

**Aus dem Institut für Gerichtliche Medizin der Universität Tübingen
Komm. Leiter: Professor F. Fend**

**Die Leichenlipidbildung auf Friedhöfen -
Maßnahmen zur Prophylaxe und Sanierung**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen**

vorgelegt von

**Mona Schmidt
aus
Göppingen**

2009

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Professor Dr. M. Graw

2. Berichterstatter: Professor Dr. K. Foerster

**Gewidmet meinen Eltern
für
ihr Vertrauen und ihre Unterstützung**

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	S.1
1.1. Einführung in die Friedhofsproblematik	S.1
1.2. aktuelle Situation	S.2
1.3. Fragestellung	S.3
2. Grundlagen	S.5
2.1. Die Friedhofsproblematik	S.5
2.1.1. Umfang	S.5
2.1.2. Bedeutung	S.8
2.1.3. Lösungsmöglichkeiten	S.12
2.1.3.1. Sanierungskonzepte	S.12
2.1.3.2. Prophylaxekonzepte	S.13
2.2. Degradationsstörungen	S.14
2.2.1. Reguläre Degradation	S.14
2.2.2. Die Leichenlipidbildung	S.17
2.2.2.1. Allgemeines	S.17
2.2.2.2. Entstehung	S.19
2.2.2.3. Zusammensetzung	S.28
2.2.2.4. Ursachen	S.31
2.3. Rechtsmed. Fragen im Kontext mit dem Leichenlipid	S.32

3. Material und Methode	S.34
3.1. Einführung	S.34
3.2. Untersuchungsfeld Modellfriedhof	S.34
3.2.1. Beschreibung des Friedhofs	S.34
3.2.2. Referenzgräber	S.36
3.2.3. Beschreibung der Verfahren zur Sanierung	S.37
3.2.4. Näheres zu den einzelnen Komponenten	S.41
3.2.5. Beschreibung des Verfahrens zur Prophylaxe	S.44
3.2.6. Beschreibung der Probenbearbeitung	S.45
3.3. Grabkammern der Firma Ackermann	S.46
3.3.1. System der Grabkammer	S.46
3.3.2. Untersuchungen	S.48
3.4. Grabhülle der Firma Weihe	S.50
3.4.1. System der Grabhülle	S.50
3.4.2. Untersuchungen	S.51
3.5. Redoxverfahren der Firma Keller	S.52
3.5.1. System des Redoxverfahren	S.52
3.5.2. Untersuchungen	S.53

4. Ergebnisse	S.55
4.1. Untersuchungsfeld Modellfriedhof	S.55
4.1.1. Ergebnisse der Gasproben	S.55
4.1.2. Ergebnisse der Ausgrabungen	S.65
4.1.3. Zusätzliche Erkenntnisse	S.69
4.1.4. Zusammenfassung	S.70
4.2. Grabkammern der Firma Ackermann	S.70
4.2.1. Ergebnisse der Temperaturmessungen	S.71
4.2.2. Zusammenhänge Luftfeuchtigkeit	S.75
4.2.3. Degradationsverlauf	S.78
4.2.4. Zusätzliche Erkenntnisse	S.82
4.2.5. Zusammenfassung	S.83
4.3. Grabhülle der Firma Weihe	S.84
4.3.1. Ergebnisse der Temperaturmessungen	S.84
4.3.2. Ergebnisse der Gasproben	S.86
4.3.3. Degradationsverlauf	S.88
4.3.4. Zusammenfassung	S.91
4.4. Redoxverfahren der Firma Keller	S.91
4.4.1. Ergebnisse der Gasproben	S.91
4.4.2. Weitere Erkenntnisse	S. 94

4.4.3. Zusammenfassung	S.96
5. Diskussion	S.97
5.1. Diskussion von Prophylaxemaßnahmen	S.97
5.1.1. Grabhilfssysteme	S.97
5.1.1.1. Grabkammer	S.98
5.1.1.2. Grabhülle	S.102
5.1.2. Zersetzungsfördernde Maßnahmen	S.105
5.1.2.1. Verbesserung des Bodens und der Diffusion	S.107
5.1.2.2. Verbesserung der Verhältnisse bei der Bestattung	S.112
5.1.2.3. Verbesserung der Verhältnisse auf dem Friedhof	S.118
5.1.2.4. Allgemeinmaßnahmen	S.126
5.2. Diskussion von Sanierungsmaßnahmen	S.128
5.2.1. Wechsel des Milieus	S.128
5.2.2. Optimierung der Umgebungsvariablen	S.128
5.2.2.1. Verbesserung der Diffusion	S.130
5.2.2.2. Entwässerung	S.132
5.2.2.3. Verbesserung der Bodenverhältnisse	S.136
5.2.2.4. Weitere Ansätze	S.141

5.3.	Diskussion der Messergebnisse	S.142
5.3.1.	Einfluss der Temperatur	S.142
5.3.2.	Einfluss der Luftfeuchtigkeit	S.146
5.3.3.	Diskussion der Gasprobenmessungen	S.146
6.	Zusammenfassung	S.150
6.1.	Wiederholung der Fragestellung	S.150
6.2.	Zusammenfassung der Ergebnisse	S.151
6.3.	Fazit	S.154
7.	Literaturverzeichnis	S.156
8.	Anhang	S.183
8.1.	Fotos	S.183
8.2.	Tabellen	S.185
9.	Danksagung	S.197
10.	Lebenslauf	S.198

1. Einleitung

1.1. Einführung in die Friedhofsproblematik

„Denn Du bist Erde und sollst zu Erde werden“ (1.Buch Mose 3,19).

Eine Vorstellung, die heutzutage keine Selbstverständlichkeit mehr ist. Denn auf den Friedhöfen herrschen Bedingungen, die eine natürliche und vollständige Leichenzersetzung innerhalb der vorgesehenen Ruhefristen nicht gewährleisten. Bei zur Neubelegung eröffneten Gräbern werden, anstelle bis auf das Skelett zersetzten Leichen, noch teilweise bis vollständig erhaltene Körper vorgefunden. Die ersten Beschreiber dieses Phänomens, Fourcroy und Thouret, schilderten ihre Beobachtungen 1786, bei der Eröffnung von Massengräbern auf dem „Cimetière des innocents“ (dem Friedhof der Unschuldigen) in Paris: „An den Leichen, deren mehrere in eine gemeinschaftliche Grube geworfen worden waren, war kein Fasergewebe mehr wahrzunehmen, sondern alle weiche Theile zu einem meistens sehr festen mehr oder weniger weißen Mark geworden, das sich fett anfühlte...“(Thouret, 1792). Zuerst hielten sie es für „eine neue sehr merkwürdige Art von Mumien“; schließlich benannten sie diese Form der Leichenerhaltung Adipocire, im Deutschen zu Fettwachs, bzw. Leichenlipid übersetzt.

Schien das Leichenlipid ursprünglich allerdings hauptsächlich eine Erscheinung bei Wasserleichen oder Leichen aus Massengräbern zu sein (Zillner, 1884; Thouret, 1792), so findet man doch bereits aus diesen Zeiten Berichte, aus denen hervorging, dass es sich dabei keinesfalls um ein vereinzelt auftretendes Phänomen handelte (Schauenstein, 1882; Hauser, 1994; Döring, 1973). Aber erst Mitte des 20. Jahrhunderts wurden die ersten Funde auf Friedhöfen von im großen Umfang vorkommenden Leichenlipidbildungen veröffentlicht (Wieners, 1939, Froentjies, 1965).

Ein Beispiel hierfür ist der Fund von 257 zu Adipocire umgewandelten Leichen, die allesamt über 50 Jahre im Erdreich gelegen waren. Diese waren bei Bauarbeiten an einer Bahntrasse auf einem geschlossenen Schweizer Friedhof freigelegt worden (Spiegel, 1998).

1.2. Aktuelle Situation

Auch wenn das Problem der Leichenlipidbildung auf Friedhöfen schon länger bekannt war, wurde es erst wieder durch die in den letzten Jahren zunehmende Flächenknappheit durch eine ständig wachsende Bevölkerung und insbesondere ihrer Konzentration in den Ballungsgebieten thematisiert. Die Stadtflucht führt insbesondere in kleineren Gemeinden, aufgrund der stark wachsenden Bevölkerung zu großem Bedarf an Bestattungsflächen. Dies wird in manchen Gemeinden durch die Eingliederung von Spätaussiedlern zusätzlich verstärkt (Abrecht, 2003a). Besonders betroffen waren und sind zudem die kleinen Kirchenfriedhöfe, die teilweise schon seit Generationen aufgrund langer christlicher Tradition (Küchenmeister, 1985a; Küchenmeister, 1985b; Thalmann, 1978; Bauer, 1992) immer wieder neu belegt wurden.

Viele Friedhöfe, die sich vor Jahren zu einer Friedhofsneuanlage oder -erweiterung entschlossen hatten, griffen damals zu den direkt angrenzenden Flächen oder kauften billig Land, welches feucht und lehmhaltig und für andere Zwecke nicht zu gebrauchen war. Vielfach geschah dies ohne eine Eignungsprüfung dieser Grundstücke für Bestattungszwecke vornehmen zu lassen. Die Flächen entpuppten sich dann nach Jahren als für die Erdbestattung ungeeignet. Dies gängige Verfahren, welches zwar kurzfristig eine Entlastung des Bestattungsdruckes erreichte, führte jedoch später nur zu einer weiteren Verschärfung der Situation.

Nicht nur mannigfaltige Fehlplanungen in der Vergangenheit, sondern auch andere nicht einplanbare Ereignisse können zu Engpässen auf Friedhöfen führen und damit die Leichenlipidproblematik verstärken. Beispiele sind die Hochwasserereignisse in Sachsen und Sachsen-Anhalt im Jahre 2002, die zur Überflutung und zeitweiliger Einstellung der Bestattung auf den jeweiligen Flächen führte (Albrecht, 2003a).

Wurde bisher die Existenz von „Adipocire“ in den Kommunen häufig totgeschwiegen, indem man die sterblichen, nicht vollständig verwesenen Leichen einfach tiefer legte und darüber neu bestattete, so ist diese Praxis aus den unterschiedlichsten Gründen vielerorts heute nicht mehr praktikabel. Daher müssen sich die Gemeinden und Städte nun der Tatsache der Leichenlipidbildung auf ihren Friedhöfen stellen. Die Folgen, nämlich Verzögerungen der Grabwiederbelegungen führen dazu, dass angesichts schwindender Raumreserven viele Gemeinden und Städte über Friedhofssanierungen, -erweiterungen oder sogar – erneuerungen diskutieren. Und auch die Öffentlichkeit ist zunehmend an der Thematik interessiert, wie zahlreiche Zeitungsartikel, die in verschiedenen Zeitungen zu lesen waren, zeigen (Die Zeit vom 30.Oktober 2003: „Müde Böden, zähe Leichen“; Stuttgarter Zeitung vom 27.April 2000: „Grabkammer soll Verwesung beschleunigen“; Südwestpresse vom 5. Juni 2004: „Totgeschwiegene Probleme in feuchter Erde“; Südwestumschau vom 07.März 2002 :“Eine Leiche braucht reichlich Luft“ und viele mehr).

Daher sind in den vergangenen Jahren vielfältige Konzepte zur Sanierung und Prophylaxe des Leichenlipids entwickelt worden. Die wenigsten davon wurden jedoch wissenschaftlich untersucht. Abgesehen davon, dass diese Maßnahmen nachhaltig wirken und sowohl technisch als auch ökonomisch realisierbar sein sollten, sollte auch bei der Erfüllung der hygienischen Anforderungen an ein Hilssystem dieses zugleich den Geboten der Pietät genügen.

1.3. Fragestellung

Am Beispiel eines Waldfriedhofes im Mittleren Schwarzwald soll versucht werden, möglichst kostengünstige und praktikable Lösungen zu finden. Der Friedhof ist ein repräsentatives Beispiel für einen Problemfriedhof. Hier wurde nach Ablauf der gesetzlichen Ruhefrist von 25 Jahren in den zur Neubelegung geplanten Grabfeldern ein großer Anteil von „Adipocireleichen“ gefunden. Die zuständigen Behörden wandten sich daraufhin an unsere Arbeitsgruppe, mit der Bitte um Klärung der Ursachen und Entwicklung von Lösungskonzepten.

Da es sich bei der Leichenlipidbildung um ein vielschichtiges Problem handelt, wurden mehrere interdisziplinäre Arbeitsgruppen dreier Universitäten (Tübingen, München, Hohenheim) beteiligt. Das Ziel war, dem Thema auf mehreren Ebenen zu begegnen. Eine Diplomarbeit über den bodenkundlichen Aspekt unserer Untersuchungen wurde bereits veröffentlicht (Schneckenberger, 2002).

Die vorliegende Arbeit setzt sich mit den Ursachen der Leichenlipidbildung, insbesondere mit dem Einfluss eines reduzierten Gasaustausches und der Temperatur im Liegemilieu, auseinander. Außerdem sollen Sanierungs- und Prophylaxemaßnahmen aufgezeigt werden. Insbesondere die technischen Verfahren, also die Grabkammer und die Grabhülle, wurden auf ihre Funktionalität untersucht. Darüber hinaus wurde bei der Wahl der zu prüfenden Verfahren, ein besonderer Schwerpunkt auf die Verbesserung des passiven, wie auch des aktiven Gasaustausches gelegt.

2. Grundlagen

2.1. Die Friedhofsproblematik

2.1.1. Umfang

Jährlich sterben in der Bundesrepublik Deutschland zwischen 800 000 und 900 000 Menschen (818 271 Todesfälle 2004), die einer Bestattung, welcher Art auch immer zugeführt werden müssen. In der Bundesrepublik besteht Bestattungszwang, dem alle menschlichen Leichen, sowie alle Totgeburten, ebenso wie die Aschenreste aus der Feuerbestattung unterliegen. Hierfür stehen in Deutschland etwa 30 000 bis 33 000 Friedhöfe (je nach Quelle), ca. 80 % unter kommunaler und ca. 20 % unter kirchlicher Trägerschaft, zur Verfügung. Für jeden Friedhof ist im Einvernehmen mit dem Gesundheitsamt zu bestimmen, wie lange die Grabstätten nicht erneut belegt werden dürfen, dieser Zeitraum wird als Ruhezeit (=Ruhefrist) bezeichnet. Die Ruhezeit der Leichen ist nach der Verwesungsdauer festzulegen, die örtlich bestimmt wird. Die untere Grenze der festsetzungsfähigen Ruhezeiten ergibt sich aus den gesetzlichen Mindestruhefristen (Schwab, 1994), die von den Bundesländern vorgegeben und nicht, von den vor Ort bestimmten Ruhezeiten unterschritten werden dürfen. Die, je nach Bundesland variierenden Mindestruhezeiten für Erwachsene liegen zwischen 15 und 30 Jahren und bei Kindern verkürzt sich die Frist auf etwa die Hälfte bis zu zwei Drittel der Zeit (Albrecht, 2002a). Auf einem Friedhof können, wenn hierfür sachliche Gründe sprechen verschiedene Ruhezeiten festgelegt werden, „z.B. für bestimmte Altersgruppen oder für Reihen- und Wahlgräber...“ (Dietz und Arnold, 1982).

Diese Ruhefristen wurden in der Vergangenheit beim Auftreten von Leichenlipid einfach verlängert, bzw. wurde das Friedhofsgelände erweitert. Eine Praxis, die für viele Kommunen aus unten vorgestellten Gründen häufig keine Alternative mehr ist.

Umfragen in den Kommunen

Unklar war bis dato, wie viele Friedhofsstandorte in Baden-Württemberg von der Leichenlipidbildung betroffen waren. Dies konnte durch eine landesweite Fragebogenaktion unserer Arbeitsgruppe genauer eingeschätzt werden (Graw und Hafner, 2001). Von 1111 Gemeinden/Städten in Baden Württemberg antworteten 904 auf die Fragen zu Ruhe- und Nutzungszeiten, beobachteten Verwesungsproblemen und anstehenden oder bereits durchgeführten Gegenmaßnahmen. 347 Gemeinden/Städte (38,4%) gaben an von Verwesungsproblemen betroffen zu sein. Von diesen hatten sich lediglich 1/3 (32,3%) schon über Sanierungskonzepte informiert. Darüber hinaus zeigte die Studie deutlich, dass es regionale Problemgebiete gab, die schwerpunktmäßig in den großen Flusstälern gelegen waren. Und es wurde eine deutliche Abhängigkeit von der Bodenstruktur deutlich; betroffen waren vor allem Jura- und Trias-Gebiete.

Eine Zuordnung des geologischen Ausgangsmaterials in Baden Württemberg zu den Zersetzungsschwierigkeiten gelang Fiedler und Graw im Jahre 2004. Demnach weisen 36 bis 46% der Friedhöfe, die auf (lehmig)- tonigen Böden angelegt wurden, eine ungenügende Zersetzung innerhalb der Ruhefristen auf (Fiedler und Graw, 2004). Die Studie zeigte, dass es naturbedingt Regionen in Baden Württemberg gibt, die weniger gute Voraussetzungen für eine fristgerechte Wiederbelegung der Gräber bieten. Auffallend war aber, dass sich die Zersetzungsprobleme nicht ausschließlich auf diese Regionen beschränkten.

Ähnliche Resultate wurden von Weinzierl und Waldmann veröffentlicht, in einer Karte der potentiellen Problemstandorte für Erdbestattungen in Baden-Württemberg (Weinzierl und Waldmann, 2004).

Eine weitere Studie aus Bayern bestätigte die Ergebnisse aus Baden Württemberg (Graw, 2003). Auch hier wurden Gemeinden/Städte angeschrieben, um durch den Fragebogen herauszufinden, ob eine Verwesungsproblematik besteht. Von 668 Einsendern wurden in 185 Fällen (27,7%) Verwesungsprobleme angegeben. Diese Gemeinden betreuen

insgesamt 628 Friedhöfe, davon 278 also 44,3% mit problematischen Zersetzungsverhältnissen. Zudem wies diese Studie auf die Folgen der Degradationsproblematik, nämlich deutlich verlängerte Ruhefristen (um zwei bis drei Jahre) bei den betroffenen Gemeinden hin. Darüber hinaus war der Anteil der geplanten Erweiterungen (34,1%) und bereits durchgeführten Erweiterungen (44,3%) an den Problemstandorten deutlich höher (Nicht-Problemfriedhöfe: 20,3, bzw. 22%). Noch offensichtlicher wurde der Unterschied bei den Sanierungen: bei 33,5% der Problemfriedhöfe wurde eine Sanierung geplant, bei 26,5% sogar bereits durchgeführt. Bei problemlosen Friedhöfen waren nur in 6,4% der Fälle Sanierungen geplant, bzw. waren in 5,4% welche durchgeführt worden.

Auch aus anderen Bundesländern kommen ähnliche Aussagen. In Rheinland-Pfalz werden beispielsweise 30-40% der Bestattungsorte als für die Leichenzersetzung ungeeignet eingeschätzt (Wourtsakis, 2003). Eine von Kiel ausgehende Umfrage unter Friedhöfen in den Postleitzahlgebieten 1 bis 5 ergab, „dass 30 bis 40 Prozent der befragten Friedhöfe Probleme mit Wachsleichen haben“(Jennerich, 2004a).

So kann man aufgrund der erhobenen Daten davon ausgehen, dass über ein Drittel der deutschen Friedhöfe von Zersetzungsproblemen betroffen sind.

Berichte aus dem Ausland

Wie man Berichten aus dem Ausland entnehmen kann, handelt es sich dabei nicht um ein alleiniges deutsches Problem. Auch aus anderen europäischen Nachbarländern, wie Schweden, Frankreich und Österreich gibt es ähnliche Erfahrungsberichte (Wiigh-Mäsaks, 2002; Du Camp, 1874; Hofmann, 2006).

In Norwegen setzt man sich beispielsweise gerade aktuell mit den Folgen der Leichenlipidbildung auseinander (Jennerich, 2004b). Nach einer Verordnung von 1965 wurden Tote bei Erdbestattungen über Jahre hinweg in luftdichte Plastiksäcke gehüllt. Vermutlich als Hygienemaßnahme gedacht, hatte diese Handhabung 30 Jahre später unangenehme Folgen: 200 000 bis 300 000 gut konservierte Leichen, die neuen Beisetzungen im Wege stehen. Diese nun zu

verbrennen, bedarf jedoch der Zustimmung der Angehörigen und ist darüber hinaus ein großer Aufwand (Geo Magazin, 2004).

Auch in der Schweiz ist das Problem schon länger bekannt. Schon 1914 fand man bei 6000 Leichenausgrabungen auf dem Friedhof „Hohe Promenade“ in Zürich in 10% der Fälle eine „Adipocirebildung“ (Müller, 1913). In den Niederlanden wurde 1955 sogar ein Sachverständigenausschuss eingesetzt, der die unvollständige Dekomposition auf den Friedhöfen studieren sollte. Denn die gesetzliche Ruhefrist, die zu dieser Zeit 10 Jahre betrug, hatte sich als zu kurz herausgestellt. Das Ergebnis der Untersuchung war erschreckend: Bei 808 ausgegrabenen Leichen auf ein und demselben Friedhof war es in 51,7% zu Leichenlipidbildung gekommen (Froentjies, 1965; Den Dooren de Jong, 1961). Zusammenfassend kann man sagen: „Die Fettwachs- oder Adipocirebildung ist die wichtigste in Europa auftretende Zersetzungsstörung“ (Büchi und Willmann, 2002).

Darüber hinaus gibt es auch Berichte über vereinzelnde Leichenlipidbildungen auf Friedhöfen von anderen Kontinenten, wie Australien oder Amerika (Forbes et al., 2002; Evans, 1962). Allerdings handelt es sich hier noch um Einzelbeispiele, da wissenschaftliche Untersuchungen zum Umfang der Degradationsstörung bisher nicht bekannt sind. Es ist anzunehmen, dass die Problematik in diesen Ländern aufgrund des reichlichen Platzangebotes für die Friedhöfe keine große Rolle spielt und daher bisher nicht genauer untersucht wurde.

2.1.2. Bedeutung

Die Folgen für die von der Leichenlipidbildung betroffenen Friedhöfe sind immens:

Blockierung von Grabfeldern

Wenn Reihengräber nach Ablauf der Ruhefristen aufgrund von Leichenlipidbildung nicht neu wiederbelegt werden können, kann es gerade in den Ballungsgebieten zu räumlichen Engpässen bei Erdbegräbnissen kommen. Denn dadurch bedingt, fallen gleich mehrere Gräber aus der Friedhofsplanung heraus. Auf unserem Modellfriedhof beispielsweise, bei dem zwei Grabfelder

nicht neu belegt werden konnten, kam es zu einem Ausfall von insgesamt 176 Grabstätten.

Verlängerte Liegezeiten können darüber hinaus zur Notwendigkeit führen, für eine bestimmte Zeit keine Bestattungen auf dem Friedhof mehr durchzuführen. Eine Folge, die bei den Bürgern auf wenig Akzeptanz trifft. Zudem erschweren die schlecht kalkulierbaren Verzögerungen der Wiederbelegung durch Verwesungsschwierigkeiten, die weitere Friedhofsplanung.

Allerdings führen verlängerte Ruhefristen nicht überall zur Raumnot auf den Friedhöfen. Gerade in den dünn besiedelten Gegenden Norddeutschlands ist meistens noch genügend Platz vorhanden. Darüber hinaus könnte die Frage des Platzmangels, angesichts stagnierender bzw. sogar sinkender Bevölkerungszahlen, zukünftig keine so große Rolle mehr spielen, zudem sich in den letzten 50 Jahren eine Änderung des Bestattungsverhaltens abzeichnet. Waren es in den Alten Bundesländern 1950 nur 7,5% Einäscherungen, so waren es 1999 schon 31,8% und 1999 konnte man in der gesamten Bundesrepublik 40,1% Einäscherungen zählen. In den neuen Bundesländern war der Anteil an Einäscherungen schon immer hoch. Er betrug 1993 54,7% und war 1999 auf 75,3% gestiegen. Dort werden mancherorts über 90 % der Verstorbenen eingeäschert (Stand 1998, Quelle: Deutscher Städtetag).

Gründe für diese Veränderung sind sicherlich in der zunehmenden Anonymisierung der Lebensverhältnisse und den aufgelockerten Familienstrukturen zu sehen, zudem sich der Prozess der Ablösung von überlieferten und religiösen Glaubensvorstellungen bis hin zum Atheismus auch in der heutigen Bestattungskultur zeigt. „Die früher überwiegend emotional bestimmte Einstellung zum Tode ist mehr und mehr rationalen Motiven menschlich-ästhetischer und hygienischer Natur gewichen“ (Gädke und Diefenbach, 1999). Ein großer Teil der Bevölkerung, insbesondere die jüngere Generation legt bei der Wahl der Bestattungsart den Schwerpunkt auf die zu veranschlagenden Kosten (die Grabnutzungsgebühren sind bei einem Urnengrab im Durchschnitt um die Hälfte günstiger, als die Gebühren für ein Erdgrab) und die damit verbundene Grabpflege. Doch trotz der seit Jahrzehnten populärer werdenden Feuerbestattung wird auch heute noch der größte Teil

eines Friedhofes für die Erdbestattung benötigt, zudem der Friedhofszwang für das Urnenbegräbnis gelockert wurde.

Finanzielle Belastung

„Bis in die siebziger Jahre wurde das Friedhofswesen nicht als kostenrechnende Einrichtung geführt und die hohen Unterdeckungen wurden durch die Allgemeinheit finanziert“ (Zagar, 2002). Doch dies hat sich geändert, da die allgemeinen Sparmaßnahmen auch den Friedhofsbereich erreicht haben.

In Zeiten eines vielerorts höchst angespannten Grundstückmarktes, sind die Gemeinden zur sparsamen Verwendung von Grund und Boden für alle öffentlichen Aufgaben gezwungen.

Darüber hinaus führt nicht nur die Blockierung von Grabfeldern zwangsläufig zu finanziellen Einbußen, auch der Ausfall von bereits eingeplanten Flächen durch verlängerte Wiederbelegungszeiten: „...Immerhin würde bei einer Umtriebszeit von 20 Jahren die Begräbnisfläche um ein Drittel besser ausgenützt, als bei einer Umtriebszeit von 30 Jahren“ (Steensberg, 1972). Durch ökonomische Zwänge bedingt, wächst die Forderung nach immer kürzeren Umtriebszeiten auf den Grabfeldern, denn „die Nutzungseffizienz definiert sich vornehmlich über die Belegungsintervalle der Gräber“ (Fiedler et al., 2002).

Problematisch erweist sich zudem der Umstand, dass Sanierungs- oder Prophylaxemaßnahmen häufig finanziell aufwendig sind und sich das Resultat erst nach vielen Jahren –und damit meist nicht mehr in der Legislaturperiode der jeweiligen Entscheidungsträger- zeigt.

Unsicherheit bei der Auswahl der Methoden

Von zahlreichen Herstellern werden den Kommunen unterschiedliche Vorschläge und Konzepte zur Sanierung und Prophylaxe der Degradationsproblematik angeboten. Da keine zentrale Landes- oder Bundesverwaltung Lösungen empfiehlt, muss sich jede Gemeinde/ Kommune allein mit der Problematik auseinandersetzen. Hierbei erschweren finanzielle Engpässe der Kommunen und die Ungewissheit über Ausmaß und Ursache der

Problematik, die Planung des weiteren Vorgehens. Mit hoher zeitlicher Belastung muss eine Gemeinde schließlich aus der Fülle der Angebote, das für seinen Friedhof und seine finanziellen Möglichkeiten am besten geeignete Verfahren aussuchen.

Schwierigkeiten mit Arbeitnehmern

Darüber hinaus kann es bei der Durchführung von Sanierungsmaßnahmen zu unvorhergesehenen Problemen mit den Friedhofsarbeitern kommen. Diese sind in der Regel nur den Umgang mit geschlossenen Särgen oder Knochenresten gewohnt. Die Arbeit mit vollständig zu Leichenlipid umgewandelten Leichen, die in ihrer Form und Aussehen häufig gut erhalten sind, kann zu psychischen Belastungen der Arbeiter führen (FAZ, 1997; Ackermann, 2002; Friedl, 2002).

Schwierigkeiten bei der Friedhofsneuanlage

Hat sich eine Verwaltung jedoch zur Neuanlage, bzw. Erweiterung eines Friedhofes entschieden, wird sie feststellen, dass auch diese Lösung nicht unproblematisch ist. Denn viele Friedhöfe, gerade im städtischen Bereich, liegen in unmittelbarer Nähe von Wohngebieten und können daher nicht beliebig erweitert werden. Und Neuanlagen sind sehr teuer und scheitern wiederum häufig an fehlendem Platz.

Hat man sich aber für eine Neuanlage entschieden, so kann unwissentlich ein falscher Standort gewählt werden. Denn die Anforderungen an die erforderlichen Standorte sind häufig unklar, da kein bundeseinheitliches Genehmigungsverfahren für die Neuanlage oder Erweiterung von Friedhöfen existiert (Dietz und Arnold, 1982; Werther, 2002). Es gibt zwar eine Reihe von Vorschlägen von Wissenschaftlern, welche Minimalanforderungen erfüllt werden sollten (Albrecht, 2003a), doch häufig werden nur die nötigsten Vorschriften beachtet. „Eine Eignungsuntersuchung der Erweiterungsfläche wird vielfach als nicht notwendig erachtet oder nur im Minimalverfahren durchgeführt“ (Albrecht, 2002a). Die Folge sind weitere Verwesungsverzögerungen. Daher gilt bis heute die Aussage von Daniels: „Die

Anlegung neuer Begräbnisplätze soll nur aus erheblichen Ursachenstattfinden“ (Daniels et al., 1973).

Mancherorts entwickeln sich daher Tendenzen die bisherigen Gemeindefriedhöfe in neue Zentralfriedhöfe für mehrere Gemeinden umzuwandeln. Allerdings sollte man sich klar machen, dass der Friedhof nicht nur als Ort des Trauerns und der inneren Einkehr dient (Bauer, 1992; Illi, 1992); gerade auch für ältere Menschen hat er oft auch die Funktion einer Begegnungsstätte. Darüber hinaus erhält er, besonders in den Städten, zunehmend die Bedeutung einer öffentlichen Grünanlage bzw. einer Naherholungsstätte, die insbesondere für die Pflanzen- und Tierwelt zum Biotop innerhalb der Stadt geworden ist (Aey, 1990; Sukopp und Wittig, 1998). Insofern ist es nicht einfach, eine Friedhofsneuanlage einfach weiter außerhalb eines Ortes, an einem für die Degradation besser geeigneten Boden anzusiedeln. Daher entscheiden sich die meisten Kommunen/Gemeinden schlussendlich für Sanierungs- bzw. Prophylaxemaßnahmen, statt einer Neuanlage.

2.1.3. Lösungsmöglichkeiten

2.1.3.1. Sanierungskonzepte

Ist es zur Leichenlipidbildung gekommen, stehen zwei Lösungsansätze zur Verfügung: Einmal die Veränderung der vorherrschenden Bedingungen, so dass ein Abbau gelingt, oder wenn dies nicht möglich ist, das Einbringen des Leichenlipids in ein zur Degradation geeigneteres Milieu.

Um entstandenes Leichenlipid wieder einer regulären Zersetzung zuführen zu können, können als Sanierungsmaßnahmen, je nach individueller Ursache, folgende Maßnahmen hilfreich sein:

- Verbesserung der Belüftung
- Veränderung der Bodenzusammensetzung
- Verringerung/ Beseitigung evtl. vorhandener „Wasserbelastung“ des Grabbereichs

Häufig ist jedoch eine Kombination dieser Maßnahmen nötig.

Bei den Belüftungssystemen kann man unterscheiden in:

> nach dem Grundprinzip :

- passive → Gewährleistung des Gasaustausches
- aktive → Erhöhung des Gasaustausches

> nach Art der Anwendung:

- permanente → beispielsweise Diffusionsstäbe
- temporäre Belüftungssysteme → beispielsweise mittels einer Lanze

Zur Bodenverbesserung sind folgende Maßnahmen möglich:

- Austausch des ungeeigneten Bodens durch eine geeignetere Bodenzusammensetzung
- Bodenverbesserung durch Beimischung einer geeigneteren Bodenzusammensetzung
- Bodenverbesserung durch Einbringen von Biokompostern oder Mikroorganismen

Bei den Entwässerungssystemen kann man unterscheiden:

- Drainagesysteme
- Bepflanzungen zur Entwässerung
- Wasserspeichernde Grabbeigaben

Die Anzahl der angebotenen Hilfsmittel und Hilfssystemen ist groß, so dass nur ein grober Überblick über die gängigsten Möglichkeiten gegeben werden kann.

2.1.3.2. Prophylaxekonzepte

Zur Prophylaxe der Leichenlipidbildung können, bei für die Degradation ungünstigen vorliegenden Bedingungen, dieselben Maßnahmen wie bei den Sanierungsvorschlägen angewandt werden. Zusätzlich gibt es noch eine Vielzahl von Allgemeinmaßnahmen, bei deren Beachtung die

Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Leichenlipid verringert wird. Diese werden im Diskussionsteil vorgestellt.

