

**Seminararbeit
im W-Seminar Chemie:
„Chemie und Kriminalistik-
Mit der Wissenschaft auf Verbrecherjagd“**

Thema:
Forensische Entomologie



eingereicht von: Felix Unger

Seminarleiterin: StRin Ilona Kopp

Abgabetermin: 12. November 2013

Inhalt

A.	Begriffsklärung anhand eines Fallbeispiels	4
B.	Geschichte der Forensischen Entomologie	5
I.	Anfänge und Grundlagen im Mittelalter	5
II.	Erste Kriminalfälle und wissenschaftliche Arbeiten.....	6
III.	Entwicklung zur eigenständigen Forschungsdisziplin und aktuelle Situation.....	7
C.	Forensisch relevante Insekten	8
I.	Ökologische Strategien der Leicheninsekten	8
II.	Fliegen	9
1.	Lebenszyklen nekrophager Fliegen	10
2.	Forensisch relevante Fliegenarten	11
a)	Schmeißfliegen	11
b)	Fleischfliegen	12
c)	Echte Fliegen	12
d)	Buckelfliegen	12
e)	Käsefliegen	13
III.	Käfer	13
1.	Kurzflügler.....	14
2.	Aaskäfer	14
3.	Stutzkäfer.....	14
IV.	Weitere Leicheninsekten	15
D.	Bestimmung der Insekten	15
I.	Durch äußere Merkmale	15
II.	Anhand der Mundwerkzeuge.....	16
III.	Durch DNA-Analysen	17

E.	Sukzession auf Leichen	17
I.	Überblick über die Sukzessionsstadien	18
1.	Stadium 1: Frischtot.....	18
2.	Stadium 2: Gasgebläht.....	19
3.	Stadium 3: Verwesung.....	19
4.	Stadium 4: Skelettiert oder Vertrocknet	20
II.	Einflüsse auf die Sukzession	21
F.	Schlussfolgerungen durch leichenbesiedelnde Insekten.....	22
I.	Bestimmung der minimalen Leichenliegezeit.....	22
1.	Anhand Insektenentwicklung	22
2.	Anhand der Sukzession.....	25
II.	Nachweis von Vergiftungen - Entomotoxikologie.....	25
III.	Nachweis von Umlagerungen und Spurenmanipulation	26
IV.	Nachweis der Vernachlässigung Pflegebedürftiger	26
G.	Experimentelle Überprüfung der Sukzession anhand einer Referenzverwesung.....	27
I.	Versuchsaufbau	27
II.	Ablauf	28
III.	Auswertung	38
1.	Auswertung der Sukzession.....	38
2.	Berechnung des PMI der Schweineköpfe.....	39
H.	Ausblick	41
I.	Danksagungen.....	42
J.	Glossar.....	43
L.	Literaturverzeichnis	45
M.	Abbildungsverzeichnis	47
N.	Erklärung	50

A. Begriffsklärung anhand eines Fallbeispiels

Am 28. Juni 1964 fanden zwei Jungen auf der Suche nach Maden als Fischköder in einem Wald nahe Bracknell im Süden Englands eine voll bekleidete, männliche Leiche. Der bereits stark verwesene Mann konnte durch die gerufene Polizei anhand seiner Fingerabdrücke als Peter Thomas identifiziert werden. Er stammte aus dem 180 km entfernten Lydney und war dort bereits als vermisst gemeldet, die Todesursache war ein Schnitt im Nacken. Unter Tatverdacht geriet schnell William Brittle, ein Schuldner des Mordopfers. Dieser hatte aber nachweislich nur am 16. Juni die Möglichkeit den Mord zu begehen, wodurch die exakte Bestimmung des Todeszeitpunkts essentiell für die Überführung Brittles wurde. Da die damals bekannten Methoden zur Todeszeitpunktsbestimmung, wie das Absinken der Körpertemperatur, keine verlässlichen Ergebnisse erbrachten, schätzte man die Leichenliegezeit anhand der Verwesung auf 6-8 Wochen. Dies schloss Brittle als Täter zunächst aus.

Der zum Tatort gerufene Gerichtsmediziner Keith Simpson (1907-1985) kam auf eine weitere Idee den Todeszeitpunkt noch präziser einzugrenzen: Er versuchte die vorgefundenen Maden zur Leichenliegezeitbestimmung zu verwenden. Simpson nutzte dabei den Umstand, dass alle Insekten den gleichen, unveränderlichen Lebenszyklus durchlaufen und so Schlüsse vom Alter der Made auf die Leichenliegezeit möglich sind. Nachdem er die Maden der Schmeißfliegenfamilie *Calliphora vicina* zugeordnet hatte, errechnete er eine Leichenliegezeit von etwa 12 Tagen, was den verdächtigten William Brittle letztlich als Täter überführte.

Dieser Fall erlangte große Bekanntheit und zeigte, dass Insekten wichtige Beweise zur Aufklärung von Kriminalfällen, zum Beispiel zur Bestimmung des Todeszeitpunktes, beisteuern können. Hieraus hat sich eine eigene Forschungsdisziplin entwickelt, die versucht durch leichenbesiedelnde Insekten Schlussfolgerungen auf den Tod eines Menschen zu ziehen. Bezeichnet wird dieses Fachgebiet als „Forensische Entomologie“, was sich aus den Wörtern „forensisch“, also kriminalistisch, und „Entomologie“, dem Fachausdruck für Insektenkunde, zusammensetzt. Deren grundlegenden Funktionsweise und Methoden werden in dieser Arbeit vorgestellt und abgehandelt. [8, S.20ff; 17; 30]

B. Geschichte der Forensischen Entomologie

Die Forensische Entomologie ist in ihrer jetzigen Form als etablierte Methode der Rechtsmedizin eine noch sehr junge Wissenschaft mit viel Forschungsbedarf, allerdings reichen ihre Ursprünge schon bis ins Mittelalter zurück.

I. Anfänge und Grundlagen im Mittelalter

Der erste geschilderte Fall bei dem Insekten zur Aufklärung eines Morddeliktes beitrugen stammt aus dem China des 13. Jahrhunderts. Der chinesische Jurist Sung Tz'u schildert in einem rechtsmedizinischen Lehrbuch wie Schmeißfliegen, die sich vom Blutgeruch angezogen auf der Sichel eines Reisbauers niederließen, diesen als den Mörder eines anderen Bauern überführten. Die Sichel war nur oberflächlich vom Blut des Opfers gereinigt worden, „was das menschliche Auge zwar täuschte, nicht jedoch die Wahrnehmung der spezialisierten Insekten“ [10, S.232]. [1, S.108ff; 10, S.232]

Im Mittelalter schien bereits der Zusammenhang zwischen Maden und faulenden Leichen bekannt gewesen zu sein, wie viele altertümliche Grabplatten und Holzschnitzereien mit madenbefallenen Kadavern dokumentieren. „Es dauerte [jedoch noch] einige Zeit, bis die ersten Forscher auf die Idee kamen, die Tiere als stille Assistenten [zur Bestimmung der Leichenliegezeit] einzusetzen“ [1, S.82]. Der dafür benötigte „wissenschaftliche Nachweis über den Zusammenhang zwischen dem Madenbefall von verwesendem Fleisch und einer zuvor stattgefundenen Eiablage durch Fliegen wurde erst im 17. Jahrhundert durch Francesco Redi [(1626-1697)] erbracht“ [7, S.222]. [1, S.80ff; 7, S.222; 10, S.232; 27]

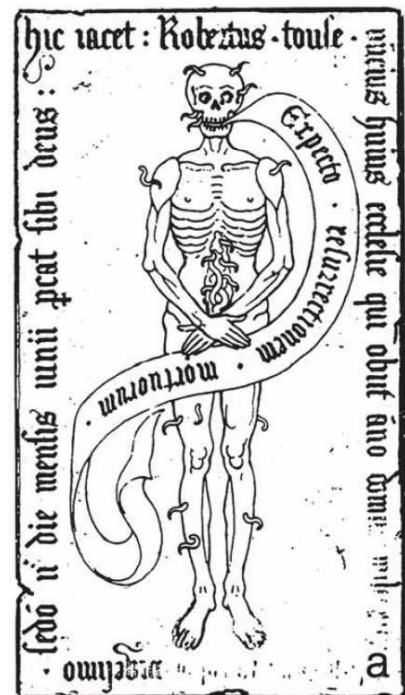


Abb. 1: Spätmittelalterliche Grabplatte mit madenbefallener Leiche
Deutlich sind der bereits skelettierte Schädel und die Maden im Bauchraum zu erkennen

Eine weitere wichtige Voraussetzung für die Entstehung der Insektenkunde war die Einführung der modernen Nomenklatur für Pflanzen und Tiere durch Carl von Linné (1707-1778), welche die Zuordnung und Bestimmung von Insekten ermöglichte. [1, S.82; 10, S.232; 7, S.222; 26]

II. Erste Kriminalfälle und wissenschaftliche Arbeiten

Die ersten Kriminalfälle in denen eine Leichenbesiedelung durch Insekten gezielt zur Aufklärung eingesetzt wurde, spielten sich in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts in Frankreich ab.

Im Jahr 1850 gelang es dem französischen Krankenhausarzt Louis Bergeret (1814-1893) die Eltern eines toten Säuglings, der in einer Wohnung gefunden wurde, ausfindig zu machen, indem er dessen Todeszeitpunkt durch die besiedelnden Mottenpuppen und Fleischfliegenlarven bestimmte. Zwar waren seine Berechnungen ungenau, doch gelang es ihm über die Leichenliegezeit das Neugeborene einem der letzten Mieter zuzuordnen. [1, S.89ff; 12; 18]

Als noch bedeutsamer gilt die Bestimmung des Todeszeitpunkts durch Jean-Pierre Mégnin (1828-1905) bei einem Fall im Jahr 1879. Ihm gelang es mit Hilfe der auf einer mumifizierten Kindsleiche gefundenen Milben eine sehr genaue Liegezeit der Leiche anzugeben, indem er von der Größe der Milbenpopulation auf die Anzahl der durchlaufenen Lebenszyklen und somit auf die Leichenliegezeit schloss. Wegen der Präzision der Kalkulation und der angewandten Arbeitstechnik gilt diese Untersuchung als der erste moderne, forensisch-entomologische Fall. [1, S.91f; 12; 28]

Als eines der ersten Werke der Forensischen Entomologie zählt das 1882 von dem Rechtsmediziner Herrmann Reinhard (1816-1892) publizierte „Beiträge zur Gräberfauna“, in welchem er die Ergebnisse seiner Untersuchungen bei Exhumierungen auf Friedhöfen beschreibt. Wegen seinem wissenschaftlichen Arbeitsstil gilt er als einer der Mitbegründer der kriminalistischen Insektenkunde. [1, S.80f; 10, S.233; 12]

Als wirklicher Meilenstein gilt das 1894 von Mégnin veröffentlichte Skript „La faune des cadavres“, welches zum ersten Mal die Verwesung eines menschlichen Körpers in verschiedene Zersetzungsstadien einteilt:

- Frischtot
- Beginnende Fäulnis
- Fettartig
- Käseartige Produkte
- Ammoniakalische Fäulnis und Schwärzung
- Beginnende Vertrocknung
- Starke Vertrocknung
- Skelettierung

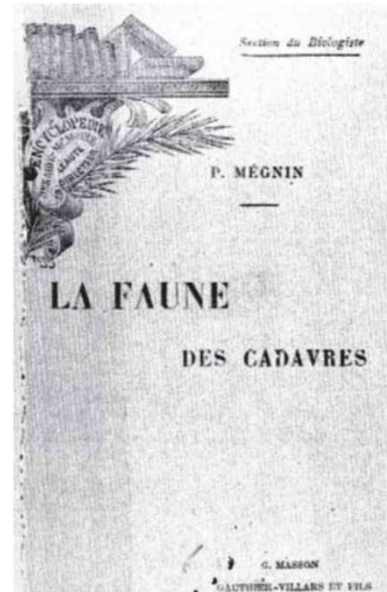


Abb. 2: Titelseite von Mégnins "La faune des cadavres"

