Fundort entfernen müssen. Aufgrund der Tatsache, dass 85.6 % der Larven wiedergefunden werden konnten, kann gesagt werden, dass die Larven wenigstens für den begrenzten Untersuchungszeitraum relativ ortstreu waren. Als Beispiel dafür eignet sich eine Larve (ID: 11), welche bereits beim ersten Wiederfund nur eine Nacht nach dem Markieren, 450 cm zurückgelegt hatte und sich darum ausserhalb der Untersuchungsfläche befand. Sie war am Ende der Untersuchung jedoch lediglich 145 cm von ihrem Fundort entfernt.

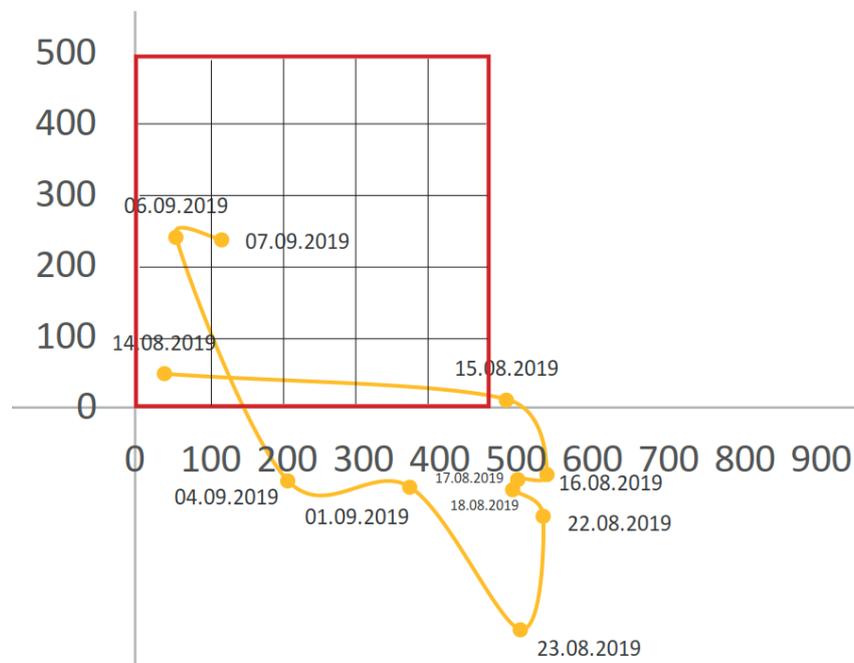


Abb. 23: Die Bewegungen der Larve 11 zwischen dem 14. August und dem 7. September. Elf Funde, davon acht ausserhalb der Untersuchungsfläche 1.

Um den von den Larven genutzten Raum zu beziffern und zu visualisieren, wurde die Minimum-Konvex-Polygon-Methode verwendet. Es ist eine Standardmethode zur Schätzung des Verbreitungsgebiets, des Streifgebiets, des Reviers oder allgemeiner des Aktionsgebiets von freilebenden Tieren (Burgman & Fox, 2003). Vielfach werden hunderte GPS-Daten für die Berechnungen verwendet, das Minimum für ein Polygon sind jedoch drei Datenpunkte, respektive Koordinaten. Je weniger Datenpunkte vorhanden sind, desto kleiner ist auch die Aussagekraft der Resultate. Bei der folgenden Grafik geht es primär um die Visualisierung der erhobenen Daten.

Um das von einem Individuum genutzte Gebiet zu definieren, wurde eine häufig herangezogene Methode zur Bestimmung des Aktionsgebiets verwendet. In den Visualisierungen wurde die Umrisslinie des Home-range und die dadurch begrenzte Fläche pro Individuum dargestellt. Die Fläche ergibt sich durch die Verbindung der äussersten Punkte zu einem konvexen Polygon. Voraussetzung ist, dass die Larve mindestens drei Mal gefunden wurde. Bei der Untersuchungsfläche 1 gilt das für 25 von 33 und bei der Untersuchungsfläche 2 für 39 von 57 Individuen. Demgemäss wurden für die Visualisierung 71 % der markierten Larven berücksichtigt. Die Visualisierungen zeigen, dass weder der 25 m², noch der 288 m² grosse Untersuchungsplot alle Bewegungen der Larven abdecken konnte. Weiter zeigt besonders die Untersuchungsfläche 2 (Abb. 25) keine gleichmässige Verteilung der Larven. Es scheint als würden die Larven ein Teilgebiet der Untersuchungsfläche bevorzugen.

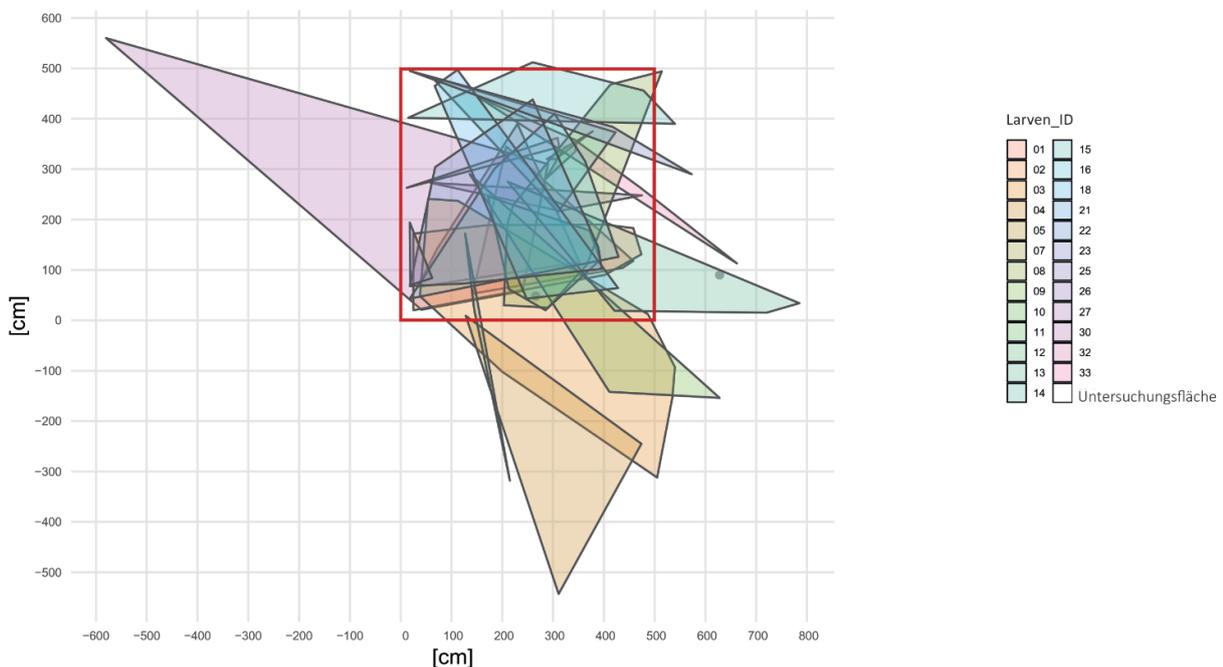


Abb. 24: Die Untersuchungsfläche 1 (rot) mit 25 Minimum-Konvex-Polygonen, welche die von den Larven genutzte Fläche darstellen.

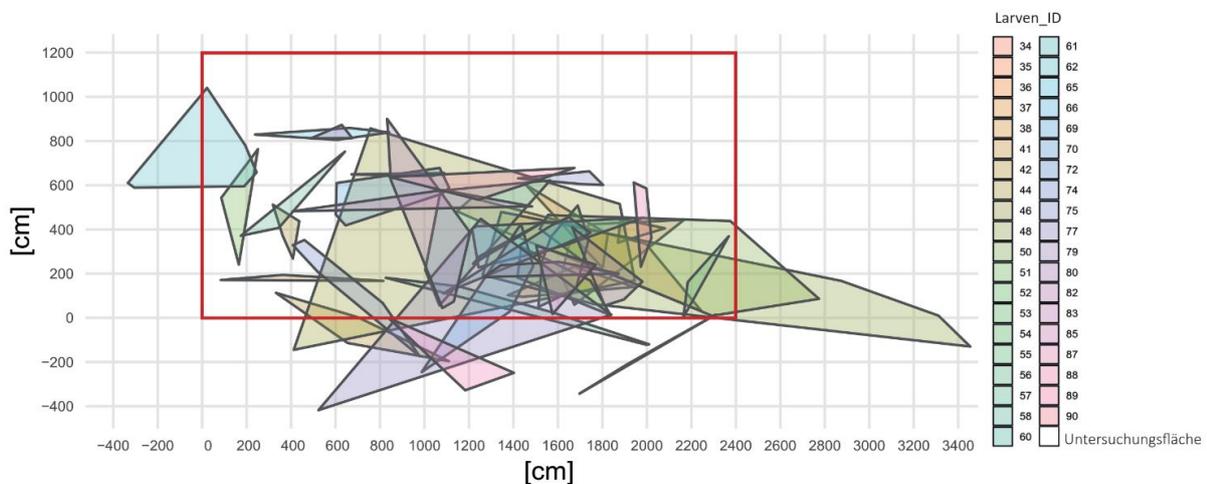


Abb. 25: Die Untersuchungsfläche 2 (rot) mit 39 Minimum-Konvex-Polygonen, welche die von den Larven genutzte Fläche darstellen.

Neben der grafischen Darstellung lässt sich auch die durchschnittliche Flächennutzung aus den Minimum-Konvex-Polygonen berechnen (Abb. 26). Die Methode eignet sich besonders bei einer geringen Anzahl Beobachtungspunkten, wo Dichteverteilungen keine aussagekräftigen Resultate liefern (Haller, 1996). Negativ wirken sich jedoch zufällige Punkte ausserhalb des Hauptaktivitätsgebiets aus. Das Polygon beinhaltet so Teilflächen, welche vom Individuum unter Umständen gar nie besucht werden. Es besteht die Möglichkeit, Extrempunkte nicht zu berücksichtigen. Aus den Flächenzahlen der Polygone lassen sich üblicherweise Reviergrössen oder Streifgebietsgrenzen herauslesen. Eine gängige Praxis für Säugetiere und Vögel; doch wie Backer (1983) beschreibt, sind auch viele Insekten territorial. Die genutzten Flächen der Larven überlappen sich jedoch stark, woraus sich ableiten lässt, dass die Larven keine eigentlichen Reviere haben. Einzig Dreisig (1974) beschreibt, dass die Larven mit dem Leuchten möglicherweise Territorien abgrenzen. Während der Untersuchung wurden nie mehrere Larven direkt nebeneinander gefunden. Eventuell gehen sich die Larven trotz stark überlappender Flächen aus dem Weg. Wahrscheinlicher ist, dass die Larvendichte nicht von einer Reviergrösse bestimmt wird, sondern wie auch von Wunsch (1990) beschrieben, eher durch die Habitatqualität.

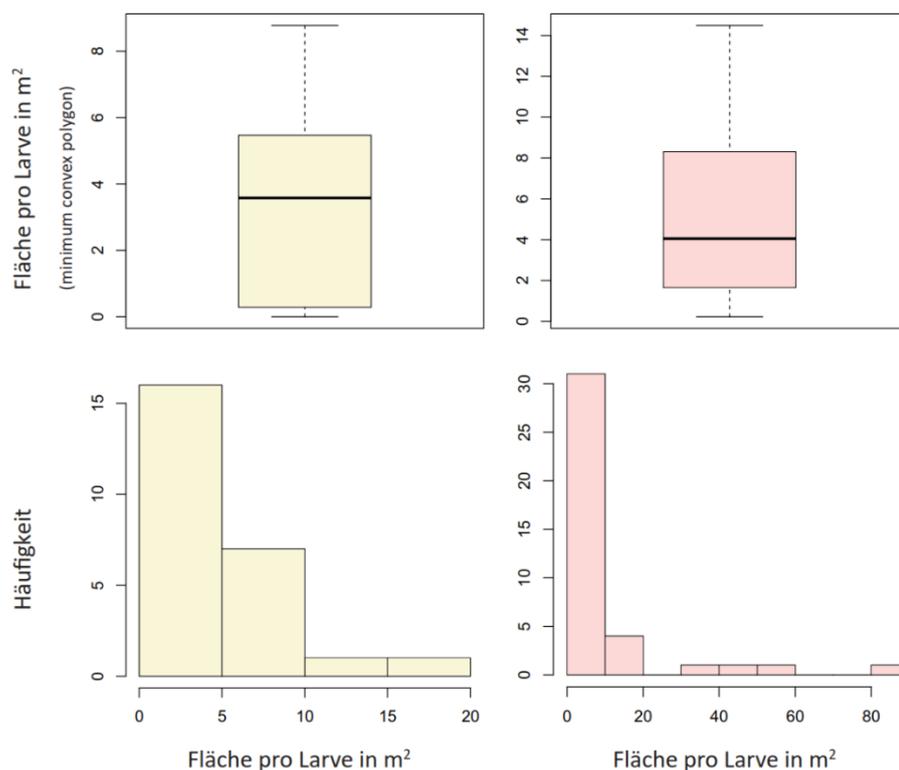


Abb. 26: Boxplot und Histogramm zeigen den Median und die Verteilung der von den Larven genutzten Fläche. Für die Untersuchungsfläche 1 (l.) und die Untersuchungsfläche 2 (r.).

Die durchschnittliche Flächennutzung kann unter diesen Vorzeichen nur bedingt für eine Aussage zur Dichte oder zum Flächenanspruch eines Individuums genutzt werden. Jedoch kann eine Annahme zum Aktionsradius der Larven getroffen werden. Der Median der von den Larven genutzten Fläche liegt bei rund

vier Quadratmetern. Das Histogramm zeigt, dass sich der allergrösste Teil der markierten Larven auf einer Fläche kleiner als fünf Quadratmeter bewegt hat (Abb. 26). Diese Fläche dürfte mit einer längeren Untersuchungsdauer grösser werden. Doch zeigt sich auch in diesem Resultat eine gewisse Ortstreue.

Die bezüglich der Abbildung 25 beschriebene, ungleichmässige Verteilung der Larven in der Untersuchungsfläche 2 zeigt sich auch in folgender Darstellung (Abb. 28). Sie zeigt die Verteilung der Larvenfunde. Während in der Untersuchungsfläche 1 relativ flächendeckend Larven gefunden wurden, lässt sich in der Untersuchungsfläche 2 ein Bereich erkennen, wo keine Larven vorhanden waren. Mögliche Gründe dafür werden im Kapitel 5.2 diskutiert.

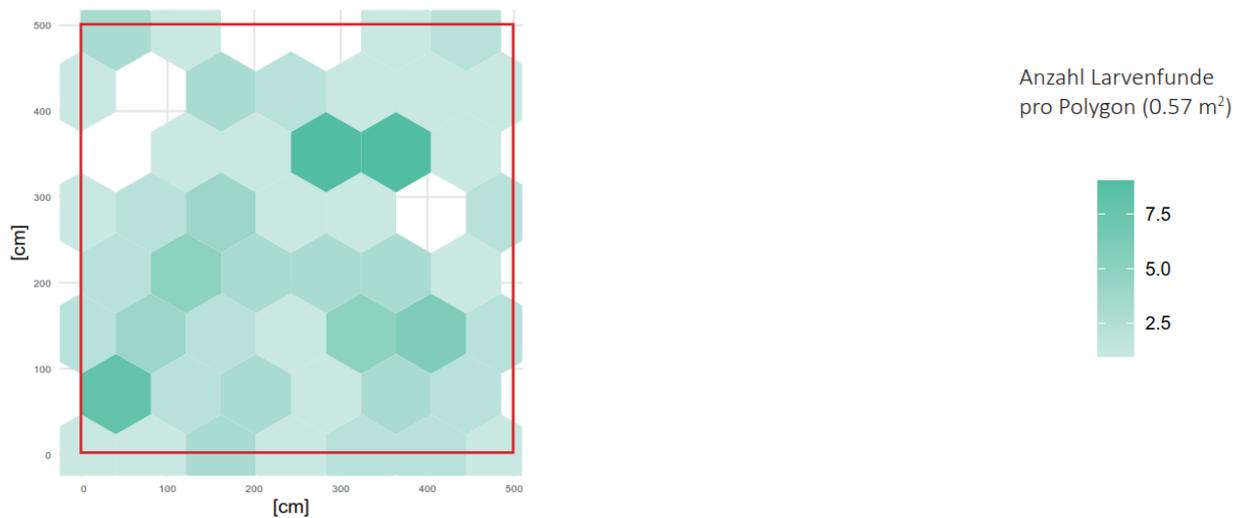


Abb. 27: Verteilung der Dichte der Larvenfunde in der Untersuchungsfläche 1.

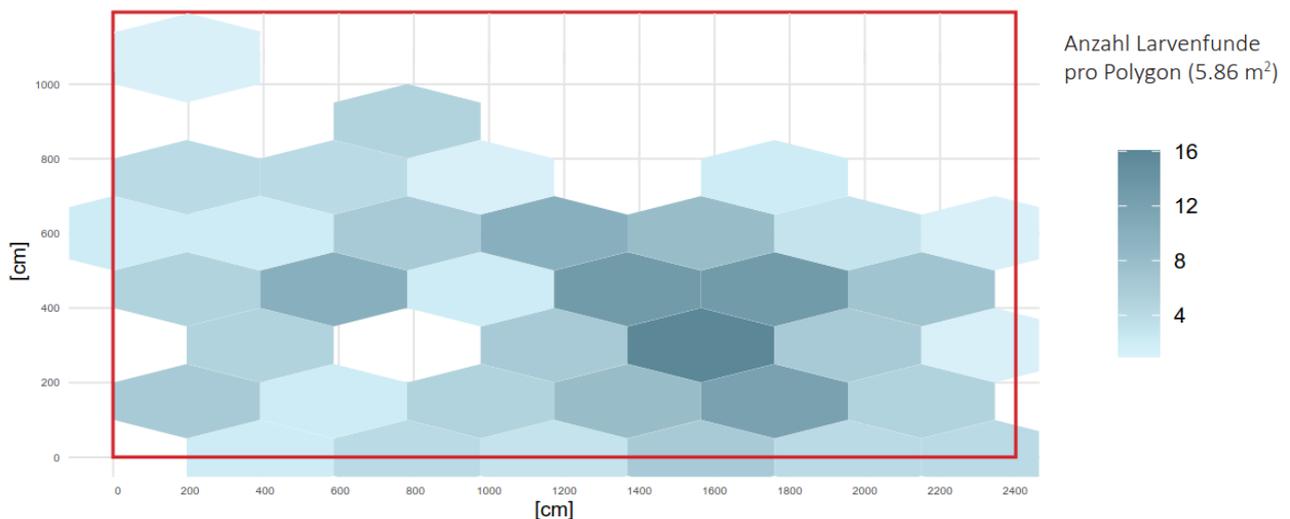


Abb. 28: Verteilung der Dichte der Larvenfunde in der Untersuchungsfläche 2.

Für alle Larvenbeobachtungen, welche in zwei aufeinanderfolgenden Nächten stattfanden, kann die Distanz zwischen den zwei Fundkoordinaten als die von der Larve zurückgelegte Strecke angenommen werden. Dafür wurde der Datensatz mit allen 361 Koordinaten so aufbereitet, dass nur noch Koordinaten von aufeinanderfolgenden Daten berücksichtigt werden. Für 168 Beobachtungen traf diese Vorgabe zu. Das entspricht 121 Distanzen zwischen 11 und 1550 cm. Der Median liegt bei 153 cm. Der Boxplot und das Histogramm zeigen, dass der grösste Teil der in einer Nacht zurückgelegten Strecken unter 200 cm liegen (Abb.29).