Darüber hinaus existieren technische Lösungen („Grabhilfssysteme“), die sich hinsichtlich ihrer Bauart in

- Grabkammersysteme und
- Grabhüllensysteme

unterscheiden lassen.

Das Grundprinzip dieser Systeme basiert auf einer verbesserten Belüftung. Grabkammer und Grabhülle schaffen kontrollierte Verwesungsbedingungen, beinahe unabhängig von Einflüssen des Bodens und des Wasserstandes, da eine Barriere zur Umgebung geschaffen wird. Die Grabhülle nützt noch den Bodenaushub, während teilweise bei den Grabkammersystemen überhaupt kein Kontakt zum Boden mehr besteht. Ziel der technischen Lösungen soll eine kontrollierte Leichenumsetzung sein, die möglichst eine Verringerung der Ruhefristen zur Folge haben soll.

2.2. Degradationsstörungen

2.2.1. Reguläre Degradation

Nach dem Tod des Menschen beginnen biologische Zersetzungsabläufe, die in der Summe als Degradation bezeichnet werden. Hierbei laufen verschiedene Mechanismen wie Autolyse, Fäulnis und Verwesung ab, die sich von der Ursache her unterscheiden, jedoch zeitlich meist nicht genau voneinander getrennt werden können und in ihrem Ablauf fließend ineinander übergehen (Vass, 2001; Coe, 1974; Berg, 1975; Walcher, 1937; Arbab-Zadeh et al., 1977; Althoff, 1974; Madea, 2003; Strassmann, 1924; Zeidler, 1938). Bei der Autolyse handelt es sich um einen postmortalen enzymatischen Prozess, mit Selbstaflösung der Zellstrukturen, ohne Beteiligung von Mikroorganismen. Die Fäulnis dagegen ist eine bakterielle, anaerobe reduktive Gewebszerstörung mit Entwicklung faulig riechender Gase (vor allem CH_4 , H_2S , N_2 , H_2 , CO_2 und NH_3). Die postmortale Säuerung der Gewebe, Organe und Körperflüssigkeiten tritt rasch nach dem Tode ein und der pH-Wert fällt bis etwa 6,0 um dann während

der Fäulnis durch proteolytischer Vorgänge mit NH_3 - Bildung bis auf pH-Werte um die 10 anzusteigen. Darüber hinaus kommt es, infolge der chemischen Umsetzungen, insbesondere der Eiweißsubstanzen zur Wärmebildung. Zusätzlich imponiert eine Verflüssigung der Weichteile mit Flüssigkeitsansammlungen in den Hohlräumen, so dass nach Ablauf der Fäulnisflüssigkeit über Fäulnisblasen und Körperöffnungen die Leichen massiv Flüssigkeit verlieren.

Die Verwesung ist ein mikrobieller Prozess, mit aerober, vorwiegend oxidativer Leichenzersetzung an den luftzugängigen Hautpartien mit Entwicklung stechend-muffig bis modrig, penetrant riechender Gase. Hierbei ist die aerobe Mitwirkung von Schimmelpilzen häufig von großer Bedeutung. Eine vollständige Zerlegung der Grundbausteine des Körpers, wie Fette, Eiweiße und Kohlenhydrate in einfachste anorganische Verbindungen wird erst in der Verwesungsphase erreicht. „Aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe werden zu kleinen kohlenstoffhaltigen Molekülen bis hin zu CO_2 abgebaut“ (Graw et al., 2002). Die bei der Fäulnis durch die Triglyceridspaltung massenhaft anfallenden langkettigen Fettsäuren werden erst dann durch β -Oxidation abgebaut (Lindlar, 1969; Döring et al., 1976; Bauer und Hirsch; 1949; Holczabek, 1969).

Beim Abbau von Leichen spielt der „Tierfraß“, vor allem bei freiliegenden Leichen in warmen Jahreszeiten eine bedeutende Rolle. Die Artenvielfalt der beteiligten Tiere ist sehr groß und variiert je nach Lagerungsort und Umweltbedingungen (Müller, 1975; Mann et al., 1990; Wirth und Strauch, 2000; Schmidt, 1969; Arbab-Zadeh et al., 1977; Hunger et al., 1993). Unter den Insekten tragen die Fliegenmaden einen Hauptteil an der Weichteilzerstörung, aber auch Ohrwürmer und insbesondere Ameisen und Käfer sind beteiligt. Darüber hinaus können an freiliegenden Leichen auch viele Wirbeltiere, am häufigsten Ratten, Mäuse, Vögel oder größere Wildtiere, Weichteildefekte hinterlassen.

Im Erdgrab mit seiner Grabtiefe von ca. 1,8m herrschen jedoch andere Bedingungen (Bethell und Carver, 1987). Aasfresser gelangen kaum an die

Leiche und das mikrobielle Leben ist deutlich geringer, als an der Erdoberfläche. Aber auch Erdgrableichen können von Tieren abgebaut werden. Es existiert eine so genannte „Friedhofsfauna“, die sehr vielfältig ist und häufig untersucht wurde. Die Besiedlung speziell bei der Leichenlipidbildung ist allerdings deutlich geringer und bisher wenig beforscht. Näheres hierzu im Diskussionsteil.

„Das Fortschreiten der Degradation ist von äußeren Bedingungen (vor allem der Möglichkeit des Gasaustausches, Feuchtigkeit, Temperatur) und inneren Bedingungen, wie Alter, Körperbau, Todesart, Anwesenheit von Medikamenten, beeinflusst“ (Graw et al., 2002). Der Zeitraum bis zur Skelettierung wird, je nach Autor und Lagebedingungen der Leiche, zwischen 3 und 12 Jahren angesetzt (Schmierl, 1982). Im Erdgrab dauert es unter „Normalbedingungen“, d.h. in einem wasserdurchlässigen, durchlüfteten Boden in einer Bestattungstiefe zwischen ein und drei Metern, fünf bis sieben Jahre bis zum Abschluss der Skelettierung (Henssge und Madea, 2003).

Doch nicht immer kommt es zur vollständigen Zersetzung einer Leiche. Beispiele der konservierenden Leichenveränderungen sind die Fettwachsbildung und die Mumifikation, die auch parallel an einem Leichnam gleichzeitig vorkommen können (Mayer et al., 1997; Wirth und Strauch, 2000). Bei der letzteren handelt es sich um eine Leichenerscheinung, die bei kühler und trockener, insbesondere aber luftiger Lagerung auftritt und in der Gerichtsmedizin hauptsächlich bei Erhängten auf zugigen Dachböden oder im Wald vorkommt (Forster und Ropohl, 1987; Arbab-Zadeh et al., 1977; Müller, 1975; Simpson und Knight, 1985). Allerdings wird auch immer wieder von Mumifizierungen in Grabkammern oder Gräften berichtet (Schoenen, 2003b). Eine weitere konservierende Leichenveränderung ist die Moorleiche, bei der es zu einer Entkalkung der Knochen und Gerbung der Haut und schlussendlich zu einer Fixierung mit Erhaltung der Körperform kommt (Hirsch und Schlabow, 1948; Walcher, 1937; Gabriel, 1930). Nicht selten ist auch hier eine Kombination mit einer Fettwachsbildung zu beobachten (Müller, 1975).

2.2.2. Die Leichenlipidbildung

2.2.2.1. Allgemeines

Namensgebung: Erste Erwähnungen dieser Dekompositionsstörung finden sich schon in einem Brief Boyles aus dem Jahr 1661, bzw. bei Collignon 1722 (Döring, 1973; Wieners, 1939; Ipsen, 1910, Den Dooren de Jong, 1961).

Allerdings machten erst die Veröffentlichungen von Fourcroy und Thouret, 1786 das Phänomen bekannt und prägten das unglücklich gewählte Wort Fettwachs (adeps=Fett, cera franz. cire=Wachs, bzw., adipo= fat und cere= wax, daher im Englischen die Bezeichnung Adipocere). Die deutsche Bezeichnung Fettwachs hat sich erhalten, obwohl schon bald erkannt wurde, dass kaum Fette (=Glycerinester höherer Fettsäuren) und Wachse (=Ester zwischen langkettigen Fettsäuren und einwertigen Alkoholen), sondern höhere Fettsäuren (meist mit C-Ketten-Längen zwischen 12 und 20) die chemische Zusammensetzung dominieren. Aus diesem Grunde wird von vielen Autoren eine Umbenennung gefordert und der Begriff Leichenlipid vorgezogen.

Bildungsdauer: Bezüglich der Dauer, welche für eine Leichenlipidbildung benötigt wird, gibt es in der Literatur sehr unterschiedliche Angaben (Arbab-Zadeh et al., 1977; Reh et al., 1977; Schneider et al., 1982; Krause, 2003; Roche Lexikon, 1999). Von manchen Autoren werden sehr lange Fristen von mehreren Jahren angegeben, aber es sind auch Fallbeispiele von wenigen Wochen, beispielsweise 3 ½ Wochen Bildungszeit in moderatem Klima beschrieben (Simpson und Knight, 1985).

Die differierenden Zeitangaben sind durch die unterschiedlichen Einflussfaktoren, wie die vorherrschende Temperatur oder das Umgebungsmilieu (im Wasser oder im Erdgrab), aber auch durch den variierenden Ausprägungsgrad (Yan et al., 2001; Kratter, 1880) der veröffentlichten Leichenlipidbildungen zu erklären. Insbesondere die Temperatur hat einen maßgeblichen Einfluss, denn hohe Temperaturen beschleunigen die Bildungszeit (Smith Fiddes, 1955; Simonsen, 1977; Prokop und Göhler, 1976). Dies kann man sich unter anderem damit erklären, dass

sich chemische Reaktionsgeschwindigkeiten nach der van't Hoff'schen Regel bei Anstieg der Temperatur um 10° Celsius verdoppeln (Kuntze et al., 1994). Gerade im Wasser bei warmen Temperaturen ist daher eine deutlich raschere Bildung schon nach 3-5 Wochen möglich (Lochte, 1910; Simonsen, 1977; Jobba und Földes, 1978). Aber auch das Alter und die Verfassung der Leichen können Einfluss nehmen – so geht man von einer kürzeren Bildungsdauer bei Kindern (Reimann, 1954; Bürger, 1910) und bei Leichenzerstückelung, aufgrund der fehlenden Hautabdeckung an den Abtrennungsstellen (Schneider et al., 1982; Müller, 1961) aus.

Zusammengefasst kann man sagen, dass beim Auffinden von „Adipocire“ in geringer Ausprägung auf eine Lagerungszeit von 3-6 Wochen zu schließen ist, sind ganze Extremitäten bereits in Leichenlipid umgewandelt, muß mit einer Zeitspanne von einigen Monaten (3-6 Monaten) gerechnet werden, für die vollständige Leichenlipidbildung mindestens 1 Jahr (Forster und Ropohl, 1983). Im feuchten Erdgrab gilt eine Mindestliegezeit, bis zum Nachweis von Leichenlipid, von mehreren Monaten (Krause, 2003; Madea, 2003). Sind alle Weichteile in einen über den Knochen locker sitzenden Lipidpanzer umgewandelt (wobei periphere Bereiche meist skelettiert vorliegen), sind Jahre vergangen (Berg, 1975).

Bildungsorte: In der Regel ist nicht der ganze Leichnam von der Leichenlipidbildung betroffen. Im Allgemeinen beschränkt sich die Umwandlung auf das aus den Triglyceriden bestehende Unterhautfettgewebe des Rumpfes; der rumpfnahen Anteile der Extremitäten, sowie des Gesichtes und der weiblichen Brust (Froentjies, 1965; Bohnert et al., 1998). Die Konservierung des bukkalen Fettgewebes ist ebenso als klassisch anzusehen, wie die des Fettgewebes im Becken- und Oberschenkelbereich. Doch das Leichenlipid kommt nicht nur im Subkutangewebe vor, sondern überall dort, wo „Fettgewebe anatomisch im Körper vorkommt“ (Evans, 1962). Auch die inneren Organe sind daher in unterschiedlichem Ausmaß betroffen, vor allem wenn sie reichlich mit Fettgewebe umhüllt oder selbst sehr fettreich sind wie beispielsweise das Knochenmark (Kratte, 1880; Hausbrandt, 1942; Klemp, 1931; Evans, 1963).

Ein weiterer Bildungsmechanismus ist die hydrostatische Fettdurchtränkung der Organe oder das Vorhandensein von massiven intravitalen Fetteinlagerungen an den inneren Organen, wie bei einer steatosis hepatis oder bei der Adipositas cordis (Smith Fiddes, 1955).

Abbau: Hat sich erst einmal „Adipocire“ gebildet, so ist schwer einzuschätzen, in welchem Zeitraum dieses wieder abgebaut wird. Wichtig ist zu verstehen, dass ohne Veränderung des Umgebungsmilieus das Leichenlipid viele Jahrzehnte im Grabe überdauern kann (Abel, 1912). Die Zeitangaben, die man mindestens für erforderlich hält, damit es zur vollständigen Degradation bei Leichenlipidbildung kommt, variieren stark je nach vorherrschenden Lagebedingungen und insbesondere vorherrschendem Gasaustausch (Berg und Döring, 1970; Berg et al., 1969; Rothschild et al., 1996a, Schoenen, 2003a; Harcken, 1952). So gehen viele Wissenschaftler davon aus, dass der Zerfall von Leichenlipid bei Wasserleichen nach 100 oder mehr Jahren und bei Erdgrableichen auch noch später erfolgt (Müller, 1975; Schmierl, 1982). Es gibt sogar Stimmen, die behaupten Adipocire könne unter ungünstigen Bedingungen nie abgebaut werden (Wiigh-Masak, 2003). Konkrete wissenschaftliche Untersuchungen hierzu gibt es jedoch nicht.

2.2.2.2. Entstehung

Ende des 19. bis Anfang des 20. Jahrhunderts beschäftigte sich die gerichtsmmedizinische Literatur intensiv mit der Leichenlipidbildung. Es fand ein reger Austausch zur Natur und Entstehung der „Adipocire“ statt. Die größten Meinungsverschiedenheiten, die sich jahrzehntelang nicht auf eine These bringen ließen, bestanden in der Frage nach dem Mechanismus der Leichenlipidentstehung. Als gegensätzliche Lehrmeinungen standen sich die Theorie der Adiponeogenese, die Kalkseifentheorie und die Fettwanderungstheorie entgegen (Thouret, 1792; Kratter, 1880; Wieners, 1939; Hofman, 1877; Wetherill, 1856; Müller, 1913; Walcher, 1937; Zillner, 1885; Gibbes, 1794; Minovici et al., 1930; Hofmann, 1877; Bohne, 1914; Abel, 1912; Specht, 1937; Bianchini, 1926; Remy, 1926; Ascarelli, 1906; Prokop und

Göhler, 1976; Ermann, 1882; Coester, 1889; Strassmann und Fantl, 1926; Nippe, 1913; Voit, 1888; Nanikawa et al., 1961; Ipsen, 1910; Scheibe, 2002; Okamoto, 1903).

Heute herrscht allerdings weitgehende Einigung über den Ablauf der Leichenlipidbildung: „Bei der Untersuchung von Fettwachsproben unterschiedlicher Herkunft wurde festgestellt, dass der Entstehungsweg im wesentlichen immer gleichartig abläuft“ (Berg und Döring, 1970).

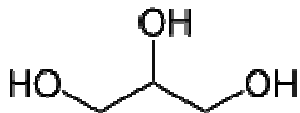
War früher die kausale Beteiligung von Mikroorganismen bei der Bildung von Leichenlipid bezweifelt worden, ist sie heute durch viele überzeugende Experimente bewiesen (Den Dooren de Jong, 1961; Tomita, 1984; Yan et al., 2001).

Die Leichenlipidbildung schließt sich an die autolytische und heterolytische Verflüssigung des Körperfettes an. Dabei spielen Clostridien- und Proteusarten der anaeroben Fäulnisflora eine wesentliche Rolle (Vass, 2001; Pfeiffer et al., 1998). Allerdings gelang in Experimenten die Umwandlung in Leichenlipid auch mit Aerobiern, wie Staphylococcus-Arten oder *Micrococcus luteus* (Takatori et al., 1986). Und auch gram-negative Bakterien konnten für die Adipocire-Bildung verantwortlich gemacht werden (Pfeiffer et al., 1998).

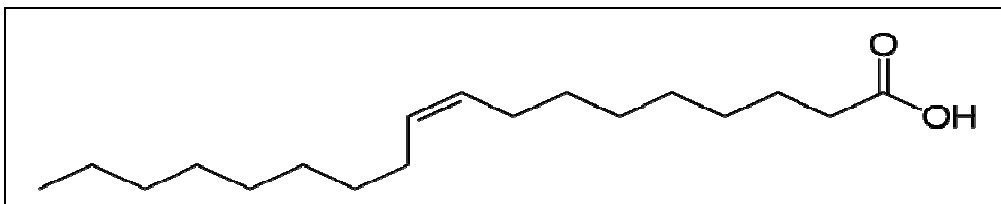
Im Endeffekt stellte sich heraus, dass nicht eine einzelne Bakterienart als Verursacher ausfindig gemacht werden konnte, sondern dass eine Reihe von Gattungen verantwortlich sind: „Versuche mit Bakterien-Reinkulturen ergaben unterschiedlich schnelle Fetttransferierungen, hatten aber grundsätzlich positive Ergebnisse mit ganz unterschiedlichen Bakterien-Spezies“ (Müller, 1975). Dies passt zu den beträchtlichen Unterschieden in der bakteriellen Zusammensetzung natürlicher Leichenlipidproben in der Literatur. Tomita, 1984 erklärte sich die große Varianz der gefundenen Bakterien, mit den Unterschieden in der Darmflora und dadurch hervorgerufenen unterschiedlichen Aktivitäten der bakteriellen Enzyme.

Ablauf der Bildung

Das Depot-, bzw. Speicherfett besteht hauptsächlich aus Triglyceriden (die neuere Bezeichnung lautet: Triacylglycerine). Diese sind aus Glycerin aufgebaut, dessen Hydroxylgruppen mit langkettigen Monocarbonsäuren (= höhere Fettsäuren) verestert sind. Es kommt bei der Degradation zur Hydrolyse der Triglyceride in Glycerin und freie Fettsäuren.

Grafik Nr.1:**Glycerin (C₃H₈O₃):****Monocarbonsäuren:**

Dabei fallen große Mengen von langkettigen Fettsäuren an, die aufgrund der reduktiven Stoffwechsellage infolge des Sauerstoffmangels, nur in begrenztem Umfang durch β -Oxidation der Kohlenstoffketten abgebaut werden können. Die häufigste freie Fettsäure ist die Ölsäure, die etwas mehr als die Hälfte der freiwerdenden Fettsäuremenge ausmacht.

Grafik Nr.2:Ölsäure (18:1)

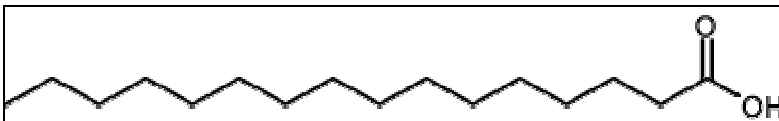
Eine ungesättigte Fettsäure mit 18 C-Atomen und einer cis-Doppelbindung an C9 (C₁₇H₃₃COOH) und einem Schmelzpunkt von 18°C

Hieran schließt sich eine Transformation der ungesättigten zu gesättigten Fettsäuren durch bakterielle Enzyme an (Graw et al., 2002). Wie bereits beschrieben ist hierzu eine Vielzahl von Bakterien in der Lage.

Der Wasserstoff zur Hydrierung der Doppelbindung (Anlagerung von H an die Doppelbindung der ungesättigten Fettsäuren) dürfte am ehesten aus den verschiedenen katabolen Dehydrierungen, z.B. aus der Vergärung von Kohlenhydraten, stammen (Krause, 2003).

Durch β -Oxidation (Kettenverkürzung um 2 C-Atome) und anschließender bakterieller Hydrierung (unter mikrobieller CoA- und NAD-Beteiligung) kommt es zur Umwandlung von Ölsäure zu Palmitinsäure (Smith Fiddes, 1955). Durch die primäre Verkürzung der C-18-Kette der Ölsäure zur C-16-Kette der ungesättigten Palmitoleinsäure, entsteht so durch Hydrierung der Doppelbindung die gesättigten Palmitinsäure mit 16 C-Atomen.

Grafik Nr.3:



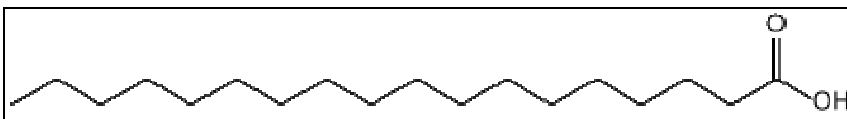
Palmitinsäure (16:0):

Eine gesättigte Fettsäure mit 16 C-Atomen

($C_{15}H_{31}COOH$) und einem Schmelzpunkt von $63^{\circ}C$

Als Zwischenprodukt wird hierbei Stearinsäure frei.

Grafik Nr.4:

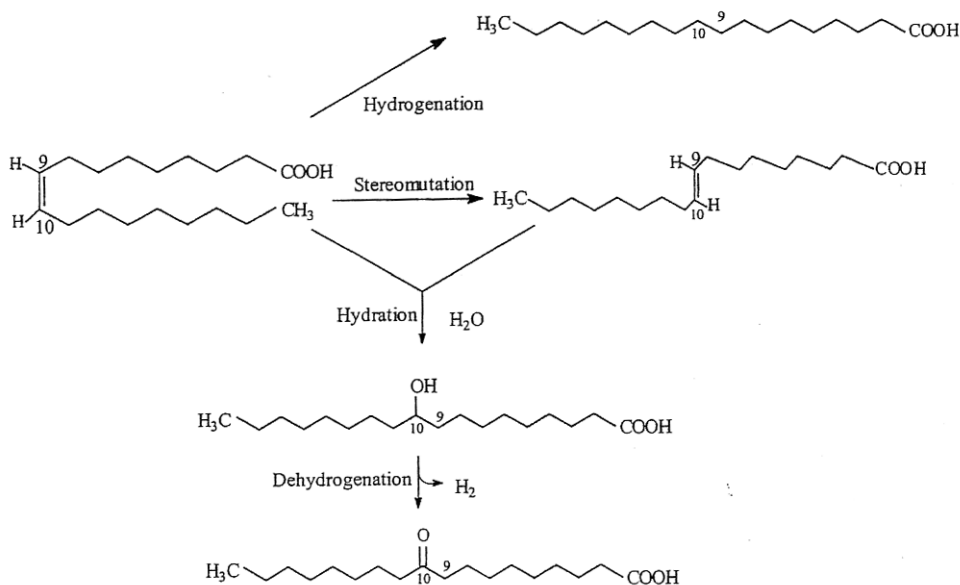


Stearinsäure (18:0):

Eine gesättigte FS mit 18 C-Atomen ($C_{17}H_{35}COOH$) und einem Schmelzpunkt von $70^{\circ}C$

Zwar ist die Ölsäure die Hauptkomponente der initial frei werdenden Fettsäuren, aber zu ca. 10% wird auch Linolsäure ($C_{18}H_{32}O_2$ - ungesättigte Fettsäure mit zwei Doppelbindungen) und in noch geringerem Prozentsatz auch Linolensäure ($C_{18}H_{30}O_2$ - ungesättigte Fettsäure mit drei Doppelbindungen) frei. Auch bei diesen kann es zu Umwandlungen kommen.

An der Ölsäure laufen jedoch noch weitere Reaktionen nebeneinander ab. „Welcher Reaktionsweg in der Leiche zum Tragen kommt, hängt von den Reaktionsbedingungen und vor allem von den vorhandenen Enzymen ab“ (Willmann, 1996). Als Hauptreaktion findet die Hydrierung und β -Oxidation zu Palmitinsäure und daneben in stark wechselndem Ausmaß eine Wasseranlagerung zu 10-Hydroxystearinsäure statt. Die weitgehende Stereospezifität dieser letzteren Reaktion spricht dafür, dass sie durch Bakterienfermente katalysiert wird (Döring, 1973). Die unterschiedlichsten Bakterien sind hierzu in der Lage (Gotouda et al., 1988; Takatori et al., 1987), (Takatori et al., 1986) und auch die Beteiligung von Pilzen wird diskutiert (Rothschild et al., 1996b).



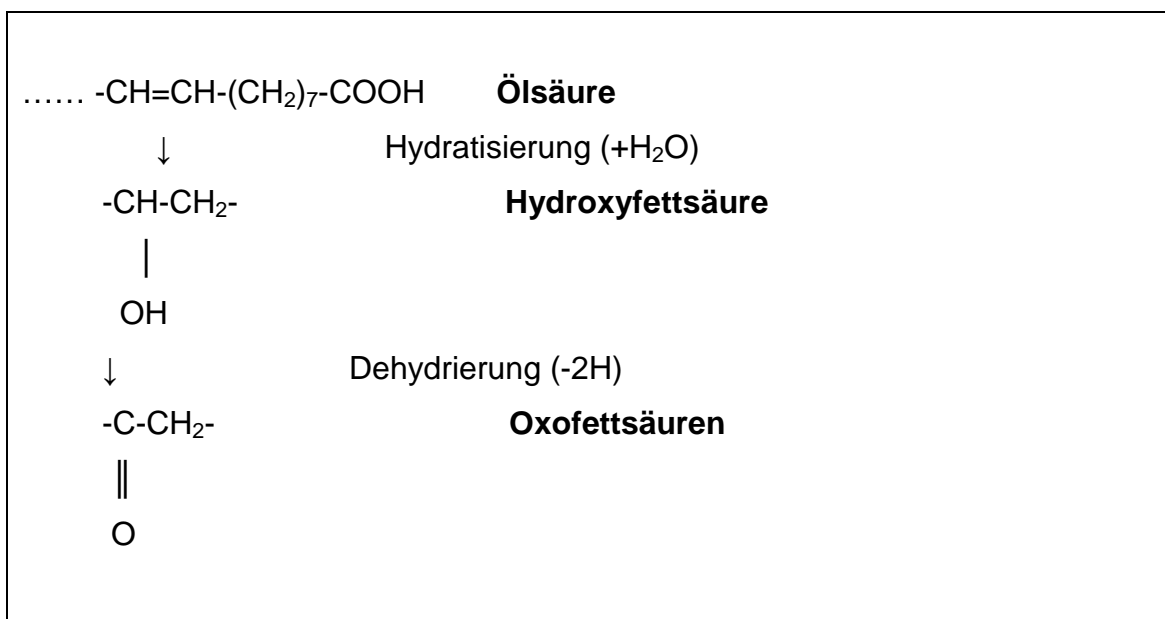
Chemistry of microbial degradation of oleic acid during adipocere formation.

Grafik Nr.5: Darstellung der verschiedenen Reaktionswege von Yan et al., 2001

Gerade dieser **zweite Weg** ist in den letzten Jahren Gegenstand einiger Forschungsarbeiten geworden (Gotouda et al., 1988; Takatori and Yamaoka, 1977a; Takatori and Yamaoka, 1977b; Takatori, 1996).

Hierbei handelt es sich um eine Hydroxylierung (Reaktion zur Einführung einer Hydroxylgruppe) der Ölsäure durch Bakterien. Durch Hydratisierung (also durch Anlagerung von Wassermolekülen) der Doppelbindung entsteht zunächst Hydroxy-Stearinsäure (10-OH 18:0), durch weitere Dehydrierung Oxo-Stearinsäure (10-keto 18:0). Die Hydratisierung erfolgt allerdings ausschließlich bei Fettsäuren, die eine cis-9-Doppelbindung aufweisen (Gotouda et al., 1988). Aus der Palmitoleinsäure gehen so 10-Hydroxy (10-OH 16:0)- und 10-Oxo-Palmitinsäure hervor. Und auch die Linolsäure kann ebenso in Hydroxy-Fettsäuren umgewandelt werden wie der Nachweis von 10-Hydroxy-12-octadecenoic acid zeigt (Takatori, 1996). Allerdings ist an der Linolsäure zu sehen, dass das Vorhandensein einer zweiten Doppelbindung die Dehydrierung und damit die Bildung der oxo-Form verhindert (Wilimann, 1996).

Grafik Nr.6: Eigene Zusammenfassung des Reaktionswegs der Bildung der Hydroxy- und Oxofettsäuren

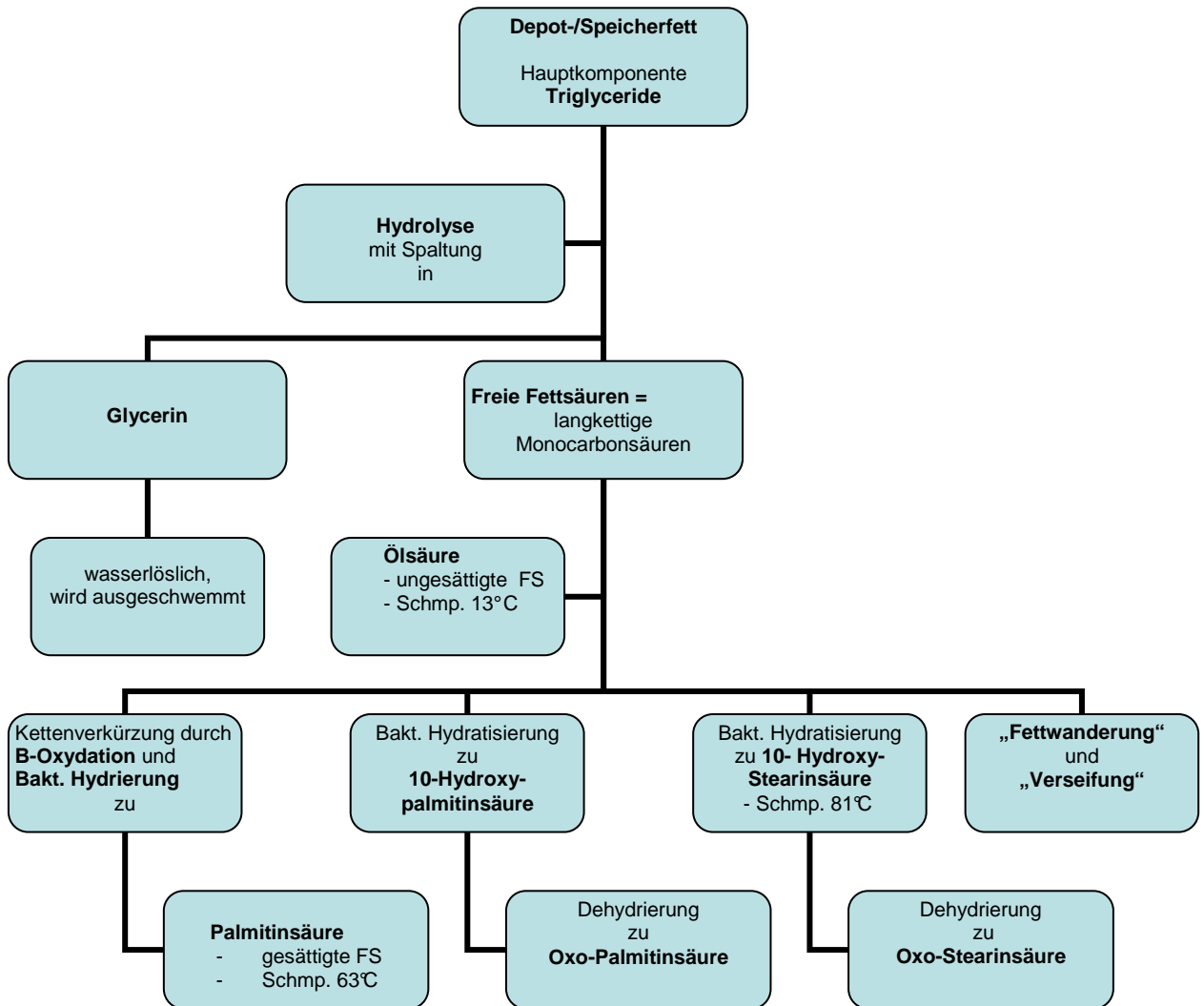


Allgemein kann man sagen, dass aus der Palmitoleinsäure eher die Oxo-Form und aus der Ölsäure eher die Hydroxy-Form hervorgeht. Der größere Anteil an den Hydroxy-Säuren ist die 10-Hydroxystearinsäure.

Doch Tomita fand im Leichenlipid dank besserer Nachweismöglichkeiten nicht nur 10-Hydroxystearinsäure, sondern auch 10-Hydroxymyristinsäure, 10-Hydroxypalmitinsäure und die dazugehörigen Oxo-Fettsäuren (Tomita, 1984). Da manche Fettsäuren in Dimere und Oligomere polymerisieren, identifizierte er noch mehrere Formen von Fettsäure-Oligomere, welche erst im letzten Stadium der Leichenlipidbildung gebildet werden. Im Laufe der Jahre kamen hierzu noch weitere, jedoch noch seltenere Hydroxy- und Oxofettsäuren hinzu, die nun ebenfalls nachgewiesen werden konnten (Takatori, 2001; Takatori and Yamaoka, 1979).