Zwar waren diese Eingrenzungen zu starr, doch die wegbereitende Idee der Unterteilung der Verwesung in Abschnitte

besitzt heute noch Aktualität. Durch die enorme Popularität dieses Werkes verbreitete sich die kriminalistische Insektenkunde insbesondere nach Kanada und in die USA, wo sich viele Experten auf diesem Gebiet bildeten. [1, S.86ff; 10, S.233; 12; 18]

III. Entwicklung zur eigenständigen Forschungsdisziplin und aktuelle Situation

Zu Beginn des 20. Jahrhundert wurden zwar einige Arbeiten publiziert, doch die fehlende „Kooperation zwischen [...] Entomologie und Rechtsmedizin“ [7, S.223] verhinderte eine wirkliche Manifestation der kriminalistischen Insektenkunde. „Erst entomologische Arbeiten wie die von Zumpt (1965) u. Schumann (1971), die detaillierte Bestimmungsschlüssel [für Insekten] lieferten und Angaben zur Biologie und Ökologie der Arten machten, sowie erste forensisch-entomologische Arbeiten im europäischen [...] und im angloamerikanischen Raum [...], die konkrete forensische Fragestellungen und Untersuchungen aufgriffen, beendeten diese Phase“ [7, S.223] und führten „zu einer wissenschaftlichen Basis, die eine Entwicklung der heute eigenständigen Fachrichtung <<Forensische Entomologie>> in den vergangenen 20 Jahren ermöglichte“ [10, S.233]. [7, S.223; 10, S.233]

Heute deckt eine Vielzahl von Texten weitreichende Themengebiete der Forensischen Entomologie ab. International versuchen Organisationen wie die North American Forensic Entomology Association (NFAEA) oder die European Association for Forensic Entomology (EAFE) forensische Entomologen weltweit zu vernetzen und eine Weiterentwicklung sicherzustellen. In vielen Ländern, etwa in den USA, Kolumbien oder Frankreich, wird die Forensische Entomologie zur Aufklärung von Verbrechen eingesetzt und ist ein beglaubigtes Beweismittel vor Gericht. Bisher existiert aber nur in Amerika „Forensischer Entomologe“ als ein eigenständiger Berufszweig. Außerdem befindet sich in den USA die „Forensic Anthropological Research Facility“, auch Body Farm genannt, eine der wenigen Forschungseinrichtungen an der kriminalistisch-entomologische Untersuchungen durchgeführt werden. In Deutschland gibt es zwar einige bekannte Experten sowie eine kleine Forschungseinrichtung in Frankfurt, allerdings scheitert aber eine erfolgreiche Anwendung der Forensischen Entomologie zur Verbrechensaufklärung oft an der Zusammenarbeit mit der Polizei. [1, S. 102ff; 2, S.33ff; 7, S.223]

C. Forensisch relevante Insekten

Stirbt ein Lebewesen, so benötigt es die in ihm enthaltenen Stoffe nicht länger, weshalb andere Lebewesen versuchen diese Substanzen für sich selbst zu nutzen. Das erklärt warum neben Aasfressern und Bakterien auch eine Vielzahl von Insekten bei der Zersetzung eines Leichnams beteiligt sein kann. Dabei wechseln sich vor allem Fliegen und Käfer, aber auch andere Gliederfüßer wie Ameisen, Milben oder Wespen in spezifischen Besiedelungswellen ab - je nachdem wie attraktiv der verwesende Leichnam gerade für sie ist.

I. Ökologische Strategien der Leicheninsekten

Um diese Vorgänge genauer zu verstehen, ist es wichtig, sich einen Überblick über die verschiedenen ökologischen Strategien der Leicheninsekten zu verschaffen:

Eine wichtige Gruppe bilden hierbei alle Arten, die sich ausschließlich von verwesendem Leichengewebe ernähren, und deshalb als nekrophag (griechisch, etwa: von Totem essend)

bezeichnet werden. Dazu zählen viele Fliegenfamilien, z. B. die Schmeißfliegen und verschiedene Käfer wie die Speck- oder Glanzkäfer.

Des Weiteren gibt es viele „Räuber und Parasiten der nekrophagen Insekten und anderer mit Leichen assoziierten Gliedertiere. Hier finden [...] [sich] auch Arten, die sich zunächst vom Leichengewebe ernähren und erst später zur räuberischen oder parasitischen Lebensweise übergehen“ [10, S.234]. Viele der Käferfamilien, die an Leichen anzutreffen, sind verfolgen diese Nahrungsstrategie, wie etwa Kurzflügelkäfer, Aaskäfer oder Stutzkäfer.

Zusätzlich existieren Insekten, die sich von Anfang an „sowohl von Gewebe als auch [von] anderen auf der Leiche befindlichen Insekten ernähren können“ [7, S.225], weshalb diese als omnivor, also allesfressend, bezeichnet werden. Typisch für dieses Verhalten sind Ameisen, Wespen und einige Käferarten.

Als letztes lässt sich die Gruppe der Besucher abgrenzen, die zwar auf der Leiche zu finden sein können, aber weder direkt durch Fressen von Gewebe noch indirekt durch Fressen anderer Insekten an der Leichenzersetzung teilhaben. Sie nutzen die Leiche nur, da sie Teil ihres Lebensraums ist, wodurch ihre forensische Bedeutung vernachlässigbar ist. Charakteristische Besucher sind beispielsweise Spinnen, Milben, Springschwänze oder Schmetterlinge.

Generell werden Insekten, die an Leichen aufgefunden werden, sich aber nicht unbedingt von diesen ernähren als nekrophil, also Totes liebend, bezeichnet. [3, S.77; 5, S.143f; 7, S.225; 10, S.234f;]

II. Fliegen

Die Fliegen (*Brachycera*) gehören zu der Ordnung der Zweiflügler (*Diptera*), haben also nur ein statt zwei Flügelpaare. Mit weltweit rund 86 000 Arten stellen die Fliegen auch die größere Gruppe der Dipteren dar, von denen es gesamt etwa 140 000 Arten gibt. Für die Forensische Entomologie sind aber nur nekrophile bzw. nekrophage Fliegen relevant. [3, S.61; 4, S.43; 5, S.45ff; 20]

1. Lebenszyklen nekrophager Fliegen

Alle nekrophagen Fliegen unterliegen einem unveränderlichen Lebensablauf. Dieser ist für forensische Zwecke sehr wichtig, da durch dessen Dauer Schlüsse auf die Länge der Insektenaktivität auf einer Leiche und damit Rückschlüsse auf ihre Liegezeit möglich sind.

Durch sehr gut angepasste Sinnesorgane können nekrophage Fliegen, etwa die Schmeißfliege, einen frischverstorbenen Leichnam fast sofort entdecken. Erscheint ihnen der Leichnam passend, erfolgt eine Oviposition (Eiablage) in Wunden oder Körperöffnungen der Leiche, da Fliegenlarven keine Haut fressen können. „Aus den Eiern schlüpfen die ein bis zwei Millimeter großen Fliegenmaden. Diese häuten sich während des Wachstums zwei-

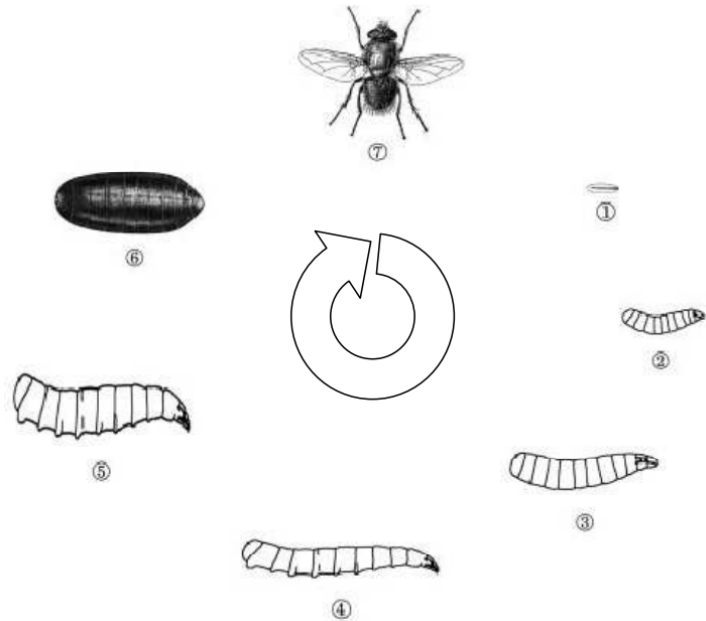


Abb. 3: Lebenszyklus nekrophager Fliegen

1. Ei; 2. Erstes Larvalstadium; 3. Zweites Larvalstadium; 4. Drittes Larvalstadium; Post-feed Stadium; 6. Puparium; 7. Imago

mal und verlassen [im post-feed Stadium] nach Abschluss der Nahrungsaufnahme [und der vollständigen Entleerung ihres Darms] meist die Leiche, um sich zu verpuppen“ [10, S.234f]. In ihrem Puparium vollziehen die Maden die Metamorphose, die Umwandlung von der Larve zum adulten Tier. Später „schlüpfen die erwachsenen Fliegen, diese sind nach wenigen Tagen geschlechtsreif, der Kreislauf beginnt erneut“ [10, S.235]. [3, S.93f; 10, S.234f]

„Die Geschwindigkeit dieses Entwicklungszyklus wird im Wesentlichen von zwei Parametern beeinflusst: der Umgebungstemperatur und der Artzugehörigkeit der Fliege“ [10, S.235]. Da es sich bei Käfern und Fliegen um wechselwarme Lebewesen handelt, hängt die Geschwindigkeit, mit der enzymatisch katalysierte Prozesse wie das Wachstum ablaufen, stark von der

Außentemperatur ab. Dabei existieren Schwellenwerte unter oder über denen kein Wachstum mehr möglich ist.

Dieser Umstand ermöglicht es die Entwicklungsdauer eines Insekts zu rekonstruieren, wenn man das genaue Entwicklungsstadium und die Art des Insekts sowie die vorherrschenden Temperaturen während seines Wachstums kennt. Solche Kalkulationen können mit Hilfe von Referenzdaten „eine Aussage zur Dauer der Insekten Aktivität, der Period of Insect Activity (PIA) auf der Leiche geben, welche annähernd der Leichenliegezeit, dem Post Mortem Interval (PMI) entspricht“ [3, S.90]. [1, S.52ff; 3, S.93f; 5, S.80; 10, S.234f]

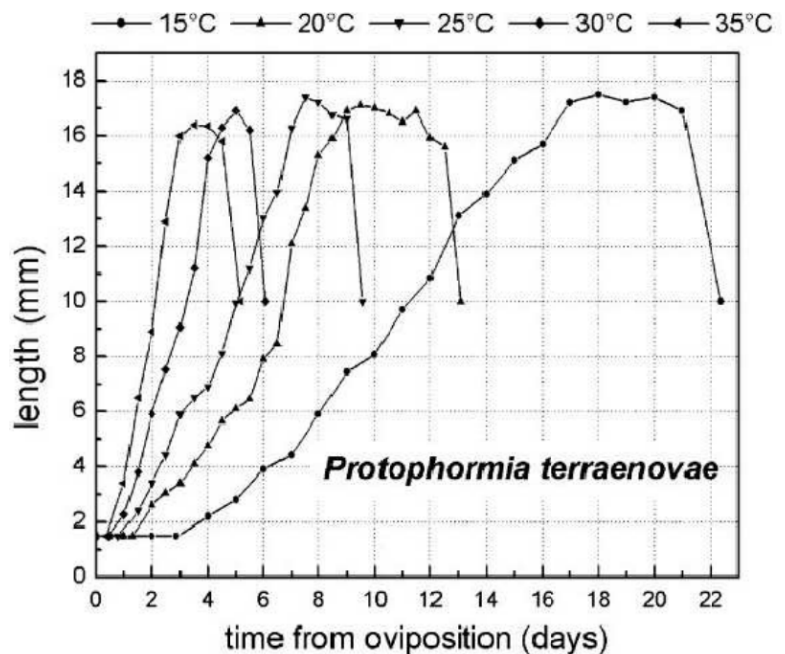


Abb. 4: Entwicklung der Schmeißfliege *Protophormia terraenovae* bei verschiedenen Umgebungstemperaturen