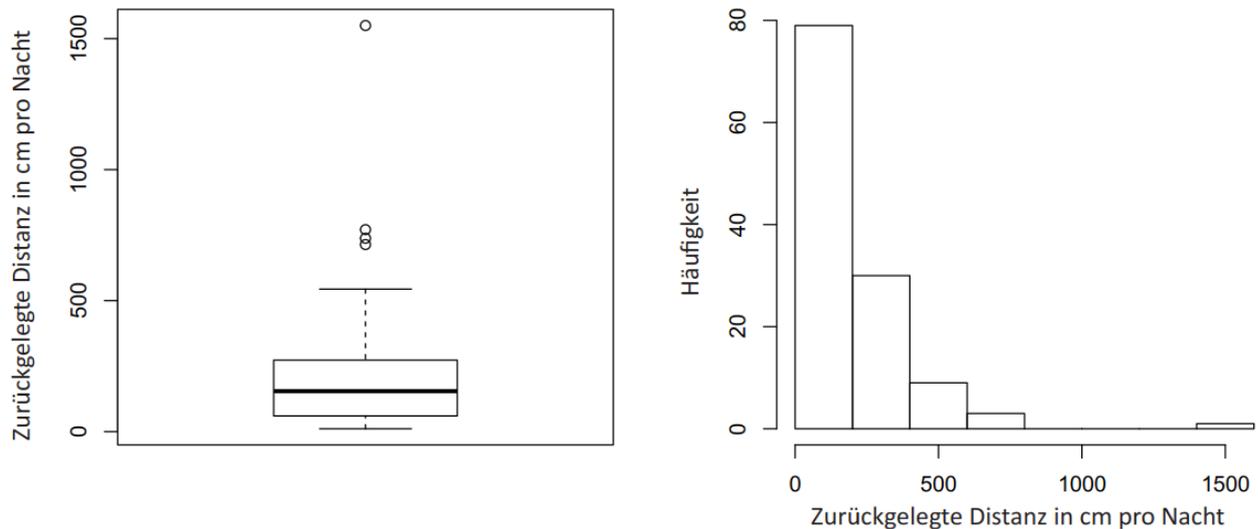


Abb. 29: Boxplot und Histogramm zur von den Larven zurückgelegten Strecke innerhalb einer Nacht.

Gut nachverfolgen lässt sich die zurückgelegte Strecke bei einer Larve aus der Untersuchungsfläche 1 (Larven_ID: 30). Für diese Larve konnten 13 Beobachtungen notiert werden, allesamt innerhalb der Untersuchungsfläche (Abb. 30). Der Median der zurückgelegten Strecke in einer Nacht liegt bei 141 cm. Es scheint, als würde auf eine Nacht mit grosser Distanz zwei oder drei Nächten mit kurzer Distanz folgen. Positionsänderungen von Tieren können laut Lorenzen (2002) in ungerichtete (random walks) und gerichtete Bewegungen (direct walks) unterteilt werden. Schwalb (1960) und Wunsch (1990) nehmen an, dass sich Larven auf Beutefang ungerichtet bewegen, bis sie auf eine Schleimspur oder direkt auf eine Schnecke treffen. Danach folgt eine gerichtete Bewegung, die von Schwalb (1960) als «Verfolgung der Schnecke» beschrieben wird. Eine weitere gerichtete Bewegung konnte von Schwalb (1960) beobachtet werden, wenn die Larven ihre paralysierte Beute an einen geschützten Ort schleppen, bevor sie zu fressen beginnen. Bei dichter Vegetation oder starker Laubstreu sind das nur wenige Zentimeter. Die Beute wird anschliessend gefressen, wobei die Larven ihr Körpergewicht vervierfachen können. Vollgefressene Larven verbringen mehrere Tage ohne nennenswerte Bewegung. Betrachtet man die Bewegung der Larve 30, sind zwischen den längeren zurückgelegten Strecken auch zwei Zeitabschnitte (26. August bis 1. September und 5. bis 8. September), in welchen sich die Larve kaum bewegt hat (soweit sich das anhand der Beobachtungen sagen lässt). Eine Möglichkeit das Bewegungsmuster zu deuten, wäre die langen Distanzen als ungerichtete

Suchbewegungen und gerichtete Verfolgungen einzuteilen. Weiter wären die Zeiträume mit wenig Bewegung die Tage nach einem Beutefang, an welchen die Larve träge ist.

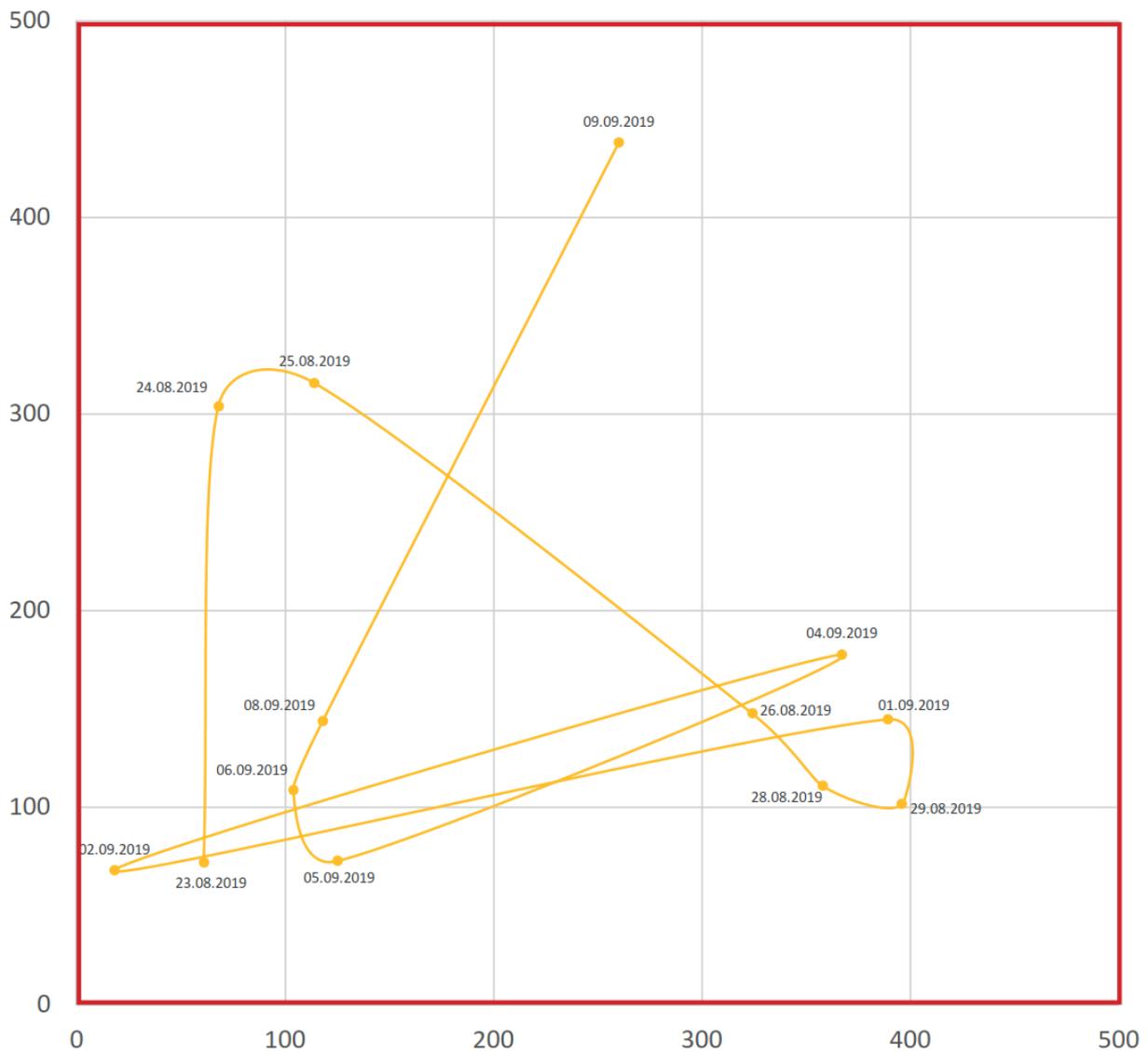


Abb. 30: Visualisierung der Fundkoordinaten der Larve 30 in der der Untersuchungsfläche 1. Anhand dieser Darstellung ergibt sich die Möglichkeit, die Bewegungen der Larve nachzuverfolgen.

Im Anhang D befinden sich weitere Larvenbewegungen von einzelnen Larven, anhand deren man einen Eindruck gewinnen kann, wie sich die Larven ungefähr bewegt haben.

4.4 Populationsgrösse

Die Populationsgrösse wurde anhand der im Kapitel 3.7 beschriebenen Methodik nach Lincoln und Petersen geschätzt. Die beiden Untersuchungsflächen wurden separat angeschaut. In der Untersuchungsfläche 1 fanden 14 Wiederfangevents statt, in der Untersuchungsfläche 2 deren sechs. Die Resultate sind in den folgenden zwei Tabellen aufgelistet.

Tab. 3: Protokoll Rückfangmethode für die Untersuchungsfläche 1.

Untersuchungsfläche 1					
Datum	Stichprobengrösse	Markierte Individuen	Nicht markierte Individuen	Summe nicht markierte	Schätzung
12.08.2019	10	0	10	10	Fang
13.08.2019	1	1	0	10	10
14.08.2019	9	1	8	18	162
15.08.2019	7	3	4	22	51
16.08.2019	8	5	3	25	40
17.08.2019	2	1	1	26	52
18.08.2019	7	7	0	26	26
21.08.2019	4	2	2	28	56
22.08.2019	8	8	0	28	28
23.08.2019	11	9	2	30	37
24.08.2019	8	6	2	32	43
25.08.2019	5	4	1	33	41
26.08.2019	2	2	0	33	33
27.08.2019	3	3	0	33	33
28.08.2019	4	4	0	33	33

Tab. 4: Protokoll Rückfangmethode für die Untersuchungsfläche 2.

Untersuchungsfläche 2					
Datum	Stichprobengrösse	Markierte Individuen	Nicht markierte Individuen	Summe nicht markierte	Schätzung
22.08.2019	19	0	19	19	Fang
23.08.2019	16	5	11	30	96
24.08.2019	19	12	7	37	59
25.08.2019	20	12	8	45	75
26.08.2019	11	11	0	45	45
27.08.2019	14	7	7	52	104
28.08.2019	10	5	5	57	114

Dank der vielen Wiederfangevents dürften die beiden Schätzungen als relativ akkurat beurteilt werden. Die Stichprobengrösse ist jedoch vor allem bei der Untersuchungsfläche 1 eher gering. Zudem ist die Streuung der Werte hoch. Vielfach wird lediglich die letzte Begehung zur Schätzung der Populationsgrösse verwendet, da die Akkuratess mit der Anzahl Begehungen steigt. Für den letzten Fangevent ergibt die Schätzung 33 Individuen für die Untersuchungsfläche 1 und 114 Individuen für die Untersuchungsfläche 2. Die Werte scheinen nicht unrealistisch. Die Mediane der sechs respektive 14 Schätzungen belaufen sich auf 38 Individuen in der Untersuchungsfläche 1 und 86 Individuen in der Untersuchungsfläche 2 (Abb. 31).

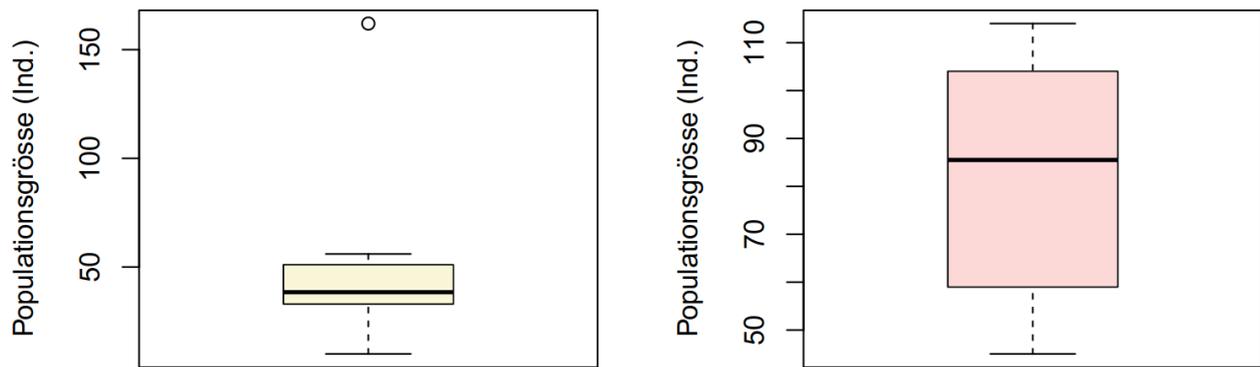


Abb. 31: Boxplot zu den geschätzten Populationsgrössen für die Untersuchungsfläche 1 (l.) und die Untersuchungsfläche 2 (r.).

Auf die jeweilige Untersuchungsfläche bezogen ergäben sich Dichten von 0.3 und 1.5 Individuen pro Quadratmeter. Ineichen (2004) konnte bei qualitativ betriebener Suche sogar Bereiche mit vier Larven pro Quadratmeter ausmachen. Für die Fläche des gesamten Schiessplatzes (Riedfläche und Waldrand) wird, in der vor 15 Jahren veröffentlichten Arbeit, von einer geschätzten Dichte von einer Larve pro Quadratmeter ausgegangen.

Aufgrund der Begehungen von Anfang August, bei welchen das ganze Hangried und dessen Randbereiche nach Larven abgesucht wurden und auch aufgrund der Ergebnisse des Feldversuchs kann die Aussage von Ineichen (2004) qualitativ bestätigt werden. Die Grössenordnung von einer Larve pro Quadratmeter kann in der aktuellen Erhebung als Referenzwert zur Einschätzung der Larvenpopulation bestätigt werden. Die Anzahl Individuen für das ganze Untersuchungsgebiet zu schätzen, ist äusserst schwierig und wohl auch sehr ungenau.

Wie in Kapitel 3.3 erwähnt wurden ab dem 28. August keine neuen Larven mehr markiert, jedoch deren Anzahl notiert. In der Nacht des 2. September wurden in der Untersuchungsfläche 2 beispielsweise 14 markierte Larven wiedergefunden und dazu 18 nicht markierte Larven notiert. Die Stichprobengrösse ist mit 32 Individuen so gross wie in keiner anderen Nacht. Die geschätzte Populationsgrösse beläuft sich auf 171 Individuen und ist damit zirka doppelt so gross wie der errechnete Median der Populationsgrössenschätzungen. Das zeigt die grosse Unsicherheit bezüglich der Aussage zur Populationsgrösse.

4.5 Vegetation

In den beiden Untersuchungsflächen konnten 33 Pflanzenarten gezählt werden. 26 in Untersuchungsfläche 1 und deren 33 in Untersuchungsfläche 2. Alle Pflanzen aus der Untersuchungsfläche 1 konnten auch in der Untersuchungsfläche 2 gefunden werden. Die Gesamtartenliste mit Deckungsgrad befindet sich im Anhang C. In allen Schichten (Kraut-, Strauch-, und Baumschicht) dominiert die Buche (*Fagus sylvatica*). Die Bereiche sind klar als Waldmeister-Buchenwald zu taxieren. Damit kann das Ergebnis der Erhebung von 1993 bestätigt werden (GIS-ZH, 1993). Die gemittelten Zeigerwerte nach Landolt & Bäumler (2010) sind der

folgenden Tabelle zu entnehmen. Die Lichtzahl weist auf einen schattig bis halbschattigen und die Feuchtezahl auf einen mässig feuchten Standort hin. In Kombination mit den gut besonnten Randregionen der Waldfläche scheinen die Flächen dem in der Literatur beschriebenen Lebensraum des Grossen Glühwürmchens zu entsprechen.

Tab. 3: Gemittelte Zeigerwerte nach Landolt et al. (2010).

Zeigerwerte nach Landolt	
Temperaturzahl	3.52
Kontinentalitaetszahl	2.74
Lichtzahl	2.55
Feuchtezahl	3.12
Reaktionszahl	3.32
Naehrstoffzahl	3

4.6 Lux-Messung

Die Lux-Messung am 9. September startete um 19:20 Uhr, 30 Minuten bevor die Sonne gänzlich hinter den Bäumen verschwand. Im Unterholz des Buchenwalds zeigte das Messgerät um 19:50 Uhr noch 2.32 Lux an. Kurz darauf um 20:22 Uhr wurden 0.00 Lux angezeigt.

Ursprünglich sollte die Beleuchtungsstärke bei jedem Larvenfund notiert werden, doch während den ersten drei Untersuchungs Nächten konnten keine Larven gefunden werden bevor der Lux-Meter bereits 0.00 Lux angezeigt hat. In einer Vollmondnacht, wie sie während des Untersuchungszeitraums nur einmal, und zwar am 15. August stattfand sollte die Beleuchtungsstärke bei zirka 0.25 Lux liegen (Dark-Sky Switzerland, 2018). Im Unterholz des Buchenwalds wurden jedoch 0.00 Lux gemessen und so kann keine Aussage zum Einfluss von niedrigen Beleuchtungsstärken auf die Larven gemacht werden. In der Vollmondnacht des 15. August konnten in der Untersuchungsfläche 1 sieben Larven gefunden werden (Mittelwert: 5.7, Standardabweichung: 3.1).

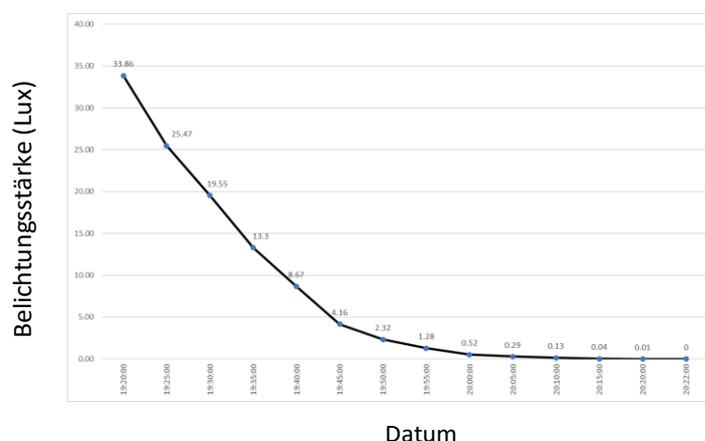


Abb. 32: Lux-Messung in der Untersuchungsfläche 1 des 9. Septembers.

5 Diskussion

5.1 Eignung der Methodik

Das Ziel der Felduntersuchung war es, neue Erkenntnisse zum Raumnutzungsverhalten der Larve des Grossen Glühwürmchens zu gewinnen. Die Methodik zur Erhebung, insbesondere der Versuchsaufbau und das Markieren der Larven wurden auf dieses Ziel ausgerichtet. Vor- und Nachteile der Vorgehensweise zeigten sich im Verlauf des Feldversuchs. Teilweise konnten die erkannten Schwächen der Methodik angepasst und so bessere Ergebnisse erzielt werden.

