



BACHELORARBEIT

Frau
Sarah Knothe

**Untersuchung der entomologischen
Besiedlung von Ferkelkadavern mit dem
Fokus auf der Familie der Käsefliegen
(Diptera, Piophilidae)**

Mittweida, August 2023

BACHELORARBEIT

Untersuchung der entomologischen Besiedlung von Ferkelkadavern mit dem Fokus auf der Familie der Käsefliegen (Diptera, Piophilidae)

Autorin:

Sarah Knothe

Studiengang:

Allgemeine und Digitale Forensik

Seminargruppe:

FO20w4-B

Erstprüfer:

Herr Prof. Ronny Bodach

Zweitprüferin:

Frau Dr. Senta Niederegger

Einreichung:

Mittweida, 17.08.2023

Verteidigung/Bewertung:

Mittweida, 2023

Faculty of **Applied Computer Sciences and Biosciences**

BACHELOR THESIS

Study of the entomological colonization of piglet carcasses with the focus on the family of the cheese flies (Diptera, Piophilidae)

Author:

Sarah Knothe

Course of Study:

General and Digital Forensics

Seminar Group:

FO20w4-B

First Examiner:

Herr Prof. Ronny Bodach

Second Examiner:

Frau Dr. Senta Niederegger

Submission:

Mittweida, 17.08.2023

Defense/Evaluation:

Mittweida, 2023

Bibliografische Beschreibung:

Knothe, Sarah:

Untersuchung der entomologischen Besiedlung von Ferkelkadavern mit dem Fokus auf der Familie der Käsefliegen (Diptera, Piophilidae). – 2023. – 42 S.

Mittweida, Hochschule Mittweida – University of Applied Sciences, Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften, Bachelorarbeit, 2023.

Referat:

In dieser Bachelorarbeit wurde die entomologische Besiedlung zweier Ferkelkadaver über eine Dauer von 80 Tagen untersucht. Als Auslegungsort wurde ein Waldstück in Thüringen gewählt. Es konnten fünf Verwesungsstadien klassifiziert werden. Dominante Insekten waren die Familien Calliphoridae, Muscidae, Piophilidae und Silphidae. Piophilidae konnte ab Tag 30 beobachtet werden und trat bis zum Ende des Experiments auf. Es wurden die Piophilidae-Arten *Stearibia nigriceps*, *Lioliophila varipes* und *Prochyliza nigricornis* asserviert. Ziel der Arbeit war es, einen Forschungsbeitrag zur Familie der Käsefliegen zu liefern.

Abstract:

In this bachelor thesis, the entomological colonization of two piglet carcasses over a period of 80 days was investigated. A wooded area in Thuringia was chosen as the design site. Five stages of decomposition could be classified. Dominant insects were Calliphoridae, Muscidae, Piophilidae and Silphidae. The Piophilidae species *Stearibia nigriceps*, *Lioliophila varipes* and *Prochyliza nigricornis* were preserved. The aim of this work was to make a research contribution to the cheese fly family.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VII
Danksagung	IX
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	2
1.2 Zielsetzung	2
2 Grundlagen	3
2.1 Forensische Entomologie und Leichenliegezeitbestimmung	3
2.2 Entwicklungszyklus der Fliege und deren Einflussfaktoren	4
2.3 Verwesungsstadien und Insektensukzession	5
2.4 Familie der Käsefliegen	6
3 Materialien und Methoden	9
3.1 Materialien	9
3.2 Versuchsaufbau	10
3.3 Dokumentation und Bestimmung	12
3.4 Akkumulierte Tagesgrade	13
4 Ergebnisse	15
4.1 Meteorologische Daten	15
4.2 Verwesung	19
4.2.1 Frisch	19
4.2.2 Geblät	19
4.2.3 Zerfall	24
4.2.3.1 Aktiver Zerfall	24
4.2.3.2 Fortgeschrittener Zerfall	24
4.2.4 Skelettierung	24
4.3 Insektenbesiedlung	24
4.3.1 1. Periode– Tag 0 bis 19	25
4.3.2 2. Periode– Tag 20 bis 39	26
4.3.3 3. Periode– Tag 40 bis 59	28
4.3.4 4. Periode– Tag 60 bis 79	31
5 Diskussion	35
5.1 Wetter und Verwesung	35
5.2 Verwesung und Insekten	36
5.3 Fokus Käsefliege	38

6	Fazit und Ausblick	41
6.1	Fazit	41
6.2	Ausblick	42
	Anhang	43
A	Dokumentationsbogen	43
B	ADD-Tabelle	47
	Literaturverzeichnis	51
	Eidesstattliche Erklärung	55

Abbildungsverzeichnis

2.1	Piophilidae im Vergleich mit zwei ähnlichen Familien, entnommen von Spessart-Fliegen [26]	6
2.2	Stearibia nigriceps in 10-facher Vergrößerung	7
3.1	Übersichtsaufnahme eines Käfigs	10
3.2	Darstellung der Erhöhung des Käfigs von S1	11
3.3	Ausschnitt des Dokumentationsbogens zur Aufnahme von Wetterdaten, Verwesungsstadium und Insektenbesiedlung	12
4.1	Klimadiagramm vom 27.03. bis 14.06.2023, basierend auf den Daten der WS	16
4.2	Entwicklung der Luftfeuchtigkeit vom 27.03. bis 14.06.2023, basierend auf den Daten der WS	16
4.3	Vergleich der Temperatur der Datalogger D1 und D2 im Zeitraum vom 07.06. bis 14.06.2023	17
4.4	Vergleich der Luftfeuchtigkeit der Datalogger D1 und D2 im Zeitraum vom 07.06. bis 14.06.2023	18
4.5	Akkumulierte Tagesgrade im Verlauf der Versuchstage, basierend auf den Daten von WS	18
4.6	Aufnahme von S1 an Tag 47. Haut im Schnauzenbereich verliert an Elastizität.	20
4.7	Aufnahme der Beule und des Lochs am Bauch von S2 an Tag 37	20
4.8	Aufnahme der Hautablösung am Bauch bei S2 an Tag 44	21
4.9	Verwesungsprozess während des Experiments bei S1	22
4.10	Verwesungsprozess während des Experiments bei S2.	23
4.11	Insektenaktivität der 1. Periode von S1 mit Temperatur und Niederschlag	25
4.12	Insektenaktivität der 1. Periode von S2 mit Temperatur und Niederschlag	26
4.13	Insektenaktivität der 2. Periode von S1 mit Temperatur und Niederschlag	27
4.14	Insektenaktivität der 2. Periode von S2 mit Temperatur und Niederschlag	27
4.15	Aktivität der Piophiliden im Vergleich zu anderen Familien und Darstellung der Zusammensetzung der Piophilidae-Arten in der 2. Periode von S1	28
4.16	Aktivität der Piophiliden im Vergleich zu anderen Familien und Darstellung der Zusammensetzung der Piophilidae-Arten in der 2. Periode von S2	28
4.17	Ansammlungen von <i>Oiceoptoma thoracicum</i> auf S1	29
4.18	Insektenaktivität der 3. Periode von S1 mit Temperatur und Niederschlag	30
4.19	Insektenaktivität der 3. Periode von mit S2 Temperatur und Niederschlag	30
4.20	Aktivität der Piophiliden im Vergleich zu anderen Familien und Darstellung der Zusammensetzung der Piophilidae-Arten in der 3. Periode von S1	31
4.21	Aktivität der Piophiliden im Vergleich zu anderen Familien und Darstellung der Zusammensetzung der Piophilidae-Arten in der 3. Periode von S2	31
4.22	Insektenaktivität der 4. Periode von S1 mit Temperatur und Niederschlag	32
4.23	Insektenaktivität der 4. Periode von S2 mit Temperatur und Niederschlag	32
4.24	Aktivität der Piophiliden im Vergleich zu anderen Familien und Darstellung der Zusammensetzung der Piophilidae-Arten in der 4. Periode von S1	33
4.25	Aktivität der Piophiliden im Vergleich zu anderen Familien und Darstellung der Zusammensetzung der Piophilidae-Arten in der 4. Periode von S2	33
4.26	Gesamtüberblick der Insektenaktivität auf beiden Kadavern von Tag 0 bis Tag 79	33

Tabellenverzeichnis

3.1 Durchschnittliche minimale Entwicklungszeit (in Tagen) der Art <i>Piophil</i>	
<i>casei</i> zu bestimmten Temperaturen nach Russo et al. [36]	13
4.1 Tagesdurchschnittstemperaturen und akkumulierte Tagesgrade im Vergleich von WS und D1 sowie D2 im Zeitraum vom 07.06. bis 14.06.2023	15
B.1 Tagesdurchschnittstemperaturen und ADD-Werte von Tag 0 bis Tag 39	48
B.2 Tagesdurchschnittstemperaturen und ADD-Werte von Tag 40 bis Tag 79	49

Abkürzungsverzeichnis

ADD	Accumulated Degree Days
ADH	Accumulated Degree Hours
D1	Datalogger bei Schwein 1
D2	Datalogger bei Schwein 2
S1	Schwein 1
S2	Schwein 2
WS	Wetterstation Jena-Sternwarte

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich auf dem Weg zu meiner Bachelorarbeit begleitet und unterstützt haben.

Im Rahmen meines Bachelorpraktikums wurde mir am Institut für Rechtsmedizin in Jena die Möglichkeit gegeben, auch meine Bachelorprojekt vor Ort umzusetzen. Ich bedanke mich bei allen Mitarbeitern des Instituts. Durch das rege Interesse an dem Experiment und die offene Atmosphäre konnte ich durch den regen Austausch wertvolle Einsichten sammeln. Des Weiteren wurde ich durch den Zugang zu den Dienstwagen und einer Wegebescheinigung unterstützt, wodurch ein reibungsloser Ablauf gewährt wurde.

Ein besonderer Dank gilt meiner Zweitbetreuerin Frau Dr. Senta Niederegger, die mich stets in der Thematik unterstützt und hilfreiche Ratschläge gegeben hat. Durch ihre Organisation konnte das Experiment pünktlich genehmigt werden und starten.

Ebenso möchte ich mich bei Herrn Erik Anton bedanken, der als Entomologe mit seiner Expertise zur Bestimmung der Insekten beigetragen und mir die Unterschiede der Käsefliegenarten erläutert hat.

Ein herzliches Dankeschön gilt auch meinen Eltern und meiner Schwester, die mein Interesse an forensischer Entomologie seit Beginn meines Studiums gefördert haben und immer ein offenes Ohr für meine Überlegungen zum Experiment hatten.

Abschließend möchte ich mich bei meinem Erstbetreuer Herrn Prof. Ronny Bodach bedanken. Schon vor einem Jahr gab er mir wertvolle Ratschläge und stand während der gesamten Bearbeitungszeit jederzeit für Fragen zur Verfügung.

1 Einleitung

Noch bis zum 17. Jahrhundert dachten Menschen, dass Maden in Leichen spontan entstehen würden [1].

Im 19. Jahrhundert wurde der Zusammenhang zwischen Verwesung und Entomologie immer deutlicher. Damit begannen Überlegungen, den Besiedlungszeitpunkt eines menschlichen Leichnams durch nekrophage Insekten zu nutzen, um Rückschlüsse auf die Leichenliegezeit zu ziehen. [2]

Ein bedeutender Meilenstein in dieser Entwicklung war die Veröffentlichung des Buches "La faune des cadavres"[3] durch den französischen Entomologen Jean Pierre Mégnin im Jahr 1894. Dieses Werk markierte einen Wendepunkt in der systematischen Erfassung der Insektenbesiedlung menschlicher Leichen. [2]

Angetrieben von technischen und wissenschaftlichen Fortschritten hat es in den letzten 30 Jahren durch Werke von beispielsweise Smith [1] oder Goff [4] einen enormen Aufschwung gegeben. [2]

Mittlerweile spielt diese Disziplin eine wesentliche Rolle in polizeilichen Ermittlungen. Durch die Bewertung von Spuren der Insekten können bedeutende Informationen zum Hergang der Tat und der Tatzeit gewonnen werden. [5]

Mit diesen Spuren beschäftigt sich die forensische Entomologie, ein Teilgebiet der Forensik [6].

Welche entscheidende Rolle die forensische Entomologie spielen kann, wird anhand der zwei nachfolgenden Fälle deutlich. Diese waren Sektionsfälle am Institut für Rechtsmedizin in Jena.

Bei dem ersten Fall handelt es sich um einen nicht identifizierten und fast vollständig skelettierten Leichnam, welcher auf einem Freigelände aufgefunden wurde. An der Leiche wurden zahlreiche Puppen und Maden der Käsefliege asserviert. Da keine identifizierende Dokumente, z.B. Personalausweis, am Fundort vorhanden war, erteilte das Institut den Auftrag für eine entomologische Untersuchung zur Schätzung der Leichenliegezeit. Solch eine Einschätzung kann hilfreich sein, um Vermisstenmeldungen und Zeugenaussagen zum Zeitpunkt des Verschwindens zu überprüfen.

Bei dem zweiten Fall handelt es sich um die Leiche eines Manns, welcher im Februar dieses Jahres auf einer Wiese, an einem Baum lehnd, gefunden wurde. Er war bereits im Oktober 2022 vermisst gemeldet worden. Der Leichnam befand sich in der fortgeschrittenen Mumifizierung und Teilskelettierung. Auch dieser hatte zahlreiche Fraßspuren von Fliegenmaden der Käsefliege. Des Weiteren konnten Fliegenpuppen und adulte Insekten, darunter Ameisen, Käfer und Fliegen, asserviert werden. Zu klären ist, ob die Leichenliegezeit tatsächlich fünf Monate betragen hat.

1.1 Problemstellung

Meist werden Schmeißfliegen und anderen Fliegenfamilien in der forensischen Entomologie große Bedeutung zugeordnet. In den oben beschriebenen Fällen waren sie nicht von großer Relevanz, da sie kaum an den Leichnamen aufgetreten sind. Stattdessen war die Familie der Käsefliegen dominant. Auch bei vielen anderen Experimenten trat die Käsefliege auf [7–9].

Die zwei obigen Sektionsfälle zeigen, dass diese Fliegenfamilie auch Bedeutung bei der Bestimmung der Leichenliegezeit haben kann.

Schon Martin-Vega [10] hob in seiner Arbeit hervor, dass der Familie der Käsefliegen mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte. Auch wenn die Familie in vielen forensischen Arbeiten [2, 11] erwähnt wird, gibt es noch viel Forschungspotenzial [10].

Beide Fälle deuten auf eine lange Leichenliegezeit hin. Mithilfe der Käsefliege könnte dieser Zeitraum eingegrenzt werden. Aufgrund von begrenzten Daten zu der Familie gestaltet sich dies als schwierig.

1.2 Zielsetzung

Mithilfe von Ferkelkadavern soll nun eine entomologische Untersuchung durchgeführt werden.

Fokus liegt dabei auf der Familie der Käsefliegen. Dabei sollen die Kadaver in einem Waldstück in Tautenburg ausgelegt werden, um ein ähnliches Habitat wie bei den beiden Sektionsfällen zu rekonstruieren.

Es soll ein Beitrag zur Forschungsarbeit rund um die Familie der Käsefliegen geleistet werden, um Hilfe bei Aufklärung der oben geschilderten Fälle zu geben.

Im Zusammenhang mit dem Experiment sollen folgende Fragen beantwortet werden:

1. Wann tritt die Käsefliege unter den vorherrschenden Bedingungen im Wald auf?
2. Welche Arten der Familie sind bei den Kadavern anzutreffen?
3. Kommt es zu einer Eiablage der Käsefliege und falls ja, ab wann treten Eier und Maden auf?

Es soll noch erwähnt werden, dass diese entomologische Untersuchung sich nur auf den Wald in Tautenburg und den dort vorherrschenden Klimaverhältnissen bezieht und nur für diese repräsentativ ist.

2 Grundlagen

Zunächst sollen grundlegende Aspekte der Thematik erklärt werden, um für die nachfolgenden Kapitel ein Verständnis zu erhalten.

2.1 Forensische Entomologie und Leichenliegezeitbestimmung

Forensische Entomologie bezeichnet die wissenschaftliche Disziplin, die sich mit dem sorgfältigen Sammeln und der gründlichen Analyse von Insektenbeweisen beschäftigt, um forensische Untersuchungen zu unterstützen [12]. Durch die Auswertung entomologischer Spuren ist es möglich, kriminalistische und rechtsmedizinische Sachverhalte zu klären [13].

Die wichtigste Aufgabe der forensischen Entomologie ist die Eingrenzung der minimalen Leichenliegezeit [14].

Im Allgemeinen handelt die Leichenliegezeitbestimmung von der Ermittlung des postmortalen Intervalls. Damit wird das Zeitintervall zwischen dem Tod der Person und dem Auffinden des Leichnams bezeichnet. [12]

Rechtsmediziner können mithilfe der sicheren Todeszeichen, Leichenflecke und Leichenstarre, dieses Zeitintervall bestimmen. Die Ausprägung, Wegdrückbarkeit und Verlagerbarkeit von Leichenflecken ermöglichen die Bestimmung der Todeszeit bis zu 37 Stunden. Die Leichenstarre kann durch ihre Ausprägungsgrade für eine Bestimmung bis zu 72 Stunden herangezogen werden. Des Weiteren kann durch die Reaktionen die mechanische und elektrische Erregbarkeit der Skelettmuskulatur getestet werden. Durch diese Reizbarkeit kann eine Todeszeit bis zu 35 Stunden abgeschätzt werden. Bei der Pupillenmuskulatur können Reizungen bis zu 50 Stunden post mortem nachgewiesen werden. Auch anhand des Abfalls der Körperkerntemperatur zur Anpassung an die Umgebungstemperatur kann die Leichenliegezeit bestimmt werden. Dies ist stark abhängig von mehreren einzelnen Faktoren wie der Kleidung oder Körperhaltung. [15]

Diese Zeichen treten in den ersten drei Tagen nach Eintritt des Todes auf. Die Insektensukzession findet über einen deutlich längeren Zeitraum statt.[16]

Besonders bei hohen sommerlichen Temperaturen oder langen postmortalen Intervallen sind die Möglichkeiten einer präzisen Todeszeitschätzung stark eingeschränkt [17].

Durch das Wissen, wann welche Insekten bei verschiedenen Temperaturen im jeweiligen Stadium auftreten, kann eine Aussage zu der minimalen Leichenliegezeit getätigt werden [1].

Die tatsächliche Leichenliegezeit kann nicht mit Sicherheit bestimmt werden, da der Leichnam unter Umständen an für Insekten unerreichbaren Orten aufbewahrt worden sein könnte [18].

