

BEOBACHTUNGSSTUDIE AN HÄNGENDEN
SCHWEINEKADAVERN IN THÜRINGEN ZUR
ERFORSCHUNG DER VERWESUNGSPROZESSE UND DER
BESIEDLUNG MIT FORENSISCH RELEVANTEN INSEKTEN

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades

doctor medicinae (Dr. med.)

**vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Schiller-Universität Jena**

von Tabea Neulinger

geboren am 20.10.1994 in Regensburg

Gutachter:

- 1. Univ.-Prof. Dr. Gita Mall, Jena**
- 2. Prof. Dr. Rolf Georg Beutel, Jena**
- 3. Prof. Dr. med. habil. Britta Bockhold, Greifswald**

Tag der öffentlichen Verteidigung: 04.05.2021

Inhalt

1	Abkürzungsverzeichnis	5
2	Zusammenfassung.....	6
3	Einleitung	8
3.1	Forensische Entomologie	8
3.2	Entwicklungszyklus von Fliegen	10
3.3	Aktueller Forschungsstand	11
3.3.1	Einflussfaktoren auf den Verwesungsprozess und die Insektensukzession.....	11
3.3.2	Erhängen	12
3.3.3	Ausblick.....	16
4	Ziele der Arbeit.....	17
5	Material und Methoden	18
5.1	Versuchsaufbau.....	18
5.2	Versuchsdokumentation	19
5.3	Bestimmung der Insekten.....	21
5.4	Ermittlung der kumulierten Tagesgrade.....	21
5.5	TBS ^{Hang} nach Lynch-Aird et al. (2015).....	23
6	Beobachtungen.....	25
6.1	Temperatur, kumulierte Tagesgrade und Niederschlag.....	25
6.2	Verwesung	27
6.2.1	Versuchsreihe 1	27
6.2.2	Versuchsreihe 2	32
6.3	TBS ^{Hang}	44
6.3.1	TBS ^{Hang} 1A.....	44
6.3.2	TBS ^{Hang} 1B.....	45
6.3.3	TBS ^{Hang} 2A.....	46
6.3.4	TBS ^{Hang} 2B.....	47
6.3.5	Vergleich des TBS ^{Hang} _{gesamt} der vier Schweine.....	48
6.4	Insekten.....	50
6.4.1	Eiablage.....	50
6.4.2	Maden.....	50
6.4.3	Schmeißfliegensukzession.....	54
6.4.4	Fliegensukzession und Käfer.....	57
7	Diskussion.....	63

7.1	Verwesung	63
7.1.1	Verwesung unter Berücksichtigung des TBS^{Hang}_{Kopf}	63
7.1.2	Verwesung unter Berücksichtigung des TBS^{Hang}_{Rumpf}	65
7.1.3	Verwesung unter Berücksichtigung des $TBS^{Hang}_{Extremitäten}$	67
7.1.4	Verwesung unter Berücksichtigung des TBS^{Hang}_{gesamt}	67
7.2	Kritik am Punktevergabesystem nach Lynch-Aird et al. (2015)	70
7.3	Insekten.....	72
7.3.1	Eiablage.....	72
7.3.2	Maden.....	72
7.3.3	Schmeißfliegensukzession.....	75
7.3.4	Fliegensukzession	80
7.3.5	Käfer	83
8	Schlussfolgerungen.....	87
9	Literaturverzeichnis	90
10	Anhang.....	94
10.1	Tabellen- und Abbildungsverzeichnis.....	94
10.2	Ehrenwörtliche Erklärung	97
10.3	Danksagung	98

1 Abkürzungsverzeichnis

ADD	- Accumulated Degree Days
g	- Gramm
GPS	- Globales Positionsbestimmungssystem
KG	- Körpergewicht
LS	- Larvenstadium
m	- Meter
max	- maximal
mg	- Milligramm
min	- minimal
ml	- Milliliter
PMI	- Postmortales Intervall
TBS	- Total Body Score
TBS ^{Hang}	- Hanging Body Score
TBS ^{Hang} _{Extremitäten}	- Hanging Body Score der Extremitäten
TBS ^{Hang} _{gesamt}	- gesamter Hanging Body Score
TBS ^{Hang} _{Kopf}	- Hanging Body Score des Kopfes
TBS ^{Hang} _{Rumpf}	- Hanging Body Score des Rumpfs
Temp	- Temperatur
VR	- Versuchsreihe

2 Zusammenfassung

Erhängen ist schon über viele Jahre hinweg in allen Altersgruppen (Wollner et al. 2015) die häufigste Suizidform (Doberentz et al. 2013, Wu Y 2020, Jarmusz et al. 2020). Dies gilt auch konkret für Deutschland (Bundesamt 2017). Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um die erste Beobachtungsstudie in Deutschland, die diesen Todesumstand hinsichtlich der Verwesung und Insektensukzession an Schweinekadavern untersucht.

Es wurden insgesamt 4 tote, weibliche Schweine (*Sus scrofa*) in zwei Versuchsreihen (VR) zu je zwei Schweinen im Tautenburger Wald in Thüringen am Hals aufgehangen. Die Versuchsreihen umfassen eine Dauer von je 27 Versuchstagen mit zwei weiteren Dokumentationstagen im wöchentlichen Abstand bei VR 2. Jede Versuchsreihe wurde täglich fotografisch und schriftlich dokumentiert, um Verwesungsgrade nach dem System von Lynch-Aird et al. (2015) zu bestimmen. Außerdem wurden täglich Insekten und Larven von den Kadavern gesammelt, asserviert und bestimmt.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird der Verlauf der Verwesung aller vier Schweine beschrieben sowie Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den Versuchsreihen, aber auch innerhalb der jeweiligen Versuchsreihe herausgearbeitet und interpretiert. Die jeweiligen Verwesungsgrade werden in Abhängigkeit von Zeit und kumulierten Tagesgraden beschrieben, verglichen und interpretiert. Es konnte gezeigt werden, dass die Lage des Knotens am Hals Einfluss auf den Verwesungsprozess nehmen kann. Eine Eröffnung der Bauchhöhle kann sich entscheidend auf den Verlauf des Verwesungsprozesses in allen Körperregionen auswirken. Bodenkontakt des hängenden Kadavers kann sowohl Auswirkungen auf den Verwesungsprozess, als auch auf die Zugänglichkeit für Maden haben.

Es konnte die Theorie von Megyesi et al. (2005) und Lynch-Aird et al. (2015) in einigen Punkten unterstützt werden, dass die Verwesung in unterschiedlichen Körperregionen unterschiedlich schnell und auch auf unterschiedliche Art und Weise abläuft. Bezüglich des Punktevergabesystems nach Lynch-Aird et al. (2015) konnten einige Schwachstellen aufgezeigt werden.

Das Eiablagemuster von Fliegen sowie das Auftreten der jeweiligen Larvenstadien wurden erfasst und analysiert. Verschiedene Larvenstadien konnten im Rahmen dieser Arbeit auf bestimmte Spannen von Tagesgraden projiziert werden, was zur

Eingrenzung des postmortalen Intervalls von Nutzen sein kann. Diesbezüglich erwies sich die Betrachtung der Larvenstadien in Abhängigkeit der kumulierten Tagesgrade gegenüber der bloßen Berücksichtigung der vergangenen Zeit als überlegen.

Es wurde für die vier Schweine je ein Insektensukzessionsmuster erstellt und unter Berücksichtigung von Umweltbedingungen und Verwesungsgraden mit Schwerpunkt auf die Schmeißfliegensukzession interpretiert. Insgesamt konnten 9 Fliegenfamilien - hiervon 9 unterschiedliche Schmeißfliegenarten - und 15 Käferarten sowie die Umstände ihres Auftretens dokumentiert und mit bereits bestehenden Arbeiten verglichen werden.

Bei der Untersuchung der Schmeißfliegensukzession zeigte sich eine feste Reihenfolge, in der die Schmeißfliegen auftraten: *Lucilia caesar* erschien jeweils als erste Schmeißfliege auf dem jeweiligen Kadaver, gefolgt von *Calliphora vomitoria* und *Chrysomia albiceps*. Diese stabile Reihenfolge könnte im Rahmen einer PMI-Ermittlung von Nutzen sein. *Chrysomia albiceps* wird in dieser Arbeit erstmals für Thüringen beschrieben.

3 Einleitung

3.1 Forensische Entomologie

Unter dem Begriff der *Forensischen Entomologie* versteht man die Bewertung insektenkundlicher Beweise im Zuge kriminalistischer Ermittlungen (Amendt 2013, Byrd 2001). Die Forensische Entomologie stützt sich auf die Annahme, dass die Insektenbesiedelung von Leichen kurz nach dem Tod eintritt (Shalaby et al. 2000, Sukchit et al. 2015, Grassberger et al. 2003, Rodriguez 1982). In diesem Fachgebiet werden anhand von Entwicklungsstadien und Artenzusammensetzung von Insekten, die eine Leiche besiedeln, Rückschlüsse auf die Liegezeit im späten postmortalen Intervall gezogen (Keil und Keil 2014, Szelecz et al. 2018). Der Ausdruck *postmortales Intervall (PMI)* umfasst den Zeitraum zwischen Tod und Auffinden des Körpers (Carvalho et al. 2000). Forensische Untersuchungen liefern hierbei Informationen darüber, wo, wann und unter welchen Umständen eine Person gestorben ist (Amendt et al. 2007). In den ersten 72h nach Eintritt des Todes sind meist klinische Befunde, wie die Ausprägung der Totenstarre, Körpertemperatur oder Umlagerbarkeit von Totenflecken hinweisgebend für die Leichenliegezeit (Mall et al. 2005, Hubig et al. 2015, Gennard 2007). Nach dieser Zeitspanne ist es meist nötig insektenkundliche Beweise mit einzubeziehen (Jarmusz et al. 2020). Mit zunehmender Länge des PMI steigt auch die Schwierigkeit dieses Intervall zeitlich einzugrenzen (Klotzbach et al. 2004). Die Methoden zur Eingrenzung des späten postmortalen Intervalls, die in der Forensischen Entomologie entwickelt wurden, zählen zu den besten, die die Forensik zu bieten hat (Matuszewski et al. 2010).

Insekten mit forensischer Relevanz sind in adulter Form sowie in ihren Larvenstadien und in Form von Eiern auf Kadavern zu finden (Carvalho et al. 2000). Die Larven tragen nicht nur durch den Fraß von totem Gewebe entscheidend zu Abbau und Zersetzung abgestorbenen Materials bei. Sie scheiden auch Enzyme aus, die zur Verflüssigung von Leichengewebe führen und folglich den Zersetzungsprozess beeinflussen (Amendt 2013). Die Geschwindigkeit und der Ablauf der insekteninduzierten Zersetzung wird von einer Vielzahl an Faktoren beeinflusst, unter anderem von Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Regen (Shalaby et al. 2000).

Der Begriff *Verwesung* beschreibt jene Prozesse, die nach Eintritt des Todes zum Abbau des Kadavers führen und kann in verschiedene Phasen unterteilt werden. Zunächst beginnt die *Autolyse*, während der Zellen von körpereigenen Enzymen wie

Lipasen und Proteasen zerstört werden. Es folgt die durch Bakterien verursachte *Fäulnis*, durch welche Gase freigesetzt und Proteine in Fettsäuren umgewandelt werden. Daneben läuft eine anaerobe Fermentierung ab, bei der die volatilen Carbonsäuren Propansäure und Butansäure entstehen. Sobald die Weichteile vollständig abgebaut sind, werden die Knochen durch Umwelteinwirkungen zersetzt und schließlich zu Bestandteilen des Untergrunds. Die Geschwindigkeit der genannten Prozesse ist temperaturabhängig (Gennard 2007).

Obwohl das Wort *Entomologie* (Insektenkunde) per definitionem nur Insekten beinhaltet, werden in der Praxis gegebenenfalls auch andere Gliedertiere, die auf den Leichen aufgefunden werden, berücksichtigt. Beispiele hierfür stellen Spinnen und Milben dar. Diese wurden deshalb auch in die vorliegende Arbeit mit aufgenommen. Laut aktuellem Forschungsstand kennt die Wissenschaft über 188 Fliegenfamilien, wobei davon im Wesentlichen acht forensisch relevant sind, das heißt, sie besiedeln Leichen und können zu wissenschaftlichen Zwecken untersucht werden. Hierbei handelt es sich um die Familie der *Calliphoridae* (Schmeißfliegen), *Muscidae* (Echte Fliegen), *Fanniidae* (Latrinenfliegen), *Sarcophagidae* (Fleischfliegen), *Phoridae* (Buckelfliegen), *Drosophilae* (Fruchtliegen), *Piophilidae* (Käsefliegen) und *Sepsidae* (Schwingfliegen) (Amendt 2013).

Mit dem Begriff *Sukzession* wird in der vorliegenden Arbeit die zeitliche Abfolge einzelner Tiergruppen beschrieben, wie sie am Leichnam zu finden sind. Bereits 1894 wurde von Mégnin die Theorie der zeitlich aufeinanderfolgenden Wellen von Leichenbesiedlern in Form von Insekten aufgestellt und setzte damit einen Meilenstein der Forensischen Entomologie (Klotzbach et al. 2004, Mégnin 1894). Obwohl die Verwesung ein kontinuierlicher Prozess ist, können unterschiedliche Verwesungsstadien voneinander abgegrenzt werden, welche mit der Sukzession bestimmter Insektengruppen in Verbindung gesetzt werden können. Weiß man, in welchen Stadien welche Insekten den Kadaver besiedeln, können diese zur Ermittlung des postmortalen Intervalls und einer groben Einschätzung der Leichenliegezeit benutzt werden. Um allerdings eine PMI-Bestimmung mittels der Sukzessionsmethode durchzuführen, sind passende Sukzessionsmodelle zum Vergleich von Nöten (Amendt 2013, Sukchit et al. 2015). Außerdem werden Kenntnisse über das Vorkommen lokaler Insekten benötigt, deren jahreszeitliche Abfolge und die Zeit, in der bestimmte

Entwicklungsstadien forensisch relevanter Insekten auf Kadavern zu finden sind (Matuszewski et al. 2010).

3.2 Entwicklungszyklus von Fliegen

Der Lebenszyklus einer Fliege beginnt mit der Eiablage durch ein erwachsenes Fliegenweibchen. Fliegeneier reagieren sehr empfindlich auf Trockenheit. Daher bevorzugen diese Insekten eine Eiablage in feuchteren Körperarealen wie Augen, Mund und Nasenöffnung. Ein weiterer Vorteil dieser natürlicher Körperöffnungen liegt in der besseren Passierbarkeit für die frisch geschlüpften Maden, denn die Schleimhäute sind für die Maden leichter zu durchdringen als die derbe Oberhaut (Amendt 2013).

Nach dem Ei umfasst der nächste Schritt im Entwicklungszyklus die Larvenstadien, welche man in das erste (LS 1), zweite (LS 2) bzw. dritte (LS 3) Larvenstadium unterteilt. Um das jeweilige Larvenstadium zu bestimmen, kann die Anzahl der Atemöffnungen, der sogenannten *Stigmen* untersucht werden. Auch in der Größe unterscheiden sich die Stadien, wobei das erste das kleinste und das dritte das größte darstellt. Das Wachstum der Larven hängt maßgeblich von der Umgebungstemperatur ab, da sie wechselwarm sind und ihre Körpertemperatur nicht eigenständig konstant halten können. Da biochemische und physiologische Prozesse, welche die Grundlage des Wachstums darstellen temperaturabhängig sind, laufen Entwicklungsprozesse je nach Körpertemperatur schneller oder langsamer ab. Auch Menge und Qualität der vorhandenen Nahrung beeinflussen das Wachstum. Aus diesem Grund variiert die Entwicklungsgeschwindigkeit deshalb oft stark, weshalb es schwer ist, allein von der Größe einer Larve und vor Bestimmung der Art auf das Alter zu schließen. Im Laufe des dritten Larvenstadiums stellen die Larven die Nahrungsaufnahme ein und beginnen mit der sogenannten Migration. Das heißt, sie verlassen den Kadaver, um einen kühlen, dunklen Ort für die Verpuppung zu finden. Während der Verpuppung verhärtet sich die Haut der Larven und verfärbt sich dunkel. Im Inneren erfolgt die Reifung zur adulten Fliege (Gennard 2007, Byrd 2001).

Als letzter Schritt im Lebenszyklus, schlüpft die erwachsene Fliege aus dem Puparium. Wie schnell sich ein Insekt entwickelt, ist stark temperaturabhängig, was bei der Ermittlung des postmortalen Intervalls berücksichtigt werden muss (Gennard 2007).

3.3 Aktueller Forschungsstand

Bereits seit 1894 wird Insekten auf Kadavern Beachtung geschenkt und deren Einfluss auf die Zersetzung erforscht (Mégnin 1894). Diese Untersuchungen fanden in der anthropologischen Forschungseinrichtung der Universität von Tennessee erstmals an menschlichen Leichen statt, die erste und damals einzige Institution dieser Art, in der an kürzlich verstorbenen Menschen unter verschiedenen nachgestellten Todesumständen geforscht werden konnte (Rodriguez und Bass 1983). Dieses Forschungsinstitut hat maßgeblich dazu beigetragen, auch Schweinekadaver an Stelle von Menschenleichen in Studien über Verwesung und Insektenbesiedelung zu verwenden, da sich die positive Korrelation in der PMI-Ermittlung als verlässlich erwiesen hat (Heo et al. 2007, Schoenly et al. 2007). Aus ethischen Gründen ist es in Europa derzeit schwierig, derartige Versuche an menschlichen Leichen durchzuführen (Gennard 2007). In verschiedenen Beobachtungsstudien und unter unterschiedlichen Bedingungen wurde daher die Verwesung beziehungsweise Insektenbesiedelung an Schweinen untersucht, da Schweine eine vergleichbare innere Anatomie, Fettverteilung, Brusthöhle, omnivores Fressverhalten und Körperbehaarung aufweisen (Schoenly et al. 2007). Es konnte in Versuchen gezeigt werden, dass die Präferenzen forensisch relevanter Insekten für Menschen und Schweine sich nur gering unterscheiden. Aus diesen Gründen eignen sich Schweine sehr gut als Tiermodell für wissenschaftliche Zwecke und wurden folglich auch in der vorliegenden Arbeit als Analogon für eine menschliche Leiche verwendet (Gennard 2007, Schoenly et al. 2007).

3.3.1 Einflussfaktoren auf den Verwesungsprozess und die Insektensukzession

Es wurden bereits verschiedene Faktoren untersucht, die Einfluss auf den Verwesungsprozess oder die Insektenbesiedelung nehmen können. Einerseits wurden diesbezüglich äußere Umstände wie zum Beispiel die Jahreszeiten (Watson und Carlton 2005, Matuszewski et al. 2010), Sonne und Schatten (Sharanowski et al. 2008, Anton et al. 2011) und Temperaturschwankungen (Niederegger et al. 2010) betrachtet, andererseits auch Faktoren, die den Kadaver selbst bzw. seine Auffindesituation betreffen: Größe des Kadavers (Simmons et al. 2010a), Geschlecht (Lynch-Aird et al. 2015), Bekleidung (Voss et al. 2011, Lynch-Aird et al. 2015, Sukchit et al. 2015), Entkleidung (Voss et al. 2011), Einwicklung (Kelly et al. 2009), Verletzungen (Cross und Simmons 2010, Niederegger et al. 2016), Aufhängen

(Sukchit et al. 2015, Shalaby et al. 2000, Lynch-Aird et al. 2015, Jarmusz et al. 2020, Heo et al. 2010), Kontakt zum Boden (Lynch-Aird et al. 2015, Shalaby et al. 2000), Vergraben (Niederegger et al. 2015) und Liegen in einem Wasserbecken (Heo et al. 2008).

Studien, die verschiedene Jahreszeiten umfassen, zeigen eine deutliche Korrelation zwischen der Temperatur und der Insektenaktivität sowie der Insektenaktivität und der Verwesungsrate: In kalten Monaten ist also die Leichenbesiedelung durch Insekten sehr gering und folglich schreitet die Verwesung nur langsam voran. Wenn es heiß ist, gibt es viele Insekten, die den Körper schnell zersetzen. Außerdem beobachten Matuszewski et al. (2008) einen saisonalen Wechsel der Gewebsverwerter. Er folgert daraus, dass saisonale Unterschiede der Verwesung nicht nur von dem Temperaturwechsel selbst, sondern dem Wechsel der Verwerter abhängen könnte (Rodriguez 1982, Sukchit et al. 2015, Watson und Carlton 2005, Voss et al. 2011, Matuszewski et al. 2008).

Die Verwesungsversuche zu verschiedenen äußeren und inneren Einflussfaktoren werden in der Regel an liegenden Schweinen durchgeführt. Bisherige Studien an hängenden Schweinen haben gezeigt, dass diese außergewöhnliche Anfangssituation einen wichtigen Einfluss auf die Verwesungsgeschwindigkeit und die Insektenbesiedelung hat.

3.3.2 Erhängen

3.3.2.1 Allgemeines

Erhängen ist schon über viele Jahre hinweg in allen Altersgruppen (Wollner et al. 2015) die häufigste Suizidform (Doberentz et al. 2013, Wu Y 2020, Jarmusz et al. 2020). Dies gilt auch konkret für Deutschland (Bundesamt 2017). Dennoch gibt es erst wenige Studien, die ihr Augenmerk auf den Verwesungsprozess und die Insektenbesiedelung am Erhängten legen (Shalaby et al. 2000). Tod durch Erhängen kann sowohl in Räumlichkeiten als auch in der Natur beobachtet werden. Aufgrund ihrer guten Verfügbarkeit werden in natürlicher Umgebung oft Bäume zur Aufhängung verwendet, weshalb Erhängte häufig in bewaldeten Gebieten vorgefunden werden (Jarmusz und Bajerlein 2019). Während Leichen beispielsweise in Wohnungen meist schneller gefunden werden, vergeht in der Natur oft ein längerer Zeitraum. Im Rahmen der PMI-

Ermittlung sind Untersucher folglich meist mit weiter vorangeschrittenen Verwesungsstadien konfrontiert (Heo et al. 2007, Lynch-Aird et al. 2015).

3.3.2.2 Bisherige Studien

In sechs Ländern sind Studien durchgeführt worden, die die Verwesung und/oder Insektenbesiedelung hängender Schweine untersuchten. Nur drei davon fanden in Europa und bisher keine in Deutschland statt.

1997 wurde in Hawaii (Shalaby et al. 2000) erstmals eine 2-monatige Studie von Oktober bis Dezember durchgeführt, die das Verwesungsmuster und die Insektenbesiedelung von einem hängenden Schwein (9,2 kg) mit einem auf dem Boden liegenden Schwein (10,7 kg) verglich. Ergebnis dieser Studie war, dass der hängende Kadaver signifikant langsamer an Masse verlor. Die Verwesung lief langsamer ab und die einzelnen Verwesungsstadien waren im Vergleich zum Liegenden länger. In jener Studie wurde auch die Temperatur innerhalb der Kadaver in Mund, Abdomen und Anus gemessen. Während diese bei den frühen Verwesungsstadien beim liegenden Schwein über der Außentemperatur lagen, entsprachen sich die Innen- und Außentemperaturen bei dem hängenden Schwein. In dieser Studie wurde beobachtet, dass abgefallene Maden wieder auf das liegende Schwein zurückkriechen konnten, während für abgefallene Maden des hängenden Schweines dieses nun unerreichbar war (Shalaby et al. 2000). Es ist bekannt, dass Maden durch ihre Aktivität auf Kadavern Wärme erzeugen, welche auch den Verwesungsprozess vorantreibt (Simmons et al. 2010b). Ohne diese wärmegenerierenden Madenmassen kühlte das hängende Schwein wohl schneller aus und der Körper konnte weniger schnell zersetzt werden.

Die Untersuchung der Fliegenarten ergab, dass die Anzahl und Artenvielfalt bei dem liegenden Schwein deutlich größer waren. Die Sukzession, also Reihenfolge der Besiedelung, wurde nicht untersucht (Shalaby et al. 2000).

Im September 2007 wurde in Malaysia (Heo et al. 2010) in einer Plantage von Ölpalmen ein einzelnes totes Schwein an einer Palme aufgehangen und über 16 Tage hinweg beobachtet. Der Fokus dieser Studie lag sowohl auf der Verwesung als auch auf der Insektenbesiedelung. Im Vergleich zu einer weiteren Studie von Heo et al. (2007) am gleichen Ort konnte ebenfalls festgestellt werden, dass die Verwesung des hängenden Schweines langsamer von statten geht, als die eines liegenden Schweines. Auch in dieser Studie wird die These aufgestellt, dass ein verlangsamerter

Verwesungsprozess durch das Abfallen von Maden begründet sein könnte oder durch die schlechtere Zugänglichkeit durch Käfer. Außerdem wurden Ameisen auf dem hängenden Schwein gesichtet. Diese könnten durch räuberisches Verhalten an Maden deren Zahl reduziert und dadurch die Zersetzungsgeschwindigkeit negativ beeinflusst haben (Heo et al. 2010, Heo et al. 2007).

Eine englische Fall-Kontroll-Studie (Lynch-Aird et al. 2015), die ebenfalls Schweine als menschliche Analoga verwendete, wurde 2015 publiziert. Zehn tote Schweine wurden im Sommer aufgehängt, als Kontrollgruppe gleichzeitig zehn auf den Boden gelegt. Auch in dieser Studie war der Verwesungsgrad zwischen hängenden und liegenden Schweinen signifikant unterschiedlich. Die hängenden Schweine verwesten anfänglich langsamer, erreichten aber späte Verwesungsstadien früher als die liegenden Schweine. Es wurde hier angenommen, dass diese Verzögerung zurückzuführen ist auf eine geringere Anzahl und Vielfalt von Insekten, begründet durch schlechteren Zugang für Käfer und das Abfallen von Maden. Die liegenden Schweine waren nach Regenfällen stark durchnässt und wirkten dadurch im weiteren Verlauf der Studie frischer als die hängenden Schweine. Außerdem wurde die Theorie aufgestellt, dass die hängenden Schweine im Vergleich zu den liegenden mit einer größeren Oberfläche dem Wind ausgesetzt waren, was mit einer größeren Wahrscheinlichkeit zur Mumifizierung und damit zum Austrocknen des Kadavers führt. Ab der Mumifizierung nimmt die Verwesungsgeschwindigkeit deutlich ab. Als weitere interessante Beobachtung wurde festgestellt, dass die weiblichen hängenden Schweine signifikant langsamer an Masse verloren, als die männlichen. Auf Grundlage des für liegende Schweine entwickelten *Total Body Scores* (TBS) nach Megyesi et al. (2005) wurde im Rahmen der Studie von Lynch-Aird et al. (2015) mit der *Hanging Body Score Scale* ein neues, extra für Erhängen konzipiertes Bewertungssystem des Verwesungsgrads entwickelt.

Ebenfalls 2015 wurde eine Studie in Thailand (Sukchit et al. 2015) zu hängenden, bekleideten Schweinen publiziert. Durchgeführt wurde sie an sechs Schweinen (20-21 kg) in Nordthailand zwischen Mai 2010 und August 2011, um die dortigen drei Jahreszeiten – Monsun, Sommer und Winter – abzubilden und zu vergleichen. Außerdem wurden für die Studie zwei unterschiedliche, etwa 46 km Luftlinie voneinander entfernt liegenden Orte gewählt. Untersucht wurden hier sowohl der Verwesungsprozess als auch die Insektensukzession. In dieser Studie zeigten sich

deutliche Unterschiede zwischen den jeweiligen Jahreszeiten, was die Bedeutung von Temperatur und Wetterbedingungen unterstreicht. Zu allen drei Jahreszeiten kristallisierten sich die *Diptera* als vorherrschende Besiedler heraus und waren auch die ersten Leichenbesiedler (Sukchit et al. 2015).

Eine 2013 in der Schweiz (Szelec et al. 2018) durchgeführte Studie legt ihren Fokus auf den Käfer *Saprinus semistriatus*. In dieser Studie wurden fünf hängende und fünf liegende Schweine in einem Fichtenwald im Sommer platziert und die Verwesung sowie Insektenfauna untersucht. Es wurden Spezies identifiziert, die als Indikator für bestimmte Verwesungsstadien benutzt werden könnten. Als Ergebnis wurde festgestellt, dass besonders der Käfer *Saprinus semistriatus* herangezogen werden könnte, um Aussagen über die Dauer des postmortalen Intervalls zu treffen (Szelec et al. 2018).

2019 und 2020 wurde eine weitere, in Polen (Jarmusz und Bajerlein 2019, Jarmusz et al. 2020) durchgeführte Studie in zwei Publikationen veröffentlicht. Zunächst wurde ein Paper über die Verwesungsprozesse (Jarmusz und Bajerlein 2019) veröffentlicht, später folgte eines mit dem Schwerpunkt auf die Insektenbesiedelung (Jarmusz et al. 2020). Das darin beschriebene Experiment wurde über zwei Jahre hinweg in Frühling, Sommer und Herbst an zwölf liegenden und zwölf hängenden Schweinen durchgeführt. Es hatte das Ziel, die Verwesung und Insektenbesiedelung hängender und liegender Schweine während verschiedener Jahreszeiten zu vergleichen. In diesem Versuch wurden auf den liegenden und hängenden Schweinen die gleichen Insektenspezies vorgefunden und keine signifikanten Unterschiede im Insektensukzessionsmuster der beiden Vergleichsgruppen festgestellt. Allerdings wurden im Frühling und Herbst in der Anzahl mehr Fliegen von den hängenden Schweinen angezogen, während dieser Unterschied im Sommer nicht beobachtet werden konnte. Im Frühjahr wurden mehr Käfer auf den hängenden Schweinen vorgefunden, im Sommer und Herbst hingegen überwiegend auf den liegenden Schweinen. Es zeigte sich, dass die Aufenthaltsdauer adulter Fliegen auf den Hängenden Schweinen länger war. In Bezug auf die Verwesung konnte festgestellt werden, dass das geblähte Verwesungsstadium bei hängenden Schweinen nicht oder kaum auftritt. Nach Abschluss der fortgeschrittenen Verwesung bleiben die hängenden Schweine mumifiziert in hängender Position zurück. Nur in einem Fall im Sommer wurde die vollständige Skelettierung eines Schweinekopfes erreicht. Die Dauer der

aktiven Verwesung war im Sommer in beiden Gruppen am kürzesten (Jarmusz und Bajerlein 2019, Jarmusz et al. 2020).

3.3.3 Ausblick

Die vorgestellten Studien zeigen, dass es verschiedene Insekten in den unterschiedlichen Ländern gibt, die Kadaver besiedeln und das Hängen die Verwesung von Kadavern maßgeblich beeinflusst (Anton et al. 2011, Shalaby et al. 2000, Sukchit et al. 2015). Um zu wissen welche Insekten regional zu erwarten sind und welche nicht, ist es erstrebenswert für jede Region ein eigenes Sukzessionsschema unter Berücksichtigung der Jahreszeiten für unterschiedliche Todesszenarien zu erstellen.

Diese Arbeit wurde angefertigt, um einen Vergleichsdatensatz für Erhängungen in den Sommer- bzw. Herbstmonaten in Thüringen und klimatisch vergleichbaren Regionen zu liefern.

4 Ziele der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist es, das Muster der Insektensukzession, mit besonderem Augenmerk auf das Sukzessionsmuster der Schmeißfliegen, an hängenden Schweinekadavern in Thüringen zu eruieren. Hierbei wird untersucht, welchen Einfluss die Wetterbedingungen (Temperatur und Niederschlag) in den Monaten von August bis Oktober auf das Sukzessionsmuster haben und inwiefern ein Zusammenhang zwischen dem Verwesungsstadium eines Kadavers, kumulierten Tagesgraden und dem Auftreten der vorgefundenen Fliegen, Käfer und Larven - insbesondere der Schmeißfliegen - besteht. Auch das Eiablagemuster und der zeitliche Verlauf der Madenentwicklung wird im Rahmen dieser Arbeit untersucht.

Darüber hinaus wird das Verwesungsmuster hängender Kadaver in den unterschiedlichen Körperregionen untersucht und in zwei Versuchsreihen miteinander verglichen. Außerdem wird der Zusammenhang zwischen erreichten Verwesungsstadien und kumulierten Tagesgraden untersucht.

Wichtig ist zu beachten, dass die Studienergebnisse nur repräsentativ sind für eine mit dem Tautenburger Wald vergleichbare Flora und Fauna sowie entsprechenden Klimaverhältnissen. Außerdem liefern die Ergebnisse dieser Arbeit lediglich Hinweise darauf, wie die Prozesse der Insektenbesiedelung und Verwesung an einer menschlichen Leiche ablaufen können. Sie dürfen nicht 1:1 übernommen werden.