Wahl der Untersuchungsfläche

Der ehemalige Schiessplatz Rehalp war als Untersuchungsgebiet sehr geeignet. Dafür gibt es unter anderem auch triviale Gründe wie die Erreichbarkeit mit den öffentlichen Verkehrsmitteln bis kurz vor Mitternacht. Weiter zeigte sich während den Rekognoszierungsbegehungen, dass die Larve des Grossen Glühwürmchens in hohen Dichten vorkommt. Eine zwingende Voraussetzung, um eine akzeptable Stichprobengrösse zu erreichen. Die Untersuchungsfläche konnte frei am Ort mit der scheinbar höchsten Larvendichte platziert werden. Die Fläche befand sich etwas abseits des stark frequentierten Waldwegs und so kam es zu keinen Manipulationen durch Drittpersonen am mit Schnüren ausgesteckten Raster. Da in der Literatur keine Angaben zu Distanzen oder Bewegungsmustern der Larven gefunden wurden, und die Art (abgesehen von männlichen Imagines) als relativ immobil gilt, wurde die Untersuchungsfläche 1 auf lediglich 25 m² angelegt. Es zeigte sich schnell, dass sich die Larven aus der Untersuchungsfläche hinausbewegten. Als Reaktion darauf wurde eine zweite Untersuchungsfläche mit 288 m² angelegt. Die Verfolgung der Larven funktionierte in der Untersuchungsfläche 2 besser, doch konnte auch die mehr als zehn Mal grössere Untersuchungsfläche nicht alle Larvenbewegungen abdecken. Um Larven besser verfolgen zu können, würde sich eine klar abgegrenzte Untersuchungsfläche wohl am besten eignen. Als Grenze der Untersuchungsfläche könnten zerschneidende Elemente wie Strassen und Mäuerchen fungieren. Das aus Schnüren gespannte Raster ermöglichte das schnelle Einmessen der Larven auf wenige Zentimeter genau. Weiter half es bei der Orientierung in der Dunkelheit. Um eine Aussage zu möglichen Übertritten in angrenzende Lebensräume machen zu können wäre es spannend gewesen, die Untersuchungsfläche so zu vergrössern, dass auch ein Teil der Riedfläche abgedeckt gewesen wäre. In einem Versuch zeigte Wunsch (1990), dass «eine altersspezifische Verteilung der Larven oder eine Häufung höherer Larvenstadien in Waldnähe» nicht ausgemacht werden konnte. So sind Übertritte zwischen den Lebensräumen sehr wahrscheinlich. De Cock (2009) beschreibt zudem, dass Larven des Grossen Glühwürmchen auf der Suche nach einem Verpuppungsplatz grosse Distanzen zurücklegen können. Die sogenannten wandernden Larven sind oftmals auch tagsüber unterwegs.

Markierung der Larven

In der Literatur konnten keine Angaben zu im Freiland markierten Larven des Grossen Glühwürmchens gefunden werden. Jedoch eine Vielzahl von Studien mit Insekten inklusive Studien zur Markierung von männlichen und weiblichen Grossen Glühwürmchen (Riesen, 2005; Tyler, 2002). Larven wurden, sofern keine Publikationen zum Thema übersehen wurden, bis anhin lediglich für Laboruntersuchungen markiert. Die Markierung hatte demnach einzig als Aufgabe, Individuen unterscheidbar zu machen. Selbes war auch im Feldversuch das primäre Ziel. Doch ebenso wichtig für das Gelingen des Feldversuchs war es, die Larven durch die Markierung eher wieder zu finden.

Die Markierung mit der unter Schwarzlicht fluoreszierenden Farbe «NEW YORK NEON» direkt auf die Haut der Larven kann als sehr ungeeignet eingestuft werden. Nicht nur hat sich die Farbe von den Larven gelöst, ein Versuchstier ist, mit grosser Wahrscheinlichkeit, wegen der Markierung verendet. Die Alternative, Plastikplättchen mit der Farbe anzustreichen und so den direkten Kontakt von Farbe und Larve zu vermeiden, hat sich bewährt. Im Versuch zu den verschiedenen Klebstoffen konnte gezeigt werden, dass sich Sekundenleim gut eignet. Das hat sich während den 28 Untersuchungsnächten bestätigt. Das Markieren der Larven dauerte zusammen mit der Aufnahme der Koordinaten nur wenige Minuten. Der Sekundenleim war augenblicklich trocken und die Larve konnte wieder an den Fundort zurückgebracht werden. Die Methode ist schnell und unkompliziert. Zudem sind die Materialien kostengünstig. Ein ungelöstes Problem ist, dass sich die Larven häuten und dabei die aufgeklebte Nummer zusammen mit der Haut abstreifen. Im Verlauf des Feldversuchs konnten drei Exuvien von markierten Larven gefunden werden. Laut Schwalb (1960) wird die «Häutung eingeleitet durch eine drei bis sechstägige Ruheperiode, [...] in welcher sich die Larve nur auf mechanische- oder Lichtreize hin bewegt.» Ähnliches konnte bei der Larve 2 beobachtet werden.



Abb. 33: Abgestreifte Exuvie der Larve 2.
(Bild: Lorenz Achtnich)



Abb. 34: Fundorte der Larve 2, von welcher am 27. August eine Exuvie gefunden werden konnte.

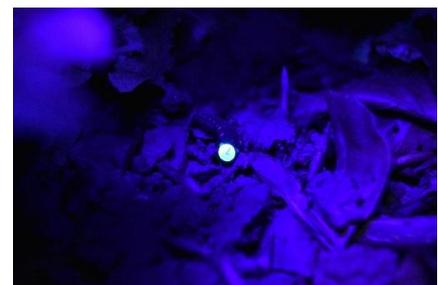


Abb. 35: Die unter Schwarzlicht stark reflektierende Markierung einer Larve.
(Bild: Lorenz Achtnich)

Das Wiederfinden der markierten Larven mit Hilfe der Schwarzlicht-Taschenlampe funktionierte einwandfrei. Der Grossteil der Larven wurde aus einigen Metern Entfernung anhand eines kurzen Aufglühens grob geortet. Mit der Schwarzlicht-Taschenlampe konnte im eingegrenzten Bereich die Streuschicht abgesucht werden und dank der hell leuchtenden Reflektion der Markierung war die Larve meist gut zu sehen (Abb. 35). So musste nicht gewartet werden, bis die Larve nach kurzer Zeit wieder aufleuchtete. Nach Abschluss der Feldarbeit kann aufgrund der nach eigener Einschätzung hohen Rückfangquote die

verwendete Methode als gut funktionierend und erfolgsversprechend beurteilt werden. Es fehlen jedoch Referenzgrößen zu Rückfangquoten der Larve des Grossen Glühwürmchens.

Die Markierung mit Farbe scheint noch immer häufig genutzt zu werden und aufgrund ihrer Funktionalität zuverlässige Resultate zu liefern. Im Bereich der GPS-Logger wurden offenbar im letzten Jahrzehnt grosse Fortschritte gemacht. Besonders was die Grösse und das Gewicht angeht. Die Sender sind mittlerweile bei einem Gewicht von Rund 5 Milligramm und damit wäre die Besenderung von kleinen Insekten möglich. Diese Art der Besenderung hätte viele Vorteile gegenüber der klassischen Fang-Wiederfang Methode. Bei Letzteren können nämlich lediglich Beziehungen zwischen der Strecke vom Fang- zum Wiederfangort und der dafür benötigten Zeit hergestellt werden (Lorenzen, 2002). Über die tatsächlich zurückgelegte Strecke und das Verhalten im Zeitraum zwischen Fang und Wiederfang lassen sich keine Aussagen machen. Aussagen zum Individualverhalten der Larven sind mit der Fang-Wiederfang Methode eher Vermutungen.

5.2 Gewonnene Daten und Resultate

Die Daten aus dem Feldversuch, an erster Stelle die Koordinaten der Larvenfunde, sind eine solide Basis für die Resultate dieser Arbeit. Dank der hohen Rückfangquote und der fast lückenlosen Erhebung über den gesamten Untersuchungszeitraum konnten 361 Larvenfunde notiert werden. Dieser Wert übertrifft die persönlichen Erwartungen. Innerhalb eines Monats konnten 77 von 90 Larven (85.6 %) wiedergefunden werden. Weiter war wohl auch der Zeitpunkt der Untersuchung zwischen August und September ideal. Laut Gun & Gun (2012) ist die Glühaktivität der Larven im Allgemeinen im Herbst höher als im Frühling. Besonders gross ist die Aktivität laut Gun & Gun (2012) im September.

Bemerkenswert ist, dass es nahezu keinen Austausch zwischen den beiden Untersuchungsflächen gegeben hat, obwohl diese nur wenige Meter auseinander lagen. Ein weiterer Hinweis dafür, dass der Aktionsradius der Larven während dem Untersuchungszeitraum relativ klein war.

Viele Beobachtungen sind qualitativ und können nicht mit statistischen Mitteln belegt werden. So ist beispielsweise eine Unterscheidung der gerichteten und ungerichteten Bewegungen grösstenteils Spekulation (vgl. Abb. 30). Die Aussage über die zurückgelegte Distanz pro Nacht ist stark vereinfacht und lediglich die Luftlinie zwischen Fund- und Wiederfundort. Die Werte sind wohl näher an der Mindestdistanz als an der tatsächlich von der Larve zurückgelegten Strecke. Die Einteilung in Larvenstadien nur anhand der Länge ist, in einer Genauigkeit wie sie von Wunsch (1990) erreicht wurde, nicht möglich. Die Messung der Beleuchtungsstärke hat nicht wie gewünscht funktioniert. Eine erhoffte Aussage dazu, ob Larven bei hellem Nachthimmel (0.25 Lux) weniger aktiv sind als bei grösserer Dunkelheit, war leider nicht möglich, da das Messgerät auf der sensibelsten Stufe 0.0 Lux angezeigt hat, als in der Untersuchungsfläche jeweils ein erstes Aufblitzen einer Larve erkannt wurde. Es ist während des Feldversuchs nicht der Eindruck entstanden, dass in Nächten mit viel Mondschein weniger Larven gefunden wurden.

Anders hatte dies Wunsch (1990) während ihres Feldversuchs empfunden: «In einer mond hellen Nacht sind

unabhängig von der Witterung nur vereinzelt Larven zu sehen. Diese Aktivitätshemmung ist auf die Lichtintensität zurückzuführen.» Dreisig (1974) beschreibt, dass der Beginn der Larvenaktivität stark von der Änderung der Beleuchtungsstärke abhängt und das sowohl im Freiland wie auch im Labor. De Cock (2004) beschreibt, dass durch Helligkeit (Mondlicht oder Lichtverschmutzung) die Glühaktivität der Larven des Grossen Glühwürmchens stark gehemmt wird. Dem entgegen haben Gun & Gun eine starke Korrelation zwischen Mondphase und Glühaktivität der Larven gefunden. Sie sehen nicht die gleiche Verbindung zwischen dem Umgebungslicht und der Glühaktivität der Larven wie die eben erwähnten Autoren. Ein Grund dafür, dass bei den aktuellen Untersuchungen bei Vollmond nicht weniger Larven gefunden wurden, könnte sein, dass aufgrund der dichten Hecke und dem relativ geschlossenen Blätterdach der locker stehenden Buchen wenig Umgebungslicht (Mondlicht oder Lichtverschmutzung) auf die Untersuchungsfläche treffen kann. Die Untersuchungen von Wunsch (1990), welche bei starkem Mondschein deutlich weniger Larven finden konnte, fanden im offenen Bereich einer Riedfläche statt. Auch die Untersuchungsfläche in der Arbeit von Gun & Gun (2012) liegt zwischen einem See und einem Bahndamm mit halboffener Vegetation. Der Einfluss des Umgebungslichts dürfte in deren Untersuchungen folglich eine grössere Rolle gespielt haben.

Nicht untersucht wurde das Nahrungsangebot in den beiden Untersuchungsflächen. Während der Feldarbeit wurden diverse Nackt- und Gehäuseschnecken gesichtet und es konnte eine markierte Larve auf einer Schleimspur beobachtet werden. Die im Vergleich zum restlichen Untersuchungsgebiet erhöhte Larvendichte könnte auch mit einem besonders grossen Nahrungsangebot im Bereich des Waldrandes zurückzuführen sein. Während einer Exkursion mit dem Verein Glühwürmchen Projekt konnten im Untersuchungsgebiet 31 verschiedene Schneckenarten gefunden werden, welche durch Peter Müller bestimmt wurden.

Von qualitativem Charakter aber anhand der folgenden Grafik (Abb. 36) sehr deutlich ersichtlich ist die folgende Aussage bezüglich Habitatpräferenz der Larven. Die Larven halten sich grossmehrerheitlich nicht im dichten Unterholz auf. Die Bereiche mit dicht stehenden Buchenschösslingen wurden von den Larven praktisch komplett gemieden. In Bereichen mit Brombeergestrüpp konnten überhaupt keine Larven gefunden werden. Es sind die Randregionen dieser dichten Vegetationsgruppen, in welchen viele Larvenfunde verbucht werden konnten. Auf den gesamten Bereich der Untersuchungsfläche 2 scheint aufgrund der westlich angrenzenden dichten Hecke nur wenig Mondlicht, die locker stehenden hochgewachsenen Buchen lassen jedoch tagsüber etwas Sonnenlicht durch. Diese Beobachtung entspricht vollumfänglich Wunschs Beschreibung von Bereichen mit hohen Larvendichten: «Standorte mit grossem Vorkommen zeichnen sich durch eine lichte Pflanzendecke, welche direkte Sonneneinstrahlung durchlässt, aus. Es herrscht eine hohe Bodenfeuchtigkeit.» An solchen Standorten konnte Wunsch (1990) bis zu elf Larven pro Quadratmeter zählen. Jedoch nur bei Nieselregen und schwülwarmer Luft.

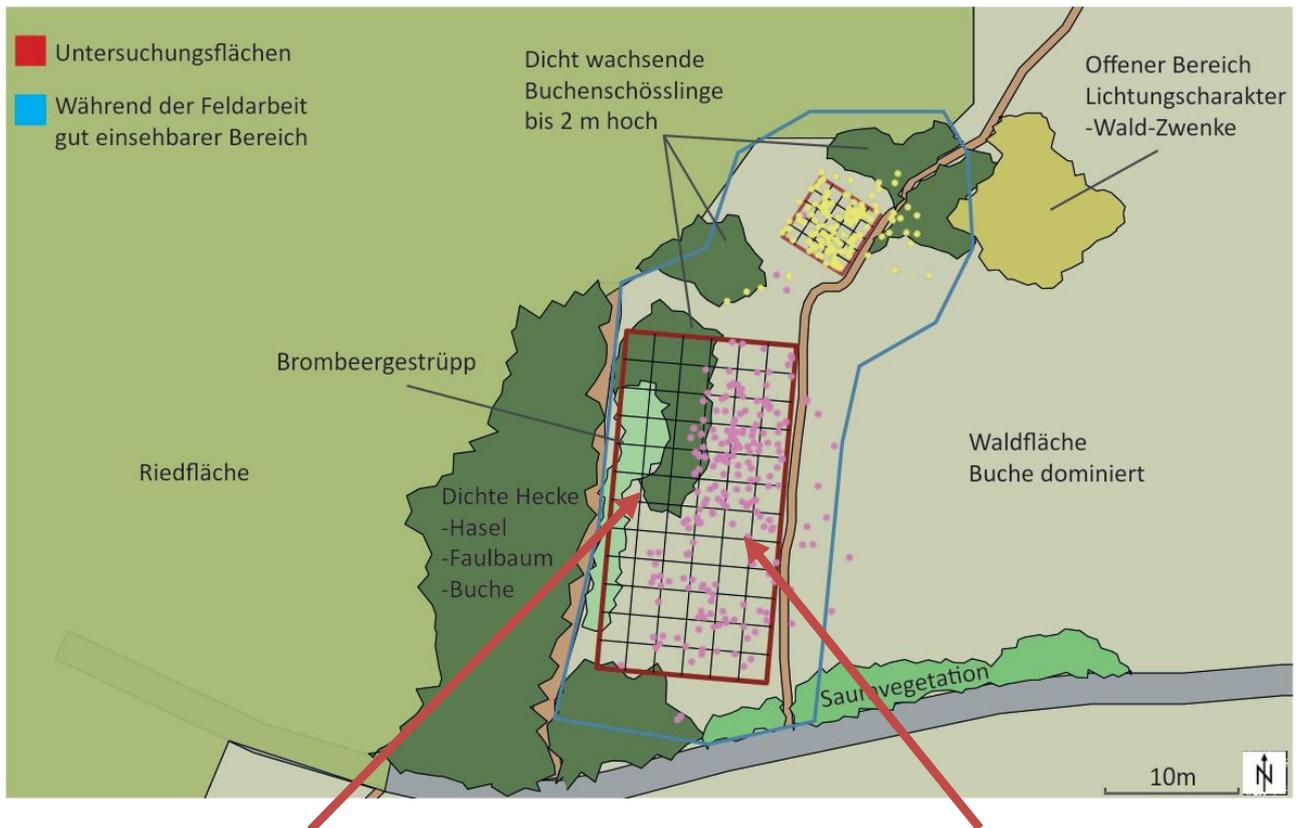


Abb. 36: Visualisierung der Larvenfunde der Untersuchungsfläche 1 (gelb) und der Untersuchungsfläche 2 (rosa). Die von den Larven gemiedenen Bereiche mit dichter Vegetation (l.) sind deutlich ersichtlich. Der grosse Teil der Larvenfunde war in Bereichen mit lückiger Vegetation (r.). (Bilder: Lorenz Achtnich)

5.3 Populationsgrössenschätzung

Wie in den Resultaten, Kapitel 4.4 beschrieben herrscht eine gewisse Unsicherheit bezüglich der Schätzung zur Populationsgrösse. Zwar gibt es für beide Untersuchungsflächen viele Wiederfangevents, was die Akkuratessse steigert. Die Genauigkeit der Schätzung sollte mit jedem Wiederfangevent genauer werden. Es zeigt sich eine grosse Abweichung zwischen den einzelnen Schätzungen. Was sich wohl negativ auf die Schätzung ausgewirkt hat, ist die Tatsache, dass zwei Voraussetzungen für eine Populationsschätzung nicht gegeben waren. Es kann mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit gesagt werden, dass die Population nicht geschlossen war. Geburten können ausgeschlossen werden, da die sehr kleinen Larven, welche ab dem 28. August gefunden wurden, nicht berücksichtigt wurden. Ziemlich sicher hat es Zu- oder Abwanderung von Larven aus den Untersuchungsflächen gegeben. Diese Unschärfe beeinträchtigt die Genauigkeit der Populationsschätzung nicht stark, befanden Kendall et al. (1999). «Das Untersuchungsgebiet ist nur ein Teil der Gesamtpopulation, in der sich die Tiere zufällig bewegen. Völlig zufällige Bewegungen von Individuen in das Untersuchungsgebiet und aus dem Untersuchungsgebiet heraus, beeinträchtigen zwar die Datengenauigkeit, beeinflussen aber die Berechnungen mittels Lincoln-Peterson-Methode nicht».

Weiter war das Ziel der Markierung der Larven, mit unter Schwarzlicht fluoreszierender Farbe, den Wiederfund zu vereinfachen. Für eine Populationsschätzung muss jedoch die Fangwahrscheinlichkeit für jedes Individuum gleich gross sein. Werden die markierten Larven besser gefunden als die unmarkierten, hat das zur Folge, dass die Populationsschätzung tendenziell zu klein ausfällt.