2.2 Entwicklungszyklus der Fliege und deren Einflussfaktoren

Fliegen durchlaufen einen holometabolen Lebenszyklus mit vier Entwicklungsstufen. Dazu zählt die Eierstufe, die Larvenstufe, die Puppenstufe und die adulte Stufe. [6]

Mit der Ablage von Eiern einer weiblichen, adulten Fliege beginnt dieser Zyklus. An Orten, die Schutz, Futter und Feuchtigkeit gewährleisten, legt ein Weibchen ca. 150 - 200 Eier ab. Dabei kann die Anzahl der Eier je nach Ernährungszustand der Fliegen variieren. Manche Fliegenfamilien, zum Beispiel Sarcophagidae, legen statt Eiern sofort Larven auf das Aas. [6]

Die Larve besitzt zwölf Segmente, darunter mit einem spitz zulaufenden vorderen Segment. An diesem ist das Mundwerkzeug lokalisiert. Am stumpfen Ende des hintersten Segments befinden sich die zwei Atmungsöffnungen. Anhand der Schlitze in den Atemöffnungen kann das Larvenstadium bestimmt werden. Insgesamt gibt es drei Larvenstadien, wobei die Larven im dritten Stadium am größten sind. In den ersten beiden Stadien frisst die Made und wächst. Zum Ende des dritten Larvenstadiums wird das Fressen eingestellt und die Made bewegt sich vom Körper weg. Dabei wird ein dunkler und kühler Ort zum Verpuppen gesucht. Häufig vergraben sich die Larven zum Verpuppen in der Erde. Die Hülle der Puppe ist oval und hat eine hellbraune bis schwarze Farbe. Aus der Puppe tritt am Ende des Zyklus die Fliege heraus, indem sie sich durch die Hülle herausdrückt und dabei das Operculum wegstößt. Die frisch geschlüpfte, noch graue Fliege bewegt sich aus der Erde hin zum Licht. Unter dessen Einfluss entwickelt sie ihre arttypische Pigmentierung und ihre Flügel vollständig aus. [6]

Die Temperatur hat neben der Luftfeuchtigkeit den größten Einfluss auf die Eiablage und Entwicklung von Fliegen [1].

Grund dafür ist, dass Insekten poikilotherm, das heißt wechselwarm, sind und ihre Wachstumsrate mit der Temperatur zusammenhängt [19]. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass Insekten umso schneller wachsen und bewegen, je wärmer es ist, während bei Kälte das Gegenteil der Fall ist [11]. Temperatur und andere Wettereinflüsse führen zu einer unterschiedlichen Fliegenbesiedlung je nach Jahreszeit sowie geografischer und topografischer Lage. Zum Beispiel beeinträchtigen Regen und Kälte die Aktivität der Fliegen [1].

Auch die Eier können durch zu niedrige oder zu hohe Temperaturen sowie einer ungünstigen Luftfeuchtigkeit beschädigt werden. Als Resultat sind diese dann unfruchtbar. Ebenso besteht die Wahrscheinlichkeit, dass die Eier in solchen Fällen zu einer Diapause wechseln, wobei die Embryogenese sich verlangsamt oder anhält. Dieser Ruhezustand dient als Schutzmechanismus und wird abgebrochen, sobald sich die Umweltbedingungen verbessern. [20]

In Studien konnte nachgewiesen werden, dass Larven von der Gattung *Calliphora* unter 4 °C nicht schlüpfen, aber bereits ab 6 °C wieder schlüpfen können [1].

Im Puppenstadium ist die Fliege ebenfalls abhängig von den vorherrschenden Umweltbedingungen. Beispielsweise können bei der Art *Musca domestica* gleichbleibende Temperaturen über 30 °C zum Zerstören der Puppenform und infolgedessen zum Tod führen. [1]

2.3 Verwesungsstadien und Insektensukzession

Die Verwesung von Kadavern kann in fünf ineinander übergehende Stadien eingeteilt werden. [21] Obwohl die Zersetzung ein kontinuierlicher Prozess ist, kann sie zum besseren Verständnis der Ergebnisse in Stadien segmentiert werden. Diese Stadien dienen nicht dazu, das Auftreten oder Verschwinden von Arten darzustellen. Es geht darum, markante Etappen in der physischen Zersetzung der Kadaver darzustellen. [7]

Mit dem Eintritt des Todes beginnt das erste Stadium. Hierbei treten, neben Totenflecken, der Totenstarre und einer grünlichen Verfärbung des Bauches, nur wenige Veränderungen auf. Erste Fliegen besiedeln den Leichnam. Dabei handelt es sich meist um Schmeißfliegen (Calliphoridae) und Fleischfliegen (Sarcophagidae). Weibliche Fliegen suchen auf dem Leichnam geeignete Orte zur Eiablage. Meist finden sie diese tief in den Öffnungen des Körpers. Typische Eiablageorte sind Augen, Nase oder Genitalien. Im darauffolgenden geblähten Stadium werden durch die steigende Zahl an anaeroben Bakterien Gase gebildet. Die Folge ist eine Blähung des Bauches. In dieser Phase tritt eine erhebliche Menge an Maden auf. Mit dem Aufplatzen der Haut und dem Freisetzen der Fäulnisgase beginnt das Zerfallsstadium. [21]

In der Phase des aktiven Zerfalls treten bevorzugt weitere Insekten auf. Darunter zählen Fliegen wie Käsefliege (Piophilidae), Taufliege (Drosophilidae), Schwingfliege (Sepsidae), Dungfliege (Sphaeroceridae) Salzfliege (Ephydriidae) und Käfer wie Aaskäfer (Silphidae) und Stutzkäfer (Histeridae). [1, 22]

Ab dem fortgeschrittenen Zerfall befinden sich kaum noch Weichteile am Körper, lediglich Haare, Knochen und Haut. Als Konsequenz auf das veränderte Nahrungsangebot besiedeln nun hauptsächlich Käfer die Leiche. Dabei treten vor allem Speckkäfer (Dermestidae) auf. [21]

Im letzten Stadium, der Skelettierung, besteht der Kadaver nur noch aus Knochen und Haaren. [21]

Diese Änderung der verschiedenen Insekten über die Zeit wird als Insektensukzession bezeichnet [18].

Zwischen den Insekten und dem zersetzenden Körper existieren verschiedene Beziehungen. Jede Art hat ein anderen Nutzen und tritt je nach Gegebenheiten unterschiedlich auf. [21]

Es gibt nach Smith [1] vier ökologische Kategorien bei den wirbellosen Tieren, welche Aas besiedeln:

1. nekrophage Arten
 - Diese Arten ernähren sich durch den Kadaver bzw. das Aas selbst.
2. Räuber und Parasiten diverser Insekten und anderer Arthropoden
 - Hierbei können neben nur räuberischen Arten manche nekrophage Arten in späteren Entwicklungsstadien zu Räubern werden.
3. omnivore Arten
 - Es zählen Ameisen, Wespen und einige Käferarten dazu, welche sich sowohl von dem Kadaver als auch von besiedelnden Insekten ernähren.
4. andere Arten
 - Der Leichnam wird als Erweiterung des Lebensraums angesehen von beispielsweise Spinnen oder Springschwänzen.

In der forensischen Entomologie sind die ersten beiden Kategorien von großer Bedeutung, da sie viele Tiere aus der Gattung der Fliegen und Käfer einschließen [23].

2.4 Familie der Käsefliegen

Bei den Käsefliegen (Piophilidae) handelt es sich um 1,5 bis 7 mm große, schwarz, zum Teil gelb bis braun, schimmernde Fliegen [24].

Die Familie Piophilidae hat Ähnlichkeiten zu den beiden Familien Sepsidae und Heleomyzidae. Sepsiden weisen eine vergleichbare Größe und Farbe auf, jedoch haben sie keine Lücke in der Costalvene (vgl. [Abbildung 2.1b](#) und [Abbildung 2.1c](#)). Heleomyziden sehen den Piophiliden auch ähnlich (vgl. [Abbildung 2.1b](#) und [Abbildung 2.1a](#)). Der hauptsächliche Unterschied besteht in der Behaarung der Costalvene. Diese ist bei Heleomyziden stark und markant ausgeprägt. [25]

Ein Vergleich der drei Familien ist in [Abbildung 2.1](#) dargestellt.

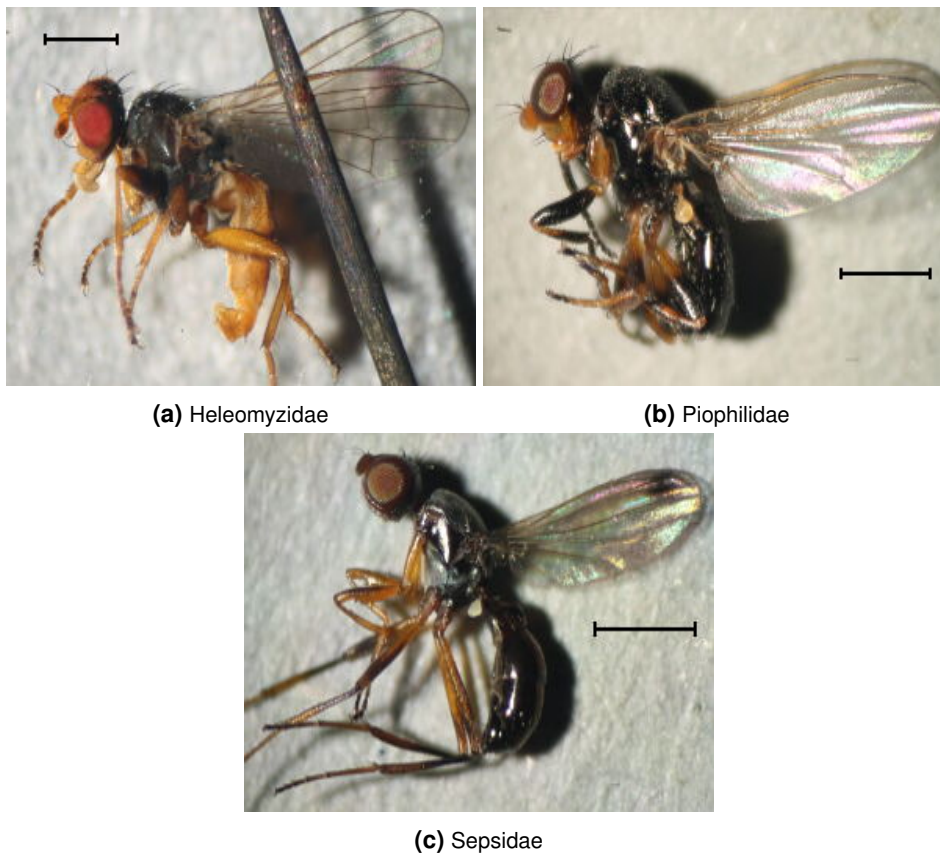


Abbildung 2.1: Piophilidae im Vergleich mit zwei ähnlichen Familien, entnommen von Spessart-Fliegen [26]

Die Familie der Käsefliege tritt vor allem in den kälteren Jahreszeiten an Leichen auf. Grund dafür ist die verlangsamte Zersetzung der Leiche. Während der Frühlings-, Herbst- und milderer Wintermonate gibt es weniger Erstbesiedler, sodass der Körper nicht bis auf das Skelett abgefressen wird. Aufgrund der üblichen Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsbedingungen zu dieser Zeit entwickelt sich aus dem Körper mit seinen Fetten eine käsig breiige Verwesung, die die Käsefliegen anlockt. [27]

Die Präsenz der Piophiliden steht meist im Zusammenhang mit fortgeschrittenen Verwesungsstadien. In vereinzelt Fällen ist es möglich, dass Käsefliegen schon in den ersten Tagen auf dem Kadaver zu finden sind. Das Vorhandensein von adulten Tieren bedeutet nicht, dass eine Eiablage erfolgt ist. [10]

In der Regel bleiben die Käsefliegen aktiv, bis die Überreste und Knochen vollständig vertrocknet sind. [27]

Generell besiedeln Piophiliden den Kadaver später als andere Fliegenfamilien und können oft in diesem Zeitraum dominieren. Im Gegensatz zu anderen Zweiflüglern verlassen die Maden der Piophiliden zur Verpuppung den Kadaver zu einem späteren Zeitpunkt. Daher können Käsefliegen verwendet werden, um bei der Anwesenheit verschiedener Fliegenarten eine Obergrenze für die Schätzung der minimalen Leichenliegezeit festzulegen. [10]

In der Regel sind spezifische Körperbereiche von einem Befall durch die Maden der Käsefliege betroffen, die für sie anziehend wirken. In Textilien häufen sie sich an den tiefsten Stellen mit Verwesungsflüssigkeit an. [27]

Der bekannteste Vertreter der Familie ist die Art *Piophilidae casei*. Aufgrund dieser Art hat die Familie auch ihren Namen erhalten. Früher haben diese Fliegen haltbare Lebensmittel wie Käse besiedelt und wurden damit zu Vorratsschädlingen. Zum Teil werden die Fliegen absichtlich auf Käse besiedelt wie bei dem Schafskäse Pecorino. Durch die Verdauungsenzyme der Fliegenmaden kommt es zur Fermentation des Käses und es entsteht die Käsesorte casu marzu.[27]

Neben der Art *Piophilidae casei* wird auch häufig die Art *Stearibia nigriceps* auf Kadavern gefunden. [10]

Diese ist in [Abbildung 2.2](#) dargestellt.



Abbildung 2.2: *Stearibia nigriceps* in 10-facher Vergrößerung

Im Allgemeinen gestaltet sich die Identifizierung der Art innerhalb der Familie als schwierig, da viele Arten morphologische Gemeinsamkeiten besitzen und es dadurch zu Verwechslungen kommen kann [25].

Die Maden der Piophiliden können leicht der Familie zugeordnet werden, da sie einer bestimmten Verhaltensweise, dem Springen, nachgehen. Daher werden sie auch skipper flies (engl.) genannt. [10]

Diese Sprünge der Maden werden durch eine schnelle Körperstreckung ausgelöst. Vorher heftet sich die Made mit ihren Mundhaken am hinteren Ende fest und setzt sich damit in einer ringförmig gekrümmten Position unter Spannung. Mögliche Auslöser für dieses Verhalten können eine Änderung der Feuchtigkeit und der Lichteinstrahlung sein bzw. eine dadurch entstehende Gefahr durch Fressfeinde. Die Maden stechen auch durch ihre Widerstandsfähigkeit heraus. Sie können Monate ohne Nahrung und Temperaturen unter -20 °C längere Zeit ertragen. [2]

3 Materialien und Methoden

Die entomologische Besiedlung sollte nun beispielhaft an Ferkelkadavern als menschliche Modelle untersucht werden.

Da die Kadaverart die Insekten nicht beeinflusst, können für entomologische Untersuchungen auch Tierkadaver verwendet werden. Mit der Zeit wurden Schweinekadaver Modelle für die experimentelle Untersuchung in der forensischen Entomologie häufiger genutzt, da diese leicht zu reproduzieren sind. [28]

Außerdem haben Schweinekadaver Ähnlichkeit mit einem Menschen im Hinblick auf die Anordnung und Art der inneren Organe. [19]

3.1 Materialien

Um 8 Uhr am Starttag, dem 27.03.2023, wurden in der Versuchstierkunde in Jena zwei weibliche Schweine getötet. Zur Einleitung einer Narkose wurde eine Kombination aus Ketamin und Midazolam verwendet, während die Narkosetiefe mithilfe von Propofol verstärkt wurde. Nachfolgend wurde die Euthanasie mit T61 durchgeführt. Das Ausgangsgewicht betrug von Schwein 1 (S1) 26 kg und von Schwein 2 (S2) 25 kg. Die Schweine werden im Folgenden mit S1 und S2 bezeichnet.

Die Schweine wurden eine Stunde nach der Tötung in einen jeweils 145x77x78 cm großen Metallkäfig ausgelegt.

Um meteorologische Daten am Auslegungsort zu messen, wurden zwei Datalogger der Firma Dostmann-electronic von der Serie Log220 verwendet und jeweils zu einem Schwein in den Käfig gelegt. Stündlich wurden Daten erhoben. Mit den Dataloggern sollten auch Differenzen zwischen den Kadavern gemessen werden. Datalogger 1 (D1) wurde in den Käfig zu S1 und Datalogger 2 (D2) in den Käfig zu S2 gelegt. Für die allgemeinen Wetterdaten wurden die Messwerte der 900 m entfernten Wetterstation „Jena-Sternwarte“ des Deutschen Wetterdienstes verwendet. Dort wurden alle 10 Minuten Daten erhoben.

Um eine frühzeitige Fliegenaktivität und im späteren Verlauf ein gehäuftes Auftreten bestimmter Arten zu erkennen, wurden Wasserfallen genutzt. Pro Käfig wurde ein Plastikbecher mit einer Höhe von 10 cm als Wasserfalle verwendet.

Es wurde etwas Spülmittel auf die Wasseroberfläche gegeben, um die Oberflächenspannung zu verringern und die Fliegen ertrinken zu lassen [29].

Adulte Fliegen wurden mit einem Netz oder Plastikbecher gefangen. Anschließend wurden sie mit einer Pinzette in einem Plastikgefäß mit verschließbarem Deckel in 70%-igen Ethanol asserviert.

Zur Aufzucht der Maden wurde ein Terrarium verwendet. In diesem Behälter wurden Holzspäne und ein feuchtes Tuch platziert. Zusätzlich wurde ein Becher mit Hackfleisch hineingegeben, welcher als Futtersubstrat diente.

Die entomologischen Proben wurden unter dem Stereomikroskop Stemi 2000-C der Firma Zeiss untersucht und fotografiert.

3.2 Versuchsaufbau

Vom 27.03. bis zum 14.06.2023 wurde das Experiment über einen Zeitraum von insgesamt 80 Tagen durchgeführt.

Das Experiment wurde in einem Waldstück nahe Tautenburg umgesetzt, ungefähr 12 km nordöstlich von Jena. Der Wald bestand hauptsächlich aus Buchen, die zu Beginn des Experiments keine Blätter hatten. Im Verlauf des Experiments bildete sich ein Blätterdach aus und die Begrünung durch Sträucher nahm ebenfalls zu. Der Waldboden war mit Laubblättern bedeckt, später kamen einzelne grüne Gewächse hinzu.

Während des Experiments wurden die Ferkelkadaver in Käfige gelegt. Ein Käfig ist in [Abbildung 3.1](#) dargestellt. Der erste Kadaver (S1) befand sich in einem Käfig mit direktem Bodenkontakt und war



Abbildung 3.1: Übersichtsaufnahme eines Käfigs

größtenteils im Schatten platziert. Der Käfig für den zweiten Kadaver (S2) war an der linken Seite etwa 5 cm über dem Waldboden erhöht (vgl. [Abbildung 3.2](#)). Somit hatte der Käfig an dieser Stelle keinen vollständigen Bodenkontakt. Außerdem befand sich dieser Käfig größtenteils in sonniger Lage.

Mit einem Abstand von ca. 40 Zentimetern wurden Wasserfallen hinter den Käfigen aufgestellt. Damit sollte erste Fliegenaktivität nachgewiesen werden.



Abbildung 3.2: Darstellung der Erhöhung des Käfigs von S1

Es wurden keine Änderungen am Versuchsaufbau unternommen. Nur in den ersten 30 Tagen wurden die Kadaver alle drei Tage umgedreht, um eine mögliche Insektenbesiedlung unter dem Kadaver festzustellen.

3.3 Dokumentation und Bestimmung

Der Tag der Auslegung wurde als Tag 0 festgelegt. In den ersten 12 Tagen wurden die Schweine täglich beobachtet. Danach wurde der Abstand auf dreimal pro Woche ausgeweitet. Ab dem Zeitpunkt des Auftretens erster Maden wurde der Abstand verkürzt auf ca. fünf Mal pro Woche. Zum Ende hin wurde der Abstand wieder auf drei Beobachtungstage in der Woche vergrößert. Es wurde immer durch dieselbe Person zu unterschiedlichen Tageszeiten eine visuelle Kontrolle durchgeführt. Damit sollte mehr Variabilität entstehen, da es je nach Fliegenart unterschiedliche Flugzeiten [1] gibt. Bei jedem Besuch wurden Übersichtsaufnahmen von den Kadavern und detaillierte Aufnahmen gemacht, um den Verwesungsprozess, Insektenbesiedlung und auftretende Larven zu dokumentieren.