2. Forensisch relevante Fliegenarten

a) Schmeißfliegen



Abb. 5: *Lucilla sericata*

Die Familie der Schmeißfliegen (*Calliphoridae*) gilt für forensische Zwecke als die am besten geeignete Fliegenfamilie. Typisch für sie ist eine schwarz bis gelbliche, manchmal auch bläulich oder grünlich metallische Färbung und eine Größe zwischen 4-18 mm. Als Erstbesiedler legen Schmeißfliegen oft schon wenige Minuten nach dem Tod eines Menschen große Eipakete, auch Geschmeiß genannt, auf dem Leichnam ab. Sie gelten

als ideales Beweismittel, da durch die große Masse an schlüpfenden Maden viel Material zur Verfügung steht und die Imagines schnell und leicht zu bestimmen sind. Am häufigsten treten in Deutschland die Arten *Calliphora vomitoria*, *Calliphora vicina* und *Lucilla sericata* auf. [3, S.61ff; 4, S.44ff; 5, S.29f; 22]

b) Fleischfliegen



Abb. 6: Fleischfliege

Fleischfliegen (*Sarcophagidae*) sind 2-18 mm große, schwarzgrau oder silbern gemusterte Fliegen, die sich von abgestorbenem organischem Material ernähren. Teilweise leben ihre Larven auch räuberisch, beispielsweise von Schmeißfliegenmaden. Sie können als Erstbesiedler, aber auch in späteren Stadien auftreten. Auffällig bei dieser Familie ist, dass ihre Maden sowohl lebend als auch als Ei auf dem Leichnam abgelegt werden können. Typischste Vertreterin ist die Graue Fleischfliege (*Scacophaga carnia*). [3, S.69ff; 4, S.64ff; 5, S.38]

c) Echte Fliegen



Abb. 7: *Musca domestica*

Die Stubenfliegen oder Echte Fliegen (*Muscidae*) nutzen wie ihr Name schon sagt meistens Wohnungen und Häuser als Lebensraum. Generell entsprechen sie mit ihrer schwärzlichen, gräulichen oder gelblichen Grundfarbe der allgemein verbreiteten Vorstellung einer Fliege und sind wegen ihrer Fähigkeit Krankheiten zu übertragen gefürchtet. Da sie eine Vorliebe für Kot, Urin und Blut haben, sind sie oft schon früh an Leichen zu finden. Häufige Arten sind die Gemeine Stubenfliege (*Musca domestica*) oder die Latrinenfliegen (*Fannia scalaris*). [3, S.65ff; 4, S.67f; 5, S.41f; 21]

d) Buckelfliegen

Die sehr kleinen (0,5 – 6 mm), grauschwarz gefärbten Fliegen sind an ihrem aufgewölbten Thorax und an den teilweise zurückgebildeten Flügeln leicht als Buckelfliegen (*Phoridae*) zu



Abb. 8: Buckelfliege

identifizieren. Im Gegensatz zu anderen Familien kann sie auch begrabene Leichen befallen, da ihre Eier nicht auf Kadavern sondern auf Erdreich abgelegt werden und sich die Larven einen eigenen Weg zur Leiche graben. Ein Befall durch die räuberisch lebende Buckelfliege ist schnell an den herumlaufenden Fliegen erkennbar. Bekannteste Vertreterin ist *Megaselia scalaris*. [3, S.72f; 5, S.40f]

e) Käsefliegen



Abb. 9: Käsefliege

Die als Schädling für Molkereiprodukte bekannte, 2,5-4,5 mm große und schwarz glänzende Käsefliege (*Phoridae*) wird erst in späten Stadien der Zersetzung einer Leiche durch den käsigen Verwesungsgeruch angelockt. So kann ihr Antreffen „auf eine Liegezeit von bis zu drei Monaten hindeuten“ [3, S.73]. Eine Leichenbesiedelung ist schnell erkennbar, da sich die Larven eini-

ger Arten zum Schutz gegen Fressfeinde durch plötzliche Streckung ihres Körpers 15-20 cm hoch in die Luft katapultieren können. [3, S.73; 5, S.39f]

III. Käfer

Die Käfer (*Coleoptera*) sind mit weltweit etwa 350 000 beschriebenen Arten die größte Ordnung der Insekten. Käfer besitzen im Gegensatz zu Fliegen zwei Flügelpaare, wobei eines als chitiniertes Panzer das andere überdeckt. Als forensisch-entomologische Indizien sind sie nur begrenzt nutzbar, da kaum Referenzwerte für exakte Liegezeitberechnungen existieren und sie meistens nur durch Experten artgenau bestimmt werden können. [3, S.76ff; 5, S.53ff u. 80f; 19]

1. Kurzflügler



Abb. 10: Kurzflügler

Typisch für Kurzflügler (*Staphylinidae*) sind die kurzen, etwa die Hälfte des Hinterleibs bedeckenden Flügel. Die zumeist dunkel gefärbten Käfer, die in ihrer Größe von 0,5 bis 50 mm variieren können, ernähren sich von Fliegenlarven oder nekrophag, was ihr zahlreiches Auftreten an Leichen erklärt. Manche Arten krümmen bei Bedrohung einige Segmente ihres Hinterleibs nach oben, wodurch sie leicht als Kurzflügler zu identifizieren sind. [3, S.79; 5, S.62]

2. Aaskäfer



Abb. 11: Gemeiner Totengräber

Aaskäfer (*Silphidae*) haben eine schwarze Grundfarbe mit orangen oder gelben Flecken und einen flach gesteckten oder ovalen, 4 bis 40 mm langen Körper. Diese nekrophile Familie ernährt sich größtenteils von Leichengewebe, wenige Arten auch räuberisch. In Deutschland ist der wohl bekannteste Vertreter der grell gefleckte Gemeine Totengräber (*Necrophorus vespillo*). [3, S.80; 5, S.61; 23]

3. Stutzkäfer



Abb. 12: Stutzkäfer

Diese 5 – 20 mm großen, schwarz-glänzenden Käfer (*Histeridae*) scheinen wegen ihrem weit eingezogenen Kopf und ihrer runden Körperform wie „gestutzt“. Sowohl ihre Larven als auch die adulten Tiere werden häufig auf Leichen angetroffen, auf denen sie sich räuberisch von anderen Leicheninsekten ernähren. Fühlen

sich Stutzkäfer (*Histeridae*) bedroht, reagieren sie mit „Tot-Stellen“, wodurch sie sich schnell zuordnen lassen. [3, S.80; 5, S.63]

IV. Weitere Leicheninsekten

Alle weiteren Leichen besiedelnden Insekten lassen sich ihrem ökologischem Verhalten nach in zwei Gruppen einteilen:

„Zu einer [...] [dieser] Gruppe[n] der Leicheninsekten gehören die Ameisen, Bienen und Wespen, welche <<...nicht auf das Vorkommen von Kadavern angewiesen sind, aber sich durchaus von Leichengewebe oder den sich an diesem entwickelnden Larven der erstbesiedelnden Fliegenarten ernähren. >>“ [3, S.85]

Die andere Gruppe beschreibt all die Gliederfüßer die eine Leiche nur besuchen, aber nicht von ihr oder anderen Leicheninsekten fressen, wie etwa Spinnen oder Springschwänze.

Beide Gruppen sind bei der Leichenliegezeitbestimmung kaum von Nutzen, können aber Hinweise auf Umlagerung und Spurenmanipulation bieten. [3, S.85]

D. Bestimmung der Insekten

Um Insekten für forensische Zwecke zu verwenden, ist deren artgenaue Bestimmung essentiell. Die Familie ist zwar meistens schnell bestimmt, doch oft unterscheiden sich Ökologie oder Entwicklungsdauer in einzelnen Familien so drastisch, dass die Artbestimmung von enormer Wichtigkeit ist. [3, S.102]

I. Durch äußere Merkmale

Bei dieser konventionellen Methode werden Insekten anhand ihres Aussehens mit Hilfe eines Bestimmungsschlüssels bestimmt. Die genadelten Insekten werden dabei durch ein sogenanntes Binokular, eine Art Mikroskop, betrachtet und durch charakteristische Körpermerkmale in Familie und Art eingeordnet. Auch für Puparien und Larven sind derartige Schlüssel verfügbar, jedoch funktioniert die Bestimmung bei ausgewachsenen Insekten weit-



Abb. 13: Geschlechtsunterscheidung bei Fliegen
Bei Männchen (links) stoßen die Augen in der Mitte des Kopfes zusammen, bei Weibchen (rechts) berühren sie sich hingegen nicht. Die Geschlechtsunterscheidung kann für die Bestimmung mancher Arten relevant sein.

aus am besten. Häufig werden deswegen Maden von Leichen abgesammelt, im Labor zu Imagines gezüchtet und anschließend bestimmt. [1, S.54; 3, S.102ff; 4, S.257]

II. Anhand der Mundwerkzeuge

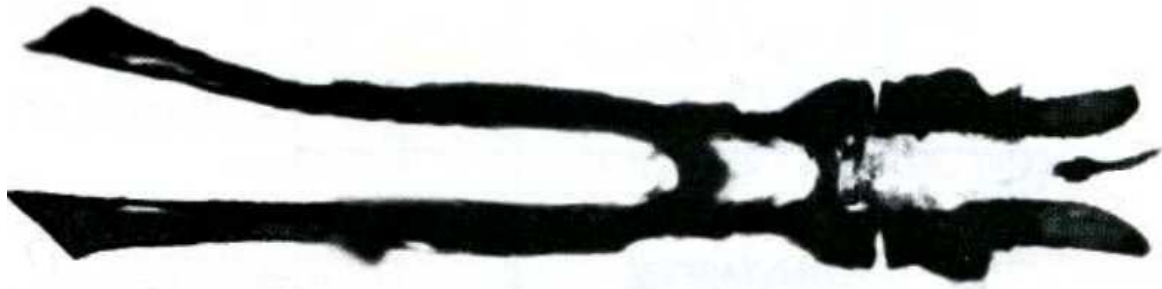


Abb. 14: Mundwerkzeug von Maden der Art *Calliphora vomitoria*

In manchen Kriminalfällen kommt es vor, dass nur tote Fliegenmaden von einer Leiche geborgen werden können, wodurch das Züchten zum Imago unmöglich wird. Kriminalbiologen versuchen in solchen Fällen eine Artbestimmung anhand charakteristischer Verformungen an den Mundwerkzeugen der Maden vorzunehmen, was aber als äußerst schwierig gilt. Weiterhin ist die Präparation der maximal 1 mm großen Mundwerkzeuge problematisch, da sie herausgeschnitten oder das umliegende Gewebe durch Säure zersetzt werden müssen. [1, S. 50ff; 3, S.103; 5, S.87ff]

III. Durch DNA-Analysen

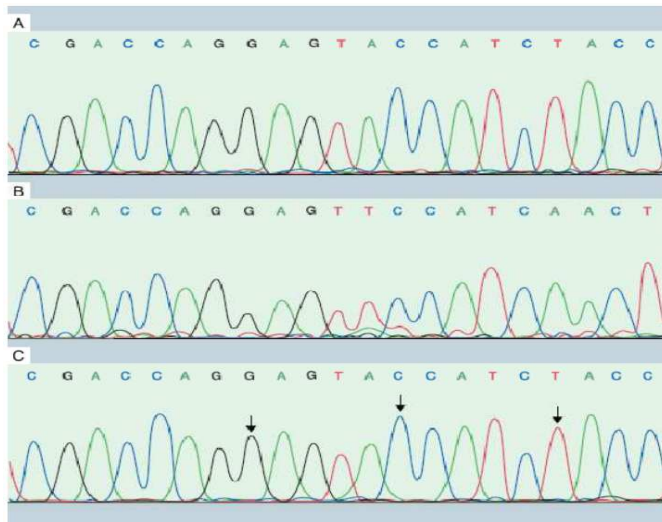


Abb. 15: Vergleich von DNA-Sequenzen
A. *Lucilla sericata*; B. *Calliphora vicina*; C. Fliegenart unbekannt, wahrscheinlich *Lucilla sericata*

Sind von Insekten nur Bruchstücke vorhanden oder ist eine Bestimmung aus anderen Gründen unmöglich, greift die Forensische Entomologie auf die Mikrobiologie zurück und bestimmt die Art durch ihre DNA. „Häufig wird [dafür] als Zielbereich das Gen für die Untereinheit I der mitochondrialen Cytochrom-Oxidase untersucht“ [10, S.237], welches am Stoffwechsel beteiligt ist.