6 Schlussfolgerungen

- Das Untersuchungsgebiet im Wehrenbachtobel eignet sich sehr gut für Feldversuche zum Grossen Glühwürmchen.
- Die höchsten Larvendichten lassen sich wohl im Übergangsbereich und auf den ersten 10 Metern Wald finden.
- Die Farbe «NEW YORK NEON» sollte nicht direkt auf Larven des Grossen Glühwürmchens aufgetragen werden.
- Sekundenleim eignet sich gut für das Befestigen der Markierung auf den Larven.
- Die Markierung der Larven mit unter Schwarzlicht fluoreszierender Farbe erleichtert den Wiederfund der Larven ungemein.
- Die durchschnittlich von Larven zurückgelegte Strecke in einer Nacht liegt unter zwei Metern.
- Die von den Larven genutzten Flächen überlappen sich stark.
- Die besten Chancen Larven zu finden, hat man zirka zwei Stunden nach dem Sonnenuntergang.
- Das Ergebnis der Untersuchung von 2004 zur Larvendichte im Wehrenbachtobel kann in der Grössenordnung bestätigt werden.
- Weitere Untersuchungen sollten längere Untersuchungszeiträume abdecken und die Untersuchungsfläche sollte idealerweise durch zerschneidende Elemente klar abgegrenzt sein.

7 Literaturverzeichnis

- Amler, K., Bahl, A. & Henle, K. (1999). *Populationsbiologie in der Naturschutzpraxis*. Stuttgart (Hohenheim): Ulmer.
- Backer, R. (1983). *Insect Territoriality*. University of Manchester: Departement of Zoology. Annual Review of Entomology. 28:65-89. Zugriff am 23.12.2019. Verfügbar unter:
<https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.en.28.010183.000433?journalCode=ento>
- Beck, R. (2015). *Investigating the impact of artificial night lighting on the common European glow-worm, *Lampyrus noctiluca* (L.) (Coleoptera: Lampyridae)*. Bachelorarbeit. Altringham: University of Leeds.
- van Bergen, V. S. (2019). *The Honey-buzzards of the Sensebezirk: First findings on density, diet, reproduction and food competition in a Swiss population of Honey-buzzard *Pernis apivorus**.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30277.19683>
- Bird, S. & Parker, J. (2014). Low levels of light pollution may block the ability of male glow-worms (*Lampyrus noctiluca* L.) to locate females. *Journal of Insect Conservation*, 18. <https://doi.org/10.1007/s10841-014-9664-2>
- Bongardt, J. (1904). *Zur Biologie unserer Leuchtkäfer*. Naturw. Wschr. 19, 305-310.
- Booth, D. (2004). Colour vision in the glow-worm *Lampyrus noctiluca* (L.) (Coleoptera: Lampyridae): evidence for a green-blue chromatic mechanism. *Journal of Experimental Biology*, 207(14), 2373–2378.
<https://doi.org/10.1242/jeb.01044>
- Braun-Blaquet, J. (1964). *Pflanzensoziologie* (3. Auflage. 865 pp.). Wien: Springer-Verlag.
- Buck, J. B. (1937). Studies on the Firefly. II. The Signal System and Color Vision in *Photinus pyralis*. *Physiological Zoology*, 10(4), 412–419. <https://doi.org/10.1086/physzool.10.4.30151427>
- Burgman, M. A. & Fox, J. C. (2003). Bias in species range estimates from minimum convex polygons: implications for conservation and options for improved planning. *Animal Conservation*, 6(1), 19–28.
<https://doi.org/10.1017/S1367943003003044>

- Cordillot, F. & Klaus, G. (2011). *Gefährdete Arten in der Schweiz, Synthese Rote Listen, Stand 2010*. Bern: Bundesamt für Umwelt BAFU, Umwelt-Zustand Nr. 1120: 111S.
- Costin, K. & Boulton, A. (2016). A Field Experiment on the Effect of Introduced Light Pollution on Fireflies (Coleoptera: Lampyridae) in the Piedmont Region of Maryland. *The Coleopterists Bulletin*, 70, 84–86. <https://doi.org/10.1649/072.070.0110>
- Dark-Sky Switzerland. (2018). Messungen/Versuche/Analysen. Zugriff am 20.11.2019. Verfügbar unter: <https://www.darksky.ch/dss/de/category/aktivitaeten/messungen-versuche-analysen/>
- De Cock, R. (2004). *A field study on the bioluminescent activity of larval glow-worms, Lampyris noctiluca and Phosphaenus hemipterus (Coleoptera: Lampyridae) in relation to environmental factors and light pollution*. PhD Thesis. Chapter 3, pp. 43-74: University of Antwerpen,.
- De Cock, R. (2009). *Biology and behavior of European lampyrids*. Belgium: Universität Antwerpen, A Collection of Illuminating Essays, 161-200.
- Delarze, R., Gonseth, Y., Eggenberg, S. & Vust, M. (2015). *Lebensräume der Schweiz: Ökologie - Gefährdung - Kennarten* (3., vollst. überarb. Aufl.). Bern: Ott.
- Dreisig. (1974). *Observations on the luminescence of the larval Glow-worm, Lampyris noctiluca L. (Col. Lampyridae)*. Ent. Scan. 5, 103-109.
- Dreisig, H. (1975). Environmental control of the daily onset of luminescent activity in glowworms and fireflies (Coleoptera: Lampyridae). *Oecologia*, 18(2), 85–99. <https://doi.org/10.1007/BF00348090>
- GIS-ZH. (1993). Geographisches Informationssystem des Kantons Zürich (GIS-ZH) Amt für Raumentwicklung, Abteilung Geoinformation, GIS-Browser (Karte: [Vegetationskundliche Kartierung der Wälder im Kanton]. Zugriff am 29.11.2019. Verfügbar unter: <https://maps.zh.ch/>
- GIS-ZH. (2019a). Geographisches Informationssystem des Kantons Zürich (GIS-ZH) Amt für Raumentwicklung, Abteilung Geoinformation, GIS-Browser (Karte: [Lebensraumkartierung]. Zugriff am 29.11.2019. Verfügbar unter: <https://maps.zh.ch/>

- GIS-ZH. (2019b). Geographisches Informationssystem des Kantons Zürich (GIS-ZH) Amt für Raumentwicklung, Abteilung Geoinformation, GIS-Browser (Karte: [Natur- und Landschaftsinventar 1980]. Zugriff am 29.11.2019. Verfügbar unter: <https://maps.zh.ch/>
- Gunn, P. & Gunn, B. (2012). Lunar effects on the bioluminescent activity of the glow-worm *Lampyrus noctiluca* and its larvae, 3, 16.
- Haller, R. (1996). *Homerange- und Habitatanalysen - Entwicklung von Methoden zur Nutzung von GIS in der Wildforschung*. Diplomarbeit. Zürich: Geographisches Institut der Universität Zürich. Zugriff am 12.12.2019. Verfügbar unter: https://www.parcs.ch/snp/pdf_public/2158_homerange_habitat_haller1996.pdf
- Ineichen, S. (2004). *Zur Raumnutzung von Larven, Weibchen, und Männchen des Grossen Glühwürmchens *Lampyrus noctiluca* (Coleoptera, Lampyridae)*. Mitteilungen der Entomologischen Gesellschaft Basel 53 (4), 111-122.
- Ineichen, S. & Rüttimann, B. (2012). Impact of artificial light on the distribution of the common European glow-worm, *Lampyrus noctiluca* (Coleoptera: Lampyridae). *Lampyrid*, 2:31-36.
- Jacob, A., Scheel, B. & Buschmann, H. (2009). *Raumnutzung in einer Metapopulation der Gelbbauchunke (*Bombina variegata*) an ihrer nördlichen Verbreitungsgrenze*. Göttingen: Univerität Göttingen, Abteilung Ökologie und Ökosystemforschung, Albrecht-von-Haller-Institut für Pflanzenwissenschaften. Zugriff am 10.10.2019. Verfügbar unter: <http://www.laurenti.de/pdf-Dateien/2009-01%2004-Jacob%20et%20al.-abstract.pdf>
- Kendall, B. E., Briggs, C. J., Murdoch, W. W., Turchin, P., Ellner, S. P., McCauley, E. et al. (1999). Why Do Populations Cycle? A Synthesis of Statistical and Mechanistic Modeling Approaches. *Ecology*, 80(6), 1789–1805. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1999\)080\[1789:WDPCAS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1999)080[1789:WDPCAS]2.0.CO;2)
- Kora. (2012). Eurasischer Luchs. Zugriff am 28.12.2019. Verfügbar unter: <https://www.kora.ch/index.php?id=31>
- Küchler, M. (2017). *VegeDaz (Version 2017)*. Birmensdorf: WSL.

- Lall & Worthy. (2000). Action spectra of the female's response in the firefly *Photinus pyralis* (Coleoptera: Lampyridae): evidence for an achromatic detection of the bioluminescent optical signal. *Journal of Insect Physiology*, 46(6), 965–968. [https://doi.org/10.1016/s0022-1910\(99\)00206-1](https://doi.org/10.1016/s0022-1910(99)00206-1)
- Landolt, E. & Bäumler, B. (2010). *Flora indicativa: ökologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen = ecological indicator values and biological attributes of the flora of Switzerland and the Alps* (2. Aufl.). Bern: Haupt.
- Lorenzen, D. (2002). *GIS-gestützte Modellierung für Raumnutzung von flugunfähigen Invertebraten*. Dissertation. Kiel: Ökologie-Zentrum, Fachabteilung Landschaftsökologie. Zugriff am 24.12.2019. Verfügbar unter: https://macau.uni-kiel.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dissertation_derivate_00000725/d725.pdf
- Lusti, C. & Ineichen, S. (2016). *Impact of LED floodlight on the activity range of the common European glow-worm, *Lampyris noctiluca**. (S. 2). Institute of Natural Resource Science (IUNR), Zurich University of applied Sciences (ZHAW).
- Meteo Schweiz. (2019a). Das Wetter im August 2019 - Nur warm statt heiss. *Schweizer Radio und Fernsehen (SRF)*. Zugriff am 20.12.2019. Verfügbar unter: <https://www.srf.ch/meteo/meteo-news/das-wetter-im-august-2019-nur-warm-statt-heiss>
- Meteo Schweiz. (2019b). *Lufttemperatur 5cm über Boden; Tagesdurchschnitt, Niederschlag innerhalb eines Tages*. Zürich: Federal Office of Meteorology and Climatology. Zugriff am 20.9.2019. Verfügbar unter: <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/service-und-publikationen/beratung-und-service/datenportal-fuer-lehre-und-forschung.html>
- Microsoft Corporation. (2016). *Excel 2016 (macOS)*. Washington.
- Müller, M., Schlegel, J. & Krüsi, B. (2013). Raumnutzung des Libellen-Schmetterlingshafts nördlich der Alpen: Folgerungen für den Artenschutz. *Naturschutz und Landschaftsplanung*, 45, 21–28.
- Naisse, J. (1966). *Contrôle endocrinien de la différenciation sexuelle chez *Lampyris noctiluca* (Coleoptère Lampyridae)*. Lüttich: Biologisches Archiv.

- Naturwissenschaften Schweiz. (2016). Farbmarkierte Admirale melden! Zugriff am 28.12.2019. Verfügbar unter: <https://naturwissenschaften.ch/service/news/81001-farbmarkierte-admirale-melden->
- 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(22), 11337–11358. <https://doi.org/10.1002/ece3.4557>
- Owens, A. C. S., Meyer-Rochow, V. B. & Yang, E.-C. (2018). Short- and mid-wavelength artificial light influences the flash signals of *Aquatica ficta* fireflies (Coleoptera: Lampyridae). *PLoS One*, 13(2), e0191576. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191576>
- Pro Natura. (2019). Tier des Jahres 2019: Das Glühwürmchen. Zugriff am 18.12.2019. Verfügbar unter: <https://www.pronatura.ch/de/tier-des-jahres-2019-gluehwuermchen>
- R Core Team. (2018). *R: A language and environment for statistical computing* (R Foundation for Statistical Computing). Vienna, Austria. Verfügbar unter: <http://www.R-project.org>
- Riesen, M. (2005). *Flugaktivität männlicher Grosser Glühwürmchen (Lampyrus noctiluca) während der Paarungszeit*. Wädenswil: Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften. Zugriff am 10.9.2019. Verfügbar unter: http://www.gluehwuermchen.ch/archiv/infoschweiz/pool_beob_gwp/berichte/mr.flugaktivitaetsa05.pdf
- Schwalb, H. (1960). *Beiträge zur Biologie Lampyrus noctiluca (Geoffr.) und Phausis splendidula (Lec.) und experimentelle Analyse ihres Beutefang- und Sexualverhaltens*. Mainz: Naturwissenschaftliche Fakultät der Johannes-Gutenberg-Universität.
- Stadt Zürich. (2013). *Der Wehrenbach im Überblick*. Zürich: ERZ Entsorgung und Recycling. Zugriff am 29.11.2019. Verfügbar unter: http://www.portal.zh-affoltern.ch/files/zh-affoltern/images/quartierinfo/SW_Bachkonzept_1306.pdf
- Süddeutsche Zeitung. (2015). Zehntausend Bienen tragen jetzt Mikrochip-Rucksäcke. Zugriff am 28.12.2019. Verfügbar unter: <https://www.sueddeutsche.de/wissen/insektenforschung-biene-mit-rucksack-1.2621230>

Tyler, J. (2002). *The Glow-worm*. Sevenoaks, Kent: Lakeside Printing Ltd.

Verein Glühwürmchen Projekt. (2002). Glühwürmchen Projekt. Zugriff am 29.11.2019. Verfügbar unter:

https://www.gluehwuermchen.ch/gwp/berichte/gp_2002.pdf

Verein Glühwürmchen Projekt. (o. J.). Grosses Glühwürmchen. Zugriff am 27.12.2019. Verfügbar unter:

<https://www.gluehwuermchen.ch/species/lampyrus/lampyrus.html>

Verhoeff, K. (1924). *Zur Biologie der Lampyriden*. Zeitschrift für wiss. Ins. Biologie 19, 79-145.

Vogel, R. (1912). *Beitrag zur Anatomie und Biologie der Larve von Lampyrus noctiluca*. Zool. Anz. 39, 515-519.

Wunsch, E. (1990). *Untersuchungen über die Larvenentwicklung von Lampyrus noctiluca (L.) im*

Naturschutzgebiet Federsee. Tübingen: Fakultät für Biologie der Universität Tübingen.

8 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Larve, Männchen und Weibchen des Grossen Glühwürmchens v.l.n.r. (Bilder: Marc Pihed, Olavi Niemi und Paul van Hoof).....	8
Abb. 2: Markierter Admiral (Vanessa atalanta). (Bild: Christoph Fischer).....	11
Abb. 3: Honigbiene mit sehr leichtem Sensor auf dem Thorax. (Bild: Csiro).....	11
Abb. 4: Sensibilität der Fotorezeptoren von Apis mellifera und Photinus pyralis im Bezug auf die Wellenlänge des Lichts (Grafik: Owens und Lewis, 2018).....	11
Abb. 5: Korrelation zwischen Larvengrösse und Altersstadium in einem Box- und Whiskerplot (Grafik: Wunsch, 1990)	13
Abb. 6: Drei Lampyrus-Grössenklassen (I-III), welche Schwalb entsprechend dem Stadium als ein-, zwei-, oder dreijährige Larven bezeichnet (Schwalb, 1960). (Bild: Hans Schwalb)	14
Abb. 7: Drei markierte Lampyrus-Larven, welche in Schwalbs Grössenklassen I, II und III eingeteilt wurden. Die Einteilung erfolgte anhand der Grösse der Larven, wobei es nicht bei allen Individuen auf den ersten Blick klar war, welcher Grössenklasse sie angehören. (Bild: Lorenz Achtnich).....	14
Abb. 8: Die Lage des Hangrieds (rot) am Wehrenbach in Raum Zürich, beim Quartier Witikon und im umliegenden Wald (Grafiken: GIS-ZH, verändert).....	15
Abb. 9: Die Riedfläche auf dem ehemaligen Schiessplatz Rehalp. (Bild: Lorenz Achtnich)	16
Abb. 10: Abgestufter Übergang von der Riedfläche zum Wald. Hier ist der östliche Riedrand zu sehen, an welchem sich die Untersuchungsflächen befanden. (Bild: Lorenz Achtnich).....	16
Abb. 11: Ausgesteckte Untersuchungsfläche 2 entlang eines Trampelpfads. (Bild: Lorenz Achtnich).....	16
Abb. 12: Ausgesteckte Untersuchungsfläche 1 im Buchen-Unterholz. (Bild: Lorenz Achtnich)	16
Abb. 13: Bereiche (blau), welche vor Beginn des Feldversuchs anhand qualitativer Beobachtungen als geeignet eingestuft wurden (Grafik: GIS-ZH, verändert).....	17
Abb. 14: Lage der Untersuchungsflächen U1 und U2 am Rand der Riedfläche und die verschiedenen Vegetationsgesellschaften (Grafik: GIS-ZH, verändert).....	18
Abb. 15: Die verschiedenen Tests, um eine für den Feldversuch geeignete Methode zur Markierung von Larven zu finden: Das Auftragen der Farbe als Farbcode wurde an Kellerasseln ausprobiert (o.l.). Larve mit direkt auf einem Thoraxsegment aufgetragener, unter Schwarzlicht fluoreszierender Farbe (o.r.). Larven, welche für den Klebstoff-Test sieben Tage lang in einem Terrarium gehalten wurden (u). Dass mehrere	

Larven gleichzeitig an einer Schnecke fressen, kommt laut Schwalb (1960) fast ausschliesslich in Gefangenschaft vor (Bilder: Lorenz Achtnich)	20
Abb. 16: Die Markierung der Larven fand etwas abseits der Untersuchungsfläche statt, sodass der Einfluss des Lichts auf die Untersuchungsfläche minimiert werden konnte. Die Larven wurden bereits nach wenigen Minuten wieder an ihren Fundort gebracht. (Bild: Andreas Butti)	21
Abb. 17: Der Lux-Meter wurde im dichten Unterholz in der Mitte der Untersuchungsfläche platziert. (Bild: Lorenz Achtnich)	22
Abb. 18: Die Grafik zeigt, wie viel Mal einzelne Larven gefunden wurden. Die Werte liegen zwischen 1 (nur bei Markierung gefunden) und 13 (12 Wiederfunde). Larven der Untersuchungsfläche 1 sind gelb, jene der Untersuchungsfläche 2 rosa.	25
Abb. 19: Die Anzahl gefundener Larven pro Untersuchungsnacht für die Untersuchungsfläche 1, die Untersuchungsfläche 2 und beide Untersuchungsflächen kombiniert (v.l.n.r.).....	26
Abb. 20: Die Anzahl gefundener Larven pro Viertelstunde in der Untersuchungsfläche 1 (l.) und der Untersuchungsfläche 2 (r.).....	27
Abb. 21: Von der Messstation Fluntern gemessener Niederschlag für das Untersuchungsgebiet innerhalb von 24 Stunden in mm (l.) und die durchschnittliche Tages-Lufttemperatur, gemessen 5 cm über dem Boden (Meteo Schweiz, 2019).	27
Abb. 22: Die Anzahl der markierten Larven aufgeteilt nach deren Grössenklasse.....	28
Abb. 23: Die Bewegungen der Larve 11 zwischen dem 14. August und dem 7. September. Elf Funde, davon acht ausserhalb der Untersuchungsfläche 1.	29
Abb. 24: Die Untersuchungsfläche 1 (rot) mit 25 Minimum-Konvex-Polygonen, welche die von den Larven genutzte Fläche darstellen.	30
Abb. 25: Die Untersuchungsfläche 2 (rot) mit 39 Minimum-Konvex-Polygonen, welche die von den Larven genutzte Fläche darstellen.	30
Abb. 26: Boxplot und Histogramm zeigen den Median und die Verteilung der von den Larven genutzten Fläche. Für die Untersuchungsfläche 1 (l.) und die Untersuchungsfläche 2 (r.).....	31
Abb. 27: Verteilung der Dichte der Larvenfunde in der Untersuchungsfläche 1.	32
Abb. 28: Verteilung der Dichte der Larvenfunde in der Untersuchungsfläche 2.	32
Abb. 29: Boxplot und Histogramm zur von den Larven zurückgelegten Strecke innerhalb einer Nacht.....	33