Diese Studie wurde – indem der Versuchsaufbau bis auf das Absammeln einiger Insekten nicht gestört wurde - so angelegt, dass die Ergebnisse dieser Arbeit als Anhaltspunkte herangezogen werden können, wenn eine hängende Leiche unter den entsprechenden Bedingungen aufgefunden wird.

5 Material und Methoden

5.1 Versuchsaufbau

Für diese Arbeit wurden Daten in zwei Versuchsreihen gesammelt. Die erste Versuchsreihe lief vom 23.08.2016 bis zum 19.09.2016 (27 Versuchstage) und die zweite vom 20.09.2016 bis zum 01.11.2016 (27 + 2 Versuchstage). An den Starttagen (entspricht Versuchstag 0) jeder Versuchsreihe wurden gegen 9:00 Uhr vormittags je zwei weibliche Schweine (*Sus scrofa*) in der Versuchstierkunde Jena durch eine Tierärztin getötet. Es wurden 15 mg/kgKG Ketaminhydrochlorid (Ketavet®, 100 mg/ml, Pharmacia Upjohn, Erlangen, Germany) und 0,2 mg/kgKG Midazolamhydrochlorid (Midazolam-ratiopharm®, Ulm, Germany) durch die Tierärztin intramuskulär injiziert. Anschließend erfolgte eine intrakardiale Injektion von 150 mg/kgKG Pentobarbital (Narcoren®, 16 g/100 ml, Merial, Hallbergmoos, Germany). In Tabelle 1 sind die Ausgangsgewichte der Schweine aufgeführt.

Tabelle 1: Körpergewicht der Versuchsobjekte.

Versuchsreihe	Schwein	Gewicht
1	1A	14,0 kg
1	1B	11,0 kg
2	2A	16,5 kg
2	2B	16,5 kg

Die Schweine wurden anschließend in je einem lichtundurchlässigen und insektensicheren Plastiksack mit einem PKW in den Tautenburger Wald in Thüringen, nordöstlich von Jena im Saale-Holzland-Kreis gebracht. Am Versuchsstandort standen im Halbschatten unter Bäumen zwei Käfige, die vom Institut für Rechtsmedizin Jena für insektenkundliche Versuche genutzt werden. Die Käfige werden im Folgenden als Käfig A und Käfig B bezeichnet. Aus der Nummer der Versuchsreihe und der Käfigbezeichnung ergibt sich jeweils eine Abkürzung pro Schwein. Vom Zeitpunkt des Todes bis zum Aufhängen der Schweine vergingen etwa 45 min. Die Entscheidung, welches Schwein in welchem Käfig hängt, wurde zufällig und blind getroffen. Die Kadaver wurden mit einer 5 mm dicken Polyesterschlinge um den Hals, innerhalb eines Käfigs aufgehängt. Der Knoten saß bei Schwein 1A mittig im Nacken, während er bei den restlichen Schweinen seitlich rechts im Nacken war. Die Augen offen und der Mund aufgrund der Schwerkraft halboffenstehend und der Kadaver den Boden

nicht berührend war die Ausgangssituation ansonsten für alle vier Schweine gleich. Die Konstruktion wurde durch je einen Metallkäfig mit einer Maschengröße von 7 x 7 mm vor größeren Aasfressern wie Raubtieren und Vögeln geschützt. Die Käfige standen in etwa 12 m Abstand zueinander (siehe Abbildung 1).



Abbildung 1: Foto Versuchsaufbau. Links im Bild Schwein 2B im Käfig aufgehängt. Rechts im Bild, etwas nach hinten versetzt und teilweise von Blättern verdeckt Schwein 2A im Käfig.

5.2 Versuchsdokumentation

Der Tag des Todes und der Aufhängung wurde als Tag 0 festgelegt. In den 27 Folgetagen wurde der Versuchsaufbau jeden Tag einmal, zu variierenden Tageszeiten, allerdings immer bei Tageslicht, zu Dokumentationszwecken besucht. In der zweiten Versuchsreihe erfolgten nach den 27 Versuchstagen zwei weitere Besuche an Tag 35 und Tag 42. Die Inspektion der beiden Kadaver wurde immer von derselben Person durchgeführt und beanspruchte jeweils etwa 20 Minuten pro Kadaver. Dabei wurden täglich Übersichtsaufnahmen beider Käfige mit einer Canon IXUS 170 erstellt sowie detaillierte Fotografien beider Schweine, um die fortschreitenden Zersetzungsprozesse, Insektenbesiedelung, Eiablage und Madenentwicklung bildlich zu dokumentieren.

Die pro Schwein getrennt durchgeführte Schriftdokumentation mithilfe des in Abbildung 2 zu sehenden, eigens für diese Arbeit entwickelten Dokumentationsbogens, beinhaltete neben Datum, Uhrzeit und Nummer der Probenentnahme auch Wetterverhältnisse. Wenn das Schwein zum

Probenentnahmezeitpunkt ganz oder teilweise in der Sonne hing, wurde dies in der Zeile darunter mit „schattig“ oder „sonnig“ – oder beidem – dokumentiert. Die schriftliche Dokumentation zu Beobachtungen am Schwein enthielten die Lage des Schweines („hängt“, „Bodenkontakt“, „abgefallen“), so wie Veränderungen im Verwesungsprozess. Das Vorhandensein von Fliegen, Käfern, Eiern, Maden und einem Madenhaufen wurde vermerkt. Jeden Tag wurde die ungefähre Anzahl an Fliegen geschätzt. Bemerkungen zur Fallzone, also dem Bereich unterhalb des Schweines und weitere Beobachtungen wurden bei Bedarf fotografisch und schriftlich dokumentiert. Im Schema einer Schweinezeichnung wurden täglich die Probenentnahmestellen pro Schwein markiert.

Dokumentation der Probenentnahme am hängenden Schwein		Probenentnahmestellen	
Datum, Uhrzeit,	_____, 2016, _____ Uhr, Nr.: _____	links	rechts
Ohrmarke:	_____ \varnothing		
Temp.	____, ____ °C		
Wetter:	<input type="checkbox"/> sonnig, <input type="checkbox"/> bewölkt, <input type="checkbox"/> regnerisch, <input type="checkbox"/> nass, <input type="checkbox"/>		
trocken, <input type="checkbox"/> windig	<input type="checkbox"/> schattig <input type="checkbox"/> sonnig		
Beobachtungen am Schwein:	<input type="checkbox"/> hängt <input type="checkbox"/> Bodenkontakt <input type="checkbox"/> abgefallen		
	<input type="checkbox"/> Fäulnis <input type="checkbox"/> Mumifizierung <input type="checkbox"/> (Teil-)Skelettierung <input type="checkbox"/> Schwellung		
	<input type="checkbox"/> Fliegen _____ (geschätzte Anzahl) <input type="checkbox"/> Käfer <input type="checkbox"/> Eier <input type="checkbox"/> Maden _____ (geschätzte Anzahl) <input type="checkbox"/> Madenhaufen <input type="checkbox"/> _____ <input type="checkbox"/> _____		
Fallzone:	_____		
Bilddokumentation:	<input type="checkbox"/> Übersicht, <input type="checkbox"/> Kopf, <input type="checkbox"/> Nacken, <input type="checkbox"/> Torso, <input type="checkbox"/> Extr., <input type="checkbox"/> Fallzone, <input type="checkbox"/> _____		
Bemerkungen, weitere	_____		
Beobachtungen:	_____ _____		

Probennahme: Tabea Neulinger

Abbildung 2: Dokumentationsbogen.

Es wurden jeweils an Versuchstag 1 – 27 sowie in Versuchsreihe 2 an Tag 35 und 42 Insekten per Hand mittels Kescher, Gelbdeckelbecher oder ggf. Pinzette gefangen und sofort in einer 70%-igen Alkohollösung zur späteren Bestimmung fixiert. Maden wurden mithilfe einer Pinzette gefangen und in einem Gelbdeckelbecher vor der alkoholischen Fixierung zur Proteindenaturierung mit heißem Wasser übergossen. Die Insekten und Maden wurden ausschließlich von der Oberfläche der Schweine, ihren abgefallenen Bestandteile und von außen zugänglichen, natürlichen sowie nach dem

Tod entstandenen Körperöffnungen gesammelt. Zur Aufbewahrung der gesammelten Insekten wurde pro Tag und Schwein je ein Gelbdeckelbecher verwendet, der zuvor mit einem Etikett (Ohrmarkennummer, Datum, Uhrzeit) genau gekennzeichnet wurde.

Es wurden keine Eingriffe in den Versuchsaufbau durchgeführt, außer dem auf das notwendige Maß beschränkte Absammeln von Insekten zu Dokumentationszwecken und der Drehung der Kadaver zur Fotodokumentation. Material vom Schwein wurde nicht entnommen und Bodenkontakt, welcher auf Grund von Fäulnis und Zersetzungsprozessen entstand, wurde nicht manipuliert. Der Versuchsaufbau sollte dem natürlichen Verfallsprozess überlassen bleiben.

In der vorliegenden Arbeit wurden die Temperaturdaten verwendet und aufbereitet, die von der nur etwa 900 m entfernt liegenden Landessternwarte Thüringen Tautenburg zur Verfügung gestellt wurden. Aus den teilweise 10-minütig gemessenen Temperaturen des Observatoriums wurde für jeden Tag die Tagesdurchschnittstemperatur berechnet.

5.3 Bestimmung der Insekten

Die gesammelten und konservierten Insekten und Larven wurden im Institut für Rechtsmedizin Jena unter Zuhilfenahme der Bücher „Exkursionsfauna“ und „Forensic Entomology“ (Stresemann 2011, Gennard 2007) wenn möglich bis auf die Art bestimmt. Hierfür wurden die Lebewesen unter einem Stereomikroskop (Carl Zeiss, Stemi 2000 C) untersucht und eine Auflistung der pro Tag gefundenen Leichenbesiedler für jedes Schwein erstellt.

5.4 Ermittlung der kumulierten Tagesgrade

Die „kumulierten Tagesgrade“ repräsentieren die Wärmeenergie, die innerhalb eines Zeitraumes vorhanden ist, um biologische Prozesse wie beispielsweise das Larvenwachstum anzutreiben (Megyesi et al. 2005). Wenn eine bestimmte Menge dieser Energie angefallen ist, führt dies dazu, dass sich das jeweilige Verwesungsstadium einstellt (Lynch-Aird et al. 2015, Megyesi et al. 2005). Kumulierte Tagesgrade bieten die beste Möglichkeit, Daten unterschiedlicher Jahreszeiten oder Jahre miteinander zu vergleichen. Zur Berechnung der kumulierten Tagesgrade wurden die Temperaturdaten der 900 m vom Versuchsstandort entfernten Thüringer Landessternwarte Tautenburg verwendet. Aus den dort alle zehn Minuten

gemessenen Temperaturen wurden zunächst Tagesdurchschnittstemperaturen für jeden einzelnen Versuchstag errechnet. Um die kumulierten Tagesgrade zu berechnen, werden die Tagesdurchschnittstemperaturen oberhalb der Basistemperatur (siehe unten) der jeweiligen Tage addiert. Kumulierte Tagesgrade werden in der Einheit *ADD* angegeben. Dies ist die Abkürzung für den englischen Begriff *Accumulated Degree Days* (Megyesi et al. 2005).

Da Insekten wechselwarm sind, ist auch die Geschwindigkeit ihrer Entwicklung sowie alle biochemischen und physiologischen Prozesse temperaturabhängig. Wird ein unterer Schwellenwert, hier „Basistemperatur“ genannt, erreicht, stoppt der Entwicklungsfortschritt (Amendt 2013). Diese Basistemperatur variiert von Spezies zu Spezies (Gennard 2007, Megyesi et al. 2005). Allerdings ist der genaue Wert, bei dem sich die jeweiligen Prozesse tatsächlich einstellen, nicht bekannt (Megyesi et al. 2005, Vass et al. 1992). Dies stellt insofern ein Problem dar, da eine Berechnung der kumulierten Tagesgrade mit einer unangemessenen Schwelle – sei sie zu hoch oder zu niedrig angesetzt – zu falsch hohen oder niedrigen Werten führt. Folglich werden Aussagen über das postmortale Intervall verfälscht (Gennard 2007).

In Studien wurde festgestellt, dass die Entwicklungsgeschwindigkeit ebenfalls abhängig von der jeweiligen geografischen Lage ist. Während beispielsweise in Nordengland für die Spezies *Calliphora vicina* eine Basistemperatur von 3,5°C ermittelt werden konnte, wurde für die gleiche Spezies in London ein unterer Schwellenwert von 1°C und in Russland bei 2°C berechnet (Davies und Ratcliffe 1994, Marchenko 2001, Donovan et al. 2006). Daneben gibt es auch einen oberen Schwellenwert, welcher ebenfalls speziesabhängig ist. Oberhalb dieser Grenze stellt sich die Insektenentwicklung ebenfalls ein, bzw. sterben die Insekten ab. Für die Spezies *Calliphora* liegt diese bei 39°C und für *Phormia* bei 45°C (Gennard 2007). Bereits wenn die Temperaturen sich dem oberen und unteren Grenzwert nähern, entwickeln sich Insekten langsamer. Deshalb ist die Bestimmung des postmortalen Intervalls oft ungenau oder auch gar nicht möglich, wenn sich die Temperaturen für eine längere Zeit nahe den Schwellenwerten befinden (Gennard 2007).

Für diese Arbeit wird, angelehnt an Megyesi et al. (2005), eine Basistemperatur von 0°C angenommen, weil Frost die Verwesung zum Stillstand bringt. Die kumulierten Tagesgrade werden für jede Versuchsreihe ermittelt, indem die über 0°C liegenden errechneten Durchschnittstagestemperaturen im jeweiligen Zeitraum addiert werden.

Da in beiden Versuchszeiträumen nie Temperaturen unter 0°C erreicht wurden, konnten jeweils alle Durchschnittstagestemperaturen summiert werden ohne Temperaturen unter dem Gefrierpunkt auszuschließen.

5.5 TBS^{Hang} nach Lynch-Aird et al. (2015)

Mit Hilfe des Punktesystems nach Lynch-Aird et al. (2015) wurde der Verwesungsgrad der Schweine von der Versuchsleiterin anhand der aufgenommenen Fotos ermittelt.

Die Verwesung verläuft in verschiedenen Körperregionen unterschiedlich schnell und auch auf eine unterschiedliche Art und Weise (Megyesi et al. 2005). Zum Beispiel blähen sich die Extremitäten im Vergleich zum Thorax nicht auf und es tritt keine Fäulnisflüssigkeit aus. Deshalb werden die Körperregionen voneinander unabhängig in drei verschiedene Bereiche eingeteilt und bewertet: Kopf- und Nackenbereich, Rumpf und Extremitäten. Die von Lynch-Aird et al. (2015) übernommenen Kriterien definieren die Punktevergabe für den jeweiligen Bereich unabhängig voneinander (siehe Tabelle 2). Je fortgeschrittener die Verwesung, desto höher ist der erreichte Punktwert. Die pro Körperregion separat ermittelten Punkte werden zum Gesamtbodyscore oder *Total Body Score* addiert. Der niedrigste insgesamt zu erreichende Wert liegt hier bei 0 (alle Regionen sind frisch) und der höchste bei 32 (trockener Knochen in allen Regionen, ggf. mumifizierte Haut) (Lynch-Aird et al. 2015).

Tabelle 2: Kriterien der Punktevergabe für den jeweiligen Verwesungsgrad nach Lynch-Aird et al. (2015). Aus dem Englischen übersetzt.

Punkte	Kopf und Nacken	Rumpf	Extremitäten
0	Frisch, keine Verfärbung	Frisch, keine Verfärbung	Frisch, keine Verfärbung
1	Schwellung von Kopf und Nacken	Gebläht; rot-grün Verfärbung	Hautrötung; dunkelgraue Färbung; Schwellung; stehen ab
2	Fäulnisflüssigkeit tritt aus; Schwarzfärbung der Haut; Einsinken im Augenbereich; leichtes Trocknen von Schnauze und Lippen; weitestgehend frisch	Farbumschlag von grün zu grau zu dunkelgrau/schwarz	Hautverrutschen; Hautvertrocknung an Akren
3	Zurückziehen der Haut am Kiefer; Hautrutschen	Prolabierte Eingeweide; Austritt von Fäulnisflüssigkeit	Grau wird schwarz; Vorderlauf in normaler Position

4	Einsinken um Kiefer und Kehle; Vertrocknen von Haut und Lippen	Unterer Rumpf mehr geschwollen als oberer	Loses Herabhängen von disloziertem Vorderlauf
5	Haarverlust; Vertrocknen und Schrumpfen der Schnauze	Verlängerung des Körpers mit Einfallen des oberen Rumpfes	Hinterlauf disloziert und lose im Becken; Verlust hinterer Hufe; Haarverlust
6	Lederne Haut; <10% Knochen sichtbar	Anus ≥ 10 cm durchmessend; Prolabierte Eingeweide	Mumifizierte Enden der Extremitäten; Hautfarbe dunkelbraun; Risse und Löcher in Haut
7	Löcher in oder Zerreißen der Haut	Vertrocknung und Braunfärbung der Haut; Lederne Haut am oberen Rumpf	Knochen in hängenden Hauttaschen; Mumifiziert mit steinharten Akren; Haut klebt an Knochen
8	Vollständige Mumifizierung; Ohren trocken und unflexibel	Herausgefallene Eingeweide; Mumifizierte Haut	Knochen fallen durch Torso herab, erst Scapula dann Humerus; Haut schmierig
9	Teilweise Maskenbildung wo sich Haut von Schädel abhebt	Magen, Rippen, Scapula und Wirbel herausgefallen; Flanken eingesunken; Haut schmierig	Trockener Knochen unter Kadaver oder sichtbar unter mumifizierter Haut; Kadaver hängt ggf. noch
10	Sehr dünne, durchsichtige Pergamenthaut mit Löchern und Rissen	Fettverlust auf Fallzone; Haut wie Trommel; Hüftknochen und Röhrenknochen herausgefallen	
11	>50% Knochen sichtbar; abgelöste Maske auf >75% des Kopfes	Trockene Knochen unter mumifizierter Haut oder in Fallzone; Kadaver hängt ggf. noch	
12	Trockene Knochen		

6 Beobachtungen

6.1 Temperatur, kumulierte Tagesgrade und Niederschlag

Die in dieser Arbeit verwendeten Temperatur- und Niederschlagsdaten wurden im etwa 900 m vom Versuchsstandort entfernten Observatorium Tautenburg gesammelt und zur Verfügung gestellt. Abbildung 3 wurde aus den dort gemessenen Werten erstellt. Auf der X-Achse ist die Zeit, auf der linken Y-Achse die Niederschlagsmenge in mm und auf der rechten Y-Achse die Temperatur in °C aufgetragen. Das Diagramm zeigt den Verlauf der Tagesdurchschnittstemperatur sowie die Niederschlagswerte vom 23.08.2016 bis 01.11.2016. Dieser Zeitraum umfasst somit beide Versuchsreihen.

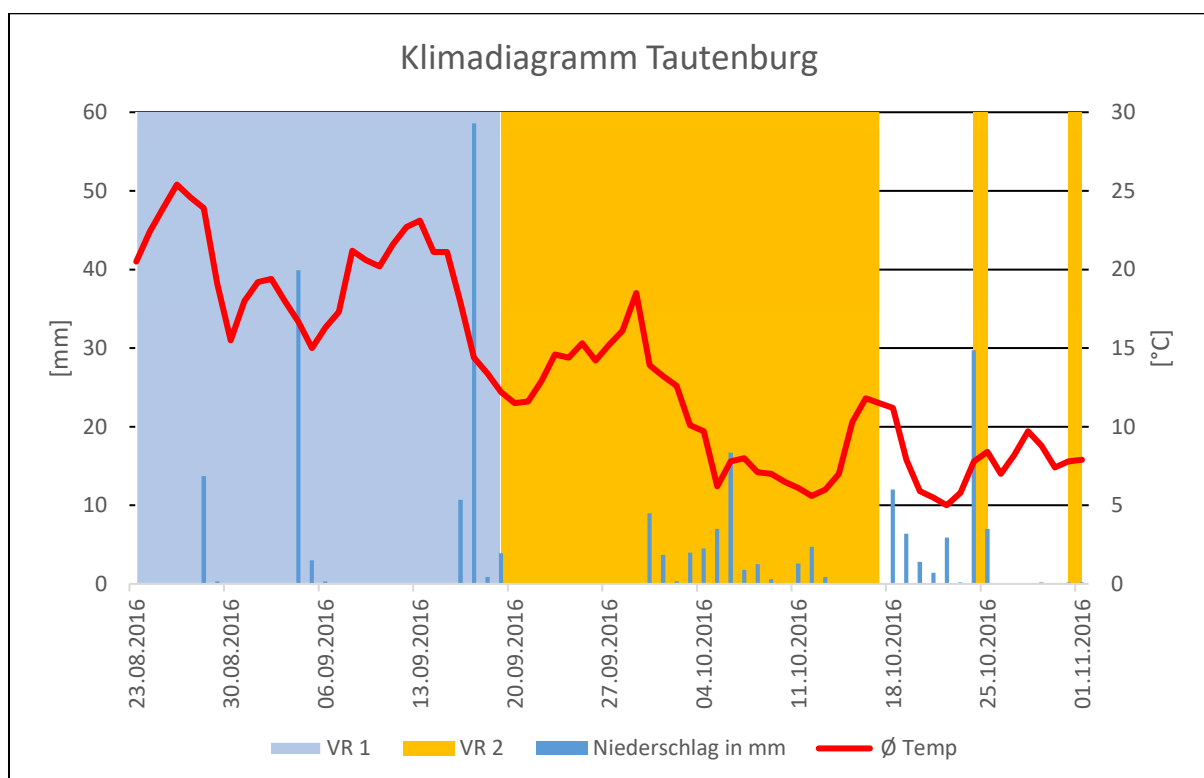


Abbildung 3: Klimadiagramm Tautenburg. Die in dieser Abbildung verwendeten Werte wurden im Observatorium in Tautenburg erhoben und für diese Arbeit freigegeben.

Wie Tabelle 3 zeigt, lag die niedrigste Tagesdurchschnittstemperatur in Versuchsreihe 1 bei 12,2 °C und die höchste bei 25,4 °C. Die Temperaturen in der zweiten Versuchsreihe lagen zwischen 5,6 °C und 18,5 °C. Vergleicht man die kumulierten Tagesgrade für die beiden jeweils gleich langen, nämlich 27 Tage andauernden Versuchsperioden, wird deutlich, dass in der ersten Versuchsreihe mit 546,1 ADD ein deutlich höherer Wert erreicht wird, als in der zweiten Versuchsreihe mit 304,7 ADD. Abbildung 4 kann entnommen werden, dass die Kurve der kumulierten Tagesgrade für die erste Versuchsreihe steiler ansteigt als in der zweiten Versuchsreihe. Die Tage in

der ersten Versuchsreihe waren also wärmer. Im physikalischen Sinne heißt das, dass in der ersten Versuchsreihe insgesamt mehr Energie vorhanden war, um biologische Prozesse anzutreiben. Mit mehr Energie konnte die Maden- und Insektenentwicklung in der ersten, wärmeren Versuchsreihe schneller und effektiver ablaufen sowie Verwesungsprozesse schneller und weiter fortschreiten als über den gleich langen Zeitraum in der zweiten Versuchsreihe.

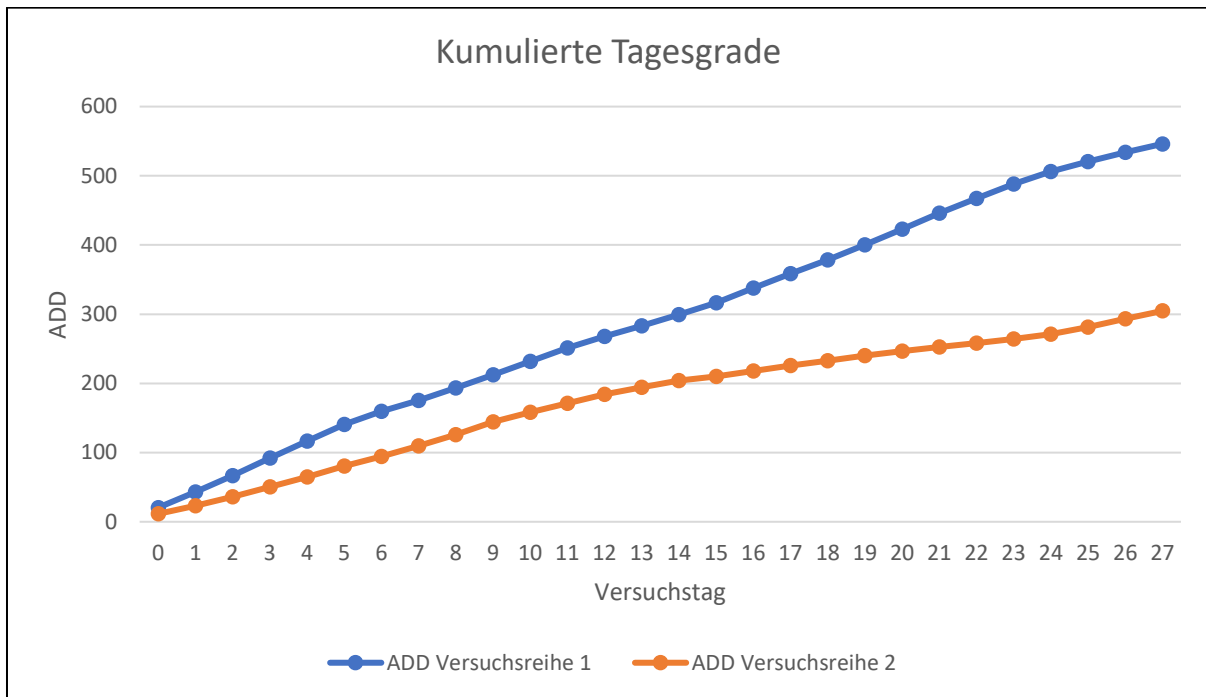


Abbildung 4: Kumulierte Tagesgrade beider Versuchsreihen im Vergleich.

Der Niederschlag wurde ebenfalls vom nahegelegenen Observatorium gemessen und die Daten zur Verfügung gestellt. Im Zeitraum der ersten Versuchsreihe fielen insgesamt 131,3 mm Regen, in der zweiten 58,3 mm innerhalb der 27 Versuchstage. Während in VR 1 neun Regentage zu vermerken waren, regnete es in VR 2 an 13 Tagen.

Tabelle 3: Minimale und maximale Tagesdurchschnittstemperaturen, kumulierte Tagesgrade und Niederschlag. Berücksichtigung der 27 Versuchstage ohne Folgebesuche in VR 2.

VR	min. Tagesdurchschnittstemperatur	max. Tagesdurchschnittstemperatur	ADD	Niederschlag
1	12,2 °C	25,4 °C	546,1	131,3 mm
2	5,6 °C	18,5 °C	304,7	58,3 mm

6.2 Verwesung

Da sich die Verwesung optisch in den beiden Versuchsreihen deutlich unterscheidet, wird sie für die einzelnen Versuchsreihen separat beschrieben.

6.2.1 Versuchsreihe 1

Die Grünfäulnis (siehe Abbildung 5) wird als eines der sicheren Zeichen des Todes gewertet und entsteht in Folge innerer Autolyse und bakteriellem Hämoglobinabbau oft zuerst im Unterbauch (Azwandi und Abu Hassan 2009). Sie wurde bei Schwein 1A am ersten Tag und bei Schwein 1B am zweiten Tag nach dem Aufhängen beobachtet. Des Weiteren bildeten sich am ersten Tag bei beiden Schweinen im Sinne der Schwerkraft dezente, violette Totenflecke im Bereich der unteren Extremitäten sowie des Hinterteils aus.

Ab dem zweiten Tag begannen bei beiden Schweinen die Zunge im geöffneten Mund sowie zunächst die Oberkante, dann die gesamte Schnauze zu vertrocknen. Auch Teile der Unterlippe vertrockneten ausgehend von der Spitze. Optisch ging die Vertrocknung mit einer violetten Dunkelfärbung einher (siehe Abbildung 6).



Abbildung 5: Beginnende Grünfäulnis im Unterbauch. (VR 1, Tag 2, TBS^{Hang}_{gesamt} 3).

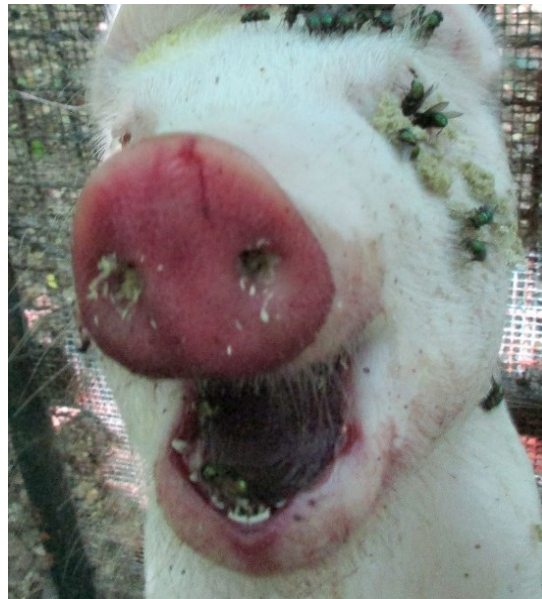


Abbildung 6: Vertrocknete Schnauze, Zunge und teilw. Lippen. (VR 1, Tag 2, TBS^{Hang}_{gesamt} 3).

Durch Fäulnisgase blähte sich am dritten Tag der Kadaver 1A und am vierten Tag 1B deutlich auf, sodass die vier Extremitäten in abgespreizter Haltung gestreckt abstanden (siehe Abbildung 7). Auch der Kopf war im Verlauf deutlich aufgedunsen.



Abbildung 7: Aufgedunsener Kadaver. (VR 1, Tag 3, TBS^{Hang}gesamt 6).

Die Ablösung oberer Hautschichten des Kadavers begann bei beiden Schweinen am dritten Tag im Kopf -und Halsbereich, ausgehend von den Augäpfeln beziehungsweise der Einschnürung der Aufhängeschlinge. Im Verlauf häuteten sich ab Tag vier Nacken, Brust sowie die oberen Extremitäten (siehe Abbildung 8), später auch der Bauchbereich, die unteren Extremitäten und das Hinterteil. Die größeren Hautablösungen hingen zunächst mantelartig am Schwein und fielen später ab. Kleinere Fetzen blieben am Hufansatz fixiert. Teils lösten sich die Borsten mit ab, teils blieben sie bestehen.

Käfer und Maden krochen innerhalb der ersten vier Versuchstage unter die bereits abgelöste, aber dem Körper noch nahe anliegende, Haut und nutzten diese als schützendes Versteck (siehe Abbildung 9).

Die zurückbleibende Haut verfärbte sich im Verlauf rotbraun bis schwarz (siehe Abbildung 10) und wurde teilweise von Schimmelpilzen befallen. Außerdem bildeten sich bei Schwein 1B am vierten Tag im Hüftbereich und am Abdomen mehrere oberflächliche Hautblasen, welche mit dunkler Fäulnisflüssigkeit gefüllt waren (siehe Abbildung 11). Diese eröffneten sich im Verlauf. Bei Schwein 1A wurde eine solche Flüssigkeitsblase nicht beobachtet.



Abbildung 8: Hautablösung und Madenbefall Extremität. (VR 1, Tag 4, TBS^{Hang}_{gesamt} 9).



Abbildung 9: Maden unter der abgelösten Brusthaut sichtbar. (VR 1, Tag 4, TBS^{Hang}_{gesamt} 11).



Abbildung 10: Rotbraune bis schwarze Hautverfärbungen. Abgelöste Haut teilweise noch mit Rumpf und Extremitäten verbunden. (VR 1, Tag 5, TBS^{Hang}_{gesamt} 16).



Abbildung 11: Mit Fäulnisflüssigkeit gefüllte Blasen im Rumpfbereich. (VR 1, Tag 4, TBS^{Hang}_{gesamt} 11).