Zur Dokumentation diente ein selbst gestalteter Dokumentationsbogen (vgl. [Abbildung 3.3](#) und [Anhang A](#)). Auf diesem wurden zunächst Datum, Zeit, Tag der Auslegung, Temperatur und Wetter vermerkt. Für jedes Schwein wurde der Grad der Verwesung sowie etwaige Besonderheiten bestimmt. Die Fliegen wurden mit einem Plastikbecher bzw. einem Netz gefangen, Maden hingegen mit einer Pinzette. Die Entwicklungsstufe wurde auf dem Protokoll notiert und der Ort, an dem die Tiere aufgefunden wurden. Es wurden nicht alle vorhandenen Insekten gesammelt, sondern

Dokumentation zur entomologischen Untersuchung von Schweinekadaver

Datum: _____ Zeit: _____ Tag der Auslegung: _____

Temperatur: _____

Wetter: _____

Schwein 1/30800/ vorderes

Grad der Verwesung:	
Besonderheiten:	

Absterblich:

Larve Puppe adulte Fliege Käfer

Anzahl: _____

Wo Tiere gefunden?

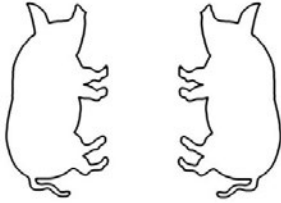


Abbildung 3.3: Ausschnitt des Dokumentationsbogens zur Aufnahme von Wetterdaten, Verwesungsstadium und Insektenbesiedlung

nur stichprobenartig mehrere Tiere mitgenommen, um den Prozess nicht zu stören. Gesammelte Fliegen wurden sofort nach dem Fangen in 70%-igen Ethanol überführt und abgetötet. Die Maden wurden lebendig ins Labor transportiert und ein Teil mit heißem Wasser übergossen. Anschließend wurden die toten Maden auch in 70%-igen Ethanol gegeben. Die übrigen lebenden Maden wurden zur Aufzucht auf das Hackfleisch im Terrarium gelegt. Die geschlüpften adulten Fliegen wurden bestimmt.

Zur Bestimmung der Insekten wurden Schlüssel von Oosterbroek [24], Klausnitzer [30] und Szylia [31] verwendet. Käsefliegen wurden mithilfe des Bestimmungsschlüssels von Merz [32] bis zur Art bestimmt.

3.4 Akkumulierte Tagesgrade

Für die Bewertung der Zeit, welche seit dem Tod vergangen ist, werden akkumulierte Tagesgrade herangezogen. Diese ziehen die Zeit und die Temperatur in Betracht. [33]

Die akkumulierten Tagesgrade bestimmen einen Großteil der Verwesung. Die Studie von Megysi et al. [34] hat gezeigt, dass die Zersetzung am effektivsten modelliert werden kann, indem nicht nur die Zeit, sondern auch die akkumulierte Tagesgrade berücksichtigt werden. Damit können unterschiedliche Experimente zu unterschiedlichen Jahreszeiten und Temperaturen verglichen werden. [34]

Da Insekten poikilotherm sind, nutzen sie ein Teil der Umweltenergie. Durch diese können sie wachsen und sich entwickeln. Mithilfe der akkumulierten Tagesgrade kann nun die Dauer bestimmt werden, die die Fliegen benötigt haben, um vom Ei bis zur jeweiligen Entwicklungsstufe auf dem Kadaver zu gelangen. [6]

Um die Entwicklung in der Stufe oder in den einzelnen Larvenstadien vollständig abzuschließen, muss eine spezifische Menge an Temperatur im Insekt akkumuliert werden [19].

Die Grundannahme des Insektenwachstums in Bezug auf Gradtage ist, dass die Wachstumsrate eines Insekts zwischen einer oberen und einer unteren Temperaturschwelle linear mit dem Temperaturanstieg variiert. [6] Die berechnete Temperaturmenge wird in Accumulated Degree Hours (ADH) oder Accumulated Degree Days (ADD) ausgedrückt. Da verschiedene Insektenarten unterschiedliche Anforderungen haben und jede Entwicklungsstufe spezifische Gesamtwärmeeinheiten benötigt, kann die Umrechnung von Gradtagen in Stunden einen genaueren Aufschluss geben, seit welchem Zeitpunkt die Besiedlung durch die jeweilige Art stattgefunden hat. [19]

Die Basistemperatur bzw. der untere Schwellwert bezeichnet die Temperaturschwelle, bei der kein Wachstum und keine Entwicklung erfolgt. Je nach Art und geografischer Lage kann diese unterschiedlich sein. [6]

Bei der Piophilidae-Art *Piophilidae foveolata* beträgt der untere Schwellwert 6,4 °C [35].

In [Tabelle 3.1](#) ist die Entwicklungszeit für die Piophilidae-Art *Piophilidae casei* dargestellt. Beispielsweise benötigt diese bei konstanten 15 °C 39,7 Tage bis zum dritten Larvenstadium. Dazu werden die Entwicklungszeiten bis einschließlich zum dritten Larvenstadium addiert.

Tabelle 3.1: Durchschnittliche minimale Entwicklungszeit (in Tagen) der Art *Piophilidae casei* zu bestimmten Temperaturen nach Russo et al. [36]

Stadium	15 °C	19 °C	25 °C	28 °C	32 °C
Ei	7,4	3,9	1,4	1,5	1,0
L1	8,8	6,3	3,8	3,3	2,5
L2	6,5	6,2	4,1	3,8	3,1
L3	17,0	13,9	6,5	4,7	4,0
Puppe	17,4	14,3	6,9	6,4	4,1

Für die Berechnung der akkumulierten Tagesgrade in dieser Arbeit wird eine Basistemperatur von 0 °C angenommen, da Frost den Verwesungsprozess stoppt [34]. Die Berechnung berücksichtigt keine Fliegenart. Die Temperaturdaten wurden von der Wetterstation Jena Sternwarte bereitgestellt. Die täglichen Durchschnittstemperaturen wurden zunächst mit der Basistemperatur subtrahiert. Da diese 0 °C beträgt, verändern sich die Werte nicht. Als Start **ADD**-Wert wird die Durchschnittstemperatur von Tag 0 verwendet. Für die nachfolgenden Tage werden die Tagesdurchschnittstemperaturen auf den Wert des vorherigen Tages aufaddiert. Die **ADD**-Werte werden in der Einheit **ADD** angegeben. Dazu wurde die [Gleichung 3.1](#) verwendet.

$$\begin{cases} x_n = T_n, \text{ für } n = 0 \\ x_n = x_{n-1} + x_n \end{cases} \quad (3.1)$$

Der Versuchstag entspricht n . Der **ADD**-Wert wird durch x dargestellt. Da es keine Durchschnittstemperaturen unter 0 °C gab, können die Temperaturen ohne Ausschluss von einzelnen Tagen aufaddiert werden.

4 Ergebnisse

In diesem Kapitel sollen nun die Ergebnisse des Experiments vorgestellt werden. Zunächst werden die meteorologischen Daten vorgestellt. Dabei werden auch die Werte zwischen den Käfigen verglichen. Im Anschluss wird der Verwesungsprozess mit den einzelnen Stadien geschildert. Kernkomponente bildet die Vorstellung der Insektenbesiedlung.

4.1 Meteorologische Daten

Die meteorologischen Daten wurden von der Wetterstation Jena-Sternwarte verwendet, da keine vollständige Aufzeichnung der Daten vom Auslegungsort existiert. Grund dafür ist der Defekt der Datalogger Mitte Mai während des Experiments aufgrund einer Fehlermeldung. Eine Kurzzeltaufzeichnung hat gezeigt, dass die Daten der Wetterstation Jena-Sternwarte (WS) leicht von den Daten der ausgelegten Datalogger D1 und D2 in den Käfigen abweichen (vgl. [Tabelle 4.1](#)). Die Tagesdurchschnittstemperaturen der WS liegen im Zeitraum vom 07.06. bis 14.06. immer über den Werten von D1 und D2.

Tabelle 4.1: Tagesdurchschnittstemperaturen und akkumulierte Tagesgrade im Vergleich von WS und D1 sowie D2 im Zeitraum vom 07.06. bis 14.06.2023

Datum	Temperatur WS	ADD WS	Temperatur D1	ADD D1	Temperatur D2	ADD D2
07.06.	18,9	18,9	18,2	18,2	18,3	18,3
08.06.	17,8	36,7	16,9	35,1	17,3	35,6
09.06.	19,4	56,1	18,1	53,2	18,6	54,2
10.06.	18,8	74,9	18,5	71,7	18,8	73
11.06.	19,7	94,6	18,9	90,6	19,3	92,3
12.06.	19,1	113,7	18,9	109,5	19,2	111,5
13.06.	17,7	131,4	17,3	126,8	17,4	128,9
14.06.	15,1	146,5	13,8	140,6	14,6	143,5

In [Abbildung 4.1](#) werden die Temperaturen und Niederschlagswerte innerhalb des Versuchszeitraums veranschaulicht. Auf der X-Achse ist das Datum zu erkennen. Auf der linken Y-Achse ist die Tagesdurchschnittstemperatur in °C und auf der rechten die Niederschlagsmenge in mm aufgetragen.

Im Allgemeinen sind die Tagesdurchschnittstemperaturen im Laufe des Experiments bis auf vereinzelte Tage gestiegen (vgl. Trendlinie in [Abbildung 4.1](#)). Die Höchsttemperatur wurde am 11.06. mit 19,7 °C und die Tiefsttemperatur am 03.04. mit 0,4 °C erreicht. Heraus stechen drei erkennbare Peaks. Zu diesen Zeiten war die Durchschnittstemperatur im Vergleich zu den Tagen davor und danach besonders hoch. Zu Beginn des Experiments sind die Temperaturen in den ersten drei Tagen gestiegen. Dann sind diese wieder gesunken und haben sich Anfang April für mehrere Tage um ca. 0 °C gehalten. Ab Ende April lagen die Durchschnittstemperaturen immer über 5 °C. Die Durchschnittshöchsttemperatur wurde am 11.06. erreicht. Ab Mai lagen die Durchschnittswerte fast immer über 10 °C.

In den ersten 30 Tagen gab es häufig Niederschlag. Die größte Menge an Niederschlag wurde am

15.04. mit 24,6 mm verzeichnet. Ab Ende April hat es nur noch an vereinzelt Tagen geregnet. Auffällig ist auch, dass es ab dem 11.05. keine nennenswerte Menge an Niederschlag mehr gab.

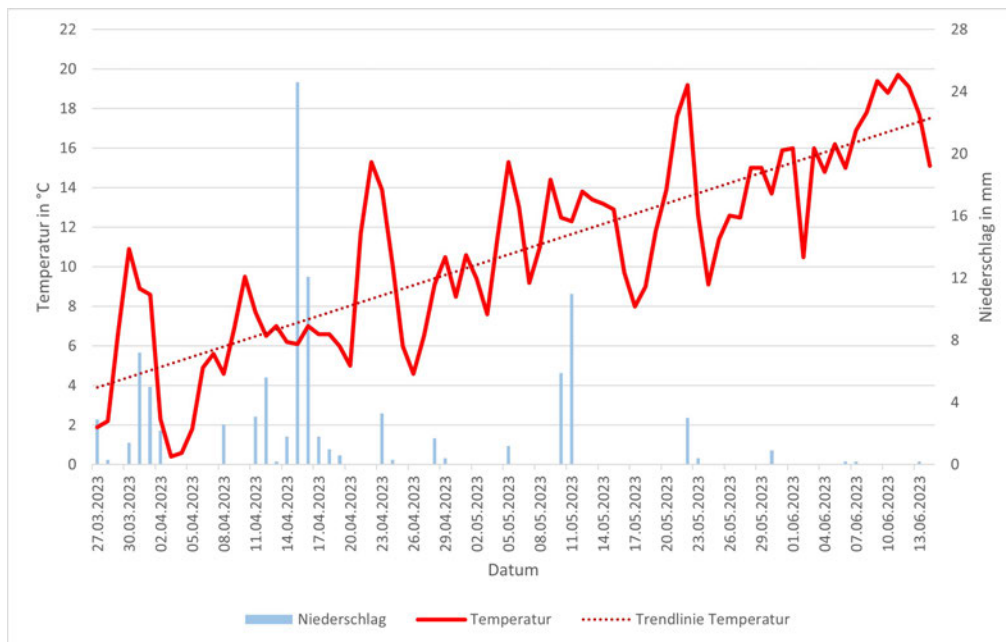


Abbildung 4.1: Klimadiagramm vom 27.03. bis 14.06.2023, basierend auf den Daten der [WS](#)

Insgesamt hat es viele Schwankungen der Luftfeuchtigkeit (vgl. [Abbildung 4.2](#)) im Versuchszeitraum gegeben. Mitte April war diese am höchsten, äquivalent zu der hohen Niederschlagsmenge in der Zeit. Anfang Mai ist sie teils wieder angestiegen, jedoch bis zum Ende des Experiments tendenziell niedriger geworden. Diese Entwicklung wird anhand einer Trendlinie in [Abbildung 4.2](#) verdeutlicht.

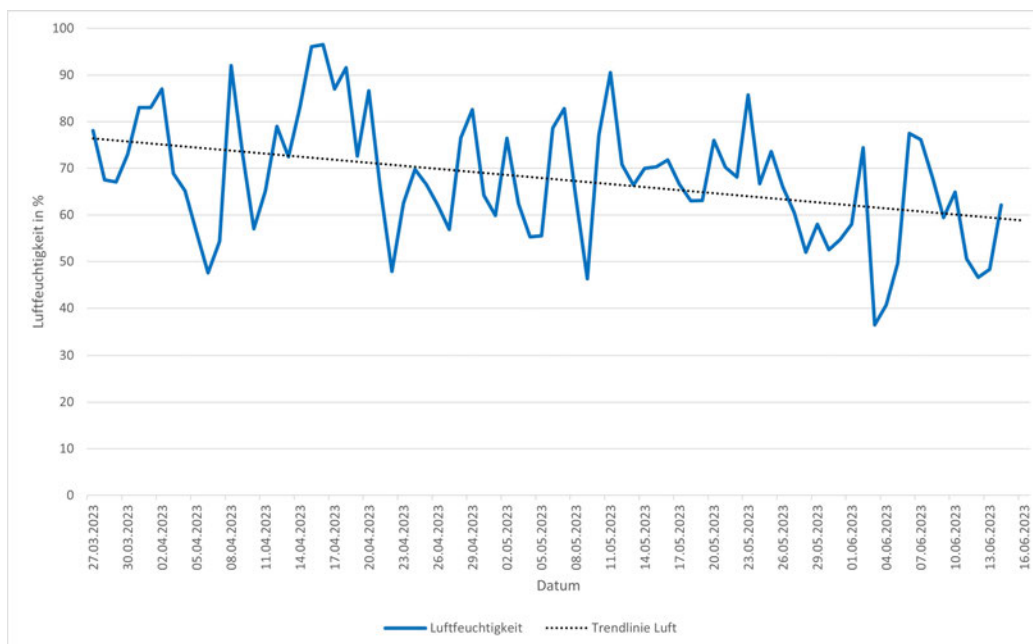


Abbildung 4.2: Entwicklung der Luftfeuchtigkeit vom 27.03. bis 14.06.2023, basierend auf den Daten der [WS](#)

Ein zusätzlicher Vergleich der Datalogger in dem Zeitraum von Tag 72 bis Tag 80 zwischen den Kadavern hat ergeben, dass die Temperatur nahezu deckend ist (vgl. [Abbildung 4.3](#)). Auffällig ist, dass immer in der Nachmittagszeit größere Abweichungen von bis zu 1,8 °C auftraten. Dabei waren die Temperaturen bei [S2](#) höher.

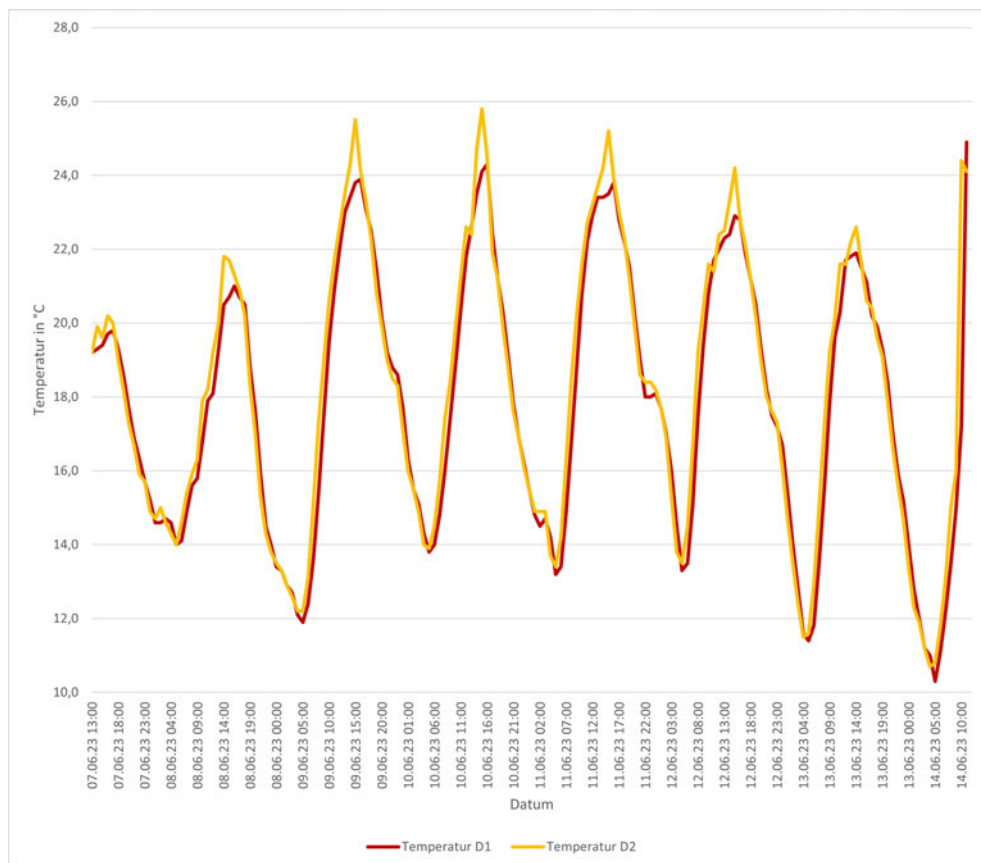


Abbildung 4.3: Vergleich der Temperatur der Datalogger [D1](#) und [D2](#) im Zeitraum vom 07.06. bis 14.06.2023

Bei dem Vergleich der Verlaufskurven der Feuchtigkeit wird in [Abbildung 4.4](#) erkennbar, dass diese einerseits in Abschnitten identisch ist. Andererseits gibt es zwischen den unterschiedlichen Auslegungsorten Differenzen. In den frühen Morgenstunden war die Luftfeuchtigkeit bei [S1](#) um bis zu 8 Prozent höher.

Beim Betrachten der akkumulierten Tagesgrade (vgl. [Abbildung 4.5](#)) fällt auf, dass der Graph zu Beginn nach einem kurzen Anstieg einen fast konstanten Verlauf zwischen Tag 5 und 9 hatte. Ab Tag 10 bis Tag 31 verlief der Graph nahezu konstant. Danach stieg er stärker an. Die [ADD](#)-Werte sind in [Anhang B](#) dargestellt.