Abb. 30: Visualisierung der Fundkoordinaten der Larve 30 in der der Untersuchungsfläche 1. Anhand dieser Darstellung ergibt sich die Möglichkeit, die Bewegungen der Larve nachzuverfolgen.	34
Abb. 31: Boxplot zu den geschätzten Populationsgrössen für die Untersuchungsfläche 1 (l.) und die Untersuchungsfläche 2 (r.).....	36
Abb. 32: Lux-Messung in der Untersuchungsfläche 1 des 9. Septembers.	37
Abb. 33: Abgestreifte Exuvie der Larve 2. (Bild: Lorenz Achtnich)	39
Abb. 34: Fundorte der Larve 2, von welcher am 27. August eine Exuvie gefunden werden konnte.	39
Abb. 35: Die unter Schwarzlicht stark reflektierende Markierung einer Larve. (Bild: Lorenz Achtnich).....	39
Abb. 36: Visualisierung der Larvenfunde der Untersuchungsfläche 1 (gelb) und der Untersuchungsfläche 2 (rosa). Die von den Larven gemiedenen Bereiche mit dichter Vegetation (l.) sind deutlich ersichtlich. Der grosse Teil der Larvenfunde war in Bereichen mit lückiger Vegetation (r.). (Bilder: Lorenz Achtnich)	42

9 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Vergleich der Grössenklassen und Larvenstadien nach Schwalb und Wunsch.....	13
Tab. 2: Für den Feldversuch verwendete Materialien.	23
Tab. 3: Protokoll Rückfangmethode für die Untersuchungsfläche 1.....	35
Tab. 4: Protokoll Rückfangmethode für die Untersuchungsfläche 2.....	35
Tab. 5: Gemittelte Zeigerwerte nach Landolt et al. (2010).	37

Anhang

Anhangsverzeichnis

Anhang A: Rohdaten Larvenfunde	II
Anhang B: Rohdaten Larvenlänge und Grössenklasse	VI
Anhang C: Gesamtartenlisten Vegetationsaufnahmen	VII
Anhang D: Visualisierungen von Larvenbewegungen	IX
Anhang E: Markierte Larven (Larven_ID 1-90)	XII
Anhang F: Plagiatserklärung	XVIII
Anhang G: Poster	XIX

Anhang A

Rohdaten Larvenfunde

Larve_ID	Datum	X	Y	Uhrzeit	Larve_ID	Datum	X	Y	Uhrzeit
1	12.08.2019	208	345	22:30:00	10	04.09.2019	458	183	21:59:00
1	29.08.2019	437	104	22:19:00	10	06.09.2019	474	131	22:11:00
1	01.09.2019	458	118	22:41:00	10	07.09.2019	323	121	23:20:00
1	05.09.2019	142	53	23:04:00	10	08.09.2019	172	189	23:12:00
1	10.09.2019	168	111	22:04:00	11	14.08.2019	38	48	22:40:00
2	12.08.2019	285	280	22:31:00	11	15.08.2019	487	12	22:55:00
2	23.08.2019	322	343	23:15:00	11	16.08.2019	540	-93	22:32:00
2	24.08.2019	344	335	22:28:00	11	17.08.2019	501	-100	22:53:00
2	25.08.2019	346	354	22:06:00	11	18.08.2019	495	-115	22:54:00
2	26.08.2019	334	342	23:08:00	11	22.08.2019	535	-153	22:26:00
2	27.08.2019	345	349	22:34:00	11	23.08.2019	505	-312	21:38:00
3	12.08.2019	378	375	22:38:00	11	01.09.2019	361	-112	22:04:00
3	28.08.2019	288	320	23:04:00	11	04.09.2019	200	-102	23:09:00
3	02.09.2019	305	320	22:10:00	11	06.09.2019	54	241	22:11:00
4	12.08.2019	352	115	22:44:00	11	07.09.2019	113	237	22:41:00
4	14.08.2019	255	195	22:32:00	12	14.08.2019	128	9	22:40:00
4	16.08.2019	230	390	22:27:00	12	16.08.2019	474	-245	22:59:00
4	29.08.2019	33	66	22:50:00	12	18.08.2019	311	-543	23:20:00
4	04.09.2019	179	143	21:50:00	12	08.09.2019	425	-311	22:16:00
4	07.09.2019	72	142	21:42:00	13	14.08.2019	169	22	22:49:00
5	12.08.2019	475	248	22:50:00	13	18.08.2019	628	90	22:48:00
5	22.08.2019	313	217	23:21:00	14	14.08.2019	266	48	22:53:00
5	01.09.2019	58	273	22:41:00	14	18.08.2019	612	-242	23:26:00
6	12.08.2019	365	10	22:50:00	15	14.08.2019	221	228	22:59:00
6	22.08.2019	318	342	22:50:00	15	24.08.2019	290	25	22:32:00
7	12.08.2019	240	58	22:51:00	15	25.08.2019	203	30	22:01:00
7	15.08.2019	290	310	23:15:00	15	28.08.2019	210	190	22:58:00
7	18.08.2019	89	212	23:02:00	15	29.08.2019	367	111	22:56:00
7	21.08.2019	41	21	23:14:00	15	02.09.2019	514	494	21:12:00
7	22.08.2019	48	85	22:47:00	15	04.09.2019	413	468	22:48:00
7	23.08.2019	2	116	21:09:00	16	14.08.2019	136	290	23:20:00
7	27.08.2019	-454	480	22:49:00	16	22.08.2019	628	-154	23:42:00
7	01.09.2019	-580	560	23:04:00	16	09.09.2019	411	-142	23:14:00
7	08.09.2019	-380	412	22:48:00	17	14.08.2019	156	404	23:33:00
8	12.08.2019	12	263	22:58:00	17	10.09.2019	-211	289	23:18:00
8	23.08.2019	302	341	23:16:00	18	14.08.2019	213	62	23:48:00
8	24.08.2019	312	345	22:26:00	18	15.08.2019	285	20	23:21:00
8	28.08.2019	309	362	23:02:00	18	27.08.2019	393	120	22:59:00
9	12.08.2019	154	442	23:01:00	18	05.09.2019	372	178	23:18:00
9	23.08.2019	317	343	23:14:00	18	06.09.2019	172	246	22:41:00
9	29.08.2019	343	358	22:41:00	19	15.08.2019	83	156	22:40:00
9	04.09.2019	471	264	22:30:00	19	07.09.2019	372	168	22:38:00
9	08.09.2019	662	113	22:18:00	20	15.08.2019	112	228	22:50:00
10	12.08.2019	25	20	23:05:00	20	16.08.2019	155	202	23:05:00
10	13.08.2019	25	172	23:20:00	21	15.08.2019	127	172	23:01:00
10	22.08.2019	231	123	21:39:00	21	16.08.2019	145	20	22:23:00
10	23.08.2019	408	160	22:14:00	21	06.09.2019	215	-318	22:48:00
10	29.08.2019	402	190	22:43:00	22	15.08.2019	211	275	23:11:00
10	02.09.2019	402	90	21:57:00	22	18.08.2019	421	19	23:16:00

Larve_ID	Datum	X	Y	Uhrzeit	Larve_ID	Datum	X	Y	Uhrzeit
22	23.08.2019	518	45	22:11:00	34	24.08.2019	1792	385	21:47:00
22	24.08.2019	562	102	21:33:00	34	25.08.2019	2062	434	22:30:00
22	29.08.2019	720	15	23:11:00	34	01.09.2019	2065	419	22:32:00
22	04.09.2019	785	34	22:18:00	34	04.09.2019	1743	423	21:48:00
23	16.08.2019	423	373	22:39:00	34	06.09.2019	1682	365	21:19:00
23	21.08.2019	398	373	23:02:00	34	07.09.2019	1654	345	22:04:00
23	22.08.2019	310	215	23:11:00	34	08.09.2019	2072	376	22:42:00
23	01.09.2019	61	483	22:38:00	34	10.09.2019	2167	443	22:13:00
24	16.08.2019	374	312	22:28:00	34	11.09.2019	2045	346	22:22:00
25	16.08.2019	15	402	22:35:00	35	22.08.2019	1995	335	21:25:00
25	18.08.2019	260	512	23:10:00	35	26.08.2019	2245	31	23:09:00
25	23.08.2019	478	456	22:39:00	35	06.09.2019	1146	482	22:32:00
25	04.09.2019	540	390	23:14:00	35	07.09.2019	1214	543	21:47:00
26	17.08.2019	303	410	23:06:00	35	11.09.2019	1306	411	22:18:00
26	23.08.2019	363	316	22:46:00	36	22.08.2019	1455	602	21:30:00
26	24.08.2019	429	126	22:30:00	36	27.08.2019	1737	318	22:45:00
26	01.09.2019	18	43	23:18:00	36	28.08.2019	1801	225	22:30:00
26	05.09.2019	342	127	21:48:00	36	01.09.2019	1824	378	22:45:00
26	10.09.2019	162	239	21:58:00	37	22.08.2019	1870	340	21:36:00
26	11.09.2019	185	301	21:39:00	37	23.08.2019	2081	405	21:42:00
27	21.08.2019	112	497	23:04:00	37	10.09.2019	1881	448	23:18:00
27	22.08.2019	67	465	23:10:00	38	22.08.2019	1375	102	21:41:00
27	25.08.2019	248	43	21:42:00	38	24.08.2019	1443	95	21:39:00
27	04.09.2019	428	64	22:14:00	38	02.09.2019	1923	138	21:18:00
28	21.08.2019	339	165	22:20:00	38	03.09.2019	1942	140	21:13:00
29	23.08.2019	454	466	22:20:00	38	07.09.2019	1659	187	22:53:00
30	23.08.2019	61	72	22:51:00	38	08.09.2019	1672	231	23:19:00
30	24.08.2019	68	304	22:20:00	39	22.08.2019	1533	482	22:05:00
30	25.08.2019	114	316	23:01:00	39	25.08.2019	1741	527	22:28:00
30	26.08.2019	324	148	21:48:00	40	22.08.2019	1543	565	22:08:00
30	28.08.2019	358	111	22:13:00	41	22.08.2019	815	167	22:15:00
30	29.08.2019	396	102	23:14:00	41	01.09.2019	363	194	21:47:00
30	01.09.2019	389	145	21:20:00	41	02.09.2019	84	171	22:23:00
30	02.09.2019	18	68	22:40:00	42	22.08.2019	332	113	22:16:00
30	04.09.2019	367	178	22:18:00	42	26.08.2019	699	3	23:27:00
30	05.09.2019	125	73	21:53:00	42	03.09.2019	1109	-196	21:18:00
30	06.09.2019	104	109	22:12:00	42	11.09.2019	654	-114	23:11:00
30	08.09.2019	118	144	23:01:00	43	22.08.2019	486	89	22:23:00
30	09.09.2019	260	438	21:11:00	44	22.08.2019	318	512	22:29:00
31	24.08.2019	376	490	22:03:00	44	24.08.2019	362	372	23:15:00
31	04.09.2019	178	459	22:21:00	44	25.08.2019	384	322	21:35:00
32	24.08.2019	18	495	23:04:00	44	02.09.2019	437	437	22:49:00
32	02.09.2019	573	290	21:10:00	44	09.09.2019	408	268	23:01:00
32	08.09.2019	417	384	23:18:00	45	22.08.2019	135	125	22:34:00
33	25.08.2019	19	70	23:02:00	46	22.08.2019	757	857	22:42:00
33	05.09.2019	62	84	22:46:00	46	23.08.2019	666	583	21:36:00
33	06.09.2019	18	194	22:58:00	46	24.08.2019	412	-145	22:10:00
34	22.08.2019	1615	190	21:16:00	46	26.08.2019	1878	515	23:10:00
34	23.08.2019	1674	59	21:24:00	46	06.09.2019	1946	169	23:10:00

Larve_ID	Datum	X	Y	Uhrzeit	Larve_ID	Datum	X	Y	Uhrzeit
46	11.09.2019	1894	308	22:40:00	58	02.09.2019	1998	-122	22:47:00
47	22.08.2019	451	505	23:20:00	58	04.09.2019	1994	-116	21:42:00
48	22.08.2019	1345	479	22:58:00	59	23.08.2019	1614	585	22:25:00
48	24.08.2019	1262	194	22:45:00	59	09.09.2019	1574	639	23:01:00
48	25.08.2019	1762	62	22:09:00	60	23.08.2019	1003	217	22:19:00
48	28.08.2019	2088	173	23:44:00	60	24.08.2019	1067	56	22:34:00
48	03.09.2019	2874	167	21:26:00	60	25.08.2019	1170	576	22:16:00
48	10.09.2019	3311	10	22:28:00	60	28.08.2019	1546	609	23:04:00
48	11.09.2019	3454	-130	23:13:00	60	29.08.2019	1565	622	22:58:00
49	22.08.2019	2345	215	23:20:00	60	05.09.2019	1072	575	23:06:00
50	22.08.2019	1555	465	23:32:00	60	09.09.2019	1086	334	22:51:00
50	23.08.2019	1518	402	21:57:00	61	23.08.2019	1214	403	22:50:00
50	24.08.2019	1622	368	22:48:00	61	24.08.2019	1233	414	21:53:00
50	25.08.2019	1724	247	22:21:00	61	26.08.2019	1284	400	21:32:00
50	26.08.2019	1972	180	22:47:00	61	27.08.2019	1632	328	22:04:00
50	29.08.2019	2293	9	22:10:00	61	01.09.2019	1985	453	21:32:00
50	05.09.2019	2375	438	23:07:00	61	09.09.2019	1243	228	21:58:00
50	09.09.2019	2774	86	21:49:00	62	23.08.2019	22	1040	22:58:00
51	22.08.2019	86	543	23:39:00	62	25.08.2019	245	658	23:15:00
51	24.08.2019	165	241	23:14:00	62	26.08.2019	189	595	22:54:00
51	04.09.2019	251	763	22:50:00	62	27.08.2019	194	780	22:38:00
52	22.08.2019	1088	655	23:44:00	62	02.09.2019	-334	610	21:49:00
52	23.08.2019	1032	641	22:53:00	62	09.09.2019	-305	589	21:14:00
52	02.09.2019	672	649	22:35:00	63	23.08.2019	1159	484	23:26:00
53	23.08.2019	2310	15	21:19:00	63	07.09.2019	1968	479	23:29:00
53	29.08.2019	1912	-210	23:06:00	64	24.08.2019	1625	44	21:37:00
53	06.09.2019	1697	-343	22:48:00	65	24.08.2019	842	839	22:14:00
54	23.08.2019	1746	168	21:30:00	65	27.08.2019	664	859	22:40:00
54	24.08.2019	1837	12	22:42:00	65	01.09.2019	607	805	23:31:00
54	25.08.2019	1435	321	23:13:00	65	08.09.2019	238	829	22:48:00
54	05.09.2019	1418	182	23:19:00	66	24.08.2019	1434	425	22:23:00
55	23.08.2019	1738	355	21:47:00	66	25.08.2019	1489	234	21:41:00
55	25.08.2019	1512	49	22:11:00	66	29.08.2019	1382	27	22:28:00
55	26.08.2019	1681	130	22:48:00	66	05.09.2019	987	-246	22:42:00
55	29.08.2019	1529	257	22:37:00	67	24.08.2019	162	805	22:34:00
55	02.09.2019	1689	508	21:36:00	67	02.09.2019	179	475	21:54:00
55	05.09.2019	1569	367	22:28:00	68	24.08.2019	1710	392	22:54:00
55	06.09.2019	1642	272	23:27:00	69	24.08.2019	1111	588	21:58:00
56	23.08.2019	2164	2	21:53:00	69	26.08.2019	1078	561	23:11:00
56	24.08.2019	2184	162	22:08:00	69	27.08.2019	621	513	22:42:00
56	09.09.2019	2368	369	22:54:00	69	28.08.2019	601	467	22:46:00
57	23.08.2019	642	752	22:04:00	69	29.08.2019	605	610	22:01:00
57	04.09.2019	404	518	21:54:00	69	03.09.2019	1068	678	21:56:00
57	10.09.2019	345	407	22:56:00	69	06.09.2019	932	600	23:04:00
57	11.09.2019	174	371	23:19:00	69	09.09.2019	636	508	22:09:00
58	23.08.2019	826	181	22:06:00	69	11.09.2019	645	418	22:49:00
58	24.08.2019	1156	142	21:42:00	70	24.08.2019	1085	110	23:11:00
58	25.08.2019	1574	25	22:10:00	70	25.08.2019	1184	172	23:22:00
58	27.08.2019	2010	-120	22:22:00	70	29.08.2019	1567	416	23:18:00

Larve_ID	Datum	X	Y	Uhrzeit
70	08.09.2019	1648	456	23:20:00
70	09.09.2019	1746	385	22:31:00
70	10.09.2019	1728	375	23:16:00
71	25.08.2019	421	35	21:39:00
71	02.09.2019	913	-511	22:30:00
72	25.08.2019	1531	432	21:59:00
72	09.09.2019	1218	244	21:26:00
72	11.09.2019	1249	279	22:37:00
73	25.08.2019	284	162	21:56:00
74	25.08.2019	408	329	22:18:00
74	26.08.2019	460	352	22:51:00
74	27.08.2019	978	-174	22:30:00
74	04.09.2019	753	48	22:31:00
74	05.09.2019	812	67	22:42:00
74	10.09.2019	519	209	23:22:00
75	25.08.2019	1803	601	22:26:00
75	26.08.2019	1704	605	22:44:00
75	03.09.2019	1741	663	21:12:00
75	04.09.2019	1421	631	22:59:00
76	25.08.2019	2166	612	22:34:00
77	25.08.2019	1253	448	22:45:00
77	26.08.2019	1331	324	22:58:00
77	29.08.2019	1840	14	22:10:00
77	02.09.2019	523	-418	22:01:00
78	25.08.2019	528	441	22:52:00
78	07.09.2019	572	431	23:41:00
79	27.08.2019	1266	184	22:16:00
79	29.08.2019	1344	238	22:52:00
79	03.09.2019	1406	231	22:34:00
79	04.09.2019	1605	253	23:24:00
79	05.09.2019	1873	200	22:10:00
80	27.08.2019	1897	83	22:20:00
80	28.08.2019	1810	55	22:27:00
80	29.08.2019	1980	164	22:41:00
80	02.09.2019	1664	410	22:27:00
80	07.09.2019	1754	312	23:23:00
81	27.08.2019	2172	244	22:29:00
82	27.08.2019	832	900	22:52:00
82	29.08.2019	848	625	22:32:00
82	02.09.2019	1080	44	22:04:00
82	03.09.2019	1132	74	23:04:00
82	04.09.2019	1205	386	23:01:00
83	27.08.2019	490	812	23:08:00
83	05.09.2019	628	873	22:17:00
83	06.09.2019	675	813	23:32:00
84	27.08.2019	1759	240	23:15:00
85	27.08.2019	1483	504	23:19:00
85	29.08.2019	1321	512	22:26:00
85	04.09.2019	1083	578	22:53:00