Am fünften Versuchstag eröffnete sich bei Schwein 1A die Bauchhöhle im Bereich des Unterbauchs, es entleerten sich der Darm, so wie das Leberpaket – einschließlich Gallenblase – und fielen zu Boden. Neben Organen fielen auf die sogenannte „Fallzone“ auch Blutgefäße und Knochen heraus. Hierbei handelte es sich um Rippen, Wirbelkörper, Schulterblätter, Schlüsselbeine und Hüftknochen. Dadurch wurde bei diesem Schwein ab Tag fünf Bodenkontakt hergestellt. Bei Schwein 1B traten an diesem Tag zunächst lediglich Teile des Dünndarms durch die Bauchdecke hervor, ohne Bodenkontakt herzustellen (siehe Abbildung 12). Erst am siebten Versuchstag wurde bei Schwein 1B Kontakt zum Boden durch Herausfallen von Darmabschnitten hergestellt.

Nach dem Herausfallen von Gewebe und Knochen fand ein Teil der Verwesung nun auch in der Fallzone statt. Es wurde beobachtet, wie diese von Maden befallen werden (siehe Abbildungen 13 und 14).



Abbildung 12: Darmaustritt durch Bauchdecke. (VR 1, Tag 5, TBS^{Hang}_{gesamt} 16).



Abbildung 13: Herausgefallene Organe und der Darm von Maden befallen. Bodenkontakt durch Strecken des Kadavers und herausgefallene Organe. (VR 1, Tag 5, TBS^{Hang}_{gesamt} 17).

In der nun fast leeren Bauch- und Brusthöhle von Schwein 1B wurden wenige Tage nach der Eröffnung einige Käfer entdeckt (siehe Abbildung 15).



Abbildung 14: Nachdem Maden den Großteil des Gewebes zersetzt haben, werden herausgefallene Knochen sichtbar. (VR 1, Tag 8, TBS^{Hang}_{gesamt} 26).



Abbildung 15: Blick durch die eröffnete Bauchdecke nach oben. Linke Bildseite entspricht der rückwärtigen Seite des Schweines. Käfer sitzen in der leeren Bauch- und Brusthöhle. (VR 1, Tag 9, TBS^{Hang}_{gesamt} 26).

Die Teilskelettierung begann jeweils am vierten Tag im Kieferbereich (siehe Abbildung 16). Durch Madenfraß lagen Unterkiefer und knöcherner Gaumen zuerst frei, sodass die Zahnfächer frei einsehbar waren.



Abbildung 16: Teilskelettierung des Unterkiefers. (VR 1, Tag 6, TBS^{Hang}_{gesamt} 19).

Wie in den Abbildungen 13 und 14 ersichtlich, streckten sich die Kadaver im Verlauf. Der Abstand zum Boden wurde somit immer kleiner, bis er schließlich ganz verschwand und die Hinterläufe Bodenkontakt hatten.

Gegen Ende der Versuchsreihe eins wurde eine Mumifizierung beider Schweineüberreste beobachtet (siehe Abbildungen 17 und 18).



Abbildung 17: Schwein 1A am letzten Versuchstag. (VR 1, Tag 27, $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ 28).



Abbildung 18: Schwein 1B am letzten Versuchstag. (VR 1, Tag 27, $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ 26).

6.2.2 Versuchsreihe 2

Ab dem ersten Versuchstag waren bei beiden Schweinen Totenflecke im Bereich des Hinterteils und der unteren Extremitäten erkennbar (siehe Abbildung 19). Das Einsetzen von Grünfäulnis wurde bei Schwein 2B am ersten Versuchstag im linken Unterbauch und ab dem dritten Tag auch seitlich beobachtet, während die Grünfäulnis bei Schwein 2A erstmals am achten Tag nach dem Aufhängen sichtbar war. Auch in dieser Versuchsreihe begann die Vertrocknung der Zunge und Lippenspitze im geöffneten Mund am ersten Tag nach der Aufhängung.

Bereits bei der Aufhängung waren Stuhlreste in der Analöffnung beider Schweine zu sehen. Am achten Tag begann eine rotbraune, klare Flüssigkeit aus der noch immer mit Kotresten gefüllten Analöffnung von Schwein 2A zu tropfen (siehe Abbildung 20). Außerdem war ab diesem Tag der Bereich um den Schwanzansatz und den Anus prallelastisch aufgetrieben.



Abbildung 19: Blaulivide Totenflecke im Bereich der unteren Extremität. Beginnende Grünfäulnis im linken Unterbauch. (VR 2, Tag 1, TBS^{Hang}_{gesamt} 1).



Abbildung 20: Austritt von rotbrauner, Flüssigkeit aus mit Kotresten gefüllter Analöffnung. Eiablage links und rechts seitlich am Schwanzansatz sichtbar. (VR 2, Tag 8, TBS^{Hang}_{gesamt} 2).

Am Folgetag war bei diesem Schwein das knöcherne Nasenskelett durch die leeren Nasenöffnungen sichtbar (siehe Abbildung 21). Außerdem tropfte eine graue, trübe Flüssigkeit aus dem linken Mundwinkel.

Bei beiden Schweinen begann sich die Haut auf der Stirn unter dem rechten, leicht angelegten Ohr an Tag neun abzulösen. Die Hautablösung breitete sich in den folgenden Tagen auf Gesicht und Nacken aus (siehe Abbildung 22).

An Tag neun zeichnete sich die Grünfäulnis bei Schwein 2A auch im rechten Nackenbereich ab (siehe Abbildung 23).

An Tag zehn waren aufgrund von Aufblähung die Beugefalten im Leistenbereich von Schwein 2A fast vollständig verstrichen. Außerdem zeichneten sich ab diesem Tag Teile des Blutgefäßsystems der linken unteren Extremität deutlich blaugrün durch die Haut ab (siehe Abbildung 24).



Abbildung 21: Durch Nasenöffnungen hindurch wird das knöcherne Nasenskelett sichtbar. Beginnende Ver trocknung der Schnauze, Zunge und Lippe. (VR 2, Tag 9, TBS^{Hang}_{gesamt} 2).



Abbildung 22: Hautablösung im Bereich des Nackens und rechten Ohres. Es befinden sich Maden unterhalb der abgelösten Haut. (VR 2, Tag 10, TBS^{Hang}_{gesamt} 8).



Abbildung 23: Grünfäulnis im Nackenbereich. (VR 2, Tag 10, TBS^{Hang}_{gesamt} 5).



Abbildung 24: Verstrichene Beugefalten der Leistenregion sowie deutliches Abzeichnen von Blutgefäßen der unteren Extremität. (VR 2, Tag 10, TBS^{Hang}_{gesamt} 5).

Am darauffolgenden Tag war das gesamte Abdomen aufgebläht und die unteren Extremitäten waren abgespreizt. Bei Schwein 2B trat an Versuchstag zehn eine prallgefüllte, etwa faustgroße Darmschlinge kugelförmig aus dem Anus hervor (siehe Abbildung 25), welche sich bis zum Folgetag bereits entleerte und erschlaffte.



Abbildung 25: Darmschlinge tritt aus Anus hervor. (VR 2, Tag 10, TBS^{Hang}gesamt 8).

Teile des Unter- und Oberkieferknochens waren ab Versuchstag elf bei beiden Schweinen sichtbar (siehe Abbildung 26). An diesem Tag waren die Köpfe beider Schweine massiv von Maden befallen und fast vollständig von einer braungrauen, trüben Flüssigkeit, die auch herabtropft, bedeckt.

Auf Höhe der Hinterfußwurzelknochen der unteren Extremitäten bildete sich eine prallelastische Blase unter der

Haut von Schwein 2B. Außerdem hat sich die Grünfäulnis bei beiden Schweinen auf beide Hinterbeine ausgebreitet (siehe Abbildung 27).

An Tag zwölf war Schwein 2A massiv aufgebläht. Die Haut im Abdominalbereich war blau, grün und hellrot verfärbt. Im Brustbereich zeichneten sich Teile des venösen Gefäßsystems blaugrün ab. Der Kopf dieses Schweines begann an einigen Stellen auszutrocknen und sich braun zu verfärben (siehe Abbildung 28). Auch Schwein 2B war an diesem Tag erstmals am Unterbauch und den Hinterbeinen aufgebläht. Eine rotbraune Flüssigkeit tropfte von der aus dem Anus getretenen Darmschlinge.

An Tag 13 haben sich frontal zwischen den Hinterbeinen von Schwein 2A dunkle, flüssigkeitsgefüllte, oberflächliche Hautblasen gebildet (siehe Abbildung 29). Bei diesem Schwein war ab diesem Tag ebenfalls ein kastaniengroßer Teil des Darmes durch den Anus prolabiert. Der Rumpf von Schwein 2B war nun deutlich aufgebläht, sodass Vorder- und Hinterbeine abstanden.



Abbildung 26: Teilweise freigelegter Oberkiefer- und Unterkieferknochen. (VR 2, Tag 11, TBS^{Hang}gesamt 7).



Abbildung 27: Blasenartige Flüssigkeitsansammlung auf der Rückseite des linken Hinterlaufs. Deutlich sichtbare Grünfäulnis. (VR 2, Tag 11, TBS^{Hang}gesamt 7).

Der Kopf dieses Schweines wies teils vertrocknete, rotbraune Bereiche auf (siehe Abbildung 30), teils war die Haut feucht und milchig weiß (siehe Abbildung 31). Es war zu vermerken, dass die milchig weiße, feuchte Gesichtshälfte eher nach oben geneigt war, während die trockenere Gesichtshälfte Richtung Boden zeigte. Es hielten sich deutlich mehr Maden auf der feuchten, himmelwärts gerichteten Gesichtshälfte auf, als auf der trockeneren, nach unten gerichteten. Bei beiden Schweinen war zu diesem Zeitpunkt zu beobachten, dass der Kopf gegenüber den Extremitäten deutlich in der Verwesung vorangeschritten war.

Die Skelettierung von Ober- und Unterkiefer beider Schweine schritt auch an Tag 15 voran und die Schnauze sowie die Haut am Nasenrücken verschob sich entsprechend der Schwerkraft entsprechend nach links (siehe Abbildung 32).

Der Anal- und Genitalbereich von Schwein 2A war an diesem Tag mit einer roten, klaren Flüssigkeit bedeckt. Als Ursprung dieser Flüssigkeit kamen nur diese natürlichen Körperöffnungen in Frage. Auch bei Schwein 2B fand sich an den Hinterbeinen Spuren einer roten, klaren Flüssigkeit, wobei die Herkunft hier fraglich war, da der Genital- und Analbereich in dieser Hinsicht unauffällig war. Außerdem hatte sich hinter dem Hufansatz der rechten unteren Extremität dieses Schweines eine

dunkle, flüssigkeitsgefüllte Hautblase gebildet (siehe Abbildung 33). Im Rücken- und Nackenbereich löste sich die Haut von Schwein 2B ab.



Abbildung 28: Schwein 2A stark aufgebläht. Deutliche blaugrün bis rötliche Verfärbungen im Unterbauch sichtbar. Kopf teilweise braun verfärbt. (VR 2, Tag 12, $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ 12).



Abbildung 29: Blasenbildung frontal zwischen Hinterläufen.
(VR 2, Tag 13, TBS^{Hang}_{gesamt} 16).



Abbildung 30: Kopf von Schwein 2B: Auf der linken sowie Oberseite beginnen einige Areale zu vertrocknen und färben sich rotbräunlich. (VR 2, Tag 13, TBS^{Hang}_{gesamt} 13).



Abbildung 31: Weißliche Hautverfärbung dominiert die rechte Gesichtshälfte. Daneben trockenere, bräunliche Stellen. Ober- und Unterkiefer größtenteils freigelegt, wobei feuchter Knochen überwiegend von Maden bedeckt ist. (VR 2, Tag 13, TBS^{Hang}_{gesamt} 13).



Abbildung 32: Haut am Nasenrücken sowie Schnauze neigen sich entlang der Schwerkraft nach links, als ob sie vom Knochen herabrutschen. (VR 2, Tag 14, TBS^{Hang}gesamt 16).



Abbildung 33: Mit dunkler Flüssigkeit gefüllte Hautblase auf Unterseite des rechten Hinterlaufs. (VR 2, Tag 15, TBS^{Hang}gesamt 13).

An Tag 16 war die Haut des Abdomens, unteren Rückens, der Hinterbeine und Teile des Nackens von Schweines 2A dunkelblau verfärbt (siehe Abbildung 34).



Abbildung 34: Deutliche dunkle Blaufärbung des Rumpfes. (VR 2, Tag 16, TBS^{Hang}gesamt 16).



Abbildung 35: Weißfärbung der gesamten Gesichtshaut. Schnauze nach links verschoben. (VR 2, Tag 16, TBS^{Hang}_{gesamt} 13).

Bei beiden Schweinen war die am Vortag noch teils bräunlich eingetrocknete Gesichtshaut nun ausnahmslos weißlich bis grau und feucht (siehe Abbildung 35).

Bei Schwein 2B fanden sich einige kleinere Löcher in der Gesichtshaut, durch die der darunterliegende Knochen sichtbar wurde (siehe Abbildung 36).



Abbildung 36: Löcher in der Gesichtshaut und darunter liegender Knochen. (VR 2, Tag 16, TBS^{Hang}_{gesamt} 13).

Als bei Schwein 2B die rechte Gesichtshälfte weitestgehend skelettiert war, wurde am 17. Versuchstag beobachtet, dass sich sowohl der Ober- als auch der Unterkiefer mittig entlang der Sagittalachse spalten können. Im Nasenbereich stand ein Knochenfragment etwa rechtwinklig ab (siehe Abbildung 37).

Die Haut der Schnauzen beider Schweine war im Sinne der Schwerkraft nach links verschoben und hing seitlich herab (siehe Abbildung 38).

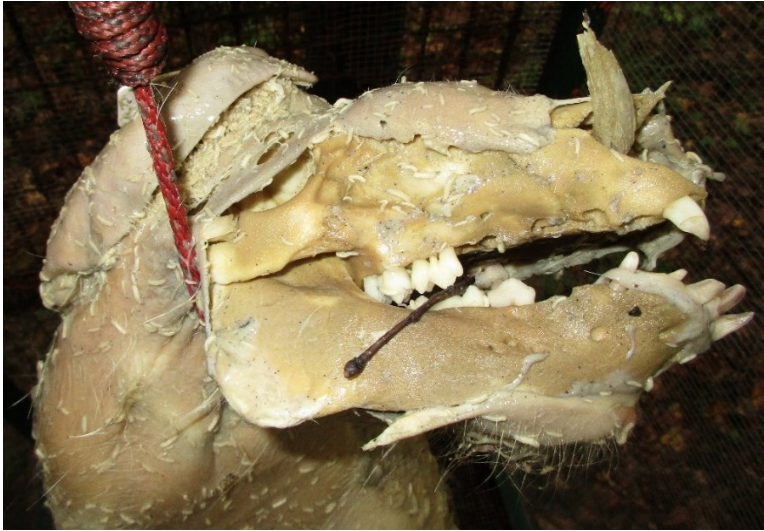


Abbildung 37: Blick von rechts auf den Schädel. Er ist auf dieser Seite fast vollständig skelettiert. Im Bereich der Nasenöffnung abstegehendes Knochenfragment. (VR 2, Tag 17, TBS^{Hang}_{gesamt} 15).



Abbildung 38: Blick von vorne auf den Kiefer des Schweines. Ober- und Unterkiefer sind mittig gespalten. Die Schnauze hängt seitlich herunter. (VR 2, Tag 17, TBS^{Hang}_{gesamt} 15).

Ab dem 18. Versuchstag war fast der gesamte Unterkiefer von Schwein 2B freigelegt, sodass der Blick von unten durch den Unterkieferbogen auf den knöchernen Gaumen frei war. An diesem Tag wurde beobachtet, dass sich bei Schwein 2B die beiden Unterkieferbögen gegeneinander verschoben. Zwischen den Schädelnähten des Gesichtsschädels wurden Spalten sichtbar (siehe Abbildung 39). Bei diesem Schwein begannen nun die ersten Zähne aus ihren Fächern zu fallen.



Abbildung 39: Spaltbildung im Bereich der Schädelnähte. (VR 2, Tag 20, TBS^{Hang}_{gesamt} 15).



Abbildung 40: Blick von unten auf den längs gespaltenen, knöchernen Gaumen des Oberkiefers. Der Unterkiefer ist vollständig skelettiert. (VR 2, Tag 19, TBS^{Hang}_{gesamt} 15).

Am Folgetag war auch der knöcherne Gaumen von Schwein 2A einzusehen. Auch hier wurde beobachtet, dass der Oberkieferknochen in der Mitte entlang der Längsachse gespalten war, während der Unterkieferknochen soweit einsehbar noch in Takt zu sein schien (siehe Abbildung 40).

An Tag 21 war Schwein 2B abgefallen (siehe Abbildung 41). Es hat eine postmortale Dekapitation stattgefunden. Der Schädel war zu diesem Zeitpunkt vollständig skelettiert und der Unterkiefer in zwei Teile auseinandergefallen. Bei genauerer Untersuchung des Schädelknochens fällt auf, dass nicht nur der Kieferbereich in der Sagittalebene gespalten war, sondern auch das Stirnbein und die Schädelbasis. Schwein 2A hingegen hing bis zum Versuchstag 27 (siehe Abbildung 42). Bei dem Kontrollbesuch eine Woche später war auch dieser Schweinetorso auf Grund von postmortaler Dekapitation abgefallen, während der vollständig skelettierte Schädel noch in der Schlinge hing.



Abbildung 41: Schwein 2B am letzten Versuchstag. Sechs Tage zuvor abgefallen. Der vollständig skelettierte Schädel ist im rechten unteren Bildrand zu sehen (VR 2, Tag 27, TBS^{Hang}_{gesamt} 16).



Abbildung 42: Schwein 2A am letzten Versuchstag. (VR 2, Tag 27, TBS^{Hang}_{gesamt} 18).

6.3 TBS^{Hang}

Die Abbildungen 43 bis 46 bilden die Verwesungsgrade der einzelnen Schweine in den beiden Versuchsreihen ab. Aus Gründen der Übersicht ist in allen vier Diagrammen jeweils für den Verwesungsgrad des Kopfes die Farbe Blau gewählt, Rot für den Rumpf, Grau für die Extremitäten und für den errechneten Gesamtscore Gelb. Auf der X-Achse ist die Zeit aufgetragen und auf der Y-Achse die möglichen Punktwerte 0-32, die nach dem Bewertungssystem von Lynch-Aird et al. (2015) ermittelt wurden.

6.3.1 TBS^{Hang} 1A

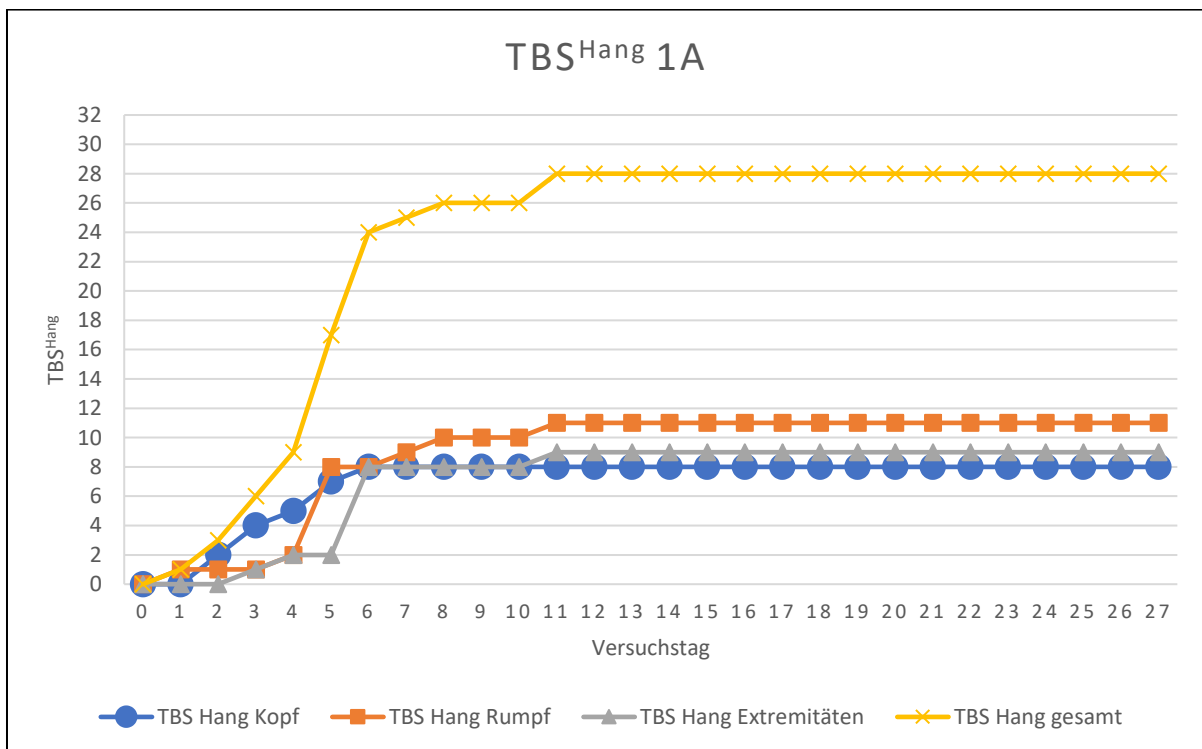


Abbildung 43: Verlauf der errechneten Verwesungsgrade des Schweines 1A.

Die blaue Kurve des TBS^{Hang}_{Kopf} von Schwein 1A (siehe Abbildung 43) stieg ab dem zweiten Versuchstag kontinuierlich an, bis sie am sechsten Tag ihren Maximalwert von 11 erreichte und dort bis zum Versuchsende stagnierte.

Nach dem anfänglichen Anstieg auf einen Wert von 2 innerhalb der ersten vier Versuchstage, stieg der TBS^{Hang}_{Rumpf} von Schwein 1A an Tag 5 sprunghaft auf den Wert 8 an. Im weiteren Verlauf stieg die Kurve unregelmäßig bis zum elften Versuchstag auf einen TBS^{Hang}_{Rumpf} von 11 an und stagnierte auf diesem Niveau.

Der TBS^{Hang}_{Extremitäten} von Schwein 1A blieb in den ersten beiden Tagen bei dem Wert 0. Bis zum vierten Versuchstag stieg die Kurve kontinuierlich auf den Wert 2 und blieb

dort für zwei Tage. Es folgte ein sprunghafter Anstieg auf den Wert 8. Am elften Versuchstag stieg diese Kurve um einen Punkt auf den Wert 9 an und verblieb auf diesem Plateau bis zum Ende des Versuches.

6.3.2 TBS^{Hang} 1B

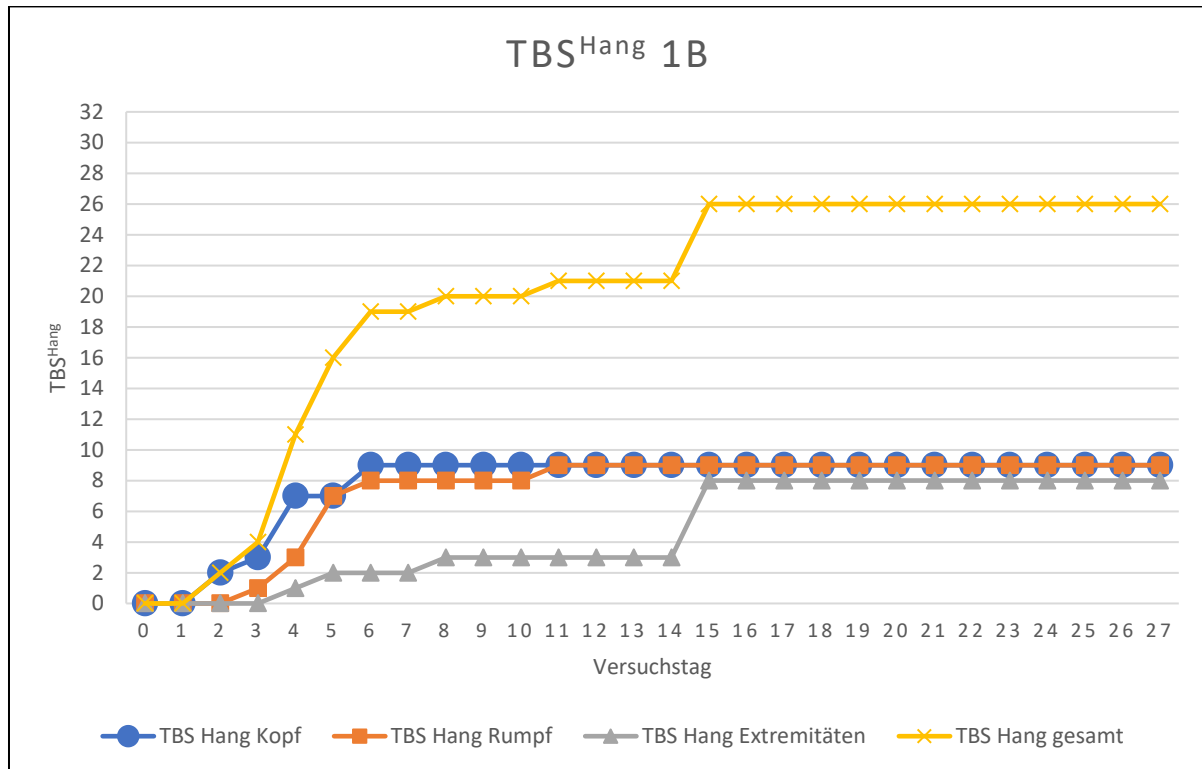


Abbildung 44: Verlauf der errechneten Verwesungsgrade des Schweines 1B.

Die blaue Kurve des TBS^{Hang}_{Kopf} von Schwein 1B (siehe Abbildung 44) stieg ab Tag 2 bis zum sechsten Versuchstag diskontinuierlich auf den Wert 9 an und änderte sich bis zum Ende des Versuches nicht mehr. Die Kurve des TBS^{Hang}_{Kopf} lag ausschließlich oberhalb oder deckungsgleich mit den Kurven für Rumpf und Extremitäten.

Die Kurve des TBS^{Hang}_{Rumpf} von Schwein 1B stieg ab dem dritten Tag relativ kontinuierlich bis zu Tag 6 auf einen Wert von 8 an. Es folgte ein fünftägiges Plateau, bis sich am elften Versuchstag der Maximalwert von TBS^{Hang}_{Rumpf} bei 10 einstellte.

Die graue Kurve des TBS^{Hang}_{Extremitäten} von Schwein 1B stagnierte die ersten drei Versuchstage auf dem Minimalwert von 0. Bis zum fünften Versuchstag stieg die Kurve auf einen Wert von 2 und stagnierte dort für drei Tage. Es folgte ein siebentätiges Plateau bei einem TBS^{Hang}_{Extremitäten} von 3. Am 15. Versuchstag stieg der TBS^{Hang}_{Extremitäten} sprunghaft auf seinen Maximalwert von 8 an und änderte sich bis

zum Versuchsende nicht mehr. Die Kurve des $TBS^{\text{Hang}}_{\text{Extremitäten}}$ lag ausschließlich unterhalb oder deckungsgleich mit den Kurven für Kopf und Rumpf.

6.3.3 TBS^{Hang} 2A

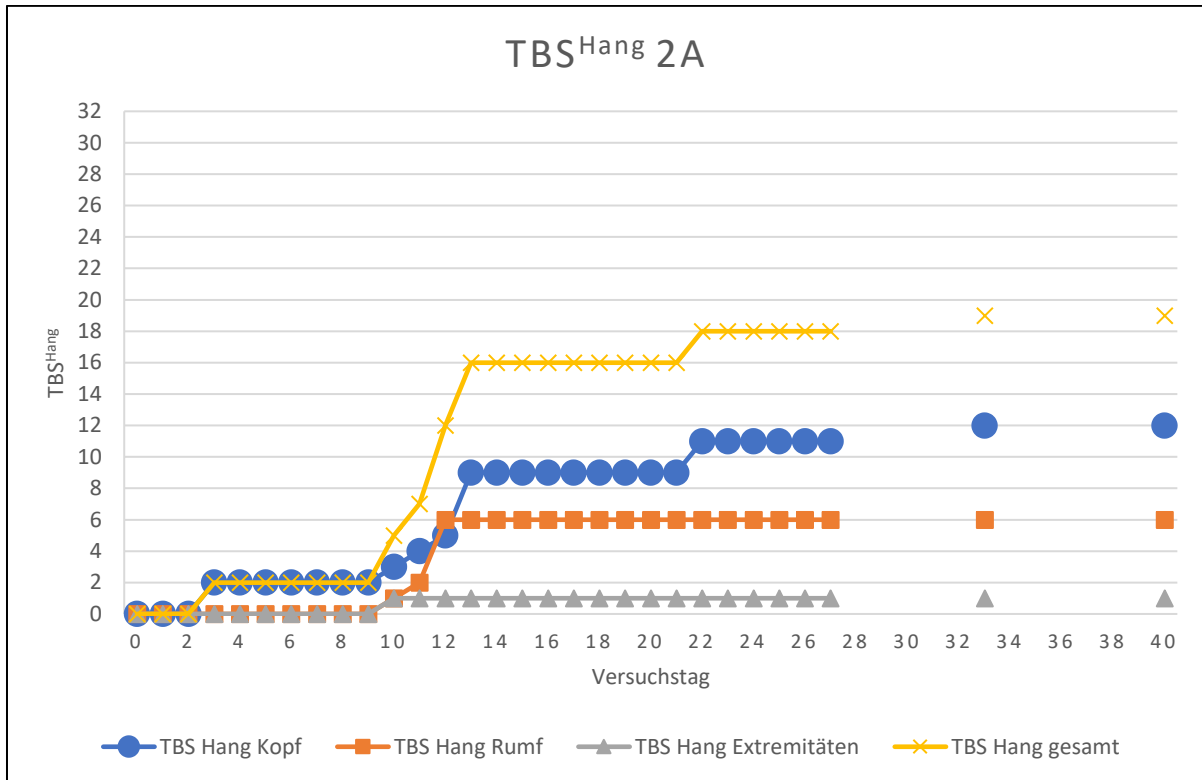


Abbildung 45: Verlauf der errechneten Verwesungsgrade des Schweines 2A.

Alle vier Kurven von Schwein 2A verliefen in Abbildung 45 stufenförmig. Nachdem in den ersten beiden Versuchstagen keine Änderung im $TBS^{\text{Hang}}_{\text{Kopf}}$ von Schwein 2A zu vermerken war, stieg der $TBS^{\text{Hang}}_{\text{Kopf}}$ am dritten Tag auf einen Wert von 2 an und verblieb auf diesem Niveau für eine Woche. Es folgte ein dreitägiger linearer Anstieg auf den Wert 5, an das sich ein neuntägiges Plateau bei $TBS^{\text{Hang}}_{\text{Kopf}}$ 9 und ein sechstägiges Plateau bei $TBS^{\text{Hang}}_{\text{Kopf}}$ 11 anschloss. Bei den beiden stichprobenartigen Besuchen nach Versuchsende wurde jeweils ein $TBS^{\text{Hang}}_{\text{Kopf}}$ von 12 ermittelt.

Bis einschließlich zum neunten Versuchstag traten keine Änderungen für den $TBS^{\text{Hang}}_{\text{Rumpf}}$ und $TBS^{\text{Hang}}_{\text{Extremitäten}}$ von Schwein 2A auf. Es folgte für den $TBS^{\text{Hang}}_{\text{Rumpf}}$ ein dreitägiger Anstieg auf den Wert 6, welcher sich bis Ende der Versuche einschließlich der beiden Folgebesuche nicht mehr änderte. Der $TBS^{\text{Hang}}_{\text{Extremitäten}}$ stieg ab dem zehnten Versuchstag auf einen Wert von 1 an. Auch dieser Wert zeigte im weiteren Verlauf keine Änderung.