Stimmt dieses Gen mit Referenzse-

quenzen für eine Art im Rahmen einer intraspezifischen Variabilität überein, kann man davon ausgehen, dass das Insekt dieser Art angehört. Möglich ist auch „der Nachweis [...] von aus Maden extrahierter *menschlicher* DNA, [der] [...] von Bedeutung sein [kann], wenn die Nahrungsquelle der im entomologischen Gutachten untersuchten Maden strittig ist“ [10, S.237f] oder sich zwar Maden an einem Tatort finden, aber keine Leiche. [3, S. 110f; 5, S.43ff u. 69f; 10, S.236f]

E. Sukzession auf Leichen

Der Prozess der Rückgewinnung von Substanzen aus abgestorbenem organischem Material ist komplex und es sind unzählige Lebewesen daran beteiligt. Schon Mégnin teilte 1894 diese Vorgänge in verschiedene Abschnitte ein, obwohl der Prozess eigentlich kontinuierlich ist. Jedoch werden die von ihm definierten acht Stadien heute meist zu vier bis fünf zusammengefasst. Mégnin war es ebenfalls möglich jedem Stadium eine typische Besiedlungswelle durch Insekten zuzuweisen, da jede Insektenart aufgrund ihrer ökologischen Strategie ein bestimmtes Leichenstadium präferiert. „Diese chronologische Abfolge des Auftretens von

Arten bzw. Artengemeinschaften in einem sich verändernden Lebensraum bezeichnet man in der Ökologie als Sukzession“ [7, S. 230]. [3, S.57ff; 4, 252f; 6, S.34; 7, S. 230]

I. Überblick über die Sukzessionsstadien

Allgemein lassen sich bei der Kompostierung von Leichen mehrere biologische und chemische Prozesse voneinander abgrenzen, welche die Leiche in ihrer Attraktivität für Insekten verändern, sodass mehrere Besiedlungswellen erkennbar werden. Im Folgenden sind die einzelnen Sukzessionsstadien zusammen mit den wirkenden Prozessen und der Insektenbesiedlung aufgeführt. [3, S.57ff; 4, 252f; 6, S.34; 7, S. 230]

1. Stadium 1: Frischtot

Das erste Sukzessionsstadium beginnt mit dem Eintritt des Todes und dauert bis zu den ersten sichtbaren Anzeichen einer Blähung des Kadavers an. Da nach dem Todeseintritt keine Energie mehr bereitgestellt werden kann, können energieaufwendige Transportprozesse an Zellmembranen nicht länger ablaufen.



Als Folge leiten Enzyme „die Selbstauflösung der Zellstrukturen ein. Diese [...] Prozesse, die ohne Beteiligung von Mikroorganismen stattfinden, führen zur Gewebserweichung und Strukturauflösung“ [7, S.224] und werden als Autolyse (griechisch: Selbstauflösung) bezeichnet.

Die ersten kolonisierenden Insekten sind typischerweise die Schmeißfliegen, die den Kadaver bereits nach wenigen Minuten anfliegen. Trächtige Weibchen legen ihre Eier in die Körperöffnungen oder Wunden der Leiche, da ihre Larven Haut nicht abbauen können. In manchen

Fällen wird die Besiedelung auch durch Fleischfliegen oder Echte Fliegen begleitet. [3, S.58; 4, 253; 6, S.30ff; 7, S. 224ff; 13; 16]

2. Stadium 2: Gasgebläht

Dieses Stadium ist an der charakteristischen Gasblähung des Bauchraums der Leiche leicht erkennbar. Die blähenden Gase, etwa Methan, entstehen zusammen mit Säuren wie Essig-, Butter- oder Propionsäure beim anaeroben Abbau des bei der Autolyse entstehenden „Nährstoffbreis“ durch Bakterien. Dieser Vorgang wird Fäulnis genannt und



Abb. 17: Schwein im gasgeblähten Zustand

im „Verlauf werden die inneren Organe zersetzt“ [7, S.224]. Vom Kadaver geht zu dieser Zeit ein leichter, kaum wahrnehmbarer muffiger Geruch aus.

Typisch für diese Phase ist eine große Zahl an Schmeiß- und Fleischfliegen, wobei bereits erste Maden schlüpfen. Dadurch werden auch Kurzflügler angelockt, da diese Fliegenlarven als Nahrungsquelle nutzen. [3, S.58; 4, 254; 6, S.30ff; 7, S. 224ff; 14; 15; 16]

3. Stadium 3: Verwesung

Durch Risse in der Haut kommt es während des 3. Stadiums zum Entweichen der Gase. Gleichzeitig setzt die Verwesung, die aerobe bakterielle Gewebezersetzung, ein und durch entstehende Substanzen wie Ammoniak oder Schwefelwasserstoff



Abb. 18: Verwesendes Schwein mit starkem Madenbefall

entwickelt sich der typische muffig-stechende Verwesungsgeruch.

Zu Beginn des Stadiums wird der Kadaver von großen Ansammlungen von Fliegenmaden dominiert, die vom Gewebe fressen bis sie abwandern um sich zu verpuppen. Die hohe Anzahl an Larven lockt zusätzlich viele Räuber wie Aas- oder Stutzkäfer und parasitäre Hymenopteren wie Wespen oder Bienen an. Schreitet die Verwesung weiter fort, fin-



Abb. 19: Deutlicher Rückgang des Madenbefalls

den sich Käsefliegen und schließlich Fruchtfliegen an der Leiche. Zum Ende der Verwesung besteht die Leiche praktisch nur noch aus Haut, Knorpeln und Knochen, weshalb Fliegen und deren Larven keine Nahrung mehr finden und sich ihre Anwesenheit stark reduziert. Stattdessen beherrschen Käfer von nun an verstärkt die Leichenfauna. [3, S.58; 4, 254f; 6, S.30ff; 7, S. 224ff; 16]

4. Stadium 4: Skelettiert oder Vertrocknet

Mit dem Ende der Verwesung trocknet die Leiche zunehmend aus. Teilweise sind noch Gliederfüßer wie Glanz- oder Speckkäfer, Milben oder Raupen von Teppichmotten zu finden, da diese das zum Abbau von Haut und Haaren benötigte Enzym Keratinase besitzen. In diesem Stadium sind kaum mehr genaue Schlüsse auf das PMI durch Insekten



Abb. 20: Skelettiertes Schwein

möglich. Mit der vollständigen Entfernung jeglichen Gewebes von den Knochen (Skelettierung) oder der Austrocknung und der Haut bei warmer und trockener Lagerung (Mumifizierung) endet die Kompostierung des Leichnams durch Insekten. [S. 38f; 3, S.58; 4, 255; 6, S.30ff; 7, S. 224ff]

II. Einflüsse auf die Sukzession

Die Abfolge der Phasen ist zwar bei Kompostierungen von Leichen weltweit ähnlich, doch beeinflussen viele Faktoren die Länge und Ausprägung einzelner Stadien deutlich. Ob Insekten eine Leiche besiedeln, bestimmt die Attraktivität des Kadavers für die einzelnen Arten. Einflussfaktoren sind beispielsweise Feuchtigkeit und Konsistenz des Gewebes, Pheromone und Eier anderer Insekten, die Anwesenheit von ammoniakhaltigen Stoffen und das Zersetzungsstadium der Leiche. Ist der Leichnam mumifiziert oder verbrannt hat dies ebenfalls Einfluss auf die Attraktivität. Die Oviposition unterliegt zusätzlich Parametern wie Exposition (schattig/sonnig, gut/schlecht sichtbar), Helligkeit, Temperatur oder Tageszeit. Ebenfalls spielt das Habitat in dem die Leiche verwest eine große Rolle. Global unterscheiden sich die anzutreffenden Arten stark innerhalb der Familien, aber auch regional kann es Schwankungen bei speziell an Umgebungen wie städtische, bewaldete oder grasige Gebiete angepassten Arten geben. Befindet sich der Tote in einem Medium, wie in Beton, in Wasser oder in der Erde, so treten oft auch gravierende Abweichungen bei der Besiedelung auf. Da Flora und Fauna eines Habitats stark vom vorherrschenden Klima verändert werden, lässt sich auch eine Abhängigkeit zwischen der Jahreszeit und der Sukzession feststellen. Zusätzlich ist die Lagerung der Leiche relevant, denn befindet sie sich in einem Haus, einem Auto oder engen Räumen oder ist sie in Tüten verpackt, bedeckt, bekleidet, erhängt oder begraben, so kann die Zugänglichkeit der Überreste für Insekten erschwert und Faktoren wie Temperatur oder Licht verändert werden. Außerdem können ökologische Wechselwirkungen zwischen Insektenarten die Leichenfauna beeinflussen. [1,S.33ff; 4, 201ff; 5, S.84ff; 6, S. 34ff; 10, S.236]

F. Schlussfolgerungen durch leichenbesiedelnde Insekten

Anhand der auf einer Leiche gefundenen Insekten ist es möglich, Informationen über deren Tod zu erhalten. Klassischerweise wird durch die angetroffenen Dipteren und Coleopteren versucht die Leichenliegezeit zu rekonstruieren, es finden sich aber noch weitere Anwendungsbereiche.

I. Bestimmung der minimalen Leichenliegezeit

Die Bestimmung der minimalen Liegezeit einer Leiche ist das Hauptanwendungsgebiet der Forensischen Entomologie. Der hierbei errechnete Zeitraum darf keinesfalls als Todeszeitpunkt interpretiert werden, da das PMI im Idealfall nur die Dauer der Insektenaktivität auf einer Leiche angibt. Herrschten beim Tod des Menschen Bedingungen, die den Zugang oder eine Eiablage verhinderten, kann es bei der Verwendung des PMI als Todeszeitpunkt zu Falschaussagen kommen.

Allgemein werden zur Berechnung des PMI zwei verschiedene Methoden angewandt, die entweder die Insektenentwicklung oder die Sukzession zur Bestimmung verwenden. [7, S.227]

1. Anhand Insektenentwicklung

Insekten wie Fliegen sind wechselwarm, die Geschwindigkeit ihrer Enzymaktivität und damit ihres Wachstums hängt daher maßgeblich von den Umgebungstemperaturen ab. „Entsprechend nimmt die Entwicklungsdauer mit steigender Temperatur ab und bei sinkenden Werten zu [...]. Dabei existieren allerdings für die einzelnen Arten untere und obere Schwellenwerte, welche die Temperatur nicht unter- bzw. überschreiten darf [...]. Für das erfolgreiche Durchlaufen jedes Ent-

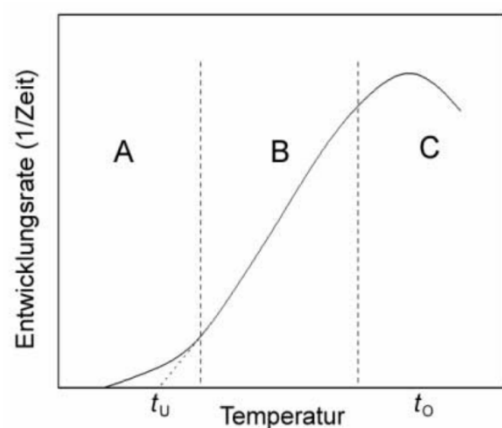


Abb. 21: Verhältnis zwischen Temperatur und Entwicklung bei Fliegen (t_o steht für den oberen Schwellenwert, t_u für den Unteren)

wicklungsstadiums, also des Eies, der einzelnen Larvalstadien und schließlich der Puppe, ist die Akkumulierung einer bestimmten Temperaturmenge im Insekt notwendig.“ [7, S.226] Diese Temperaturkonstante wird mit K bezeichnet und in Stundengraden (ADH = accumulated degree hours) oder Tagesgraden (ADD = accumulated degree days) angegeben.