Larve_ID	Datum	X	Y	Uhrzeit
85	05.09.2019	625	511	23:37:00
85	06.09.2019	407	482	23:41:00
86	28.08.2019	473	44	22:37:00
86	11.09.2019	145	476	22:56:00
87	28.08.2019	1502	327	22:45:00
87	03.09.2019	1576	17	21:53:00
87	09.09.2019	1770	240	20:36:00
88	28.08.2019	1941	612	22:53:00
88	09.09.2019	1998	585	20:41:00
88	10.09.2019	2020	361	23:43:00
88	11.09.2019	1973	231	21:32:00
89	28.08.2019	837	0	23:18:00
89	02.09.2019	1183	-328	21:23:00
89	08.09.2019	1402	-249	22:16:00
90	28.08.2019	843	637	23:32:00
90	02.09.2019	1243	534	21:20:00
90	03.09.2019	1294	600	20:59:00
90	08.09.2019	1674	678	22:11:00

Anhang B

Rohdaten Larvenlänge und Grössenklasse

Lv_ID	Länge (mm)	Larvenstadium
1	21	3
2	23	3
3	22	3
4	23	3
5	22	3
6	20	3
7	20	3
8	15	2
9	23	3
10	17	2
11	24	3
12	24	3
13	19	2
14	19	2
15	15	2
16	13	1
17	11	1
18	12	1
19	20	3
20	16	2
21	15	2
22	15	2
23	17	2
24	12	1
25	13	1
26	17	2
27	21	3
28	16	2
29	18	2
30	18	2
31	19	2
32	21	3
33	18	2
34	17	2
35	19	2
36	23	3
37	17	2
38	17	2
39	23	3
40	17	2
41	17	2
42	16	2
43	19	2
44	16	2
45	17	2
46	18	2
47	18	2
48	17	2
49	24	3

Lv_ID	Länge (mm)	Grössenklasse
50	21	3
51	22	3
52	16	2
53	16	2
54	18	2
55	16	2
56	16	2
57	17	2
58	15	1
59	15	1
60	18	2
61	21	2
62	18	2
63	24	3
64	16	2
65	19	2
66	17	2
67	15	1
68	18	2
69	23	3
70	17	2
71	20	2
72	18	2
73	23	3
74	21	3
75	24	3
76	18	2
77	19	2
78	15	1
79	17	2
80	20	3
81	18	2
82	18	2
83	21	3
84	19	2
85	21	2
86	16	2
87	18	2
88	21	3
89	17	2
90	21	3

Anhang C

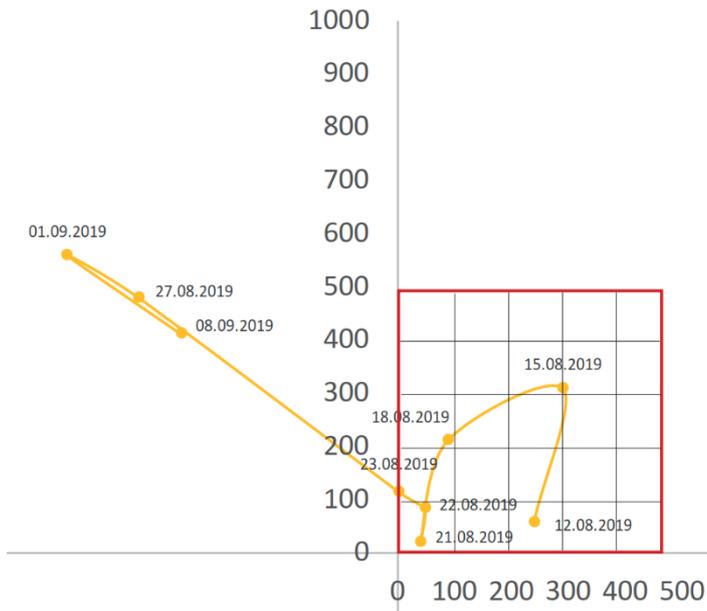
Gesamtartenlisten Vegetationsaufnahmen

Untersuchungsfläche 1		Deckungsgrad nach Braun-Blanquet		
		Baumschicht	Strauchschicht	Krautschicht
1	<i>Acer campestre</i> L.	r	+	1
2	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	+	+	1
3	<i>Ajuga reptans</i> L.	-	-	+
4	<i>Brachypodium sylvaticum</i> (Huds.) P. Beauv.	-	-	2
5	<i>Carex sylvatica</i> Huds.	-	-	1
6	<i>Cornus sanguinea</i> L.	-	+	r
7	<i>Corylus avellana</i> L.	-	+	+
8	<i>Crataegus laevigata</i> (Poir.) DC.	-	r	r
9	<i>Euonymus europaeus</i> L.	-	r	-
10	<i>Fagus sylvatica</i> L.	4	4	2
11	<i>Fragaria vesca</i> L.	-	-	+
12	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	r	+	-
13	<i>Galium odoratum</i> (L.) Scop.	-	-	1
14	<i>Hedera helix</i> L.	-	-	2
15	<i>Juglans regia</i> L.	-	r	-
16	<i>Lamium galeobdolon</i> (L.) L. s.l.	-	-	1
17	<i>Ligustrum vulgare</i> L.	-	+	r
18	<i>Lonicera xylosteum</i> L.	-	1	+
19	<i>Paris quadrifolia</i> L.	-	-	1
20	<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst.	-	r	-
21	<i>Polygonatum multiflorum</i> (L.) All.	-	-	r
22	<i>Rubus caesius</i> L.	-	-	1
23	<i>Ulmus glabra</i> aggr.	r	r	-
24	<i>Viburnum lantana</i> L.	-	r	-
25	<i>Viburnum opulus</i> L.	-	+	-
26	<i>Viola odorata</i> L.	-	-	1
Geschätzter Deckungsgrad in %		80	65	30

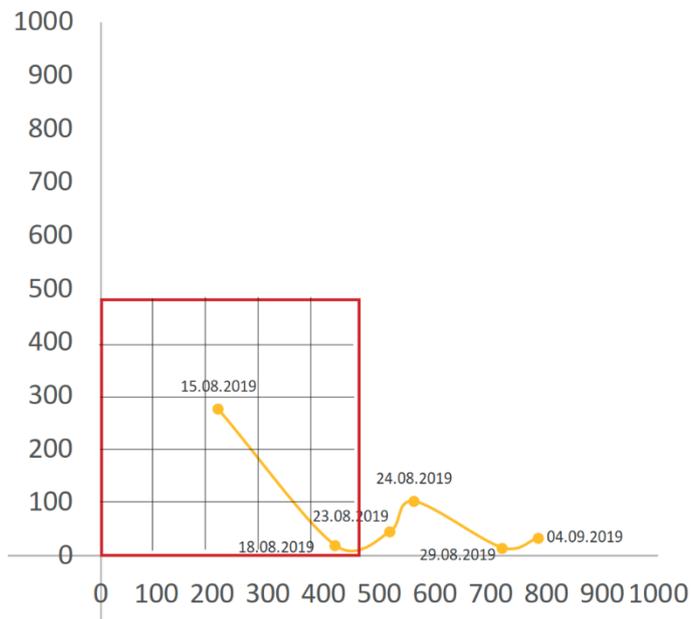
Untersuchungsfläche 2		Deckungsgrad nach Braun-Blanquet		
		Baumschicht	Strauchschicht	Krautschicht
1	<i>Acer campestre</i> L.	r	+	1
2	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	+	+	1
3	<i>Ajuga reptans</i> L.	-	-	+
4	<i>Brachypodium sylvaticum</i> (Huds.) P. Beauv.	-	-	2
5	<i>Carex sylvatica</i> Huds.	-	-	1
6	<i>Carpinus betulus</i> L.	-	1	1
7	<i>Cornus sanguinea</i> L.	-	+	r
8	<i>Corylus avellana</i> L.	-	+	+
9	<i>Crataegus laevigata</i> (Poir.) DC.	-	r	r
10	<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P. Beauv.	-	-	+
11	<i>Euonymus europaeus</i> L.	-	r	-
12	<i>Fagus sylvatica</i> L.	4	4	2
13	<i>Fragaria vesca</i> L.	-	-	+
14	<i>Frangula alnus</i> Mill.	r	+	r
15	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	r	+	-
16	<i>Galium odoratum</i> (L.) Scop.	-	-	1
17	<i>Hedera helix</i> L.	-	-	1
18	<i>Juglans regia</i> L.	-	r	-
19	<i>Lamium galeobdolon</i> (L.) L. s.l.	-	-	1
20	<i>Ligustrum vulgare</i> L.	-	+	r
21	<i>Lonicera xylosteum</i> L.	-	1	+
22	<i>Paris quadrifolia</i> L.	-	-	1
23	<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst.	-	r	-
24	<i>Polygonatum multiflorum</i> (L.) All.	-	-	r
25	<i>Prunus avium</i> L.	r	r	+
26	<i>Prunus padus</i> L. s.l.	r	+	+
27	<i>Quercus petraea</i> Liebl.	+	-	-
28	<i>Rosa canina</i> L.	-	r	-
29	<i>Rubus caesius</i> L.	-	-	1
30	<i>Ulmus glabra</i> aggr.	r	r	-
31	<i>Viburnum lantana</i> L.	-	r	-
32	<i>Viburnum opulus</i> L.	-	+	-
33	<i>Viola odorata</i> L.	-	-	1
Geschätzter Deckungsgrad in %		70	40	25