6.3.4 TBS^{Hang} 2B

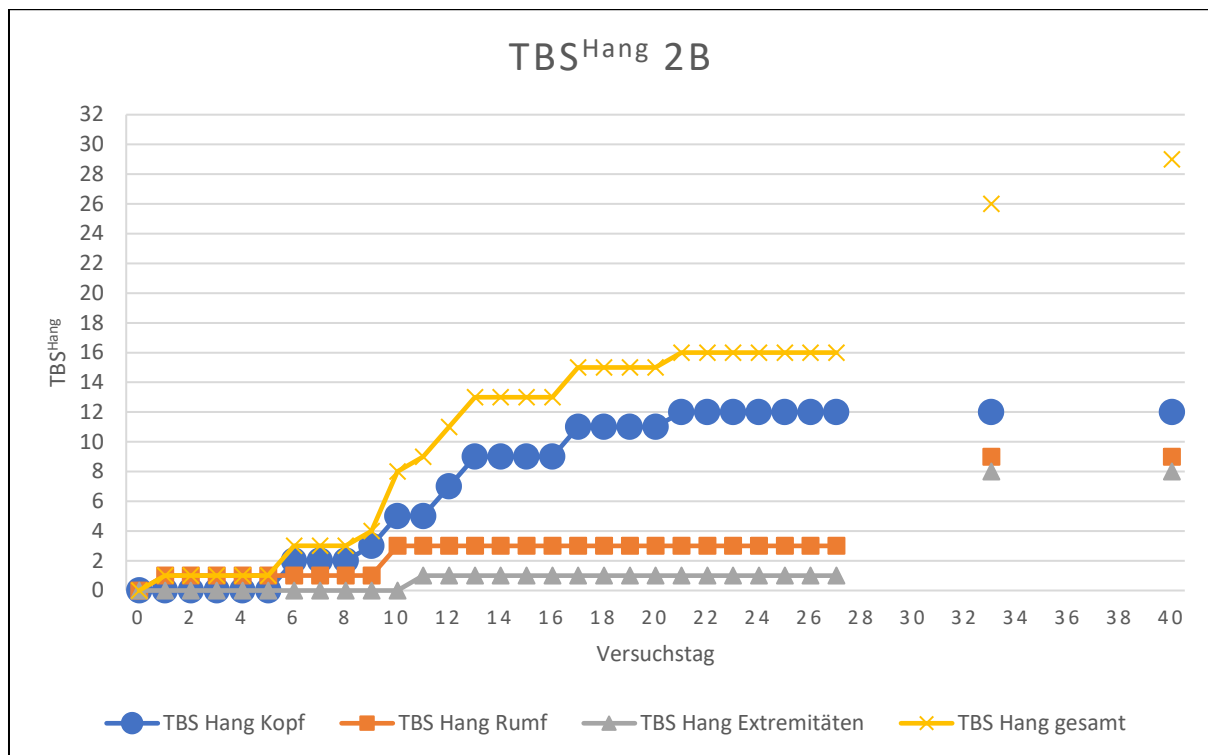


Abbildung 46: Verlauf der errechneten Verwesungsgrade des Schweines 2B.

Abbildung 46 zeigt die Verwesungsgrade des Schweines 2B. In den ersten fünf Tagen blieb der Verwesungsgrad des Kopfes unverändert bei 0. Es folgte ein stufenartiger Verlauf in dem sich ein- bis zweitägige Anstiege mit zwei- bis viertägigen Plateaus abwechselten bis an Versuchstag 21 der Maximalwert von 12 Punkten erreicht wurde.

Der Graph für den $TBS^{\text{Hang}}_{\text{Rumpf}}$ von Schwein 2B stieg am ersten Versuchstag auf den Wert 1 an und verblieb auf diesem Niveau für neun Tage. Darauf schloss sich ein 18-tägiges Plateau bei einem Punktwert von 3 an. Während der beiden Besuche nach Versuchsende wurde ein $TBS^{\text{Hang}}_{\text{Rumpf}}$ von 9 ermittelt.

Der $TBS^{\text{Hang}}_{\text{Extremitäten}}$ von Schwein 2B zeigte bis einschließlich zum zehnten Versuchstag keine Änderung und verblieb bei dem Wert 0. Am elften Tag stieg diese Kurve auf den Punktwert 1 an und verblieb auf diesem Niveau bis zum Versuchsende. Bei den beiden folgenden Besuchen konnte jeweils ein $TBS^{\text{Hang}}_{\text{Extremitäten}}$ von 8 ermittelt werden.

6.3.5 Vergleich des $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ der vier Schweine

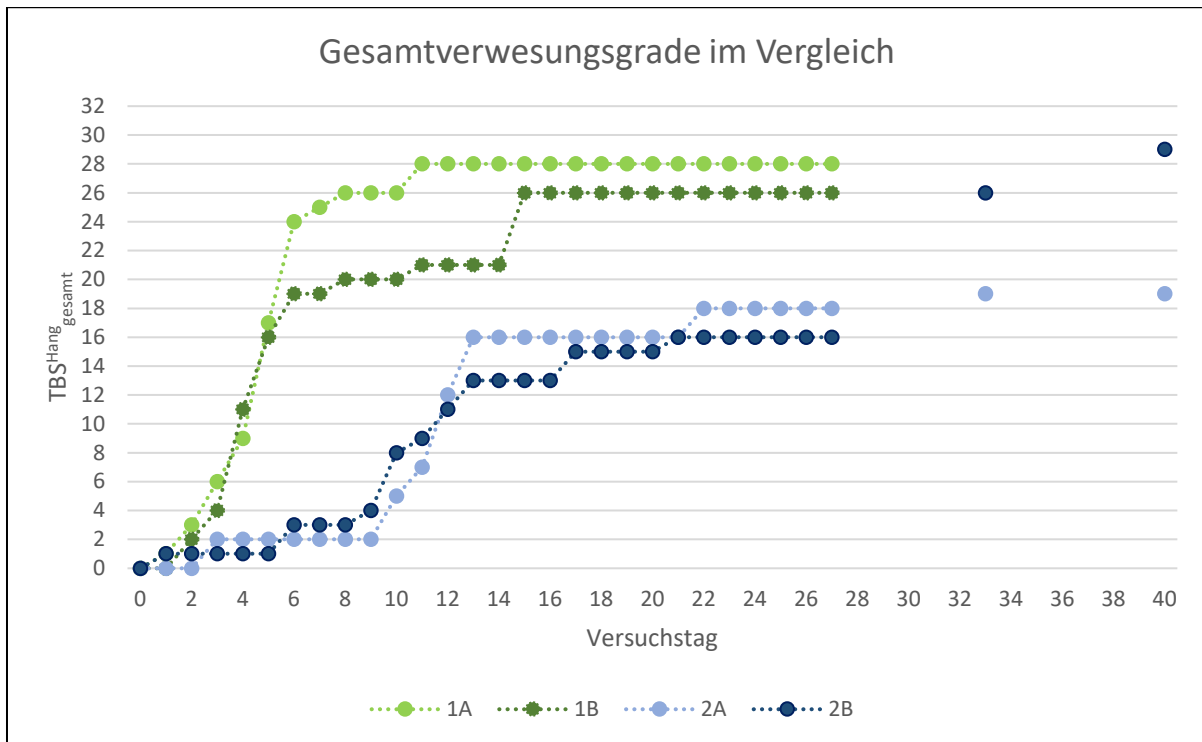


Abbildung 47: Vergleich des $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ für alle vier Schweine nach Versuchstagen.

Der gesamte Verwesungsgrad des Schweines 1A stieg, wie in Abbildung 47 ersichtlich zunächst steil an und erreichte an Versuchstag 8 ein dreitägiges Plateau bei dem Wert 26. An Tag 11 stieg der $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ um zwei Punkte auf den Wert 28 an. Auf diesem Niveau stagnierte der Verwesungsgrad bis zum Versuchsende.

Die Kurve $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ von Schwein 1B stieg zwischen dem ersten und dritten Versuchstag kontinuierlich auf den Wert 4 an. Es folgte ein steiler Anstieg auf den Wert 19 innerhalb der drei Folgetage. Bis einschließlich zum 14. Tag stieg der $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ sanft auf einen Wert von 21 an und erreichte an Tag 15 mit einem sprunghaften Anstieg auf den Wert 26 seinen Maximalwert.

Der Gesamtverwesungsgrad von Schwein 2A verblieb bis zum dritten Versuchstag unverändert bei einem Wert von 0, dem kleinstmöglichen Wert. In den Tagen drei bis neun hielt sich der $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ konstant bei einem Wert von 2. In den vier Folgetagen stieg der $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ steil auf den Wert 16 an und bildete hier für neun Tage ein Plateau, an das sich ein sechstägiges Plateau auf dem Wert 18 anschloss. Bei den beiden folgenden stichprobenartigen Besuchen eine bzw. zwei Wochen nach Versuchsende lag der $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ jeweils bei 19.

Die Kurve des $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ von Schwein 2B hat insgesamt einen stufenhaften Verlauf. In den Versuchstagen eins bis fünf hielt sich der $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ konstant bei einem Wert von 1. Es folgte ein eintägiger Anstieg auf den Wert 3, der sich drei Tage lang nicht änderte. Bis zum 13. Versuchstag stieg die Kurve anschließend annähernd linear an. Es schlossen sich zwei jeweils viertägige Plateaus auf bei dem Wert 13 bzw. 15 an. In der letzten Versuchswoche wurde ein $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ von 16 Punkten ermittelt. Die beiden stichprobenartigen Besuche nach Versuchsende ergaben jeweils Werte von 26 bzw. 29 Punkten.

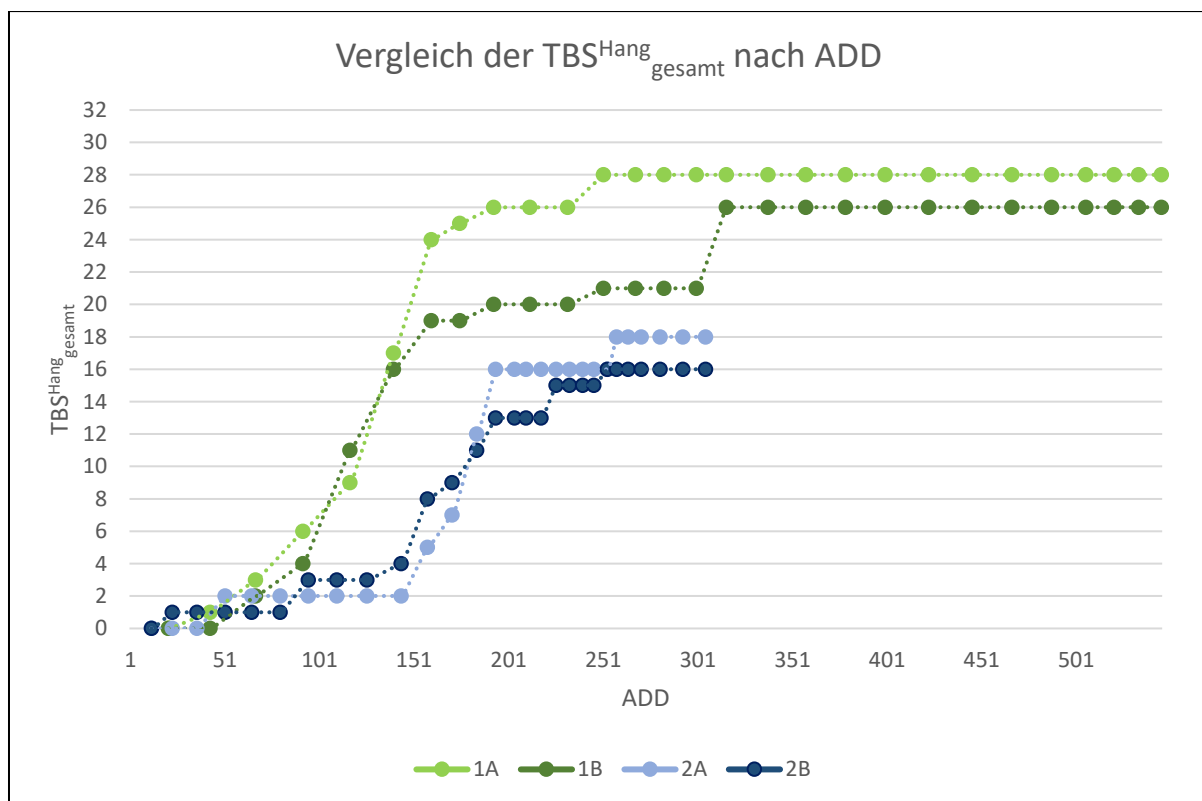


Abbildung 48: Vergleich der Verwesungsgrade in Abhängigkeit der kumulierten Tagesgrade.

Abbildung 48 stellt den $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ in Relation zu den kumulierten Tagesgraden in beiden Versuchsreihen dar. Vergleicht man die Verwesungsgrade beider Versuchsreihen anhand der kumulierten Tagesgrade, so zeigt sich Folgendes:

Bis ca. 20 ADD fand keine Verwesung statt, die sich im Sinne einer $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ - Zunahme feststellen lässt. Dies lässt vermuten, dass in der vorliegenden Arbeit mindestens 20 ADD notwendig waren, bis sich optische Veränderungen in der Verwesung einstellten. Im weiteren Verlauf liegen die Kurven relativ eng beieinander, bis sie ab etwa 70 ADD in den zwei Paaren der jeweiligen Versuchsreihen auseinanderlaufen. Während die beiden Kurven der ersten Versuchsreihe steiler

ansteigen, waren in der zweiten Versuchsreihe mehr ADD nötig, um ähnliche Verwesungsfortschritte im Sinne des $TBS^{Hang_{gesamt}}$ zu erreichen. So waren in VR 1 ca. 110 ADD nötig um einen $TBS^{Hang_{gesamt}}$ vom 10 zu erreichen, während in VR 2 etwa 180 ADD von Nöten waren.

Ab etwa 250 ADD stagnierte die Verwesung größtenteils. In der vorliegenden Arbeit konnte durch weitere Energiezufuhr in Form von ADD kaum ein Fortschreiten in der Verwesung erreicht werden. Schwein 1B stellt hierbei eine Ausnahme dar, denn bei ca. 300 ADD steigt der $TBS^{Hang_{gesamt}}$ nochmals an.

6.4 Insekten

6.4.1 Eiablage

Die ersten Fliegen hielten sich überwiegend in der Kopf- und Afterregion auf, wo etwas Kot austrat. Entsprechend war auch das Muster der Eiablage. Bereits am ersten Versuchstag fanden sich Eier auf allen vier Schweinen, wobei das Muster der Eiablage für alle vier Schweine ähnlich war: Der Großteil der Eier befand sich im Kopfbereich, einige auch in der Afterregion.

Die Eiablage begann im Mund etwa auf Höhe der hinteren Backenzähne und setzte sich in Nasenöffnungen, Augen, Ohren, dem Abschnitt des Seiles, welcher dem Hals anliegt und im Bereich des Afters und Stuhlbolus fort. Im Anschluss fanden sich auch große Mengen an Eier in der Stirn- und Backenregion, so wie im Genital- und Sakralbereich. Auch auf herabgefallenem Gewebe wurden Eier abgelegt.

6.4.2 Maden

Entsprechend den Orten der Eiablage fanden sich die ersten Maden auf allen vier Schweinen im Kopf- und Analbereich. Im Verlauf fanden sich die ersten Madenhaufen in VR1 bei beiden Schweinen im Mund und in VR 2 bei beiden Schweinen in der Nase. Im Folgenden fanden sich Maden unter der sich ablösenden Haut und unterhalb des Schweines auf heruntergefallenem Gewebe. Sobald sich der Bauchraum eröffnete und Darm sowie teilweise einzelne Organe austraten, besiedelte der Großteil der sichtbaren Maden diesen Bereich. Sobald einzelne Regionen austrockneten, ließ die Madenbesiedelung dort nach. Es wurde beobachtet, wie Maden von den Schweinen abfielen und keine Möglichkeit hatten, auf den Kadaver zurück zu kehren.

Tabelle 4: Erstes Auftreten der einzelnen Larvenstadien (LS) pro Schwein. Es werden die jeweiligen kumulierten Tagesgrade für den jeweiligen Tag angegeben.

	Tag 2	Tag 3	Tag 4	Tag 5	Tag 6	Tag 7	Tag 8
1A	1. LS 66,8ADD	2., 3. LS 92,9ADD					
1B		1., 2. LS 92,9ADD	3. LS 116,8ADD				
2A			1., 2. LS 65ADD			3. LS 109,7ADD	
2B				1. LS 80,3ADD	2. LS 94,5ADD		3. LS 125,8ADD

Tabelle 4 stellt dar, wann welches Larvenstadium bei jedem Schwein das erste Mal beobachtet wurde und wie hoch die kumulierten Tagesgrade zu diesem Zeitpunkt waren. Diese Informationen stellen die Abbildungen 49 und 50 grafisch dar. In VR 1 werden für Schwein 1A erstmals am zweiten Versuchstag Maden des ersten Larvenstadiums und am dritten Tag Maden des zweiten und dritten Larvenstadiums dokumentiert. Auf Schwein 1B fanden sich ab dem dritten Tag Larven des ersten und zweiten Stadiums und ab dem vierten Tag Maden im dritten Stadium.

In VR 2 wurden erst am vierten Tag erstmals auf Schwein 2A Maden des ersten und zweiten Larvenstadiums vermerkt. Das dritte Stadium wurde auf diesem Schwein erst am siebten Tag gefunden. Am spätesten entwickelten sich die Maden auf Schwein 2B: Erst am fünften Tag zeigte sich erstmals das erste Larvenstadium, am sechsten Tag das zweite und an Tag acht das dritte Stadium.

In der ersten Versuchsreihe wurden die Entwicklungsstadien eins bis drei innerhalb von nur zwei Tagen durchlaufen, während in der zweiten Versuchsreihe hierfür vier Tage notwendig waren.

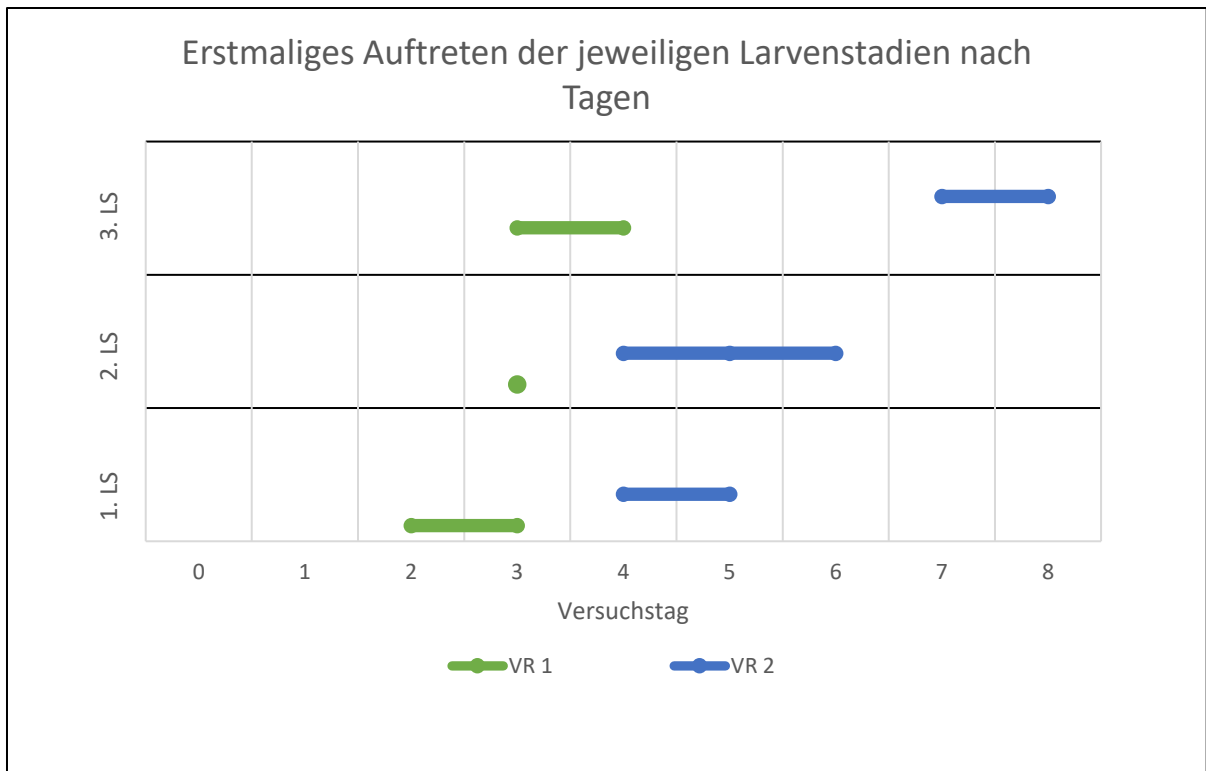


Abbildung 49: Erstmaliges Auftreten der jeweiligen Larvenstadien nach Tagen.

Das erste Larvenstadium trat in den vorliegenden Versuchsreihen erstmalig zwischen dem zweiten und fünften Tag auf. Das zweite Larvenstadium wurde das erste Mal am dritten bis sechsten Tag gefunden, das dritte Stadium am dritten bis achten Tag.

In der ersten Versuchsreihe fand die Entwicklung der Larven vom ersten bis dritten Larvenstadium innerhalb von nur zwei Tagen statt. Für diesen Prozess wurden in der zweiten Versuchsreihe drei bis vier Tage benötigt. In der ersten Versuchsreihe waren die Tage deutlich wärmer, als in der zweiten. Dies belegt, dass die Geschwindigkeit der Madenentwicklung temperaturabhängig ist. Die temperaturabhängige Geschwindigkeit muss in die Ermittlung des PMIs miteinbezogen werden.

Weiterhin wurde das erstmalige Auftreten der drei Larvenstadien in Abhängigkeit von den kumulierten Tagesgraden ausgewertet.

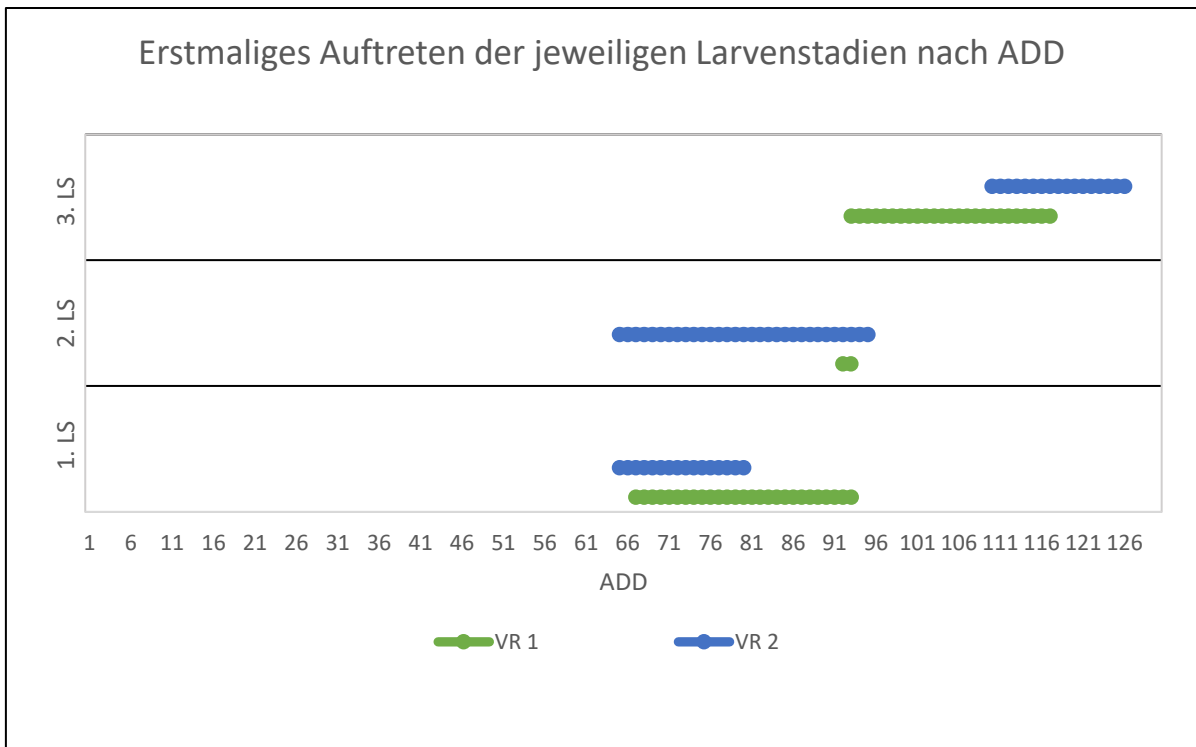


Abbildung 50: Erstmaliges Auftreten der jeweiligen Larvenstadien nach ADD.

Wie in Tabelle 4 und Abbildung 50 ersichtlich, wurde das erste Larvenstadium erstmals beobachtet, wenn 65 – 92,2 ADD erreicht wurden, das zweite Larvenstadium findet sich erstmals bei 65 – 94,5 ADD und das dritte zwischen 92,9 ADD und 125,8 ADD. Wird ein Kadaver mit ausschließlich Maden des ersten Larvenstadiums vorgefunden und sind die Temperaturen der vergangenen Tage bekannt, kann man berechnen, wie viele Tage vergangen sein müssen, um 65 – 92,2 ADD zu erreichen. Dies ist auf eine Situation übertragbar, in der lediglich Maden des ersten und zweiten Larvenstadiums vorgefunden werden. Sind alle drei Stadien auf dem Kadaver vorhanden, so lässt sich über die kumulierten Tagesgrade – in den hier vorliegenden Versuchen mindestens 92,2 ADD – auf das minimale postmortale Intervall schließen.

6.4.3 Schmeißfliegensukzession

Die Abbildungen 51 bis 54 stellen die Schmeißfliegensukzession, also den zeitlichen Verlauf der Besuche von Schmeißfliegen auf dem jeweiligen Schweinekadaver dar. Jeder Schmeißfliege wird eine bestimmte Farbe zugeordnet und diese für die gesamte Arbeit beibehalten.

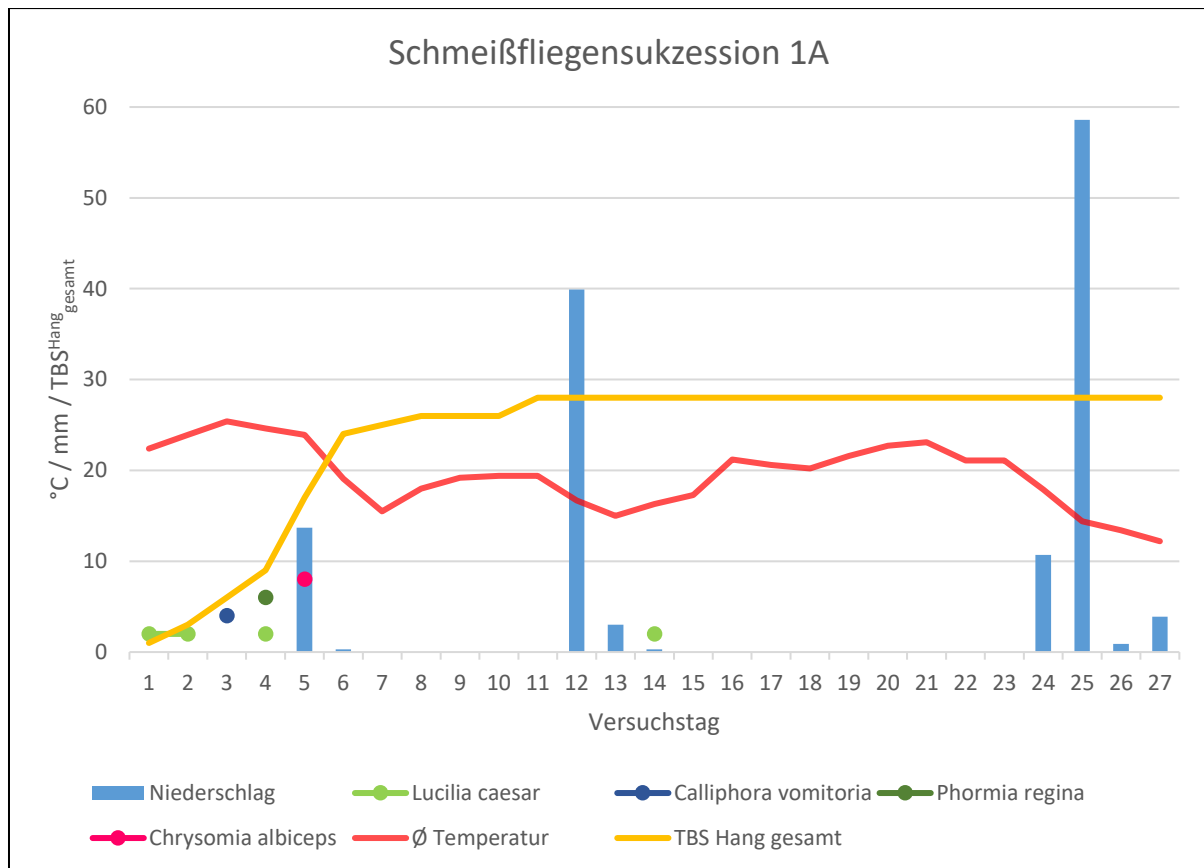


Abbildung 51: Schwein 1A: Schmeißfliegensukzession, Niederschlag, Tagesdurchschnittstemperatur und TBS^{Hang}_{gesamt} im Verlauf der Versuchstage.

Lucilia caesar (hellgrün) wurde auf Schwein 1A als erstes dokumentiert und fand sich an den Tagen 1, 2, 4 und 14 wieder (siehe Abbildung 51). Im Gegensatz dazu wurden die drei anderen Schmeißfliegen nur an jeweils einem einzigen weiteren Tag gesammelt: *Calliphora vomitoria* an Tag 3, *Phormia regina* an Tag 4 und *Chrysomia albiceps* an Tag 5.

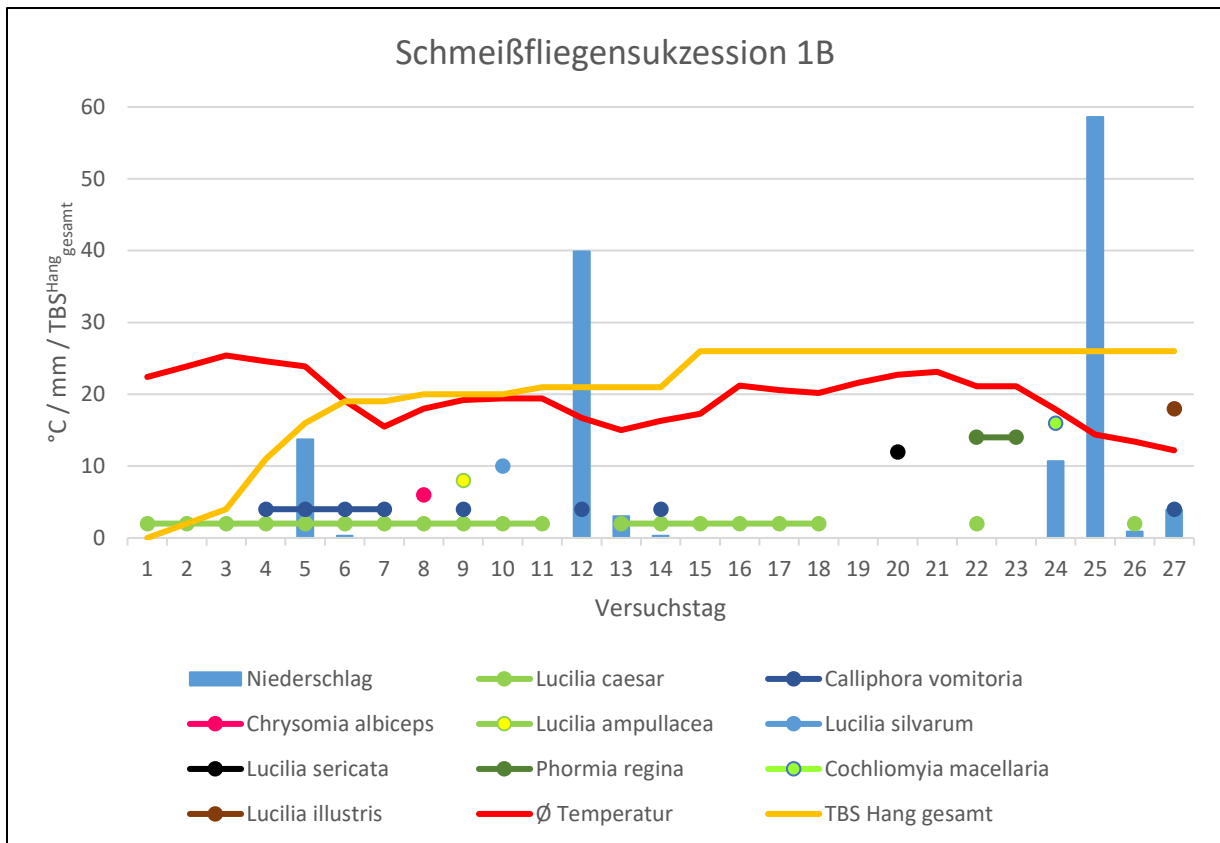


Abbildung 52: Schwein 1B: Schmeißfliegensukzession, Niederschlag, Tagesdurchschnittstemperatur und TBS^{Hang}_{gesamt} im Verlauf der Versuchstage.