Aufgrund der Temperaturdifferenzen (vgl. [Abbildung 4.3](#)) weichen auch die akkumulierten Tagesgrade zwischen den Kadavern ab. In [Tabelle 4.1](#) ist ein Vergleich der [ADD](#) im Zeitraum von Tag 72 bis Tag 79 dargestellt. Die Werte wurden nicht auf die Werte aus [Abbildung 4.5](#) darauf gerechnet, da die [ADD](#)-Werte vor dem 07.06. von [D1](#) und [D2](#) nicht vorliegen. In [Tabelle 4.1](#) wird deutlich, dass die [ADD](#)-Werte von [D1](#) größtenteils unter denen von der [WS](#) liegen. Auffällig ist auch, dass die [ADD](#)-Werte von [D2](#) immer größer als die von [D1](#) sind.

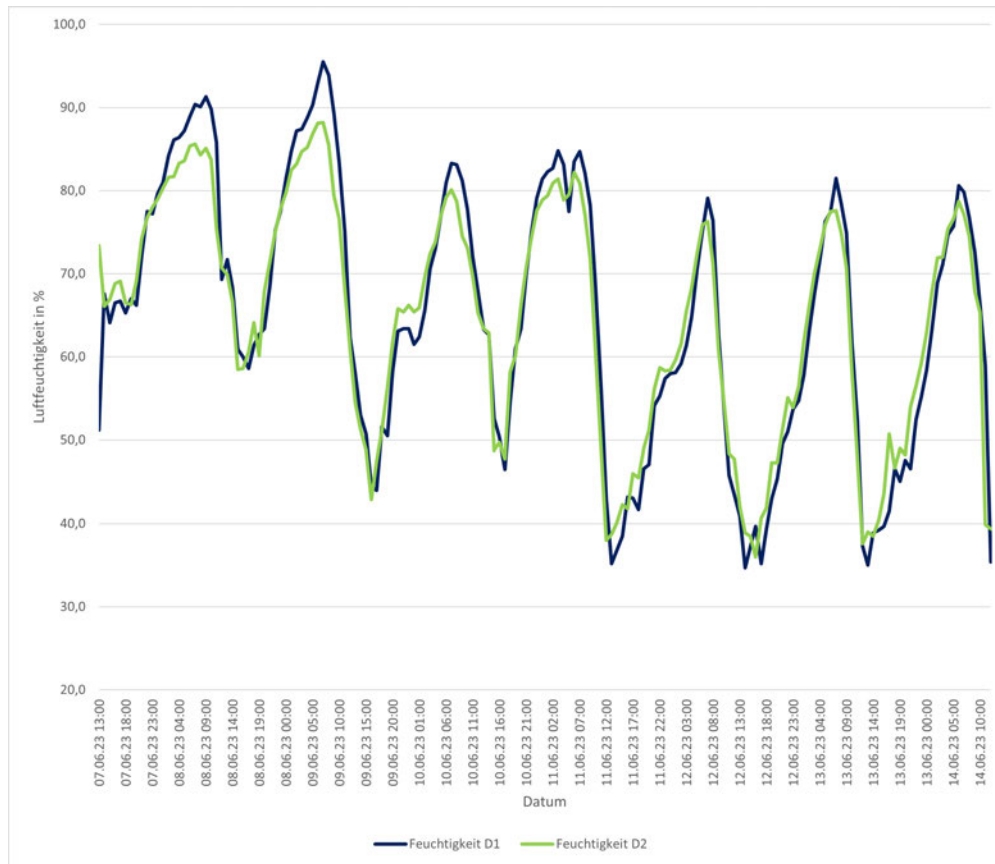


Abbildung 4.4: Vergleich der Luftfeuchtigkeit der Datalogger D1 und D2 im Zeitraum vom 07.06. bis 14.06.2023

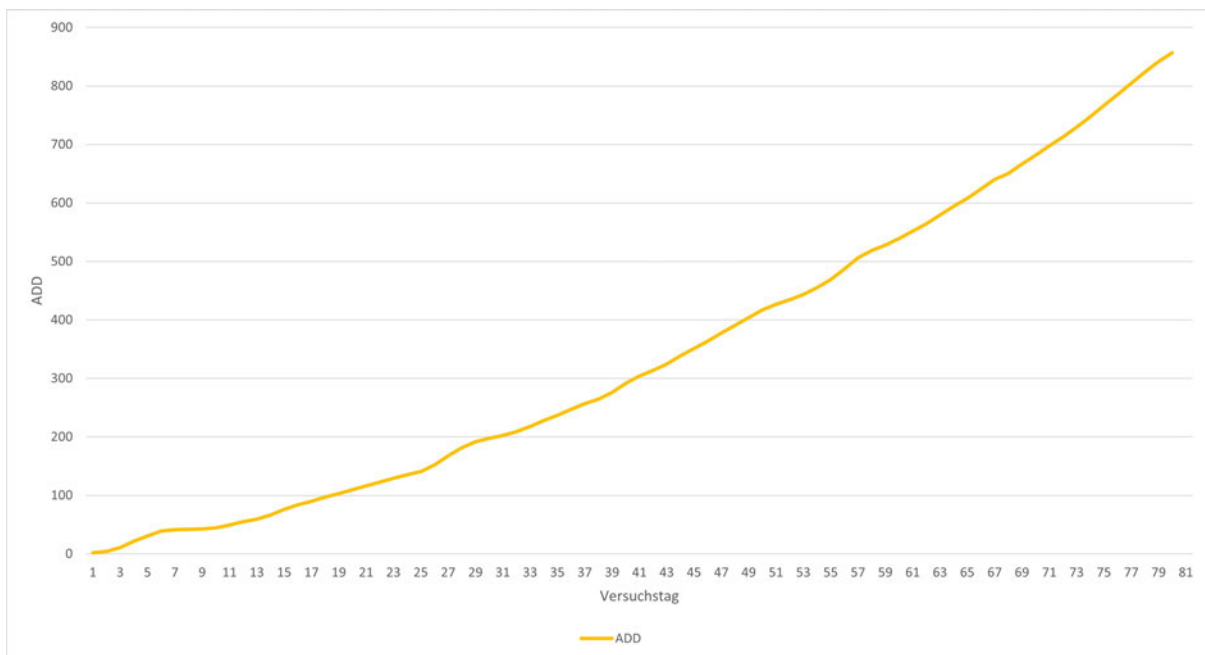


Abbildung 4.5: Akkumulierte Tagesgrade im Verlauf der Versuchstage, basierend auf den Daten von WS

4.2 Verwesung

Zu Beginn hatten beiden Kadaver einen hell rosafarbenen Hautton. Die Haut war unbehandelt und hatte mittellange, borstenartige Härchen. Die Kadaver war zum Zeitpunkt der Auslegung noch warm. Nach 5 Stunden konnte eine deutliche Abkühlung festgestellt werden. Die Schweinekadaver waren unbehandelt.

4.2.1 Frisch

Die ersten Auffälligkeiten konnten ab Tag 2 beobachtet werden. Bei beiden Schweinen hat sich die Nase rötlich verfärbt und es ist orangefarbene Flüssigkeit ausgetreten. Des Weiteren bildeten sich auf der Unterseite der Kadaver Totenflecke.

Ab Tag 5 konnte das Einsetzen der Grünfäulnis im Bereich des unteren Abdomens bei **S1** beobachtet werden. Diese hat sich in den darauffolgenden Tagen weiter Richtung Ohr und Schnauze ausgebreitet.

Bei **S2** konnte die Grünfäulnis schon ab Tag 3 auf dem Kadaver gesichtet werden. Ab Tag 7 haben sich grünliche Flecken auf dem Bauch gebildet.

Bei beiden Kadaver war der Rigor mortis noch bis Tag 14 vorhanden. Im weiteren Verlauf gab es bis auf eine leicht rötliche Verfärbung an den Extremitäten und im Gesichtsbereich keine weiteren Auffälligkeiten für dieses Stadium bei **S1** und **S2**.

4.2.2 Gebläht

Ab dem 25. Tag des Experiments zeigte **S1** eine beginnende Blähung des Bauches bei einem **ADD**-Wert von 152,3. Zugleich breitete sich die Grünfäulnis weiter aus und die Zunge begann sich zu zersetzen. Erste Antragungen von Fliegeneiern konnten im Bereich zwischen Augen und Nase ausgemacht werden. Die Blähung verstärkte sich ab Tag 36. Dies hatte zur Folge, dass auch die Extremitäten abstanden und dunkelrot verfärbt wurden. Auch konnten nun vermehrt Eiantragungen gesehen werden. Neben dem Kopf gab es diese vermehrt auch am Rücken. Mit Tag 36 trat das Venennetz stark hervor. Erste Hautablösungen traten am Kinn an Tag 42 auf. Die Region hinter den Ohren war mittlerweile stark verwest. An diesem Tag traten an dieser auch erstmal Maden auf. Am Tag 44 löste sich die Haut am unteren Bauch ab. In den darauffolgenden Tagen breitete sich die Grünfäulnis auf den Rücken aus und die Schnauze begann sich zu zersetzen. Dabei hat die Haut an Elastizität verloren (vgl. [Abbildung 4.6](#)) und die Zähne haben sich aus dem Gebiss gelöst. **S1** war bis zum Tag 51 noch aufgebläht, der Darm ist jedoch an Tag 49 schon ausgetreten.



Abbildung 4.6: Aufnahme von [S1](#) an Tag 47. Haut im Schnauzenbereich verliert an Elastizität.

Bei [S2](#) wurde ab dem 23. Tag eine beginnende Blähung am Bauch erkannt. Dabei hat sich eine stark ausgeprägte Beule gebildet. Zu dieser Zeit war der [ADD](#)-Wert bei 135,6 und lag im Vergleich zu [S1](#) niedriger. An den nächsten fünf Tagen breitete sich die Grünfäulnis vom Bauch auf das Gesicht und die Extremitäten aus. An diesem Tag begann auch die Zersetzung der Zunge. In den Folgetagen konnten im zersetzten Gewebe Maden gesichtet werden. An Tag 31 wies der im Bauchbereich ein Loch auf, in dessen Inneren Maden zu erkennen waren. Am darauffolgenden Tag waren die Extremitäten stark abgespreizt und der Kadaver war insgesamt stärker gebläht. Ab Tag 36 trat Fäulnisflüssigkeit aus dem Loch am Bauch aus (vgl. [Abbildung 4.7](#)).

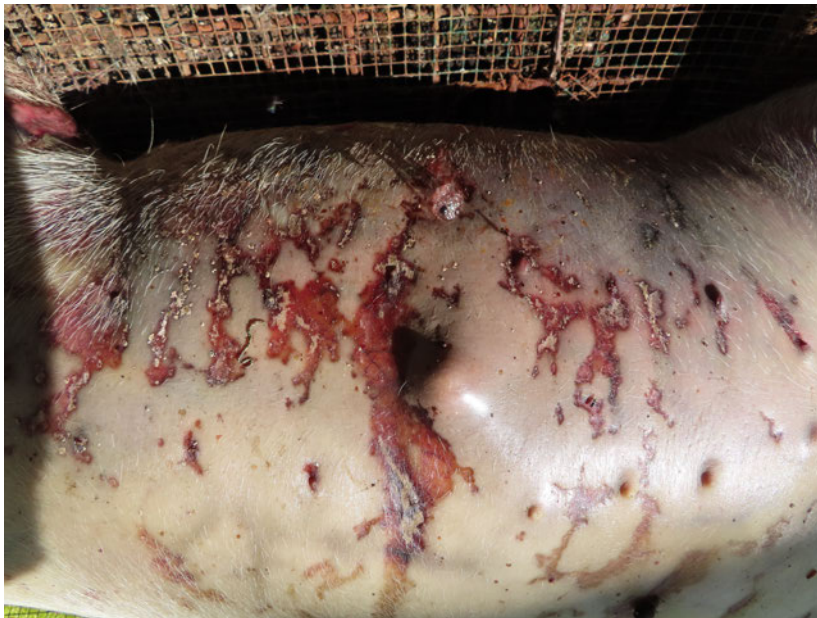


Abbildung 4.7: Aufnahme der Beule und des Lochs am Bauch von [S2](#) an Tag 37

Es bildeten sich starke rote Flecken und oberflächliche Venen waren deutlich sichtbar. Die Beule am Bauch nahm an Volumen weiter zu (vgl. [Abbildung 4.7](#)).

Mit Tag 43 trat aus mehreren Stellen des Abdomens eine rötliche Fäulnisflüssigkeit aus. Am nächsten Tag löste sich die Oberhaut an einigen Stellen des Bauches und an den vorderen Beinen. Im weiteren Verlauf konnte dies auch an den hinteren Beinen beobachtet werden. Das Gewebe darunter hat sich rötlich verfärbt und es haben sich Maden an diesen Stellen gesammelt. In [Abbildung 4.8](#) ist dies zu erkennen.

Am Tag 46 traten ungefähr fünf Zentimeter innere Organe aus dem After, jedoch war das Schwein immer noch aufgebläht.



Abbildung 4.8: Aufnahme der Hautablösung am Bauch bei [S2](#) an Tag 44

Insgesamt war [S2](#) früher und stärker aufgebläht als [S1](#). Im Vergleich von [Abbildung 4.9b](#) und [Abbildung 4.10b](#) wird dies deutlich.



(a) Tag 0



(b) Tag 36



(c) Tag 51



(d) Tag 79

Abbildung 4.9: Verwesungsprozess während des Experiments bei S1



(a) Tag 0



(b) Tag 36



(c) Tag 60



(d) Tag 79

Abbildung 4.10: Verwesungsprozess während des Experiments bei S2.

4.2.3 Zerfall

Zum besseren Verständnis wurde der Zerfall in aktiv und fortgeschritten unterteilt.

4.2.3.1 Aktiver Zerfall

Der aktive Zerfall hat bei **S1** mit dem Darmaustritt aus dem Unterbauch an Tag 49 bei einem **ADD**-Wert von 417 begonnen. Damit einhergehend traten auch große Menge an Maden aus dem Kadaver aus, welche zunächst im Darm noch aktiv waren und sich dann aus diesem sich freigesetzt haben. In den nächsten Tagen sind weitere Öffnungen im Bereich des Rückens und im Schädelbereich entstanden (vgl. **Abbildung 4.9c**). Aus diesen sind Maden zusammen mit dunkler Fäulnisflüssigkeit ausgetreten.

Bei **S2** konnte der vollständige Austritt erst am Tag 51 beobachtet werden, als der **ADD**-Wert bei 434,7 lag. Dabei ist ein großer Teil der Flüssigkeiten bzw. das Gewebe mit den Maden unter den Käfig geflossen.

Bei beiden Schweinen traten sieben Tage nach Darmaustritt noch weitere Innereien bzw. Fäulnisflüssigkeit aus dem Kadaver aus. Die Haut hat sich durch die stark ausgeprägte Grünfäulnis dunkler gefärbt und war an den Rändern des Kadavers stark verdunkelt.

4.2.3.2 Fortgeschrittener Zerfall

Ab dem 58. Versuchstag konnte bei **S1** bis zum Ende des Experiments der fortgeschrittene Zerfall beobachtet werden. Bei **S2** konnte dieser ab Tag 65 beobachtet werden. Es konnte größtenteils nur noch Haut, vertrocknetes Gewebe und Knochen am Schwein gesehen werden. **S2** wies eine größere Menge an Haut und vertrocknetes Gewebe auf. Ab Tag 65 konnten bei beiden Schweinen keine weiteren Veränderungen festgestellt werden. Die Kadaver waren größtenteils ausgetrocknet und klebten am Käfig fest. Auch zum Ende hin war an **S2** im Vergleich zu **S1** noch mehr Hautgewebe vorhanden.

4.2.4 Skelettierung

Am Ende kann bei **S1** von einer Teilskelettierung gesprochen werden. Bei **S2** wurde dieses Stadium im Versuchszeitraum nicht erreicht.

4.3 Insektenbesiedlung

Zur Erläuterung der Insektenbesiedlung wurde der Versuchszeitraum in vier Perioden unterteilt. Eine Periode umfasst jeweils 20 Tage. Zu jedem Zeitraum wurde eine Abbildung zur Insektenaktivität der adulten Tiere an den beobachteten Tagen erstellt. Dabei verdeutlichen größere Symbole ein Vorkommen von mehr als 5 Exemplaren am jeweiligen Kadaver. Es wurden nur Insekten aus der Ordnung Diptera und Coleoptera gesammelt. Des Weiteren wurden ab dem Auftreten der Piophiliden Abbildungen zur Aktivität der Piophiliden erstellt. Die gesamte Insektenaktivität während des Experiments ist in **Abbildung 4.26** dargestellt.

4.3.1 1. Periode– Tag 0 bis 19

Erste Insekten wurden am zweiten Auslegungstag auf **S1** in Form von adulten Staphyliniden gesehen. Die erste Fliegenaktivität konnte anhand der Wasserfallen am dritten Tag beobachtet werden. Es befanden sich in der Wasserfalle von **S2** zwei Fliegen aus der Familie Muscidae und Sphaeroceridae. Am darauffolgenden Tag wurde auch in der Wasserfalle bei **S1** eine Sphaeroceridae gefunden.

Am Tag 4 wurde auf **S1** die erste Fliege gefangen, der Familie Sphaeroceridae zugehörig. Diese war auch noch einen Tag später auf **S1** aufzufinden (vgl. [Abbildung 4.11](#)).

Am Tag 5 konnte auf **S2** eine Fliege der Familie Trichoceridae asserviert werden. In den ersten 20 Tagen konnte keine weitere Fliegenaktivität auf **S2** beobachtet werden (vgl. [Abbildung 4.12](#)). Dafür wurden unterschiedliche Käfer entdeckt. Es wurden an Tag 3 mehrere Staphyliniden und zwei Geoptruten der Art *Trypocopriss vernalis* und an Tag 14 ein *Oiceoptoma thoracicum* (rothalsige Silphe) gesammelt.

Die Familie Piophilidae wurde in den ersten 20 Tagen nicht beobachtet.