Diese umgewandelten Hydroxy und Oxy-Fettsäuren besitzen einen höheren Schmelzpunkt und spielen eine wichtige Rolle in der Bildung und Stabilisierung des Leichenlipids.

Grafik Nr.7: Eigene Zusammenfassung der verschiedenen Reaktionswege bei der Leichenlipidbildung



In einigen Regionen können benachbarte Haut- und Muskelpartien zum Teil von der Leichenlipidbildung einbezogen sein. Voraussetzung dazu ist offenbar eine hydrostatische Fettdurchtränkung dieser Gewebe während der fäulnisbedingten Fettverflüssigung, die so genannte „Fettwanderung“. Dies erklärt das Auftreten von Leichenlipid an „untypischen“ Stellen. Auch in den Körperhöhlen kann es so zu „Fettwachsplatten“, bzw. –Klumpen kommen. Es kann sogar außerhalb der

Leiche zur Leichenlipidbildung kommen, beispielsweise auf dem Sargboden oder in der umgebenden Erde (Berg, 1975).

Darüber hinaus tritt in geringem Ausmaß eine Verseifung auf (Döring, 1973; Müller, 1975; Bohnert et al., 1998; Takatori, 1996). Von außen eingeschwemmte, anorganische Ionen (Calcium, Magnesium, Natrium) können mit einem Teil der Fettsäuren, bevorzugt mit den Hydroxyfettsäuren wasserlösliche Seifen bilden (Nanikawa et al., 1961). Die Bildung scheint milieuhängig zu sein, da insbesondere bei Wasserleichen ein hoher Anteil an Calciumseifen zu beobachten ist (Döring, 1973).

Stabilisierung des Leichenlipids:

Die Leichenlipidbildung kann als Konkurrenzvorgang zur Fäulnis gesehen werden. Ist die Fäulnis beispielsweise durch bestimmte Umgebungsvariablen gestört, kommt es damit nicht in dem Maße zu den ansonsten auftretenden Temperatur- und pH-Erhöhungen. Das letztere führt wiederum zu einer geringeren Dissoziation der Fettsäuren und damit durch die undissoziierten Fettsäuren, die bakteriozid wirken, wiederum zu einer Fäulnishemmung (Rothschild et al., 1996a).

Die Leichenlipidbildung aus Körperfett stellt eine Art der Stabilisierung der Fette dar, im Sinne einer Verschiebung zu den gesättigten und somit biochemisch stabileren Fettsäuren. Die gebildeten Fettsäuren haben damit ein anderes Reaktionsverhalten und insbesondere einen höheren Schmelzpunkt, welcher den Abbau erschwert. Während Ölsäure einen relativ niedrigen Schmelzpunkt von 13°-16° Grad Celsius aufweist, liegen die von Palmitinsäure mit ca. 63° Grad und die von 10-Hydroxy-Stearinsäure mit ca. 81° Grad Celsius deutlich höher. Selbstverständlich liegen die Fettsäuren nicht rein vor, sondern sind miteinander gelöst, der reelle Schmelzpunkt ergibt sich somit aus der Zusammensetzung des Fettsäuregemisches. „Bei den üblichen Umgebungstemperaturen (im Grab unter 18 Grad Celsius) kristallisieren die Fettsäuren aus und es tritt eine „Fetthärtung“ ein“ (Graw, 2002). Das Körperfett wird gehärtet (analog zur Margarineherstellung aus pflanzlichen Ölen), während

die anderen Weichteilgewebe verlaufen. Gerade bei niedrigeren Temperaturen im Grab und bei fehlender Temperaturerhöhung durch einen gestörten Fäulnisvorgang, kann so noch eine Hydrierung und β -Oxidation der ungesättigten Ölsäure in die gesättigte Palmitinsäure erfolgen, ein weiterer Abbau findet anschließend nur noch erschwert statt. Insbesondere da der Lipidpanzer nur aerob abgebaut werden kann und da durch das Auskristallisieren der gesättigten Fettsäuren ein weiteres Abbauehemmnis besteht.

2.2.2.3. Zusammensetzung

Viele Forscher beschäftigten sich früh mit der Zusammensetzung des Leichenlipids und halfen so allmählich alle Komponenten aufzudecken (Berg und Döring, 1969; Inoue et al., 1996; Bürger, 1910; Goy und Wende, 1922; Döring, 1973; Remy 1926; Specht, 1937; Goy, 1927; Gregory, 1847; Graf und Preuß, 1969, Forbes et al., 2004; Ludwig, 1860; Bal et al. 1989).

Makroskopisch

Die in „Adipocire“ umgewandelten Weichteile werden sehr treffend als „grauweiße weiche pastenartige, später panzerartige feste und beständige Masse“ beschrieben (Graw und Fiedler, 2002). Die Farbe variiert ein wenig da es zur Einlagerung von Pigmenten kommen kann (Evans, 1963). Nach Austrocknen an der Luft geht das Leichenlipid in eine gipsähnliche oder mörtelartige harte Substanz über, daher der Begriff der so genannten Gipsleiche (Roche Lexikon, 1999). Die Verfestigung kann so einen hohen Grad erreichen, dass die Sektion nur mit Hilfe von Hammer und Meißel möglich ist (Prokop und Göhler, 1976; Arbab-Zadeh et al. ,1977). „Die Stabilität des Leichenlipids führt dazu, dass „ein viele Jahre ausgehärteter Fettwachstorso wie eine Puppe aufgestellt werden kann“ (Krause, 2003), bei der der Umriss der Glieder häufig gut erkennbar ist (Thouret, 1792). Diese Beobachtungen führten zu dem häufig gebrauchten Begriff des „Fettpanzers“.

Verhalten

Der anfänglich ranzig-käsige, modrige Geruch wird hauptsächlich durch Ketone und Aldehyde aus dem Lipidabbau hervorgerufen, wobei zeitweise Buttersäure dominiert. Gerade der in den ersten Stadien der „Adipocire“-Bildung produzierte charakteristische Geruch kann von Leichenhunden bemerkt werden (Forbes et al., 2004). In einem sehr späten Stadium ist das Leichenlipid beinahe geruchlos. Der Schmelzpunkt des Leichenlipids beträgt zwischen 50 und 70 Grad Celsius (Harcken, 1952; Arab-Zadeh et al., 1977).

Mikroskopisch

Auf die Ausführungen der mikroskopischen Darstellung des Leichenlipids gehe ich nicht Näher ein und verweise auf Übersichtsarbeiten von Kratter (1880), Walcher (1937) und Ascarelli (1906).

Chemische Zusammensetzung

Die Entstehung des ausgeprägten Leichenlipids ist immer mit einer Verminderung des Anteils der flüssigen Ölsäure zugunsten der festen Palmitinsäure verbunden. Das Verhältnis der gesättigten zu den ungesättigten Fettsäuren kann sich bei der Leichenlipidbildung gegenüber dem normalen Wert je nach der Liegezeit der Leiche erheblich erhöhen. Die eher niedermolekularen Bestandteile der „Adipocire“ werden im Wasser ausgewaschen, verdampfen an der Luft oder werden von der Fäulnisflora verstoffwechselt. Übrig bleibt ein Gemisch freier langkettiger Fettsäuren, sowie deren Kalzium-, Magnesium- und Ammoniaksalzen. Hierbei bildet die Palmitinsäure die Hauptkomponente mit geringer Beteiligung von Stearin-Myristin- und Ölsäure.

Die Stearinsäure tritt im Wesentlichen als Zwischenprodukt auf, daher schwankt ihr Anteil an der Zusammensetzung je nach Proben (Berg und Döring, 1969). Ebenso variiert der Anteil der Seifen in den verschiedenen Untersuchungen (Müller, 1975; Madea, 2003; Nanikawa, 1973; Graf und Preuß, 1969), daher

werden Seifen nicht als fester Bestandteil der Adipocire gesehen (Takatori und Yamaoka, 1977a).

Der Gehalt an Hydroxy- und Oxofettsäuren variiert ebenfalls je nach Proben sehr stark (Takatori, 2001; Adachi et al., 1997). So konnte Hydroxystearinsäure von manchen Wissenschaftlern überhaupt nicht nachgewiesen werden (Berg und Döring, 1969). In anderen Proben zeigte sich, dass bis zu 20% der Adipocire aus Hydroxyfettsäuren stammen kann (Takatori and Yamaoka, 1977a), der Anteil der Oxofettsäuren allerdings meistens deutlich geringer liegt (Takatori and Yamaoka, 1977a). Gelegentlich wurde auch Cholesterin in den Proben gemessen (Graf und Preuß, 1969; Berg und Döring, 1969).

Tabelle NR.1: Eigene Zusammenfassung der Zusammensetzung der „Adipocire“, aus den zum Teil variierenden Literaturangaben, im Vergleich zum Anteil der Fettsäuren im menschlichen Fettgewebe

Fettsäure	% in menschlichem Fettgewebe	% in Adipocire
Ölsäure	45	10-30
Stearinsäure	7,5	7-9
Palmitinsäure	25	50-60
Linolsäure	9	1
Myristin	3	5-7
Hydroxy-Fettsäure	-	3-15

Die Abweichungen in den Ergebnissen der chemischen Untersuchungen der verschiedenen Autoren dürften zum Teil auf die Altersunterschiede der Leichenlipidproben, zum Teil aber auch auf die vielfachen äußeren Einflussmöglichkeiten, denen eine Leiche ausgesetzt ist zurückzuführen sein (Takatori und Yamaoka, 1977a). Gerade die Bodenbedingungen (feuchtes oder trockenes Milieu) haben auf die Zusammensetzung einen großen Einfluss (Forbes et al. ,2002). Nicht zu vergessen die unterschiedlichen Meßmethoden, die ebenfalls zu Abweichungen führen können (Cabirol et al., 1998; Bauer und Hirsch, 1949).

2.2.2.4. Ursachen

Zusammenfassend kann man sagen, dass alle Bedingungen, die auch die Degradation hemmen, zu einer Umwandlung in „Adipocire“ führen können. Konkret für die Leichenlipidbildung macht die Mehrzahl der Autoren ein anaerobes Milieu verantwortlich (Rothschild et al., 1996a; Froentjes, 1965; Mant und Furbank, 1957; Pfeiffer et al., 1998; Prokop und Göhler, 1976; Schraps 1970). Dies zeigen viele Fallbeispiele und Experimente vom Auftreten von Leichenlipid bei Lagerung unter Luftabschluss, etwa bei Umhüllungen mit Plastiktüten (Madea, 1993), oder bei dichter Lagerung im Erdgrab oder anderen Zuständen, die zu einer Sauerstoffminderung führen. Dies begründet sich darauf, dass für den Abbau von Fettsäuren immer Sauerstoff benötigt wird. Allerdings sind auch Fälle von „Adipocire“ in sauerstoffreicher Umgebung beschrieben (Müller, 1914), was deutlich macht, dass es nicht reicht, dass genügend Sauerstoff vorhanden ist, sondern, dass dieser auch zirkulieren kann. Zusätzlich begünstigt ein feuchtes Milieu, wie bei den Wasserleichen oder in Erdgräbern mit temporärem Wasserstand (Simpson and Knight, 1985; Müller, 1913; Forster, 1986; Adachi et al., 1997) die Leichenlipidbildung. Allerdings weiß man, da der menschliche Körper aus ca. 50% Wasser besteht, dass von der Leiche selber genügend Flüssigkeit zur Verfügung steht; insbesondere wenn diese nicht abfließen kann (Mant and Furbank, 1957; Evans, 1963; Janaway, 1987), so dass auch eine Leichenlipidbildung im trockenen Milieu möglich ist (Evans, 1963).

Darüber hinaus spielen Bodeneigenschaften (Fiedler, 2004; Keller, 1966; Schraps, 1970; Lautenschläger, 1936; Wourtsakis, 2003; Horn und Fleige, 2000; Horn, 2002), der pH-Wert (Müller, 1975; Lorke und Schmidt, 1952; Harcken, 1952), sowie die Umgebungstemperatur (Graw und Fiedler, 2002; Mellen et al., 1993; Weitzel, 2005; Hunger und Leopold, 1978; Schützenmeister, 1972), „bakterielle Fehlbesiedlungen“ (Pfeiffer et al., 1998; Forbes et al., 2002) und leichenspezifische Eigenschaften (Evans, 1963; Froentjes, 1965) eine Rolle.

Speziell bei der Beisetzung im Erdgrab kommen als Ursachen zusätzlich noch die Bestattungstiefe (Büchi und Wilimann, 2002; Mann et al., 1990), die Nutzungshäufigkeit der Grabstelle (Schmierl, 1982; Berg 1962), das Sargmaterial (Müller, 1913) und die Art der Friedhofsnutzung (Grenzius, 1986; Fiedler und Graw, 2002; Albrecht, 2002a) in Frage.

Wichtig bei der Ursachenforschung im einzelnen Fall, ist auch das vorherrschende Mikroklima. Mit diesem Begriff sind lokale Leichenumgebungsfaktoren, wie Zugluft oder die Nähe einer Wärmequelle gemeint. Diese können entscheidend für die unterschiedliche Verwesungsschnelligkeit, bzw. das vereinzelt Auftreten von Leichenlipid, benachbarter Leichen, bei anscheinend gleichen äußerlichen Bedingungen, sein.

Anhand den oben aufgeführten Ursachen für die Leichenlipidbildung wird deutlich, dass es sich um ein mehrschichtiges Problem handelt, bei dem die einzelnen Faktoren in sehr komplexer Art und Weise zusammenhängen und nur schwer voneinander zu trennen sind.

2.3. Rechtsmedizinische Fragen im Kontext mit dem Leichenlipid

Doch die Umwandlung einer Leiche in „Adipocire“ hat nicht nur problematische und negative Auswirkungen. Von gerichtsmedizinischer Seite kann sie durchaus positiv genutzt werden. So liegt „die forensische Bedeutung des Fettwachses in der Möglichkeit, später noch Todesursache, Todesart, Lagerungsdauer zu erkennen, sowie eine Identifizierung vornehmen zu können“ (Forster und Ropohl, 1983).

In besonders ausgeprägten Fällen der Leichenlipidbildung, insbesondere bei Erhalt der Gesichtszüge, kann es dazu kommen, dass auch viele Jahre nach dem Tod eine Identifizierung gelingt (Bürger, 1910; Abel, 1912; Thouret, 1792; Ermann, 1984; Zugibe et al., 1987; Mant, 1987; Schneider et al., 1982; Vass, 2001; Vass et al., 1992; Okamoto, 1903; Hunger und Leopold, 1978). Eine weitere Möglichkeit zur Identifizierung sind DNA-Präparationen in Bereichen

des Fettwachses. Gerade Zähne und Knochen von Fettwachsleichen stellen ein aussichtsreiches Substrat für die DNA-Gewinnung dar (Krause, 2003).

Darüber hinaus liegt häufig aufgrund der Leichenlipid- Konservierung eine gute Erhaltung der äußeren Form vor. Kriminalistisch ist dies bedeutungsvoll, da Verletzungen der Körperumhüllungen und teilweise auch die Organbeschaffenheit sichtbar bleiben. Wunden, Strangmarken, Schwangerschaften, Geschosse oder Ähnliches können daher einfacher diagnostiziert werden, so dass die Bestimmung der Todesursache erleichtert ist. Gerade Gewaltanwendungen, aber auch Erkrankungen können so nach Jahren noch nachgewiesen werden (Walcher, 1937; Prokop und Göhler, 1976; Wieners, 1939; Goy und Wende, 1922; Raestrup, 1926; Kobayashi et al., 1999; Sigrist et al., 1982; Schumann et al., 1995; Petersohn, 1927; Bürger, 1910; Hausbrandt, 1942; Krauland, 1943; Arab-Zadeh et al, 1977).

Ebenso gelingt immer wieder der Nachweis von Medikamenten, Giften, Schwermetallen oder Drogen in Leichenlipidproben, sogar nach mehreren Jahren Liegezeit (Sticht et al., 1981; Grellner, 1998; Inoue et al., 1996).

Unter Berücksichtigung der Bildungsbedingungen (Umgebungsmilieu, Temperatur, etc.), kann die Ausdehnung der Leichenwachsbildung, Aufschlüsse über die Leichenliegezeit liefern. Dies spielt in der Gerichtsmedizin hauptsächlich bei Wasserleichen eine Rolle. Auch anhand der chemischen Zusammensetzung oder anderen Merkmalen des Leichenlipids, haben viele Forscher versucht, Aussagen über die Liegezeit treffen zu können (Döring, 1973; Döring, 1975; Hunger und Leopold, 1978; Berg, 1962; Rothschild et al., 1996a; Berg und Specht, 1958; Hermann, 1981; Szathmary et al., 1985; Berg, 1950; Daldrup, 1979; Lindlar, 1969; Schleyer, 1957; Gostomzyk und Frei, 1969; Joachim und Berg, 1973; Adachi et al., 1997; Forbes et al., 2002; Forbes et al., 2004).

3. Material und Methode

3.1. Einführung

Untersucht wurden unterschiedliche Hilfsmittel auf einem Friedhof im mittleren Schwarzwald, sowie eine Grabkammer der Firma Ackermann, die Grabhülle der Firma Weihe und das Redoxverfahren der Firma Keller.

Alle Verfahren wurden auf ihre Eignung zur Prophylaxe und/oder zur Sanierung im Kontext mit der Bildung von Leichenlipid geprüft. Darüber hinaus wurden verschiedene Untersuchungen zum Einfluss der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit auf die „Adipocirebildung“ durchgeführt.

3.2. Untersuchungsfeld Modellfriedhof

Auf dem Versuchsfeld des Friedhofes wurden Daten darüber gesammelt, welche Hilfsmittel, bzw. welche Kombinationen von Hilfsmitteln zu einer Sanierung oder Prophylaxe des Leichenlipids führen könnten. Die verschiedenen Versuchsvarianten beinhalten verschiedene Belüftungsarten und/oder die Zugabe von Bodenhilfsstoffen. Erprobt wurden, bis auf wenige Ausnahmen, marktgängige Systeme. Die Versuche basierten auf der Überlegung die Bodenbeschaffenheit zu optimieren, mit dem Schwerpunkt auf der Verbesserung der Bodenbelüftung.

3.2.1. Beschreibung des Friedhofs

Die Untersuchungen fanden auf dem seit 1971 bestehenden Friedhof statt, mit 110-130 Beerdigungen im Jahr. Die dortigen Ruhezeiten betragen 25 Jahre. Auch diesem Friedhof wurde durch ein Gutachten seine unbedenkliche Nutzung als Bestattungsfläche bescheinigt.

Nach Ablauf der Ruhefristen wurden im Jahr 2000 zwei Reihengrabfelder ($\approx 600 \text{ m}^2 \approx 176$ Gräber) eingeebnet um sie neu zu belegen. Als allerdings mit der Neubelegung begonnen werden sollte, stellte sich heraus, dass die Leichenverwesung teilweise nur unvollständig vonstattengegangen war, denn ein großer Anteil der Leichen wies eine Leichenlipidbildung auf.

Näheres zum Friedhof

Der Friedhof entspricht vom Biotopcharakter dem eines Waldfriedhofes mit einem Baumbestand eines einheimischen Waldes oder eines Forstes.

Das Friedhofsgelände ist schwach nach Süden geneigt. Die Durchschnittstemperaturen betragen 7 Grad Celsius, bei einer durchschnittlichen jährlichen Niederschlagsmenge von 1140 mm a⁻¹. Damit zeichnet sich die Gegend durch, im Vergleich zu anderen Standorten in Baden-Württemberg, eher niedrigere Durchschnittstemperaturen und relativ hohe Niederschlagsmengen aus. Auf der Anlage kommt es zu Quellaustritten. Eine Grundwasserbeeinflussung existiert auf diesem Friedhof jedoch nicht.

Näheres zum Grabfeld

Zur Bodenbeprobung und zum anschließenden Versuchsaufbau wurde das Grabfeld B ausgewählt. Dieses Reihengrabfeld wurde im Jahr 1974 das erste Mal belegt und im Frühjahr 2001 nach Ablauf der Ruhefristen von 25 Jahren eingeebnet.

Vegetation rund um das Grabfeld

Die linke Seite des Grabfeldes mündet an ein weiteres Grabfeld und ist daher unbepflanzt. Lediglich unten links in der Ecke steht eine Thuja. Am oberen Rand grenzt das Feld an eine Baumreihe bestehend aus Weißbuchen, Kiefern, Haselnuss, Bergahorn und Fichten, die sich an der rechten Seitenbegrenzung fortsetzen. Der untere Rand grenzt an einen Plattenweg. Das Grabfeld selber ist mit Rasen bepflanzt, es zeigt Hanglage und neigt sich um etwa 10 Grad. Die unterste Grabreihe am Weg steht damit tiefer, als die oberste Reihe.

Über die frühere Bepflanzung der Gräber selber ist leider nichts mehr bekannt.

Bodeneinteilung

Die bodenkundlichen Untersuchungen des Reihengrabfeldes wurden vom Institut für Bodenkunde und Standortslehre der Universität Hohenheim durchgeführt.

„Ausgangsgestein der Bodenentwicklung bilden periglaziale Schuttdecken aus oberem Bundsandstein. Unterhalb jüngerer pleistozäner, in der Regel lockerer Schuttdecken (Ober-/Hauptlage) folgt eine dichte Solifluktuionsdecke aus Buntsandgestein (Basislage) über anstehendem Buntsandgestein. Diese Stratigraphie sowie hohe Niederschlagsmengen (1140 mm a^{-1}) und geringe Evapotranspiration (400-450 mm) beeinflussen den Luft- und Wassergehalt. Sowohl der anstehende Buntsandstein als auch die Basislage fungieren als Staukörper und lassen sowohl pseudovergleyte Braunerde, Braunerde-Pseudogleye, als auch Pseudogleye entstehen“ (Fiedler et al., 2002).

„Die Eigenschaften der Braunerde variieren sehr stark. Pseudogleye gehört zu den Stauwasserböden. Sie sind grundwasserferne Böden und sind temporär luftarm“ (Scheffer und Schachtschabel, 2002). „Eine Zersetzung der organischen Substanz erfolgt in Pseudogleye relativ langsam, da während der Nassphasen infolge Luftmangels das Bodenleben stark eingeschränkt ist“ (Kuntze et al, 1994). Daraus kann man schlussfolgern, dass diese Böden nur bedingt für Erdbegräbnisplätze geeignet sind (Schrap, 1970).

Zu dieser Einschätzung, der auf dem Reihengrabfeld vorliegenden Bodenzusammensetzung, kommt auch das bodenkundliche Gutachten unserer Arbeitsgruppe: „Einerseits bietet die Oberlage gute Voraussetzungen für eine zügige Dekomposition, andererseits lässt der Stauwassereinfluss eine gehemmte Dekomposition erwarten“ (Fiedler et al., 2002).

3.2.2. Referenzgräber

Um einen Ausgangswert protokollieren zu können wurden zwei Gräber auf dem Grabfeld eröffnet, die beide eine ausgesprochene Fettwachsbildung zeigten. Daraus wurde abgeleitet, dass in den anderen Gräbern ein ähnlicher Verwesungszustand herrschen würde.

Bei den in den untersuchten Gräbern beerdigten Personen handelt es sich um eine 71-jährige Frau (Grab 1) und um einen 70-jährigen Mann (Grab 2). Beide wiesen eine Adipocire-Bildung im Bereich des Rumpfes auf, wirkten von der Statur jedoch nicht korpulent. Die Leichname waren in Kleidern mit Kunstfaseranteil und in Fichtenholzsärgen mit Sägespänen auf dem Sargboden

beigesetzt worden. Die Oberkante des Sarges aus Grab 1 befand sich in 110 cm Tiefe, bei Grab 2 in 90 cm Tiefe.

Die Bepflanzung des einen Referenzgrabes am westlichen Rand gestaltete sich mit *Tsuga canadensis* und *Codoneaster dammeri*, die restlichen Seiten waren nicht bepflanzt. Das andere Referenzgrab stand frei. Die Bodenuntersuchungen der Referenzgräber ergaben als Bodenart sandigen Lehm bis lehmigen Sand. Der Anteil an Feinsand überwog, der volumetrische Wassergehalt war mit 30-53% hoch.

Ursache der Leichenlipidbildung

Durch die Auswertung der Bodenuntersuchungen der zwei Gräber ergaben sich mehrere ursächliche Faktoren der Leichenlipidbildung in diesem Reihengrabfeld. Vor allem der eingeschränkte Lufthaushalt spielte eine Rolle. Die reduzierten Diffusionsbedingungen werden durch hohe Wassergehalte (Quellaustritte sowie Staueinflüsse) und die durch Horizonte mit feinkörnigerer Bodenart vorhandene Diffusionsbarriere oberhalb des Sarges verursacht. Auch das Gefüge (Kohärentgefüge) unterstützt einen geringen Luftaustausch. Auffallend war der niedrige pH-Wert (pH- Milieu bis zu einer pH-Einheit saurer in den zwei Gräbern mit Leichenlipid, als in einem Grab ohne Leichenlipidbildung auf selbigem Friedhof). Ob dieser jedoch Folge der Leichenlipidbildung oder Ursache sein könnte, lässt sich anhand der Daten nicht sagen. „Zu der in der Literatur beschriebenen Alkalisierung des Grabhorizontes war es nicht gekommen“ (Schneckenberger, 2002).

3.2.3. Beschreibung der Verfahren zur Sanierung

Die verwendeten Systeme sind zum größten Teil eine Auswahl der gängigeren Verfahren, die in der Vergangenheit in der Fachpresse beschrieben wurden und die auch von verschiedenen Friedhofsträgern eingesetzt werden. Allerdings wurden die Verfahren teilweise miteinander kombiniert. Ausnahme ist die Pilzkultur, die eigens für den Versuch angefertigt wurde.

Nach Abräumen der Gräber und Einebnung der Fläche des Reihengrabfeldes B wurden über die Fläche verteilt acht Versuchsvarianten eingebaut.

Um möglichst zuverlässige Daten zu erhalten, wurden alle Versuchsvarianten fünfmal angelegt.

Tabelle Nr.2: Es wurden folgende Versuchsreihen installiert:

Versuch 1	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Zwei Einstiche je Grab ➤ Blähton einblasen ➤ Die stehende Säule mit dem Blähton füllen
Versuch 2	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Zwei Einstiche je Grab ➤ Blähton einblasen ➤ Die stehende Säule mit dem Blähton füllen ➤ Zusätzlich Bodenhilfsstoff der Fa. Neudorff einbringen
Versuch 3	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Zwei Einstiche je Grab ➤ Blähton einblasen ➤ Die stehende Säule mit dem Blähton füllen ➤ Zusätzlich Bodenhilfsstoff der Fa. Bio Terra einbringen
Versuch 4	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Zwei Einstiche je Grab ➤ Blähton einblasen ➤ Die stehende Säule mit Pilzkultur geimpftem Rindenmulch füllen
Versuch 5	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Drei Einstiche je Grab ➤ Blähton einblasen ➤ Die zwei äußeren Einstiche mit Blähton füllen ➤ In der Mitte verbleibt ein eingebrachtes Rohr mit Anschluss für eine häufigere aktive Belüftung
Versuch 6	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Einbau von zwei Belüftungsrohren ➤ Ohne Bodenaufbruch
Versuch 7	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Einbau von zwei Belüftungsrohren ➤ Mit Bodenaufbruch ➤ Einblasen von Blähton
Versuch 8	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Einbau von zwei Diffusionsstäben der Firma. Gefa Fabritz GmbH

Die einzelnen Gräber wurden mit Hilfe des Gauss-Krüger-Systems eingemessen. Die zwei Einstiche erfolgten mit einer Druckluft-Lanze immer jeweils 50 cm von den jeweiligen Sargenden entfernt um eine bessere Verteilung zu gewährleisten, in der Tiefe möglichst bis auf den Sargboden. Zusätzlich erhielt jedes Grab zur Gasprobengewinnung noch ein zentrales Rohr mit verschließbarem Aufsatz.

In den Versuchen 1 bis 5 wurde in die zwei Einstiche jeweils Blähton eingeblasen, was zusätzlich zu einer Bodenlockerung führen sollte, anschließend wurde die daraus entstehende Säule mit Blähton gefüllt. Vor der Füllung wurde je nach Versuch noch ein zusätzlicher Hilfsstoff in die Säule hinein gegeben.

Im Versuch 6 und 8 wurde kein Bodenaufbruch durch Einblasen durchgeführt. Die Belüftungsrohre aus den Versuchen 5,6 und 7 hatten einen Gasanschluss an ihrem oberen Ende, in welchen im Rahmen des Versuchs 5 auch aktiv Sauerstoff mittels Druckluft insuffliert werden konnte. An ihren unteren Enden, also ab dem Sargboden, waren sie ca 50 cm lang perforiert, um einen Gasaustausch zu ermöglichen. Dies entsprach auch dem Aufbau der Probenentnahmerohre.

Durch das Losverfahren wurde den verschiedenen Gräbern eine Versuchsvariante zugeordnet:

Versuch 1: 1B, 2H, 3F, 4E, 5B

Versuch 2: 1H, 2C, 3E, 4G, 5C

Versuch 3: 1D, 2D, 3H, 4C, 5G

Versuch 4: 1F, 2E, 3C, 4F, 5A

Versuch 5: 1A, 2G, 3B, 4A, 5H

Versuch 6: 1E, 2F, 3G, 4B, 5E

Versuch 7: 1G, 2A, 3D, 4H, 5F

Versuch 8: 1C, 2B, 3A, 4D, 5D

3.2.4. Näheres zu den einzelnen Komponenten

> Liapor Blähton

Das ist ein keramisches, rein mineralisches Substrat aus Blähton (Durchmesser 4-8 mm, rund), welches für Hydrokulturen entworfen wurde, um zu drainieren und den Gasaustausch an den Wurzel zu fördern.

> Bodenhilfsstoff der Firma Neudorff (Radivit-Universal-Komposter)

Der Radivit-Universal-Komposter der Firma Neudorff enthält Kompostbakterien und Pilzkulturen. Er besteht aus etwa 9% organischem Stickstoff, wobei etwa 20% davon sofort frei gesetzt werden, die restlichen 80% werden nach 6-8 Wochen mobilisiert. Zusätzlich sind verschiedene Bacillus Spezies (10^7 Keime/g) enthalten, die speziell auf ihre Eigenschaft zur Eiweiß- und Fetthydrolyse selektiert wurden (Neudorff, 2002).

> Bodenhilfsstoff der Firma Bio Terra

Hier wurde der Naturdünger Maltaflor von der Firma Bio Terra verwendet. Er ist frei von tierischen Bestandteilen und besteht zu über 90% aus pflanzlichen Stoffen die der Nahrungsmittelindustrie entstammen, feine Malzkeime stellen den größten Anteil. Zusätzlich enthält der Dünger noch Malzstäube, geringe Mengen an Düngerphosphat und Nachprodukte aus der Zuckerrübenverarbeitung. Letztere enthalten einen hohen Anteil an Kaliumsulfat, welches stimulierend auf die Pflanzen wirken soll. Die Malzkeime sollen, zusammen mit der Malzstäube, einen besonders gleichmäßigen Nährstofffluss bewirken (Bio Terra, 2000).

> holzerstörende Pilzbrut (Braunfäulniserreger)

Dabei handelt es sich um einen Schwefelporling aus dem Institut für angewandte Baumpathologie von Prof. Dr. Schwarze (Freiburg). Dieser Pilz wurde unter anderem deshalb ausgesucht, da er dickwandige Dauersporen bildet, die gut überdauern können. Außerdem ist er besonders geeignet Eichenholz abzubauen.

In unserem Versuch wurden ca. 200 l Rindenmulch mit den 12 Pilzreinkulturen beimpft, die Kultur wurde eingearbeitet und bei 20-25⁰ Grad Celsius gelagert.

Näheres zum Schwefelporling

Der Schwefelporling ist weltweit verbreitet und einer der wichtigsten braunfäuleerregenden Pilze. Er ist imstande das dauerhafte Holz von Eibe und Esskastanie, aber auch von Kirsche, Ahorn und Buche abzubauen. Er ist einer der wenigen Pilzarten, die sowohl am lebenden Baum, als auch am verbauten Holz, Holzersetzung verursachen können, jedoch baut er Holz nur langsam ab. „Allerdings führten an künstlich infiziertem Holz selbst geringe Gewichtsverluste zu einer drastischen Minderung der Festigkeit“ (Schwarze et al., 1999). Erfahrungen mit der Anwendung in der Tiefe eines Erdgrabes bestanden bisher nicht.

> Belüftung mit Druckluft

Ein stationäres Belüftungsrohr wurde mittels einer Lanze eingebracht. Hiermit wurde in regelmäßigen Abständen, außer während der Wintermonate, mittels Druckluft für 5 Minuten aktiv belüftet.