Die Schmeißfliegensukzession von Schwein 1B weist im Vergleich zu allen anderen Schweinen die größte Vielfalt an Schmeißfliegen auf (siehe Abbildung 52). Während bei den anderen Schweinen nur drei bis vier verschiedene Arten gefunden wurden, konnten bei diesem neun Arten beobachtet werden: *Lucilia caesar*, *Calliphora vomitoria*, *Chrysomya albiceps*, *Lucilia ampullacea*, *Lucilia silvarum*, *Lucilia sericata*, *Phormia regina*, *Cochliomyia macellaria* und *Lucilia illustris*. Die Fliegen *L. ampullacea*, *L. silvarum*, *L. sericata*, *C. macellaria* und *L. illustris* wurden während beider Versuchsreihen nur bei diesem Schwein dokumentiert. *P. regina* fand sich auch in der Grafik von Schwein 1A, allerdings bereits 18 Tage früher. *L. caesar* wurde dokumentiert an den Tagen 1 - 11, 13 - 18, 22 und 26. Sie war nicht nur die erste Schmeißfliege an dem Kadaver, sondern wurde auch am häufigsten dokumentiert. *C. vomitoria* fand man an den Tagen 4-7, 9, 12, 14 und 27. *C. albiceps* wurde an Tag 8 gesammelt, *L. ampullacea* an Tag 9 und *L. silvarum* an Tag 10. Erst an Tag 20 fand sich eine neue Schmeißfliegenart: *L. sericata*. *C. macellaria* wurde an Tag 24 vorgefunden. *P. regina* wurde an den Tagen 22 und 23 dokumentiert. Am letzten Versuchstag – Tag 27 – wurde *L. illustris* gefangen.

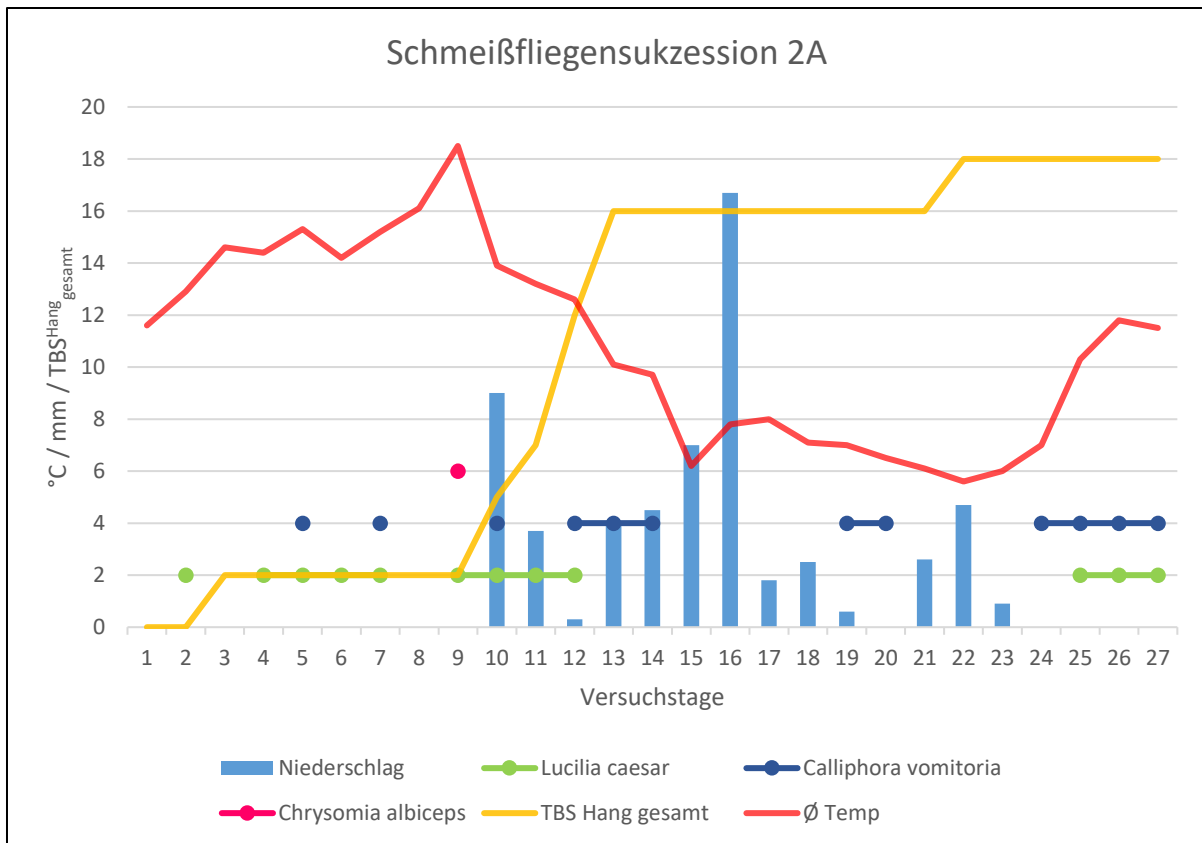


Abbildung 53: Schwein 2A: Schweißfliegensukzession, Niederschlag, Tagesdurchschnittstemperatur und TBS^{Hang}_{gesamt} im Verlauf der Versuchstage.

Die Schweißfliegensukzession auf Schwein 2A wird in Abbildung 53 grafisch dargestellt. In der zweiten Versuchsreihe beschränkte sich die gesammelte Schweißfliegendiversität auf drei Arten: *Lucilia caesar*, *Calliphora vomitoria* und *Chrysomia albiceps*. Diese drei Arten wurden – neben weiteren – auch in der ersten Versuchsreihe gefunden. Die Abfolge der drei Arten war innerhalb beider Versuchsreihen bei allen Schweinen identisch. Als erste wurde *L. caesar* auf den Kadavern gesichtet, Tage später *C. vomitoria* und als letzte dieser drei *C. albiceps*. Lediglich bei Schwein 1A unterbrach die Fliege *P. regina* diese Reihenfolge, da sie noch kurz vor *C. albiceps* auftrat. Während die anderen beiden jeweils an mehreren Versuchstagen auftraten, wurde *C. albiceps* in allen Versuchen nur je an einem einzigen Tag dokumentiert. Bei beiden Schweinen der zweiten Versuchsreihe war dies Tag 9 (1025: Tag 5, 1A: Tag 8). *L. caesar* wurde bei Schwein 2A bereits am zweiten Tag dokumentiert und an den Folgetagen 5-8, 10-13 und 14-16. *C. vomitoria* wurde bei diesem Schwein an folgenden Tagen gefunden: 5, 7, 10, 12-14, 19-20, 24-27.

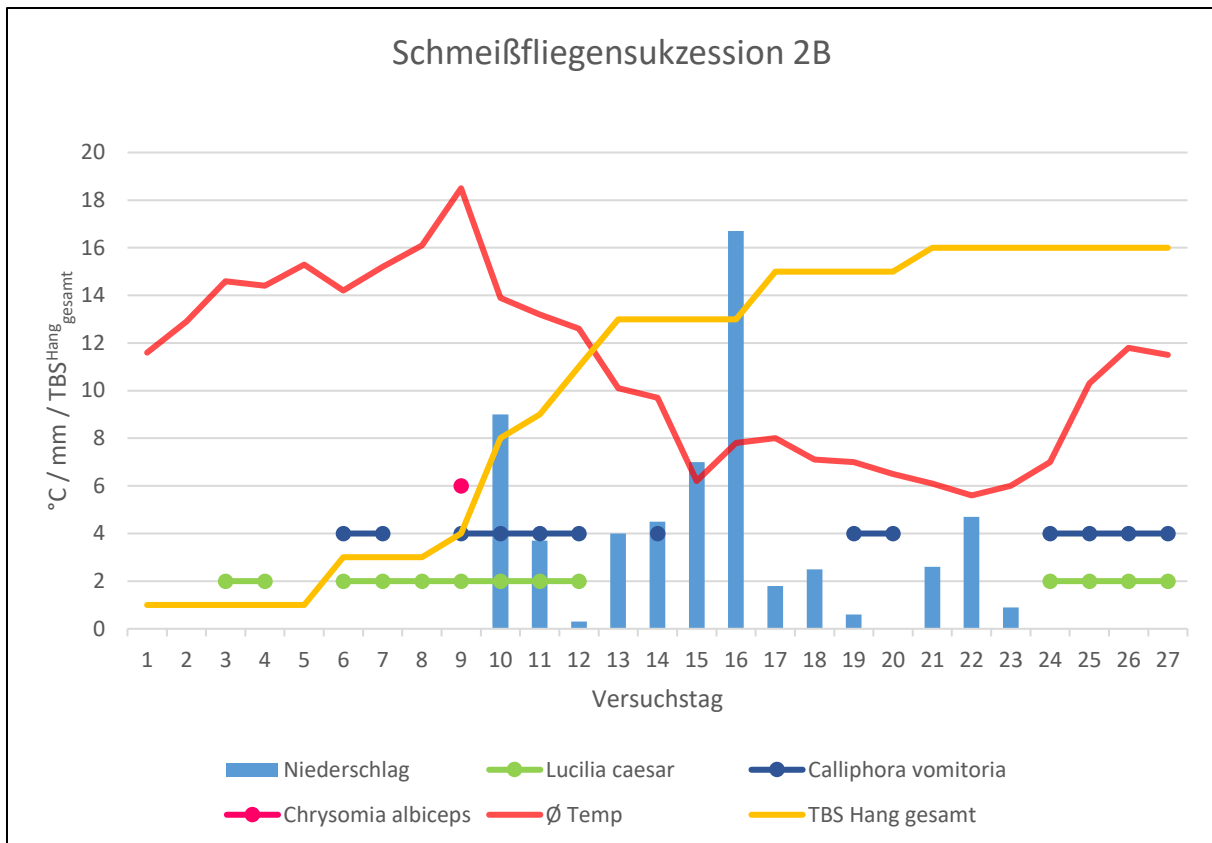


Abbildung 54: Schwein 2B: Schmeißfliegensukzession, Niederschlag, Tagesdurchschnittstemperatur und TBS^{Hang_gesamt} im Verlauf der Versuchstage.

Das Sukzessionsmuster von Schwein 2B (siehe Abbildung 54) ähnelte dem von Schwein 2A sehr. *L. caesar* war erneut die erste Schmeißfliege am Kadaver und an den Tagen 3-4, 6-12 und 24-27 zu finden. *C. vomitoria* wurde an den Tagen 6-7, 9-12, 14, 19-20 und 24-27 dokumentiert und *C. albiceps* an Tag 9.

6.4.4 Fliegensukzession und Käfer

Die Abbildungen 55 bis 58 stellen die gesamte adulte Insektensukzession dar und weisen einen ähnlichen Aufbau wie die vier vorangegangenen Abbildungen auf. Entlang der Y-Achse sind die Insekten nach dem Zeitpunkt ihres ersten Auftretens sortiert, sodass Insekten, die zuerst gefunden wurden weiter unten eingezeichnet sind, als solche, die an späteren Versuchstagen gefangen wurden. Jedem Insekt wird eine Farbe zugeordnet und diese für die gesamte Arbeit beibehalten. Milben und Spinnen wurden aus Gründen der Vollständigkeit in die Datenerhebung und somit auch in die Abbildungen mit einbezogen, erfahren jedoch keine Analyse. Da im vorangegangenen Kapitel bereits ausführlich auf die Schmeißfliegen eingegangen wurde, werden sie in diesem Kapitel nicht mehr eigens erwähnt.

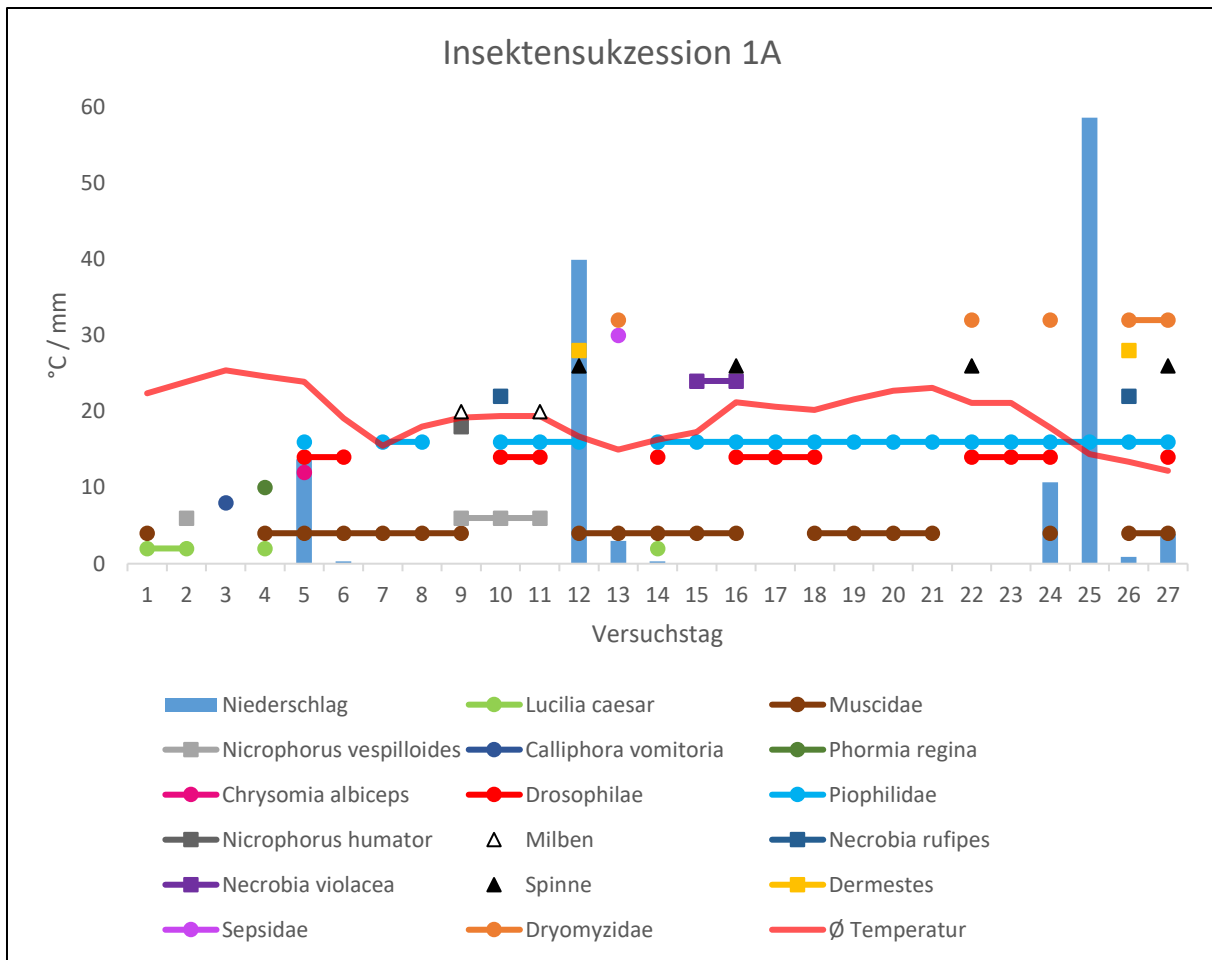


Abbildung 55: Schwein 1A: Sukzession adulter Insekten (● Fliegen, ■ Käfer, ▲ Milben / Spinnen), Niederschlag und Tagesdurchschnittstemperatur im Verlauf der Versuchstage.

Als erste Fliegen erreichten neben Schmeißfliegen *Musciden* das Schwein 1A. Diese fanden sich fast den ganzen Versuchszeitraum hinweg immer wieder auf diesem Schwein (insgesamt an 19 Tagen). *Drosophilae* und *Piophilidae* wurden ab Tag 5 regelmäßig gefangen. An Tag 13 traten erstmals *Sepsidae* und *Dryomyzidae* auf. *Sepsiden* wurden nur an diesem einen Tag beobachtet, während *Dryomyzidae* noch später im Versuchszeitraum, an den Tagen 22, 24, 26 und 27 zu finden waren. An den Tagen 9 und 11 wurden Milben gefangen, welche zuvor an Käferbeinen beobachtet worden sind. Dies legt nahe, dass die Milben durch Käfer auf das Schwein gebracht wurden. Diese These wird von der Tatsache gestützt, dass in allen vier Versuchen zuerst Käfer auf den Schweinen gefunden wurden und erst später im zeitlichen Verlauf auch Milben, niemals umgekehrt. Vereinzelt fanden sich auch Spinnen auf dem Schwein an den Tagen 12, 16, 22 und 27.

Als erster Käfer auf Schwein 1A wurde *Nicrophorus vespilloides* am zweiten Versuchstag entdeckt. Im Folgenden war er etwa eine Woche lang nicht aufzufinden

und wurde erst am 9. bis 11. Versuchstag wieder gesammelt. Auch *Nicrophorus humator* wurde am 9. Versuchstag gefunden, wobei dieser lediglich an diesem einen Tag gefangen wurde. *Necrobia rufipes* fand sich an den Tagen 10 und 26. *Necrobia violacea* wurde an Tag 24 und 25 beobachtet. Am spätesten wurde *Dermestes* an Tag 11 und 26 gefangen.

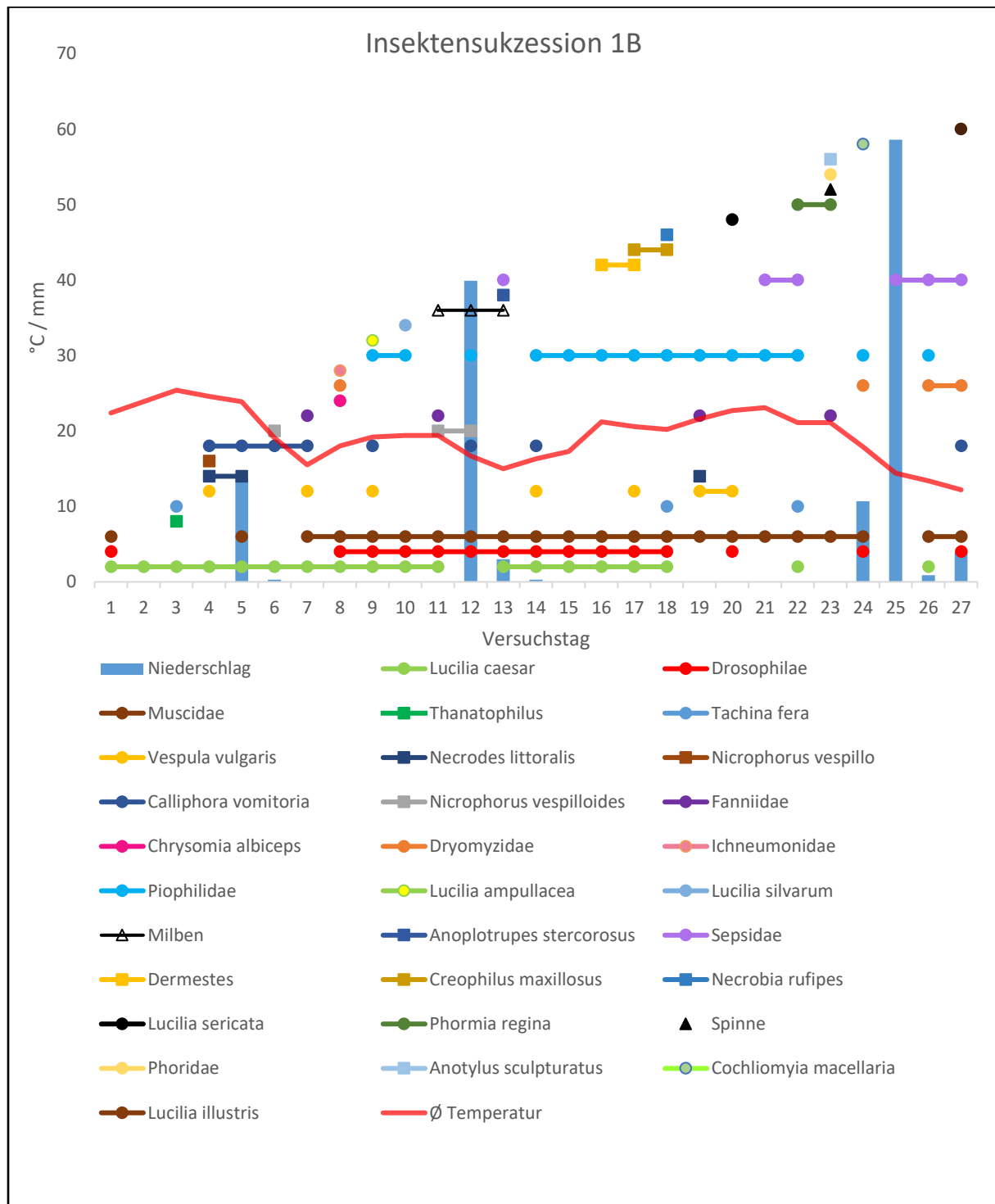


Abbildung 56: Schwein 1B: Sukzession adulter Insekten (● Fliegen, ■ Käfer, ▲ Milben / Spinnen), Niederschlag und Tagesdurchschnittstemperatur im Verlauf der Versuchstage.

Am ersten Tag der Versuchsreihe auf Schwein 1B wurden *Musciden* und *Drosophilae* gefangen. Letztere fanden sich in der folgenden Woche nicht, sondern erst wieder von Tag 8 bis 18 und an den Tagen 20, 24 und 27. *Musciden* befanden sich auf dem Schwein an den Tagen 5, 7-24 und 26-27. *Tachina fera* wurde an den Tagen 3, 18 und 22 vorgefunden. Wespen werden zwischen Tag 4 und 20 in unregelmäßigen Abständen vorgefunden. *Fanniidae* wurden an den Tagen 7, 11, 19 und 23 beobachtet. *Ichneumonidae* besuchten das Schwein lediglich an einem einzigen Tag, nämlich Tag 8. *Dryomyzidae* wurden ebenfalls an Tag 8 dokumentiert und darüber hinaus zusätzlich gegen Ende des Versuchs an den Tagen 24 und 26-27. *Piophilidae* traten besonders in der zweiten Versuchshälfte verstärkt auf. Erstmals wurden sie an den Tagen 9 und 10 beobachtet sowie an den Tagen 14-22, 24 und 26. *Phoridae* wurden jeweils lediglich an einem einzigen Tag (Tag 23) dokumentiert. *Sepsidae* fanden sich an den Tagen 13, 21-22 und 25-27.

Der erste Käfer auf Schwein 1B war *Tanathophilus*, der an Tag 3 erstmalig gesichtet wurde. *Necrodes littoralis* befand sich an den Tagen 4, 5 und 14 auf dem Schwein. *Nicrophorus vespilloides* wurde nur in der ersten Versuchshälfte dokumentiert (Tag 6, 11 und 12). *Anoplotrupes stercorosus* fand sich an Tag 13. *Dermestes* war an den Tagen 16 und 17 vorzufinden, *Creophilus maxillosus* an den Tagen 17 und 18 und *Necrobia rufipes* ebenfalls an Tag 18. Erst gegen Ende des Versuchs an Tag 23 wurde *Anotylus sculpturatus* auf dem Schwein vorgefunden.

An den Tagen 11-13 wurden Milben dokumentiert und an Tag 23 befand sich auf dem Schwein eine Spinne.

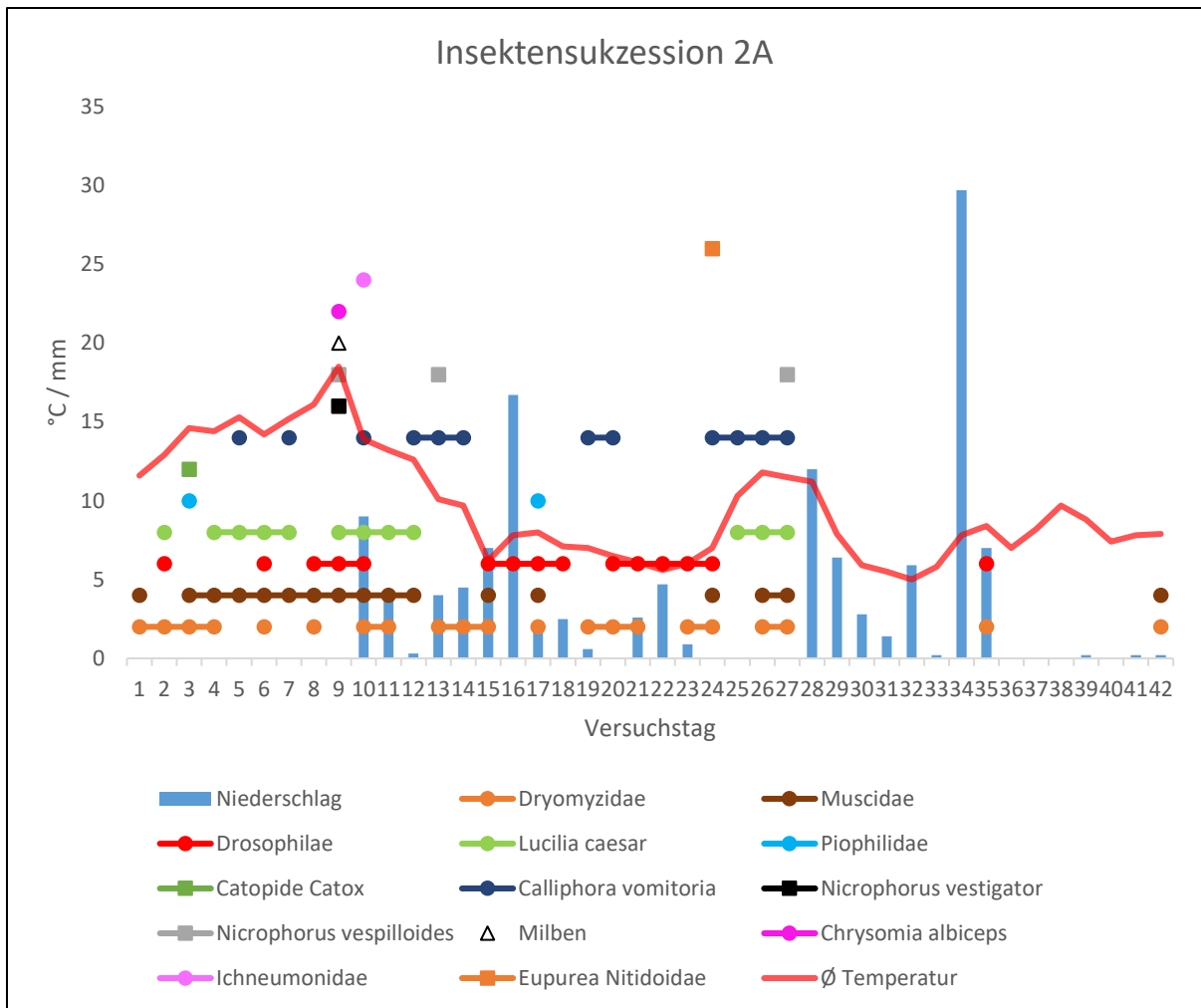


Abbildung 57: Schwein 2A: Sukzession adulter Insekten (● Fliegen, ■ Käfer, ▲ Milben / Spinnen), Niederschlag und Tagesdurchschnittstemperatur im Verlauf der Versuchstage. An den Tagen 28-34 und 36-41 wurden die Schweine nicht aufgesucht.

Über den gesamten Versuchszeitraum hinweg, einschließlich der beiden stichprobenartigen Besuche eine bzw. zwei Wochen nach Versuchsende wurden *Dryomyzidae* in unregelmäßigen Abständen auf Schwein 2A beobachtet. *Musciden* gehören zu den ersten Fliegen, die das Schwein erreichten. Besonders in der ersten Versuchshälfte wurden sie oft beobachtet (Tag 1, Tag 3-12), wohingegen sie in der zweiten Versuchshälfte nur sporadisch zu finden waren (Tag 15, 17, 24, 26-27). Bei dem stichprobenartigen Besuch etwa zwei Wochen nach Versuchsende wurden ebenfalls *Musciden* gefangen. *Drosophilae* wurden bei diesem Schwein erstmals an Tag 2 asserviert und fanden sich im weiteren Verlauf an den Tagen 6, 8-10, 15-18, 20-24 und 35. Lediglich an zwei unterschiedlichen Tagen wurden *Piophilidae* gefangen, nämlich zu Beginn an Tag 3 und in der zweiten Versuchshälfte an Tag 17. *Ichneumonidae* (Tag 10) wurden jeweils nur an einem einzelnen Tag auf dem Schwein vorgefunden.

An Tag 3 wurde auf Schwein 2A der erste Käfer entdeckt, nämlich *Catopide Catox*. *Nicrophorus vestigator* fand sich an Tag 9. An den Tagen 13 und 27 wurde *Nicrophorus vespilloides* dokumentiert. *Eupurea Nitidoidea* wurde an Tag 24 vorgefunden.

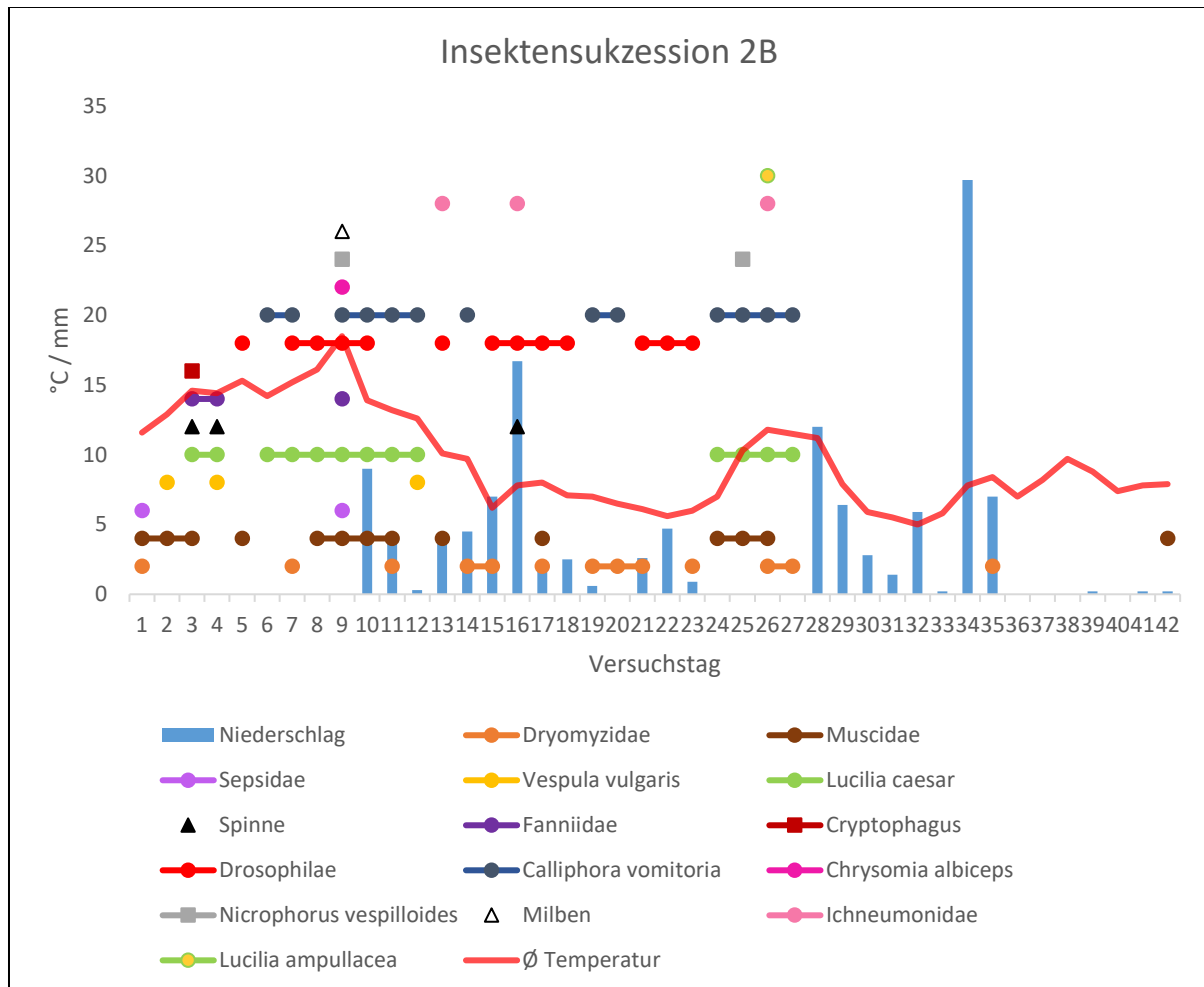


Abbildung 58: Schwein 2B: Sukzession adulter Insekten (● Fliegen, ■ Käfer, ▲ Milben / Spinnen), Niederschlag und Tagesdurchschnittstemperatur im Verlauf der Versuchstage. An den Tagen 28-34 und 36-41 wurden die Schweine nicht aufgesucht.