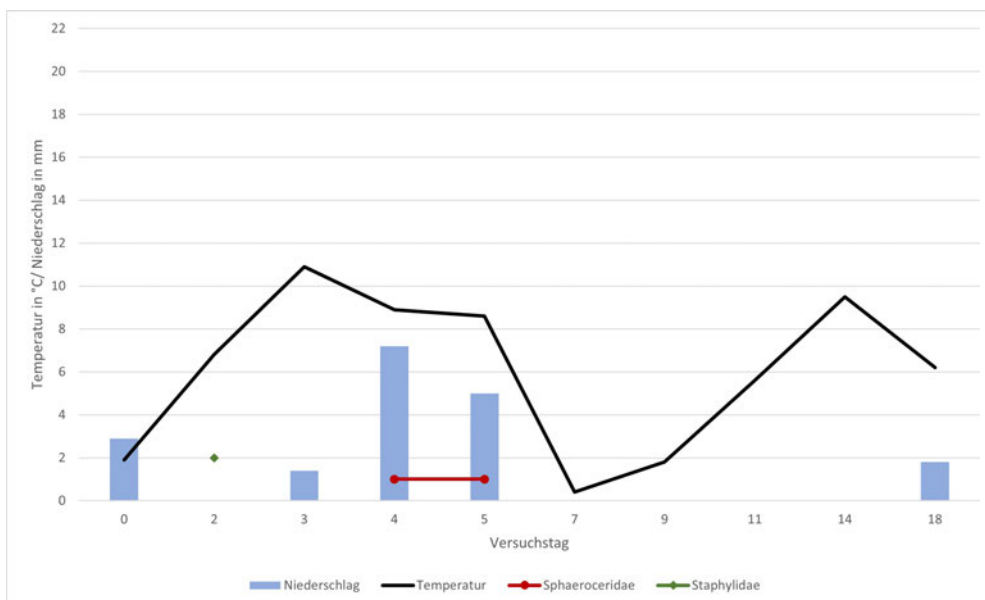


Abbildung 4.11: Insektenaktivität der 1. Periode von **S1** mit Temperatur und Niederschlag

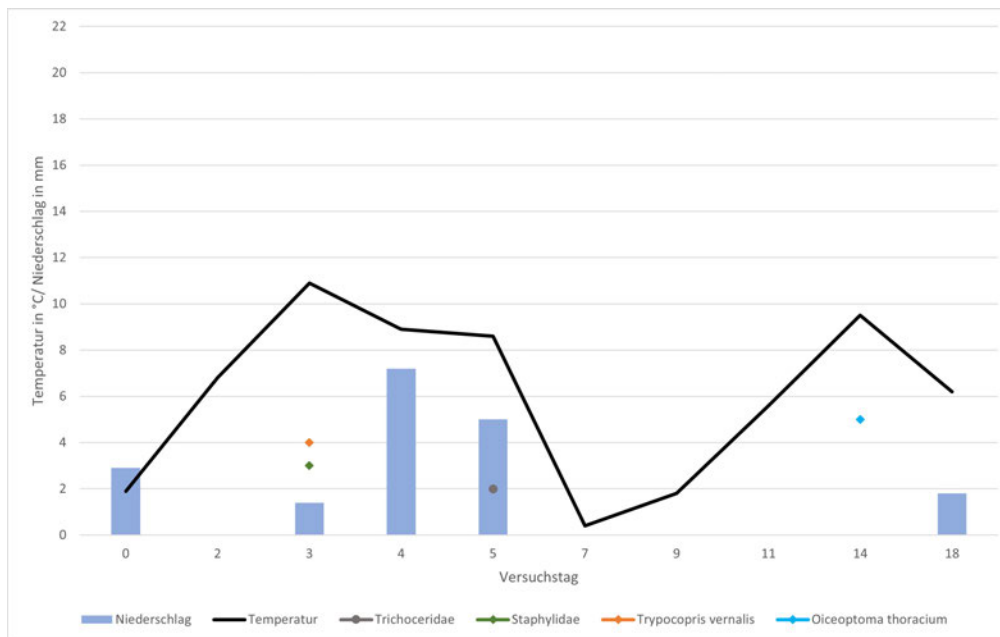


Abbildung 4.12: Insektenaktivität der 1. Periode von S2 mit Temperatur und Niederschlag

4.3.2 2. Periode– Tag 20 bis 39

Am Anfang dieser Periode war die Fliegenaktivität auf beiden Kadavern noch gering. Aus den Wasserfallen konnten täglich mehrere Fliegen asserviert werden.

Zu Beginn dieser Periode wurden bei S1 Fliegen der Familien Heleomyzidae, Sphaeroceridae, Fanniidae und Phoridae gesichtet. Diese waren hauptsächlich auf den Bauch konzentriert. Heleomyzidae trat dabei nur an Tag 21 auf.

Schon ab Tag 21 wurden auf der Unterseite die ersten Maden im zweiten und dritten Larvenstadium beobachtet. Die Maden aus dem dritten Larvenstadium gehören zu der Art *Calliphora vicina*. Der ADD-Wert betrug zu dieser Zeit 123. Zeitgleich konnten erste Fliegeneier auf dem Kadaver zwischen Schnauze und Nase gesichtet werden.

Mit Tag 25 wurden vermehrt Fliegen auf S1 entdeckt und die erste Fliege aus der Familie Calliphoridae wurde gesichert.

Ab Tag 28 wurden auch Käfer der Art *Oiceoptoma thoracicum* gesichtet.

Ab Tag 36 waren fast ausschließlich Fliegen der Familien Calliphoridae, Muscidae und Piophilidae präsent (vgl. Abbildung 4.13). Die Fliegen waren auf dem gesamten Kadaver verteilt, konzentrierten sich jedoch besonders auf den Kopf. Es konnten Fliegen beim Eierlegen auf den Rücken des Kadavers beobachtet werden.

Bei S2 konnte an den Tagen 21 und 23 keine Insektenaktivität festgestellt werden (vgl. Abbildung 4.14). Erst ab Tag 25 konnten Käfer der Arten *Nicrophorus vespilloides* und *Oiceoptoma thoracicum* gesichtet werden. Gleichzeitig waren auch Fliegen der Familien Heleomyzidae und Fanniidae auf dem Kadaver. Auch hier trat Heleomyzidae nur an Tag 25 auf. Es wurden Eierablagerungen zwischen den vorderen Extremitäten an Tag 28 entdeckt.

Nachdem an Tag 30 keine Insektenaktivität festzustellen war, konnten ab Tag 31 die ersten Maden im zweiten Larvenstadium in der Schnauze beobachtet werden bei einem ADD-Wert von 208,7.

An diesem Tag wurde auch die Familie Muscidae zum ersten Mal auf dem Kadaver gesichtet. Ab Tag 36 wurden neben einer erhöhten Anzahl von Fliegen auch fast täglich die gleichen Familien beobachtet. Dazu gehörten Calliphoridae, Muscidae, Fanniidae, Sphaeroceridae und Piophilidae.

Zusammenfassend ist zu erkennen, dass bei beiden Kadavern zeitgleich ab Tag 36 eine erhöhte Aktivität der Insekten einsetzte. Im Vergleich zu S1 waren auf S2 bis Tag 37 weniger Insekten auf dem Kadaver.

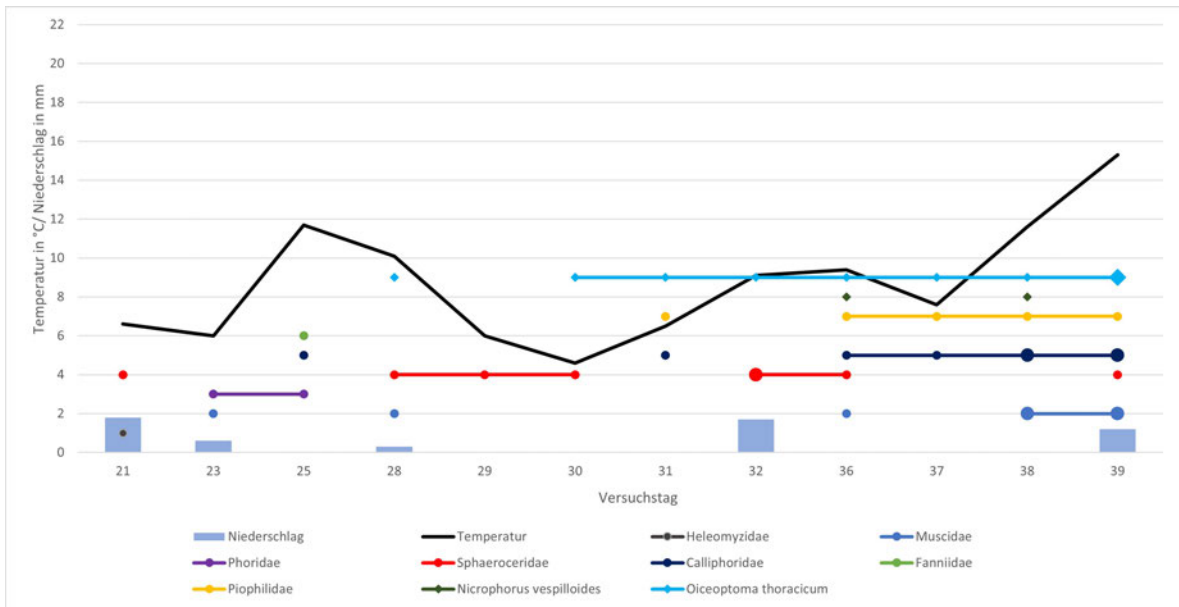


Abbildung 4.13: Insektenaktivität der 2. Periode von S1 mit Temperatur und Niederschlag

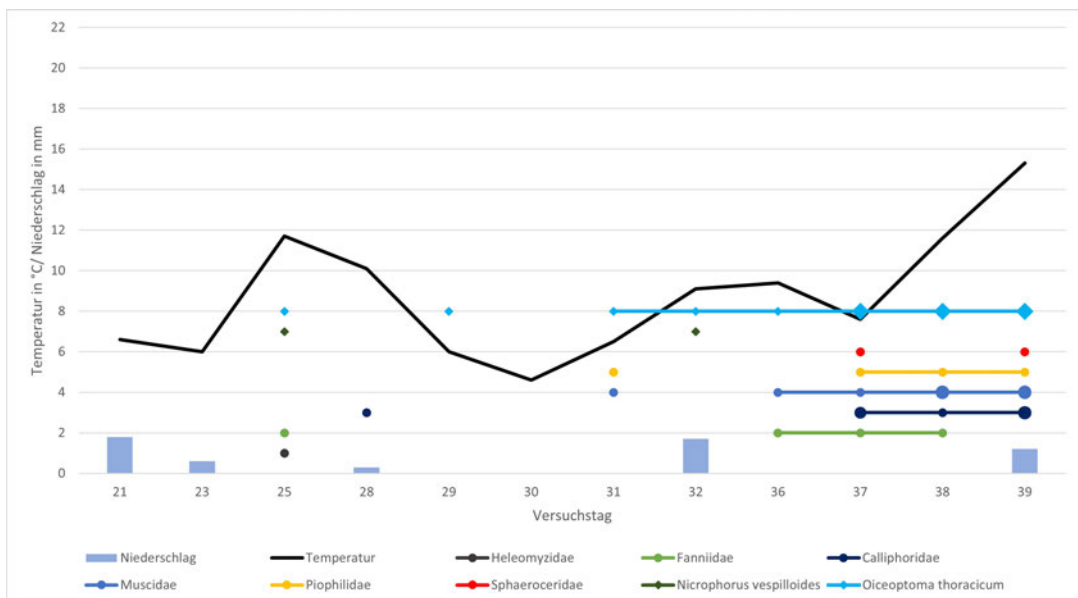


Abbildung 4.14: Insektenaktivität der 2. Periode von S2 mit Temperatur und Niederschlag

Auf beiden Schweinen konnte die erste Fliege aus der Familie Piophilidae an Tag 31 gefangen werden. Der ADD-Wert lag an diesem Tag bei 298,7. Zunächst konzentrierte die Fliegen sich auf Bereiche bei dem Kopf.

Bei beiden Kadavern betrug der Anteil der Piophiliden weniger als ein Viertel in der 2. Periode, wie in [Abbildung 4.15](#) und [Abbildung 4.16](#) erkennbar wird. Bei [S1](#) war die Art *Stearibia nigriceps* und *Lioliophila varipes* vertreten, wobei erstere dominierte (vgl. [Abbildung 4.15](#)). Bei [S2](#) konnte nur die Art *Stearibia nigriceps* asserviert werden (vgl. [Abbildung 4.16](#)).

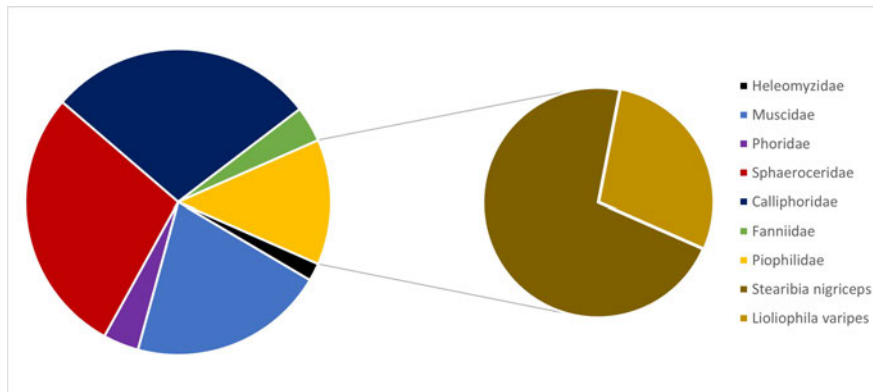


Abbildung 4.15: Aktivität der Piophiliden im Vergleich zu anderen Familien und Darstellung der Zusammensetzung der Piophilidae-Arten in der 2. Periode von [S1](#)

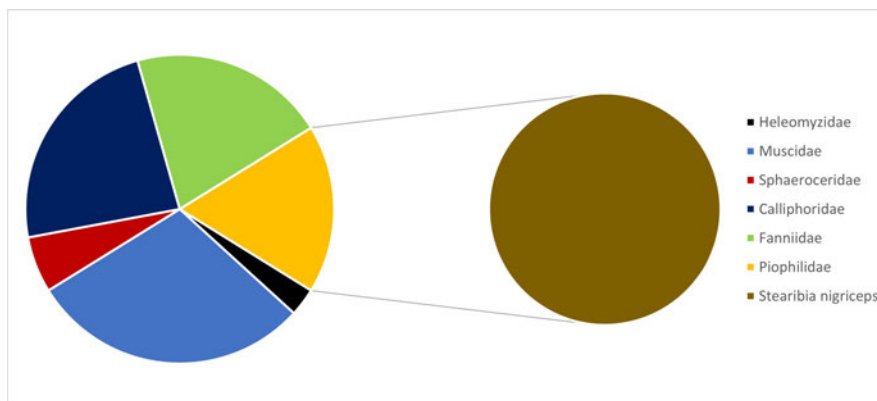


Abbildung 4.16: Aktivität der Piophiliden im Vergleich zu anderen Familien und Darstellung der Zusammensetzung der Piophilidae-Arten in der 2. Periode von [S2](#)

4.3.3 3. Periode– Tag 40 bis 59

An beiden Kadavern wurde täglich Insektenaktivität festgestellt mit Ausnahme von Tag 45.

In den Tagen 40 bis 59 wurden zahlreiche Fliegen über den gesamten Körper verteilt beobachtet. Die Fliegenansammlungen konzentrierten sich auf Bereiche mit weißen Antragungen. Auffällig war hierbei die hohe Ansammlung von Fliegen der Familie Calliphoridae, insbesondere die Art *Calliphora vomitoria*, auf dem Rücken.

Bei [S1](#) wurden Calliphoridae- und Muscidae-Fliegen bis Tag 51 in großer Anzahl beobachtet (vgl. [Abbildung 4.18](#)). Nur an Tag 43 trat die Familie Fanniidae auf. Dabei konzentrierten die Fliegen sich auf das Abdomen und den Afterbereich.

Bei S2 war die Präsenz von Calliphoridae ebenfalls hoch (vgl. [Abbildung 4.19](#)). Unter der gehäuften Anzahl der Fliegen dieser Familie dominierte die Gattung *Lucilia* bei sonnigem Wetter. Im Vergleich zu S1 traten Musciden weniger häufig auf. Fanniden hingegen konnten bei S2 häufiger beobachtet werden.

Die hohe Aktivität dieser Fliegen spiegelte sich auch durch täglich mindestens 15 dieser Exemplare in den Wasserfallen wider.

Bei Kadaver S2 konzentrierten sich Fliegen und Käfer neben dem Rücken auch auf das Loch im Bauchbereich. Bei genaueren Betrachtung konnten im Inneren Maden festgestellt werden. Weitere asservierte Maden von Tag 50 und 58 konnten den Calliphoridae-Arten *Calliphora vicina* und *Calliphora vomitoria* im dritten Larvenstadium zugeordnet werden.

Die Käferart *Oiceoptoma thoracicum* war nahezu täglich bei beiden Kadavern präsent und es wurde eine außerordentliche hohe Anzahl beobachtet (vgl. [Abbildung 4.17](#)).



Abbildung 4.17: Ansammlungen von *Oiceoptoma thoracicum* auf S1

An vereinzelten Tagen traten auch die Arten *Thanatophilus sinuatus* und *Nicrophorus vespilloides* auf. Ab Tag 43 wurden erste Käferlarven auf dem Kadaver festgestellt. Diese stammen von der Käferart *Oiceoptoma thoracicum*.

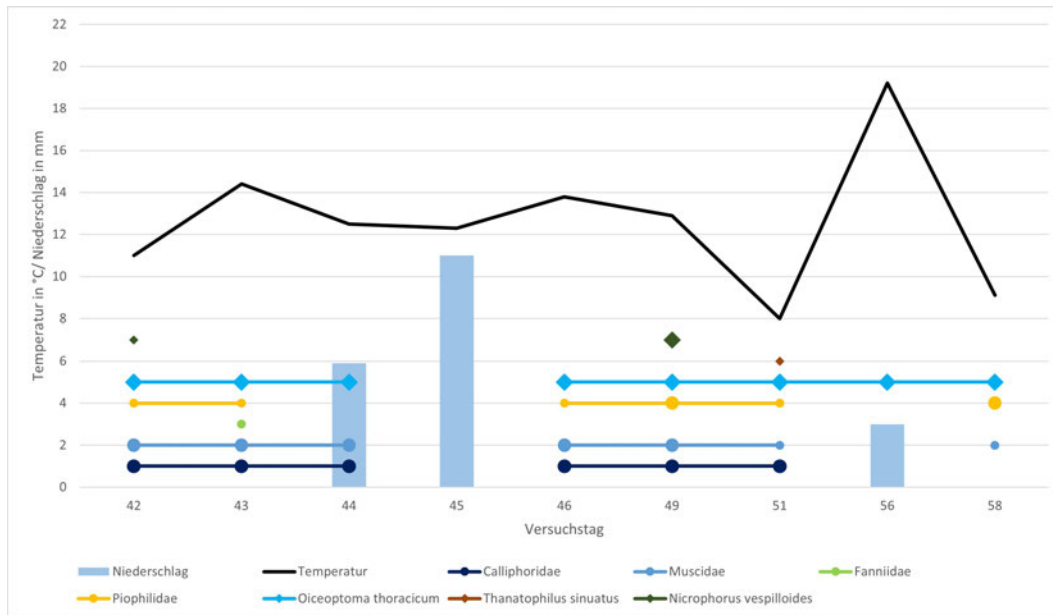


Abbildung 4.18: Insektenaktivität der 3. Periode von S1 mit Temperatur und Niederschlag

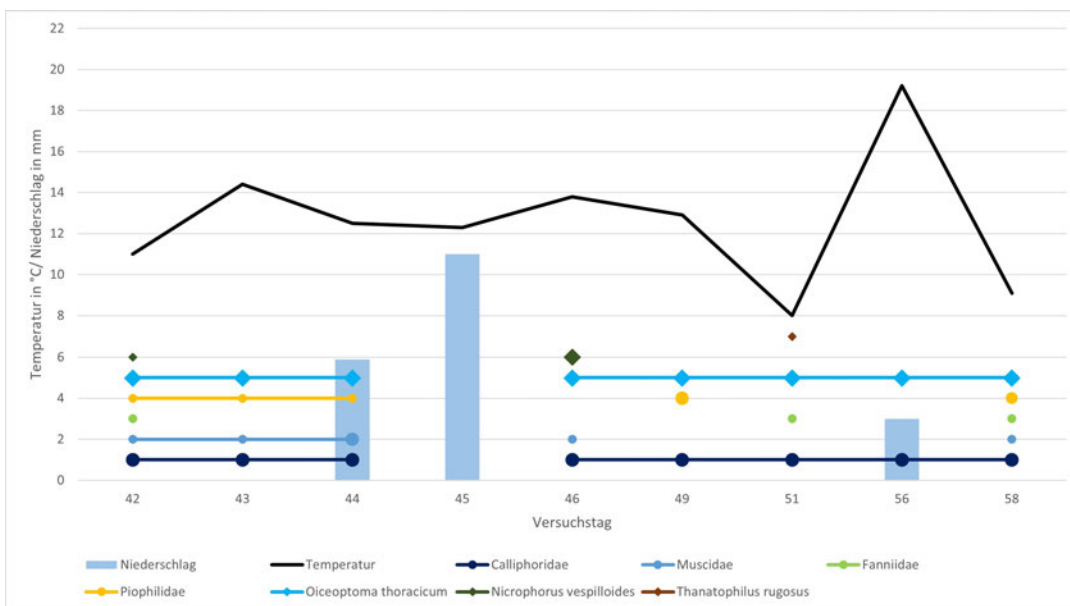


Abbildung 4.19: Insektenaktivität der 3. Periode von S2 mit Temperatur und Niederschlag

Die Familie Piophilidae war in diesem Zeitraum bei S1 fast täglich präsent, außer an den Tagen mit Niederschlag (vgl. Abbildung 4.18). Bei S2 trat sie an weniger Tagen auf. Mittlerweile konnten diese Fliegen überall auf dem Kadaver aufgefunden werden. Bei S2 gab es vermehrte Ansammlungen bei dem Loch im Bauch und im Afterbereich. Es wurden sowohl männliche als auch weibliche Tiere gefangen. Dabei waren ca. 70 % männlich und 30 % weiblich. Ein Vergleich der Kreisdiagramme zeigt, dass bei S2 eine höhere Anzahl von Piophiliden auftrat (vgl. Abbildung 4.20 und Abbildung 4.21). Bei beiden Ferkelkadavern wurden die drei Arten *Lioliophila varipes*, *Stearibia nigriceps* und *Prochyliza nigricornis* beobachtet. *Prochyliza nigricornis* wurde das erste Mal im Versuchszeitraum bei den Kadavern gefangen. Es dominierte bei S1 die Art *Lioliophila varipes*, während bei S2 die Art *Stearibia nigriceps* überwog.