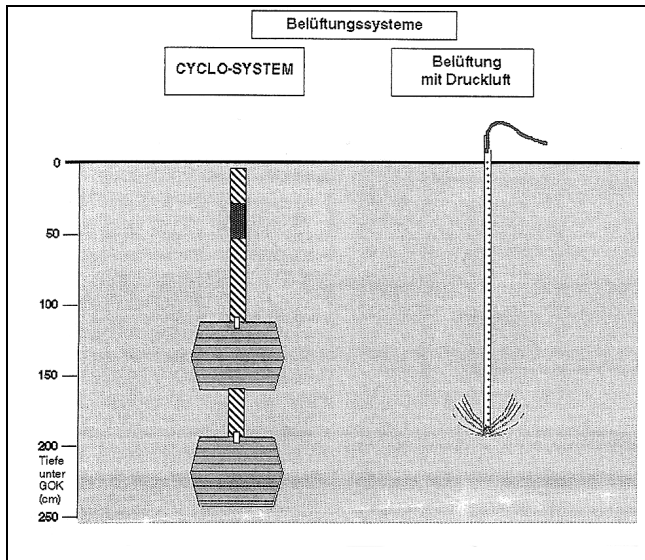
> Belüftungsrohre für kontinuierliche Luftzufuhr

Ein stationäres Belüftungsrohr wurde mittels einer Lanze eingebracht. Es stellt damit eine kontinuierliche Verbindung zwischen Sargoberfläche und Erdoberfläche dar. Die Belüftung der tieferen Schichten erfolgt passiv.

> Cyclo-Diffusionsstäbe der Firma Gefa Fabritz GmbH

Zwei aus Naturmaterialien bestehende, mit Glasgranulat gefüllte und mit einem Aktivkohlefilter versehene Entlüftungsrohre sollen für einen kontinuierlichen Gas-Luft-Austausch sorgen. Diese werden auf den Sarg aufgesetzt und sollen somit die luftundurchlässigeren Schichten überbrücken. Sie enden knapp 15 Zentimeter unter dem Erdniveau und könne auch im Nachhinein eingebracht werden (siehe Grafik Nr.9).

Der Hersteller garantiert eine nahezu komplette Zersetzung innerhalb von 5 Jahren (Gefa Produkte, 2000).



Grafik Nr.9: Diffusionsstab, Grafik aus Albrecht, 2002b

> Lanze

Das ist ein mobiles Belüftungssystem, welches gern von Landschaftsgärtner genutzt wird, die diese Lanzen zur Bodenbelüftung bei Bäumen einsetzen. Mittels einer Lanze kann bis zu einer Tiefe von zwei Metern Luft eingedrückt werden, mit dem Erfolg, dass der Boden somit lockerer und sauerstoffhaltiger wird. Um eine dauerhafte Belüftung zu gewährleisten sollten jedoch zusätzlich Blähton oder Lavagesteine in den Boden eingebracht werden.

Überprüfung der richtigen Anwendung des Bodenaufbruchs

Mittels Rauchinsufflation sollte die Gaszirkulation auf der Sargoberfläche getestet werden. Hierzu wurde Rauch mittels Druckluft in die Rohre für die permanente Belüftung, welche direkt auf dem Sarg stehen, gegeben. Dieser sollte dann, bei lockeren Bodenverhältnissen zu den Probeentnahmerohren und in der Umgebung wieder herauskommen.

- Im Grab G6 wurde durch das Probeentnahmerohr Rauch insuffliert. Hier wurde kein Rauch an der Oberfläche gesehen, d.h. es waren keine Kapillaren

vorhanden, durch die Sauerstoff zirkulieren konnte. Dies hatte man erwartet, da das Grab unbehandelt war.

- An der Oberfläche der Gräber 5E und 5F aus den Versuchen 6 und 7 (beide haben installierte Belüftungsrohre) zeigte sich Rauch, d.h. es waren Kapillaren vorhanden. Damit ist eine ordentliche Gaszirkulation nachgewiesen, die zeigte, dass die Bodenaufbrüche funktioniert hatten.

➤ Siehe Foto Nr.2 im Anhang: vom Versuch mit der Rauchinsufflation

3.2.5. Beschreibung des Verfahrens zur Prophylaxe

Um es erst gar nicht zur Leichenlipidbildung kommen zu lassen, wurde seit Juni 2000 bei neuen Grabbelegungen ein neues Verfahren angewandt. Es wurde wie gehabt die Grube ausgehoben und dann aber auf die Grabsohle ca. 250 l Schotter der Körnung 32-60mm gegeben. Danach wurde der Sarg eingelassen und auf den Deckel Leca Baumschnorchel gelegt. Diese wurden befestigt, damit sie von den weiteren 250 l Schotter, die nun auf den Sarg geschüttet wurden, nicht heruntergedrückt werden konnten, der Baumschnorchel reicht daher beinahe bis zur Oberkante. Darüber wurden, wie gesetzlich vorgeschrieben, die 90 cm Erde gegeben. Dabei wurde darauf geachtet, dass große Steine herausgefiltert und die Erde nicht zu dicht hineingepresst wurde. Der Überstand an Erde wurde abtransportiert.

Von fünf dieser Gräber wurden ebenfalls über den Zeitraum von 2 Jahren Gasproben gewonnen.

> Leca-Baumschnorchel:

Hergestellt wird er von der Firma Leca Deutschland GmbH. Der Schnorchel besteht aus einem Juteschlauch, der mit Leca-Blähton (siehe unten) gefüllt ist. Die Jute verrottet nach einiger Zeit im Boden. Was zurück bleibt, ist ein Schlauch aus Blähton, der lagestabil ist und seine Funktion praktisch unbegrenzt halten soll. Das System ist dem Prinzip von Regenwurmgingen abgeschaut. Ziel ist, der Bodenverdichtung entgegen zu wirken und damit eine bessere Belüftung tieferer Bodenschichten zu erreichen. Zusätzlich wird eine

Wasserspeicherung ermöglicht und überflüssiges Wasser, z.B. durch massives Gießen, kann abgeleitet werden (Leca, 2000).

> **Leca-Blähton T:**

Leca Blähton von Leca baum T (T=Lamstedter Blähtonsubstrat), ist ein besonders blähfähiger Ton, der im Gartenbau zur Wasserspeicherung eingesetzt wird. Er wird bei Temperaturen von ca. 1 200⁰ C ohne chemische Zusätze gebläht, gebrannt und gezielt aufgebrochen. Die Mischung enthält 60% der gebrochenen Fraktion, mit einem Durchmesser von 5-9mm zur Wasserspeicherung und 40% der runden Fraktion mit 8-16mm Durchmesser zur Belüftung. Damit kann eine Wasseraufnahme und -speicherung von ca. 35 Gew.% erreicht werden (Leca, 2000).

3.2.6. Beschreibung der Probenbearbeitung

Probengewinnung

Anhand der Gasprobenzusammensetzung sollen Rückschlüsse auf die Verwesungsaktivität und den Verwesungsstand gezogen werden.

Die Gasprobenentnahme erfolgte aus den Probeentnahmerohren der Firma Plasson, die zentral in jedem Grab, mittels der Lanze, möglichst nahe auf dem Sargdeckel eingebracht worden waren. Nach Öffnen des Verschlusses wurde der Ansaugschlauch des Aspirometers eingeführt, mittels Aspiration erfolgt die Befüllung eines GC-Röhrchens.

Die Messungen begannen im Oktober und es erfolgten über einen Zeitraum von 2 ½ Jahren regelmäßige Probenentnahmen.

Probenauswertung

Die Ausarbeitung der Proben erfolgte mit dem Gaschromatograph H 5890A von HP. Dieser enthält einen Wärmeleitfähigkeits-Detektor (WLD), der den Unterschied der Wärmeleitfähigkeit zwischen dem aus der Säule austretenden Gasstrom (Trägergas und Probenhauptkomponente) und einem Referenzstrom des Trägergases allein misst. Proportional zu diesem Unterschied entsteht eine

Spannung, die das Ausgangssignal für einen angeschlossenen Integrator 3392 von HP ist, der wiederum die entstandenen Peaks auswertet.

Als Säulen wurden für die Messungen des Stickstoffs, Sauerstoffs, Wasserstoffs und für das Methangas ein Molsieb 5 A⁰ (Anström) verwendet. Für die Kohlenmonoxid- und Kohlendioxidmessungen wurde ein Kieselgel GC genommen, als Laufmittel fungierte Helium. Die Menge an Probengas betrug 10µl und wurde mechanisch mit der Hand eingespritzt.

Die Abweichungen der Ergebnisse bei Wiederholungsmessungen betragen ein Prozent.

3.3. Grabkammern der Firma Ackermann

3.3.1. System der Grabkammer

Die Bestattung erfolgt hier nicht direkt im Erdreich sondern in einer Grabkammer aus Beton, die über eine geregelte Be- und Entlüftung verfügt. Es gibt sie nach unten offen oder geschlossen, sowie für Einfach- oder Doppelbelegungen. Nach oben hin werden die Betonelemente von einem abnehmbaren Pflanzentrog oder einer Betonplatte verschlossen.

Die Deckenelemente enthalten zwei Öffnungen für den Luftaustausch. In den Lüftungsöffnungen sind zwei technische Biofilter integriert, die die entstehenden Zersetzungsgase absorbieren und das Eindringen von Tieren, beispielsweise Nagern verhindern sollen. Zusätzlich wird über den Kammerdeckel eine mit Mikroorganismen besiedelte Filtermatte aus kompostierbaren Naturfasern gelegt. Diese dient ebenfalls als Filter, zusätzlich schützt sie die Grabkammeroberseite beispielsweise bei Pflanzenarbeiten und hat die Funktion eines Feuchtreservoirs in der Anwuchsphase der Pflanzen. Als letzte Schicht wird meistens ein abnehmbarer Pflanzentrog installiert, der ebenfalls als ein Abluftreinigungssystem fungieren soll.

Je nachdem kann eine, extra vom Hersteller entwickelte Bodenmatrix (aus einer Mischung von Grünschnitt-Kompost und Rindenmulch), in die Kammer mit

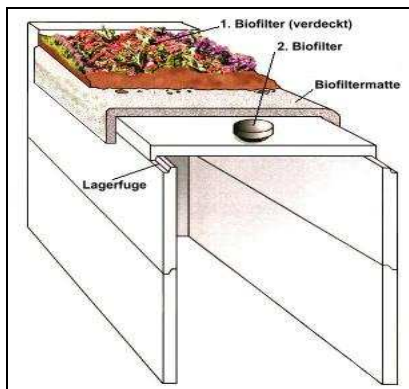
eingbracht werden, die dann den unteren Rand des Sarges bedeckt und für eine noch bessere Verwesung und insbesondere Verrottung des Sargholze sorgen soll. Ansonsten benötigt man in der Grabkammer keine Erde und ist somit von den vorliegenden Bodenverhältnissen unabhängig.

Die Grabkammer kann bei Nutzung in Böden ohne Wasserandrang in der Bestattungszone unten offen gehalten werden. Bei nassen Böden oder beim Anfallen von Schicht- oder Stauwasser sollte jedoch ein unten geschlossenes System verwendet werden.

Von außen ist nach der Beerdigung nur noch die bepflanzbare Grabfläche zu sehen.

Der Hersteller verspricht einen aeroben Verwesungsprozess von sechs bis acht Jahren, mindestens jedoch innerhalb der gesetzlichen Mindestruhefrist von 15 Jahren (Ackermann, 2002).

Grafik Nr.10: Skizze einer Grabkammer



- Siehe Fotos 7 und 8 im Anhang: von dem modifizierten Sarg mit dem toten Schwein

3.3.2. Untersuchungen

Diese Daten stammen aus zwei bisher unveröffentlichten Versuchsreihen unter Prof. Graw am Versuchsschwein Elsa (Versuch 1) und am Schwein Elisa (Versuch 2).

In Vorversuchen der Arbeitsgruppe und auch in anderen Studien über Leichenveränderungen hat sich die Verwendung von Hausschwein-Kadavern aufgrund ähnlicher physiologischer Verhältnisse und guter Verfügbarkeit bewährt. Den Beweis, dass man statt menschlicher Leichenlipid-Proben auch tierisches Leichenlipid heranziehen kann, erbrachten Forbes et al. (Forbes et al., 2005). Sie zeigten, dass sich auch das Fettgewebe von Schweinen, Rindern, Schafen und Hasen zu „Adipocire“ umwandeln ließ und bewiesen, dass das gebildete Leichenlipid der unterschiedlichen Rassen sich im Erscheinungsbild und der chemischen Zusammensetzung glich. Sie bestätigten damit andere Studien, die gezeigt hatten, wie gering die Unterschiede zwischen den Leichenlipidproben der unterschiedlichen Spezies waren (Weitzel, 2005; Den Dooren de Jong, 1961).

In unseren Versuchen sollte die Grabkammer der Firma Ackermann beurteilt werden. Der Versuchsaufbau war bei beiden Versuchsreihen ähnlich, daher stelle ich bei Versuch 2 nur noch die Abweichungen von folgendem Versuchsaufbau (Versuch 1) vor:

Versuch 1

Hierfür wurde eine verendete, ca 100kg schwere Sau in einer mit Sargmaterial ausgeschlagenen Holzkiste in der nach unten geschlossenen Grabkammer der Firma Ackermann beigesetzt. In der Grabkammer wurden ein Thermometer und ein Instrument zum Messen der Luftfeuchtigkeit fest eingebaut. Der Luftdruck wurde an einem in der Nähe befindlichen Barometer abgelesen.

Es wurde zweieinhalb Jahre lang täglich die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit in der Grabkammer und außerhalb gemessen, in Phasen besonderer Klimabedingungen (z.B. Frost, starke Sonneneinstrahlung oder große

Temperaturschwankungen) auch zweimal täglich. Zusätzlich wurde Buch über den Luftdruck und die subjektive Beurteilung der Geruchsbelästigung geführt. Um unterschiedliche Tagesschwankungen auszuschließen, wurde möglichst immer zur selben Zeit, bzw. im selben Zeitraum gemessen. Außerdem erfolgte eine Einteilung der vorherrschenden Witterungsverhältnisse in sonnig, bewölkt, regnerisch, sowie die Angabe, ob Wind vorlag.

Darüber hinaus wurden die Zersetzungsfortschritte des in der Grabkammer beerdigten Schweinskadavers regelmäßig makroskopisch und mikroskopisch durch kurzes Öffnen der Grabkammer kontrolliert.

Die Modifikation der Versuchskammer mit dem verschließbaren Meßrohr und die gelegentliche, kurzzeitige Öffnung der Kammer zur Beobachtung und Probenentnahme stellten sicherlich eine gewisse Veränderung der Grabkammer dar. Diese dürfte aber in Bezug zur gesamten Liegedauer nur von nachrangiger Bedeutung sein.

Erwähnt werden sollte noch die Veränderung an der Dichtungsfuge und an der einliegenden Dichtung im November 1993 und im März 1994. Hiermit sollte das Problem des bei starken Niederschlägen eindringenden Sickerwassers gelöst werden.

Modifizierter Versuch 2 mit Schwein Elisa

Ein Jahr nach Beendigung der ersten Versuchsreihe, wurde ein gerade verstorbenes, wiederum ca. 100 kg schweres Hausschwein in einer Kiste in einer Grabkammer, wie oben beschrieben beigesetzt. Als Modulation wurde zusätzlich ein solarbetriebener Ventilator im Bereich des Hinterteils des Schweins, hinter der Kiste, zur verbesserten Ventilation mit eingebaut. Zusätzlich wurde Mulch aus Papeln, Kiefer, Esche, Buche und Eiche, sowie eine Drainmatte mit in die Kammer gegeben und der Sarg wurde auf 6 cm hohe Stelzen gestellt. Es wurden wiederum über den Zeitraum von 12 Monaten dieselben Daten wie im Versuch 1 erhoben.

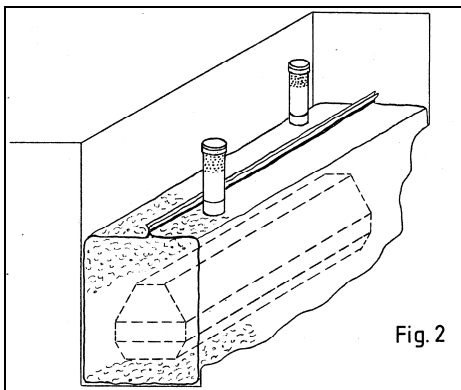
3.4. Grabhülle der Firma Weihe

3.4.1. System der Grabhülle

Die Grabhülle der Firma Weihe ist eine wasserdichte und verrottungsfeste Formhülle aus beidseitig mit Kunststoff beschichtetem Geo-Textilgewebe, in welcher ein Leichnam im Sarg und ca. 1,5 m³ Erde aufgenommen werden kann. Der Gasaustausch wird über ein integriertes Be- und Entlüftungssystem ermöglicht. Die Hülle ist vorwiegend für Wasser belastete Grabbereiche konzipiert worden. Sie soll eine Leichenlipidbildung verhindern, die durch den hoch stehenden Wasserspiegel und der damit verbundenen ungenügenden Luftzufuhr entstehen kann.

Nachdem das Grab in herkömmlicher Weise hergerichtet wurde, also nach erfolgtem Erdaushub auf die Tiefe von ca. 180 cm, bzw. 260 cm (bei Doppelbelegung), wird die Grabhülle am Grabrand oder am vorhandenen Laufrost an 8 Schlaufen eingehängt. Sie hat dann exakt die Form des Grabes. Auf den Hüllenboden wird eine ca. 10 - 20 cm hohe Erdschicht aufgebracht. Das Grab wird dann anschließend wie üblich mit Abhängematten dekoriert. Nach Ablassen des Sarges wird Erde bis ca. 20 cm über der Sargoberkante eingefüllt, im Behältnis sind dann ca. 1,5 m³ Erdvolumen vorhanden. Die beiden Luftverteiler, die nachher die Be- und Entlüftungsrohre aufnehmen, werden von innen in die Hüllenöffnungen eingeschoben und befestigt. Mit einem abgedichteten Reißverschluss wird danach die Grabhülle hermetisch geschlossen. Die beiden Belüftungsrohre, die mit einem Wasserschutz versehen sind, um auch zeitweiliger Überflutung stand zu halten und mit Styroporchips gefüllt sind, werden dann noch in die entsprechenden Befestigungen eingesetzt und enden damit ca. 30 cm unter der Grabkante. Der restliche Aushub wird abschließend in den Grabraum eingebracht.

Grafik Nr.11:Skizze einer Grabhülle:



- Siehe Foto Nr.9 im Anhang von der Grabhülle

3.4.2. Untersuchungen

In einem zwei-jährigen Versuch wurde das Grabhilfssystem „Grabhülle Weihe“ hinsichtlich ihrer Einsatzmöglichkeiten und Nutzen im feuchten Boden erprobt. Auch hier diente ein Hausschwein als Dummy für eine menschliche Leiche. Es erfolgte bewusst die Auswahl eines flussnahen Problemstandortes mit häufig in Sarghöhe stehendem Grundwasserspiegel und regelmäßigen Hochwasserüberschwemmungen, wie es auf einigen Friedhöfen der Fall ist. Ein am Vortag verstorbenes Schwein (108 kg) wurde wie oben beschrieben in einer Grabhülle der Firma Weihe beigesetzt. In die Hülle war zunächst ca. 20 cm Kompost gefüllt, danach war der handelsübliche Sarg eingebracht und mit Kompost umfüllt worden (Kompostabdeckung über dem Sarg ca. 20 cm). Die Abdeckung der Hülle erfolgte zuerst mit ca. 25 cm Split und anschließend mit Aushub als Restverfüllung.

Bereits bei der Herstellung der Grabhülle wurde eine Tülle eingeschweißt, die ein Endoskop führendes Kunststoffrohr bis nahe der Erdoberfläche umfassen sollte. Das Grab wurde mit einem Revisionsschacht versehen, welcher erdoberflächennah mit einer wasserdichten Schleuse abgeschlossen wurde, die zur Revision mit dem Endoskop geöffnet werden konnte. Die Abdichtung sollte eine Zuführung von Luft und die damit artifizielle Veränderung des Milieus verhindern.

Zusätzlich wurde ein Kontroll-Grab in gleicher Weise ebenfalls mit Tülle und Kunststoffrohr versehen. Die Tülle blieb jedoch verschweißt und eine Revisionsschleuse wurde nicht installiert. Dieses Grab diente als Kontrolle und wurde erst am Versuchsende geöffnet.

Es erfolgten regelmäßige Messungen über den Zeitraum von zwei Jahren. Gemessen wurde einmal die Temperatur im Sarg und außerhalb des Grabes, sowie im Messrohr und im nahe liegenden Neckarwasser. Darüber hinaus wurden Gasproben im Sarg entnommen und mittels Endoskop, das Hausschwein und der Sarg makroskopisch beurteilt. Zusätzlich erfolgten Probeentnahmen am Kadaver zur mikroskopischen Begutachtung. Nach Öffnen des Verschlusses des Revisionsschachtes wurde zuerst der Ansaugschlauch des Aspirometers eingeführt. Mittels Aspiration erfolgte die Befüllung eines GC-Röhrchens. Anschließend wurde die Temperatur-Sonde eingeführt, wonach die endoskopische Begutachtung mit anschließender Biopsie erfolgte.

3.5. Redoxverfahren der Firma Keller

3.5.1. System des Redoxverfahren

Die ursprüngliche Idee des Redoxverfahrens der Firma Keller stammt aus Norwegen von einem aus dem Straßenbau bekannten Verfahren der „Lime Column Method“ (LCM), mit dem man wassergesättigte Böden verfestigt. Bei dieser Methode werden ins Erdreich Bindemittel eingeblasen, die mit Feuchtigkeit reagieren, dabei Hitze erzeugen und den Untergrund stabilisieren. In modifizierter Form soll sich die LCM für die Friedhofssanierung eignen. Hierbei wird eine thermoaktive Substanz in die Grabstellen injiziert, um Leichenlipid abzuschmelzen.

Das thermo-aktive Redoxgemisch, welches zu einem großen Anteil aus ungelöschtem Branntkalk (in der Regel bestehend aus 75-95% CaO) besteht, wird mittels Punktierungslanzette in die Särge punktiert. Die darauf einsetzende

chemische Reaktion bewirkt einen punktuellen Temperaturanstieg, der bereits nach drei Stunden bei 180 bis 300 Grad seinen Höhepunkt erreicht und nach 24 Stunden weitgehend abgeschlossen ist.

Bei Versuchen in Norwegen, wo der Hauptgrund für die häufige Leichenlipidbildung in der obligatorischen Bettung der Leichen in Plastiksäcken liegt, konnte durch die starke Temperaturentwicklung nicht nur die Fettschicht der in Adipocire umgewandelten Körper zum Schmelzen gebracht werden, sondern auch der Plastiksack (Spiegel Magazin, 1998).

Ziel ist, dass als Umwandlungsprodukte nur noch organisch abbaubare, granuliert, grobkörnige Kalkseifen, sowie noch vorhandene Großknochen verbleiben. Die gleichzeitige Durchlüftung durch die Punktierungskanäle soll für eine schnelle Weiterverwesung der organischen Reste sorgen.

„Die langkettigen Fettsäuren, die weitgehend wasserunlöslich und wasserabweisend sind, werden in mehr oder weniger gut wasserlösliche Fettseifen umgewandelt, wobei jedoch noch keine wesentliche Verkürzung der Fettsäuren erfolgt. Die Fettseifen verteilen sich, die Knochen werden freigelegt. Zum eigentlichen Fettabbau wird wiederum Sauerstoff benötigt“ (Fiedler und Graw, 2004). Zum weiteren Abbau im Grab werden daher anschließend noch Belüftungsmaßnahmen benötigt werden. Alternative wäre ein Verbringen des Grablagers an die Erdoberfläche mit anschließender Kompostierung.

3.5.2. Untersuchungen

Auf dem Modellfriedhof im mittleren Schwarzwald wurden eingemessene Grabstellen mit dem Verfahren behandelt. Die Untersuchungen wurden auf dem benachbarten Reihengrabfeld des Reihengrabfeldes B, auf welchem ebenfalls Leichenlipid entdeckt worden war, durchgeführt. Zur Kontrolle wurde ein Referenzgrab geöffnet um den Zersetzungsgrad, zu dokumentieren. Auch hier zeigte sich eine zu „Adipocire“ umgebaute Leiche. Das Grab wurde anschließend wieder verschlossen und erfuhr dieselbe Behandlung wie die anderen Gräber.

Da das Reihengrabfeld bereits eingeebnet worden war, mussten die Grabstellen mittels der Belegungspläne zuvor eingemessen und aufgezeichnet

werden. Mit einem Bohrgestänge, das an einen Minibagger montiert worden war, wurde an drei Stellen im Grab ein mit Spornen ausgestatteter Bohrkopf in den Boden bis in den Sarg getrieben. Die anschließend ausgefahrenen Sporne bewirkten ein großflächiges Aufreißen des Sarges. Zusätzlich führte es zu einer Bodenauflockerung und einer damit verbundenen Belüftungsverbesserung. Durch die Bohrlöcher wurden anschließend jeweils 40 bis 70 kg des Thermoreaktivmittel eingeblasen.

Es wurden vor, während und nach der Behandlung der Gräber Gasproben genommen, sowie Temperatur und pH-Messungen durchgeführt.

Insgesamt wurden 5 Gräber beprobt, hiervon waren 3 Gräber mit dem Kalkgemisch behandelt worden und 2 Gräber unbehandelt belassen worden, um als Gegenproben zu dienen.

Nach vier Monaten wurden die mit Branntkalk behandelten Gräber zur Verlaufsdocumentation eröffnet. Ein Grab wurde bereits nach 24 Stunden kurz eröffnet worden.

4. Ergebnisse

4.1. Untersuchungsfeld Modellfriedhof

4.1.1. Ergebnisse der Gasproben

Insgesamt fiel auf, dass die einzelnen Gräber häufig sehr schwankende Gasprobenergebnisse zeigten, teilweise unabhängig von dem Trend der zugehörigen Versuchsreihe. Bei der zeitweise sehr individuellen Entwicklung einzelner Gräber gestaltete es sich daher schwierig für jede Versuchsreihe eine abschließende Gesamtaussage zu treffen, trotzdem ließen sich Tendenzen erkennen.

Bei der Betrachtung der einzelnen Unterfelder (I-V), insbesondere des Feldes I zeigten sich viele Gemeinsamkeiten der einzelnen Felder, unabhängig von den vorliegenden Versuchsaufbauten. Damit fiel auf, dass der Standort des einzelnen Grabes häufig einen größeren Einfluss auf die Belüftung und damit auf seinen Degradationsverlauf hatte, als der installierte Versuchsaufbau.

a) Ergebnisse der einzelnen Sanierungsmaßnahmen:

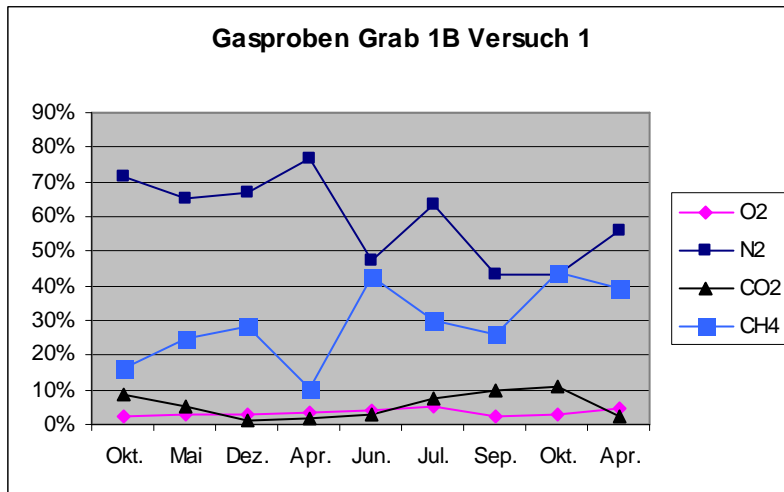
Alle Ergebnisse der Gasproben sind in einer Tabelle im Anhang zu finden. Die Messungen wurden von Oktober an über einen Zeitraum von zweieinhalb Jahren bis April vorgenommen. Zusammenfassend kann man folgendes zu den einzelnen Versuchsvarianten sagen:

➤ **Versuch 1: Blähton**

- Insgesamt zeigten sich, bis auf wenige Ausnahmen, eher mäßige Sauerstoffkonzentrationen und durchschnittliche CO₂-Werte.
- In 4E imponierten erhöhte Sauerstoffkonzentrationen bis 14%, jedoch ohne gleichzeitige Erhöhung der CO₂- und CH₄-Werten.
- In 1B fielen sehr hohe CH₄-Werte (zwischen 10 und 40%) auf, das Grab liegt im Feld 1, in welchem alle Gräber deutlich erhöhte Methanwerte zeigten (siehe Grafik Nr.12).

- → Insgesamt würde man anhand der Gasprobenergebnisse nur bedingt Wirkung der Maßnahme erwarten.

Grafik Nr.12: Beispiel einer Gasprobenzusammensetzung Versuch 1



➤ **Versuch 2: Bodenhilfsstoff der Firma Neudorff**

- In 1H imponierten nicht ganz so hohe CH₄-Werte wie bei den anderen Gräbern des Feldes 1, aber für diese Versuchsreihe im Vergleich doch erhöhte Konzentration (ca 7%).
- In 2C zeigten sich hohe Sauerstoffkonzentrationen (meist um die 10%).
- In 5C fielen erhöhte CH₄-und CO₂-Werte auf.
- Im Verlauf kam es in dieser Versuchsreihe zu einer deutlichen, jedoch nicht sehr ausgeprägten Erhöhung der CO₂- und CH₄-Werte.
- → Insgesamt würde man anhand der Gasprobenergebnisse, aufgrund der Zunahme der Verwesungsparameter eine gewisse Wirkung der Maßnahme erwarten.

➤ **Versuch 3: Bodenhilfsstoff der Firma Bio Terra**

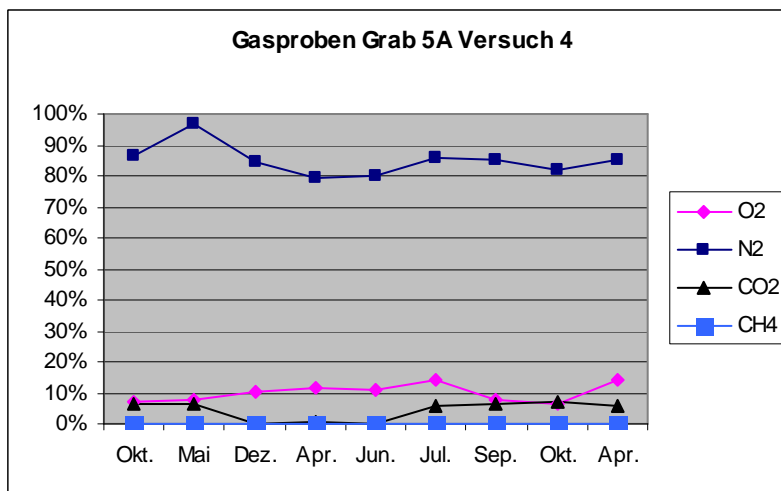
- Bis auf Ausnahmen zeigten sich in dieser Versuchsreihe eher geringe Konzentrationen für O₂, CH₄ und CO₂.
- In 1D fielen, wie für diese Versuchsreihe erwartet, verhältnismäßig hohe Werte von CH₄ auf.

- In 5G ließen sich gute Sauerstoffkonzentrationen (im Schnitt 7%) nachweisen.
- → Insgesamt würde man anhand der Gasprobenergebnisse eher keine große Wirkung der Maßnahme erwarten

➤ Versuch 4: holzerstörende Pilzbrut

- Diese Versuchsreihe fiel durch verhältnismäßig hohe Sauerstoffkonzentrationen, insbesondere in 5A und 4F auf (siehe Grafik Nr.13).
- In 3C zeigten sich für diese Reihe verhältnismäßig hohe CO₂- (ca. 5%) und CH₄-Werte (ca. 6%).
- In 1F konnten die, für ein Grab des Feldes 1 erwarteten erhöhten CH₄-Werte nicht nachgewiesen werden.
- Auffallend war die geringe Dynamik in der Entwicklung der Parameter.
- → Insgesamt würde man anhand der Gasprobenergebnisse erwarten, dass es zu einer Verbesserung der Bodenbelüftung gekommen ist. Allerdings fielen niedrige CO₂-und CH₄-Werte auf, als Anzeichen für eine zögerliche Verwesung oder eines raschen Gasabtransportes.