Benötigt eine Made der Art X beispielsweise eine Temperaturmenge von $K = 100$ ADH zum Schlupf aus dem Ei, so bedeutet dies, dass ihr insgesamt hundertmal eine Energiedosis von 1°C pro Stunde verabreicht werden muss. Ob dies durch eine Zuführung von $10^\circ\text{C}/\text{h}$ in 10 Stunden oder $25^\circ\text{C}/\text{h}$ in 4 Stunden erreicht wird ist irrelevant, solange die Temperaturdosen die Schwellenwerte nicht unter- bzw. überschreiten. [3, S.91ff; 6, S.124; 7, S.226]

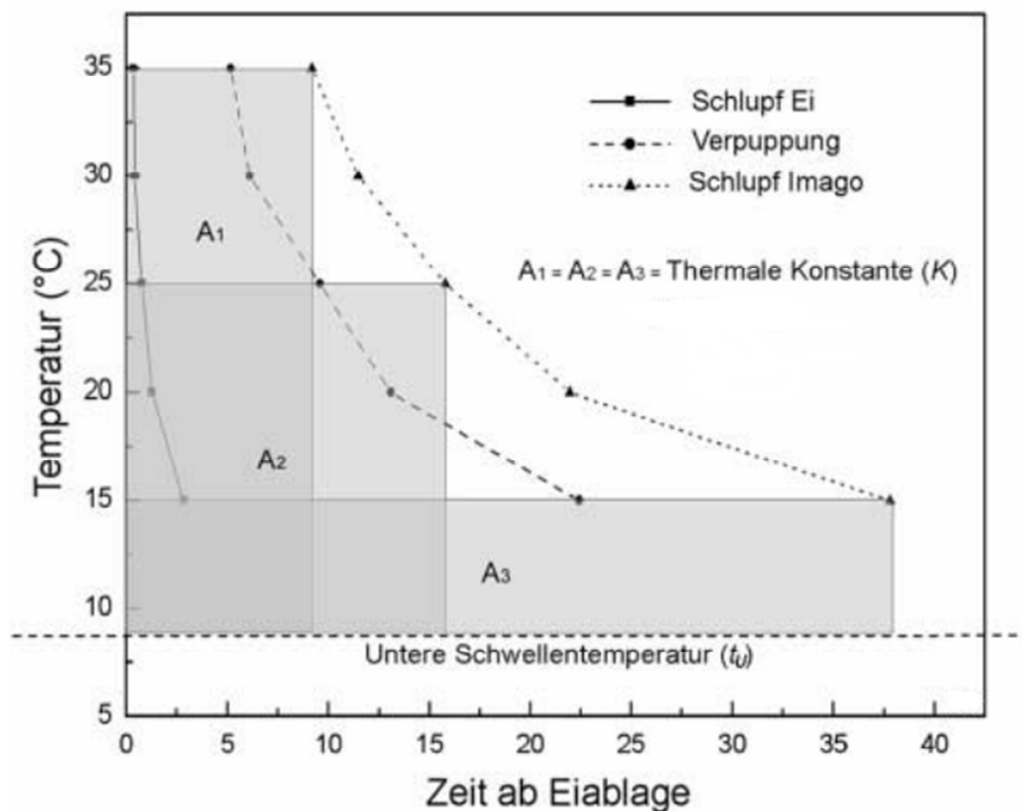


Abb. 22: Entwicklungsdiagramm mit Wärmekonstante K (in ADD) und unterer Schwellentemperatur t_u

Damit das PMI berechnen werden kann, werden vier Informationen benötigt:

- Genaueres Alter des ältesten, aufgefundenen Insekts

- Exakte Bestimmung der Art, da viele Arten stark in der Wachstumsgeschwindigkeit variieren
- Referenzwerte zur aufgefundenen Art wie die Temperaturkonstante und unterer und oberer Schwellenwert
- Daten der Wetterverhältnisse am Tatort während der Liegezeit der Leiche; müssen oft mit Korrekturfaktoren angeglichen werden

[3, S.99; 7, 227f; 9, S. 275]

Zur Berechnung des PMIs summiert man alle Temperaturdosen ab dem Zeitpunkt an dem das Alter der Fliege genau bestimmt werden konnte so lange auf, bis die Summe den ADD- bzw. ADH-Wert überschreitet, der zum Erreichen dieses Alters nötig war. Die Tages- bzw. Stundendosis ergibt sich dabei aus der Differenz der Temperaturbedingungen in diesem Zeitintervall und der unteren Schwellentemperatur t_u . Die sich ergebende Zeit gibt den Zeitpunkt seit der Insektenbesiedlung an. Finden sich mehrere Fliegenarten am Kadaver, wird für alle ein PIA errechnet und durch Vergleichen der Ergebnisse auf das PMI geschlossen. (Beispiel: siehe G.III.2) [3, S.99ff; 6, S.124]

Generell ist diese Methode zur Leichenliegezeitbestimmung nur mit Schmeißfliegen sinnvoll, da nur diese Fliegenfamilie schon kurz nach dem Tod eines Menschen Eier ablegt und so das PMI am ehesten der Leichenliegezeit entspricht.

Temperaturparameter (°C) verschiedener nekrophager Fliegenarten.			
Fliegenart	t_u	K für die Entwicklung vom Ei zum Imago	K für die Entwicklung vom Ei zum Puparium
<i>Calliphora vicina</i>	2	388	191
<i>Calliphora vomitoria</i>	3	472	213
<i>Protophormia terraenovae</i>	7,8	251	191
<i>Lucilia sericata</i>	9	207	–
<i>Chrysomya albiceps</i>	10,2	186	123
<i>Phormia regina</i>	11,4	148	101
<i>Muscina stabulans</i>	7,2	269	139
<i>Muscina assimilis</i>	7,9	240	102
<i>Boettcherisca septentrionalis</i>	7,8	279	117
<i>Piophilina foveolata</i>	6,4	434	278

Abb. 23: Temperaturkonstante verschiedener Fliegenarten (K in ADD)

2. Anhand der Sukzession

INSEKTEN FAMILIE	SUKZESSIONSSTADIEN			
	FRISCHTOT	GASGEBLÄHT	VERWESUNG	VERTROCKNET
CALLIPHORIDAE (Schmeißfliegen)	—	—	—	—
MUSCIDAE (Echte Fliegen)	—	—	—	—
SILPHIDAE (Aaskäfer)	—	—	—	—
SARCOPHAGIDAE (Fleischfliegen)	—	—	—	—
HISTERIDAE (Stutzkäfer)	—	—	—	—
STAPHYLINIDAE (Kurzflügler)	—	—	—	—
NITIDULIDAE (Glanzkäfer)	—	—	—	—
CLERIDAE (Buntkäfer)	—	—	—	—
DERMESTIDAE (Speckkäfer)	—	—	—	—
SCARABAEIDAE (Blatthornkäfer)	—	—	—	—

Abb. 24: Sukzessionsschema für die Imagines verschiedener Coleopteren und Dipteren

Finden sich an einem Körper leere Puparien von Schmeißfliegen, ist eine Berechnung des PMI nicht mehr anhand deren Entwicklung möglich, da schon mindestens ein Lebenszyklus durchlaufen wurde. Stattdessen verwendet man in solchen Fällen das charakteristische Besiedlungsmuster der Sukzession. „Es ist naheliegend zu versuchen, diese zeitliche Abfolge der einzelnen Tiergruppen an einem Leichnam zur Eingrenzung der Leichenliegezeit heranzuziehen“ [7, S.231]. Hierbei wird die aufgefundene Leichenfauna dokumentiert und in Relation mit den Sukzessionsstadien eine grobe Liegezeit abschätzt.

Sind zum Beispiel die Käferarten X, Y und Z dafür bekannt Leichen oft in der 12.-15. Woche zu befallen, so lässt sich bei deren Anwesenheit auf Kadavern grob auf ein drei bis viermonatiges PMI schließen. Allerdings wird dafür eine gut protokollierte Referenzverwesung im selben Habitat benötigt und Faktoren wie Wetter oder Jahreszeit müssen bei der Abschätzung Berücksichtigung finden. Allgemein sind bei dieser Methode zwar Schlüsse auf die Leichenliegezeit möglich, sind aber oft aber nicht genauer als Jahreszeit- oder Monatsangaben und häufig spekulativer Natur. [4, S.259ff; 6, S.132ff; 7, S.230ff; 10, S.235ff]

II. Nachweis von Vergiftungen - Entomotoxikologie

Finden sich in der Nähe einer Leiche Hinweise auf Drogen- oder Medikamentenkonsum, kann dies auf einen Suizid durch derartige Substanzen hindeuten. Nachweise solcher Vergiftungen werden in der klassischen Rechtsmedizin durch Untersuchungen des Mageninhalts oder des Gewebes erbracht, was aber bei schon verwesenden Leichen kaum noch möglich

ist. „Hier können die sich auf der Leiche entwickelnden Insekten eine brauchbare Alternative darstellen. Nach Extraktion der Droge aus den Larven und fachgerechter Aufbereitung kann die so gewonnene Lösung klassischen toxikologischen Untersuchungen wie beispielsweise einer Gas-Chromatographie unterzogen werden“ [10, S.238f]. Solche Nachweise sind bis heute aber nur qualitativ und nicht quantitativ möglich.