Bereits am ersten Versuchstag waren *Dryomyzidae*, *Muscidae* und *Sepsidae* auf Schwein 2B vorzufinden. *Dryomyzidae* und *Muscidae* wurden über den kompletten Versuchszeitraum hinweg in unregelmäßigen Abständen vorgefunden. *Sepsidae* hingegen fanden sich nur an Tag 1 und 9. In der ersten Versuchshälfte wurden Wespen an den Tagen 2, 4 und 12 asserviert. *Fanniidae* waren an den Tagen 3, 4 und 9 auf dem Schwein. An den Tagen 13, 16 und 26 wurden *Ichneumonidae* vorgefunden.

Als erster Käfer auf Schwein 2B wurde an Tag 3 *Cryptophagus* vorgefunden. *Nicrophorus vespilloides* wurde an den Tagen 9 und 25 auf Schwein 2B beobachtet. Spinnen wurden an Tag 3, 4 und 16 auf dem Schwein 2B gesammelt und Milben an Tag 9 asserviert.

7 Diskussion

7.1 Verwesung

Das Fortschreiten der Verwesung verläuft in verschiedenen Körperregionen unterschiedlich (Megyesi et al. 2005), weshalb die unterschiedlichen Regionen zunächst separat bewertet werden sollten.

7.1.1 Verwesung unter Berücksichtigung des $TBS^{\text{Hang}_{\text{Kopf}}}$

In beiden Versuchsreihen begann die Vertrocknung der Zunge und Lippen spitze im geöffneten Mund am ersten Tag nach der Aufhängung. Durch die Schwerkraft stand der Mund des Schweines offen und ermöglichte so ein rasches Vertrocknen der dünnen Schweinezunge. Dies legt die Vermutung nahe, dass eine exponierte Position der Zunge zu einer schnelleren Vertrocknung führt, was beim hängenden Kadaver durch die ausgeprägte Mundöffnung begünstigt wird. Die Vertrocknung der Zunge und Lippen schritt in VR 2 langsamer voran als in VR 1 und erreichte auch nur ein geringeres Ausmaß. Ursächlich hierfür könnten die deutlich niedrigeren Temperaturen, folglich die geringeren kumulierten Tagesgrade und die höhere Zahl der Niederschlagstage in VR 2 sein.

Mehrere Versuche zeigen bereits, dass in der Regel der Kopf schneller als der Rumpf verwest (Jarmusz und Bajerlein 2019, Anton et al. 2011, Matuszewski et al. 2008, Matuszewski et al. 2010, Jarmusz et al. 2020). Diese Beobachtungen konnten auch bei drei der vier Schweine (siehe Abbildungen 43 bis 46) der vorliegenden Versuchsreihen bestätigt werden. Mit Ausnahme von Schwein 1A erreichten die Köpfe der anderen Schweine überwiegend die höchsten Werte oder lagen gleichauf mit dem $TBS^{\text{Hang}_{\text{Rumpf}}}$, während der Kopf von Schwein 1A nach Bewertung des Systems nach Lynch-Aird et al. (2015) in der Verwesung nicht so weit fortzuschreiten schien. Ursächlich hierfür könnte die Haltung des Kopfes sein, die maßgeblich von der Lage des Knotens bestimmt wird. Liegt der Knoten wie bei Schwein 1A tief, annähernd mittig im Nacken blieb der Kopf gerade hängen, während sich der Kopf bei seitlichem Knoten (1B, 2A, 2B) zur Schulter neigt. Diese Neigung ermöglicht im Verlauf, dass die sich ablösende Gesichtshaut entlang der Schwerkraft zur Seite rutschen kann und folglich mehr Knochen freigelegt wird, was zu einer Erhöhung des Punktwerts führt. Auf dem annähernd horizontal stehenden Nasenskelett von Schwein 1A hängt die Haut annähernd symmetrisch herab und wird folglich nicht auf eine Seite heruntergezogen.

Ob die Maskenbildung und das Herabrutschen der Gesichtshaut auch beim Menschen beobachtet werden kann und Rückschlüsse auf das PMI zulässt, sollte zukünftig untersucht werden.

Die schnelle, effektive Verwesung des Kopfes kann darüber hinaus mit der Erstbesiedelung der Fliegenlarven in Einklang gebracht werden. Wenn die Maden sich aus den in Auge, Nase, Mund, Ohren und After abgelegten Eiern entwickeln, beginnen sie dort auch mit dem Fraß und im Verlauf bilden sich dort die ersten Madenhaufen. Auch Heo et al. (2010) beschreiben in ihrer Studie zunächst einen Befall der natürlichen Körperöffnungen. Da es sich bei den Eiablagestellen um geschützte Orte handelt, bleibt der Großteil der Maden zum Fressen dort. Am Kopf findet sich insgesamt außerdem weniger Gewebe als in der Region des Hinterteils. Deswegen muss hier weniger Gewebe entfernt werden, um Knochen freizulegen und das Stadium der Skelettierung tritt aus diesem Grund am Kopf früher ein. Vor dem Hintergrund dieser Beobachtungen lässt sich die schnellere und effizientere Verwesung des Kopfes erklären: Der frühe und weitreichende Madenbefall der gesamten Kopfreion beschleunigt in der Folge die Zersetzung der geringeren Weichteilmasse deutlich.

Die Skelettierung des Kopfes begann bei allen vier Kadavern im Bereich des Unter- und Oberkiefers. Auch Heo et al. (2010) beobachteten dieses Phänomen (Heo et al. 2010). Ursächlich hierfür könnte sein, dass sich die Maden geschützt zwischen Zahnreihe und Lippen fortbewegen können ohne, dass ihnen ein Herunterfallen droht. Folglich können sie unbeeinflusst von äußeren Faktoren die Haut an dieser Stelle zersetzen. Im Verlauf könnte auch das Zurückziehen der Haut am Kiefer die frühe optische Skelettierung begünstigen, da es somit mechanisch zum Freilegen von Knochen kommt. In der zweiten Versuchsreihe skelettieren die Köpfe beider Schweine vollständig. Jarmusz und Bajerlein (2019) beobachten dieses Phänomen teilweise im Sommer. Auch in der Studie von Anton et al. (2011) skelettierte der Kopf des liegenden Schweines im Spätsommer zuerst. Bereits an Tag 9 war der Schädel komplett skelettiert (Jarmusz und Bajerlein 2019, Anton et al. 2011).

In VR 2 fand bei beiden Schweinen eine postmortale Dekapitation statt. Jarmusz et al. (2020) beobachten dieses Phänomen in ihrer in Polen durchgeführten Studie bei einigen Schweinen. Heo et al. (2010) vermerkt ebenfalls ein Abfallen von Schweinen nach Abriss des Kopfes. Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass in VR 2 länger höhere Gewichtskräfte auf den Hals wirkten. Einerseits stellte sich kein Bodenkontakt

durch Dehnung ein und andererseits eröffnete sich der Bauch nicht, wodurch sich die Eingeweide nicht entleeren konnten. Darüber hinaus waren die Schweine in VR 2 etwas schwerer als in VR 1. Zusätzlich wird durch die Mumifizierung in VR 1 das Gewebe im Halsbereich unattraktiver für Maden, was folglich zum Stoppen des Verwesungsfortschrittes führt.

Bei der Beschreibung des Verwesungsverlaufs ist aufgefallen, dass sich der Schädelknochen entlang der Sagittalebene spalten konnte und sich auch die einzelnen Schädelnähte voneinander entfernten. Diese Befunde sind vermutlich zum einen auf das geringe Alter der Tiere zurückzuführen. Bei jungen Schweinen sind die Schädelnähte noch nicht fest miteinander verwachsen und können so einfach getrennt werden. Zum anderen spielen vermutlich Scherkräfte, die durch den Zug der Schlinge entstehen, eine wichtige Rolle. Druckerhöhungen im Schädelinneren, zum Beispiel durch Fäulnisgasbildung, können hierfür keine Erklärung sein, da die Mundhöhle kein geschlossener Raum ist. Viel eher hätten die Kopfnähte am Hirnschädel solche Abweichungen aufzeigen müssen. Ob dieses Phänomen der Knochenspaltung auch am kindlichen menschlichen Schädel auftreten kann, sollte Gegenstand zukünftiger Untersuchungen sein. Falls ja, sollten die knöchernen Veränderungen am Gesichtsschädel in einem realen Fall der Erhängung durch einen Gutachter darauf hin untersucht werden, ob diese allein durch die Aufhängung oder durch gewaltsame Fremdeinwirkung verursacht wurden.

7.1.2 Verwesung unter Berücksichtigung des $TBS^{\text{HangRumpf}}$

Im Rahmen der Beobachtung von Schwein 1A und 2B fiel auf, dass die Werte des $TBS^{\text{HangRumpf}}$ bei diesen Schweinen anfänglich noch über denen des Kopfes lagen. Somit erreichte in den ersten Tagen die Verwesung des Rumpfes noch höhere Verwesungsstadien und schritt zu Beginn schneller voran als die des Kopfes. Dies hat seine Ursache in den im Darm befindlichen Bakterien, die die Darmwand mit Eintritt des Todes ungehindert passieren können und Hämoglobin abbauen und wird als Grünfäulnis im Unterbauchbereich sichtbar (Azwandi und Abu Hassan 2009). Auf Grund der großen Menge an Bakterien im Darm wird also diese optische Erscheinung der Fäulnis im Rumpfbereich schneller erreicht, als es durch Autolyse, also Selbsterstörung der Zellen, und Madenfraß im Kopfareal möglich ist. In VR 1 setzt die Grünfäulnis bei Schwein 1A einen Tag früher ein (1. Tag) als bei Schwein 1B (2. Tag). In VR 2 liegt eine Woche zwischen dem Einsetzen der Grünfäulnis bei den

jeweiligen Schweinen (2A: 8. Tag, 2B, 1. Tag). Möglicherweise spielt das Körpergewicht (siehe Tabelle 1) oder die Dicke des Unterhautfettgewebes hierbei eine Rolle, da eine dickere Fettschicht einerseits ein Auskühlen verhindert, wodurch mehr Wärmeenergie zur Verfügung steht und den bakteriellen Hämoglobinabbau voran treiben kann, andererseits wird die Grünfärbung unter einer dünneren Fettschicht womöglich früher sichtbar. In Käfig A konnte das Aufblähen der jeweiligen Kadaver früher (1A: Tag 3, 2A Tag 10) als in Käfig B (1B: Tag 4, 2B: Tag 12) beobachtet werden. Obwohl die beiden Käfige lediglich 12 m voneinander entfernt standen ist es möglich, dass dieser geringe Ortsunterschied die Verwesung bereits beeinflusste, indem einer der Käfige Umwelteinflüssen wie Sonnenstrahlen, Regen oder Wind mehr oder weniger ausgesetzt war als der andere.

In der ersten Versuchsreihe wurde bei beiden Schweinen beobachtet, dass sich im Verlauf der Verwesung die Bauchregion eröffnen kann (1A Tag 5, 1B Tag 6), aus der in der Folge Organe und Knochen herausfallen. Im weiteren Verlauf erscheinen diese Schweine optisch „leer“. Dieses Phänomen wird auch in anderen Studien beobachtet (Jarmusz und Bajerlein 2019, Lynch-Aird et al. 2015). In der zweiten Versuchsreihe kam es teilweise rektal zu Darmaustritt, eine Eröffnung der Bauchhöhle vor Abfallen der Schweine bleibt allerdings aus. Ursache hierfür könnte sein, dass während des ersten Versuchs höhere Temperaturen herrschten, folglich die Energie im Sinne der kumulierten Tagesgrade höher war und sich schneller eine größere Menge an Fäulnisgasen bildeten. Aufgrund des höheren intraabdominellen Drucks erscheint es wahrscheinlicher, dass sich die Bauchdecke eröffnet. Auch die Fressaktivität der Maden spielt eine entscheidende Rolle. Sind diese in großer Zahl aktiv könnte es wahrscheinlicher sein, dass sie mechanisch die Integrität der Bauchdecke zerstören.

Darüber hinaus bildeten sich bei Schwein 1B am vierten Tag im Hüftbereich und am Abdomen mehrere oberflächliche Hautblasen, welche mit dunkler Fäulnisflüssigkeit gefüllt waren. Diese eröffneten sich im Verlauf. Bei Schwein 1A wurde eine solche Flüssigkeitsblase nicht beobachtet. Allerdings eröffnete sich die Bauchhöhle von 1A auch früher vollständig, als die von Schwein 1B, bei dem am gleichen Versuchstag lediglich Teile des Darms durch eine Öffnung in der Bauchdecke hervorquollen. Möglicherweise trat die Flüssigkeit also bei 1A über die aufklaffende Bauchhöhle aus, während die Flüssigkeit sich bei 1B zunächst unter der Haut ansammelte und nicht abfließen konnte.

Der für liegende Kadaver entwickelte *Total Body Score* nach Megyesi et al. (2005) berücksichtigt zwar die Verwesungsform der Mumifizierung, bewertet sie aber nicht mit der Maximalpunktzahl (Megyesi et al. 2005). Von Lynch-Aird et al. (2015) wird die Theorie aufgestellt, dass hängende Schweine im Vergleich zu den liegenden mit einer größeren Oberfläche dem Wind ausgesetzt sind, was mit einer größeren Wahrscheinlichkeit zur Mumifizierung führt (Lynch-Aird et al. 2015). Im Rahmen der vorliegenden Studie konnte in Versuchsreihe 1 eine weitreichende Mumifizierung festgestellt werden. In Versuchsreihe 2 wurde keine Mumifizierung beobachtet, weder bevor noch nachdem die Schweinekadaver abfielen und die Kriterien des Hängenden somit nicht mehr erfüllten. Ursächlich hierfür könnten die Kombination von niedrigeren Temperaturen und häufigerem Niederschlag in VR 2 sein, welche zu einem feuchteren Klima führten und folglich ein Austrocknen und Mumifizieren verhinderten. Weiterhin begünstigten in VR 1 die frühe Eröffnung des Bauchraums und das Herausfallen der Eingeweide und Knochen das Austrocknen des Kadavers von innen her, während in VR 2 bei geschlossener Bauchdecke Körperflüssigkeiten nur sehr langsam entweichen konnten.

7.1.3 Verwesung unter Berücksichtigung des $TBS^{\text{Hang}}_{\text{Extremitäten}}$

Der Verwesungsprozess der Extremitäten unterschied sich in den beiden Versuchsreihen sehr. Während sie in VR 1 stark voranschritt und Schwein 1A sogar die Maximalpunktzahl von 9 erreichte, wurden in VR 2 kaum Verwesungsfortschritte vermerkt.

Im Gegensatz zu VR 2 eröffnete sich in VR 1 die Bauchhöhle (1A Tag 5, 1B Tag 6) und der Inhalt konnte herausfallen. Dies ermöglichte ebenfalls später ein Herabfallen von Knochen ($TBS^{\text{Hang}}_{\text{Extremitäten}}$ 8 Punkte) durch die eröffnete Bauchdecke hindurch in die Fallzone. Auch Maden fielen auf diesen Bereich herab und ermöglichten eine Zersetzung der auf den Knochen befindlichen Weichteile. Während mumifizierte Hauttaschen zurückblieben, konnte der Knochen trotzdem unter dem Schwein durch Madenfraß von sämtlichen Weichteilen befreit werden und trocken zurückbleiben und damit die Maximalpunktzahl des $TBS^{\text{Hang}}_{\text{Extremitäten}}$ erreichen.

7.1.4 Verwesung unter Berücksichtigung des $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$

Insgesamt unterschieden sich die beiden Versuchsreihen in ihrer Verwesung optisch stark und auch hinsichtlich der Geschwindigkeit des Verwesungsfortschritts im Sinne

eines $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ - Anstiegs. In VR 1 schritt die Verwesung schnell voran, die Bauchhöhlen eröffneten sich und schließlich erfolgte eine Mumifizierung. In der zweiten Versuchsreihe hingegen erschien der Verwesungsprozess in VR 2 langsamer und sehr feucht und es konnte keine Mumifizierung beobachtet werden. Diese Beobachtung kann anhand der Wetterbedingungen erklärt werden, denn obwohl es in VR 2 zwar insgesamt wesentlich weniger (58,3 mm) regnete als in der ersten (131,3 mm), war die Zahl der Tage mit Niederschlag höher und es regnete an vielen Folgetagen. In Kombination mit den niedrigeren Temperaturen und folglich niedrigeren kumulierten Tagesgraden in VR 2 entstand ein feuchtes Klima und es wurde ein Austrocknen des Kadavers verhindert.

Bei der Bewertung der oben beschriebenen Eröffnung der Bauchdecke ist aufgefallen, dass dieses Ereignis Einfluss auf alle drei betrachteten Körperregionen nahm: Da die nach dem Herausfallen von Eingeweiden leere Brust- und Bauchhöhle eine größere Oberfläche aufwies, konnte sie folglich schneller vertrocknen und mumifizieren. Auch die herausgefallenen Eingeweide boten sofort eine große Angriffsfläche für Insekten. Zum anderen wurde die Verwesung des Kopfes insofern beeinflusst, da an der nun mumifizierten und für Maden unattraktiven Haut die Verwesung stoppte und außerdem nach dem Herabfallen der Gedärme das Gewicht, das auf ihr lastete nun geringer war. Das machte eine Dekapitation unwahrscheinlicher. Auch hatte die Eröffnung der Bauchdecke Einfluss auf die Verwesung der Extremitäten, da nur bei leerer Brust- und Bauchhöhle die Knochen der Extremitäten bei intakter, mumifizierter Haut herausfallen konnten.

Auch innerhalb der jeweiligen Versuchsreihen sind Unterschiede im $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ aufgefallen. Der $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ der Schweine in Käfig A war meist höher als bei den Schweinen in Käfig B. Ursächlich hierfür könnte der Ortsunterschied und die damit einhergehende Abweichung der Umweltbedingungen sein.

Der sprunghafte Verwesungsfortschritt in VR 2 ab dem neunten Versuchstag kann mit einem kurzzeitigen Temperaturanstieg um diesen Tag erklärt werden (siehe Abbildung 3). Durch die erhöhten Temperaturen wurden auch die Maden aktiver, welche durch das Fressen von totem Gewebe den Verwesungsprozess antrieben. Auch Matuszewski (2010) beobachtet in seiner Studie eine positive Korrelation zwischen der Umgebungstemperatur und der Fressrate von Maden: Im Sommer, wenn die Umgebungstemperatur am höchsten war, war auch die Fressrate am größten. Vor

diesem Hintergrund kann erklärt werden, warum der $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ in der ersten Versuchsreihe deutlich schneller anstieg und auch höhere Werte erzielte als in Versuchsreihe 2. Wie Tabelle 3 zeigt, lag die niedrigste Tagesdurchschnittstemperatur in Versuchsreihe 1 bei 12,2 °C und die höchste bei 25,4 °C. Die Temperaturen in der zweiten Versuchsreihe lagen zwischen 5,0 °C und 18,5 °C. Die Temperaturen waren während der ersten Versuchsreihe deutlich höher als während der zweiten. Es war also mehr Wärmeenergie im Sinne von kumulierten Tagesgraden vorhanden, wodurch die Fressrate der Maden positiv beeinflusst wurde. Die Folge war eine effektivere Zersetzung.

Ein weiterer wichtiger Aspekt, der die Leichenliegezeitbestimmung erschweren kann, ist der Bodenkontakt. Nicht in jedem Fall von Erhängung hängt der Leichnam von Anfang an frei, wodurch kriechenden Insekten bereits zu Beginn Zugang zum Leichnam gewährt wird.

Aber auch wenn der Kadaver direkt nach dem Aufhängen noch keinen Bodenkontakt hat, kann dieser im Verlauf entstehen: Einerseits, wie in den vorliegenden Versuchen durch Gewebsdehnung entlang der Schwerkraft, Abreißen des Kopfes oder Herausfallen von Organen, andererseits aber auch durch äußere Umstände, wie Herabsenken oder Abbrechen der Aufhängung selbst oder Reißen des Strickes. Wenn der genaue Zeitpunkt des erstmals entstandenen Bodenkontakts unklar ist, erschwert dies die Bestimmung des postmortalen Intervalls.

Zu Beginn der Versuche ist die Streuweite der Tagesgrade pro $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ (siehe Abbildung 48) noch recht gering, nimmt aber im Laufe der Versuche zu. Je weniger Zeit nach Eintritt des Todes vergangen ist, desto besser lässt sich dieser Zeitpunkt folglich unter Berücksichtigung der ADD und des $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ eingrenzen. So sind beispielsweise bei einem $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ von 5 in den vorliegenden Versuchen etwa 80 - 150 AD vergangen. Je höhere Werte der $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ erreicht, desto breiter ist die Streuweite der ADD und desto schwieriger ist nun die Rückrechnung auf die Leichenliegezeit, da der mögliche Zeitraum immer größer wird. Betrachtet man beispielhaft den $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ von 20, so waren in der vorliegenden Arbeit 150 - 300 ADD nötig, um diesen Punktwert zu erreichen. Auch bei dieser Betrachtungsweise zeigt sich, dass die alleinige Berücksichtigung der Verwesungsgrade und ADD nur begrenzt eine Aussage über das PMI zulässt. Vielmehr ist die Zusammenschau unter

Miteinbeziehung der Larvenstadien, der Insektensukzession und den äußeren Umständen sinnvoll.

Beim Vergleich des TBS^{Hang}_{gesamt} in Abhängigkeit der Versuchstage versus kumulierter Tagesgrade (siehe Abbildungen 47 und 48) kann festgestellt werden, dass der TBS^{Hang}_{gesamt} aller vier Schweine mithilfe der ADD besser eingegrenzt werden konnte. So stellte sich ein TBS^{Hang}_{gesamt} von 10 unter Berücksichtigung der absoluten Tage in VR 1 um den 4. und in VR 2 etwa am 12. Versuchstag, also der dreifachen Zeit ein. Der TBS^{Hang}_{gesamt} von 10 projizierte sich hinsichtlich der kumulierten Tagesgrade auf ca. 120 ADD in VR 1 und ca. 180 ADD in VR 2, also dem lediglich eineinhalbfachen Wert. Daraus lässt sich folgern, dass das PMI mithilfe der kumulierten Tagesgrade besser eingegrenzt werden kann, als über die reinen Versuchstage.

In der vorliegenden Arbeit wurde das Verwesungsmuster an nackten hängenden Schweinen untersucht. Eine Übertragung der Ergebnisse dieser Arbeit auf bekleidete Kadaver ist nur eingeschränkt möglich.

7.2 Kritik am Punktevergabesystem nach Lynch-Aird et al. (2015)

Bei der Anwendung des Punktevergabesystems für den TBS^{Hang} nach Lynch-Aird et al. (2015), die ein eigens für hängende Schweine konzipiertes System entworfen haben sind einige Schwachstellen aufgefallen.

Oft werden innerhalb eines Unterpunktes mehrere optische Veränderungen aufgezählt und es bleibt unklar, ob der jeweilige Punkt vergeben wird, wenn eine der Veränderungen eintritt oder alle eingetreten sein müssen. So werden innerhalb des TBS^{Hang}_{Kopf} beispielsweise 2 Punkte vergeben für *Austritt von Fäulnisflüssigkeit, Verfärbung der Haut zu schwarz, Einsinken der Haut um die Augen, beginnendes Vertrocknen von Haut und Lippen, meistes Fleisch noch frisch*. Das Vertrocknen der Lippen wird meist innerhalb der ersten Tage beobachtet (1A Tag 2, 1B Tag 2, 2A Tag 3, 2B Tag 6), während allerdings Fäulnisflüssigkeit erst deutlich später austritt (1A Tag 4, 1B Tag 4, 2A Tag 9, 2B Tag 10). Diese zeitliche Diskrepanz zeigt, dass es möglicherweise sinnvoll wäre, den Beginn der Lippenvertrocknung und den Austritt von Fäulnisflüssigkeit nicht unter einem Unterpunkt zusammen zu fassen, sondern separat zu bewerten. Um die Bewertung zu erleichtern, sollte außerdem gegebenenfalls jeder Unterpunkt nur eine optische Erscheinung beinhalten, bzw. es muss eine Anweisung geben, ab wann Punkte vergeben werden. Eine Verfärbung der

Kopf- oder Gesichtshaut zu schwarz wird in der ersten Versuchsreihe gleichzeitig mit dem Austritt von Fäulnisflüssigkeit an Tag 4 beobachtet, während die Schwarzfärbung in VR 2 gar nicht eintritt. Grund hierfür können die deutlich milderen Temperaturen zu Beginn von VR 2 sein, während Niederschlag hier vermutlich keine Rolle spielt, da der erste Regen in VR 2 erst am 10. Tag fiel und so keinen Einfluss auf den Mangel an Schwarzfärbung nehmen konnte. Das Vertrocknen der Zunge wird in diesem Score nicht berücksichtigt, wobei dies bei allen vier Schweinen früh beobachtet wird und Rückschlüsse über das PMI geben könnte.

Im $TBS^{\text{Hang}}_{\text{Rumpf}}$ wird eine Aufblähung und rot bis grüne Verfärbung mit einem Punkt bewertet. Allerdings wird in der vorliegenden Arbeit eine zeitliche Diskrepanz zwischen dem Auftreten von Grünfäulnis (1A Tag 1, 1B Tag 2, 2A Tag 1, 2B Tag 3) und dem Aufblähen des Kadavers beobachtet (1A Tag 3, 1B Tag 4, 2A Tag 11, 2B Tag 14). Bei allen vier Schweinen tritt zunächst die Grünfäulnis auf und die Kadaver sind erst einige Tage später aufgebläht. Eine rein optische Bewertung der Blähung ist womöglich ungenau und vom Bewerter abhängig.

Auch das Strecken des Körpers wird im $TBS^{\text{Hang}}_{\text{Rumpf}}$ berücksichtigt (5 Punkte). Da die Körpergröße von Leichen deren Identität man kennt oft bekannt ist, wäre es hier gegebenenfalls sinnvoll, in Modellstudien die Zunahme der Körpergröße prozentual zu ermitteln und zu untersuchen ob es möglich ist mithilfe dieses Werts Rückschlüsse auf das PMI zu ziehen.

Im $TBS^{\text{Hang}}_{\text{Rumpf}}$ wird auf den Durchmesser des Anus von $>10\text{cm}$ (6 Punkte) eingegangen. Eine solche Weite wurde in der vorliegenden Arbeit nicht beobachtet, wobei dies seine Ursache im Alter der Schweine haben könnte. In der vorliegenden Arbeit wurden junge Schweine verwendet, während Lynch-Aird et al. (2015) keine Aussage über das Alter oder absolute Gewicht der in ihrer Studie verwendeten Schweine treffen. Den Durchmesser von $>10\text{cm}$ in der vorliegenden Arbeit anzuwenden bzw. zu übernehmen wäre nur sinnvoll, wenn die Größe bzw. das Alter der Schweine übereinstimmten, da sich aufgrund der anatomischen Größenverhältnisse die Dehnung des Anus eines ausgewachsenen Schweines anders verhält als die eines Ferkels.

Im $TBS^{\text{Hang}}_{\text{Kopf}}$ wird das Zurückziehen der Haut am Kiefer (3 Punkte) berücksichtigt. Die Bewertung dieses Unterpunktes fiel in der Vorliegenden Arbeit leicht, da Vergleichsfotos aller Vortage und des Ausgangszustandes der Haut an Tag 0

vorlagen. Ohne diese Vergleichsfotos und gegebenenfalls zu einem Zeitpunkt zu dem die Identität der Leiche noch nicht feststeht und folglich der Ausgangszustand noch nicht ermittelt werden kann, würde es in einem realen forensischen Fall allerdings schwer fallen den Zeitpunkt des beginnenden Zurückziehens der Haut zu bewerten.

Sowohl im TBS^{Hang}_{Rumpf} (9 Punkte) als auch im TBS^{Hang}_{Extremitäten} (8 Punkte) wird ein Herausfallen von Knochen durch den eröffneten Rumpf bewertet. Diese doppelte Bewertung hat zur Folge, dass der TBS^{Hang}_{gesamt} um zwei Punkte ansteigt, sobald beispielsweise die Scapula herabfällt, während alle anderen Verwesungsfortschritte lediglich mit einem Punkt bewertet werden. Nun stellt sich die Frage, ob das Herabfallen der Scapula tatsächlich schwerer ins Gewicht fallen sollte als andere Verwesungserscheinungen.

Bei allen vier Schweinen wird beobachtet, dass sich Bodenkontakt einstellt. Dies geschieht in Versuchsreihe 1 durch strecken des Kadavers, während die Schweine in VR 2 abfallen. Dies wirft die Frage auf, nach welchem Score die Schweine nun bewertet werden sollen. Außerdem ist beim abgefallenen Schwein der Rumpf nicht mehr vollständig beurteilbar, vor allem wenn der Kadaver nun auf dem Bauch liegt und unklar ist, ob nun Eingeweide oder Knochen hervortreten. Ein Anheben oder Wenden der Leiche würde einen Eingriff in den Versuchsaufbau und somit gegebenenfalls ein verfälschen der Ergebnisse mit sich bringen.

7.3 Insekten

7.3.1 Eiablage

Die Eiablage begann bei allen vier Schweinen an den natürlichen Körperöffnungen im Gesicht und Anal- sowie Genitalbereich. Vermutlich sind diese Areale beim Hängenden leichter zugänglich als beim Liegenden, da im Liegen immer eines dieser Gebiete ganz oder teilweise dem Erdboden zugewandt ist und somit schlechter für Fliegen zu erreichen. Außerdem wurde der Bereich des Halses, der dem Seil und dem Knoten anliegt früh in die Eiablage mit einbezogen. Dies wird auch in weiteren Studien mit hängenden Schweinen beobachtet (Lynch-Aird et al. 2015, Jarmusz und Bajerlein 2019).

7.3.2 Maden

In der ersten Versuchsreihe wurden die einzelnen Madenstadien alle zu einem etwas früheren Zeitpunkt beobachtet, als in Versuchsreihe zwei. Als Ursache hierfür können

die höheren Temperaturen vor allem zu Beginn von VR 1 im Vergleich zu denen von VR 2 genannt werden. Das erste und dritte Larvenstadium wurde in Käfig A jeweils einen Tag früher beobachtet, als in Käfig B. Möglicherweise spielen der geringe Ortsunterschied und die damit einhergehenden klimatischen Abweichungen eine Rolle. Aufgrund der geringen Wiederholungszahl der Versuche könnte es sich allerdings auch um Zufall handeln.

Wenn ein Kadaver lediglich Larven des ersten Larvenstadiums enthält, kann davon ausgegangen werden, dass es sich hierbei um die allererste Besiedelung an Larven auf diesem Kadaver handelt, weil die später geschlüpften Larven wahrscheinlich gleichzeitig mit früher geschlüpften weiter entwickelte Stadien auftreten. Da es sich bei der Eiablage und somit Larvenentwicklung um einen kontinuierlichen Prozess handelt, ist es sehr unwahrscheinlich, dass zu einem späteren Zeitpunkt auf dem ganzen Kadaver lediglich ein Stadium zu finden ist. Folglich würde ein vorgefundener Kadaver, der nicht bewegt wurde sowie von vornherein gut zugänglich für Fliegen war und lediglich Maden des ersten Stadiums aufweist maximal so lange hängen wie es dauert, dass sich bei den vorherrschenden Bedingungen Maden des zweiten Larvenstadiums entwickeln. Vor dem Hintergrund der Daten dieser Studie wären dies hier zwischen zwei und fünf Tage. Das ausschließliche Vorhandensein von Maden des ersten oder ersten und zweiten Stadiums kann gegebenenfalls gute Hinweise zur Bestimmung des PMI liefern, wenn entsprechende Fliegen vorhanden sind und ungehinderten Zugang zum Kadaver haben. Werden Larven des ersten und zweiten, aber noch nicht des dritten Larvenstadiums gefunden, ist die Zeit verstrichen die nötig ist Larven des zweiten, noch nicht aber des dritten Larvenstadiums hervor zu bringen. In einem vergleichbaren Fall mit den Bedingungen der vorliegenden Arbeit wären etwa drei bis sechs Tage vergangen. Sobald das dritte Larvenstadium vorgefunden wird ist mindestens so viel Zeit vergangen, wie die Entwicklung von Ei bis zum dritten Larvenstadium dauert. Unter den hier vorherrschenden Bedingungen können mindestens drei bis acht Tage vergangen sein.