Anhang D

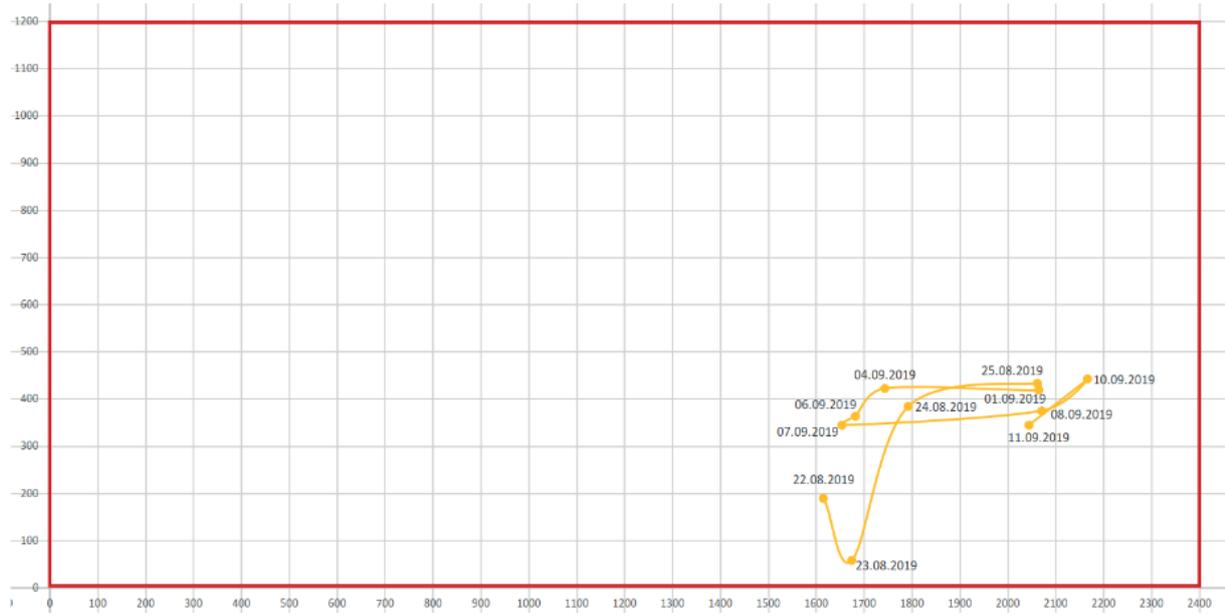
Visualisierungen von Larvenbewegungen



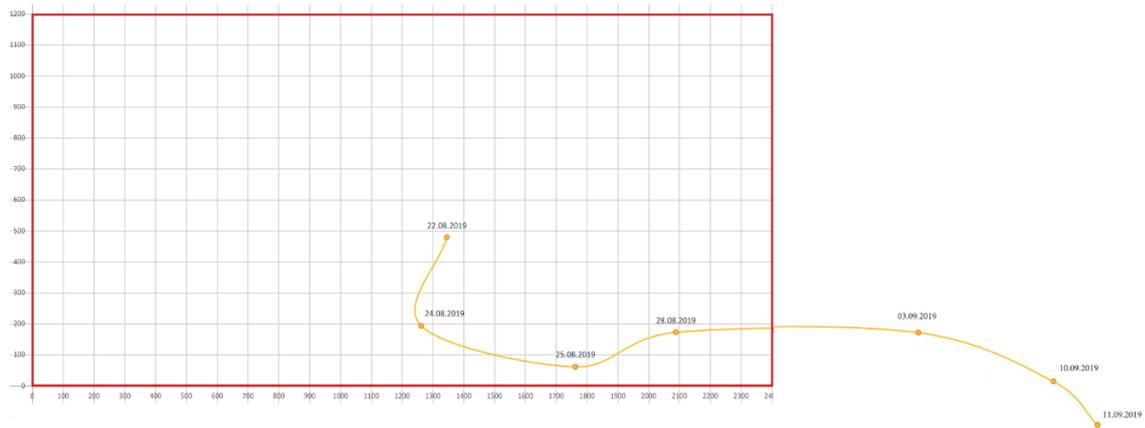
Larven_ID: 7



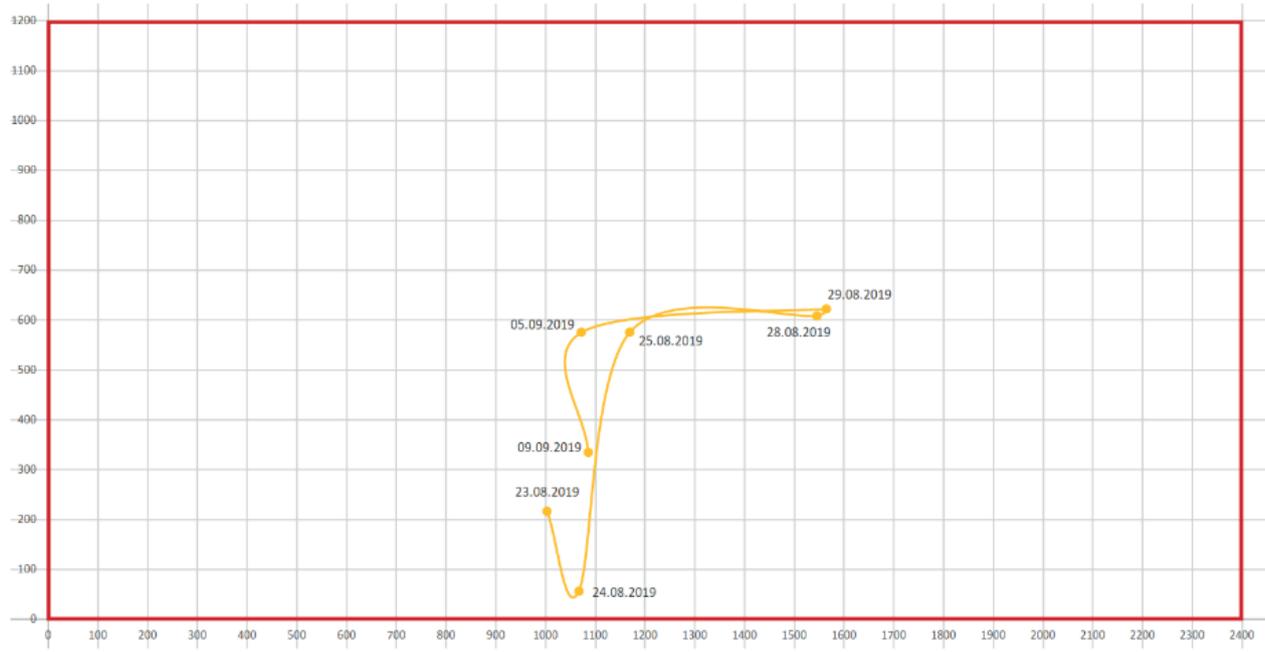
Larven_ID: 22



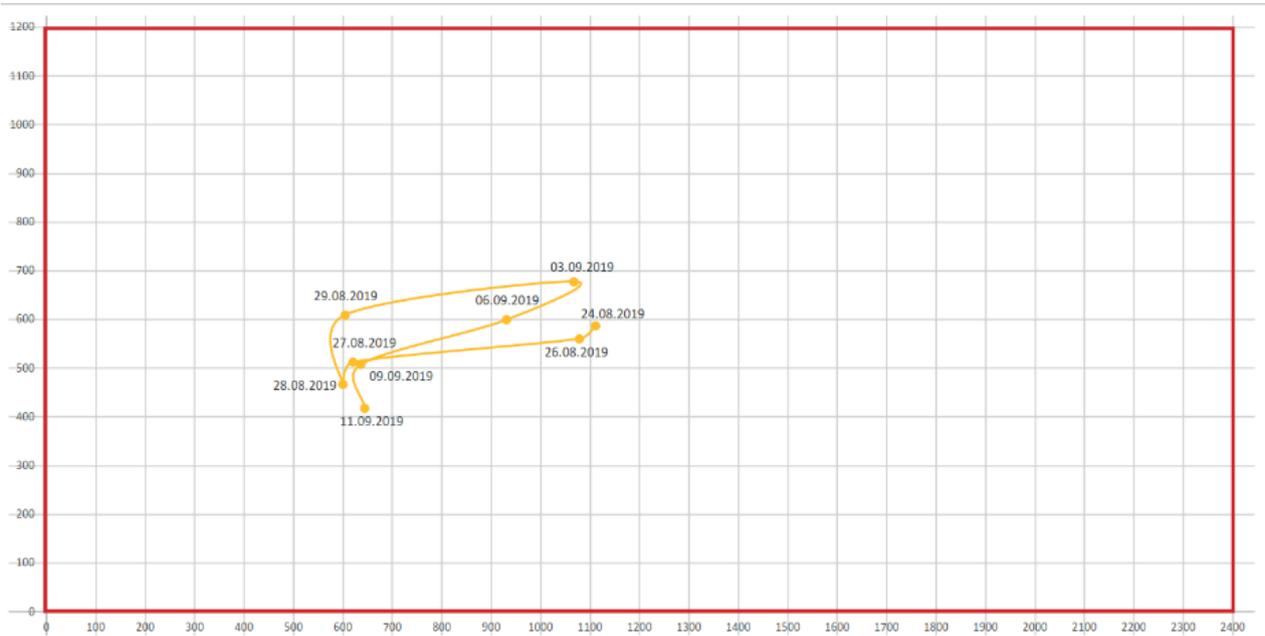
Larven_ID: 34



Larven_ID: 48



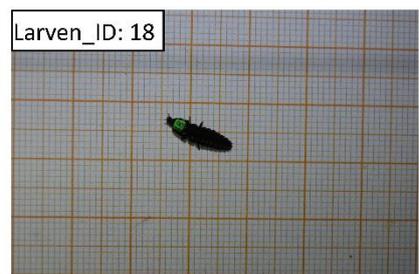
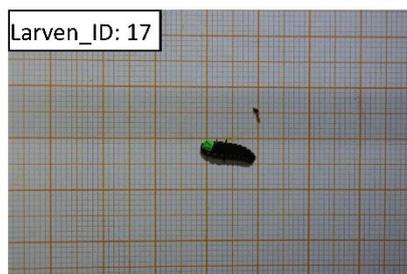
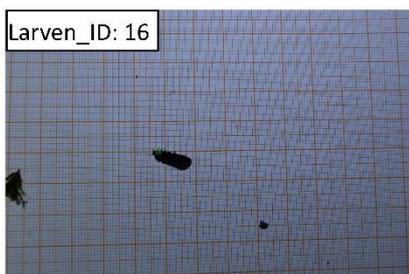
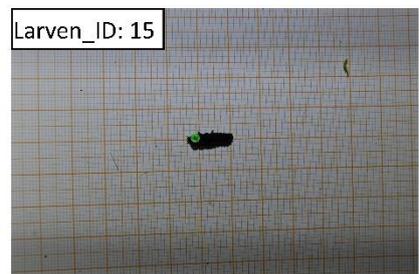
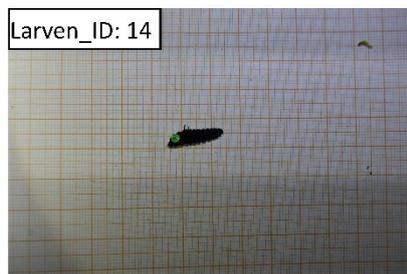
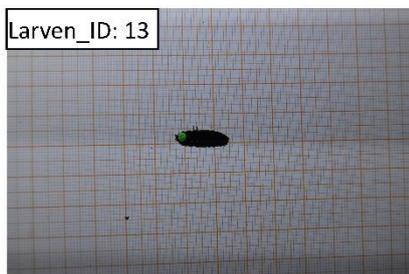
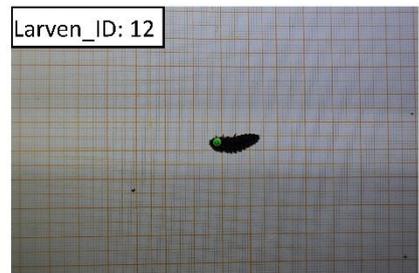
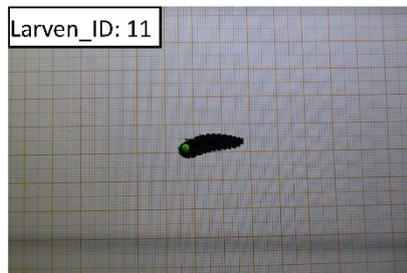
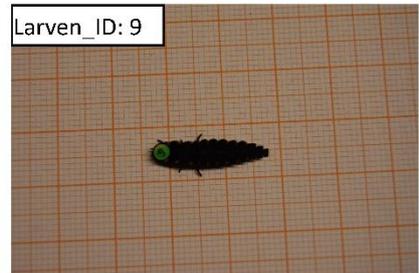
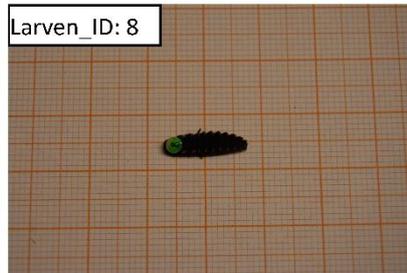
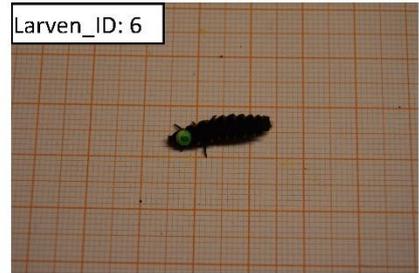
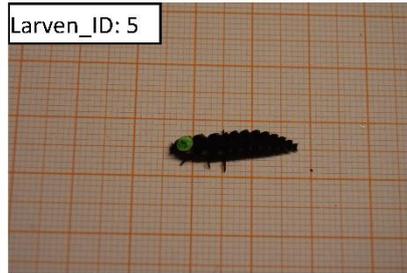
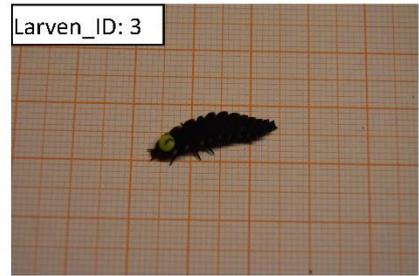
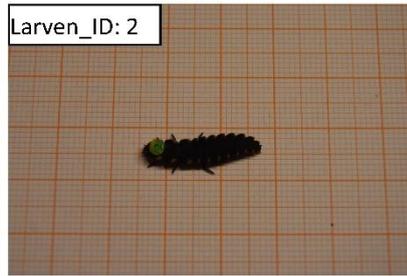
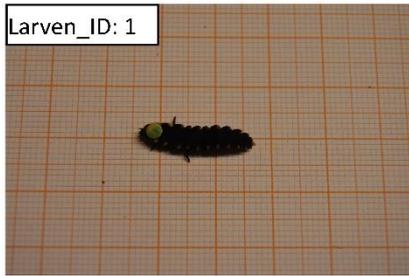
Larven_ID: 60

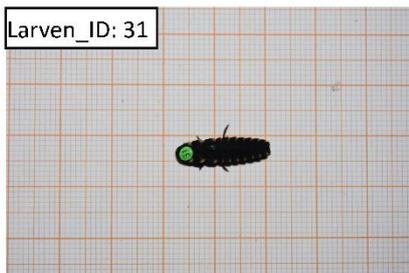
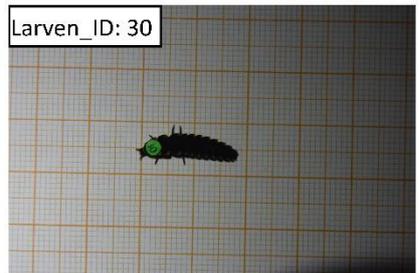
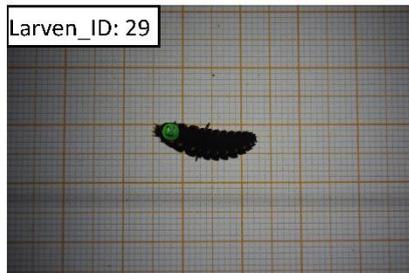
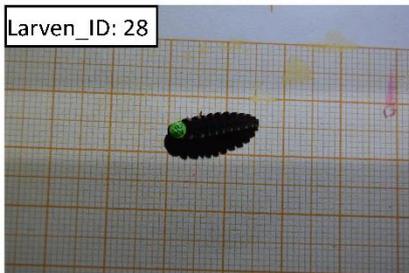
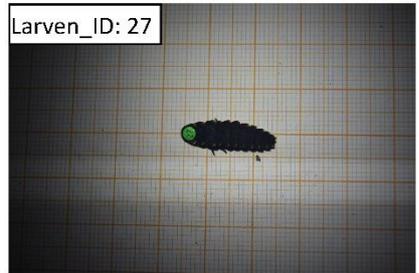
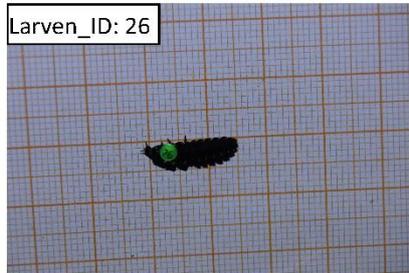
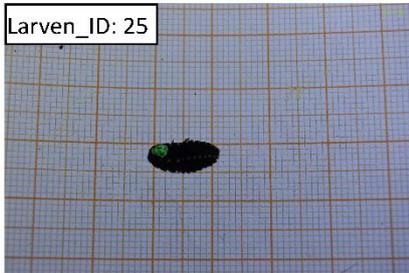
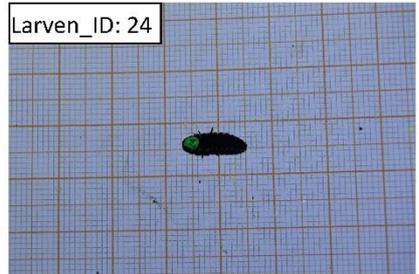
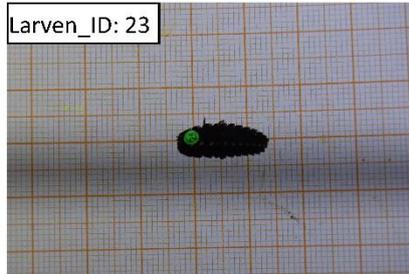
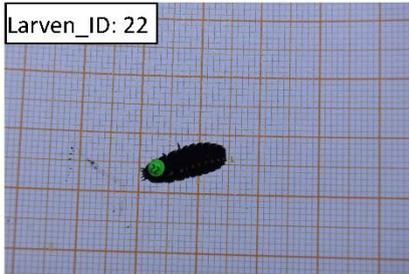
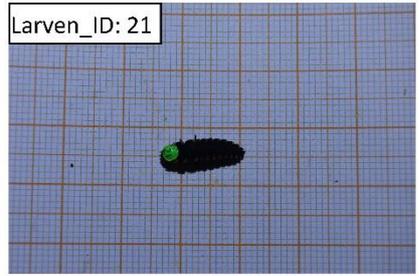
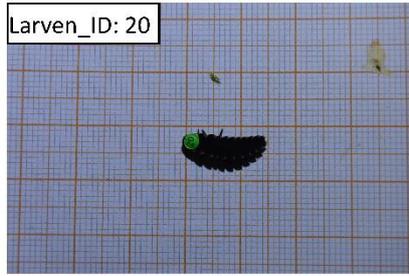
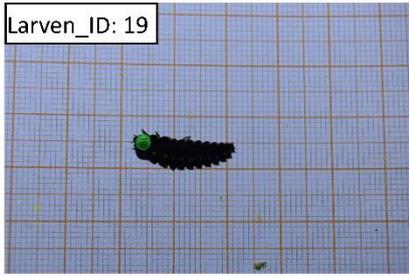


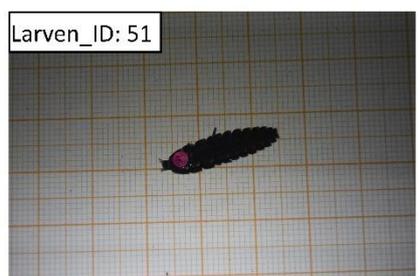
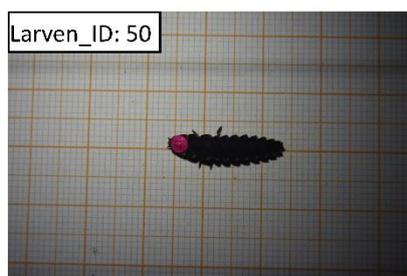
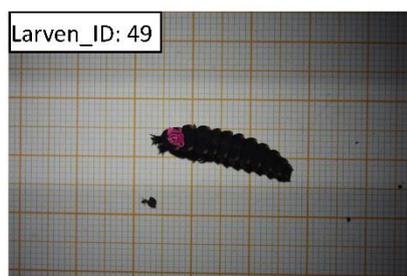
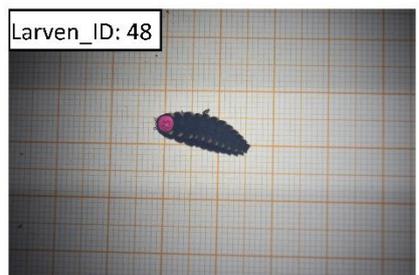
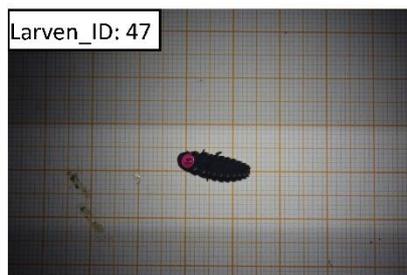
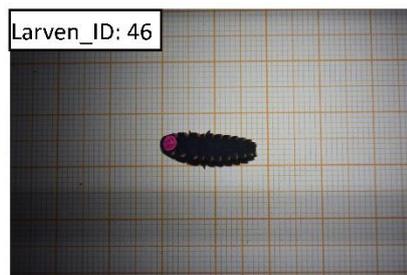
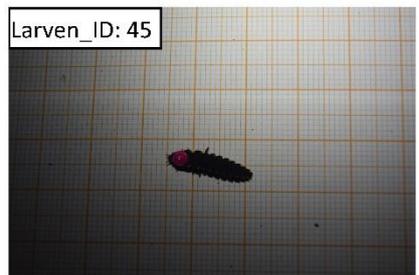
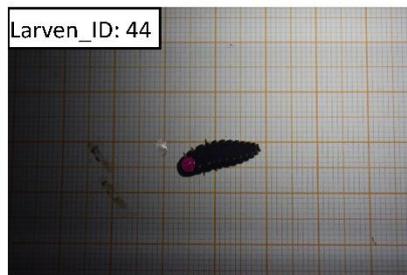
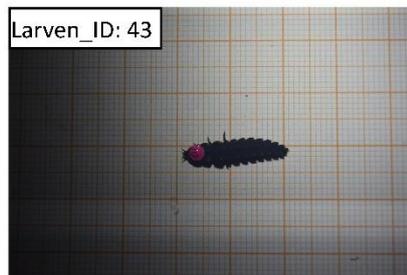
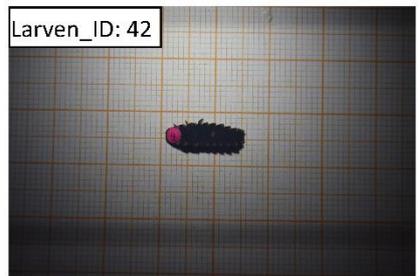
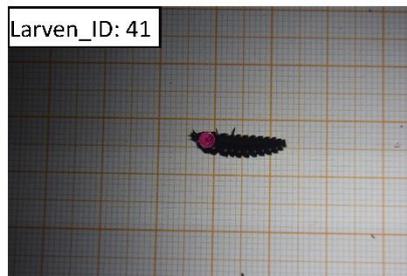
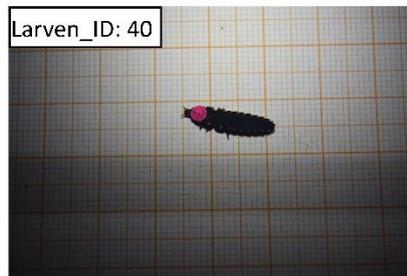
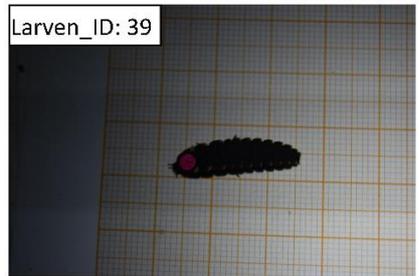
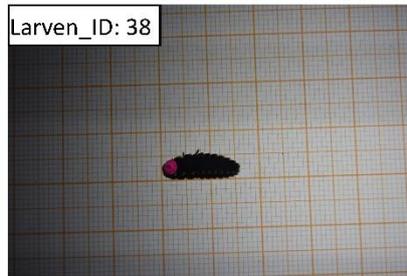
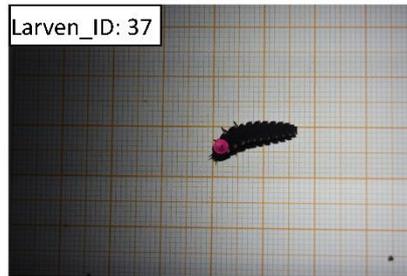
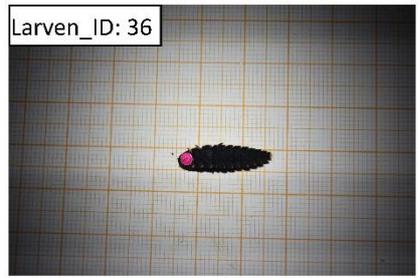
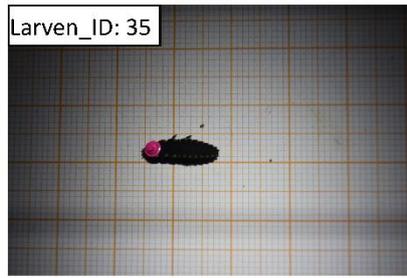
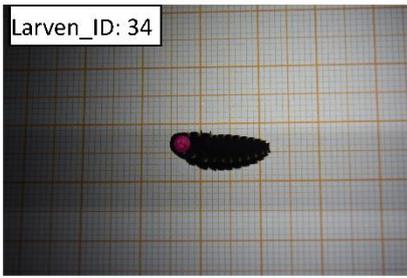
Larven_ID: 69