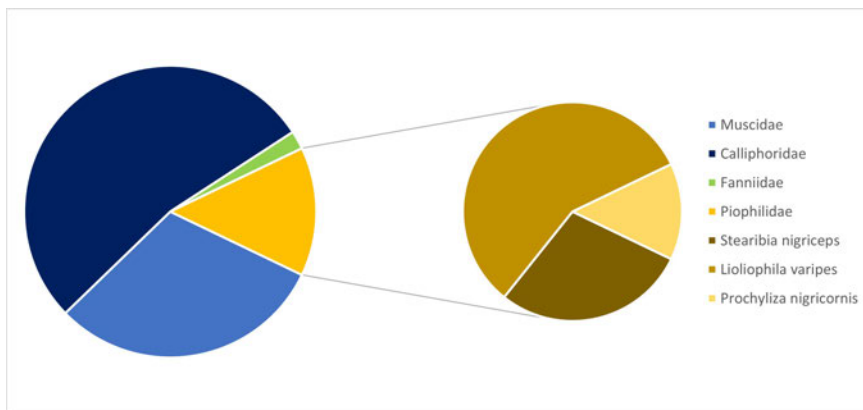


Abbildung 4.20: Aktivität der Piophiliden im Vergleich zu anderen Familien und Darstellung der Zusammensetzung der Piophilidae-Arten in der 3. Periode von [S1](#)

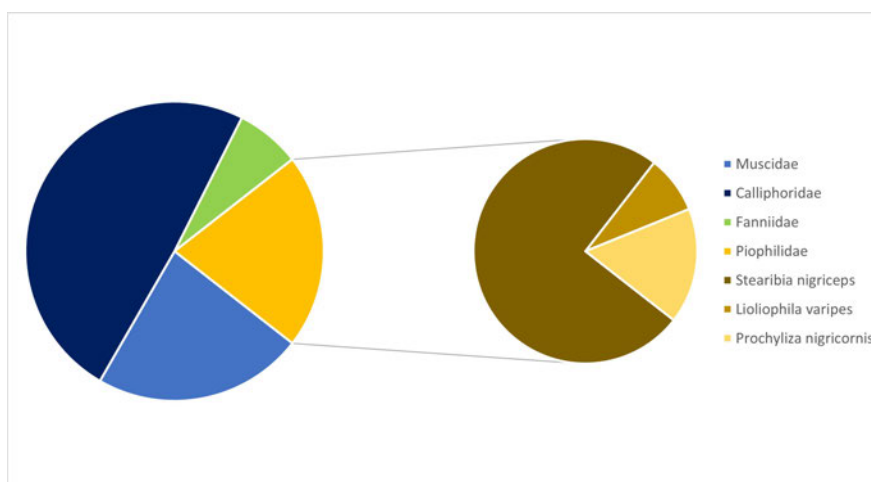


Abbildung 4.21: Aktivität der Piophiliden im Vergleich zu anderen Familien und Darstellung der Zusammensetzung der Piophilidae-Arten in der 3. Periode von [S2](#)

4.3.4 4. Periode– Tag 60 bis 79

Wie in [Abbildung 4.22](#) dargestellt, konnten an Tag 60 auf [S1](#) die Fliegenfamilien Fanniidae, Piophilidae und Sphaeroceridae und der Käfer *Oiceoptoma thoracicum* beobachtet werden. In den darauffolgenden Tagen war nur noch eine geringfügige Insektenaktivität bei [S1](#) zu beobachten. Neben den ständig präsenten Piophiliden traten vereinzelt noch Musciden auf. Adulte Käfer wurden nicht mehr gesichtet. Dafür traten bis zum Tag 74 viele Käferlarven auf.

Bei [S2](#) konnten an den Tagen 60 und 65 noch mehrere Fliegen und Käfer auf den Kadavern gesichtet werden. An Tag 60 ist noch die Gattung *Calliphora* aus der Familie der Calliphoridae aufgetreten (vgl. [Abbildung 4.23](#)). Insgesamt nahm auch hier die Insektenaktivität ab. Käfer wurden ab Tag 70 nicht mehr beobachtet. Käferlarven traten noch bis zum Tag 74 auf.

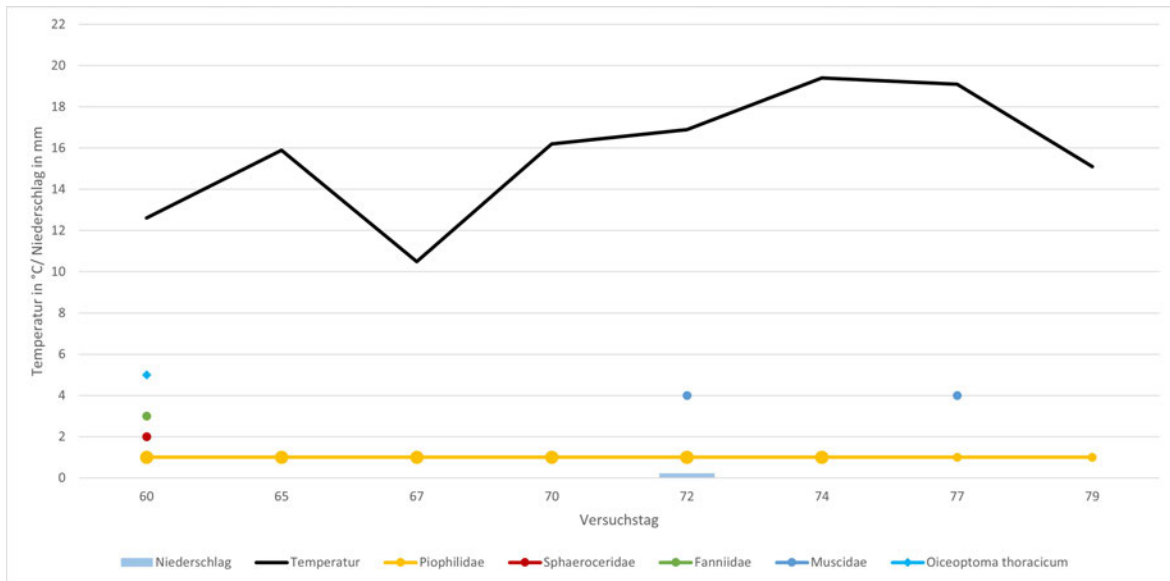


Abbildung 4.22: Insektenaktivität der 4. Periode von S1 mit Temperatur und Niederschlag

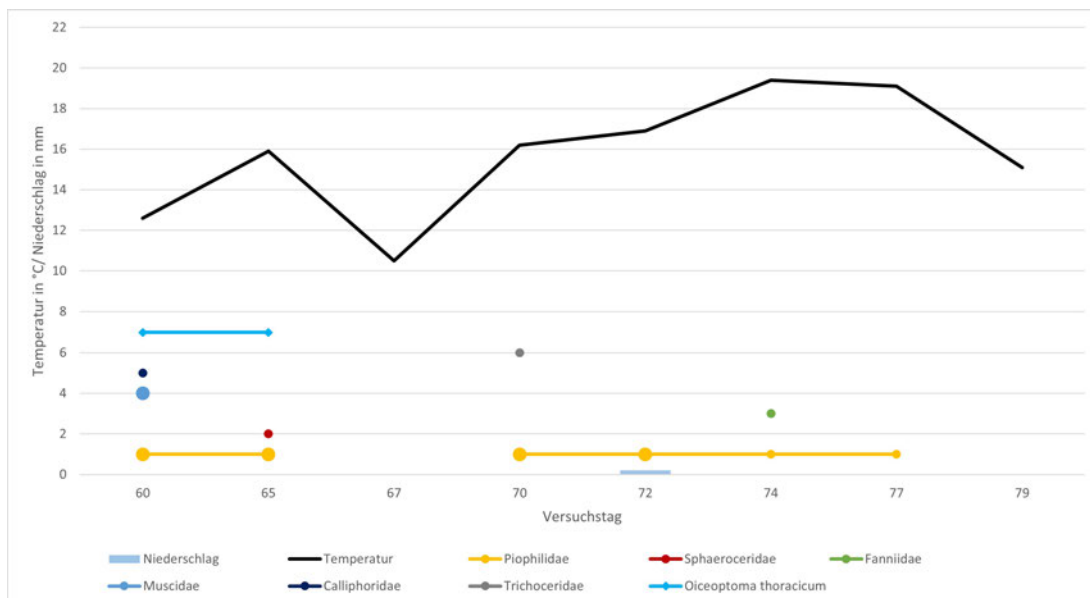


Abbildung 4.23: Insektenaktivität der 4. Periode von S2 mit Temperatur und Niederschlag

Die Familie der Piophiliden dominierte diese Zeit, was in [Abbildung 4.24](#) und [Abbildung 4.25](#) erkennbar ist. Die Fliegenfamilie trat fast an jedem Tag auf. Im Vergleich der Abbildungen traten bei S2 noch andere Fliegenfamilien auf, währenddessen bei S1 nur drei andere Familien in geringer Anzahl auftraten. Infolgedessen war der Anteil der Piophiliden bei S1 größer als bei S2 in dieser Periode. Trotz der hohen Aktivität der Käsefliege konnten keine Maden dieser Familie sichergestellt werden. Bei S1 konnten wieder die drei Piophilidae-Arten *Lioliophila varipes*, *Stearibia nigriceps* und *Porchyliza nigricornis* asserviert werden. Dabei dominierte erneut *Stearibia nigriceps* und machte über 75 % bei den Piophiliden aus. Bei S2 wurde nur die Art *Stearibia nigriceps* aufgefunden.

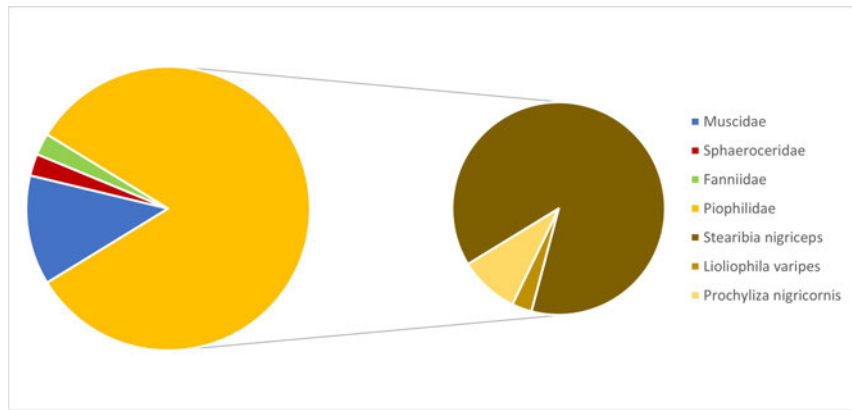


Abbildung 4.24: Aktivität der Piophiliden im Vergleich zu anderen Familien und Darstellung der Zusammensetzung der Piophilidae-Arten in der 4. Periode von S1

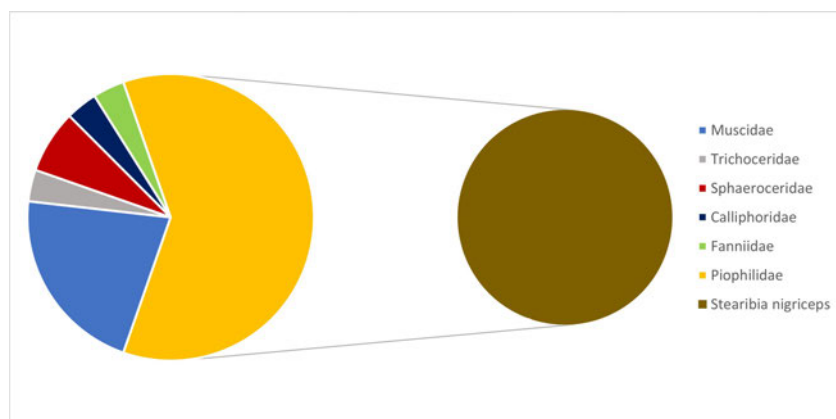


Abbildung 4.25: Aktivität der Piophiliden im Vergleich zu anderen Familien und Darstellung der Zusammensetzung der Piophilidae-Arten in der 4. Periode von S2

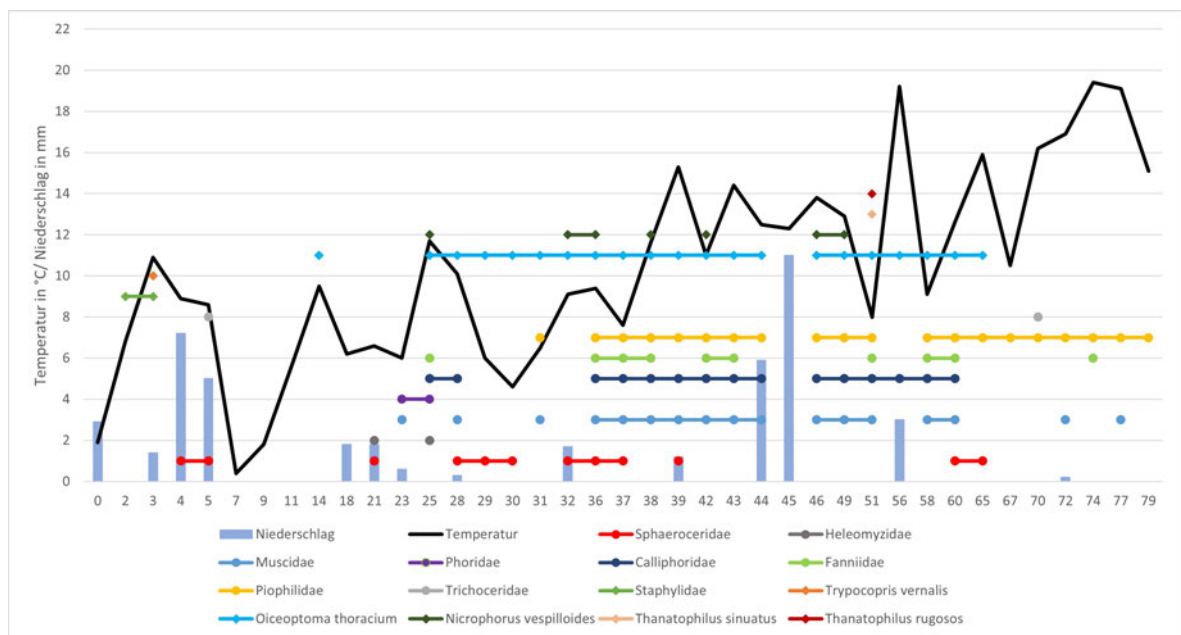


Abbildung 4.26: Gesamtüberblick der Insektenaktivität auf beiden Kadavern von Tag 0 bis Tag 79

5 Diskussion

Nachfolgend sollen die Auffälligkeiten des Experiments untersucht und Erklärungen für Unterschiede gefunden werden. Dabei sollen auch Differenzen zwischen den Kadavern beleuchtet werden.

5.1 Wetter und Verwesung

Es konnten alle fünf Verwesungsstadien (siehe [Abschnitt 2.3](#)) bei **S1** beobachtet werden. Das Experiment wurde beendet, bevor **S2** das letzte Stadium erreicht werden konnte. Deshalb konnten bei **S2** auch nur vier der fünf Verwesungsstadien beobachtet werden.

Die zu Beginn niedrigen Temperaturen haben dafür gesorgt, dass der Verwesungsprozess nur langsam vorangeschritten ist. Erkennbar ist dies auch am langsamen Steigen der Akkumulierten Tagesgrad-Kurve bzw. am fast konstanten [ADD](#)-Wert über drei Tage.

Insgesamt war die Kälte und Nässe dieses Jahr untypisch. Thüringen zählt unter den kühleren Regionen in Deutschland. [\[37\]](#)

Durch die Kälte hat sich der Rigor mortis auch spät gelöst. So kann bei Temperaturen unter 10 °C die Starre 10 Tage und länger andauern [\[15\]](#).

Mit den steigenden Temperaturen ist auch die Verwesung vorangeschritten, da diese maßgeblich davon abhängt.

Bei **S2** sind Fäulnisercheinungen früher aufgetreten als bei **S1**. Grund dafür könnte sein, dass **S2** höheren Temperaturen ausgesetzt war. Infolgedessen sind die [ADDs](#) höher, da diese maßgeblich die Verwesung beeinflussen (vgl. [Abschnitt 3.4](#)). Dies könnte mithilfe der [Accumulated Degree Days \(ADD\)](#)-Werte von **S1** und **S2** anhand der Temperaturdaten der Datalogger geprüft werden. Das ist nicht möglich, da der Datalogger bei **S1** aufgrund von Käfern und Maden im Gehäuse des Loggers ab Mitte Mai eine Fehlermeldung hatte. Somit liegen nur die Daten von **S2** vor.

Eine erneute Messung wurde für 7 Tage Anfang Juni durchgeführt. Dabei können auch Unterschiede aufgetreten sein, da die Datalogger weniger häufig am Tag Daten gemessen haben. In Zukunft sollten die Datalogger besser geschützt werden oder es sollten preisintensive Wetterstationen verwendet werden.

Auffällig ist die späte Blähung der Kadaver über 20 Tage. Vergleichbare Experimente hatten für die Jahreszeit Frühling eine Blähungsdauer von etwa 15-17 Tagen [\[22\]](#), [\[38\]](#), jedoch lagen dabei die Temperaturen höher.