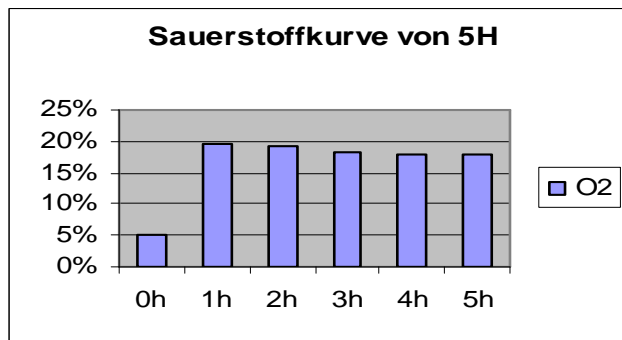
Grafik Nr.13: Beispiel einer Gasprobenezusammensetzung Versuch 4



➤ **Versuch 5: Belüftung mit Druckluft**

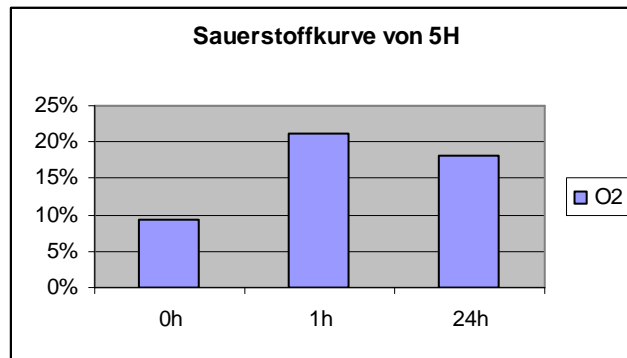
- Insgesamt fielen in dieser Versuchsreihe sehr wechselnde Gasprobenwerte auf.
- Auffallend waren die eher niedrigen O₂-Werte, die im Verlauf jedoch anstiegen.
- Ebenfalls auffallend waren die erhöhten CO₂-Werte in den Gräbern 3B+4A+5H (um die 7%), bei jedoch niedrigen CH₄-Werten.
- Hohe Methan-Werte zeigten sich wiederum in einem Grab des Feldes 1, nämlich im Grab 1A (CH₄: ca. 13%), sowie im Grab 2G.
- Darüber hinaus wurde, anhand der hohen Sauerstoffkonzentrationen in den Stunden nach der Belüftung (in allen Gräbern zwischen 14 und 19%) deutlich, wie wirksam, jedenfalls kurzfristig, die aktive Belüftung ist (siehe Grafik Nr.14).

Grafik Nr.14: Entwicklung der Sauerstoffkonzentration nach Druckluftanwendung in den ersten 5 Stunden am Beispiel des Grabes 5H



- Dies war ebenfalls an den Werten zu sehen, die einen Tag nach der Belüftung abgenommen wurden (siehe Grafik Nr. 15), denn auch hier imponierten immer noch deutlich erhöhte Sauerstoffkonzentrationen (zwischen 6 und 18%).

Grafik Nr.15: Entwicklung der Sauerstoffkonzentration nach Druckluftanwendung nach 24 Stunden am Beispiel des Grabes 5H

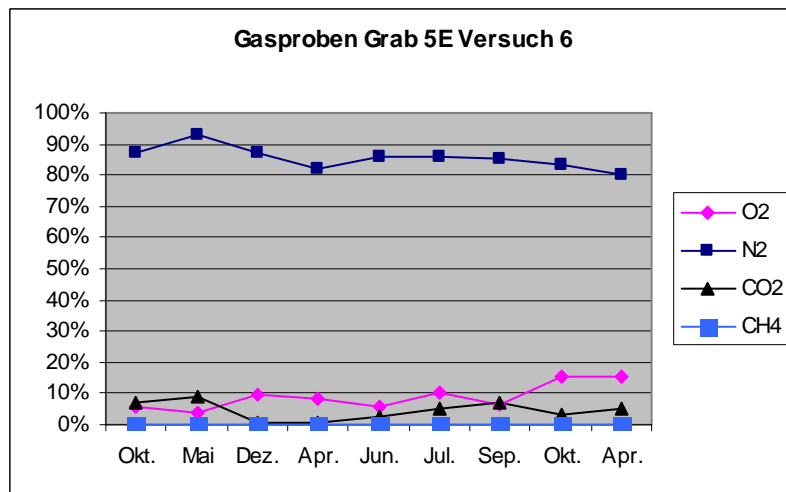


- → Insgesamt würde man anhand der Gasprobenergebnisse eine langfristige Erhöhung der Bodenbelüftung erwarten. Darüber hinaus zeigten sich erhöhte CO₂-Werte, als Zeichen einer aktiven Verwesung.

➤ **Versuch 6: Belüftungsrohre für kontinuierliche Luftzufuhr**

- Im Verlauf zeigten sich erhöhte Sauerstoffwerte in 4B (ca. 6%) und 5E (ca. 8%) (siehe Grafik Nr.16).
- Die restlichen Sauerstoffkonzentrationen wiesen eher durchschnittliche (selten >5%) Werte auf.
- Auch in 1E vom Feld 1 bestätigten sich die deutlich erhöhten CH₄-Werte (> 14%) dieses Versuchsfeldes.
- → Insgesamt würde man anhand der Gasprobenergebnisse von 4B und 5 E eine Verbesserung der Bodenbelüftung erwarten. Zu beachten ist aber, dass diese Werte nur bei zwei der fünf Gräber zu sehen war und damit nur eine eingeschränkte Aussage möglich ist.

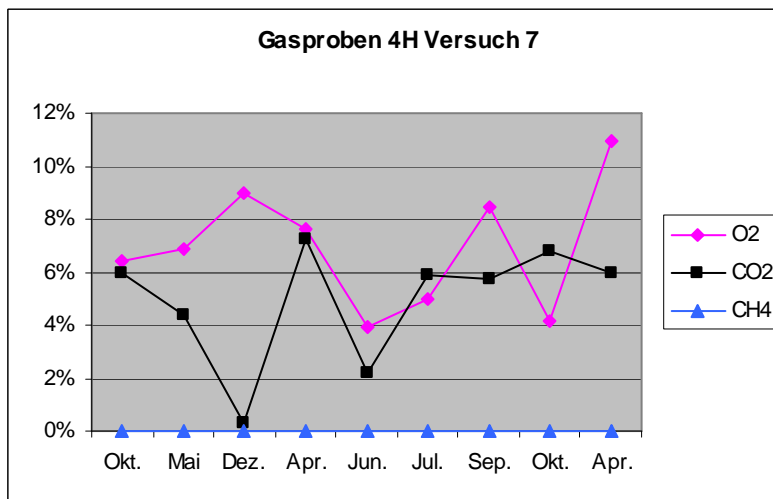
Grafik Nr.16: Beispiel einer Gasprobenzusammensetzung Versuch 6



➤ **Versuch 7: Belüftungsrohre für kontinuierliche Luftzufuhr mit Blähton kombiniert**

- Auch im Grab 1G im Feld 1 imponierten deutlich erhöhte CH_4 -Werte (ca. 10%).
- In den Gräbern 4H und 5F zeigten sich dagegen ordentliche Sauerstoff- und CO_2 -Werte (siehe Grafik Nr.17).
- Allerdings fielen bei allen außer dem Grab 1G verminderte CH_4 -Werte auf.
- → Insgesamt würde man anhand der Gasprobenergebnisse eine Wirkung der Maßnahme erwarten.

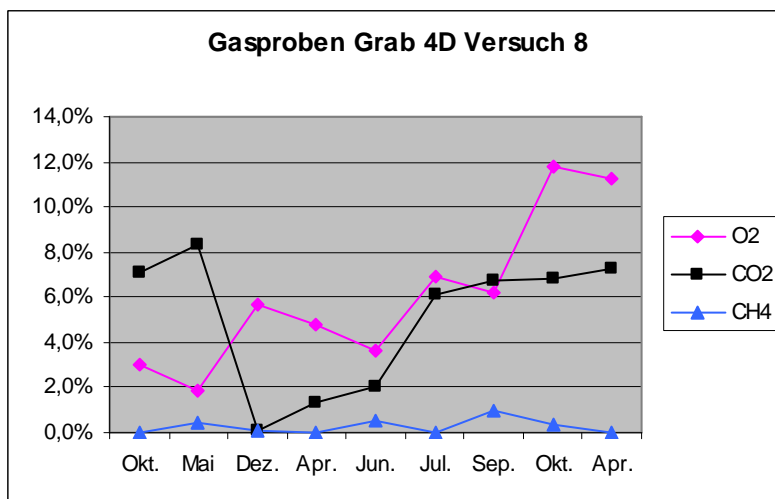
Grafik Nr.17: Beispiel einer Gasprobenzusammensetzung Versuch 7, ohne Darstellung des Verlaufs des N_2



➤ **Versuch 8: Diffusionsstäbe der Firma Gefa Fabritz GmbH**

- Wiederum zeigten sich im Feld 1 im Grab 1C hohe CH_4 -Werte (> 15%).
- Im Grab 3A fielen hohe Sauerstoffkonzentrationen (ca. 10%) auf.
- Diese stiegen auch in 4D+5D im Verlauf deutlich an (siehe Grafik Nr.18).
- → Insgesamt würde man anhand der Gasprobenergebnisse eine Verbesserung der Bodenbelüftung erwarten.

Grafik Nr.18: Beispiel einer Gasprobenzusammensetzung Versuch 8, ohne Darstellung des Verlaufs des N_2

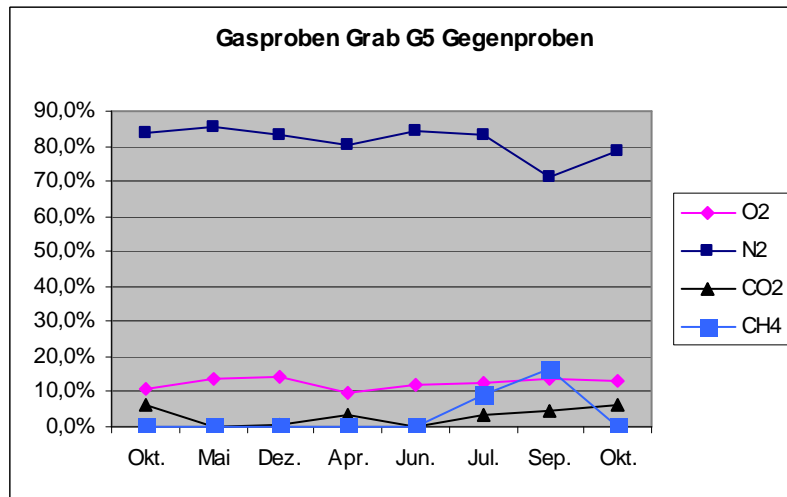


➤ **Gegenproben:**

- Auffallend waren die erhöhten Sauerstoffkonzentrationen in allen Gräbern der Versuchsreihe.
- Wie in den Versuchen zuvor, zeigten sich im Grab G1 des Feldes 1 hohe CH_4 -Werte (Lage neben einem Strauch).
- In den anderen Gräbern konnten allerdings kaum CH_4 und nur mittelmäßige CO_2 -Werte gemessen werden.
- Besonders hohe Sauerstoffkonzentrationen ließen sich im Grab G5 nachweisen (siehe Grafik Nr.19) und eher etwas geringere Werte in G6.

- → Insgesamt würde man anhand der Gasprobenergebnisse eine gute Bodenbelüftung erwarten, die auf die Lage der Gräber an den Rändern des Reihengrabfeldes, im Einflussbereich von Bäumen zurückzuführen ist.

Grafik Nr.19: Beispiel einer Gasprobenzusammensetzung Gegenproben



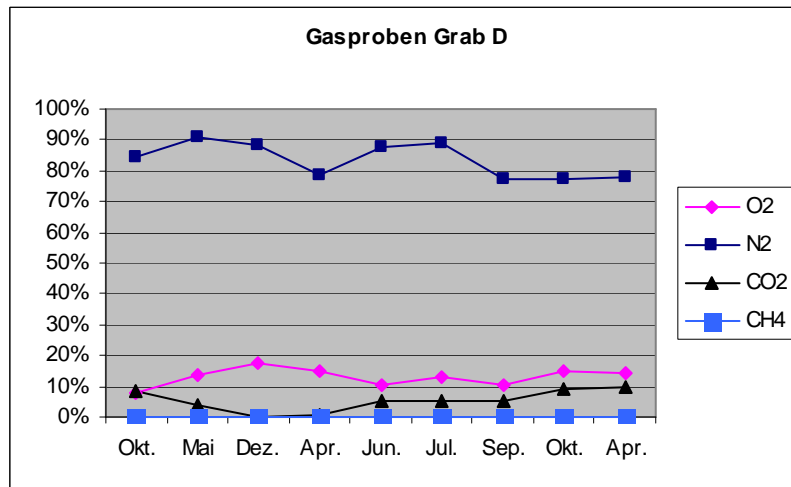
b) Ergebnisse der Prophylaxe-Maßnahmen:

An den fünf Grabstelle, die mit dem Prophylaxeverfahren behandelt worden waren, wurden durchgehend, insbesondere im Vergleich zu den Messungen in den Gräbern mit den Sanierungsmaßnahmen, hohe Sauerstoffkonzentrationen gemessen (in Grab A bis E im Schnitt >11%, Grab F ca. 9%) (siehe Grafik Nr.20).

Allerdings imponierten die CH₄- und CO₂-Werte eher im niedrigeren Bereich (nie über 3%). Insbesondere Methan als Marker für die Fäulnis, war kaum nachweisbar, was auf eine beginnende Verwesung hindeuten könnte. Das CO₂ dürfte bei Konzentrationen von 3% anhand des großen Konzentrationsgradienten rasch abdiffundieren.

Zu Graböffnungen kam es in dieser Versuchsreihe nicht, daher fehlen hier noch endgültige Daten.

Grafik Nr.20: Beispiel einer Gasprobenzusammensetzung Prophylaxe-Versuche



c) Weitere Ergebnisse:

- Es zeigten sich in den Monaten Dezember und April in allen Versuchsreihen erniedrigte Werte für Kohlendioxid und Methan, als Zeichen einer verringerten Degradation in der kälteren Jahreszeit.
- Kohlenmonoxid war in allen Proben nicht nachweisbar, wahrscheinlich da es als sehr kleines Molekül schnell abdiffundiert und damit nicht mehr gemessen werden konnte.
- Im Feld 1 zeigten alle Versuche durchgehend niedrige Sauerstoffwerte (im Schnitt zwischen 2 und 6%), lediglich das Grab 1F wies etwas höhere Werte (zwischen 4 und 10%) auf. Darüber hinaus fielen in allen Gräbern vom Feld 1, außer dem Grab 1F, unabhängig von dem jeweiligen Versuch, hohe CH₄-Werte auf (im Schnitt CH₄-Werte > 10%). Dies könnte auf ein Andauern der Fäulnis, bei durch das Stauwasser in diesem Bereich eher anaeroben Verhältnissen, deuten
- Im Gegenzug dazu zeigten die Gräber des Feldes 5, welche von Bäumen umringt waren und nie Wasser in den Probeentnahmerohren aufwiesen,

deutlich erhöhte Sauerstoffwerte auf (zwischen 4 und 10%). Ausnahme hier war das Grab 5C (Versuch 2). Der Grund hierfür ist unklar, da keine Besonderheiten am Boden oder Grabaufbau ersichtlich war.

- Darüber hinaus zeigten viele Gräber im Verlauf der Zeit eine deutliche Erhöhung der initialen Sauerstoffkonzentrationen, im Sinne einer Verbesserung der Bodenbelüftung.

4.1.2. Ergebnisse der Ausgrabungen

Stichprobenartig eröffnete man das Feld III. Dieses wurde ausgewählt, da hier bei den Gasprobenentnahmen nie Wasser im Entnahmerohr stand, wie gelegentlich in den Feldern I und II und der Einfluss der Bäume wegfiel, wie in den Feldern IV und V.

Die Gräber 3D (Versuch 7 mit Belüftungsrohr und Blähton) und 3G (Versuch 6 mit Belüftungsrohr ohne Bodenaufbruch) wurden nicht geöffnet, da schon anhand der Gasproben (niedrige Sauerstoffkonzentrationen) deutlich wurde, dass es zu keiner Verbesserung der Belüftung gekommen war.

- Siehe Fotos 4 und 5 im Anhang von Leichenlipid in eröffneten Gräbern

Folgende Gräber wurden im Mai nach 2 ½ Jahren eröffnet:

Grabnummer Versuchsreihe Tiefe vom Sargdeckel	Bodenbeschaffenheit	Verwesungszustand	Besonderheiten
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 3A ➤ Versuch 8 ➤ Diffusionsstäbe ➤ 1,50 m 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Diffusionsfüllung sehr feucht ➤ Wurzeln sichtbar 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Verwesungsgeruch ➤ Gehirn teilweise zu Adipocire und Rumpf komplett in Leichenlipid umgewandelt ➤ Kopf teilweise skelettiert 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ hohe O₂-Werte ➤ Diffusionsstäbe standen direkt auf dem Sarg
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 3C ➤ Versuch 4 ➤ Pilzkultur ➤ 1,20 m 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Boden in Tiefe recht nass ➤ Über Rindenmulch jedoch trocken ➤ Kein direktes Wasser zu sehen ➤ Insgesamt wenig Rindenmulch 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rumpf zu Adipocire und Bauchdecke in sehr festes Leichenlipid umgewandelt ➤ Kopf teilweise skelettiert 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Hohe CH₄-Werte ➤ Sargdeckel eingebrochen ➤ Sarg gut erhalten
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 3H ➤ Versuch 3 ➤ Bodenhilfsstoffe Bio Terra ➤ 1,30 m 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Boden trockener, aber für Jahreszeit zu feucht ➤ Direkt im Sarg steht Wasser 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ fauliger Geruch ➤ Leichenlipid im Rumpfbereich ➤ Dies ist im Beckenbereich fester, als an der Brust ➤ Im Beinbereich größerer Hohlraum 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Hohe CH₄-Werte ➤ Teile vom Sargdeckel abgespalten

Tabelle Nr.3: Ergebnisse der Ausgrabungen einzelner Gräber

Grabnummer Versuchsreihe Tiefe vom Sargdeckel	Bodenbeschaffenheit	Verwesungszustand	Besonderheiten
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 3B ➤ Versuch 5 ➤ Druckluft ➤ 1,20 m 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ obersten 30 cm trockener ➤ bis 120 cm Wurzeln ➤ trockenster Boden von allen 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Leichenlipid faserig und trocken 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Gasprobenwerte eher durchschnittlich ➤ auf Sargholz Pilzmycelen zu sehen
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 3E ➤ Versuch 2 ➤ Bodenhilfsstoffe F. Neuendorf ➤ 1,40 m 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Boden trockener ➤ Teilweise gelblich-schmieriger Belag ➤ Im Beinbereich steht Wasser im Sarg 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Leichenlipid durchwachsen mit einer Pilzstruktur ➤ Sehr dünner Fettwachspanzer ➤ Dahinter weiches, bröseliges Fettwachs 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Geringe O₂ und CH₄-Werte, bei ordentlichen CO₂-Werten ➤ Pilz auf Innenauskleidung ➤ Sehr gute Platzierung der Lanze
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 3F ➤ Versuch 1 ➤ Blähton ➤ 1,25 m 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Boden weich und nass 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Blähton im Kieferngebiet, ➤ Dort kleine, weiße Tierchen ➤ Dort wo Blähton zu beobachten ist, nur wenig Leichenlipid ➤ Rippen freigelegt ➤ Wenig weiches, bröckeliges Leichenlipid 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ hohe CO₂-Werte

Beurteilung der Graböffnungen

Da pro Versuchsreihe nur jeweils ein Grab eröffnet wurde, kann anhand dessen nicht verallgemeinernd auf die ganze Versuchsreihe geschlossen werden. Die Beurteilung ist somit nur ein weiterer Eindruck zusätzlich zu den Gasprobenmessungen, der aber keine endgültige Einschätzung erlaubt.

Tabelle Nr.4: Beurteilung der Ergebnisse der Ausgrabungen

Grab	Versuchsreihe	Beurteilungen
3A	Versuch 8 Diffusionsstäbe	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Die hohen gemessenen Sauerstoffwerte zeigen, dass eine Diffusion stattgefunden hat ➤ Trotz, dass die Diffusionsstäbe wie vorgeschrieben auf dem Sarg standen, zeigt sich Leichenlipid ➤ Damit hat die Maßnahme zumindest im Beobachtungszeitraum in dem nassen Milieu nicht ausgereicht
3C	Versuch 4 Pilzkultur	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Die Pilzkultur hat das Sargholz nicht angegriffen ➤ Der Pilz scheint daher in der Tiefe des Erdgrabes nicht gewachsen zu sein
3H	Versuch 3 Bodenhilfsstoffe Bio Terra	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Im Grab stehendes Wasser ➤ Bodenhilfsstoffe ohne sichtbare Auswirkung
3B	Versuch 5 Druckluft	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Zwar war Leichenlipid nachweisbar, aber auch Wachstum von Pilzen ➤ Daher ist im Verlauf ein Abbau durchaus möglich ➤ Zudem durch die Wurzeln das Grab recht trockengelegt wurde
3E	Versuch 2 Bodenhilfsstoffe Fa. Neudorff	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Trotz sich im Grab befindenden Wassers ist es eher zu weniger Leichenlipid gekommen ➤ Auch hier zeigte sich eine gute Anwendung mit korrekter Platzierung der Lanze
3F	Versuch 1 Blähton	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Dort wo Blähton an der Leiche zu sehen ist, ist kein Leichenlipid zu finden ➤ Sogar kleine Larven fallen auf ➤ Insgesamt ist wenig Leichenlipid nachweisbar

Fazit der Eröffnung

Es war in allen eröffneten Gräbern noch Leichenlipid nachweisbar, teilweise war jedoch ein aerober Zustand zu beobachten.

4.1.3. Zusätzliche Erkenntnisse

Einfluss des Niederschlags

Schon bei den Gasprobenentnahmen war hin und wieder Wasser in den Probeentnahmerohren aufgefallen, allerdings nur im Bereich des Feldes I und II, also in den abschüssigen Teilen des Reihengrabfeldes, die an den Weg angrenzten. Als im Mai mehrere unserer Versuchsgräber geöffnet wurden fiel dabei ebenfalls stehendes Wasser in einigen Gräbern auf, trotz der wenigen Niederschläge in den Monaten zuvor, denn bis zur Eröffnung der Gräber war es ein eher trockenes Jahr (Niederschlagsmenge im Januar: 132mm/a, Februar: 42,5mm/a, März: 32,5mm/a, April: 45mm/a). Der „Wasserüberschuss“ stammt hier nicht von hohen Grundwasserspiegeln, sondern von den Quellaustritten auf dem Friedhof sowie von Staueinflüssen.

→ Siehe Foto Nr.1 im Anhang: „Wasserbelastung“ eines eröffneten Grabes

Temperaturmessungen

Die Temperatur wurde bei dieser Versuchsreihe sporadisch gemessen. Im Juli um 12.00 Uhr wurde bei den Gräbern des Versuchs V die Temperatur einmal auf dem Sarg und einmal genau über den Rohren zur Probeentnahme gemessen, hierbei zeigten sich folgende Werte:

innen/außen, in Grad Celsius gemessen:

Grab 1A: 16,4°/ 18,8° Grab 2G: 16,1° / 18,1° Grab 3B: 17,0°/ 18,6°

Grab 4A: 16,1°/ 18,2° Grab 5H: 16,2°/18,1°

Im September desselben Jahres wurde die Temperatur in allen Gräbern gemessen. Hier betrug die Durchschnittstemperatur 8,2 Grad Celsius in den Probeentnahmerohren bei einer Außentemperatur von 11,7°C.

Die Werte zeigen, dass die Temperaturen im Grab sich unter denen der Außenluft befinden und sich in Größen bewegen, die eine Degradation problemlos möglich machen.

Geruch

Es wurde zu keiner Zeit eine subjektive Geruchsbelästigung außerhalb der Gräber festgestellt.

4.1.4. Zusammenfassung

- Im Verlauf zeigte sich eine Erhöhung der Sauerstoffkonzentration in den meisten Versuchsreihen.
- Es fiel ein Zusammenhang zwischen vorliegendem Stauwasser, der Vegetation und den Sauerstoffkonzentrationen auf.
- Es imponierte eine deutliche Erhöhung der Sauerstoffkonzentrationen in den Gräbern mit den Prophylaxemaßnahmen.
- Bei den Graberöffnungen konnte nach zweieinhalb Jahren Verlaufsdauer noch Leichenlipid in allen Gräbern nachgewiesen werden.

4.2. Grabkammern der Firma Ackermann

Es handelt sich um zwei Versuchsreihen mit beinahe gleichem Versuchsaufbau: Versuch 1 (mit dem Schwein Elsa) und Versuch 2 (mit Schwein Elisa).

Die Temperatur- und Luftfeuchtheitsmessungen vom Versuch 1 erstreckten sich über den Zeitraum von zweieinhalb Jahren. Die dazugehörigen Beobachtungen des Degradationsverlaufs wurden über einen Zeitraum von 5 Jahren durchgeführt.

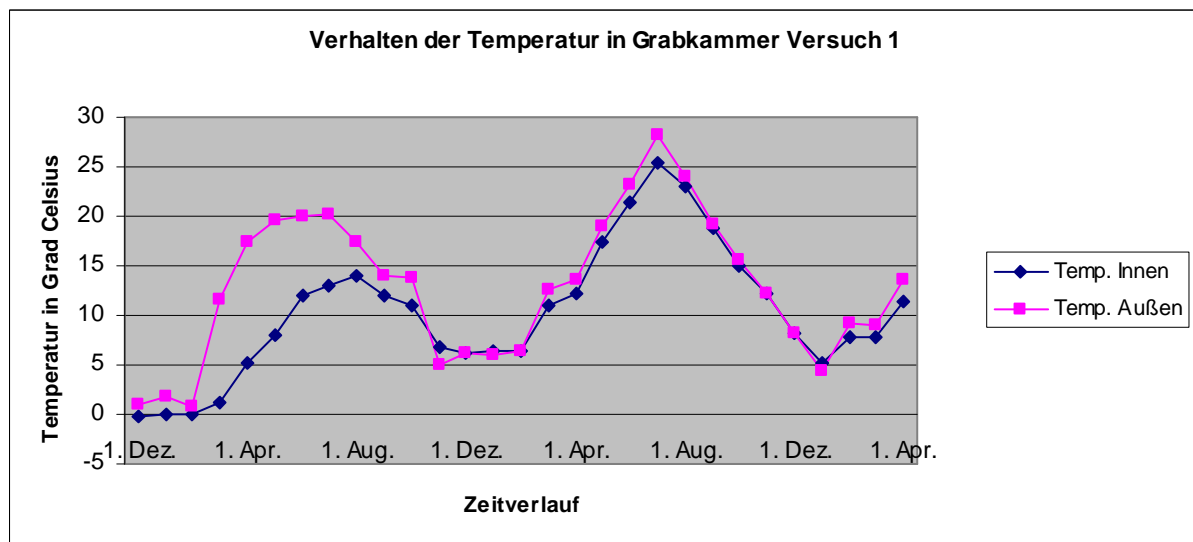
Die Temperatur- und Luftfeuchtheitsmessungen vom Versuch 2, welcher ein Jahr nach Beendigung des Versuchs 1 begann, erstreckten sich über den Zeitraum von einem Jahr. Die dazugehörigen Beobachtungen des Degradationsverlaufs wurden über eineinhalb Jahre in regelmäßigen Abständen durchgeführt.

4.2.1. Ergebnisse der Temperaturmessungen

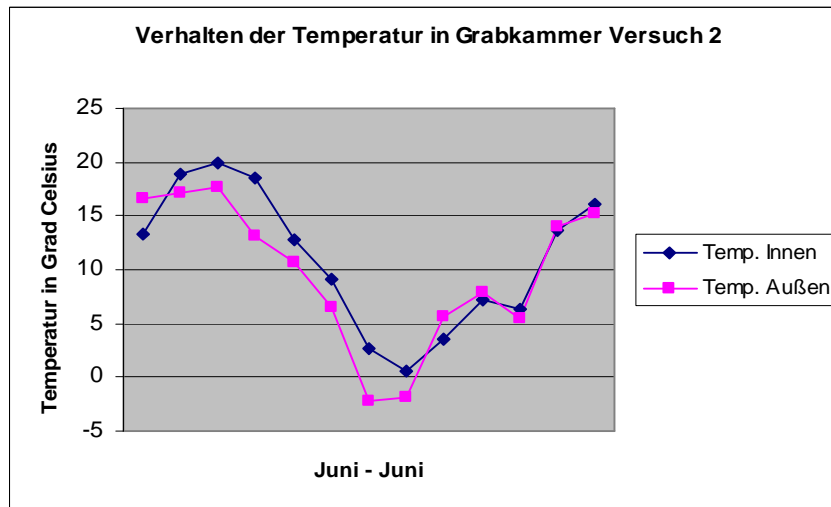
Die Auswertung der Temperaturmessungen ergab in beiden Versuchen ein ähnliches Ergebnis.

Aufgrund der großen Menge der erhobenen Daten (täglich ein bis zwei Temperaturmessungen über einen Zeitraum von 2 1/2 Jahren bei Versuch 1, bzw. einem Jahr bei Versuch 2) wurde der Mittelwert der täglichen Temperaturmessungen jedes Monats berechnet (siehe Grafik Nr. 21 und 22). Ziel sollte sein, einen Zusammenhang zwischen der Temperatur in der Grabkammer und der Außentemperatur herzustellen.

Grafik Nr.21: Temperaturentwicklung im Jahresverlauf Versuch 1



Grafik Nr.22: Temperaturentwicklung im Jahresverlauf Versuch 2

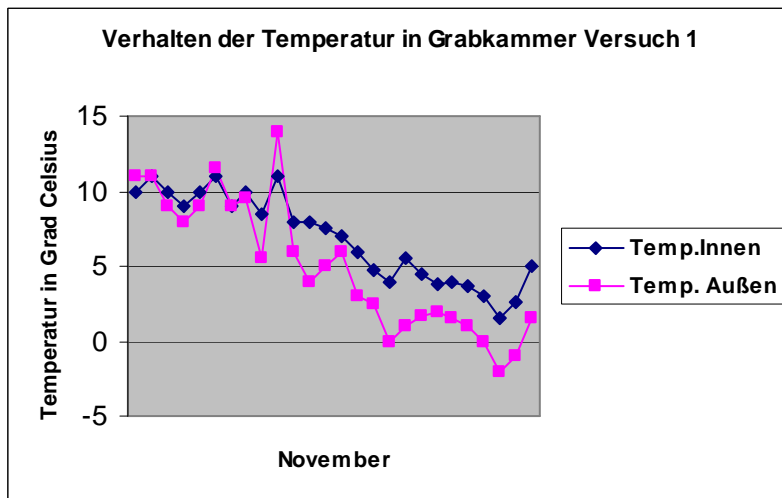


Die Außentemperaturen schwankten während des Messzeitraums zwischen -8° und 32° Grad Celsius (Versuch 1) und -14° und 28° Grad Celsius (Versuch 2). Die Kammerinnentemperaturen lagen fast durchweg über 0° Celsius, nur gelegentlich knapp unter dem Gefrierpunkt. Der niedrigste gemessene Wert in der Kammer betrug Minus 2° Celsius, als höchste Kammertemperatur wurde 27° Celsius (Versuch 1), bzw. 21° Celsius (Versuch 2) gemessen.

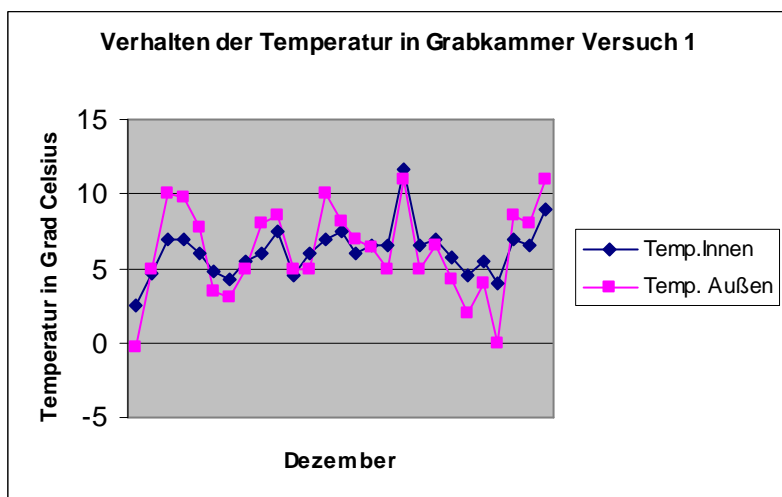
- Insgesamt verliefen die Temperaturschwankungen in den Kammern wesentlich moderater als in der Umgebung, die Außentemperatur zeigte wesentlich stärkere Ausschläge
- Der Temperaturanstieg, bzw. -abfall erfolgte in der Kammer mit zeitlicher Verzögerung zur Außentemperatur
- Im Kammerinneren herrschte ein relativ konstantes Milieu, zudem sich zeigte, dass die Temperatur hier nie lange unter Null Grad Celsius sank

Zur Darstellung der täglichen Temperaturschwankungen wurden exemplarisch die Ergebnisse der täglichen Temperaturmessungen zweier Monate aus den Messdaten der zweieinhalb Jahre des Versuch1 herausgegriffen (siehe Grafik Nr. 23 und 24). Diese zeigen alle gemessenen Temperaturen des jeweiligen Monats.