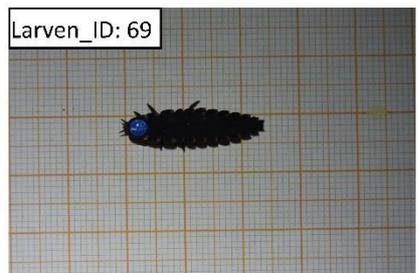
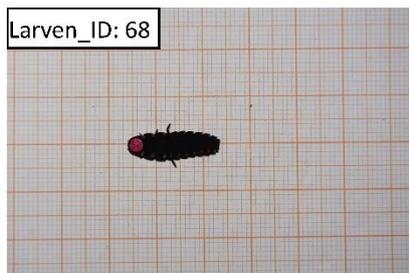
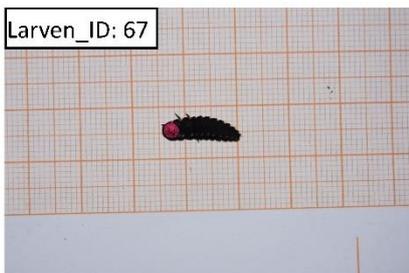
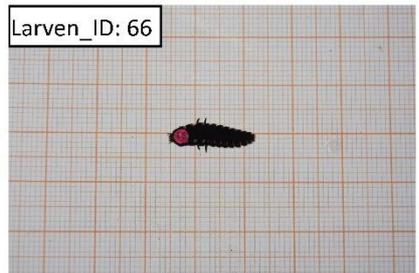
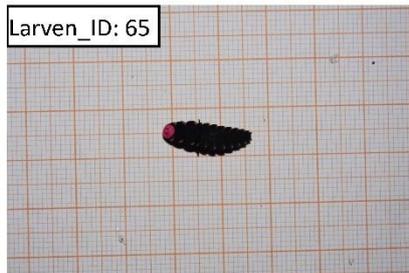
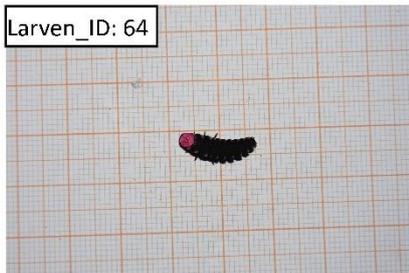
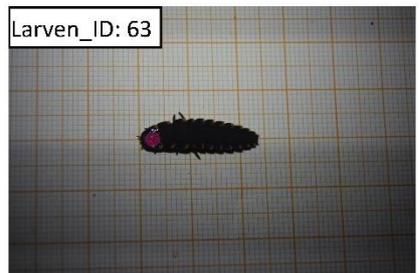
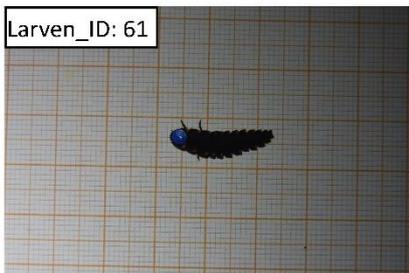
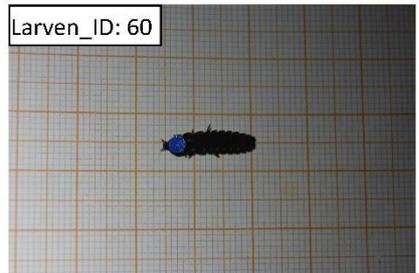
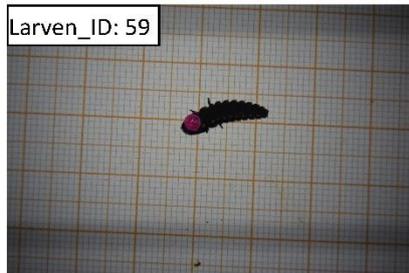
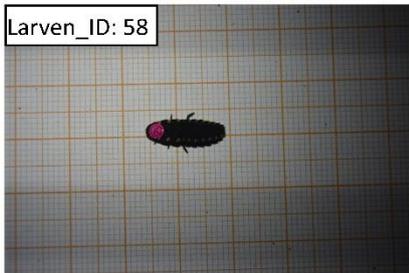
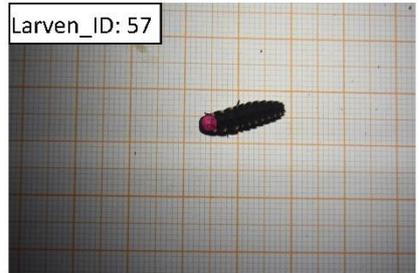
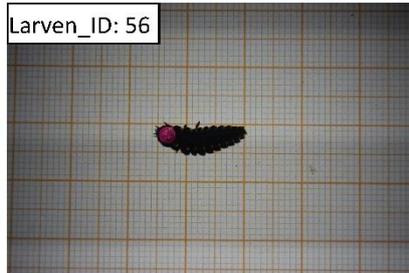
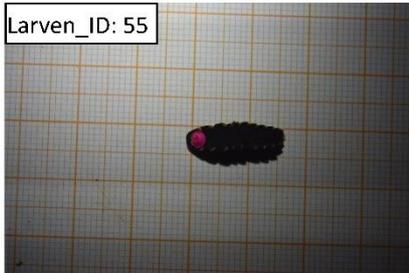
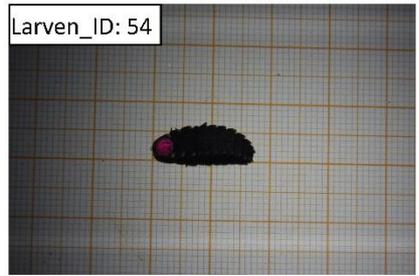
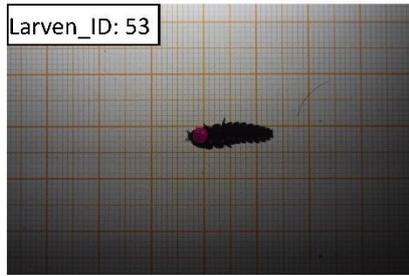
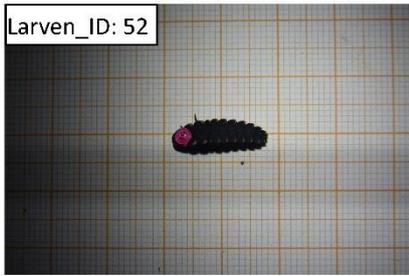
Anhang E

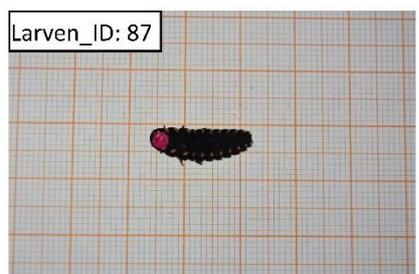
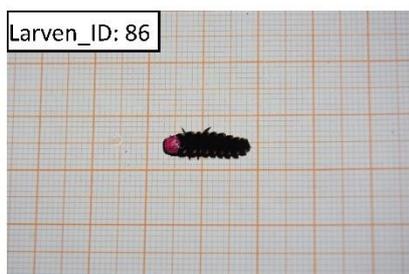
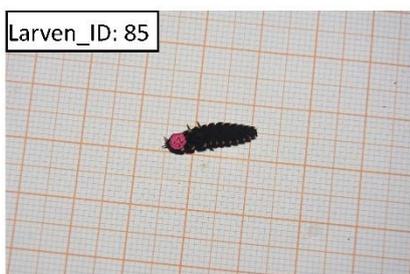
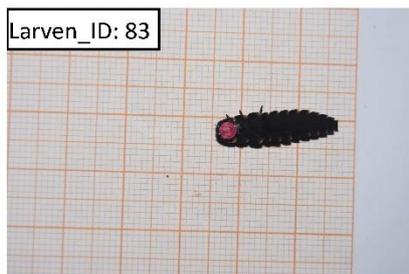
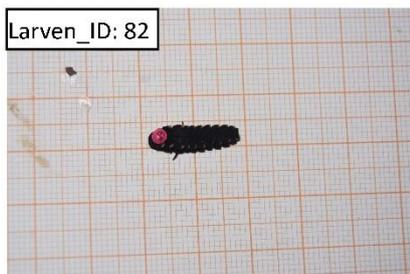
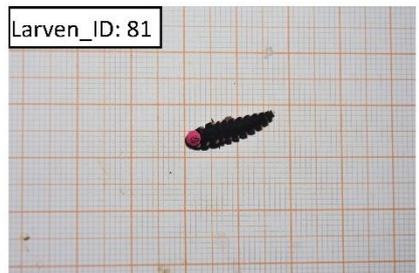
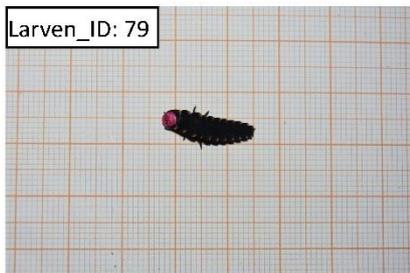
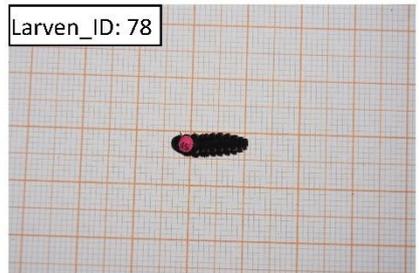
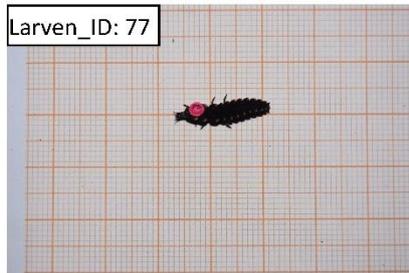
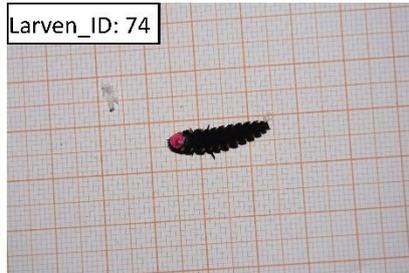
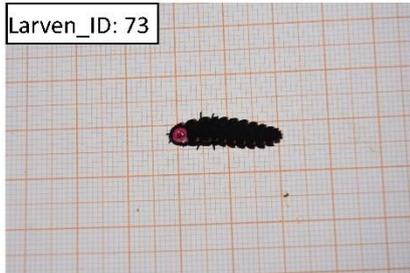
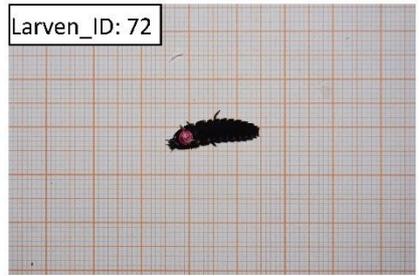
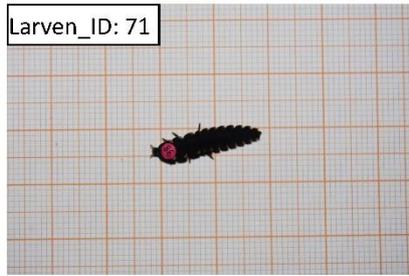
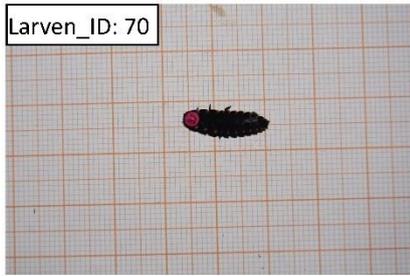
Markierte Larven (Larven_ID 1-90)

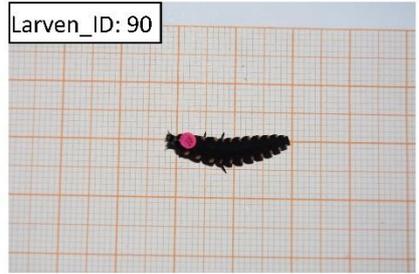
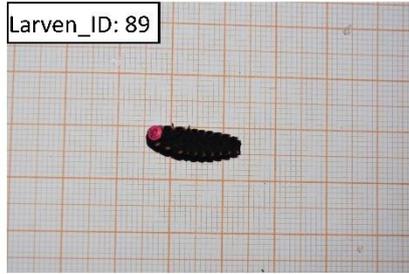
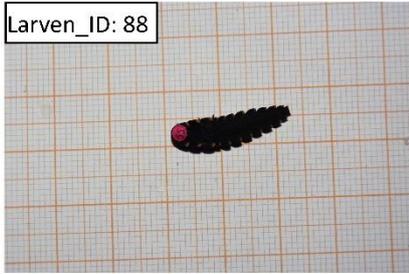












Anhang F

Plagiatserklärung



Erklärung betreffend das selbständige Verfassen einer Bachelorarbeit im Departement Life Sciences und Facility Management

Mit der Abgabe dieser Bachelorarbeit versichert der Studierende, dass er die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst hat.

Der unterzeichnende Studierende erklärt, dass alle verwendeten Quellen (auch Internetseiten) im Text oder Anhang korrekt ausgewiesen sind, d.h. dass die Bachelorarbeit keine Plagiate enthält, also keine Teile, die teilweise oder vollständig aus einem fremden Text oder einer fremden Arbeit unter Vorgabe der eigenen Urheberschaft bzw. ohne Quellenangabe übernommen worden sind.

Bei Verfehlungen aller Art treten Paragraph 39 und Paragraph 40 der Rahmenprüfungsordnung für die Bachelor- und Masterstudiengänge an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften vom 29. Januar 2008 sowie die Bestimmungen der Disziplinar massnahmen der Hochschulordnung in Kraft.

Ort, Datum:

Winterthur, 24.12.2019

Unterschrift:

Anhang G

Poster

A Field Study on the Habitat use of the Larvae of the Common Glow-Worm (*Lampyris noctiluca*)

Introduction

Little is yet known about mobility and space utilisation behaviour of the larvae of the common glow-worm (*Lampyris noctiluca*). For the understanding of its spatial distribution, information on the behaviour of the larvae is of great importance, especially since the larval phase covers the major part of the perennial development cycle. Therefore, a field test with marked larvae was carried out. Two study sites (25 m² and 288 m², see Fig. 2) were set up on the disused shooting range of Rehalp in the Southeast of Zurich (Fig. 1).

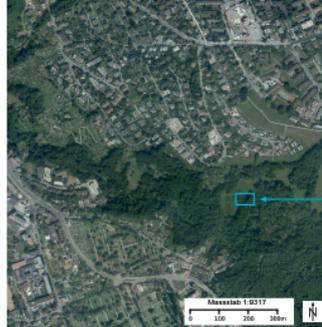


Fig. 1: The study area at the Wehrenbachtobel in the Southeast of Zurich (GIS-ZH, 2019, modified)



Fig. 2: The study sites (red), the grid, made of cord, that was set up for orientation (black), and the points where larvae were found (yellow and pink). The different vegetations are labeled in the picture. (GIS-ZH, 2019, modified) [1]

Methods - Marking

The larvae were marked with numbered plates, coated with paint that fluoresces under black light (Fig. 3). The plates were used because the larvae seemed not to tolerate the fluorescent paint on their skin. To attach the plates on the larvae's thorax different glues were tested. Superglue «UHU» performed best and was later used for the field study.

The paint that fluoresces under black light (~380 nm) was used because Schwalb (1960) and Booth (2004) found that the common glow-worm respond very little to light at wavelengths shorter than 480 nm [2,3]. The marking of the larvae with the fluorescent paint facilitated the retrieval of the larvae remarkably.

Methods - Collecting Data

Beginning on 12th August, larvae were marked and followed in plot 1 (25 m²). The plotsize turned out to be too small, so on 22nd August, a second study site (288 m²) was set up. The field study lasted until 11th September. For 28 nights, 90 larvae were successfully marked and the coordinates they were found in were noted. A total of 361 larvae observations (marking and recapture) were recorded. 85.6 % of the marked larvae were found again.



Fig. 3: A larva marked with paint fluorescent under black light. The plate, with which the larvae were marked, have been numbered.



Fig. 4: Different glues to attach the plates on the larvae's thorax where tested beforehand. Superglue «UHU» worked best.

Results and Discussion

General results

- Between 0 and 27 larvae have been observed per night. Due to heavy rain, the night of 19th August was the only night in which no larvae could be found. (Fig. 5, left)
- Most larvae were observed about two hours after sunset. After eleven o'clock the larval activity decreased. (Fig. 5, right)
- The population size was estimated with the Lincoln-Petersen-Method. [4]
- The larval density was estimated and with the result of almost one larva per square meter, the estimation made in an earlier study in the area could be confirmed. [5]
- As an example of the larval movements: larva (ID_30), which could be found 13 times (Fig. 6, left)
- The median of the larval home range (during the time of observation) is about four square meters. It was estimated with the minimum convex polygon method. (Fig. 6, middle)
- In order to estimate the distance covered by the larvae per night, only larval observations in two consecutive nights were taken into account and the distance between the two coordinates was calculated. Two thirds of the distances covered in one night were under 200 cm. (Fig. 6, right)

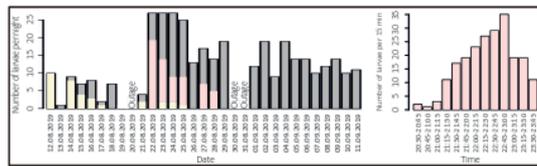


Fig. 5: The distribution of the larvae observations over the investigation period. (left) Marking U1 (right) Marking U2 (left) Recapture (right) The distribution of the larvae observations over time.

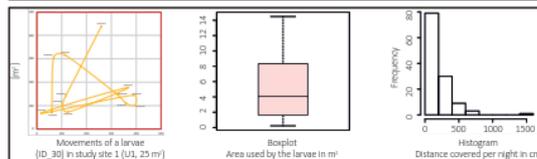


Fig. 6: The movements of larva 30 in study site 1 (U1) over a period of 28 nights. (left) The area used by the larvae found in U2 estimated with the minimum convex polygon method. (middle) The distance covered by the larvae (U1 and U2) during one night. Only the larvae found in two consecutive nights were taken into account. The median is 153 cm (min. 11 cm, max. 1150 cm). (right)

Minimum convex polygons and heatmap

For each larvae with at least three observations minimum convex polygons can be created (applies to 71% of the larvae). This method is used to determine the home range of an individual. The visualization shows that the areas used by the larvae overlap considerably. If one compares figure 7 with figure 2 and its points (yellow and pink) where the larvae were found, one can see which areas are preferred by the larvae. The movements of the larvae show a clear preference for areas with partial vegetation and a strong litter layer. Densely overgrown areas are avoided. The heatmap shows the number of larvae observations in a defined hexagonal area. One can assume that the area with the most observations is also the most preferred habitat of the larvae.

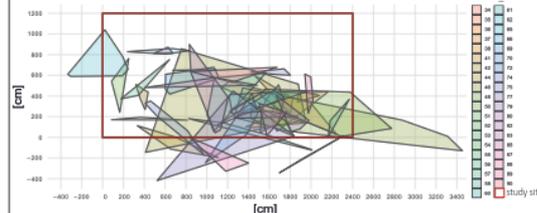


Fig. 7: The study site 2 (red) with 39 minimum convex polygons, which represent the area used by the larvae.

Conclusion

- It cannot be conclusively assessed whether larvae change their habitat. Most of the larvae (85.6%) could be found again, which implies a certain loyalty to the location.
- The average distance of 1.53 m covered by the larvae nevertheless seems substantial.
- Further field studies are necessary regarding the switch between habitats and the influence of low exposure levels (0.25 lux) on larval activity. The tracking of larvae throughout the entire developmental cycle would provide further crucial insights.



Fig. 8: The area where the most larvae were observed. On 5.86 m² 16 observations took place.

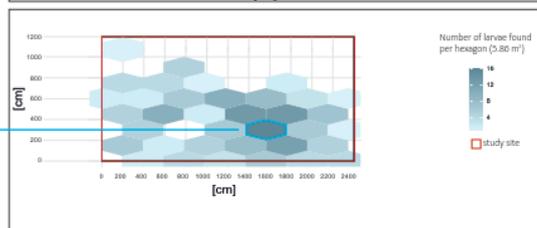


Fig. 8: Heatmap shows the distribution of the density of larvae observations in the study site 2.

[1]: Geographisches Informationssystem des Kantons Zürich (GIS-ZH) Amt für Raumentwicklung, Abteilung Geoinformation, GIS-Browser (Karte [Orthofoto ZH 2014-2018] / http://maps.zh.ch / [accessed on 10.12.2019])
 [2]: Schwalb, H. (1960). Beiträge zur Biologie *Lampyris noctiluca* (Geoffr.) und *Phasias splendidula* (Lac.) und experimentelle Analyse ihres Biotopverhaltens. Mainz: Naturwissenschaftliche Fakultät der Johannes-Gutenberg-Universität.
 [3]: Booth, D. (2004). Colour vision in the glow-worm *Lampyris noctiluca* L. (Coleoptera: Lampyridae): evidence for a green-blue chromatic mechanism. *Journal of Experimental Biology*, 207(14), 2373–2378. https://doi.org/10.1242/jeb.01044
 [4]: Amiel, K., Bahl, A. & Henle, K. (1999). Populationsbiologie in der Naturschutzpraxis. Stuttgart (Hohenheim): Ulmer.
 [5]: Ineichen, S. (2004). Zur Raumnutzung von Larven, Weibchen, und Männchen des Grossen Glühwürmchens *Lampyris noctiluca* (Coleoptera, Lampyridae). *Mitteilungen der Entomologischen Gesellschaft Basel* 53 (4), 111-122.



Bachelor thesis of Lorenz Achtnich
 09.01.2020
 Contact: achtnichlorenz@gmail.com
 ZHAW Zurich University of Applied Sciences
 Institute of Natural Resource Sciences
 Supervision: Stefan Ineichen & Matthias Rösler