S2 hat sich vermutlich stärker aufgebläht, da es aufgrund von mehr Sonnenlicht höheren Temperaturen ausgesetzt war. Die erhöhte Position und damit der nicht direkte Kontakt zum Boden könnte auch eine Rolle gespielt haben.

Fraglich ist, warum **S1** trotz geringerer Blähung einen früheren Darmaustritt hatte als **S2**. Ein möglicher Grund konnte das Loch im Abdomen bei **S2** durch Madenfraß sein. Durch dieses sind vorzeitig Gase ausgetreten. Infolgedessen musste sich mehr Druck zum Platzen der Haut bilden. Bei **S1** gab es dieses Loch nicht.

Es ist auch möglich, dass die höhere Luftfeuchtigkeit bei **S1** eine Rolle beim Darmaustritt gespielt haben könnte.

Aufgrund der niedrigen Luftfeuchtigkeit und des fehlenden Niederschlags am Ende sind die Schweine mit dem übrigen Gewebe vertrocknet. Hohe Temperaturen haben diesen Prozess begünstigt.

Ob die Skelettierung in den nächsten Wochen bei S1 weiter vorangeschritten bzw. bei S2 eingesetzt hätte, lässt sich pauschal nicht sagen. Es ist davon auszugehen, dass durch den einsetzenden Sommer und dem Laubdach das Gewebe weiter ausgetrocknet wäre. Diese Faktoren hätten den Fortschritt der Verwesung weiter eingeschränkt.

5.2 Verwesung und Insekten

Auch wenn in den ersten 25 Tagen kaum Insekten auf den Schweinekadavern nachgewiesen werden konnte, zeigte sich die Aktivität der Insekten anhand der Wasserfallen.

Es lässt sich keine Aussage treffen, ob die Fliegen aus den Fallen tatsächlich wegen des Kadavers vorzufinden waren oder nur zufällig. Dazu hätte in weiterer Entfernung noch zusätzlich eine Wasserfalle aufgestellt werden müssen. Dann hätte verifiziert werden können, ob es eine Korrespondenz der Fallen gibt. So hätte herausgefunden werden können, ob auch Insekten dabei sind, die nicht auf Aas fixiert sind.

Die geringe Insektenaktivität zu Beginn ist auf die Temperatur und die damit bedingte langsame Verwesung zurückzuführen.

Zudem gab es bis Mitte April auch häufig Niederschlag, mit teils hohen Mengen, was die Insektenaktivität nicht gefördert hat.

Die meteorologischen Daten der WS haben gezeigt, dass schon vor dem Start des Experiments niedrige Temperaturen geherrscht haben und so keine Fliegen aus der Winterruhe gebracht wurden. Mit den wenigen Insekten konnte auch die Verwesung nicht vorangetrieben werden. So führen Eierablagerungen an den offenen Körperstellen zu einer schnelleren Verwesung, da die geschlüpften Maden an Ohr, Nase und Mund als Erstes zu fressen beginnen.

Durch die steigenden Temperaturen und damit Voranschreiten der Verwesung nahm auch die Insektenaktivität zu. Die Insektenaktivität wiederum hat die Verwesung gleichermaßen vorangetrieben. In der 3. Periode stellt der Tag 45 eine Ausnahme dar, weil es an diesem Tag keine Insektenaktivität zum Beobachtungszeitraum kam. Grund dafür waren starke Regenfälle.

Andere Experimente konnten zu Beginn der Insektenbesiedlung die Familien Calliphoridae und Muscidae beobachten [7, 22, 39, 40]. Bei diesem Experiment traten anfangs eher untypische Familien wie Sphaeroceridae auf und nur vereinzelt Musciden. Grund dafür ist die langsame Verwesung.

Die leicht versetzte Insektenbesiedlung zwischen S1 und S2 ist auf die Verwesung zurückzuführen. Da der aktive Zerfall bei S1 schon früher beendet war, traten zu diesem Zeitpunkt kaum noch Calliphoriden auf. Bei S2 konnte diese Familie noch etwas länger beobachtet werden, da der aktive Zerfall später begonnen und somit später beendet wurde als bei S1.

Die Familie Phoridae tritt normalerweise erst im späteren Verlauf auf [21]. Bei diesem Versuch trat sie an Tag 23 und 25 bei S1 auf und noch im frischen Verwesungsstadium. Auf S2 konnte diese Familie nicht beobachtet werden. Es kann die Behauptung aufgestellt werden, dass diese Familie den Schatten bevorzugt.

Einen ähnlichen Sonderfall stellt Heleomyzidae dar. Sie sind einmalig zu Beginn aufgetreten. Bei

einem ähnlichen Experiment im Wald konnte diese Familie auch beobachtet werden, jedoch traten sie erst ab dem aktiven Zerfall auf [39].

Auffällig ist die Abwesenheit der Familie Sarcophagidae. Diese Familie tritt eher seltener in Wäldern auf [41]. Es ist möglich, dass diese Familie zu anderen Zeiten als zu den Beobachtungszeiten auftreten. Matuszewski et al. [40] hatten in deren Studie auch wenige Sarcophagiden beobachten können und betonen, dass diese Familie im Zusammenhang mit der Verwesung eher eine geringere Rolle spielen.

Calliphoridae trat nach anfänglichem Fernbleiben ab der beginnenden Blähung auf und dominierte in den ersten beiden Perioden und trat erst ab Einsetzen des fortgeschrittenen Zerfalls kaum bis gar nicht auf. Dabei war auffällig, dass bei S2 besonders viele Fliegen der Gattung *Lucilia* aufgetreten sind. Vermutlich bevorzugen diese Sonnenschein, welcher bei S2 deutlich stärker vorhanden war. *Lucilia* tritt gehäuft im Wald auf [42].

Hervor sticht die große Anzahl von *Oiceoptoma thoracicum* und im Vergleich dazu die geringe Aktivität anderer Käferarten. Bei einem ähnlichen Experiment in diesem Waldstück ist diese Käferart nicht aufgetreten. Jedoch wurde das Experiment auch später als das Jetzige durchgeführt. [43]. Anton et al. [22] konnten nur ein einziges Exemplar der Art im Frühling auf einer Wiese fangen. Bei Matuszewski [9] hingegen ist *Oiceoptoma thoracicum* in einem polnischen Waldstück häufig im Frühling aufgetreten. Dies lässt darauf schließen, dass die Art besonders im Frühling innerhalb von Waldstücken auftritt.

Anhand der Madenaufzucht konnte bewiesen werden, dass auch andere Arten auf den Schweinen waren und Eier abgelegt haben. Vermutlich hatten sie eine andere Flugzeit oder wurden nicht gefangen. Es ist wahrscheinlich, dass die ersten Eier im Inneren der Kadaver abgelegt wurden. Zum Beispiel wurden bei S1 zeitgleich Eiantragungen und Maden gefunden. Das deutet darauf hin, dass an Stellen, die von außen nicht sichtbar gewesen sind, Eier abgelegt wurden.

Bei S2 konnte dies anhand von Maden im Inneren durch ein Loch im Bauch nachgewiesen werden. Durch die Aktivität der Maden kam zeitweise etwas Fäulnisflüssigkeit aus dem Abdomen. Vermutlich entstand das Loch (vgl. [Abbildung 4.7](#)) durch die Fressaktivität der Maden.

Außerdem wurden keine Maden im ersten Larvenstadium gefunden. Vermutlich sind die Maden zunächst im Kadaver geblieben und später nach Außen gewandert, weshalb die ersten gesammelten Maden schon in fortgeschritteneren Larvenstadien waren.

Die hohe Aktivität der Insekten zwischen den Tagen 36 und 65 ist äquivalent zu der Blähung und dem aktiven Zerfall. Wie in [21] beschrieben, treten in diesem Stadium die meisten Insekten auf.

Bei S2 war am Ende mehr Gewebe übrig, weil die Maden durch die erhöhte Position des Käfigs schnell abgewandert sind und somit weniger vom Kadaver gefressen haben. Des Weiteren wurde zum Ende des aktiven Zerfalls durch ein Tier Erde vom Käfig weg gegraben und somit Maden vom Auslegungsort entfernt.

5.3 Fokus Käsefliege

Die adulten Exemplare der Käsefliege konnten in diesem Experiment beobachtet und gefangen werden.

Nach 31 Tagen ist diese Familie wie erwartet nach einer längeren Liegezeit aufgetreten. Jedoch waren beide Kadaver noch im zweiten Verwesungsstadium. Anscheinend wurden sie trotzdem angezogen. S2 war zu diesem Zeitpunkt schon etwas fortgeschrittener in der Verwesung als S1. Trotz dessen trat die Fliegenfamilie bei beiden Kadaver gleichzeitig auf. Es ist davon auszugehen, dass die Käsefliege von S2 angelockt wurde und durch den relativ geringen Abstand zu dem anderen Käfig zu S1 geflogen ist.

Durch die späte Besiedlung der Calliphoriden kann vermutet werden, dass dies die Aktivität der Piophiliden gefördert hat und damit noch ausreichend Gewebe für die Käsefliegen vorhanden war. Das spätere Ankommen als Calliphoridae oder Muscidae deckt sich mit anderen Studien [7, 22, 40]. Der Unterschied besteht darin, dass die Piophiliden schon in dem ersten Verwesungsstadium mit den Calliphoriden aufgetreten sind.

Die erste Besiedlung im Bereich der Schnauze ist faktisch nachvollziehbar, da die Zunge mit als Erstes verwest ist und Piophiliden verwestes Material bevorzugen [27].

Die höhere Anzahl der Piophiliden in der vierten Periode bei S1 ist vermutlich auf die Position der Käfige zurückzuführen. Bei S1 waren die Gegebenheiten für die Fliegen durch mehr Schatten und höhere Feuchtigkeit vorteilhafter. Für eine genaue quantitative Analyse sollten Köderfallen verwendet werden.

Grassberger et al. beschreiben in ihrem Experiment, dass die Käsefliegen durch Fettwachsbildung auf dem Schweinekadaver angelockt wurden und im Zuge dessen auch Eier gelegt haben. Die Fettwachsbildung sei nach mehreren stärkeren Regenfällen entstanden. [7]

Solche Regenfälle sind in diesem Experiment ausgeblieben. Bei den vermehrten Regenmengen am Anfang des Experiments waren die Kadaver noch nicht fortgeschritten genug verwest für eine Fettwachsbildung und um Käsefliegen anzuziehen. Stattdessen sind die Kadaver zum Ende hin ausgetrocknet, weshalb auch die Aktivität dieser Familie abgenommen hat. Durch das Austrocknen ist der typische käseartige Geruch, der Käsefliegen anzieht [7], ausgeblieben und hat zur stetigen Abnahme der Anzahl an Piophiliden geführt.

Der ADD-Wert alleine ist nicht aussagekräftig genug, um ein Auftreten der Käsefliege genau zu bestimmen. In die ADD-Berechnung müsste der Schwellwert der jeweiligen Käsefliegenart einbezogen werden. Außerdem müsste herausgefunden werden, wie viel Stunden bzw. Tage die Maden benötigt haben, um das jeweilige Stadium zu erreichen. Für eine solche Berechnung wären Maden notwendig gewesen. Maden der Käsefliege sind bei diesem Versuch nicht aufgetreten. Mithilfe der ADD-Methode hätte bestimmt werden können, wann Käsefliegen-Maden abgelegt wurden.

Bei einem ähnlichen Experiment in Thüringen konnten am Tag 71 Maden der Piophilidae-Art *Stearibia nigriceps* mithilfe von Wasserfällen gefangen werden [22]. Jedoch herrschten dabei auch andere Wetterverhältnisse.

Weibchen und Männchen der Piophiliden waren im Auslegungszeitraum vorhanden gewesen. Vermutlich war der Kadaver im späteren Verlauf des hier durchgeführten Experiments nicht mehr attraktiv genug, um sich zu paaren und Eier abzulegen.

Andererseits kann es sein, dass durch eine erneute Befeuchtung des Kadavers wieder mehr Piophiliden angezogen werden würden und diese ihre Eier ablegen. Des Weiteren könnte durch vermehrten Niederschlag bei hohen Temperaturen in den Sommermonaten der Kadaver einen ammoniak käsi- gen Geruch ausbreiten und so Käsefliegen wieder anlocken. Dann könnten diese auch Eier legen. Durch die verzögerte Besiedlung von Calliphoriden hätten Maden der Käsefliege Nahrung gehabt, da noch ausreichend Gewebe vorhanden war.

Wenn davon ausgegangen wird, dass Eier am Tag 65 gelegt worden wären, hätten nach [Tabelle 3.1](#) bei einer angenommenen Temperatur von 15 Grad nach ungefähr 16 Tagen Larven auftreten müssen. Dies ist jedoch nur rein hypothetisch und nicht auf die auftretenden Piophilidae-Arten übertragbar.

Bei einem Kontrollbesuch 10 Tage nach Beendigung des Experiments konnten immer noch keine Maden der Käsefliege gesehen werden. Somit wäre eine Verlängerung des Versuchszeitraums wirkungslos gewesen.

Die vorgefundenen Arten decken sich mit denen von Anton et al. [22]. Durch dieses Experiment konnte nachgewiesen werden, dass die Arten nicht nur auf einer Wiese oder nahe einem Gebäude auftreten, sondern auch im Wald Thüringens.

Dominant war bei beiden Schweinen zum größten Teil die Art *Stearibia nigriceps*. Auch in anderen Arbeiten war diese Art die am häufigsten auftretende Art [22, 40, 41].

Nur zwischen den Tagen 20 und 39 dominierte *Lioliophila varipes* bei [S1](#). Möglicherweise tritt diese Fliegenart besonders im Anfangsstadium der Verwesung auf, da Fiedler et al. [39] auch zu Beginn eine gehäufte Anzahl dieser Art aufgefunden haben. Andererseits kann es auch nur ein Zufallsbefund sein, da bei [S2](#) in dieser Zeit *Stearibia nigriceps* am häufigsten auftrat.

Um die Anzahl besser nachzuvollziehen, sollten dafür in Zukunft Köderfallen verwendet werden.

Die bekannte Art *Piophila casei* trat hingegen nicht auf. Diese ist bei vergleichbaren Experimenten in europäischen Wäldern auch nicht aufgetreten [7, 22, 39, 40]. Bei Prado E Castro et al. [8] hingegen konnten einzelne Tiere dieser Art in Portugal gesammelt werden. Bei einer Freilandstudie in Nordrhein-Westfalen konnte *Piophila casei* erstmals wieder nachgewiesen werden, nachdem sie dort als verschwunden galt [44]. Jedoch wurden beide Studien nicht in einem Wald durchgeführt. Dies lässt den Rückschluss ziehen, dass *Piophila casei* vermutlich nicht im Wald und nicht in Thüringen auftritt. Auch bei den vorgestellten Sektionen konnte keine Käsefliege dieser Art vorgefunden werden.

Es stellte sich auch heraus, dass *Piophila casei* öfters verwechselt wird, meist mit *Piophila megastigmata* [45].

Neben der *Stearibia nigriceps* und *Liolioiphila varipes* ist auch noch die Art *Parapiophila vulgaris* in Thüringen bekannt [46]. Diese wurde jedoch nicht bei den Schweinekadavern beobachtet. Andererseits konnten Puppen bei dem anfangs zweiten dargestellten Sektionsfall dieser Art asserviert werden. Jedoch wurde der Leichnam auf einer Wiese gefunden. Möglicherweise tritt diese Art in dem Wald in Tautenburg nicht auf oder ist zu anderen Jahreszeiten aktiver.

Bei Matuszweski et al. [9] hingegen sind auf allen Kadavern im Frühling Fliegen der Art *Parapiophila vulgaris* vorgekommen.

Prochyliza nigricornis war nur die insgesamt dritthäufigste Art, stellt jedoch eine Besonderheit für den Tautenburger Wald dar. In anderen Experimenten in Deutschland [39] trat sie nicht auf. Anton et al. [22] konnten nur ein Exemplar dieser Art bei ihren Experimenten in Thüringen fangen. Bei diesem Experiment traten weit aus mehr dieser Exemplare auf. Möglicherweise bevorzugt diese Art den Wald.

Die Unterschiede bei den verschiedenen Käsefliegenarten in den Regionen verdeutlichen, die Notwendigkeit von Studien an unterschiedlichen Orten und Regionen durchzuführen.

In den Wasserfällen konnten keine adulten Käsefliegen oder deren Maden nachgewiesen werden. Möglicherweise fanden sie diese nicht attraktiv. Eine Möglichkeit wären Bananenköder anstelle von Wasserfällen. Merz [32] nutzte diese auch in seiner Bestimmung.

6 Fazit und Ausblick

In dem letzten Kapitel sollen die Gesamtkenntnisse noch einmal zusammengefasst werden. Zum Schluss soll ein Ausblick für die weitere Forschung gegeben werden.

6.1 Fazit

Insgesamt konnte beobachtet werden, dass die Verwesung durch die tiefen Temperaturen zu Beginn sehr langsam voranschritt und die Schweine am Ende durch den fehlenden Niederschlag vertrocknet sind. Die stärkere Sonnenstrahlung und die höheren Temperaturen haben dazu geführt, dass S2 zu Beginn schneller in der Verwesung voranschritt.

Grundlegend konnten keine Differenzen bei dem Auftreten der Insekten, bis auf einzelne Ausnahmen, bei beiden Schweinen festgestellt werden. Die Insektenbesiedlung war zum Teil unterschiedlich. Mit der zunehmenden Verwesung sind auch mehr Insekten aufgetreten.

Durch die Kälte und Nässe zu Beginn des Experiments verzögerte sich die Insektenbesiedlung. Dies hat auch die Käsefliege positiv beeinflusst.

Für die Käsefliege wurden zu Beginn dieser Arbeit folgende Fragen gestellt:

1. Wann tritt die Käsefliege unter den vorherrschenden Bedingungen im Wald auf und treten zeitliche Unterschiede zwischen den Kadavern auf?
2. Welche Arten der Familie sind bei den Kadavern anzutreffen?
3. Kommt es zu einer Eiablage der Käsefliege und falls ja, ab wann treten Eier und Maden auf?

Die Fragen konnten im Rahmen des Experiments beantwortet werden.

Die Käsefliege ist ab Tag 31 im Blähungs-Stadium aufgetreten und konnte bis zum Ende des Versuchszeitraums beobachtet werden. Erstmals aufgetreten ist diese nach etwa einem Monat Liegezeit der Ferkelkadaver. Somit hat sich bestätigt, dass Piophiliden erst nach längerer Liegezeit auftreten. Des Weiteren hat sich bestätigt, dass Käsefliegen gehäuft im fortgeschrittenen Zerfall auftreten.

Im Vergleich zu S2 ist bei S1 insgesamt eine höhere Anzahl von Piophiliden zu vermerken, weshalb davon auszugehen ist, dass diese Familie vor allem den Schatten und eine hohe Luftfeuchtigkeit bevorzugt.

Die dominante Art war *Stearibia nigriceps*. Die Arten *Lioliophila varipes* und *Prochyliza nigricornis* sind ebenso aufgetreten.

Es konnte keine Eiablage beobachtet werden, infolgedessen können zu Eiern und Maden keine Zeitfenster angegeben werden. Jedoch konnte herausgefunden werden, dass bei zu starker Trockenheit keine Piophiliden und deren Maden auftreten, da dabei auch der typisch ammoniakartige Geruch wegfällt. Es ist davon auszugehen, dass die Käsefliege ein feuchtes Habitat zur Eiablage bevorzugt. Es konnten drei Käsefliegenarten aufgefunden werden. Diese bestätigen die Funde von Anton et al. [22].