Grafik Nr.23: Temperaturentwicklung im Monatsverlauf Versuch 1 (November)

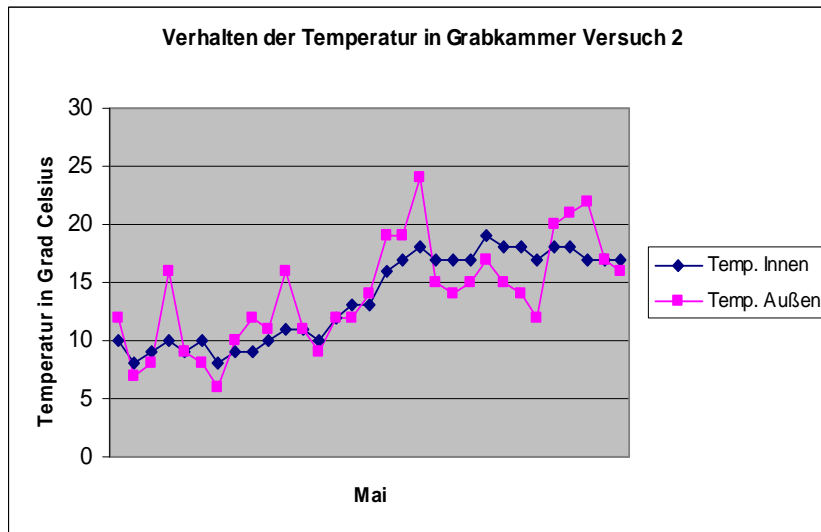


Grafik Nr.24: Temperaturentwicklung im Monatsverlauf Versuch 1 (Dezember)

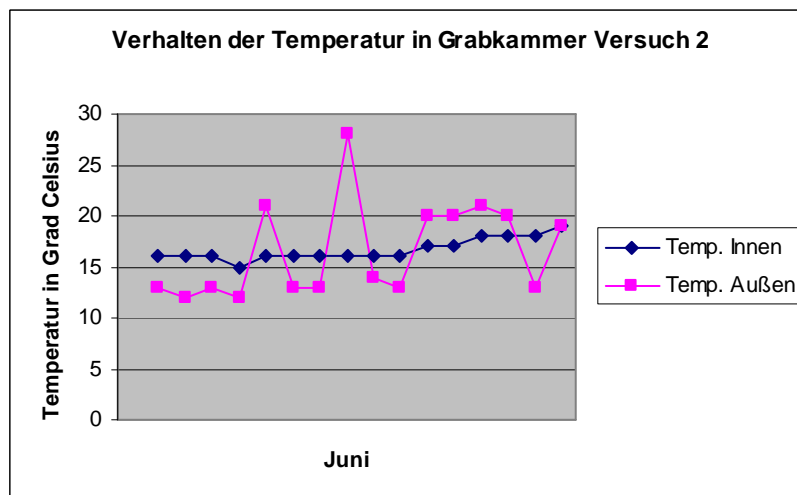


Aus den Daten des Versuchs 2 wurde ebenfalls zwei Monate, diesmal Sommermonate zur Darstellung der täglichen Temperaturschwankungen herausgegriffen (siehe Grafik Nr. 25 und 26):

Grafik Nr.25: Temperaturentwicklung im Monatsverlauf Versuch 2 (Mai)



Grafik Nr.26: Temperaturentwicklung im Monatsverlauf Versuch 2 (Juni)



- Die Kurven der täglichen Temperaturmessungen beider Versuchsreihen zeigen, wie bereits die Kurven der Jahresverläufe, wenige Schwankungen der Innentemperatur und die zuvor beschriebene Abhängigkeit von der Außentemperatur.

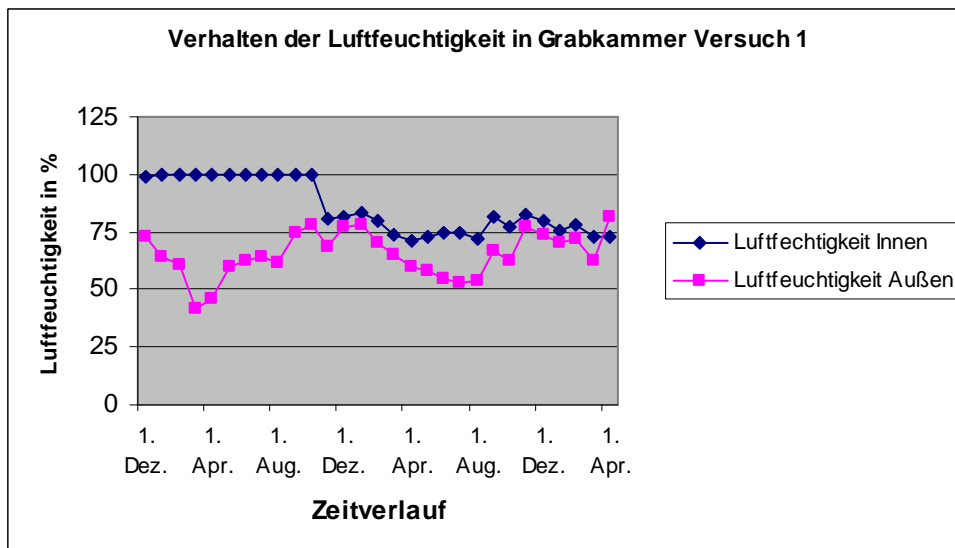
4.2.2. Zusammenhänge Luftfeuchtigkeit

Auch die Auswertung der Luftfeuchtigkeitsmessungen ergab in beiden Versuchen ein ähnliches Ergebnis.

Auffallend war die bis auf wenige Ausnahmen konstante Luftfeuchtigkeit von 100% im Innenraum der Kammer zu Beginn des Versuchs 1. Nach Wechsel einer Dichtung zur Verhinderung des Auftretens von Sickerwasser kam es dann zum Abfallen der Luftfeuchtigkeitswerte, wonach die Werte sich zwischen 70 und 90% bewegten. Der Schwerpunkt der Messergebnisse lag dann zwischen 70 und 80%, bei einem Monatsdurchschnitt von 76%. Die Luftfeuchtigkeit im Versuch 1 zeigte außerhalb der Kammer in der Umgebung stark schwankende Werte zwischen 30 und 97%.

Auch für die Luftfeuchtigkeit wurde der Monatsmittelwert der täglichen Messungen über einen Zeitraum von zweieinhalb Jahren bei Versuch 1 ermittelt (siehe Grafik Nr. 27).

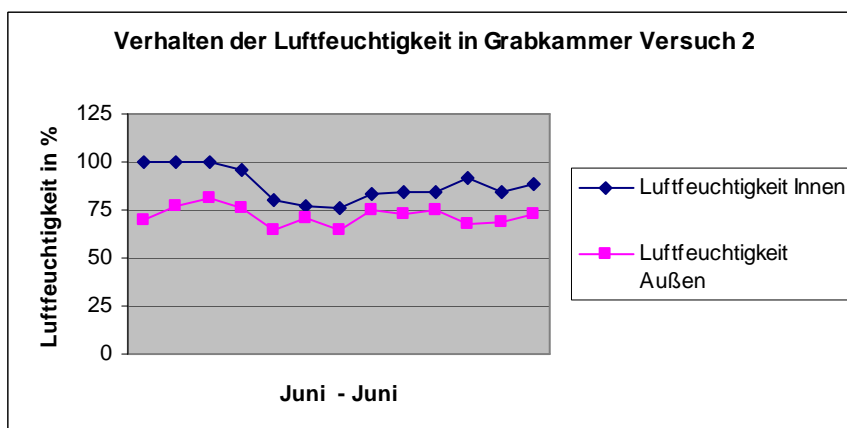
Grafik Nr.27: Darstellung der Monatsmittelwerte der Luftfeuchtigkeit in der Grabkammer Versuch 1



- Es zeigten sich geringe Schwankungen der Luftfeuchtigkeit im Inneren, damit herrschte ein recht konstantes Milieu
- Zusätzlich zeichnete sich eine höhere Luftfeuchtigkeit als außerhalb ab
- Wie schon bei dem Temperaturverhalten folgte die Luftfeuchtigkeit im Inneren verzögert der Umgebung
- Dies zeigt, dass ein Austausch mit der Umgebung stattfindet
- Mumifizierungen sind bei diesen hohen Luftfeuchtigkeitswerten im Inneren nicht zu erwarten

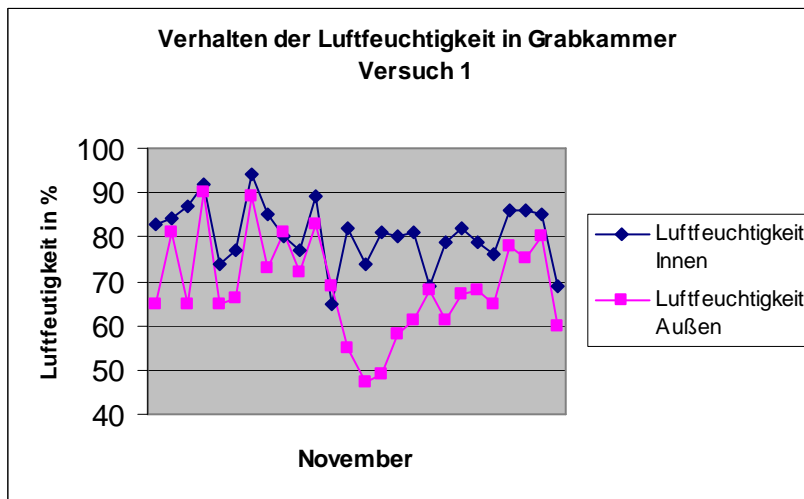
Dies bestätigte sich im Versuch 2 (siehe Grafik Nr.28): Hier bewegten sich die Luftfeuchtigkeitswerte im Kammerinneren zwischen 46 und 100%. Der Monatsmittelwert im Inneren lag nie unter 76%. Luftfeuchtigkeit. 75% aller Werte lagen über 80% Luftfeuchtigkeit. Damit zeigte sich wiederum ein relativ konstantes Milieu, im Gegensatz zu den schwankenden und deutlich niedrigeren Luftfeuchtigkeitswerten außerhalb der Grabkammer (zwischen 40 und 96%, bei einem durchschnittlichen Monatsmittelwert von 70%). Auch bei Versuch 2 wurde der Monats-Mittelwert aus den über ein Jahr erfolgten täglichen Messungen der Luftfeuchtigkeit gebildet (siehe Grafik Nr. 28).

Grafik Nr.28: Darstellung der Monatsmittelwerte der Luftfeuchtigkeit in der Grabkammer Versuch 2

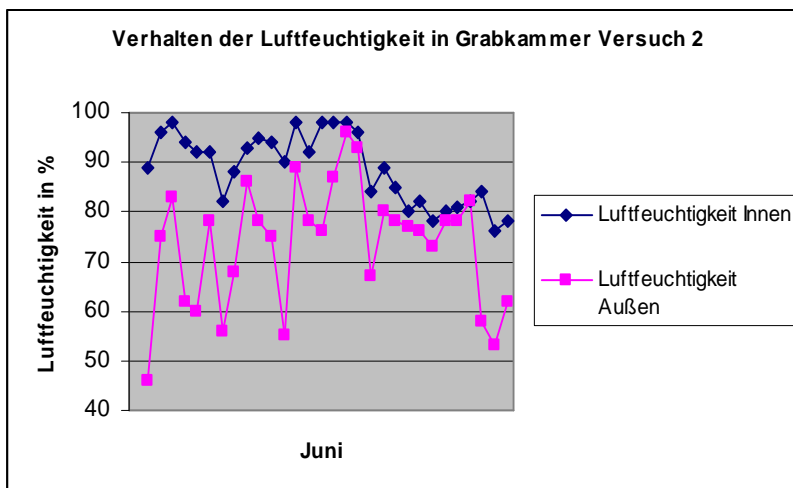


Wiederum wurde zur Verdeutlichung der täglichen Schwankungen der Luftfeuchtigkeit jeweils ein Monat aus jeder Versuchsreihe herausgegriffen. Die Grafiken Nr. 29 (Versuch 1) und Nr.30 (Versuch 2) zeigen alle gemessenen Luftfeuchtigkeitswerte des jeweiligen Monats.

Grafik Nr.29: Darstellung der täglichen Luftfeuchtigkeitsmessungen in Grabkammer Versuch 1 (November)



Grafik Nr.30: Darstellung der täglichen Luftfeuchtigkeitsmessungen in Grabkammer Versuch 2 (Juni)



→ Auch bereits an den Kurven der täglichen Messungen ist zu sehen, wie konstant sich die Luftfeuchtigkeit im Inneren der Grabkammer hält.

4.2.3. Degradationsverlauf

Versuch 1 mit Schwein Elsa

Die makroskopischen Begutachtungen des Kadavers und die Beurteilungen der Kammer und des Sarges, sowie des Geruchs wurden im Verlauf über knapp 5 Jahren festgehalten.

Tabelle Nr.5: Degradationsverlauf in der Grabkammer Versuch 1

Zeitverlauf	Verwesungsstand von Schwein Elsa Versuch 1	Zustand der Kammer ,des Sarges/ Geruch
	Beisetzung	
Nach 3 Tagen (Dezember)	- Keine Fäulnis - Totenflecken und Totenstarre - Blutige Areale	- Kammer leicht feucht - Riecht nach Schwein
Nach 1 Monat (Januar)	- Rötliche Fäulnisflüssigkeit im Bereich der Schnauze - Weißlicher „Rasen“ im Bauchbereich	- Beginnender Fäulnisgeruch, überdeckt vom Geruch nach Schwein
Nach 3 Monaten (März)	- Deutliche Fäulniszeichen - Pilzrasen zugenommen - Muskeln noch rot	- Kammer trocken - Deutlicher Fäulnisgeruch
Nach 5 Monaten (Mai)	- Ausgeprägte Fäulnis mit Blasenbildung - Zahlreiche tote Fliegenmaden (bis knapp 1 cm lang)	- Kammer am Kopfende leicht feucht, sonst trocken - Ausgeprägter Fäulnisgeruch
Nach 7 Monaten (Juli)	- Deutliche Verwesungserscheinungen - Kleine Fliegen und Käfer, sowie abgestorbene Fliegenlarven - Fett weich, zum Teil flüssig - Muskel schaumig, lachsfarben bis grau	- 0,5cm Wasser im Kopfbereich unter der Kiste - Stärkster Fäulnisgeruch (Ammoniak)
Nach 8 Monaten (August)	- Tote und lebende Maden und Fliegen - Haut zum Teil derb, leicht mumifiziert, - Weichteile deutlich schmierig, grau-rötlich - Bauch gasgebläht	- Boden fast vollständig bis ca 0,5 cm mit Wasser bedeckt - Geruch weniger als bisher
Nach 10 Monaten (Oktober)	- Wenig Fliegen - Bauchdecke zerfällt	- Vermehrt Wasser, jedoch Schwein in der Kiste im Trockenen

Nach 15 Monaten (März)	<ul style="list-style-type: none"> - Ausgedehnter Pilzrasen - Fett weich, Muskel noch rotbraun 	<ul style="list-style-type: none"> - Trotz neuer Dichtung 1cm Wasser in Kammer - Mäßiger Geruch
Nach 17 Monaten (Mai)	<ul style="list-style-type: none"> - Kadaver eingefallen, - Pilzrasen reduziert - Muskel weich, grün-rot - Fett schaumig, weich 	<ul style="list-style-type: none"> - Wasser nun ca. 8-10 cm hoch
Nach 20 Monaten (August)	<ul style="list-style-type: none"> - Deutlicher Pilzrasen - Oberste Hautschicht derb, fest 	<ul style="list-style-type: none"> - Kiste intakt, Tücher feucht - Kammer feucht, nur noch wenig Wasser stehend
Nach 23 Monaten (November)	<ul style="list-style-type: none"> - Schwein deutlich geschrumpft - Haut derb, gut schneidbar - Fett weiß und fest - Muskel in der Tiefe rot-grau gestuft - keine Gasblähung mehr - weißlicher Pilzrasen intensiver 	<ul style="list-style-type: none"> - Bei starkem Regen steht Wasser im Bereich des Kopfes - Kiste nicht im Wasser - Fäulnisgeruch mäßig
Nach 29 Monaten (Mai)	<ul style="list-style-type: none"> - Weniger Pilzrasen - Einzelne kleine schwarze Käfer - Fett verflüssigt - Keine Blähung 	<ul style="list-style-type: none"> - Kammer feucht, ohne Wasserspiegel
Nach 37 Monaten (Januar)	<p>Verlegung der Grabkammer</p> <ul style="list-style-type: none"> - Corpus deutlich verschmächtigt - Bauch eingefallen - Ausgeprägter Pilzrasen - Keine Mumifizierung - Fußknöchel liegen frei, - Schädel zum Teil frei - Im Schädel kleines Nest von Würmern - Fett sehr weich, keine Adipocire 	<ul style="list-style-type: none"> - Kein Geruch beim Abheben des Sargdeckels
Nach 42 Monaten (Juni)	<ul style="list-style-type: none"> - Schwein deutlich reduziert, nur noch Fettgewebe erhalten - Beinknochen und Schädelteile frei liegend - Fäulnisflüssigkeit mit Maden und schwarzen Käfern - Fett im Bauchbereich brüchig 	<ul style="list-style-type: none"> - Weißlicher Pilzrasen auf Kiste - Sargdeckel noch gut erhalten - Vermehrt Fäulnisgeruch

Nach 45 Monaten (September)	<ul style="list-style-type: none"> - Pilzrasen weniger - Fett brüchig, schmierig - Muskel im Schnitt nicht mehr nachzuvollziehen - Fragl. beginnende Fettwachsbildung an kleinen Stellen 	<ul style="list-style-type: none"> - Kammerboden ca 2 cm mit Wasser bedeckt - Deutliche Feuchtigkeit in der Kiste - Kein Geruch
Nach 55 Monaten (Juli)	<ul style="list-style-type: none"> - Konturen nicht mehr nachzuvollziehen - Kleine weißliche Tierchen - Teilweise Hydrolyse des Fettes - Teilweise Fett fest - Verdacht auf „Adipocire“ bestätigt sich nicht 	<ul style="list-style-type: none"> - Kammerboden ca 4-5 cm mit Wasser bedeckt - Kiste intakt, Deckel zu
Nach 59 Monaten (November)	<ul style="list-style-type: none"> - Knochen leicht zu lösen - An oben liegender Seite Fett fest und höckelig - Bodenliegende Anteile schmierig mit erweichtem Fett - Keine Mumifikation - Keine „Adipocire“ - Weiterhin weiße Tierchen - Beinahe unverändert zu Juli 	<ul style="list-style-type: none"> - Kammerboden noch etwas mit Wasser bedeckt - Geruch modrig

- Siehe Foto Nr.8 im Anhang von dem toten Schwein nach 5 Jahren

Besonderheiten:

Nach einem Jahr wurde ein Wechsel der Dichtung vorgenommen, um so das Eindringen von Wasser zu vermeiden. Im Verlauf erfolgten nach einem halben Jahr noch einmal ein Dichtungswechsel und eine Fugenabdichtung. Nach dem Einlegen des Dichtungsbandes wurde kein nennenswertes Eindringen von Sickerwasser mehr beobachtet.

Aufgrund einer Standortauflösung und dem damit verbundenem Wechsel des Versuchsgeländes und der Grabkammer, wurde nach etwas mehr wie drei Jahren das Schwein umgebettet.

Versuch 2 mit Schwein Elisa:Tabelle Nr.6: Degradationsverlauf in der Grabkammer Versuch 2

Zeitverlauf	Verwesungszustand von Schwein Elisa (Versuch 2)
	- Versuchsbeginn
Nach 3 Tagen (Juni)	- Schwein grünlich verfärbt, stark gebläht und gespannt - Deutlicher Fäulnisgeruch
Nach 3 Monaten (September)	- Deutlicher Fäulnisgeruch - Mulch ca. 5 cm gesunken - Schwein in Form gut erkennbar - Gasblähung rückläufig - Oberfläche weiß - Keine Lebewesen - Sarg beginnt nachzugeben - Beginnender Pilzrasen - In Kiste viel Fäulnisflüssigkeit
Nach 13 Monaten (Juli)	- Matrix um ca. 5-7 cm gesunken - Ausgedehnter Pilzrasen - Fett und Haut fest, Muskel im Halsbereich erhalten - Deutlicher Fäulnisgeruch - Sargboden feucht
Nach 17 Monaten (November)	- Matrix gesunken - Feuchter, weißlicher Pilzrasen auch über der Kiste (bis auf Kieferholz) - Geringer Geruch - Fett , Muskeln und Kontur erhalten - Keine Mumifikation, keine „Adipocire“

Fazit der makroskopischen Begutachtungen der beiden Versuche:

Bereits einen Monat nach der Beisetzung des Schweins aus Versuch 1 war ein deutlicher Pilzrasen auszumachen, der sich im Weiteren flächig ausbreitete. Damit war zu diesem Zeitpunkt bereits das Stadium der Verwesung erreicht. Nach zwei Jahren zeigten sich das Fettgewebe und die Muskulatur bereits erweicht und rotbräunlich gefärbt. Die Kadaverzersetzung hatte, angezeigt durch den starken Pilzbewuchs, in wesentlichen Teilen den Grad der Verwesung erreicht. Die Weichteilmasse hatte abgenommen. Zustände einer Mumifikation oder Fettwachsbildung waren nicht beobachtet worden. Nach beinahe 5 Jahren zeigte sich eine deutlich volumenreduzierte Kadaverrestmasse. Das Gewebe an der Kadaverunterseite und den seitlichen Partien waren weich, zum Teil breiig – schmierig. An der Kadaveroberseite zeigte sich festes, gut schneidbares nicht mumifiziertes Gewebe. Der ausgeprägte Pilzbesatz, der makroskopisch gut sichtbar war, konnte auch histologisch nachvollzogen werden (Einwachsen der Pilzhyphen). Im Bereich des Schädels und der Beine lagen knöcherne Skelettanteile bereits frei. Im Versuch 2 zeigte sich eine beginnende Reduktion der Weichteilmassen durch die Fäulnis- und Verwesungsvorgänge bereits nach einem Jahr. Zu Mumifizierungen und „Adipocirebildung“ kam es in beiden Versuchen nicht.

4.2.4. Zusätzliche Erkenntnisse

Geruch:

Die Erhebung der subjektiven Geruchsbelästigung ergab, dass zu keinem Zeitpunkt bei geschlossenem Deckel der Kammer in der Umgebung Fäulnisgeruch wahrgenommen werden konnte. Bei Anhebung des Deckels jedoch kam es im Verlaufe des Jahres, in Abhängigkeit von der Temperatur zu Zersetzungsgeruch von unterschiedlicher Intensität.

Luftdruck

Die Messungen des Luftdrucks im Versuch 1 wurden nach einem Jahr eingestellt, da sie methodisch bedingt sehr schwankende Ergebnisse erbrachten. Im Versuch 2 wurde der Luftdruck daher nicht mehr gemessen.

Es fiel bei den Messungen des Versuchs 1 jedoch auf, dass je stärker die Luftdruckschwankungen waren, desto schneller zog die Temperatur im Grab-Inneren nach. Allerdings konnte aufgrund der ungenauen Ergebnisse keine endgültige Aussage getroffen werden.

4.2.5. Zusammenfassung

Zusammengefasst konnte für beide Versuche gezeigt werden:

- eine deutliche Abhängigkeit der Grab-Innentemperatur von der Außentemperatur
- moderate Temperaturschwankungen im Inneren der Kammern
- damit der Beleg, dass ein rascher Austausch zwischen dem Innern der Kammer und der Umgebung stattfand
- relativ konstante Luftfeuchtigkeit im Inneren der Kammern
- keine wahrnehmbare Geruchsbelästigung über den ganzen Zeitraum oberhalb der Grabkammer
- es kam zu keiner Leichenlipidbildung oder Mumifikation
- im Gegenteil: nach Ende der fünf Jahre bei Versuch 1 zeigte sich eine deutliche Degradation
- ebenso wurde bei Versuch 2 ein rasches Eintreten der Verwesung festgestellt
- Die Veränderungen im Versuch 2 führten, soweit dies in der kurzen Zeit und mit den erhobenen Daten zu beurteilen ist, zu einer rascheren Verwesung als in Versuch 1

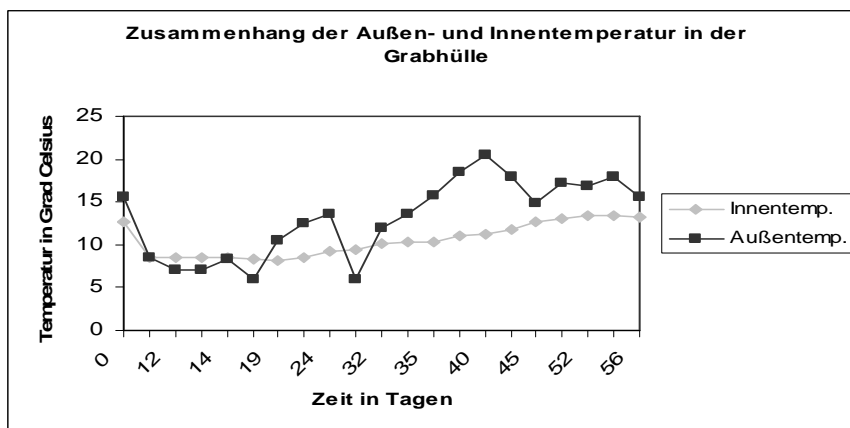
4.3. Grabhülle der Firma Weihe

Auch bei der Versuchsreihe mit der Grabhülle der Firma Weihe wurden regelmäßig Temperatur- und Gasprobenmessungen durchgeführt. Zusätzlich wurde der Degradationsverlauf des in der Hülle begrabenen Schweines dokumentiert.

4.3.1. Ergebnisse der Temperaturmessungen

In einem Vorversuch wurden über 66 Tage täglich die Außentemperatur und die Temperatur innerhalb der Grabhülle abgelesen. Der Verlauf der Temperaturkurven bestätigte die Ergebnisse der Grabkammerversuch, auch hier zeigte sich eine moderate Temperatur im Inneren ohne größere Ausschläge (siehe Grafik Nr. 31).

Grafik Nr.31: Darstellung der täglichen Temperaturmessungen in der Grabhülle und der Umgebung



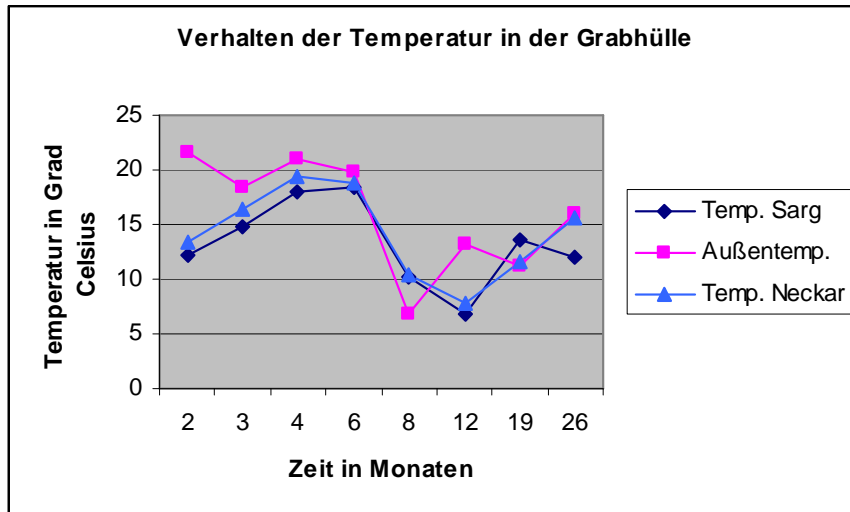
Im Rahmen des Hauptversuches wurden regelmäßig über einen Zeitraum von 2 Jahren (Mai bis Mai) die Temperaturen im Sarg, im Meßrohr, im benachbarten Neckarwasser und in der Außenluft gemessen. Die acht Messungen in dieser Zeit finden sich in Tabelle 7.

Tabelle Nr.7:Temperaturmessungen in der Grabhülle und in der Umgebung

Zeit nach Beginn	Temp. im Sarg	Temp. Außen	Temp. im Meßrohr	Temp. im Neckar
Nach 2 Monaten (Mai)	12,3	21,6	11,2	13,5
Nach 3 Monaten (Juni)	14,9	18,5	14,2	16,4
Nach 4 Monaten (Juli)	18,1	21,0	15,9	19,4
Nach 6 Monaten (September)	18,4	19,8	18,2	18,8
Nach 8 Monaten (November)	10,3	6,8	11,2	10,5
Nach 12 Monaten (März)	6,8	13,2	6,5	7,8
Nach 19 Monaten (Oktober)	13,6	11,2	11,0	11,7
Nach 26 Monaten (Mai)	12,1	16,1	12,4	15,6

Die folgende Grafik (Nr.32) zeigt die Zusammenhänge der Temperaturentwicklung, gemessen im Sarg und außerhalb des Grabes und im benachbarten Neckarwasser. Die Temperaturkurve der Messungen aus dem Meßrohr wurde zur Veranschaulichung weggelassen.

Grafik Nr.32: Darstellung der Monatswerte der Temperaturmessungen



Die Temperatur im Sarginnenraum lag mit Werten zwischen 7 und 18 °C in einem Bereich, in dem Degradationsvorgänge zu erwarten sind. In der Hülle zeigte sich erwartungsgemäß ein wesentlich gemäßigter Verlauf der Temperatur, als in der Umgebung. Der Vergleich mit den Wassertemperaturen zeigte, dass die Temperatur im Grabraum offensichtlich wesentlich vom umströmenden Wasser des Grundstroms abhing.

4.3.2. Ergebnisse der Gasproben

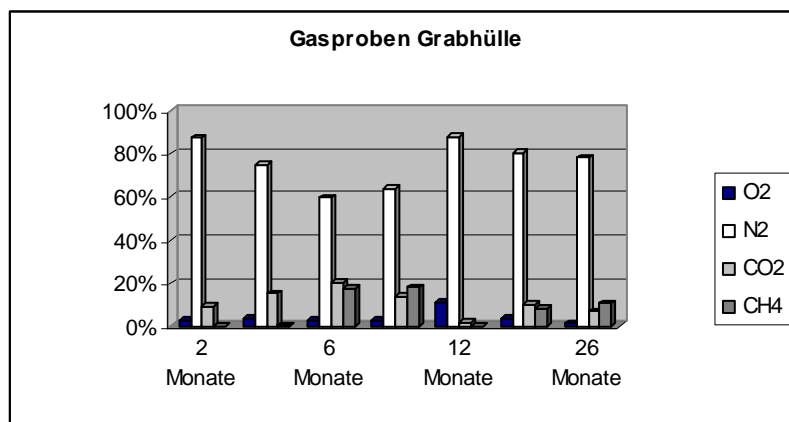
Es wurde zwei Monate nach der Beisetzung eines Schweins in der Grabhülle Weihe mit den regelmäßigen Gasprobenmessungen über einen Zeitraum von 26 Monaten begonnen (siehe Tabelle Nr. 8 und Grafik Nr.33).

Tabelle Nr.8: Gasprobenmessungen in der Grabhülle

Zeit nach Beginn	O ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄	H ₂
Nach 2 Monaten	3,1	87,4	9,5	0,1	n.n.
Nach 3 Monaten	3,8	75,0	15,3	0,6	n.n.
Nach 6 Monaten	3,1	59,5	20,5	17,5	n.n.
Nach 8 Monaten	2,7	64,0	13,8	18,2	n.n.
Nach 12 Monaten	(11,3)	87,9	2,1	0,0	n.n.
Nach 19 Monaten	3,6	80,3	10,2	8,2	n.n.
Nach 26 Monaten	1,5	77,9	7,2	10,8	n.n.