Beim Vergleich von Abbildung 49 und 50 wird deutlich, dass sich wie zu erwarten die jeweiligen Larvenstadien besser mithilfe der ADD eingrenzen lassen, als anhand der tatsächlichen Tage. Während das erstmalige Auftreten der jeweiligen LS bezogen auf die Versuchstage in den beiden Versuchsreihen deutlich divergiert, decken sich die Zeiträume unter Berücksichtigung der ADD größtenteils. Diese Beobachtung deckt

sich mit der Einschätzung von Megyesi et al. (2005), dass es im Falle einer forensischen Fragestellung genauer ist eine Errechnung des postmortalen Intervalls mithilfe der kumulierten Tagesgrade durchzuführen als lediglich anhand der vergangenen Zeit.

Insgesamt wird es als sinnvoll hinsichtlich der Madenbesiedelung erachtet, folgende drei Zustände zu unterscheiden:

1. Es sind noch keine Larven auf dem Kadaver vorhanden, also der Zustand vor jeglicher Madenbesiedelung. In dieser Studie werden bis zu diesem Zeitpunkt maximal 92,2 ADD erreicht. Kennt man die jeweiligen Tagesgrade kann folglich eine Aussage über die Zeitspanne des maximalen postmortalen Intervalls getroffen werden. Dies trifft nur für Fälle zu, in denen der Kadaver nicht bewegt oder gestört wurde und die Besiedelung durch Insekten bereits zu Beginn kontinuierlich einsetzen konnte.
2. Es sind nur Larven des 1. und 2. LS auf dem Kadaver vorhanden. In diesem Fall kann das PMI auf ein Minimum und ein Maximum eingegrenzt werden, denn es liegt zwischen der Phase in der keine Maden zu finden wären (65 – 92,2 ADD) und der, in der es bereits Maden des 3. LS geben würde (92,9 ADD und 125,8 ADD). In der vorliegenden Studie liegt das PMI also zwischen 65 und 125,8 ADD.
3. Es finden sich Larven aller Stadien auf dem Kadaver. Ab diesem Zeitpunkt ist eine Annäherung an das Minimum des PMI möglich. In dieser Studie treten Larven des 3. LS frühestens bei 92,9 ADD auf. Über die Summe der zurückliegenden Tagesdurchschnittstemperaturen lassen sich die seit Eintritt des Todes mindestens vergangenen Tage eingrenzen.

Es sollte nicht außer Acht gelassen werden, dass das Vorhandensein von Maden maßgeblich von der Zugänglichkeit für Fliegen abhängt. Ist der Zugang den Fliegen anfangs vollständig verwehrt ist es möglich, dass die Erstbesiedelung verspätet eintritt. Deswegen ist es wichtig, das Auftreten von Maden keinesfalls isoliert zu betrachten, sondern in der Zusammenschau mit weiteren Fakten, wie beispielsweise äußeren Umständen, Vorhandensein von und Zugänglichkeit durch Insekten, Wetterverhältnisse, Verwesungsstadium.

Bei allen vier Schweinen wurde beobachtet, dass ein Großteil der Maden von den Schweinekadavern auf den Boden fielen und keine Möglichkeit hatten, zurück zu

kehren. Sie wandten sich dann entweder ebenfalls abgefallenem Gewebe zu oder krochen davon. Das Abfallen der Maden wurde auch in anderen Studien beobachtet und diskutiert. Matuszewski et al. (2010) sind der Meinung, dass der Verwesungsgrad maßgeblich von der Anzahl sich aktuell auf dem Kadaver befindender Maden und deren Fressaktivitäten bestimmt wird. Durch das Herunterfallen ist diese Zahl beim hängenden Schwein deutlich niedriger als beim liegenden und beeinflusst somit die Zersetzung insofern, dass sie sie beim Hängenden verlangsamt (Matuszewski et al. 2010, Lynch-Aird et al. 2015, Heo et al. 2010).

Auch ein im Verlauf entstandener Bodenkontakt sollte bei der Beurteilung der Madenbesiedelung berücksichtigt werden. Dieser kann durch verschiedene Umstände entstehen. Ab dem Zeitpunkt zu dem der Bodenkontakt erstmals entstanden ist, haben Maden die Möglichkeit, nach Herabfallen auf den Kadaver zurück zu kriechen. Sicherlich stellt dies eine große Erschwernis für die Forensik dar, da retrospektiv schwer nach zu vollziehen ist, wann der Bodenkontakt sich eingestellt hat. Hierfür könnte in zukünftigen Studien gemessen werden, in welchem Zeitraum sich das Schweinegewebe entlang der Schwerkraft in die Länge dehnt und ob eine Übertragbarkeit auf den Menschen möglich und sinnvoll ist.

7.3.3 Schmeißfliegensukzession

Bei der Auswertung der Insektensukzession muss berücksichtigt werden, dass durch das Einfangen von Fliegen und Käfern nur ein Ausschnitt der tatsächlich auf den Kadavern vorhandenen Insekten repräsentiert wird, da nur ein Bruchteil der tatsächlich vorhandenen Insekten gefangen und bestimmt wurde. Das Einfangen aller Fliegen und Käfer wäre ein großer Eingriff in den natürlichen Verlauf der Insektensukzession und würde das Sukzessionsmuster verfälschen. Tatsächlich vorhandene, aber nicht gefangene Insekten sind dadurch womöglich nicht in der Arbeit repräsentiert. Auch könnten Insekten durch die Probenahmen gestört oder vertrieben worden sein. Durch Probenentnahmen zu verschiedenen Tageszeiten wurde in der vorliegenden Arbeit versucht, auch tageszeitlich schwankende Insektenaktivität mit abzubilden. Nachts wurden allerdings keine Untersuchungen durchgeführt. Um ein noch aussagekräftigeres Bild davon zu bekommen, welche Fliegen und Käfer von den Kadavern angezogen werden, könnten in Zukunft Wasserfallen oder Fallgruben zum Einsatz kommen (Schoenly et al. 2007).

Die Familie der Schmeißfliegen (*Calliphoridae*) wird von Leichen und Exkrementen angezogen. Diese metallisch scheinenden Fliegen sind meist unter den ersten Fliegen, die eine Leiche entdecken und besiedeln. In experimentellen Studien benötigen sie hierfür teilweise nur Minuten (Byrd 2001, Lynch-Aird et al. 2015).

Die Reihenfolge der drei Schmeißfliegen, die auf allen Schweinen zu finden waren, stimmte bei den vier Schweinen überein. Zuerst wurde *Lucilia caesar* auf dem Schwein vorgefunden, gefolgt von *Calliphora vomitoria* und *Chrysomya albiceps*. Auf Schwein 1A wurde außerdem *Phormia regina* dokumentiert, während auf Schwein 1b zusätzlich *Lucilia ampullacea*, *Lucilia silvarum*, *Lucilia sericata*, *Cochliomyia macellaria* und *Lucilia illustris* gefangen wurden.

L. caesar wurde auf allen vier Kadavern als erste Schmeißfliege beobachtet. Sie wurde nur an Tagen auf dem Schwein registriert, an denen die Tagesdurchschnittstemperatur über 7°C lag. Regen schien nur untergeordneten Einfluss auf die Aktivität dieser Fliegen zu haben. Wie in der vorliegenden Arbeit wird das frühe Auftreten von *L. caesar* bereits in früheren Studien von Matuszewski et al. (2008) und Grassberger und Frank (2004) beschrieben. Auch Anton et al. (2011) beobachteten in ihrer Studie in Thüringen *L. caesar* im Sommer und Spätsommer als erste Schmeißfliege auf den liegenden Schweinen. *L. caesar* wird in der Studie von Jarmusz et al. (2020) sowohl in Frühling, Sommer und Herbst auf liegenden und hängenden Schweinen registriert. Diese Beobachtungen bestätigen in Zusammenschau mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit die Rolle von *L. caesar* als ersten Leichenbesiedler unter den Schmeißfliegen. Das Auftreten von *L. caesar* scheint unabhängig vom Verwesungsgrad zu sein, denn sie wurde sowohl bei niedrigen, mittleren und hohen TBS^{Hang}_{gesamt} beobachtet.

C. albiceps wurde immer in der ersten Versuchshälfte, etwa nach einer Woche an einem einzelnen Tag gefangen. In der zweiten Versuchsreihe deckte sich ihr Auftreten mit einem Temperaturpeak. Dies war allerdings in der ersten Versuchsreihe nicht ganz so deutlich zu erkennen, dennoch lag die Temperatur an den Tagen an den *C. albiceps* vorgefunden wird immer über 18°C. Regen schien die Aktivität dieser Fliegen kaum zu beeinflussen, während möglicherweise eine höhere Temperatur eine größere Rolle spielt. Der Verwesungsgrad des Schweines lag an den jeweiligen Tagen bei 2 (2A), 4 (2B), 17 (1A) bzw. 20 (1B). *C. albiceps* schien folglich kein Verwesungsstadium eindeutig zu bevorzugen. Im Zuge der vorliegenden Arbeit wurde die Fliege *C. albiceps*

mehrfach gefunden und somit erstmals in Thüringen dokumentiert. Es wird angenommen, dass *C. albiceps* eine vorherrschende Rolle in der Leichenbesiedelung spielt und laut Studien zu den frühen Leichenbesiedlern zählt (Anton et al. 2011, Grassberger et al. 2003). Auch in der vorliegenden Arbeit wurde *C. albiceps* jeweils am 4., 8. bzw. 9. Tag gefunden. *C. albiceps* ist eine wärmeliebende Spezies, deren Maden ab einer Temperatur von unter 15°C sterben (Grassberger et al. 2003). Sie kommt gewöhnlich im (sub-) tropischen Raum vor, breitet sich aber vor allem in den warmen Monaten immer mehr in nördlicheren Gebieten aus (Anton et al. 2011). Auch Jarmusz et al. (2020) finden in den Sommermonaten Larven von *C. albiceps* auf hängenden und liegenden Schweinen. In ihrer adulten Form wird sie in seiner Studie allerdings nicht beobachtet. Ihre Larven ernähren sich im ersten Larvenstadium von den Gewebsexudaten verwesenden Fleisches und im zweiten und dritten Larvenstadium räuberisch von anderen Schmeißfliegenlarven. Im Rahmen eines Kriminalfalls konnte 2001 in Wien *C. albiceps* erfolgreich zur Eingrenzung der Leichenliegezeit verwendet werden (Grassberger et al. 2003).

C. vomitoria zählt zu den Schmeißfliegen, die in Deutschland am häufigsten auf menschlichen Überresten vorkommen (Gennard 2007, Byrd 2001). Sie wird in einigen Studien als eine der ersten Schmeißfliegen, die den Kadaver entdecken dokumentiert (Grassberger und Frank 2004). Das Auftreten von *C. vomitoria* korreliert in der Studie von Jarmusz et al. (2020) mit dem Beginn der aktiven Zersetzung. In der Vorliegenden Arbeit wurde sie frühestens ab einem TBS^{Hang}_{gesamt} vom 2 gefunden. Bei allen vier Schweinen trat *L. caesar* ausnahmslos vor *C. vomitoria* auf, wobei zwischen dem ersten Auffinden der beiden Schmeißfliegen immer nur ein bis zwei Tage lagen. Die Aktivität von *C. vomitoria* schien durch Regen kaum beeinflusst worden zu sein. *C. vomitoria* wird in der Studie von Jarmusz et al. (2020) sowohl in Frühling, Sommer und Herbst auf liegenden und hängenden Schweinen beobachtet. In der Arbeit von Anton et al. (2011) wird *C. vomitoria* im Frühjahr, jedoch nicht im Sommer und Spätsommer vorgefunden.

L. caesar und *C. vomitoria* waren die einzigen beiden Schmeißfliegen, die fast über den gesamten Versuchszeitraum hinweg immer wieder, oft auch an Folgetagen, dokumentiert wurden. Bis auf *P. regina*, die bei Schwein 1B an zwei Folgetagen gefangen wurde, waren alle anderen Schmeißfliegen nur an je einem einzigen Tag pro Schwein zu sehen.

In der Studie von Matuszewski et al. (2010) wurde die Zersetzung vor allem durch Larven von *L. caesar* und *C. vomitoria* angetrieben. Das frühe Auftreten, die Eiablage und Madenentwicklung dieser beiden Schmeißfliegen geben somit den Startzeitpunkt des Zersetzungsprozesses durch Madenfraß an. Für forensische Fragestellungen scheint es sehr interessant zu sein, wann *L. caesar* und *C. vomitoria* erstmals auf Kadavern zu finden sind und vor allem welche Faktoren Einflüsse auf den Zeitraum bis zum erstmaligen Auftreten nehmen.

In Versuchsreihe 1 wurde an Tag 9 *L. ampullacea* auf Schwein 1B bei einem $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ von 20 dokumentiert, während Anton et al. (2011) diese Fliegenart für ihre Studie an liegenden Schweinen in Thüringen nicht verzeichnen. Ihre Studie schließt er Ende August ab. In der vorliegenden Arbeit wurde *L. ampullacea* erst Mitte September gefangen. Das legt zunächst den Gedanken nahe, dass das Auftreten in dieser und fehlen in der Studie von Anton et al. (2011) jahreszeitlich bedingt sein könnte. Konträr dazu steht allerdings, dass *L. ampullacea* im späteren Verlauf der vorliegenden Arbeit nicht mehr dokumentiert wurde.

L. silvarum wurde ebenfalls nur auf Schwein 1B vorgefunden. Diese Fliege wurde am 10. Versuchstag bei einem $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ von 20 registriert. Möglicherweise bevorzugte diese Fliege fortgeschrittene Verwesungsstadien und wird nicht vom frischen Kadaver angezogen. Auch Anton et al. (2011) dokumentieren *L. silvarum* im Mai und August, während diese Fliege in der polnischen Studie (Jarmusz und Bajerlein 2019) nicht erwähnt wird.

L. sericata wurde lediglich auf Schwein 1B am 20. Versuchstag dokumentiert. An diesem Tag betrug die Tagesdurchschnittstemperatur $22,7^{\circ}\text{C}$ und war damit nahe an der Maximaltemperatur beider Versuchsreihen ($24,6^{\circ}\text{C}$). Das unterstützt die These von Matuszewski et al. (2010), dass die Eiablage von *L. sericata* durch warme Temperaturen angetrieben wird. An diesem heißen Tag hatte sie den Kadaver ($TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ 26) vermutlich zur Eiablage, aufgesucht.

P. regina wurde in der vorliegenden Arbeit ausschließlich in der ersten Versuchsreihe vorgefunden. Während sie sich auf Schwein 1A zu Beginn des Versuchs aufhielt, wurde sie auf Schwein 1B erst gegen Ende des Versuches dokumentiert. Der ermittelte $TBS^{\text{Hang}}_{\text{gesamt}}$ erreichte jeweils den Wert 9 bzw. 26. Diese Schmeißfliege schien folglich von mittleren bis hohen Verwesungsgraden angezogen zu werden. In den Versuchen von Jarmusz et al. (2020) wird *P. regina* lediglich im Frühling und Sommer, nicht aber

im Herbst gefangen. Anton et al. (2011) dokumentieren *P. regina* von Ende April bis Mitte August. Scheinbar ist die Aktivität von *P. regina* im Herbst geringer, wodurch erklärt werden kann weshalb sie nur in der ersten und nicht in der zweiten Versuchsreihe auftritt. In der vorliegenden Arbeit beträgt die Temperatur an Tagen an denen *P. regina* vorgefunden wird jeweils über 20°C. Im Juli 2015 konnte unter anderem mithilfe von Pupparien von *P. regina* die Leichenliegezeit einer menschlichen Leiche im fortgeschrittenen Verwesungsstadium stark eingegrenzt werden. Dies unterstreicht die Bedeutung dieser Schmeißfliege für die Ermittlung des postmortalen Intervalls (Bajerlein et al. 2018).

C. macellaria und *L. illustris* wurden lediglich auf Schwein 1B gegen Ende des Versuches dokumentiert. Zu diesem Zeitpunkt war die Verwesung des Schweines bereits weit fortgeschritten (TBS^{Hang}_{gesamt} 26). Allerdings dokumentiert Byrd (2001), dass adulte Vertreter von *L. illustris* überwiegend von frischen Kadavern angezogen werden. Dies widerspricht zunächst der Beobachtung in der vorliegenden Arbeit. Da diese Fliegen nur jeweils ein Mal beobachtet wurden, wäre es allerdings auch möglich, dass sie lediglich zufällig vor Ort waren und nicht von den Kadavern angezogen wurden.

Weder Anton et al. (2011) noch Jarmusz et al. (2020) beobachteten *C. macellaria* im Rahmen ihrer europäischen Studie. *L. illustris* wird hingegen von Anton et al. (2011) ebenfalls im August registriert.

Die vorangegangenen Vergleiche mit der Thüringer Studie und der aus dem Nachbarland Polen zeigen, dass sowohl Überschneidungen als auch Abweichungen bei den vorgefundenen Schmeißfliegen zu vermerken sind. Auch bei den in Hawaii (Shalaby et al. 2000), Malaysia (Heo et al. 2010) und Thailand (Sukchit et al. 2015) durchgeführten Studien wurden Schmeißfliegen gefunden, jedoch andere Arten als in der vorliegenden Arbeit. Dies unterstreicht umso mehr die Notwendigkeit, für einzelne Regionen die Insektensukzessionen zu untersuchen, da sie sich offensichtlich sehr voneinander unterscheiden können.

Die im Vergleich zu VR 2 größere Vielfalt der Schmeißfliegenarten in VR 1 kann mit den höheren Temperaturen in diesem Zeitraum erklärt werden. Schwein 1B wies innerhalb der beiden Versuchsreihen die größte Schmeißfliegenvielfalt auf (9 verschiedene). Fliegen *Lucilia ampullacea*, *Lucilia silvarum*, *Lucilia sericata*, *Cochliomyia macellaria* und *Lucilia illustris* wurden während beider Versuchsreihen nur

auf diesem Schwein dokumentiert und in einem Zeitraum gefangen in dem der TBS^{Hang}_{gesamt} über einen längeren Zeitraum hinweg (20 Tage) zwischen 20 und 26 lag. Bei Schwein 1A wurden diese Werte lediglich für 5 Tage berechnet, bevor der TBS^{Hang}_{gesamt} weiter anstieg und die Mumifizierung des Rumpfes begann, welche den Kadaver für Schmeißfliegen unattraktiver machte. In VR 2 erreichte keines der Schweine Werte über 18. Möglicherweise bevorzugen also die ausschließlich auf Schwein 1B gefundenen Schweine zwar höhere Verwesungsgrade, werden von extrem fortgeschrittener Verwesung und weitreichender Mumifizierung allerdings nicht mehr angezogen.

7.3.4 Fliegensukzession

Die zu Beginn des Kapitels 7.3.3 getroffenen Aussagen bezüglich einer möglichen Selektion gelten auch für die Auswertung der Fliegensukzession.

Muscidae erreichen Kadaver tendenziell früh nach den Fleisch- und Schmeißfliegen, wobei sie eher von den Exsudaten, als der Leiche selbst angezogen werden (Gennard 2007, Grzywacz et al. 2016). Obwohl *Musciden* oft auf Kadavern zu finden sind, werden sie für forensische Zwecke nicht standardmäßig herangezogen (Grzywacz et al. 2016). *Musciden* waren auf allen vier Schweinen bereits ab dem ersten Tag vorhanden und besuchten diese über den kompletten Versuchszeitraum hinweg in unregelmäßigen Abständen, waren aber den Großteil der Tage auf den Schweinen anzutreffen. Auch Anton et al. (2011) beobachten in ihrer Thüringer Studie, dass *Musciden* bereits innerhalb des ersten Tages auf den Schweinen zu finden sind. Jarmusz et al. (2020) beobachten *Musciden* sowohl in Frühling, Sommer als auch Herbst in großer Zahl und können im Beobachtungszeitraum keine signifikanten Jahreszeitlichen Schwankungen feststellen. Das Auftreten der *Musciden* konnte in der vorliegenden Arbeit in keinen Zusammenhang mit der Temperatur, Niederschlägen oder einem bestimmten Verwesungsstadium gebracht werden. In der Zusammenschau mit bisherigen Studien stützen die Beobachtungen dieser Arbeit folglich die Annahme, dass *Musciden* zwar von dem verwesenden Kadaver an sich angezogen werden, allerdings keinem Verwesungsstadium konkret zu zuordnen sind und folglich weniger geeignet für die PMI-Ermittlung.

Piophilidae werden weltweit in gemäßigten Breiten auf Aas, Haut, Fell und Knochen gefunden (Byrd 2001). Das Vorfinden dieser Fliegen in VR 1 erst bei fortgeschrittenen

Verwesungsgraden kräftigt die Aussage von Byrd (2001), dass *Piophilidae* vom frischen Schwein weniger angezogen werden, sondern sich überwiegend Kadaver mit einem höheren Verwesungsgrad bevorzugen. Das frühe Auftreten an Tag 3 auf 2A könnte dadurch erklärt werden, dass sich noch Fliegen der ersten Versuchsreihe in der näheren Umgebung befanden. Niederschlag oder die Temperaturschwankungen (Auftreten zwischen 23,9°C und 8,0°C) innerhalb dieses Versuchs schienen keinen Einfluss auf das Auftreten dieser Fliege zu haben. Jarmusz et al. (2020) beobachteten in ihrer Studie keine *Piophilidae* im Herbst. Auch in der vorliegenden Studie wird diese Fliege in der zweiten Versuchsreihe, die bis in den Herbst hinein reicht nur an zwei vereinzelten Tagen beobachtet. Offensichtlich unterliegt das Verhalten dieser Fliege jahreszeitlichen Schwankungen.

Die Larven von *Sepsidae* entwickeln sich auf verrottendem Material, wie Kadaver oder Exkrementen (Byrd 2001). Diese Tatsache erklärt, warum diese Fliegen sich in VR 1 von fortgeschrittenen Verwesungsstadien ($TBS^{Hang_{gesamt}}$ von 21, 26 bzw. 24) angezogen schienen. Allerdings wurden in VR 2 *Sepsidae* auf Schwein 2B bereits zu Beginn des Versuchs an den Tagen 1 ($TBS^{Hang_{gesamt}}$ 1) und 9 ($TBS^{Hang_{gesamt}}$ 4) gefangen. Möglicherweise waren auch noch Fliegen aus der ersten Versuchsreihe in der Nähe. Denkbar ist auch, dass Fliegen, die ausschließlich spät in VR1 und früh in VR 2 vorzufinden waren von Gewebsresten aus der ersten Versuchsreihe angezogen wurden, die durch das untere Gitter des Käfigs gefallen waren und so unterhalb des frischen Schweines in VR 2 verblieben.

Phoridae wurden lediglich auf einem Schwein an einem einzigen Tag (23) gefangen, was die Interpretation ihres Auftretens erschwert. Dass sie während eines sehr fortgeschrittenen Verwesungsstadiums ($TBS^{Hang_{gesamt}}$ 26) vorgefunden wurden steht im Einklang mit der Tatsache, dass ihre Larven sich von tierischen, menschlichen und pflanzlichen Zerfallendem ernähren stützt die Annahme, dass diese Fliegen vorrangig von späteren Verwesungsstadien angezogen werden (Byrd 2001). Auch Anton et al. (2011) dokumentieren *Phoridae* ebenfalls im Frühjahr und Spätsommer. Im Jahresverlauf wird die Flugperiode der *Phoridae* auf April bis November eingeschränkt (Gennard 2007). Dies stimmt mit dem Auftreten dieser Fliegen im August in der vorliegenden Studie überein.

Drosophilae wurden auf allen vier Schweinen vorgefunden. Sie wurden in knapp der Hälfte der Versuchstage dokumentiert und sowohl an Tagen mit Niederschlag als auch

an niederschlagsfreien Tagen aufzufinden. Auch Temperaturschwankungen schienen keinen Einfluss auf das Auftreten dieser Fliegen zu nehmen. Sie wurden sowohl auf dem ganz frischen Schwein am ersten und zweiten Tag nach der Aufhängung (1B, 2A TBS^{Hang}_{gesamt} jeweils 0) als auch in den letzten Versuchstagen mit weit fortgeschrittenen Verwesungsstadien dokumentiert. Dies legt die Vermutung nahe, dass diese Fliege zwar von dem toten Schwein generell angezogen wird, aber kein bestimmtes Verwesungsstadium präferiert. Jarmusz et al. (2020) sowie Anton et al. (2011) dokumentieren in ihren Publikationen keine *Drosophilae*.

Dryomyzidae wurden ebenfalls auf allen vier Schweinen vorgefunden. Sie sind in der ersten Versuchsreihe erst gegen Ende des Versuchszeitraums erstmals beobachtet worden (Schwein 1A Tag 22, Schwein 1B Tag 24), wohingegen diese Fliegen in der zweiten Versuchsreihe schon von Anfang an vorzufinden waren. Dies lässt zwei mögliche Schlüsse zu. Entweder die Fliegen wurden erst spät auf das Schwein aufmerksam und sind nach Austausch des Schweines in der Nähe geblieben oder diese Fliegen sind aufgrund der Jahreszeitlichen Verhältnisse erst spät aktiv geworden. Jarmusz et al. (2020) beobachteten *Dryomyzidae* von Frühling bis Herbst, wobei diese etwas mehr von hängenden als von liegenden Schweinen angezogen scheinen. Tendenziell beobachtet er *Dryomyzidae* häufiger im Herbst als im Frühjahr und Sommer. Dieses Verhalten wird auch in der vorliegenden Arbeit repräsentiert und unterstützt in der Zusammenschau der Daten die These, dass *Dryomyzidae* im Herbst aktiver sind. Folglich könnte ihr Vorhandensein einen Hinweis dafür geben, dass eine Leiche, die beispielsweise erst im Frühjahr des nächsten Jahres aufgefunden wurde, bereits im Herbst vor Ort war. *Dryomyzidae* bevorzugen schattige Orte und feuchtes Klima (Smith 1986). Auch in der vorliegenden Arbeit wurden sie häufig an Tagen mit Niederschlag vorgefunden. Da diese Fliegen im zweiten Versuch bei beiden Schweinen den kompletten Versuchszeitraum über intermittierend auf dem Schwein zu finden waren, lässt sich daraus schließen, dass diese kein bestimmtes Verwesungsstadium des Schweines bevorzugen.

In der vorliegenden Studie wurden *Fanniidae* in beiden Versuchsreihen jedoch nur auf Schwein 1B und 2B vorgefunden. Sie wurden nur an niederschlagsfreien Tagen dokumentiert. Dies legt die Vermutung nahe, dass ihre Aktivität niederschlagsabhängig ist. In der ersten Versuchsreihe wurden *Fanniidae* ab einem TBS^{Hang}_{gesamt} > 19 intermittierend bis zum Versuchsende vorgefunden, während sie in

VR 2 bei einem TBS^{Hang}_{gesamt} von 1 bis 4 dokumentiert wurden. Sie scheinen folglich sowohl von frischen als auch fortgeschrittenen Verwesungsstadien angezogen zu werden. *Fanniidae* werden in den Versuchen von Jarmusz et al. (2020) nicht im Herbst beobachtet. Auch Anton et al. (2011) dokumentieren diese Fliegen nur von April bis Juni und nicht im Herbst. In der vorliegenden Arbeit wurden sie dagegen ausschließlich im September gefunden.

Ichneumonidae wurden auf den Schweinen 1B, 2A und 2B jeweils an ein bis drei Versuchstagen vorgefunden. Der TBS^{Hang}_{gesamt} lag an diesen Versuchstagen zwischen 5 und 20. Dies legt die Annahme nahe, dass *Ichneumonidae* weder ausschließlich von früheren, noch von weit fortgeschrittenen Verwesungsstadien angezogen wurden. Weder Anton et al. (2011) noch Jarmusz et al. (2020) verzeichnen *Ichneumonidae* in ihren europäischen Studien.

Tachina fera wurde lediglich an drei Tagen auf Schwein 1B dokumentiert. An diesen Tagen wurde ein TBS^{Hang}_{gesamt} von 4 bzw. 26 erreicht. Weder Anton et al. (2011) noch Jarmusz et al. (2020) vermerken in ihren europäischen Studien *Tachinidae*.

In keiner der beiden Versuchsreihen wurden *Sarcophagidae* gefangen. Erklärt werden kann diese Beobachtungen damit, dass diese Fliegen sonnenexponierte Orte bevorzugen (Smith 1986) und folglich von den im Schatten im Wald hängenden Schweinen scheinbar nicht angezogen wurden. Diese Beobachtung machten auch Matuszewski et al. (2008, 2010), die in ihren Versuchen im Wald ebenfalls keine Fleischfliegen dokumentierten.

Die im Vergleich zu VR 2 größere Menge unterschiedlicher, adulter Insekten in VR 1 kann mit den höheren Temperaturen in diesem Zeitraum erklärt werden. Die große Artenvielfalt auf Schwein 1B hat seine Ursache möglicherweise in - im Rahmen dieser Arbeit nicht erfassten – Standortunterschieden. Mit weiteren Versuchsreihen könnte untersucht werden, ob es sich hierbei um eine zufällige Beobachtung handelte.

7.3.5 Käfer

Folgende Käfer wurden in der vorliegenden Arbeit beobachtet: *Nicrophorus vespilloides*, *Nicrophorus humator*, *Necrobia rufipes*, *Necrobia violacea*, *Dermestes*, *Thanatophilus*, *Necrodes littoralis*, *Nicrophorus vespillo*, *Nicrophorus vestigator*, *Anoplotrupes stercorosus*, *Creophilus maxillosus*, *Anotylus sculpturatus*, *Catopide Catox*, *Eupurea Nitidoidae*, *Cryptophagus*.

Nicrophorus vespilloides wurde in der vorliegenden Arbeit auf allen vier Schweinen dokumentiert. Auf Schwein 1A trat er einmalig bei einem $TBS^{Hang_{gesamt}}$ von 9, dann wieder ab $TBS^{Hang_{gesamt}} = 26$ auf. Ebenso wurde er auf Schwein 1B und in der zweiten Versuchsreihe auf beiden Schweinen ab einem $TBS^{Hang_{gesamt}}$ von 16 dokumentiert. Dies legt die Vermutung nahe, dass dieser Käfer tendenziell eher von mittleren bis höheren Verwesungsgraden angezogen wird. Jarmusz et al. (2020) beobachteten *N. vespilloides* während allen drei Jahreszeiten, während dieser Käfer den Frühling zu bevorzugen scheint und seltener im Herbst aktiv ist.

Nicrophorus humator wurde lediglich bei Schwein 1A bei einem $TBS^{Hang_{gesamt}}$ von 26 dokumentiert. Jarmusz et al. (2020) beobachteten diesen Käfer von Frühling bis Sommer auf hängenden und liegenden Schweinen und stellen einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Auftreten von *N. humator* und dem Beginn der aktiven Zersetzung fest.

Necrobia rufipes wurde lediglich in der ersten Versuchsreihe und auf beiden Schweinen vorgefunden. Der $TBS^{Hang_{gesamt}}$ der jeweiligen Kadaver betrug jeweils 26. Dies lässt vermuten, dass diese Käfer tendenziell eher von sehr fortgeschrittenen Verwesungsstadien angezogen werden. Anton et al. (2011) verzeichnen Vertreter von *N. rufipes* lediglich im Juni, während Jarmusz et al. (2020) keine dieser Art vermerken.

Necrodes littoralis wurde lediglich auf Schwein 1B an den Versuchstagen vier und fünf dokumentiert. Dieser Käfer kolonisiert in der Studie von Jarmusz et al. (2020) in jeder der drei Jahreszeiten Schweine, während im Herbst weniger Schweine besiedelt sind. Auch Anton et al. (2011) finden in ihrer Thüringer Studie adulte *N. littoralis* während der Phase der aktiven Zersetzung im Spätsommer. Im Juli 2015 konnte unter anderem mithilfe von Larven von *N. littoralis* die Leichenliegezeit einer menschlichen Leiche im fortgeschrittenen Verwesungsstadium stark eingegrenzt werden. Dies unterstreicht die Bedeutung dieses Käfers in der Ermittlung des postmortalen Intervalls (Bajerlein et al. 2018).

Nicrophorus vespillo wurde ebenfalls lediglich auf Schwein 1B an einem einzigen Tag im August dokumentiert. Jarmusz et al. (2020) haben diesen Käfer nur im Frühjahr vorgefunden wird. Weder im Sommer noch im Herbst kann er dort gesichtet werden.

Necrobia violacea fand sich lediglich auf Schwein 1A an zwei Tagen, in dem Zeitraum in dem das Schwein seinen höchsten Verwesungsgrad erreicht hatte ($TBS^{Hang_{gesamt}}$

28). Auch Jarmusz et al. (2020) beobachten *N. violacea* im Sommer, wie auch im Frühjahr.