Drogen und Medikamente können auch die Entwicklungsgeschwindigkeit einzelner Arten beeinflussen. Beispielsweise können Heroin und Kokain die Wachstumsgeschwindigkeit der Fleischfliegenart *Boettcherisca peregrina* beschleunigen. Genaue Zusammenhänge sind jedoch noch nicht bekannt, so dass „in diesem Bereich der forensischen Entomologie, der so genannten forensischen Entomotoxikologie (Giftwirkung auf Leicheninsekten)“ [1, S.58] noch viel Forschungsbedarf existiert. [1, S.56ff; 6, S.24ff; 7, S.234; 10, S.238ff]

III. Nachweis von Umlagerungen und Spurenmanipulation

Mit Insekten können nicht nur Vergiftungen nachgewiesen und das PMI bestimmt werden, sie können auch als Indizien für Spurenmanipulation Verwendung finden. Wird auf einem Mordopfer ein Insekt angetroffen, das nicht in das Habitat des Tatorts passt, ist eine Umlagerung wahrscheinlich. In seltenen Fällen ist sogar der frühere Lagerungsort bestimmbar. Auch der Befall oder Nichtbefall von Leichen kann Hinweise geben, zum Beispiel können begrabene Leichen nicht von Schmeißfliegen befallen werden. Ebenso ist eine Nichtbesiedelung von im Freien gelagerten Leichen unwahrscheinlich, so dass derartige Umstände auf eine Spurenmanipulation hindeuten. [1, S.58ff; 6, S.134ff; 7, S.235]

IV. Nachweis der Vernachlässigung Pflegebedürftiger

„Nekrophage Insekten ernähren sich zwar von totem, abgestorbenem Gewebe, das Vorhandensein dieses Gewebes ist aber nicht an einen verstorbenen Menschen gebunden. Auch lebende Menschen weisen ein geeignetes Eiablagesubstrat auf, wie etwa z.B. aufgrund von Durchblutungsstörungen abgestorbene[r] Extremitätsbereiche“, [7, S.236] in entzündeten Wunden oder auf Fäkalien, wie sie bei vernachlässigten Pflegebedürftigen zu finden sind. Die

Larven der für solche Fälle typischen Schmeißfliege ernähren sich dabei nur von dem nekrotischen, nicht vom gesunden Gewebe. Pflege-Vernachlässigungen dieser Art gewinnen in der heutigen Gesellschaft zunehmend an Relevanz und werden deshalb mit forensisch-entomologischen Mitteln auf Gesichtspunkte wie Dauer der Vernachlässigung hin untersucht. Ein Madenbefall einer Wunde hat an sich Vorteile für den Verletzten, da die Maden die Wunde sauber halten und einer tödlichen Infektion vorbeugen. Teilweise werden Fliegenlarven deshalb heutzutage schon für die Behandlung kompliziert infizierter Wunden eingesetzt. [1, S.75ff; 3, S.119; 7, S.236]

G. Experimentelle Überprüfung der Sukzession anhand einer

Referenzverwesung

Im Rahmen der Seminararbeit wurde ein Experiment zur Überprüfung des oben beschriebenen Sukzessionsmodells auf Leichen durchgeführt, um die in Südbayern vorherrschende Insektenfauna bei der Kompostierung von Leichen zu dokumentieren. Als Kadaver wurde statt einer menschlichen Leiche der Kopf eines Schweins verwendet, da Schweine bei den ablaufenden Kompostierungsprozessen und der Attraktivität des Leichnams für Insekten den Leichen von Menschen stark ähneln. [4, S.253]

I. Versuchsaufbau

Für den Versuch wurden zwei Schweinekopfhälften im Perlacher Forst auf einer halbschattigen Lichtung ohne direkte Sonneneinstrahlung nahe einer Autobahn ausgelegt. Ein mit Maschendraht bespannter Käfig schützte die Kopfhälften während des Versuchs vor Fressfeinden wie Hunden und Füchsen, beeinträchtigte jedoch nicht den Zugang für Insekten zu den Leichenteilen.



Abb. 25: Versuchsaufbau

II. Ablauf

Während dem etwa vierwöchigen Versuch wurde der Kadaver regelmäßig besucht, alle Vorgänge schriftlich protokolliert und mit Fotos dokumentiert sowie Proben von den besiedelnden Maden genommen. Im Folgenden ist der Ablauf des Versuches zusammengefasst.

10.07.2013:

Der Versuch begann am 10.07.2013 gegen 10 Uhr. Da der Schweinekopf seit der Schlachtung des Tiers am Vortag gekühlt gelagert wurde und daher keine Zersetzungsprozesse ablaufen konnten, kann der Moment des Auslegens als Todeszeitpunkt interpretiert werden. Ca. 30 Sekunden



Abb. 26: Schmeißfliegen bei der Eiablage am Stumpf eines Schweinekopfes

nach dem Auslegen der Kopfhälften waren bereits erste Fliegen präsent, die von dem anhaftenden Blut angelockt wurden. Eineinhalb Stunden später konnten Schmeißfliegen auf den Kopfhälften beobachtet werden, die eine geeignete Stelle für die Eiablage suchten. Um 14 Uhr begann eine große Anzahl an Fliegen, vermutlich *Lucilla caesar*, am Stumpf des Kopfes, also an der Stelle an dem der Kopf vom Schwein getrennt wurde, Eier abzulegen.

11.07.2013:

Am Tag danach waren mittags große Geschmeiße an den Kopfstümpfen sowie in den Augenhöhlen und Borsten der Schweinekopfhälften sichtbar, aber nur noch wenige Schmeißfliegen anwesend. Stattdessen fand sich eine Fleischfliege am Rand des Käfigs.

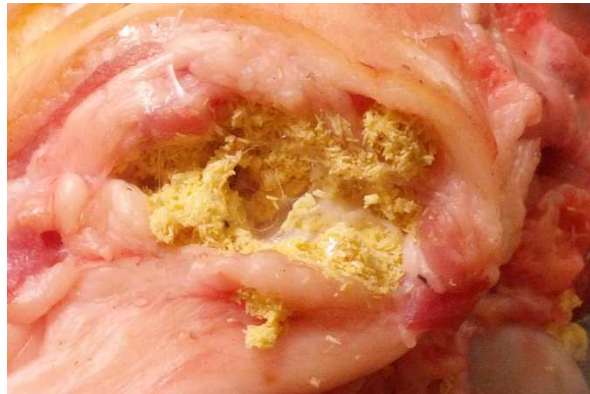


Abb. 27: Geschmeiß am Stumpf eines Kopfes

Gegen 16:30 Uhr hatten wieder vermehrt grüne und blaue Schmeißfliegen die Kopfhälften angefliegen, die Eier in den Augenhöhlen, dem Mund und auf Borsten ablegten.



Abb. 28: Schweineköpfe an Tag 2 gegen 16:30 Uhr
Schmeißfliegen sind bei der Eiablage in Augenhöhlen, Maul und auf Borsten zu beobachten

12.07.2013:

Am 12. Juli schien die Eiablage größtenteils abgeschlossen, da kaum Schmeißfliegen, dafür aber einige Fleischfliegen bzw. Echte Fliegen am Kadaver anwesend waren. Meiner Interpretation nach gingen die Schweineköpfe um den 12. Juli vom Stadium „Frischtot“ in das Stadium „Gasgebläht“ über, was aber wegen dem Fehlen des sich normalerweise aufblähenden Abdomens nicht erkennbar war. Hinweise für einen Übergang in den gasgeblähten Zustand lieferte jedoch der entstandene, leichte Verwesungsgeruch.



Abb. 29: Schweineköpfe an Tag 3 gegen 16:00 Uhr

13.07.2013:

Ersten Fliegenmaden schlüpften am 13.7. und begannen sich in Körperöffnungen wie den Augen von dem verflüssigten Gewebe zu ernähren. Gleichzeitig war ab diesem Tag eine kontinuierliche Verfärbung der Haut des Schweins über immer dunkler werdende Rottöne bis zu einer durchgängig fast schwarzen Färbung zu beobachten, die auf die zunehmende Austrocknung der Haut zurückzuführen war.



Abb. 30: Schweineköpfe an Tag 4 gegen 12:00 Uhr

14.07.2013:

Am 14. Juli war eine Fliege einer blauen Schmeißfliegenart (wie die Versuchsauswertung ergab wahrscheinlich *Calliphora vomitoria*) beim Ablegen von Eiern oberhalb der Augen zu beobachten und weitere Maden schlüpften.



Abb. 31: *Calliphora vomitoria* (wahrscheinlich) bei der Eiablage

15.07.2013

Zu diesem Zeitpunkt war ein Großteil an Maden geschlüpft, die in den Augen so dicke „Teppiche“ bildeten, dass es teilweise zu Knochenverschiebungen kam, aber auch im Maul waren mehrere Maden sichtbar. In Folge der äußeren Verdauung der Maden durch Enzyme entstand teilweise ein fester, bräunlicher Schaum.



Abb. 32: Schweineköpfe an Tag 6 gegen 17:45 Uhr
Große Madentepiche sind in den Augenhöhlen, teilweise auch Maul sichtbar

Am 15.07.2013 um 17:30 Uhr wurden etwa 100 Maden vom Kadaver entnommen um sie zur genauen Bestimmung zu Imagines zu züchten. Die Maden wurden in zwei mit Strumpfhosen verschlossenen Zuchtgefäßen mit Hackfleisch als Nahrungsquelle und Kleintierstreu zum Verpuppen in einem Schuppen gelagert an dem etwa dieselben Temperaturgegebenheiten wie an den Kopfhälften vorherrschten. [11, S.45]

Im Zeitraum vom 13.07. – 15.07. fanden sich einige Ameisenmännchen, mehrere Fleisch- und Echte Fliegen sowie erste Käfer an den Köpfen ein.



Abb. 33: Zuchtgefäß mit Kleintierstreu und Hackfleisch

16.07.2013:

Ab dem 16. Juli war bei dem Kadaver eine starke Geruchsentwicklung festzustellen, was auf ein Einsetzen der aeroben Verwesung (drittes Sukzessionsstadium) schließen lässt. Die lichtscheuen Maden waren zu diesem Zeitpunkt größtenteils unter der Haut aktiv, da sie sich dort durch den verwesenden Gewebsbrei fressen konnten. Eier waren hingegen kaum noch zu finden. Der Größe von ca. 10 – 14 mm nach zu urteilen hatten die Maden schon mindestens eine Häutung vollzogen, befanden sich also im zweiten oder dritten Larvalstadium.



Abb. 34: Schweineköpfe an Tag 7 um 13:45 Uhr
Deutlich ist eine Knochenverschiebung im Auge des rechten Schweins zu sehen

17. – 18.07.2013

Am 17. Juli erreichten die ersten Larven ihren Wachstumshöhepunkt und somit das post-feed Stadium (Ende der Nahrungsaufnahme) und begannen mit der Abwanderung vom Kadaver um sich zu verpuppen.

19.07. 2013 – 03.08.2013:

Am 19.07.2013 waren fast alle Maden zum Verpuppen abgewandert und hatten zwei kaum noch aus Gewebe bestehende Köpfe hinterlassen, die anderen Fliegen nicht mehr als Nahrung dienen konnten. Außerdem waren bereits deutliche Anzeichen von einer beginnenden Austrocknung wie ledrige und dunkel verfärbte Haut sichtbar. [3, S.93ff]



Abb. 35: Schweineköpfe an Tag 12 gegen 15:00 Uhr

In den folgenden Tagen waren abgesehen von wenigen Buckelfliegen kaum noch Insekten anwesend.

Ende Juli begannen sich die Maden in den Zuchtgefäßen zu verpuppen. Die Zeitdifferenz von etwa 10 Tagen zwischen dem Verpuppen der Maden auf den Schweineköpfen und denen in den Zuchtgefäßen lässt sich durch den erhöhten Populationsdruck sowie durch die Entstehung von wachstumshemmenden Stoffen aus dem Kot der Maden in den Zuchtbehältern erklären.

04. – 11.08.2013:

Am 4.8.2013 sowie am 8.8.2013 wurden Insekten der Familie der Aaskäfer wie eine Rothalsige Silphe (*Oiceoptoma thoracica*) und ein Totengräber (wahrscheinlich: Schwarzhörniger Totengräber (*Necrophorus vespilloides*)) aufgefunden. Folglich dominierten Käfer nun die Leichenfauna. Teilweise wurden auch Nacktschnecken an den Köpfen gefunden, denen forensisch aber bisher keine Bedeutung zugerechnet wird. [24; 25]



Abb. 36: Schweineköpfe an Tag 30 um 19:30 Uhr



Abb. 37: *Necrophorus vespilloides* und Nacktschnecke auf dem linken Schweinekopf



Abb. 38: *Oiceoptoma thoracica* auf dem linken Schweinekopf

Im Zeitraum vom 5. – 7. 8.2013 schlüpften die Schmeißfliegen in den Zuchtgefäßen und wurden, nachdem sie durch Einfrieren liquidiert wurden, zur besseren Bestimmung genadelt.