- Wie aus den Daten der Gasproben-Analysen hervorgeht, ist ein Gasaustausch durch das Belüftungssystem möglich. Allerdings zeigten die relativ niedrigen Sauerstoff-Konzentrationen, dass dieser verzögert ablief
- Der höchste CO₂-Wert wurde im September gemessen, der niedrigste CO₂-Wert im März
- H₂ konnte in keiner Probe nachgewiesen werden

Grafik Nr.33: Darstellung der Gasprobenergebnisse Grabhülle



4.3.3. Degradationsverlauf

Tabelle Nr.9: Degradationsverlauf des Schweins in der Grabhülle

	Degradationsverlauf
	Versuchsbeginn
Nach 2 Monaten	<ul style="list-style-type: none"> > erst beim Öffnen der Schleuse Fäulnisgeruch, kein Ammoniakgeruch > keine Flüssigkeitsansammlung > Kadaver gebläht, Konturen erhalten > Haut trocken > kein Pilzrasen
Nach 3 Monaten	<ul style="list-style-type: none"> > erst beim Öffnen der Schleuse Fäulnisgeruch > keine Flüssigkeitsansammlung > Kontur noch erhalten > Haut beginnend weißlich gefärbt > kein Pilzrasen
Nach 4 Monaten	<ul style="list-style-type: none"> > erst beim Öffnen der Schleuse Fäulnisgeruch > keine wesentliche Flüssigkeitsansammlung > Kadaver nur wenig gebläht, Kontur erhalten > Haut fleckförmig, weißlich gefärbt, offensichtlich Fettanteile > einzelne kleinere schwärzliche Verfärbungen
Nach 6 Monaten	<ul style="list-style-type: none"> > nach dem Öffnen der Schleuse deutlicher Fäulnisgeruch > wegen technischem Defekt keine endoskopische Untersuchung möglich
Nach 8 Monaten	<ul style="list-style-type: none"> > nach dem Öffnen deutlicher Fäulnisgeruch > keine wesentliche Flüssigkeitsansammlung > Sarg nicht eingebrochen > Sarg schwärzlich gefärbt mit weißlichen Pilzflecken > Kadaver ist eingefallen, Kontur nur grob erhalten > Oberfläche des Kadavers zeigt weißliche Bestandteile > wenig feuchtes Material

<p>Nach 12 Monaten</p>	<ul style="list-style-type: none"> > nach dem Öffnen der Schleuse deutlicher Fäulnisgeruch > kein Wassereinbruch (trotz überflutetem Gelände) > Sarg nicht eingebrochen > Sarg schwärzlich gefärbt mit weißlichen Pilzflecken > Kadaver ist eingefallen, Kontur nur noch grob erhalten > deutlich volumengemindert > Oberfläche des Kadavers zeigt deutliche Einrisse mit weißlichen Bestandteile > wenig feuchtes Material
<p>Nach 19 Monaten</p>	<ul style="list-style-type: none"> > Grabbereich wirkt leicht eingesunken > nach dem Öffnen der Schleuse deutlicher Fäulnisgeruch > kein Wassereinbruch > Sarg nicht eingebrochen > Sarg schwärzlich gefärbt mit weißlichen Pilzflecken > Kadaver ist eingefallen, Kontur nur noch grob erhalten > deutlich volumengemindert > Oberfläche des Kadavers weiterhin mit weißlichen Bestandteilen > wenig feuchtes Material

Tabelle Nr.10: Degradationsverlauf Referenzgrab mit Grabhülle

	Eröffnung des Referenzgrabes
Nach 26 Monaten	<ul style="list-style-type: none"> > Erdoberfläche ist kühlenförmig eingesunken > Entlüftungsrohre unversehrt und lagegerecht > Erdreich durchfeuchtet und durchwurzelt (von benachbartem Baum) > Grabhülle eingesunken > auf der Hülle eine Wasseransammlung von ca. 50l > Hülle oben unversehrt, Innen trocken > nach Freilegung der Umgebung: Grabhülle liegt im Wasserniveau > Sarg ist eingebrochen > Sargdeckel von innen schwärzlich verfärbt, Holz weichschwammig > Sarginnenraum trocken > auf dem Kompost weißliche Pilzherde > Kadaver mit kleinfleckigen pilzartigen Antragungen > Oberfläche mit einer feuchten fettartigen Substanz überzogen > nirgends ausgehärtet > Weichteile im Anschnitt erkennbar geschichtet > Muskulatur schmutzig-blassrot getönt > Fett graugrün-weisslich > Fettflüssigkeit in Bauchhöhle nicht erkennbar > innere Organe platt gedrückt, fortgeschritten degradiert

Die Eröffnung des Referenzgrabes zeigte, dass die Verwesung ähnlich weit fortgeschritten war wie bei dem Grab, welches regelmäßig beprobt worden war. Daraus kann man ableiten, dass es zu keiner Verfälschung des Degradationsverlaufs durch die Messungen gekommen war.

Fazit:

Der Tierkadaver zeigte bei Versuchsende eine deutliche Volumenminderung und eine fortgeschrittene Zersetzung, eine Umwandlung zu Leichenlipid konnte nicht festgestellt werden. Die Veränderungen des Sargholzes und das Pilzwachstum belegen, dass in der Grabhülle bereits aerobe Zersetzungs Vorgänge abliefen.

4.3.4. Zusammenfassung

Nach zwei Jahren zeigte sich eine fortgeschrittene Degradation. Die unter diesen Bedingungen zu erwartende Umwandlung zu Leichenlipid wurde nicht festgestellt. Der Hülleninnenraum war frei von Wasser, trotz der Lage im Wasserniveau und obwohl das Gelände mehrere Male überflutet wurde und das Wasser in das Grab eingebrochen war. Ein Wassereintritt erfolgte also weder durch die Hülle, noch durch die Be- und Entlüftungsrohre.

Zudem war an der Erdoberfläche zu keinem Zeitpunkt Fäulnisgeruch bemerkbar.

Die Messungen der Temperatur ergaben eine Abhängigkeit der Grabinnentemperatur vom Neckarwasser, die Messungen der O₂-Werte ergaben niedrige Konzentrationen um die 3%.

4.4. Redoxverfahren der Firma Keller**4.4.1. Ergebnisse der Gasproben**

Geöffnet wurden drei Gräber (C+D+E), um den Zersetzungsgrad zu dokumentieren. Dabei zeigte sich in allen drei Gräbern Leichenlipid.

Im Verlauf wurden dann aus 5 Gräbern (A bis E) Gasproben entnommen. Zwei unbehandelte Gräber fungierten als Gegenprobe (A+B).

Auffällig waren die initialen Gasprobenzusammensetzungen, die der Außenluft entsprachen. Erklärung hierfür ist, dass die Gräber vorher zum Anbringen eines Entnahmerohrs teilweise geöffnet worden waren.

Fazit war, dass sich trotz häufigeren Gasprobenmessungen (14 Messungen in den ersten 24 Stunden pro Grab) immer nur Außenluft (ca. 20% Sauerstoff und 80% Stickstoff) in den Proberohren befand: Sowohl in den zwei Gräbern, die keine Behandlung erfuhren, als auch in den drei Gräbern, die mit dem Redoxverfahren behandelt worden waren. Daher konnte keine Aussage zu den Belüftungsverhältnissen während der Anwendung gemacht werden. Lediglich 24h nach der Behandlung zeigten sich in den Gegenproben (siehe Tabelle Nr.11) niedrigere Sauerstoffkonzentrationen (um die 3%), während in den behandelten Gräbern (siehe Tabelle Nr. 12) weiterhin höhere Sauerstoffkonzentrationen zu verzeichnen waren (zwischen 5%-14%), die am ehesten auf die massiven Bodenlockerungen durch die Applikation zurückzuführen sind.

Tabelle Nr.11: Gasprobenmessungen in den Gegenproben

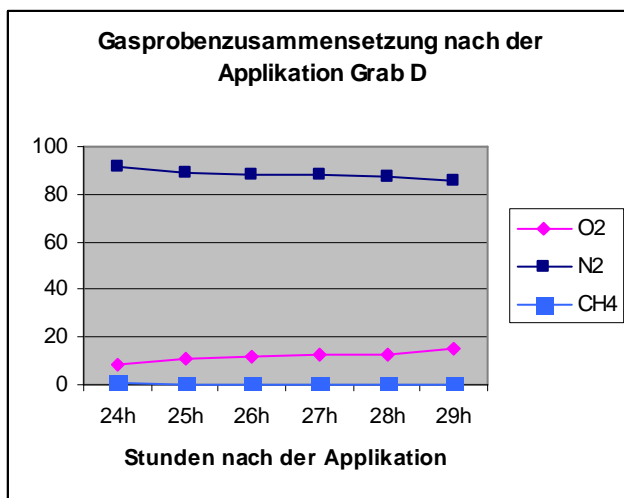
Grabnummer	Zeit in Stunden	O₂	N₂	CO₂	CH₄
A	0	18,9	72,3	8,8	0,2
A	24	3,2	95,6	2,7	0,9
B	0	20,8	81,7	1,7	0,3
B	24	3,3	89,1	8,5	0,4

Tabelle Nr.12: Gasprobenmessungen in den mit dem Redoxverfahren behandelten Gräbern

Grabnummer	Zeit in Stunden	O ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄
C	0	19,2	79,8	1,0	0,6
C	24	8,4	91,2	0,4	0,7
D	0	17,7	76,2	7,2	0,2
D	24	13,6	84,9	2,0	0,2
E	0	19,9	77,6	4,0	0
E	24	5,1	92,0	3,2	1,0

Nach 24 Stunden wurde noch einmal stündlich für weitere 5 Stunden Gasprobenmessungen durchgeführt. Hier zeigte sich dann ein erneuter Anstieg der O₂-Werte bis auf 14%, der darauf zurückzuführen sein könnte, dass die Außenluft durch die Öffnung des Messrohrs eindringen konnte (siehe Grafik Nr. 34).

Grafik Nr. 34: Verlauf der Gasprobenmessungen 24h nach Applikation (ohne die Darstellung von CO₂, da dieses kaum messbar bar)



4.4.2. Weitere Erkenntnisse

Verhalten des pH-Wertes

In unterschiedlichen Tiefen wurden Bodenproben zur pH-Bestimmung entnommen. Diese ergaben, dass die Maßnahmen zu einer deutlichen pH-Erhöpfung von zu Beginn ca. 5 bis auf 14 führten. Vier Monate später wurden die mit dem Redoxverfahren behandelten Gräber erneut eröffnet. Der pH-Wert zeigte sich unverändert hoch, was auf eine sehr langsame Neutralisation im nicht nachbehandelten Grab hindeutet. Allerdings gab es einen deutlichen Unterschied der pH-Werte nach dieser Zeit: In dem Grab (Grab C) in dem nur noch Knochen zu verzeichnen waren, wurden höhere pH-Werte gemessen, als in dem Grab (Grab D), welches weiterhin Leichenlipid zeigte (siehe Tabelle Nr.13).

Tabelle Nr.13: Zusammenfassung der über 300 gemessenen pH-Werte in den unterschiedlichen Bodenschichten, Gräbern und Zeitpunkten

	Ausgangswert	Nach der Applikation	Nach 4 Monaten
pH-Werte	ca. 5	10-14	11-14 (Grab C) 10-11 (Grab D)

Verhalten der Temperatur

Unmittelbar nach der Applikation kam es zu starken Temperaturerhöhungen auf bis zu 250 Grad Celsius im Grabniveau. Nach 24h betrug die Resttemperatur im Inneren der Gräber noch bis zu 40 Grad Celsius (siehe Tabelle Nr. 14).

Diese extreme Temperaturerhöhung war deutlich an der Schwarzfärbung der Knochen zu erkennen.

Mit diesen Temperaturen wurde der Schmelzpunkt des Leichenlipids überschritten und die Fettsäuren verflüssigten sich und konnten ablaufen. Ein direkter Abbau fand allerdings nicht statt.

Tabelle Nr.14: Verhalten der Temperatur während der Applikation

	Ausgangswert	n. Applikation	n. 24h	n. 4 Monaten
max. Temp-Werte in °Celsius	12°	250°	40°	12°

Graberöffnung

Vierundzwanzig Stunden nach der Applikation wurde das Grab C eröffnet. Hierbei zeigte sich eine Verflüssigung der Fette bei freiliegenden Knochen. In den Bereichen, in denen die Reaktion abgelaufen war, war der „Fettpanzer“ aufgebrochen.

Alle fünf Gräber wurden nach vier Monaten geöffnet. Hierbei zeigte sich in den unbehandelten Referenzgräbern A+B weiterhin Leichenlipid.

An den mit dem Redoxverfahren behandelten Gräbern konnten folgende Beobachtungen gemacht werden (Tabelle Nr.15):

Tabelle Nr.15: Beobachtungen der Graberöffnungen der mit dem Redoxverfahren behandelten Gräber

	Beobachtungen
Grab C	<ul style="list-style-type: none"> ➤ keine Weichteile mehr ➤ die Knochen sind trocken und spröde ➤ und weisen, aufgrund der extremen Temperaturerhöhung eine deutliche Schwarzfärbung auf ➤ das Sargholz zeigt keine Veränderungen
Grab D	<ul style="list-style-type: none"> ➤ noch deutliche Anzeichen von Leichenlipid im Becken und Beinbereich ➤ Holz gut fest ➤ offensichtlich Kalk unter den Sarg geblasen

Grab E	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Lipidmassen ➤ Gehirn gut erkennbar ➤ Knochen weich ➤ Sarg zerfallen ➤ Stehendes Wasser in der Grabsohle
---------------	---

Darüber hinaus wurde eine deutliche Volumenzunahme registriert (Aufwölbung im Bereich der Applikationspunkte).

4.4.3. Zusammenfassung

- Es kam zu persistierenden pH-Erhöhungen bis 14, die auch 4 Monate später noch anhielten und somit evtl. Nachbehandlungen des Bodens notwendig machen.
- Die Temperaturerhöhungen auf über 250 °C sorgten für ein Schmelzen des „Fettpanzers“ und damit zu einer Verflüssigung des Leichenlipids.
- Die Stellen, an denen die Leiche direkt von der Applikation getroffen wurde, zeigten kein sichtbares Leichenlipid mehr, dieses war in das unmittelbar umliegende Erdreich diffundiert.
- Allerdings konnte in Bereichen, die nicht unmittelbar mit dem Reaktionsgemisch beimpft wurden, unverändert Leichenlipid gesehen werden.
- 24 Stunden nach der Applikation fielen noch Sauerstoffkonzentrationen bis 13% im Vergleich zu 3% in den Referenzgräbern auf, die jedoch nicht auf die Wirkung des Redoxverfahrens unmittelbar, sondern auf den damit verbundenen Bodenaufbruch zurückzuführen sind.
- Fazit: Mit dieser Methode wird das Lipid abgeschmolzen, jedoch nicht abgebaut; der Reaktionserfolg ist maßgeblich von der Treffgenauigkeit der Applikation abhängig.

5. Diskussion

5.1. Diskussion von Prophylaxemaßnahmen

In Anbetracht des Umstandes, dass auf vielen Friedhöfen das Problem herrscht, dass der festgelegte Wiederbelegungstonus oft als angestrebtes, aber keineswegs ausreichendes Zeitintervall anzusehen ist, sind effektive Prophylaxemaßnahmen dringend erforderlich.

Die Schwierigkeit ist, dass unsere bisherige Kenntnis, wie regelmäßig eine vollständige Zersetzung erreicht wird, nur auf Einzelbeobachtungen basiert. Eine systematische experimentelle Untersuchung gibt es nicht, "was ja in der Natur der Sache seine Erklärung findet, auf der anderen Seite aber manche Lücke unseres Wissens erklärt"(Abel, 1912). Bei Modellversuchen besteht die Schwierigkeit der Übertragbarkeit, und Exhumierungen werden häufig schon kurze Zeit nach dem Tode durchgeführt, so dass sehr späte Verwesungsstadien eher selten beobachtet werden. Die wenigen experimentellen Studien die es mit Erdbestattungen gibt, zeigen zudem, dass viele Einflussfaktoren auf den Versuchsaufbau wirken (Janaway, 1987). Daher sind Prophylaxemaßnahmen, mit dem Ziel eine Leichenlipidbildung mit all ihren Konsequenzen für die Gemeinden zu verhindern, bisher wenig untersucht worden und es gestaltete sich schwierig genaue Bedingungen zu formulieren, welche die Leichenlipidbildung vermeiden können (Fiedler und Graw, 2003b). Im Folgenden diskutiere ich Möglichkeiten, die zu einer vollständigen Degradation auch an ungeeigneten Standorten führen sollen.

5.1.1. Grabhilfssysteme

Seit Jahren werden verschiedene technische Lösungen für den Friedhof angeboten, die eine Verbesserung oder Beschleunigung des Verwesungsprozesses bewirken sollen. Auch wenn die Bedingungen auf einem Friedhof stark zur Leichenlipidbildung disponieren, versprechen die Grabhilfssysteme eine vollständige Degradation. Die gängigsten sind die Grabkammer und die Grabhülle.

5.1.1.1. Grabkammer

Diese Form der Bestattung ist nicht neu. „Bereits die Kelten und Etrusker haben in der Vergangenheit ihre Toten in Grabkammern beigesetzt“ (Ackermann, 2001). Allerdings stand hier im Vordergrund der verehrende Gedanke und nicht die zersetzende Funktionalität.

Vorteile

Vorteil dieses Bestattungsmodus ist die Unabhängigkeit von den vorliegenden Bodenbedingungen und in manchen Fällen eine Beschleunigung der Verwesung. Da die Grabkammern, wie früher die Gräfte, dauerhafter angelegt sind, können sie mehrmals genutzt werden. Zusätzlich kommt es zu einer Platzersparnis, da Grabzwischenräume entfallen und eine Doppelbelegung pro Grabkammer möglich ist. Bei der Zweitbelegung bei schon vorhandener Grabkammer ist von einer Zeit- und Arbeitersparnis auszugehen, da bei einer Wiederbelegung der Grabaushub entfällt. Dies ist insbesondere in der kalten Jahreszeit, sowie bei schwierigen Bodenverhältnissen (z.B. Felsgestein) eine deutliche Vereinfachung.

Darüber hinaus können durch die Grabkammern die bei Erdgräbern häufig vorkommenden Setzungen verhindert werden. Zudem kann der Einbau einer Kammer die bautechnische Bewältigung bei Hanglage erleichtern.

Für die Hinterbliebenen soll eine Kosteneinsparung eintreten, da sich die Grabstättengebühr in der Regel an der Laufzeit der Grabstätte orientiert und bei einer Ruhezeitverkürzung somit Kosten eingespart werden können. Allerdings kann eine Verkürzung der Ruhefristen auch nur im Rahmen der gesetzlichen Mindestruhefristen erfolgen.

Unter dem Aspekt der Prophylaxe einer Leichenlipidbildung muss auf eine ausreichende Diffusion in der Grabkammer geachtet werden. Zwar wurden in unserer Versuchsreihe keine Gasprobenwerte erhoben, aber eine andere Arbeitsgruppe zeigte im Rahmen eines Gutachtens der Grabkammer Ackermann, dass ein Sauerstoffgehalt in der Kammer von 7% gewährleistet werden konnte. Darüber hinaus wurden Luftwechselraten von 0,25 abgeleitet, was bedeutet, dass die Luft in der Grabkammer innerhalb von 4 Stunden einmal

gegen neue Atmosphärenluft ausgetauscht wurde (Fischer, 1996). Weitere Versuche der Universität Stuttgart (Arbeitsbereich Technik und Analytik der Luftreinhalte) ergaben einen Sauerstoffgehalt in der Grabkammer nahezu gleich zur Außenluft (zwischen 19 und 21%). Lediglich in einer Kammer, in der sich ein totes Schwein befand, wurde zeitweise ein leicht erniedrigter Sauerstoff-Wert gemessen. Daher konnte eine sauerstoffarme Atmosphäre in keiner der Kammern nachgewiesen werden, wie auch die Ergebnisse aus den Bestimmungen der Luftwechselraten bestätigten (Reiser, 2002).

Nachteile

Nachteilig ist jedoch der hohe Investitionsbedarf mit langfristiger Kapitalbindung bei der Erstbenutzung. Zudem fallen durch die Entsorgung der Altanlagen, sowie des erhöhten Erdaushubes weitere Arbeits- und Kostenpunkte an. Der Anschaffungspreis für dieses System ist relativ hoch, insbesondere da meistens gleich ein ganzes Reihenfeld umgebaut wird. Die Kosten für eine Grabkammer belaufen sich je nach Ausführung, also beispielsweise ob es sich dabei um eine Einfachtiefe oder Doppeltiefe handelt, nach unten geschlossen oder nicht, zwischen 1000 und 2000 Euro plus Mehrwertsteuer (Stand 2008), zusätzlich kommen hierbei noch Kosten für die Bauarbeiten hinzu.

Auch ist nur eine flächendeckende Anwendung der Grabkammern möglich, die zu einer Veränderung des Friedhofsbildes führen kann, da größere Gehölze/Pflanzen durch die begrenzte Tiefe der Pflanzentröge nicht wachsen können und zwischen den Betonkästen die Wurzelbildung von Bäumen eingeschränkt wird. Eine Abkehr von parkähnlichen Friedhofsanlagen, bzw. von Waldfriedhöfen wäre bei großflächiger Anwendung zu erwarten. Darüber hinaus kann es bei der Bevölkerung mancherorts zu fehlender Akzeptanz kommen, da es aus christlicher Sicht Bedenken aufgrund der fehlenden Erdumgebung des Bestatteten gibt. Allerdings können diese Bedenken entkräftet werden, da viele Hersteller dazu tendieren, aus Gründen der Optimierung der Verwesungsbedingungen, einen Teil des Bodenaushubes mit in die Grabkammer zu geben.

Ein weiteres Problem könnte sein, dass es beim großräumigen Einbau von Grabkammern „zu einer drastischen Verminderung des Wasserspeichervermögens im Bodenraum kommt. Ein viel schnellerer und höherer Sickerwasseranfall nach Regenereignissen kann die Folge sein“ (Steutde-Gaudich, 2002). Allerdings kann bei großflächigem Vorhandensein von Grabkammern davon nur die Fläche zwischen den Kammern betroffen sein und diese ist relativ klein.

Im Bereich des Arbeitsschutzes ist die erhöhte körperliche Belastung durch das Einbauen der Betonteile zu bedenken, jedoch wird zum Einbau Hebe- und Verbauungsgerät verwendet. Für die Anwendung bei unzugänglicher Lage werden auch moduläre Gewölbeausätze angeboten, die von einem Einzelnen eingebaut werden können, wobei das schwerste Teilstück je nach Anbieter ca. 25kg wiegt.

Bisher wenig beachtet, könnten zukünftig Schwierigkeiten durch die Vorgabe der maximalen Sarggröße in der Kammer bei einer immer dicker und größer werdenden Bevölkerung entstehen.

Ein immer wieder bemängelter Punkt ist die verwendete Folie, die von manchen Anbietern auf die Deckplatten der Grabkammer aufgelegt wird. Dadurch soll verhindert werden, dass das natürlicherweise anfallende Sickerwasser ungehindert in die Kammer eindringen kann (Schoenen, 2002; Schoenen 2004). Dieses Verfahren soll in der Vergangenheit zu Fällen von unverrotteten Särgen und dem Auftreten von Mumifizierungen geführt haben (Schoenen, 2003a; Schoenen und Hanraths, 2002). Hierbei gilt jedoch zu bedenken, dass es sich bei den Mumifizierungen um Einzelbeispiele handelt und der Entstehungsmechanismus nicht kausal erscheint, denn auch ohne die Folie würden durch die Betonwände keine großen Mengen an Wasser durchdringen. Dies ist ja gerade der Sinn eines Einsatzes einer Grabkammer beispielsweise auf wasserbelasteten Standorten. Darüber hinaus steht von der Leiche selber genügend Flüssigkeit zur Verfügung, insbesondere da diese bei geschlossenem System nicht ablaufen kann, um eine vollständige Degradation zu ermöglichen und eine Mumifizierung zu verhindern. Problematisch könnte es eher sein, wenn man sich, trotz Vorhandensein von Stauwasser, für ein unten

offenes, statt einem geschlossenen System entscheidet und es dadurch zu einem Wasserüberschuss in der Grabkammer kommt.

Die Sorge, es könnten Fäulnisgerüche durch Belüftungsrohre entweichen, ist in Anbetracht der heutigen Filter durch Adsorption (z.B. Aktivkohlefilter) oder durch Adsorption und biologischen Abbau in geruchsneutrale Substanzen (z.B. Biofilter) als unbegründet einzustufen. Dies bestätigen olfaktometrische Messungen (Homans, 1996) und Untersuchungen vom Institut für Siedlungswasserbau der Universität Stuttgart die zeigen, dass von nach unten offenen Grabkammern keine Geruchsbelästigung oder andere Gesundheitsgefährdungen ausgehen (Fischer, 1994).

Unsere Erfahrungen

Nach unseren Erfahrungen anhand von exemplarischen Grabkammereröffnungen auf Friedhöfen ist die Regel, dass die größeren Anteile des knöchernen Skeletts nach der Wiederbelegungsfrist von 15 Jahren noch nachweisbar sind, was jedoch den Erwartungen bei einem Erdbegräbnis entspricht. Auch der Degradationsverlauf der beiden Versuchsschweine in unserer Versuchsreihe mit der Grabkammer der Firma Ackermann zeigte eine zeitgerechte Verwesung. Verwesungsgerüche traten außerhalb der Kammer nie auf. Insgesamt bewährte sich das Verfahren, insbesondere eine Leichenlipidbildung trat nicht auf.

Fazit:

Die von den Gemeinden am häufigsten genannten Gründe für den Einsatz von Grabkammern, nämlich der Wunsch nach kürzeren Liegezeiten und Flächeneinsparungen bei schlechten Bodenverhältnissen (Braun, 2003), sind sicherlich mit der Anwendung von Grabkammern realisierbar. Beispiele zeigen, dass es mancherorts erst mit dem Einsatz der Grabkammern möglich wurde, vorhandene Bestattungsplätze funktionsfähig zu erhalten oder ausreichende Bestattungsmöglichkeiten unter erschwerten Bedingungen zu schaffen (Klöpping, 1994).

Daher sind die Grabkammern als sinnvoll einzustufen, wenn aufgrund der Bodenbeschaffenheiten die Liegezeiten zu lang sind und der Einsatz eine Beibehaltung des Friedhofes ermöglicht. Es kann nach Ablauf der Mindestruhefrist sofort wieder neu bestattet werden, was eine deutlich verbesserte Ausnutzung der Grabstätte zur Folge hat, denn auf Problemstandorten kann ansonsten häufig erst alle 30 Jahre neu belegt werden. Vom Standpunkt der Raumersparnis bietet die Kammer gegenüber der konventionellen Erdbestattung gewisse Vorteile, hygienisch ist sie als gleichwertig zur Erdbestattung anzusehen. Kommt es auf einem Friedhof öfter zu Problemen mit einem rollierenden Untergrund mit Neigung zur Absenkung, sollte der Einbau von Grabkammern überlegt werden, da diese zusätzlich als Stabilisierung des Grabes dienen können. Bei dieser Fragestellung sollte dann eher eine Grabkammer bevorzugt werden, statt noch mit Mauern oder anderen Maßnahmen den Boden zu festigen.

Als Prophylaxe-Maßnahme, also zur Verhinderung des Auftretens von Leichenlipid, ist die Grabkammer bei ungünstigen Bodenverhältnissen sicherlich eine zu erwägende Möglichkeit, jedoch als reines Sanierungskonzept aufgrund des hohen Aufwandes eher nicht geeignet.

5.1.1.2. Grabhülle

Die Grabhülle wurde hauptsächlich für Friedhöfe konzipiert mit hochstehendem Wasserspiegel, um eine Leichenlipidbildung aufgrund des ungenügenden Gasaustausches zu verhindern (Kuhn, 1997; Claus, 1997).

Vorteile

Man benötigt keinen flächendeckenden Einsatz, da man erst bei der individuellen Grabherrichtung entscheidet, ob eine Hülle eingesetzt werden soll oder nicht.

Die Handhabung ist einfach, da die Hülle leicht einzubauen ist und keine schweren Materialien, wie beispielsweise bei der Grabkammer, zu bewegen sind. Der Arbeits-Mehraufwand beträgt laut Hersteller ca. eine halbe Stunde, ein großer Lagerraum für die vorrätigen Hüllen wird nicht benötigt.

Bei der Grabhülle besteht nur noch ein geringer Einfluss der vorliegenden Bodenart, da die Hülle als künstliche Barriere wirkt. Darüber hinaus wird das Eindringen von Wasser auch an wasserbeeinflussten Standorten verhindert (Schmidt, 2004).

Die Kosten belaufen sich pro Hülle mit Be- und Entlüftungsrohren, je nachdem, ob für ein normal tiefes Grab oder ein doppelt tiefes Grab auf 400-600 Euro zuzüglich Mehrwertsteuer (Stand 2008). Daher ist die Grabhülle im Vergleich zu anderen Verfahren verhältnismäßig kostengünstig, da ein Friedhof keine größeren Beträge vorfinanzieren muss, sondern nur der Betrag für die jeweilig benötigten Hüllen anfällt.

Nach 15 Jahren kann laut Hersteller neu belegt werden, was aufgrund unserer Erfahrungen mit der Grabhülle auch realistisch erscheint. Somit kann auch hier an einem Problemstandort bei ansonsten verlängerten Ruhefristen eine rasche Neubelegung erfolgen.

Zwar fielen in unseren Gasprobenmessungen eher niedrige Sauerstoffkonzentrationen (durchschnittlich 3 %) in der Hülle auf, trotzdem konnte eine rasche Verwesung konstatiert werden. Die niedrigen Sauerstoffwerte könnten zeigen, dass der Luft- und Sauerstoffeintrag durch die beiden Rohre nicht so effektiv ist, wie bei einem normalen Grab, ohne Kunststoffhülle. „Allerdings ermöglicht die relativ geringe Überschüttungshöhe mit Erde von 30 cm innerhalb der Grabhülle eine Beschleunigung des Gasaustauschs durch kürzere Wege und führt damit zum entgegengesetzten Effekt“ (Kuhn, 1997). Aus diesem Grund wurde eine bauliche Veränderung des Belüftungssystems dem Hersteller vorgeschlagen, welches auch umgesetzt wurde. Auch eine Kombination mit zusätzlichem Einbringen von verrottbaren Belüftungsrohren, wie es beispielsweise die Firma Weihe anbietet, könnte noch zu einer Verbesserung des Gasaustausches führen.

Nachteile

Bei den Hüllen ist nur eine einmalige Nutzung möglich, danach müssen sie recycelt oder verbrannt werden. Darüber hinaus sind sie nicht völlig unabhängig von den vorherrschenden Bodenverhältnissen, da ja der Aushub zum größten

Teil mit hinein gegeben wird. Daher sollte bei ungünstigen Bodenverhältnissen dieser optimiert oder ausgetauscht werden.

Unsere Erfahrungen

Unsere Versuche mit der Grabhülle Weihe zeigen, dass der Zersetzungsprozess vergleichsweise rasch abläuft. Bei der Lagerung eines Kadavers an diesem Standort ohne Grabhilfssystem wäre mit Sicherheit Leichenlipid eingetreten. Damit stellt zumindest unter den genannten Bedingungen das Bestattungsverfahren mittels Grabhülle eine wesentliche Verbesserung der herkömmlichen Beerdigung dar.

Fazit

Die Grabhülle ist eigentlich ein System zur Prophylaxe der Leichenlipidbildung. Hierfür eignete sie sich, insbesondere auf wasserbelasteten Friedhofsbereichen, aufgrund der individuellen, einfachen und kostengünstigen Anwendung.

Allerdings könnte man die Grabhülle auch als Sanierungsverfahren einsetzen, indem man in abgelaufenen Gräbern, die nicht verwesenen Leichenreste ebenfalls in die Hülle einbringt und unter den frisch beerdigten Leichnam legt.

5.1.2. Zersetzungsfördernde Maßnahmen

Als Alternative oder als Ergänzung eines Grabhilfssystems können weitere Maßnahmen ergriffen werden, um einer Leichenlipidbildung vorzubeugen. Ihr Vorteil ist die gezielte Einflussnahme, ohne Änderung des Friedhofbildes oder des Ablaufes der Bestattung. Sie sind deutlich kostengünstiger als die Grabhilfssysteme und einfacher in der Handhabung. In vielen Fällen sind sie als Prophylaxemaßnahme ausreichend, insbesondere wenn sie in Kombination verwendet werden.

Die Gefahr liegt sicherlich im Experimentieren an einzelnen Missständen ohne ausreichenden Erfolg, welches die Kosten ebenfalls deutlich erhöhen kann. Bei schwierigen Bodenverhältnissen oder deutlicher „Wasserproblematik“ sollte daher eher ein Grabhilfssystem verwendet werden.

Die zersetzungsfördernden Maßnahmen beinhalten die Auswahl des für die Degradation geeigneten Bodens, sowie eine Optimierung der Bedingungen bei der Bestattung und auf dem Friedhof. Nicht alle Faktoren, die zu einer Leichenlipidbildung führen können, sind gleichermaßen einfach zu beeinflussen (Fiedler und Graw, 2003b), wie die folgende Tabelle (Tabelle Nr.16) zeigt.

Gerade die Einflussfaktoren, die mit wenig finanziellem oder arbeitstechnischem Aufwand modulierbar sind werden häufig zu wenig beachtet und in ihrer Auswirkung unterschätzt. Daher werden diese und die damit verbundenen Prophylaxemaßnahmen im Folgenden ausführlicher diskutiert.