Vertreter der Familie *Dermestes* wurden ausschließlich in der ersten Versuchsreihe in der Phase der am weitesten fortgeschrittenen Verwesung (1A TBS^{Hang}_{gesamt} 28, 1B TBS^{Hang}_{gesamt} 26) beobachtet. Auch Anton et al. (2011) beobachten in ihrer Thüringer Studie *Dermestes* an ihrem letzten Versuchstag im Sommer. Jarmusz et al. (2020) beobachten diese Käferfamilie lediglich im Frühling auf hängenden Schweinen.

Nicrophorus vestigator wurde lediglich auf Schwein 2A an einem einzigen Tag vorgefunden. An diesem Tag wurde in VR 2 ein Temperaturpeak bei 18,5°C erreicht. Weder Anton et al. (2011) noch Jarmusz et al. (2020) vermerken diesen Käfer.

Anoplotrupes stercorosus wurde in der vorliegenden Arbeit lediglich auf Schwein 1B, an einem einzigen Tag vorgefunden, während er in allen drei von Jarmusz et al. (2020) untersuchten Jahreszeiten gleich häufig sowohl auf hängenden als auch auf liegenden Schweinen vorzufinden war.

Ähnlich verhält es sich mit *Creophilus maxillosus*, welcher in der vorliegenden Arbeit ebenfalls lediglich auf Schwein 1B, allerdings an zwei Folgetagen vorgefunden wurde. Diesen Käfer beobachten Jarmusz et al. (2020) zu allen drei Jahreszeiten, jedoch seltener im Herbst. Auch Anton et al. (2011) registrieren *C. maxillosus* in ihrer Thüringer Studie am fünften Versuchstag im Sommer.

Tanatophilus wurde lediglich auf Schwein 1B am dritten Tag dokumentiert. Allerdings finden Anton et al. (2011) in ihrer Thüringer Studie *Thanatophilus-Larven* erst an Tag 11 im Spätsommer und im Sommer und sowohl adulte als auch larvale Exemplare an den Versuchstagen 17-27 während der fortgeschrittenen Verwesung.

Cryptophagus, *Anotylus sculpturatus*, *Catopide Catox* und *Eupurea Nitidoidae* werden weder von Anton et al. (2011) noch Jarmusz et al. (2020) vermerkt, während sie in der vorliegenden Arbeit an je einem Versuchstag vorgefunden wurden. Auch *N. vespillo*, *N. humator*, *N. vestigator*, *Anoplotrupes stercorosus* und *Thanatophilus* wurden in der vorliegenden Arbeit jeweils lediglich an einem einzigen Tag dokumentiert. Möglicherweise waren jene Käfer zufällig auf dem Schwein. Darüber hinaus ist es ebenfalls möglich, dass einige dieser Käfer an anderen Tagen zwar in der Umgebung des Schweins waren, aber nicht gefangen wurden. Zukünftig könnten in ähnlichen

Studien Fallen um den Kadaver herum aufgestellt werden, um diesen Aspekt näher zu untersuchen.

Im vorliegenden Versuch wurden insgesamt nur wenige unterschiedliche Käfer in niedriger Anzahl vorgefunden. Dies entspricht den Beobachtungen von Jarmusz et al. (2020), die in ihren Versuchen in Polen herausfinden, dass Käfer in Sommer und Herbst eher liegende Kadaver bevorzugen als hängende. Außerdem beeinflusst die Jahreszeit signifikant die Zahl der verschiedenen Käferspezies. So gibt es eine größere Vielfalt im Frühling und tendenziell weniger Käfer im Herbst.

Vermutlich ist die Verwertbarkeit der Vergleiche mit der Studie von Jarmusz et al. (2020) eingeschränkt, da diese nur Käfer in ihre Publikation aufnehmen, wenn mehr als 10 Käfer einer Art vorgefunden wurden. In der vorliegenden Arbeit wurden alle Käfer in die Statistik mit aufgenommen, also auch solche, die durch weniger als 10 Stück vertreten waren.

8 Schlussfolgerungen

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnte bestätigt werden, dass Ablauf und Geschwindigkeit der Verwesung temperaturabhängig sind. In Folge der höheren Temperaturen und somit höheren kumulierten Tagesgraden schritt die Verwesung in VR 1 schneller und weiter voran, als in VR 2. Die Miteinbeziehung der Temperatur und die Betrachtung der kumulierten Tagesgrade erweist sich im Rahmen der PMI-Eingrenzung als sinnvoll.

Es konnte die Annahme unterstützt werden, dass die Verwesung in den verschiedenen betrachteten Körperregionen unterschiedlich verläuft. Folglich erweist sich eine separate Bewertung der jeweiligen Areale mit unterschiedlichen Kriterien als sinnvoll. Allerdings wurden in der vorliegenden Arbeit immer wieder Abweichungen in der zeitlichen Abfolge der Verwesung verglichen mit der Reihenfolge des Punktevergabesystems von Lynch-Aird et al. (2015) beobachtet. Deshalb sollte eine Überarbeitung dieses Systems in Erwägung gezogen werden.

Es konnte herausgefunden werden, dass die beim hängenden Schwein beobachtete Eröffnung der Bauchhöhle einen entscheidenden Faktor für das Voranschreiten der Verwesung in allen drei betrachteten Körperregionen darstellt. Einerseits ermöglicht die zusätzliche Öffnung einen weiteren und erleichterten Zugang für Insekten. Andererseits kann Flüssigkeit verstärkt entweichen, die Gewebsoberfläche wird größer und Knochen können herausfallen. Der resultierende Gewichtsverlust macht eine postmortale Dekapitation unwahrscheinlicher. Der Zustand der Mumifizierung kann in Folge der beschleunigten Austrocknung eher erreicht werden. Eine eröffnete Bauchhöhle und ihre möglichen Auswirkungen sollte folglich in Überlegungen hinsichtlich der PMI-Ermittlung miteinbezogen werden.

Es konnte gezeigt werden, dass der Verwesungsverlauf durch die Lage des Knotens bzw. die daraus resultierende Neigung des Kopfes beeinflusst werden kann. Einerseits kann bei seitlichem Knoten die Neigung des Kopfes dazu führen, dass die sich ablösende Gesichtshaut entlang der Schwerkraft zur Seite rutscht und durch Knochenfreilegung schneller zur Skelettierung führt. Andererseits kann bei mittigem Knoten die Haut auf dem annähernd horizontal stehenden Nasenskelett etwa symmetrisch herabhängen und rutscht folglich nicht herunter, wodurch das Gesicht mit Haut bedeckt bleibt. Folglich sollte die Lage des Knotens und seine möglichen

Auswirkungen auf den Verwesungsfortschritt des Kopfes bei forensischen Fragestellungen berücksichtigt werden.

In den durchgeführten Versuchen konnte beobachtet werden, dass sich unter unterschiedlichen Umständen Bodenkontakt einstellen kann: Durch Strecken des Kadavers, Herabfallen von Gewebe mit Verbindung zum Kadaver oder postmortale Dekapitation und Herabfallen des gesamten Kadavers. Nach hergestelltem Bodenkontakt können herabgefallene Maden, die maßgeblich am Fortschreiten der Verwesung beteiligt sind, zurück auf den Kadaver kriechen und die Verwesung verläuft womöglich schneller, als wenn sich kein Kontakt zum Boden eingestellt hätte. Folglich sollte der Umstand, dass sich Bodenkontakt eingestellt hat, bzw. Hinweise auf diesen Zeitpunkt im Rahmen forensischer Fragestellungen miteinbezogen werden.

Im Rahmen der Untersuchung der einzelnen Larvenstadien konnte herausgefunden werden, dass mithilfe der Larvenstadien insbesondere in den ersten Tagen des postmortalen Intervalls eine grobe Einschränkung dieses Zeitraums möglich sein kann. Die Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit bestätigen, dass kumulierte Tagesgrade zur Eingrenzung des PMI besser vergleichbar sind als absolute Tage. Auch im Rahmen des Vergleiches des $TBS^{Hang_{gesamt}}$ der vier Schweine wurde deutlich, dass es im Falle einer forensischen Fragestellung genauer ist eine Errechnung des postmortalen Intervalls mithilfe der kumulierten Tagesgrade durchzuführen als lediglich anhand der vergangenen Zeit.

In der vorliegenden Arbeit konnte eine feste Reihenfolge des ersten Auftretens der Schmeißfliegen beobachtet werden: *Lucilia caesar* erschien jeweils als erste Schmeißfliege auf dem jeweiligen Kadaver, gefolgt von *Calliphora vomitoria* und *Chrysomia albiceps*. Diese Reihenfolge könnte Rückschlüsse hinsichtlich der Ermittlung der Leichenliegezeit zulassen. *Chrysomia albiceps* wurde in dieser Arbeit erstmals in Thüringen beschrieben und wird möglicherweise zukünftig bei der PMI-Bestimmung in dieser Region häufiger eine Rolle spielen.

Insgesamt schien es schwierig anhand der vorliegenden Studie und den in ihrem Rahmen vorgefundenen Käfern eine Aussage über die Relevanz dieser Käfer zu treffen. Die niedrige Anzahl und das seltene Auftreten der einzelnen Käfer erschwerte die Interpretation ihrer Rolle.

In Betracht gezogen werden muss, dass die räumliche Nähe der beiden Käfige die Versuchsergebnisse beeinflusst haben kann. Einerseits könnte die Anziehung der Insekten durch zwei gleichzeitig ausliegende Kadaver generell gesteigert sein. Andererseits könnten Insekten, die zunächst einen Kadaver aufgesucht haben in der Folge eher auch den zweiten besiedeln.

Darüber hinaus könnte auch die nahtlose zeitliche Abfolge der beiden Versuchsreihen einen Einfluss haben. Möglicherweise waren zu Beginn von VR 2 noch Insekten aus VR 1 in der Nähe. Außerdem könnten in der fortgeschrittenen Verwesung befindliche Überreste der Schweine 1A und 1B unter dem Käfiggitter verblieben sein. Folglich könnten Insekten in der frühen Phase von VR 2 dokumentiert worden sein, die eigentlich von späten Verwesungsstadien angezogen wurden.

9 Literaturverzeichnis

- Amendt J. 2013. Forensische Entomologie. Frankfurt, M.: Verl. für Polizeiwiss. Lorei.
- Amendt J, Campobasso CP, Gaudry E, Reiter C, LeBlanc HN, Hall MJ, European Association for Forensic E. 2007. Best practice in forensic entomology--standards and guidelines. *Int J Legal Med*, 121 (2):90-104.
- Anton E, Niederegger S, Beutel RG. 2011. Beetles and flies collected on pig carrion in an experimental setting in Thuringia and their forensic implications. *Med Vet Entomol*, 25 (4):353-364.
- Azwandi A, Abu Hassan A. 2009. A preliminary study on the decomposition and dipteran associated with exposed carcasses in an oil palm plantation in Bandar Baharu, Kedah, Malaysia. *Trop Biomed*, 26 (1):1-10.
- Bajerlein D, Taberski D, Matuszewski S. 2018. Estimation of postmortem interval (PMI) based on empty puparia of *Phormia regina* (Meigen) (Diptera: Calliphoridae) and third larval stage of *Necrodes littoralis* (L.) (Coleoptera: Silphidae) - Advantages of using different PMI indicators. *J Forensic Leg Med*, 55:95-98.
- Bundesamt S. 2017. Gesundheit. Todesursachen in Deutschland. Fachserie 12 Reihe 4 Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Byrd JHC, J. L. 2001. Forensic Entomology - The Utility of Arthropods in Legal Investigations.
- Carvalho LM, Thyssen PJ, Linhares AX, Palhares FA. 2000. A checklist of arthropods associated with pig carrion and human corpses in southeastern Brazil. *Mem Inst Oswaldo Cruz*, 95 (1):135-138.
- Cross P, Simmons T. 2010. The influence of penetrative trauma on the rate of decomposition. *J Forensic Sci*, 55 (2):295-301.
- Davies L, Ratcliffe GG. 1994. Development rates of some pre-adult stages in blowflies with reference to low temperatures. *Med Vet Entomol*, 8 (3):245-254.
- Doberentz E, Hagemeyer L, Madea B. 2013. [Suicide in advanced age--report on an unusual case of hanging in a lying position]. *Arch Kriminol*, 232 (1-2):34-42.
- Donovan SE, Hall MJ, Turner BD, Moncrieff CB. 2006. Larval growth rates of the blowfly, *Calliphora vicina*, over a range of temperatures. *Med Vet Entomol*, 20 (1):106-114.
- Gennard DE. 2007. Forensic Entomology - An Introduction. Wiley.
- Grassberger M, Frank C. 2004. Initial study of arthropod succession on pig carrion in a central European urban habitat. *J Med Entomol*, 41 (3):511-523.
- Grassberger M, Friedrich E, Reiter C. 2003. The blowfly *Chrysomya albiceps* (Wiedemann) (Diptera: Calliphoridae) as a new forensic indicator in Central Europe. *International Journal of Legal Medicine*.
- Grzywacz A, Hall MJ, Pape T, Szpila K. 2016. Muscidae (Diptera) of forensic importance—an identification

- Heo CC, Mohamad AM, John J, Baharudin O. 2008. Insect succession on a decomposing piglet carcass placed in a man-made freshwater pond in Malaysia. *Trop Biomed*, 25 (1):23-29.
- Heo CC, Mohamad AM, Ahmad Firdaus MS, Jeffery J, Baharudin O. 2007. A preliminary study of insect succession on a pig carcass in a palm oil plantation in Malaysia. *Trop Biomed*, 24 (2):23-27.
- Heo CC, S. S, O. H, John J, Hiromu K, Baharudin O. 2010. Insect Succession Associated with a Hanging Pig Carcass Placed in an Oil Palm Plantation in Malaysia.
- Hubig M, Muggenthaler H, Sinicina I, Mall G. 2015. Temperature based forensic death time estimation: The standard model in experimental test. *Leg Med (Tokyo)*, 17 (5):381-387.
- Jarmusz M, Bajerlein D. 2019. Decomposition of hanging pig carcasses in a forest habitat of Poland. *Forensic Sci Int*, 300:32-42.
- Jarmusz M, Grzywacz A, Bajerlein D. 2020. A comparative study of the entomofauna (Coleoptera, Diptera) associated with hanging and ground pig carcasses in a forest habitat of Poland. *Forensic Sci Int*, 309:110212.
- Keil W, Keil W. 2014. *Basics Rechtsmedizin*. 2. Aufl., 1. [Nachdr.] Aufl. München: Elsevier, Urban & Fischer.
- Kelly JA, van der Linde TC, Anderson GS. 2009. The influence of clothing and wrapping on carcass decomposition and arthropod succession during the warmer seasons in central South Africa*. *J Forensic Sci*, 54 (5):1105-1112.
- Klotzbach H, Krettek R, Bratzke H, Puschel K, Zehner R, Amendt J. 2004. The history of forensic entomology in German-speaking countries. *Forensic Sci Int*, 144 (2-3):259-263.
- Lynch-Aird J, Moffatt C, Simmons T. 2015. Decomposition Rate and Pattern in Hanging Pigs. *J Forensic Sci*, 60 (5):1155-1163.
- Mall G, Eckl M, Sinicina I, Peschel O, Hubig M. 2005. Temperature-based death time estimation with only partially known environmental conditions. *Int J Legal Med*, 119 (4):185-194.
- Marchenko MI. 2001. Medicolegal relevance of cadaver entomofauna for the determination of the time of death. *Forensic Sci Int*, 120 (1-2):89-109.
- Matuszewski S, Bajerlein D, Konwerski S, Szpila K. 2008. An initial study of insect succession and carrion decomposition in various forest habitats of Central Europe. *Forensic Sci Int*, 180 (2-3):61-69.
- Matuszewski S, Bajerlein D, Konwerski S, Szpila K. 2010. Insect succession and carrion decomposition in selected forests of Central Europe. Part 1: Pattern and rate of decomposition. *Forensic Sci Int*, 194 (1-3):85-93.
- Mégnin P. 1894. *La Faune des Cadavres: Application de l'entomologie à la Médecine Légale.*: Hachette Livre - Bnf.
- Megyesi MS, Nawrocki SP, Haskell NH. 2005. Using accumulated degree-days to estimate the postmortem interval from decomposed human remains. *J Forensic Sci*, 50 (3):618-626.

- Niederegger S, Pastuschek J, Mall G. 2010. Preliminary studies of the influence of fluctuating temperatures on the development of various forensically relevant flies. *Forensic Sci Int*, 199 (1-3):72-78.
- Niederegger S, Schermer J, Hofig J, Mall G. 2015. Case report: Time of death estimation of a buried body by modeling a decomposition matrix for a pig carcass. *Leg Med (Tokyo)*, 17 (1):34-38.
- Niederegger S, Steube X, Tiltmann P, Mall G. 2016. *Decomposition rate of intact and injured piglet cadavers*. Berlin: Springer Medizin Verlag Berlin 2016.
- Rodriguez WC. 1982. *Insect Activity and Its Relationship to Decay Rates of Human Cadavers in East Tennessee* University of Tennessee, Knoxville: University of Tennessee,.
- Rodriguez WC, Bass WM. 1983. Insects activity and its relationship to decay rates of human cadavers in East Tennessee. *Journal of Forensic Science*.
- Schoenly KG, Haskell NH, Hall RD, Gbur JR. 2007. Comparative performance and complementarity of four sampling methods and arthropod preference tests from human and porcine remains at the Forensic Anthropology Center in Knoxville, Tennessee. *J Med Entomol*, 44 (5):881-894.
- Shalaby OA, deCarvalho LM, Goff ML. 2000. Comparison of patterns of decomposition in a hanging carcass and a carcass in contact with soil in a xerophytic habitat on the Island of Oahu, Hawaii. *J Forensic Sci*, 45 (6):1267-1273.
- Sharanowski BJ, Walker EG, Anderson GS. 2008. Insect succession and decomposition patterns on shaded and sunlit carrion in Saskatchewan in three different seasons. *Forensic Sci Int*, 179 (2-3):219-240.
- Simmons T, Adlam RE, Moffatt C. 2010a. Debugging decomposition data--comparative taphonomic studies and the influence of insects and carcass size on decomposition rate. *J Forensic Sci*, 55 (1):8-13.
- Simmons T, Cross PA, Adlam RE, Moffatt C. 2010b. The influence of insects on decomposition rate in buried and surface remains. *J Forensic Sci*, 55 (4):889-892.
- Smith KGV. 1986. *A manual of forensic entomology*. NCROL.
- Stresemann E. 2011. *Exkursionsfauna von Deutschland*. Spektrum Akademischer Verlag.
- Sukchit M, Deowanish S, Butcher BA. 2015. Decomposition stages and carrion insect succession on dressed hanging pig carcasses in Nan Province, Northern Thailand. *Tropical Natural History*.
- Szelecz I, Feddern N, Seppely CVW, Amendt J, Mitchell EAD. 2018. The importance of *Saprinus semistriatus* (Coleoptera: Histeridae) for estimating the minimum post-mortem interval. *Leg Med (Tokyo)*, 30:21-27.
- Vass AA, Bass WM, Wolt JD, Ammons JT, Foss JE. 1992. Time Since Death Determinations of Human Cadavers Using Soil Solution. *Journal of Forensic Sciences*.

- Voss SC, Cook DF, Dadour IR. 2011. Decomposition and insect succession of clothed and unclothed carcasses in Western Australia. *Forensic Sci Int*, 211 (1-3):67-75.
- Watson EJ, Carlton CE. 2005. Insect succession and decomposition of wildlife carcasses during fall and winter in Louisiana. *J Med Entomol*, 42 (2):193-203.
- Wollner K, Kernbach-Wighton G, Madea B. 2015. [Suicide in childhood or accidental hanging? A case report]. *Arch Kriminol*, 236 (1-2):43-50.
- Wu Y SD, Huang Y, Ning P, Cheng P, Hu G. 2020. Sex-specific and age-specific suicide mortality by method in 58 countries between 2000 and 2015.

10 Anhang

10.1 Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tabelle 1: Körpergewicht der Versuchsubjekte.	18
Tabelle 2: Kriterien der Punktevergabe für den jeweiligen Verwesungsgrad nach Lynch-Aird et al. (2015). Aus dem Englischen übersetzt.	23
Tabelle 3: Minimale und maximale Tagesdurchschnittstemperaturen, kumulierte Tagesgrade und Niederschlag. Berücksichtigung der 27 Versuchstage ohne Folgebesuche in VR 2.	26
Tabelle 4: Erstes Auftreten der einzelnen Larvenstadien (LS) pro Schwein. Es werden die jeweiligen kumulierten Tagesgrade für den jeweiligen Tag angegeben.	51
Abbildung 1: Foto Versuchsaufbau. Links im Bild Schwein 2B im Käfig aufgehängt. Rechts im Bild, etwas nach hinten versetzt und teilweise von Blättern verdeckt Schwein 2A im Käfig.	19
Abbildung 2: Dokumentationsbogen.	20
Abbildung 3: Klimadiagramm Tautenburg. Die in dieser Abbildung verwendeten Werte wurden im Observatorium in Tautenburg erhoben und für diese Arbeit freigegeben.	25
Abbildung 4: Kumulierte Tagesgrade beider Versuchsreihen im Vergleich.	26
Abbildung 5: Beginnende Grünfäulnis im Unterbauch. (VR 1, Tag 2, TBS ^{Hang} _{gesamt} 3).	27
Abbildung 6: Vertrocknete Schnauze, Zunge und teilw. Lippen. (VR 1, Tag 2, TBS ^{Hang} _{gesamt} 3).	27
Abbildung 7: Aufgedunsener Kadaver. (VR 1, Tag 3, TBS ^{Hang} _{gesamt} 6).	28
Abbildung 8: Hautablösung und Madenbefall Extremität. (VR 1, Tag 4, TBS ^{Hang} _{gesamt} 9).	29
Abbildung 9: Maden unter der abgelösten Brusthaut sichtbar. (VR 1, Tag 4, TBS ^{Hang} _{gesamt} 11).	29
Abbildung 10: Rotbraune bis schwarze Hautverfärbungen. Abgelöste Haut teilweise noch mit Rumpf und Extremitäten verbunden. (VR 1, Tag 5, TBS ^{Hang} _{gesamt} 16).	29
Abbildung 11: Mit Fäulnisflüssigkeit gefüllte Blasen im Rumpfbereich. (VR 1, Tag 4, TBS ^{Hang} _{gesamt} 11).	29
Abbildung 12: Darmaustritt durch Bauchdecke. (VR 1, Tag 5, TBS ^{Hang} _{gesamt} 16).	30
Abbildung 13: Herausgefallene Organe und der Darm von Maden befallen. Bodenkontakt durch Strecken des Kadavers und herausgefallene Organe. (VR 1, Tag 5, TBS ^{Hang} _{gesamt} 17).	30
Abbildung 14: Nachdem Maden den Großteil des Gewebes zersetzt haben, werden herausgefallene Knochen sichtbar. (VR 1, Tag 8, TBS ^{Hang} _{gesamt} 26).	31
Abbildung 15: Blick durch die eröffnete Bauchdecke nach oben. Linke Bildseite entspricht der rückwärtigen Seite des Schweines. Käfer sitzen in der leeren Bauch- und Brusthöhle. (VR 1, Tag 9, TBS ^{Hang} _{gesamt} 26).	31
Abbildung 16: Teilskelettierung des Unterkiefers. (VR 1, Tag 6, TBS ^{Hang} _{gesamt} 19). ...	31
Abbildung 17: Schwein 1A am letzten Versuchstag. (VR 1, Tag 27, TBS ^{Hang} _{gesamt} 28).	32
Abbildung 18: Schwein 1B am letzten Versuchstag. (VR 1, Tag 27, TBS ^{Hang} _{gesamt} 26).	32

Abbildung 19: Blaulivide Totenflecke im Bereich der unteren Extremität. Beginnende Grünfäulnis im linken Unterbauch. (VR 2, Tag 1, TBS ^{Hang} _{gesamt} 1).....	33
Abbildung 20: Austritt von rotbrauner, Flüssigkeit aus mit Kotresten gefüllter Analöffnung. Eiablage links und rechts seitlich am Schwanzansatz sichtbar. (VR 2, Tag 8, TBS ^{Hang} _{gesamt} 2).....	33
Abbildung 21: Durch Nasenöffnungen hindurch wird das knöcherne Nasenskelett sichtbar. Beginnende Vertrocknung der Schnauze, Zunge und Lippe. (VR 2, Tag 9, TBS ^{Hang} _{gesamt} 2).....	34
Abbildung 22: Hautablösung im Bereich des Nackens und rechten Ohres. Es befinden sich Maden unterhalb der abgelösten Haut. (VR 2, Tag 10, TBS ^{Hang} _{gesamt} 8).	34
Abbildung 23: Grünfäulnis im Nackenbereich. (VR 2, Tag 10, TBS ^{Hang} _{gesamt} 5).....	34
Abbildung 24: Verstrichene Beugefalten der Leistenregion sowie deutliches Abzeichnen von Blutgefäßen der unteren Extremität. (VR 2, Tag 10, TBS ^{Hang} _{gesamt} 5).	34
Abbildung 25: Darmschlinge tritt aus Anus hervor. (VR 2, Tag 10, TBS ^{Hang} _{gesamt} 8).	35
Abbildung 26: Teilweise freigelegter Oberkiefer- und Unterkieferknochen. (VR 2, Tag 11, TBS ^{Hang} _{gesamt} 7).....	36
Abbildung 27: Blasenartige Flüssigkeitsansammlung auf der Rückseite des linken Hinterlaufs. Deutlich sichtbare Grünfäulnis. (VR 2, Tag 11, TBS ^{Hang} _{gesamt} 7).....	36
Abbildung 28: Schwein 2A stark aufgebläht. Deutliche blaugrün bis rötliche Verfärbungen im Unterbauch sichtbar. Kopf teilweise braun verfärbt. (VR 2, Tag 12, TBS ^{Hang} _{gesamt} 12).....	37
Abbildung 29: Blasenbildung frontal zwischen Hinterläufen. (VR 2, Tag 13, TBS ^{Hang} _{gesamt} 16).....	38
Abbildung 30: Kopf von Schwein 2B: Auf der linken sowie Oberseite beginnen einige Areale zu vertrocknen und färben sich rotbräunlich. (VR 2, Tag 13, TBS ^{Hang} _{gesamt} 13).	38
Abbildung 31: Weißliche Hautverfärbung dominiert die rechte Gesichtshälfte. Daneben trockenere, bräunliche Stellen. Ober- und Unterkiefer größtenteils freigelegt, wobei feuchter Knochen überwiegend von Maden bedeckt ist. (VR 2, Tag 13, TBS ^{Hang} _{gesamt} 13).	38
Abbildung 32: Haut am Nasenrücken sowie Schnauze neigen sich entlang der Schwerkraft nach links, als ob sie vom Knochen herabrutschten. (VR 2, Tag 14, TBS ^{Hang} _{gesamt} 16).	39
Abbildung 33: Mit dunkler Flüssigkeit gefüllte Hautblase auf Unterseite des rechten Hinterlaufs. (VR 2, Tag 15, TBS ^{Hang} _{gesamt} 13).....	39
Abbildung 34: Deutliche dunkle Blaufärbung des Rumpfes. (VR 2, Tag 16, TBS ^{Hang} _{gesamt} 16).....	39
Abbildung 35: Weißfärbung der gesamten Gesichtshaut. Schnauze nach links verschoben. (VR 2, Tag 16, TBS ^{Hang} _{gesamt} 13).	40
Abbildung 36: Löcher in der Gesichtshaut und darunter liegender Knochen. (VR 2, Tag 16, TBS ^{Hang} _{gesamt} 13).....	40
Abbildung 37: Blick von rechts auf den Schädel. Er ist auf dieser Seite fast vollständig skelettiert. Im Bereich der Nasenöffnung abstehendes Knochenfragment. (VR 2, Tag 17, TBS ^{Hang} _{gesamt} 15).	41

Abbildung 38: Blick von vorne auf den Kiefer des Schweines. Ober- und Unterkiefer sind mittig gespalten. Die Schnauze hängt seitlich herunter. (VR 2, Tag 17, TBS ^{Hang} _{gesamt} 15).	41
Abbildung 39: Spaltbildung im Bereich der Schädelnähte. (VR 2, Tag 20, TBS ^{Hang} _{gesamt} 15).	42
Abbildung 40: Blick von unten auf den längs gespaltenen, knöchernen Gaumen des Oberkiefers. Der Unterkiefer ist vollständig skelettiert. (VR 2, Tag 19, TBS ^{Hang} _{gesamt} 15).	42
Abbildung 41: Schwein 2B am letzten Versuchstag. Sechs Tage zuvor abgefallen. Der vollständig skelettierte Schädel ist im rechten unteren Bildrand zu sehen (VR 2, Tag 27, TBS ^{Hang} _{gesamt} 16).	43
Abbildung 42: Schwein 2A am letzten Versuchstag. (VR 2, Tag 27, TBS ^{Hang} _{gesamt} 18).	43
Abbildung 43: Verlauf der errechneten Verwesungsgrade des Schweines 1A.	44
Abbildung 44: Verlauf der errechneten Verwesungsgrade des Schweines 1B.	45
Abbildung 45: Verlauf der errechneten Verwesungsgrade des Schweines 2A.	46
Abbildung 46: Verlauf der errechneten Verwesungsgrade des Schweines 2B.	47
Abbildung 47: Vergleich des TBS ^{Hang} _{gesamt} für alle vier Schweine nach Versuchstagen.	48
Abbildung 48: Vergleich der Verwesungsgrade in Abhängigkeit der kumulierten Tagesgrade.	49
Abbildung 49: Erstmaliges Auftreten der jeweiligen Larvenstadien nach Tagen.	52
Abbildung 50: Erstmaliges Auftreten der jeweiligen Larvenstadien nach ADD.	53
Abbildung 51: Schwein 1A: Schmeißfliegensukzession, Niederschlag, Tagesdurchschnittstemperatur und TBS ^{Hang} _{gesamt} im Verlauf der Versuchstage.	54
Abbildung 52: Schwein 1B: Schmeißfliegensukzession, Niederschlag, Tagesdurchschnittstemperatur und TBS ^{Hang} _{gesamt} im Verlauf der Versuchstage.	55
Abbildung 53: Schwein 2A: Schmeißfliegensukzession, Niederschlag, Tagesdurchschnittstemperatur und TBS ^{Hang} _{gesamt} im Verlauf der Versuchstage.	56
Abbildung 54: Schwein 2B: Schmeißfliegensukzession, Niederschlag, Tagesdurchschnittstemperatur und TBS ^{Hang} _{gesamt} im Verlauf der Versuchstage.	57
Abbildung 55: Schwein 1A: Sukzession adulter Insekten (● Fliegen, ■ Käfer, ▲ Milben / Spinnen), Niederschlag und Tagesdurchschnittstemperatur im Verlauf der Versuchstage.	58
Abbildung 56: Schwein 1B: Sukzession adulter Insekten (● Fliegen, ■ Käfer, ▲ Milben / Spinnen), Niederschlag und Tagesdurchschnittstemperatur im Verlauf der Versuchstage.	59
Abbildung 57: Schwein 2A: Sukzession adulter Insekten (● Fliegen, ■ Käfer, ▲ Milben / Spinnen), Niederschlag und Tagesdurchschnittstemperatur im Verlauf der Versuchstage. An den Tagen 28-34 und 36-41 wurden die Schweine nicht aufgesucht.	61
Abbildung 58: Schwein 2B: Sukzession adulter Insekten (● Fliegen, ■ Käfer, ▲ Milben / Spinnen), Niederschlag und Tagesdurchschnittstemperatur im Verlauf der Versuchstage. An den Tagen 28-34 und 36-41 wurden die Schweine nicht aufgesucht.	62

10.2 Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben:

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Ort, Datum

Unterschrift der Verfasserin

10.3 Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei meiner Doktormutter Frau Univ.-Prof. Dr. Gita Mall bedanken für die Möglichkeit, diese Arbeit anfertigen zu können und die Bereitstellung des Themas.

Ebenso gilt großer Dank Frau Dr. Senta Niederegger für ihr Engagement bei der Betreuung der Dissertation und ihre fachliche Hilfe in allen entomologischen Fragestellungen. Besonders bedanken möchte ich mich für ihre sorgfältige Korrektur meiner Entwürfe und ihre wertvollen Ratschläge.

Abschließend möchte ich mich herzlich bei meiner Familie für die Ermöglichung meines bisherigen Lebenswegs bedanken. Sie hat mich als eine emotionale Stütze stets motiviert und so den bestmöglichen Rahmen für die Erstellung dieser Arbeit geschaffen.