12. – 17.08.2013:

Bei den ausgelegten Schweineköpfen schien sich ab 12. August die Käferbesiedlung um Speck- und Glanzkäfer zu ergänzen, da große Teile der Haut



Abb. 39: Genadelte Fliegen

des linken Kopfes abgefressen wurden, wozu nur diese Käfer im Stande sind. Außerdem war die Mumifizierung weiter vorangeschritten, was an der bräunlichen und sich nicht mehr ändernden Hautfärbung deutlich wurde. Zusätzlich hatte sich an den Köpfen teilweise Adipocire oder Leichenlipid, eine aus Körperfett entstehende weiße Masse, gebildet. [1, S.38; 6, S.33]



Abb. 40: Schweineköpfe an Tag 34 gegen 11:30 Uhr
Große Teile der Köpfe sind mit weißlichem Leichenlipid bedeckt

Da die Kopfhälften nur noch aus Haut, Sehnen, Knorpeln und Knochen bestanden, liefen keine Verwesungsvorgänge mehr ab. Somit befanden sich die Leichenteile ab 12.8.2013 im vertrockneten Stadium. Belegbar war dies auch am Rückgang der Verwesungsgerüche. Bis zum Abbau des Versuchs am 17. August wurde außer dem Abfressen von Haut keinerlei Insektenaktivität mehr festgestellt.



Abb. 41: Schweineköpfe an Tag 39 gegen 15:00 Uhr

III. Auswertung

1. Auswertung der Sukzession

Um die besiedelnden Fliegenarten festzustellen, wurden die herangezöchteten Imagines mit Hilfe von Dr. Reckel, einem Forensischen Entomologen vom LKA Bayern, anhand ihrer äußeren Merkmale bestimmt. Zwar konnten nur wenige der Fliegen artgenau bestimmt werden, diese Bestimmungen waren jedoch hinreichend um die Schmeißfliegenarten *Lucilla caesar*, *Lucilla ampullacea* und *Calliphora vomitoria* als Besiedler der Schweineköpfe nachzuweisen.

Art	Anzahl	Schlupfzeitraum
Lucilla caesar	48	30.07. – 05.08.
Calliphora vomitoria	3	05.08.
Lucilla ampullacea	31	29.07. – 06.08.

Abb. 42: Anzahl der gesammelten Vertreter der einzelnen Fliegenarten

Diese Fliegenarten sind als Leichenbesiedler in Süddeutschland eher untypisch, da hier Arten wie *Lucilla sericata* oder *Lucilla illustris* viel dominanter sind. Erklärbar ist dies damit, dass *Lucilla sericata* und *Lucilla illustris* eher Leichen in der Sonne als im Schatten bevorzugen, hingegen *Calliphora vomitoria* und *Lucilla ampullacea* typische Besiedler schattig gelagerter Leichen, etwa wie in diesem Fall auf Waldlichtungen, sind. Auch entsprechen diese Schmeißfliegen dem eher ländlichen Habitat, wobei *Lucilla caesar* als charakteristisch für ländliche Grasgegenden und *Calliphora vomitoria* eher typisch für Waldgebiete sind.

Auffällig an der beobachteten Sukzession war des Weiteren, dass nach der Besiedlung der Schmeißfliegen keine andere Fliegenfamilie mehr Eier auf dem Kadaver ablegte. Ursache war wahrscheinlich die geringe Menge an für Maden essbarem Gewebe. Normalerweise ist ein ganzer Leichnam und nicht nur der Kopf eines Schweines vorhanden, wodurch auch Larven späterer Besiedlungswellen noch Nahrung finden.

Die beobachteten Käfer wie die Rothalsige Silphe wurden im Nachhinein von Entomologen der Website „www.kerbtier.de“ anhand von Fotos bestimmt. Ihr Auftreten fügte sich gut in das erwartete Sukzessionsmuster ein.

Generell kann man sagen, dass keinerlei gravierende Abweichungen von dem oben beschriebenen Sukzessionsmodell feststellbar waren, so dass der Versuch den natürlichen Ablauf einer Sukzession gut widerspiegelt.

2. Berechnung des PMI der Schweineköpfe

Exemplarisch wurde das PMI der Schweineköpfe anhand der Fliegenart *Calliphora vomitoria* berechnet. Da die Maden auch nach dem Absammeln im Freien gelagert waren, wurde zur Kalkulation die Tagesdurchschnittstemperatur einer nahen Wetterstation verwendet. Die am 5. August fertig zu Imagines entwickelten Fliegen benötigten eine Energieakkumulation von $K = 572 \text{ ADD}$ bei $t_u = 3^\circ\text{C}$ bis zum adulten Tier, was der Berechnung nach eine Eiablage am 15.07.2013 bedeutet hätte. Tatsächlich fand die Oviposition durch *Calliphora vomitoria* am 14.07.2013 statt.

Fehlerquellen bei dieser Abschätzung können ungenaue Temperaturdaten, die Verwendung von Durchschnittstemperaturen und eine fehlende Korrektur der Daten gemäß den Verhältnissen am Leichenliegeort sein. Auch kann die in großen Madenmassen entstehende Wärme Ungenauigkeiten erzeugen. [6, S.130ff]

Trotz dieser möglichen Ursachen für ein nicht ganz exaktes Ergebnis, stellt diese Berechnung doch eine gelungene Rekonstruktion der Leichenliegezeit dar und hätte in einem echten Kriminalfall zumindest eine grobe Orientierung für den Todeszeitpunkt bieten können. [4, S.209ff]

Datum	T _{Max}	T _{Min}	T _{Durchschnitt}	t _u	Temperaturdosis	ADD-Summe
05.08.2013	32,5	17,5	25,00	3	22,00	22,00
04.08.2013	30,5	18,0	24,25	3	21,25	43,25
03.08.2013	34,0	20,0	27,00	3	24,00	67,25
02.08.2013	36,0	17,0	26,50	3	23,50	90,75
01.08.2013	35,0	17,0	26,00	3	23,00	113,75
31.07.2013	28,0	20,0	24,00	3	21,00	134,75
30.07.2013	26,0	16,0	21,00	3	18,00	152,75
29.07.2013	25,5	20,0	22,75	3	19,75	172,50
28.07.2013	37,0	22,0	29,50	3	26,50	199,00
27.07.2013	38,0	20,0	29,00	3	26,00	225,00
26.07.2013	34,0	19,0	26,50	3	23,50	248,50
25.07.2013	31,0	18,5	24,75	3	21,75	270,25
24.07.2013	31,5	18,0	24,75	3	21,75	292,00
23.07.2013	32,5	17,5	25,00	3	22,00	314,00
22.07.2013	32,0	15,0	23,50	3	20,50	334,50
21.07.2013	30,5	18,0	24,25	3	21,25	355,75
20.07.2013	30,5	17,0	23,75	3	20,75	376,50
19.07.2013	31,0	18,0	24,50	3	21,50	398,00
18.07.2013	29,5	16,5	23,00	3	20,00	418,00
17.07.2013	30,0	13,5	21,75	3	18,75	436,75
16.07.2013	29,0	13,0	21,00	3	18,00	454,75
15.07.2013	27,0	16,0	21,50	3	18,50	473,25

Abb. 43: Berechnung des PMIs der Schweineköpfe anhand der Schmeißfliegenart *Calliphora vomitoria*
Durch Addition der täglichen Temperaturdosens (Differenz der Tagesdurchschnittstemperatur und der unteren Schwellentemperatur) versucht man den Tag zu rekonstruieren, bis zu dem die nötige Energiemenge, um das Ausgangsalter (hier: Schlupf) zu erreichen zugeführt wurde. Die Temperaturdosis für *Calliphora vomitoria* von K = 472 ADD wurde am 15.07. überschritten, folglich fand die Eiablage an diesem Tag statt.

H. Ausblick

Bei der Forensischen Entomologie handelt es sich um ein hochinteressantes Fachgebiet, das vor allem durch die Verbindung mehrerer verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen wie Entomologie, Ökologie, Molekularbiologie, Chemie und Kriminalistik einen besonderen Reiz bekommt. Als wissenschaftliche Methode kann sie dort wo klassische Mittel der Rechtsmedizin versagen, etwa bei der Todeszeitbestimmung bei Leichenliegezeiten über ein bis zwei Tagen, verlässliche und fundierte Hilfestellungen bei kriminalistischen Fallarbeiten bieten. Deshalb ist es umso verwunderlicher, dass sie in Deutschland bisher nur selten Anwendung findet. Das liegt zum einen an der Unwissenheit vieler Spurensicherungsteams über die Aussagekraft von Insekten als Beweismittel – oft werden versehentlich entsprechende Spuren nicht gesichtet oder schlicht vernichtet – zum anderen aber auch am Ekel der Beamten vor den leichenbesiedelnden Insekten und deren Larven. Außerdem gibt es heute in Deutschland nur sehr wenige Experten, die befugt sind entomologische Spuren brauchbar als Beweise auszuwerten. Ein Grund dafür ist die fehlende Regelung einer Ausbildung zum Forensischen Entomologen. Dadurch ist die Aneignung von Kenntnissen größtenteils im Alleingang zu bewältigen.

Ferner besteht in der noch sehr jungen Wissenschaft ein immenser Forschungsbedarf. Beispielsweise existieren bei weitem nicht für alle kriminalistisch relevanten Fliegenarten Referenzwerte. In Deutschland gibt es bis jetzt wenige Untersuchungen über die unterschiedlichen Ausprägungsformen der Sukzession in verschiedenen Habitaten und die Erforschung des Einflusses von Drogen auf die Insekten steckt noch in den Kinderschuhen.

Alles in allem hat sich die Forensische Entomologie aber zur Klärung kriminalistischer Fragestellungen als praktikable und verlässliche Methode bewährt und hat sich somit einen ebenbürtigen Platz im Instrumentarium der Rechtsmedizin verdient. [10, S.233; 29]

I. Danksagungen

Zunächst möchte ich mich bei Herr Dr. Frank Reckel vom LKA Bayern bedanken, da er mich bei der Bestimmung der Fliegen, bei dem Versuch allgemein sowie bei der Literaturrecherche unterstützt hat und mir bei Fragen immer zur Verfügung stand.

Mein Dank gilt auch Frau Dr. Kotrba von der Zoologischen Staatssammlung München für die Vermittlung des Kontakts zu Herr Dr. Reckel.

Des Weiteren bin ich Frau Renate Kreuzer zu Dank verpflichtet, da sie als Revierleiterin des Perlacher Forsts den Versuch zur Seminararbeit erst ermöglichte.

J. Glossar

ADD:	kurz für: accumulated degree days, Einheit der Temperaturtagesdosis, die für die Entwicklung eines Insekts bis zu einem bestimmten Alter aufgebracht werden müssen <i>Siehe F.I.1.</i>
ADH:	kurz für: accumulated degree hours, Einheit der Temperaturstundendosis, die für die Entwicklung eines Insekts bis zu einem bestimmten Alter aufgebracht werden müssen <i>Siehe F.I.1.</i>
Adipocire:	weißliche, cremig bis kaltharte Masse, die aus weichem Gewebe entsteht
Aerob:	den Luftsauerstoff benötigend
Anaerob:	den Luftsauerstoff nicht verwendend
Autolyse:	Selbstauflösung der Zellstruktur bei Zelltod <i>siehe E.I.1.</i>
Besucher:	hier: Ökologische Strategie; Leicheninsekten, die eine Leiche befallen, aber nicht mit ihr interagieren <i>siehe C.I.</i>
Coleopteren:	Käfer <i>siehe C.III.</i>
Dipteren:	Zweiflügler <i>siehe C.II.</i>
Entomologie:	Insektenkunde
Entomotoxikologie:	Lehre der Giftwirkung auf Insekten <i>siehe F.II.</i>
Fäulnis:	anaerobe, bakterielle Gewebszersetzung <i>siehe E.I.2.</i>
Habitat:	Lebensraum
Hymenopteren:	Hautflügler
Imago:	Plural: Imagines; erwachsenes, geschlechtsreifes Insekt
Larvalstadium:	Stadien der Larvenentwicklung
Lebenszyklus:	Ablauf der Entwicklung eines Lebewesens
Made:	Larve von einem Zweiflügler
Metamorphose:	Umwandlung einer Larve zum adulten Tier
Mumifizierung:	Austrocknung der Haut von Leichen bei warmer und trockener Lagerung <i>siehe E.I.4.</i>