6.2 Ausblick

Der nächste Schritt wäre, solch ein Experiment mit Schweinekadavern jeweils pro Jahreszeit durchzuführen. Des Weiteren sollte der Faktor Trockenheit im Zusammenhang mit der Käsefliege in der Forschung weiter untersucht werden.

Für weitere Studien empfiehlt sich, den Versuchszeitraum zu verlängern und die Kadaver täglich zu beobachten, besonders ab dem Auftreten der Käsefliege. Dadurch könnten Besonderheiten besser erkannt werden.

Das Experiment kann noch erweitert werden, indem die Abstände zwischen den Käfigen vergrößert werden. Beispielsweise wird ein Kadaver im Wald ausgelegt und ein zweiter am Waldrand auf einer Wiese.

Durch weitere Experimente könnten die Arten, welche in Thüringen vorkommen, weiter bestimmt werden.

Wie eingangs erwähnt, besteht insgesamt noch viel Forschungspotenzial zu der Familie der Käsefliegen. Die Arbeit stellt ein Anreiz für weiterführende Experimente mit den Piophiliden dar. Beispielsweise sollten zu anderen Piophilidae-Arten Entwicklungstabellen erstellt werden. Des Weiteren könnte in Studien untersucht werden, inwiefern die Käsefliegen zu welchen Jahreszeiten in Deutschland auftreten. Besonders bei längeren Leichenliegezeiten kann diese Familie helfen, Fälle aufzuklären.

Anhang A: Dokumentationsbogen

Dokumentation zur entomologischen Untersuchung von Schweinekadaver

Datum: Zeit: Tag der Auslegung:

Temperatur:

Wetter:

Schwein 1/ 30800/ vorderes

Grad der Verwesung:

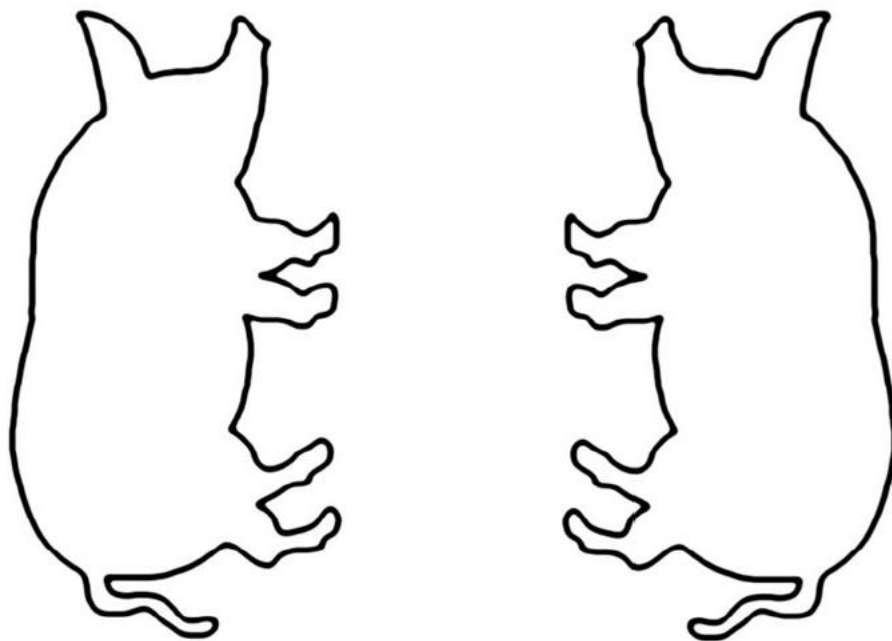
Besonderheiten:

Asserviert:

Larve Puppe adulte Fliege Käfer

Anzahl:

Wo Tiere gefunden?



Schwein 2/ 30752/ hinteres

Grad der Verwesung:

Besonderheiten:

Asserviert:

Larve Puppe adulte Fliege Käfer

Anzahl:

Wo Tiere gefunden?



Anhang B: ADD-Tabelle

Tabelle B.1: Tagesdurchschnittstemperaturen und ADD-Werte von Tag 0 bis Tag 39

Tag	Tagesdurchschnittstemperatur	ADD
0	1,9	1,9
1	2,2	4,1
2	6,8	10,9
3	10,9	21,8
4	8,9	30,7
5	8,6	39,3
6	2,3	41,6
7	0,4	42
8	0,6	42,6
9	1,8	44,4
10	4,9	49,3
11	5,6	54,9
12	4,6	59,5
13	6,9	66,4
14	9,5	75,9
15	7,7	83,6
16	6,5	90,1
17	7	97,1
18	6,2	103,3
19	6,1	109,4
20	7	116,4
21	6,6	123
22	6,6	129,6
23	6	135,6
24	5	140,6
25	11,7	152,3
26	15,3	167,6
27	13,9	181,5
28	10,1	191,6
29	6	197,6
30	4,6	202,2
31	6,5	208,7
32	9,1	217,8
33	10,5	228,3
34	8,5	236,8
35	10,6	247,4
36	9,4	256,8
37	7,6	264,4
38	11,6	276
39	15,3	291,3

Tabelle B.2: Tagesdurchschnittstemperaturen und ADD-Werte von Tag 40 bis Tag 79

Tag	Tagesdurchschnittstemperatur	ADD
40	13	304,3
41	9,2	313,5
42	11	324,5
43	14,4	338,9
44	12,5	351,4
45	12,3	363,7
46	13,8	377,5
47	13,4	390,9
48	13,2	404,1
49	12,9	417
50	9,7	426,7
51	8	434,7
52	9	443,7
53	11,8	455,5
54	13,9	469,4
55	17,6	487
56	19,2	506,2
57	12,6	518,8
58	9,1	527,9
59	11,4	539,3
60	12,6	551,9
61	12,5	564,4
62	15	579,4
63	15	594,4
64	13,7	608,1
65	15,9	624
66	16	640
67	10,5	650,5
68	16	666,5
69	14,8	681,3
70	16,2	697,5
71	15	712,5
72	16,9	729,4
73	17,8	747,2
74	19,4	766,6
75	18,8	785,4
76	19,7	805,1
77	19,1	824,2
78	17,7	841,9
79	15,1	857

Literaturverzeichnis

- [1] K. G. V. Smith, *A manual of forensic entomology*. 1986.
- [2] J. Amendt, R. Krettek, G. Nießen und R. Zehner, *Forensische Entomologie*. Verlag für Polizeiwissenschaften, 2013.
- [3] P. Megnin, *La faune des cadavres: application de l'entomologie à la médecine légale*. 1894.
- [4] M. L. Goff, „Problems in Estimation of Postmortem Interval Resulting from Wrapping of the Corpse: A Case Study from Hawaii“, *Journal of Applied Entomology*, Jg. 9, S. 237–243, 4 1992. Adresse: <https://www.researchgate.net/publication/268324061>.
- [5] J. Amendt, *Kriminalbiologie*, 11. Aufl., K.-S. S. Bernd Herrmann, Hrsg. Springer-Verlag, 2007, Bd. 1.
- [6] D. Gennard, *Forensic Entomology- An Introduction*. Wiley-Blackwell, 2012, Bd. 2, S. 53–60.
- [7] M. Grassberger und C. Frank, „Initial Study of Arthropod Succession on Pig Carrion in a Central European Urban Habitat“, *J. Med. Entomol*, Jg. 41, S. 511–523, 3 2004. DOI: [10.1603/0022-2585-41.3.511](https://doi.org/10.1603/0022-2585-41.3.511).
- [8] C. P. E. Castro, A. Serrano, P. M. D. Silva und M. D. García, „Carrion flies of forensic interest: A study of seasonal community composition and succession in Lisbon, Portugal“, *Medical and Veterinary Entomology*, Jg. 26, S. 417–431, 4 Dez. 2012, ISSN: 0269283X. DOI: [10.1111/j.1365-2915.2012.01031.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2915.2012.01031.x).
- [9] S. Matuszewski, D. Bajerlein, S. Konwerski und K. Szpila, „Insect succession and carrion decomposition in selected forests of Central Europe. Part 2: Composition and residency patterns of carrion fauna“, *Forensic Science International*, Jg. 195, S. 42–51, 1-3 Feb. 2010, ISSN: 03790738. DOI: [10.1016/j.forsciint.2009.11.007](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2009.11.007).
- [10] D. Martín-Vega, „Skipping clues: Forensic importance of the family Piophilidae (Diptera)“, *Forensic Science International*, Jg. 212, S. 1–5, 1-3 Okt. 2011, ISSN: 03790738. DOI: [10.1016/j.forsciint.2011.06.016](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2011.06.016).
- [11] J. H. Byrd und J. K. Tomberlin, *Forensic entomology : the utility of arthropods in legal investigations*. 2020, S. 585, ISBN: 9780815350163.
- [12] J. Amendt, C. P. Campobasso, E. Gaudry, C. Reiter, H. N. LeBlanc und M. J. R. Hall, „Best practice in forensic entomology - Standards and guidelines“, *International Journal of Legal Medicine*, Jg. 121, S. 90–104, 2 März 2007, ISSN: 09379827. DOI: [10.1007/s00414-006-0086-x](https://doi.org/10.1007/s00414-006-0086-x).
- [13] J. Amendt, R. Zehner und H. Bratzke, „Forensische Insektenkunde- ein aktueller Forschungszweig der Rechtsmedizin“, *Deutsches Ärzteblatt*, Jg. 100, S. 3382–3385, 2003.
- [14] J. Amendt, H. Klotzbach, M. Benecke, R. Krettek und R. Zehner, „Forensische Entomologie“, *Rechtsmedizin*, Jg. 14, S. 127–140, 2 Apr. 2004, ISSN: 09379819. DOI: [10.1007/s00194-004-0254-6](https://doi.org/10.1007/s00194-004-0254-6).
- [15] B. Madea, *Rechtsmedizin*, B. Madea, Hrsg. Springer Berlin Heidelberg, 2015, Bd. 3, S. 33–165, ISBN: 978-3-662-43499-4. DOI: [10.1007/978-3-662-43500-7](https://doi.org/10.1007/978-3-662-43500-7).

- [16] J. Amendt, C. S. Richards, C. P. Campobasso, R. Zehner und M. J. Hall, „Forensic entomology: Applications and limitations“, *Forensic Science, Medicine, and Pathology*, Jg. 7, S. 379–392, 4 Dez. 2011, ISSN: 1547769X. DOI: [10.1007/s12024-010-9209-2](https://doi.org/10.1007/s12024-010-9209-2).
- [17] V. M. Schwarz und K. M. Ferch, „Forensische Entomologie-Insekten als Helfer der Polizei“, *Die Kriminalpolizei- Zeitschrift der Gewerkschaft der Polizei*, 2018.
- [18] M. Tsokos, *Forensic Pathology Reviews*. Humana Press, 2005, Bd. 2.
- [19] J. Amendt, R. Zehner und R. Krettek, „Insekten auf Leichen: Forensische entomologie“, *Biologie in Unserer Zeit*, Jg. 35, S. 232–240, 4 2005, ISSN: 1521415X. DOI: [10.1002/biuz.200410284](https://doi.org/10.1002/biuz.200410284).
- [20] C. P. Campobasso, G. D. Vella und F. Introna, „Factors affecting decomposition and Diptera colonization“, *Forensic Science International*, Jg. 120, S. 18–27, 2001.
- [21] M. L. Goff, *Early postmortem changes and stages of decomposition*. Springer Netherlands, 2010, S. 1–24, ISBN: 9781402096846. DOI: [10.1007/978-1-4020-9684-6_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9684-6_1).
- [22] E. Anton, S. Niederegger und R. G. Beutel, „Beetles and flies collected on pig carrion in an experimental setting in Thuringia and their forensic implications“, *Medical and Veterinary Entomology*, Jg. 25, S. 353–364, 4 Dez. 2011, ISSN: 0269283X. DOI: [10.1111/j.1365-2915.2011.00975.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2915.2011.00975.x).
- [23] J. Amendt, R. Krettek und R. Zehner, „Forensic entomology“, *Naturwissenschaften*, Jg. 91, S. 51–65, 2 Feb. 2004, ISSN: 00281042. DOI: [10.1007/s00114-003-0493-5](https://doi.org/10.1007/s00114-003-0493-5).
- [24] P. Ooesterbroek, *The European Families of the Diptera- Identification, diagnosis, biology*. KNNV Publishing, 2006.
- [25] S. Rochefort, M. Giroux, J. Savage und T. A. Wheeler, „Key to forensically important Piophilidae (Diptera) in the Nearctic Region“, *Canadian Journal of Arthropod Identification*, Jg. 27, 2015. DOI: [10.3752/cjai.2015.27](https://doi.org/10.3752/cjai.2015.27).
- [26] „Spessart-Fliegen, Diptera“. (2023), Adresse: <http://spessart-fliegen.de/diptera/diptera.html> (besucht am 19.07.2023).
- [27] M. Schwarz, *Insekten auf Leichen*. Droemer Verlag, 2020.
- [28] S. Matuszewski, M. J. Hall, G. Moreau, K. G. Schoenly, A. M. Tarone und M. H. Villet, „Pigs vs people: the use of pigs as analogues for humans in forensic entomology and taphonomy research“, *International Journal of Legal Medicine*, Jg. 134, S. 793–810, 2 März 2020, ISSN: 14371596. DOI: [10.1007/s00414-019-02074-5](https://doi.org/10.1007/s00414-019-02074-5).
- [29] I. Wirdl-Weichhaus. „Obstfliegen fangen- Hausmittel richtig anwenden“. (2023), Adresse: https://www.helpster.de/fliegen-fangen-hausmittel-die-helfen_104737 (besucht am 26.06.2023).
- [30] B. Klausnitzer, *Exkursionsfauna von Deutschland*, 11. Aufl., E. Stresemann, Hrsg. Spektrum Akademischer Verlag, 2011, Bd. 2.
- [31] K. Szpila, *Key for the identification of third instars of european blowflies (Diptera: Calliphoridae) of forensic importance*. Springer Netherlands, 2010, S. 43–56, ISBN: 9781402096846. DOI: [10.1007/978-1-4020-9684-6_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9684-6_3).
- [32] B. Merz, „Die Piophilidae (Diptera) der Schweiz mit Beschreibung einer neuen Art“, *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft*, Jg. 69, S. 345–360, 1996. DOI: [10.5169/seals-402637](https://doi.org/10.5169/seals-402637).

- [33] L. Franceschetti, J. Pradelli, F. Tuccia, G. Giordani, C. Cattaneo und S. Vanin, „Comparison of accumulated degree-days and entomological approaches in post mortem interval estimation“, *Insects*, Jg. 12, 3 März 2021, ISSN: 20754450. DOI: [10.3390/insects12030264](https://doi.org/10.3390/insects12030264).
- [34] M. S. Megyesi, S. P. Nawrocki und N. H. Haskell, „Using accumulated degree-days to estimate the postmortem interval from decomposed human remains“, *J Forensic Science*, Jg. 50, 3 2005.
- [35] M. I. Marchenko, „Medicolegal relevance of cadaver entomofauna for the determination of the time of death“, *Forensic Science International*, Jg. 120, S. 89–109, 1-2 2001. DOI: [10.1016/s0379-0738\(01\)00416-9](https://doi.org/10.1016/s0379-0738(01)00416-9).
- [36] A. Russo, G. E. Cocuzza, M. C. Vasta, M. Simola und G. Virone, „Life Fertility Tables of *Piophilidae* Reared at Five Different Temperatures“, *Environmental Entomology*, Jg. 35, S. 194–200, 2 2006. DOI: [10.1603/0046-225X-35.2.194](https://doi.org/10.1603/0046-225X-35.2.194).
- [37] dpa Thüringen. „DWD: Thüringen im Frühling unter kühlest deutschen Regionen“. (Mai 2023), Adresse: <https://www.zeit.de/news/2023-05/30/dwd-thueringen-im-fruehling-unter-kuehlsten-deutschen-regionen> (besucht am 14. 08. 2023).
- [38] S. Matuszewski, D. Bajerlein, S. Konwerski und K. Szpila, „Insect succession and carrion decomposition in selected forests of Central Europe. Part 1: Pattern and rate of decomposition“, *Forensic Science International*, Jg. 194, S. 85–93, 1-3 Jan. 2010, ISSN: 03790738. DOI: [10.1016/j.forsciint.2009.10.016](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2009.10.016).
- [39] A. Fiedler, M. Halbach, B. Sinclair und M. Benecke, „What is the Edge of a Forest? A Diversity Analysis of Adult Diptera Found on Decomposing Piglets inside and on the Edge of a Western German Woodland inspired by a Courtroom Question“, *Entomologie heute*, Jg. 20, S. 173–191, 2008.
- [40] S. Matuszewski, D. Bajerlein, S. Konwerski und K. Szpila, „An initial study of insect succession and carrion decomposition in various forest habitats of Central Europe“, *Forensic Science International*, Jg. 180, S. 61–69, 2-3 Sep. 2008, ISSN: 03790738. DOI: [10.1016/j.forsciint.2008.06.015](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2008.06.015).
- [41] S. Matuszewski, M. Szafałowicz und M. Jarmusz, „Insects colonising carcasses in open and forest habitats of Central Europe: Search for indicators of corpse relocation“, *Forensic Science International*, Jg. 231, S. 234–239, 1-3 Sep. 2013, ISSN: 03790738. DOI: [10.1016/j.forsciint.2013.05.018](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.05.018).
- [42] K. E. Smith und R. Wall, „The use of carrion as breeding sites by the blowfly *Lucilia sericata* and other Calliphoridae“, *Medical and Veterinary Entomology*, Jg. 11, S. 38–44, 1 1997, ISSN: 0269283X. DOI: [10.1111/j.1365-2915.1997.tb00287.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2915.1997.tb00287.x).
- [43] T. Neulinger, „Beobachtungsstudie an hängenden Schweinekadavern in Thüringen zur Erforschung der Verwesungsprozesse und der Besiedlung mit forensisch relevanten Insekten“, Diss., Rat der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena, 2021.
- [44] K. Baumjohann, „Bemerkenswerte Fliegen-Funde (Diptera) im Rahmen einer forensisch entomologischen Freilandstudie in Nordrhein-Westfalen (Deutschland) Forensic Entomology View project Crime Scene Investigations / Experiments View project“, *Studia dipterologica*, Jg. 19, S. 9–16, 2012, ISSN: 0945-3954. Adresse: <https://www.researchgate.net/publication/305474525>.
- [45] C. P. e Castro, E. Cunha, A. Serrano und M. D. García, „*Piophilidae*: First records on human corpses“, *Forensic Science International*, Jg. 214, S. 23–26, 1-3 Jan. 2012, ISSN: 03790738. DOI: [10.1016/j.forsciint.2011.07.009](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2011.07.009).

- [46] N. Hainich, *Artenbericht 2010- Tiere, Pflanzen und Pilze im Nationalpark Hainich*. 2010.

Eidesstattliche Erklärung


Hiermit versichere ich – Sarah Knothe – an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe.

Sämtliche Stellen der Arbeit, die im Wortlaut oder dem Sinn nach Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren entnommen sind, habe ich als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt oder anderweitig veröffentlicht.

Mittweida, 17. August 2023

Ort, Datum


Sarah Knothe