Nekrophag:	Aas essend <i>siehe C.I.</i>
Nekrophil:	Aas besiedelnd <i>siehe C.I.</i>
Nomenklatur:	System von Namen und Fachbezeichnungen
Ökologie:	Lehre der Beziehungen zwischen Lebewesen und ihrer Umwelt
Omnivor:	Tierische und pflanzliche Nahrung essend <i>siehe C.I.</i>
Oviposition:	Eiablage
PIA:	kurz für: period of insect activity; Dauer der Insektenaktivität auf einem Kadaver <i>siehe C.II.1.</i>
PMI:	kurz für: post mortem intervall; minimale Leichenliegezeit
post-feed Stadium:	Abschnitt des 3.Larvalstadiums, das mit dem Abschluss der Nahrungsaufnahme beginnt <i>siehe C.II.1.</i>
Puparium:	Puppenhülle, in dem die Umwandlung von der Larve zum Imago vollzogen wird
Skelettierung:	vollständige Entfernung jeglichen Gewebes von den Knochen einer Leiche <i>siehe E.I.4.</i>
Sukzession:	Abfolge des Auftretens von Arten in einem sich verändernden Lebensraum <i>siehe E.</i>
Toxikologie:	Lehre der Giftwirkung auf Organismen
Verwesung:	aerobe, bakterielle Gewebezersetzung <i>siehe E.I.3.</i>

L. Literaturverzeichnis

Buchquellen:

- [1] Benecke, M.: Dem Täter auf der Spur. So arbeitet die moderne Kriminalbiologie, Bergisch Gladbach, Bastei Lübbe, 2006
- [2] Benecke, M.: Mordmethoden. Ermittlungen des bekanntesten Kriminalbiologen der Welt, Bergisch Gladbach, Bastei Lübbe, 2004
- [3] Bodach, R. / Lederer, M. / Voigt, F.: Forensische Entomologie. Leichenliegezeitbestimmung an Hand der Auswertung von Leicheninsekten am Beispiel einer Referenzverwesung im mitteleuropäischen Raum, 2009, Hochschule der Sächsischen Polizei (FH) [Diplomarbeit]
- [4] Byrd, J. H. / Castner, J.L.: Forensic Entomology. The Utility of Arthropods in Legal Investigations, Boca Raton, Taylor & Francis, 2010
- [5] Gennard, D.: Forensic Entomology. An Introduction, Chichester, John Wiley & Sons, 2007
- [6] Gennard, D.: Forensic Entomology. An Introduction, Chichester, John Wiley & Sons, 2012²
- [7] Herrmann, B. / Saturnus, K. (Hrsg.): Kriminalbiologie. Biologische Spurenkunde, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2007
- [8] Madea, B. (Hrsg.): Von den Maden zum Mörder. Die vielfältigen Ermittlungsmethoden der Rechtsmedizin, Leipzig, Militzke Verlag GmbH, 2010
- [9] Merck, M. D.: Veterinary Forensics. Animal Cruelty Investigations, Ames, John Wiley & Sons, 2013²

Zeitschriftenquellen:

- [10] Amendt, J. / Krettek, R. / Zehner, R.: Insekten auf Leichen. Forensische Entomologie. In: Biologie In Unserer Zeit, 4 (2005), S. 232 – 240
- [11] Bösche-Teuber, R.: Fliegen – stumme Zeugen. In: Unterricht Biologie, 246 (1999), S. 43 – 46

Internetquellen:

- [12] Forensic Entomology. www.csifanwiki.com/page/Forensic+Entomology [29.10.13]
- [13] Autolyse. flexikon.doccheck.com/de/Autolyse [29.09.13]
- [14] Fäulnis. flexikon.doccheck.com/de/F%C3%A4ulnis [29.09.13]
- [15] Leichenfäulnis. flexikon.doccheck.com/de/Leichenf%C3%A4ulnis [29.09.13]
- [16] Verwesung. flexikon.doccheck.com/de/Verwesung [29.09.13]

- [17] The Lydney Murder www.heinonline.org/HOL/LandingPage?collection=journals&handle=hein.journals/policejl41&div=86&id=&page= [29.09.13]
- [18] An Early of Forensic Entomology. insects.about.com/od/forensicentomology/p/early_forensic_ento_history.htm [29.10.13]
- [19] Käfer (Coleoptera). www.insektenbox.de/fibel/hol/kaefer.htm [29.09.13]
- [20] Zweiflügler (Diptera). www.insektenbox.de/fibel/hol/zweifl.htm [10.09.13]
- [21] Echte Fliegen (Muscidae). www.insektenbox.de/fibel/hol/zweifl/echte.htm [12.09.13]
- [22] Schmeißfliegen (Calliphoridae). www.insektenbox.de/fibel/hol/zweifl/schmei.htm [10.09.13]
- [23] Gemeiner Totengräber. www.insektenbox.de/kaefer/getotg.htm [31.10.13]
- [24] Rothalsige Silphe. www.insektenbox.de/kaefer/rotsil.htm [08.10.13]
- [25] Schwarzhörniger Totengräber. www.insektenbox.de/kaefer/schwto.htm [08.10.13]
- [26] Carl von Linné. www.merke.ch/biografien/biologen/linne.php [29.10.13]
- [27] Francesco Redi. www.merke.ch/biografien/biologen/redi.php [29.10.13]
- [28] Jean-Pierre Megnin. rcvsknowledgelibraryblog.org/2012/10/19/jean-pierre-megnin-skilled-illustrator-and-pioneering-forensic-entomologist/ [29.10.13]
- [29] Mit Maden auf Mördersuche. www.welt.de/vermischtes/article111748932/Mit-der-Made-auf-Moerdersuche.html [29.10]
- [30] Crime Museum UK: The Lydney Murder. youtube.com/watch?v=f_0zJUoBUd4&list=PLQhxj_9hz7ACQke0SW8aRSMYbLki71w1s [29.09.13]
- [31] Buckelfliege. www.tierdoku.com/images/Buckelfliege-Phoridae-1420.jpg [06.11.13]
- [32] Käsefliege. www.diptera.info/forum/attachments/piophilidae.jpg [06.11.13]
- [33] Stutzkäfer. www.coleo.de/2009/Mueller/Bild_12_Margarinotus_obscurus_800.jpg [06.11.13]
- [34] img.fotocommunity.com/Insekten/Fliegen-Muecken-Schnaken/Schmeissfliege-a19362926.jpg [08.11.13]

M. Abbildungsverzeichnis

Titelbild: Schmeißfliege [34].....	1
Abb. 1: Spätmittelalterliche Grabplatte mit madenbefallener Leiche [1, S.81].....	5
Abb. 2: Titelseite von Mégnins "La faune des cadavres"[1, S.87]	7
Abb. 3: Lebenszyklus nekrophager Fliegen [3, S.86]	10
Abb. 4: Entwicklung der Schmeißfliege <i>Protophormia terraenovae</i> bei verschiedenen Umgebungstemperaturen [3, S.97].....	11
Abb. 5: <i>Lucilla sericata</i> [3, S.63]	11
Abb. 6: Fleischfliege [5, S.228]	12
Abb. 7: <i>Musca domestica</i> [3, S.67]	12
Abb. 8: Buckelfliege [31].....	13
Abb. 9: Käsefliege [32].....	13
Abb. 10: Kurzflügler [3, S.79].....	14
Abb. 11: Gemeiner Totengräber [23]	14
Abb. 12: Stutzkäfer [33].....	14
Abb. 13: Geschlechtsunterscheidung bei Fliegen [Vom Verfasser aufgenommen].....	16
Abb. 14: Mundwerkzeug von Maden der Art <i>Calliphora vomitoria</i> [3, S.103 (vom Verfasser nachbearbeitet)].....	16
Abb. 15: Vergleich von DNA-Sequenzen [3, S.111]	17
Abb. 16: Bekleidete Schweineleiche im frischtoten Zustand [3, S.126].....	18
Abb. 17: Schwein im gasgeblähten Zustand [3, S.129]	19
Abb. 18: Verwesendes Schwein mit starkem Madenbefall [3, S.132]	19
Abb. 19: Deutlicher Rückgang des Madenbefalls [3, S.133]	20
Abb. 20: Skelettiertes Schwein [3, S.133].....	20

Abb. 21: Verhältnis zwischen Temperatur und Entwicklung bei Fliegen [3, S.91]	22
Abb. 22: Entwicklungsdiagramm mit Wärmekonstante K (entspricht ADD) und unterer Schwellentemperatur t_u [3, S.92 (vom Verfasser nachbearbeitet)]	23
Abb. 23: Temperaturdosen für verschiedener Fliegenarten (K entspricht ADD) [3, S.93 (vom Verfasser nachbearbeitet)]	24
Abb. 24: Sukzessionsschema für die Imagines verschiedener Coleopteren und Dipteren [4, S.11 (vom Verfasser nachbearbeitet)]	25
Abb. 25: Versuchsaufbau [Vom Verfasser aufgenommen]	28
Abb. 26: Schmeißfliegen bei der Eiablage am Stupf eines Schweinekopfes [Vom Verfasser aufgenommen]	28
Abb. 27: Geschmeiß am Stumpf eines Kopfes [Vom Verfasser aufgenommen]	29
Abb. 28: Schweineköpfe an Tag 2 gegen 16:30 Uhr [Vom Verfasser aufgenommen]	29
Abb. 29: Schweineköpfe an Tag 3 gegen 16:00 Uhr [Vom Verfasser aufgenommen]	30
Abb. 30: Schweineköpfe an Tag 4 gegen 12:00 Uhr [Vom Verfasser aufgenommen]	31
Abb. 31: <i>Calliphora vomitoria</i> (wahrscheinlich) bei der Eiablage [Vom Verfasser aufgenommen]	31
Abb. 32: Schweineköpfe an Tag 6 gegen 17:45 [Vom Verfasser aufgenommen]	32
Abb. 33: Zuchtgefäß mit Kleintierstreu und Hackfleisch [Vom Verfasser aufgenommen]	32
Abb. 34: Schweineköpfe an Tag 7 um 13:45 Uhr [Vom Verfasser aufgenommen]	33
Abb. 35: Schweineköpfe an Tag 12 gegen 15:00 Uhr [Vom Verfasser aufgenommen]	34
Abb. 36: Schweineköpfe an Tag 30 um 19:30 Uhr [Vom Verfasser aufgenommen]	35
Abb. 37: <i>Necrophorus vespilloides</i> und Nacktschnecke auf dem linken Schweinekopf [Vom Verfasser aufgenommen]	35
Abb. 38: <i>Oiceoptoma thoracica</i> auf dem rechten Scheinekopf [Vom Verfasser aufgenommen]	35
Abb. 39: Genadelte Fliegen [Vom Verfasser aufgenommen]	36
Abb. 40: Schweineköpfe an Tag 34 gegen 11:30 Uhr [Vom Verfasser aufgenommen]	36

Abb. 41: Schweineköpfe an Tag 39 gegen 15:00 Uhr [Vom Verfasser aufgenommen].....	37
Abb. 42: Anzahl der gesammelten Vertreter der einzelnen Fliegenarten [Vom Verfasser erstellt]	38
Abb. 43: Berechnung des PMIs der Schweineköpfe anhand der Schmeißfliegenart <i>Calliphora vomitoria</i> [Vom Verfasser erstellt]	40

N. Erklärung

Erklärung:

Die/Der Unterzeichnete versichert, dass sie/er die vorliegende Seminararbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die von ihr/ihm angegebenen Hilfsmittel benutzt hat. Die Stellen der Arbeit, die anderen Werken dem Wortlaut oder dem Sinne nach entnommen sind, wurden in jedem Fall unter Angabe der Quellen (einschließlich des World Wide Web und anderer elektronischer Text- und Datensammlungen) kenntlich gemacht. Dies gilt auch für beigegebene Zeichnungen, bildliche Darstellungen, Skizzen und dergleichen.

Ort, Datum

Unterschrift