Tabelle Nr.16: Eigene Zusammenfassung der Einflussfaktoren auf die Leichenlipidbildung

Einflussfaktoren auf die Leichenlipidbildung und ihre Beeinflussbarkeit durch den Friedhofsbetreiber:

1. Nicht beeinflussbare Faktoren

- Individuelle Eigenschaften einer Leiche
- Jahreszeit der Bestattung
- Umgebungstemperatur

2. Faktoren, die mit hohem technischem und/oder finanziellem Aufwand zu beeinflussen sind

- Bodenverhältnisse
- Wassereinfluss (hoher Grundwasserspiegel, Staunässe)

3. Faktoren, die mit wenig Aufwand zu beeinflussen sind

- Sargmaterial und Beigaben
- Bekleidung der Leiche
- Bepflanzung der Gräber und des Friedhofsgeländes
- Gießaktivität
- Grababdeckungen
- Arbeiten auf dem Friedhof

5.1.2.1. Verbesserung des Bodens und der Diffusion

Insbesondere gilt es die Diffusionsbedingungen im Erdgrab zu verbessern, da die Erhöhung des Sauerstoffgehalts in den Gräbern eine wesentliche Verbesserung der Verwesungsbedingungen zur Folge hat (Schmidt und Graw, 2002). Allerdings ist es sehr wichtig, dass die Luft ungehindert zirkulieren und ausgetauscht werden kann, also dass eine ausreichende Ventilation gewährleistet ist. Damit reicht häufig die Wahl eines Bodens mit hohem Luftporenvolumen als alleinige Maßnahme nicht aus.

Die Verbesserung der Diffusion kann durch Installation von Belüftungsanlagen, sowie über Entwässerungssysteme und über eine Veränderung der Zusammensetzung des Friedhofsbodens erfolgen. Hierauf gehe ich jedoch noch detaillierter bei den Sanierungsmaßnahmen ein.

Als Prophylaxe zur Verhinderung einer Leichenlipidbildung kann ein geeigneter Friedhofsboden viel bewirken. Denn Untersuchungen zeigen, welchen Einfluss der Boden auf die „Adipocirebildung“ hat (Fiedler et al., 2004). Daher ist für viele der Boden „der wichtigste Faktor bei der Zerstörung der Leiche im Erdgrab“ (Weinig, 1958). Wie groß der Einfluss der vorherrschenden Bodenart auf die Verwesung und damit auch auf die Wiederbelegungszeiten ist, zeigen einige Untersuchungen. Beispielsweise die von Lötterle et al., die die vorherrschende Bodenart in die fünf Güteklassen nach Keller einteilten und diese mit den Verwesungszuständen der Leichen in Verbindung brachten (Lötterle et al., 1982 - siehe Tabelle Nr.17)

Tabelle Nr.17: Empfohlene Wiederbelegungsfristen für Friedhöfe (Lötterle et al.,1982)

Empfohlene Wiederbelegungsfristen für Friedhöfe	
Bodengüteklasse	Wiederbelegungsfristen
1	10 Jahre
2	15 Jahre
3	20-30 Jahre
4	40 Jahre
5	nicht geeignet

Eine ähnliche Einteilung der Bodenart in Bezug zur Verwesungsdauer zeigt die folgende Tabelle von Schützenmeister (siehe Tabelle Nr.18). Anhand dieser wird deutlich, dass Wiederbelegungsfristen von der vorliegenden Bodenart abhängen können.

Tabelle Nr.18: „Verwesungsdauer menschlicher Leichen (in Jahren) bei normalem Verwesungsablauf in unterschiedlichen Bodenarten“ (Schützenmeister, 1972)

	Erwachsene allgemein	Erwachsene minimal	Kinder allgemein	Kinder minimal
Kies- und Sandböden	5 - 7	3	3 - 5	1,5
+/- lehmige Sandböden	6 - 9	4,5	3 - 6	2,5
günstigere Lehmböden	8 - 10	5	5 - 7	3,5

Auch Schmierl versuchte die Abhängigkeit des Verwesungsgrades einer Leiche von der Liegezeit bei bestimmten Bodengüteklassen herauszuarbeiten (Schmierl, 1982). Und bei Schraps ist eine Einteilung der Bodenarten und weitere Einteilungen in die individuellen Eigenschaften dieser Böden, wie Grundwasserstand, Stauungsnässe oder Verwitterungszeichen, nach ihrer Eignung für Bestattungszwecke zu finden (Schraps, 1970). Einen etwas anderen Ansatz wählte Wourtsakis: Er stellte einen Zusammenhang zwischen der Verwesungsdauer und der Luftkapazität des Bodens dar (Wourtsakis,2002). All diese Untersuchungen zeigen, dass gerade sandhaltige Böden besonders für die Degradation geeignet sind und verdeutlichen, dass die Qualität des Friedhofbodens in der Prophylaxe des Leichenlipids eine immense Rolle spielt. Die Frage, wozu ebenfalls eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt wurde, ist nun welche Bodeneigenschaften überhaupt eine rasche Degradation fördern (siehe Tabelle Nr. 19).

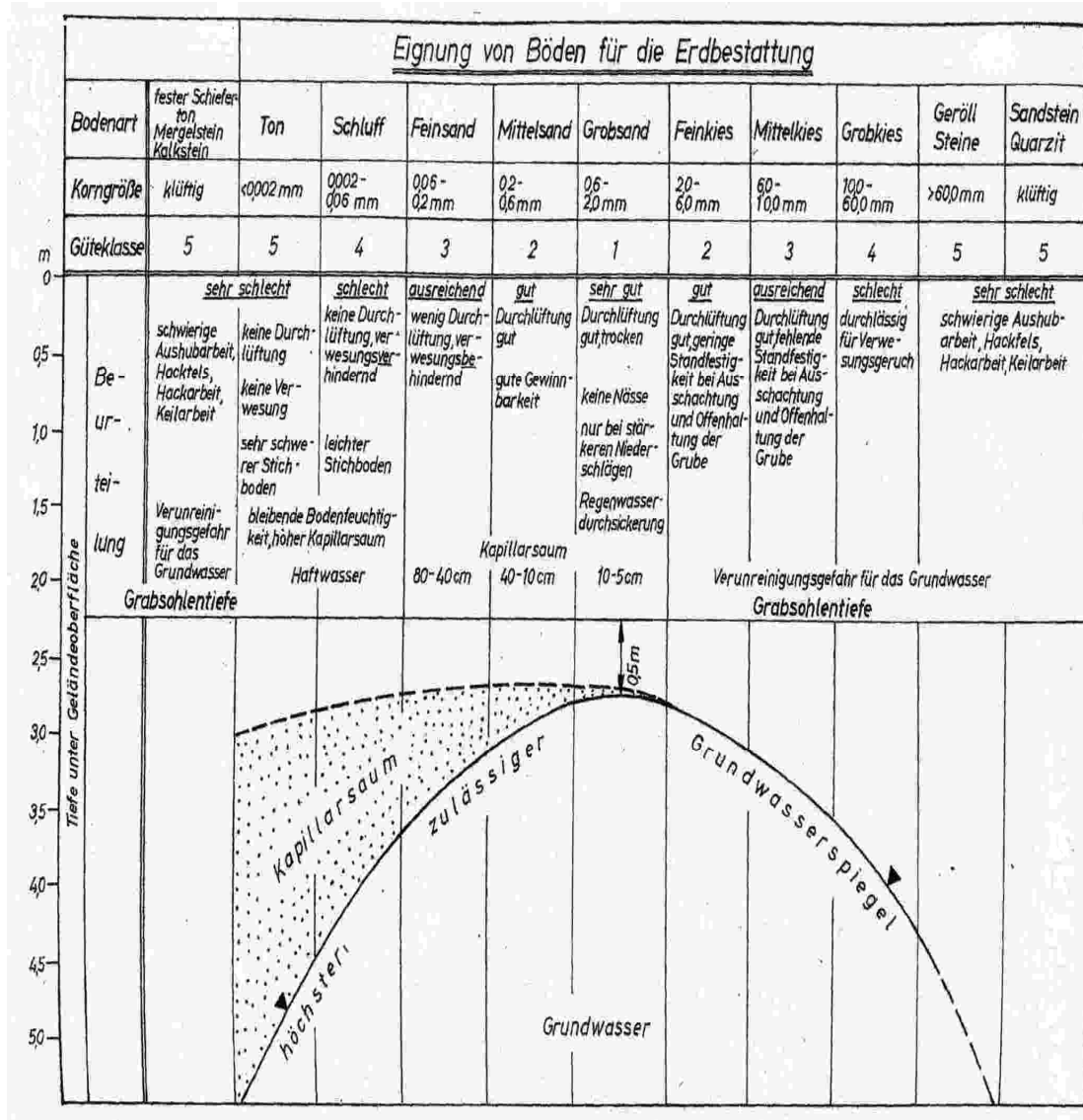
Tabelle Nr.19: Vorläufige Einstufung der für die Leichenverwesung günstigen Bodeneigenschaften: (Grabsohlentiefe 18 dm unter Geländeoberfläche)
(Wourtsakis,2003)

Parameter		
Mächtigkeit des Lockermaterials (dm)	> 25	
Flurabstand beim Grundwasserhöchststand und geschl. Kapillarsaum (dm)	> 25	
Stau- und hangwasserfreier Raum (dm)	> 25	
Weite Hohlräume	Keine	
	Oberhalb der Grabsohle	Unterhalb der Grabsohle
Filterschichtmächtigkeit (dm)	>9	Abhängig von Feldkapazität/ Sickerwassermenge
Sickerwasser-Aufenthaltsdauer in Monaten		>6
Luftkapazität (Volumen-Prozent)	10 bis 15	> 8 bis 12
Wasserdurchlässigkeit (cm/Tag)	40 bis 100	> 20 bis 100
Bodenreaktion	6,0 bis 7,5	> 4,0 bis 6,5
KAK in Stufen	gering-mittel	mittel-hoch
Gesamtfilterwirkung in Stufen	gering-mittel	mittel-hoch
Bindungsstärke für Schwermetalle		mittel-hoch

Keller untersuchte die Eignung nordwestdeutscher Böden für die Erdbestattung (Keller, 1963). Um in vereinfachter Form ein Urteil über die Eignung abgeben und um Vergleiche anstellen zu können, nahm er eine Einteilung in Güteklassen vor. Darin wurden verschiedene Faktoren, wie die Bodenstruktur, der Wassergehalt in Form von Grund- und Haftwasser, sowie der wirksame Korndurchmesser/bzw. die Korngröße berücksichtigt. Diese wurden hinsichtlich

ihrer Eignung für die Erdbestattung untersucht. Er fand fünf Güteklassen, wobei die Güteklasse 1 einer sehr guten Eignung entsprach und Güteklasse fünf, als ungeeignet für die Erdbestattung klassifiziert wurde.

Grafik Nr. 35: Einteilung von Böden für die Erdbestattung (Keller, 1963)



Dies passt zu den Erfahrungen von Müller, welcher Bodensorten bevorzugte mit einem Gemisch, in dem die Körnergröße zwischen 0,3 bis 4mm und die Luftpermeabilitätswerte von 84 bis 5159 variierten (Müller, 1913). Und auch Lautenschläger, der die Böden des Zentralfriedhofes in Danzig-Langfuhr

untersuchte, kam zu ähnlichen Ergebnissen und erstellte einen Eignungsplan der einzelnen Flächen für die Grabanlagen (Lautenschläger 1936).

Bei der Beurteilung eines Friedhofbodens ist allerdings wichtig, dass man sich klar macht, dass selten auf einem so großen Areal, wie auf einem Friedhof völlig homogene Bodenzusammensetzungen vorliegen, diese können zum Teil von Grab zu Grab (Keller, 1963) und sogar innerhalb eines Grabes (Holley et al., 2008) variieren.

Da für die Bewertung von Friedhofsböden keine eigenen Beurteilungsverfahren entwickelt wurden, kommt es immer wieder zu Fehurteilen, denn vielen Friedhöfen, auf denen heutzutage Degradationsschwierigkeiten bekannt sind, wurde vor ihrer Ausweisung als Friedhofsgelände ein Gutachten mit der entsprechenden Eignung ausgestellt. Versuche allgemeingültige Richtlinien zu den wichtigsten Standorteigenschaften einer Friedhofsanlage herauszuarbeiten gibt es daher mehrere (Milbert, 2002; Wourtsakis, 2002; Daniels et al., 1973).

Wichtig ist auch bei der Beurteilung des Bodens bestimmte

Untersuchungsmethoden zu beachten (Fiedler et al., 2003; Albrecht und Schulze-Wolf, 2001; Albrecht, 2003a; Albrecht 2002a; Milbert, 2002), wie beispielsweise dass eine flächenhafte Beurteilung erfolgt, nicht nur eine punktuelle und auch Aussagen über die Bodensituation in der Tiefe gemacht werden (Wourtsakis, 2002), oder dass ein Maßstab von 1:500 (Fiedler et al., 2003), bzw. von 1: 1 000 (Albrecht, 2003c) verwendet wird.

Wenn die Möglichkeit besteht, beispielsweise bei der Planung einer Erweiterung oder einer Friedhofsneuanlage, sollte man bedenken, dass auch die Lage des Friedhofes eine Rolle spielen könnte (Weinig, 1958). Der Friedhof sollte nicht zu schattig (Moura et al., 1997) und daher möglichst in Südlage gelegen sein (Müller, 1913; Abel, 1912).

Unsere Erfahrungen mit den Prophylaxemaßnahmen am Modellfriedhof

Alleinig mit einfachen Maßnahmen, in diesem Fall einer Veränderung der Bodenzusammensetzung (Zufügen von Schotter) und Einbringen eines Hilfssystems zur Belüftung (Leca-Baumschnorchel gefüllt mit Blähton), konnte eine deutliche Erhöhung der Sauerstoffkonzentration erzielt werden.

Ob dies auch zu dem gewünschten Ergebnis, nämlich einer vollständigen Degradation führt, konnte allerdings, wegen des relativ kurzen Zeitablaufs bisher noch nicht abschließend beurteilt werden. Ich nehme jedoch an, dass es bei diesen hohen Sauerstoffkonzentrationen und dem Überwiegen von Verwesungsgasen bei geringen Fäulnisparametern nicht zu einer Leichenlipidbildung kommt und daher die veränderte Bestattungsform greift.

5.1.2.2. Verbesserung der Verhältnisse bei der Bestattung

Da die Toten in unserer Kultur nicht nur nackt in der Erde verscharrt werden, kommen sie bei der Bestattung mit einer Reihe von Einflussfaktoren zusammen, die eine Leichenlipidbildung begünstigen können. Dies fängt mit der Bekleidung des Leichnams an, geht weiter über die Beschaffenheit des Sargs, bis hin zur Bestattungstiefe und dem Bestattungstonus.

- Bekleidung der Leiche

Die Bekleidung einer Leiche wirkt hemmend auf die Dekomposition und fördert damit eine Leichenlipidbildung (Hofmann, 1877; Mattes, 1903; Abel, 1912; Müller, 1913; Weitzel, 2005). Dies bestätigten auch Laborversuche (Mellen et al., 1993; Mant, 1987), sowie Erfahrungen von Exhumierungen (Aeschlimann, 2002).

Die Gründe hierfür sind vielfältig: Zum einen reduziert die Bekleidung den Gas- und Wasseraustausch erheblich, zum anderen wird die Feuchtigkeit von der Kleidung resorbiert und zurückgehalten, so dass es zum Wasserüberschuss kommen kann. Zusätzlich kann es dadurch zu einer Abkühlung der Leiche kommen. Darüber hinaus ist der Zutritt zur Leiche für Insekten erschwert. Durch die chemische Behandlung von Kleidungsstücken, damit diese Flecken- und Wasser abweisend wirken, wird die potentielle Isolierwirkung der Bekleidung noch verstärkt. Zusätzlich könnte es dazu führen, dass Insekten diese vermehrt meiden (Mann et al., 1990).

Wichtig sind auch die Art und die Zusammensetzung der Kleidung (Fiedler und Graw, 2003b; Schmierl, 1982; Smith Fiddes, 1955; Roth und Lex, 1872; Dix, 1987). Gerade eng anliegende Kleidungen, wie Korsette, Strumpfhalter oder

Gürtel, mit hohem Kunstfaseranteil fördern die Leichenlipidbildung. Ein häufig gefundenes Beispiel hierfür ist die Kunststoffwindel, die zu einer isolierten Leichenlipidbildung im Beckenbereich führen kann. Abgesehen von den synthetisch hergestellten Fasern, die deutlich langsamer abgebaut werden, verrottet Baumwolle am schnellsten, dann Leinen und Wolle und am langsamsten Seide und Leder (Müller, 1913; Abel, 1912).

Sinnvoll wäre daher eine leichte Bekleidung, möglichst nur aus Baumwolle, statt eines Polyesterkostüms. Auf dichte oder mehrlagige Totenbekleidung sollte verzichtet werden, ebenso auf Windeln oder bakterizide Zusätze bei spezieller Leichenbekleidung oder auf medizinisch-technische Hilfsmittel wie Katheter.

- Sargmaterial und Beigaben

In der Vergangenheit wurde die sarglose Bestattung als verwesungsfördernde Maßnahme propagiert (Hofmann, 1877; Hunziker, 1919/1920; Schmierl, 1982). Gründe hierfür waren Berichte über Exhumierungen bei denen die Unversehrtheit der Särge auch nach vielen Jahren auffiel (Müller, 1913; Matthes, 1903) und Fallbeispiele von erhaltenen, nicht gefaulten Eichensärgen nach Liegezeiten von 46 Jahren (Schmierl, 1982), bis hin zu 700 und in trockenen Böden sogar 1800 Jahren (Aeschliemann, 2002).

Man könnte einem Sarg eine gewisse Isolierfunktion mit eingeschränkter Sauerstoffzufuhr und – zirkulation zuschreiben, insbesondere „da Holz durch seine Quellbarkeit die Porösität aufhebt“ (Franke, 2008). Allerdings ergaben Untersuchungen, dass dem Vorhandensein eines Sarges keine so negative Bedeutung beizumessen ist (Borris, 1967; Henderson, 1987; Mant, 1987; Willimann, 1996), im Gegenteil, durch den künstlich geschaffenen Luftraum und das Zurückhalten von Sicker- oder Grundwasser kann er die Degradation noch fördern. Allerdings kommt es auch auf die Holzsorte an, da nicht alle Holzsorten gleichgut als Sargmaterial geeignet sind. So sind Särge aus weichen Holzarten, wie Fichte, Tanne oder Kiefer zur Erdbestattung wesentlich besser geeignet (Schmierl, 1982; Büchi und Willimann, 2002) als Hartholzsärge. Eine Erklärung hierfür ist, dass beispielsweise Eichenholz gegenüber Weichholz einen höheren Lignin- und Gerbstoffgehalt hat und damit eine deutlich längere Abbauezeit im

Boden (Weinzierl und Waldmann, 2002). Allerdings spielt nicht nur die Holzart eine Rolle, sondern auch der Zustand des Sarges, wie Erfahrungen von Exhumierungen zeigten: „in den guten Särgen war die Adipocirebildung häufiger, als in den schlechten, teilweise auseinander gefallenen Särgen“ (Froentjies, 1965). Untersuchungen verdeutlichten die unterschiedliche Stabilität der Holzsorten, während Fichte- und Kiefernsätze durch die Erdlast eher brachen, zeigte sich auch hier wie ungeeignet Eiche als Sargholz aufgrund seiner Stabilität ist (Schmierl, 1982; Weinig, 1958). Daher fordern immer mehr Autoren eingebaute Sollbruchstellen im Sarg (Schmierl, 1982; Aeschliemann, 2002; Weinig, 1958), um auf diese Weise den Gas- und Wasseraustausch zu fördern. Abgesehen davon sollte das Holz unbehandelt belassen sein:

„Insbesondere ist die Verwendung von Holzschutzmitteln zu unterlassen und die verwendete Holzfarbe und die Hilfsmittel bei der Sargherstellung (z.B. Leime) sollten gut abbaubar sein“ (Willimann, 1996). Darüber hinaus sollten die Fugen auf keinen Fall ausgekleidet sein.

Daher steht die Forderung nach schnell verrottbarem Sargmaterial (aus weichen Holzarten, wie Fichte oder Kiefer) mit Sollbruchstellen bei den Empfehlungen ganz oben. Interessant ist auch der seit ca. zwei Jahren auf dem Markt angebotene Sarg aus 2 cm dicker Wellpappe. Allerdings wäre die Beerdigung in einem Pappsarg derzeit nicht in ganz Deutschland möglich, die Entscheidung darüber liegt bei den einzelnen Friedhofsverwaltungen.

Aber auch die Sargausstattung und die -beigaben können auf die Degradation Einfluss nehmen (Vass et al., 1992). Schwierigkeiten bereiten hier die üblich verwendeten Plastikfolien, die häufig den Sarg auskleiden. Zwar sind diese durch die Friedhofsverordnungen verboten, aber da keine Kontrollen existieren, werden sie trotzdem häufig verwendet. Die Plastikabdeckung dient hierbei als mechanischer Schutz und führt über eine mangelnde Luft- und Wasserzirkulation zur Verzögerung von Verwesungsprozessen. Darüber hinaus werden das Zuwandern und damit die Ansiedlung von Mikroorganismen von außen erschwert.

Zersetzungsfördernd soll das Einbringen von organischem Material in das Grab oder den Sarg sein (Büchi und Willimann, 2002; Henderson, 1987). Auch

Absorptionsstoffe wie grobe Holzkohle können die Dekomposition unterstützen (Müller, 1913). Dies bestätigten die Begutachtungen von exhumierten Leichen (Mant, 1987), sowie Versuche in Grabkammern mit einer Bodenmatrix (Reiser, 2002). Gründe für die Abbau fördernde Wirkung, trotz des Verbrauchs von Sauerstoff durch den Abbau des organischen Materials, könnte die wärmeisolierende Wirkung beispielsweise von Stroh und die Wärmeproduktion beim Abbau des Materials sein (Mant, 1987). Von der Industrie werden bereits, um den Abbau des Sarges und der Leiche zu beschleunigen, so genannte „Sarg-Pads“ angeboten die mit in den Sarg gegeben werden und durch aktivierte Mikroorganismen zu einem schnelleren Abbau von organischem Material führen sollen (Ackermann, 2002). Noch einfacher ist der Vorschlag Stroh, Äste, Pflanzenteile oder andere organische Stoffe in den Sarg, bzw. in das Grab zu geben. Auf jeden Fall sollte man möglichst auf Plastikfolien oder synthetische Stoffe bei der Sarginnenausstattung verzichten.

- Bestattungstiefe

Schon im Hoch- und Spätmittelalter wurde aus hygienischen Gründen auf eine Bestattungstiefe von einer Elle geachtet, im Spätmittelalter waren die Gräber schließlich hüfttief. Die heute vorgeschriebene Bestattungstiefe stammt noch aus dem 19. Jahrhundert, als man Tote als Überträger von Krankheiten fürchtete und sie daher möglichst tief unter die Erde brachte (Illi, 1992), zudem man ein Ausgraben der Leichen bei zu geringer Bestattungstiefe durch wilde Tiere befürchtete.

Die heutige Grabtiefe richtet sich im Allgemeinen nach dem vorgeschriebenen Mindestabstand von 90 cm zwischen Sargdeckel und Erdoberfläche. Dies führt beispielsweise zu einer Grabtiefe einer normaler Bestattung von $90 \text{ cm} + 1 \text{ Sarghöhe} = 90 + 60 = 150 \text{ cm}$. Allerdings existieren örtlich verschiedene Höhen von Särgen, daher beträgt vielerorts die Grabtiefe 1,8 m (Friedl, 2002). Bei Tiefbestattungen/Doppelbelegungen sind die Gräber 0,9m tiefer anzulegen, also beispielsweise 2,7m. Ausnahme sind Kinder unter 5 Jahren, hier muss die Grabtiefe nur 1,4 m betragen (Stedte-Gaudich, 2002). Dies soll der

Kompromiss zwischen noch verwesungsmöglicher Tiefe und Verhinderung von Geruchsbelästigungen oder Grabschändungen durch Tiere sein.

Doch diese Vorschriften sind umstritten, denn je tiefer eine Leiche bestattet wird, desto langsamer verwest sie (Müller, 1913; Dooren de Jong, 1961). Dies zeigen zwei Untersuchungsreihen, in denen der Zusammenhang zwischen größerer Bestattungstiefe und langsamer Degradation nachgewiesen werden konnte (Mann et al., 1990; Rodriguez und Bass, 1985). So fiel auf, dass Körper, die in einer Tiefe von 0,3 bis 0,6 Metern begraben wurden innerhalb weniger Monate bis zu einem Jahr skelettieren können, jedoch Körper, die in einer Tiefe von 0,9 bis 1,2 Metern begraben wurden, dafür mehrere Jahre brauchten (Mann et al., 1990). So halten viele Wissenschaftler die übliche Tiefe von 1,8-2,5 Metern für zu arbeitsaufwändig, zersetzungshemmend und aus hygienischen Gründen nicht notwendig (Büchi und Willmann, 2002). Grund hierfür ist, dass sich bei einer tieferen Bestattung die Lagerungsdichte des Bodens vergrößert, was tendenziell zu einer geringeren Wasserleitfähigkeit führt. Darüber hinaus wäre bei einer höheren Grabsohlentiefe der Luftaustausch besser und die Gefahr geringer, dass der Sarg in regenreichen Monaten im Grundwasser liegt (Aeschliemann, 2002). Auch die Vegetation und die Besiedlung durch Insekten ist bei tieferer Grabsohle verringert, denn die „Tiefe hat einen direkten Einfluss auf die Vegetation (umso tiefer umso geringer das Pflanzenwachstum) und auf das erfolgreiche Besiedeln des Körpers durch Insekten“ (Rodriguez und Bass, 1985). Die limitierende Tiefe in ihrer Versuchsreihe, in der noch Insekten an der Zersetzung des Körpers behilflich sein konnten, war bei ihnen bei 0,3m unter dem Boden. Der Einwand eine oberflächennahe Beisetzung auf Friedhöfen würde aufgrund einer massenhaften Entwicklung von Insekten zu ästhetischen Problemen führen (Schoenen, 2003b), scheint bei einer Bestattungstiefe unter einem Meter nicht berechtigt zu sein. Schwieriger ist es einzuschätzen, ob die geforderte Grabtiefe von 1,2m nicht doch Wildtiere, wie Dachse oder Wildschweine anlocken würde, die dann die Leichen ausgraben könnten. Daher wäre es sinnvoll, bevor eine Änderung der Bestattungstiefe für Einfachbestattungen auf 1,2m gefordert wird, weitere wissenschaftliche Untersuchungen hierzu durchzuführen, um sicher sagen zu können, dass eine

solche Höhe ausreicht um Grabschändungen durch Tiere zu verhindern und insbesondere ob diese deutlich verwesungsfördernder ist.

- Bestattungstonus

Lange Nutzungszeiten mit einem kurzen Bestattungstonus führen häufig zu Degradationsschwierigkeiten, wie man anhand vieler Beispiele in der Literatur, beispielsweise von den Friedhöfen in Mainz oder Lübeck (Zagar, 2002; Aey, 1990) schlussfolgern kann. Dies zeigen auch die Massengräber als Beispiel eines potenzierten Bestattungstonus (Thouret, 1792; Mant, 1987). Gerade ein Übereinanderlagern von Särgen in einem Erdgrab kann zur Leichenlipidbildung führen, wie die Exhumierungen auf dem Pariser Friedhof zeigten. Hier wurde deutlich, dass die Häufigkeit der „Adipocirebildung“, signifikant mit der Stelle des Sarges im Grabe zusammenhing (oberster Sarg 10,7% Leichenlipidbildung, unterste Särge mit Lage unter mindestens drei anderen Särgen: 70,3%) und in diesem Verfahren wahrscheinlich der Grund für die hohe Zahl an nicht verwesenen Leichen (über 50%) auf diesem Friedhof lag, bei gutem Sandboden und Lagerung über dem Grundwasserspiegel (Froentjies, 1965). Auch in Esslingen war dies schon früh bekannt, daher durfte dort der Totengräber nur einen Sarg auf eine bereits erfolgte unverweste Bestattung legen (Illli, 1992). Doch darauf wurde insbesondere bei den bevorzugten Beisetzungen in Kirchen, gemauerten Grüften oder Familiengräbern nicht geachtet. Hier wurden die alten Bestattungen häufig einfach niedergedrückt oder beiseite geschoben. Immer wieder wird eine Verwesungsmüdigkeit des Bodens für das Auftreten von Leichenlipidbildung verantwortlich gemacht (Bauer, 1992; Abel, 1912). Der Begriff besagt, dass der Verwesungsprozess in einem Boden nach mehreren Bestattungen verzögert abläuft (Büchi und Willimann, 2002; Albrecht, 2003c; Albrecht, 2004a, Schoenen, 2003b). Eine Erklärung könnte die Ansammlung von humösen Stoffen infolge der Leichenzersetzung sein (Schmierl, 1982; Berg, 1962). Diese binden die Feuchtigkeit und können zu einer Verkleinerung der Porenräume führen. Ein Phänomen, welches man auch aus der intensiven Landwirtschaft kennt. Wie weit verbreitet die angebliche „Verwesungsmüdigkeit“ von Friedhofsböden überhaupt ist, darüber gibt es keine wissenschaftlichen

Untersuchungen. Nachforschungen ergaben in den allermeisten Fällen, „das dieses Phänomen niemals flächenhaft, sondern innerhalb von Grabfeldern mehr oder weniger häufig auftreten kann“ (Weinzierl und Waldmann, 2002). Vieles spricht dafür, dass Wourtsakis Recht hat mit seiner Aussage, dass „viele Friedhöfe, die heute Zersetzungstörungen zeigen, bereits zu Beginn für die Bestattungstätigkeit ungeeignet waren“ (Wourtsakis, 2003). Daher kann, wie von vielen Wissenschaftlern gefordert (Büchi und Willimann, 2002; Janaway, 1987), wenn es nicht zu Degradationsstörungen kommt, in regelmäßigem Tonus weiter bestattet werden. Beim Auftreten von Adipocire sollten jedoch Sanierungs- bzw. Prophylaxe-Maßnahmen vor einer Neubelegung vorgenommen werden.

Jahreszeit der Bestattung

Untersuchungen zum Einfluss der Jahreszeit während der Bestattung gab es mehrere (Morovic-Budak, 1965; Abel, 1912; Klemp, 1931; Schmierl, 1982; Lötterle et al., 1982; Evans, 1963; Mant, 1987; Moura et al., 1997). Eine einheitliche Aussage konnte jedoch nicht getroffen werden. Ein Grund für die gefundenen Zusammenhänge könnte das Einfließen von anderen Faktoren, wie der Bodenfeuchte oder der Kleidung der Bestatteten sein. Unbestreitbar ist, dass die Degradation in den Sommermonaten, aufgrund der höheren Bodentemperaturen und der geringeren Bodenfeuchtigkeit begünstigt ist. Jedoch sollte sich dieser Vorteil einer zu Beginn schnelleren Degradation bei Ruhefristen von mindestens 15 Jahren ausgleichen.

Als Konsequenzen kann nur daraus abgeleitet werden, dass in den Wintermonaten darauf geachtet werden sollte, dass der Leichnam keine dicke, isolierende Kleidung trägt.

5.1.2.3. Verbesserung der Verhältnisse auf dem Friedhof

Auch einige Faktoren der Friedhofsgestaltung, bzw. der Friedhofsnutzung führen zur Verlangsamung der Degradation. Gerade Grababdeckungen und –bepflanzungen, sowie die Gießaktivität der Besucher oder die biologische

Aktivität des Bodens des Friedhofs können durchaus in der Entstehung der Leichenlipidbildung eine Rolle spielen.

- Grababdeckungen

Grababdeckungen können einen hemmenden Einfluss auf die Degradation ausüben, denn die Abdeckungen mit kompakten Steinplatten oder sonstigen undurchlässigen Materialien führen zur Versiegelung des Bodens (Schwab, 1994; Otto, 1994). Als Grababdeckungen sind zu nennen Grabplatten und die Abdeckungen mit unterlegtem Kies. Von den Ersteren sind Monolith-Grabplatten die gängigsten, die in unterschiedlicher Größe als Grabplatte oder Teilabdeckung angeboten werden. „Die Abdeckung mit Kies wird vom Laien auf den ersten Blick nicht als Grababdeckung erkannt, allerdings befindet sich unterhalb der Kiesschicht kein Bodenmaterial, sondern eine undurchlässige Sperrschicht aus Dachpappe, Folien und sogar Beton“ (Albrecht, 2004b). Die Folgen sind eine „Beeinträchtigung des Gasaustausches, der Bodenverdunstung und des Wärmehaushaltes, sowie des Versickerns von Niederschlagswasser“ (Wessolek, 1988). Der drastisch reduzierte Luft- und Wasseraustausch kann so zur Leichenlipidbildung führen. Darüber hinaus wird durch die Abdeckungen die Bepflanzung der Gräber verringert, so dass sich keine tiefen Wurzeln bilden können. Zusätzlich könnte die „biologische Aktivität im Boden negativ beeinflusst „ werden (Albrecht, 2004b). Ein Beispiel hierfür sind Regenwürmer, die durch ihre Tätigkeit für die Belüftung von erheblicher Bedeutung sind, die unter den Grababdeckungen in deutlich geringerer Anzahl vorkommen (Fiedler und van de Sand, 2001). Auch „die Anzahl der Mikroorganismen, die maßgeblich an der Zersetzung des Leichnams beteiligt sind, wird ebenfalls stark verringert“ (Fiedler und van de Sand, 2001). Ein generelles Verbot von Grababdeckplatten halte ich trotzdem nicht für notwendig, solange die Degradation im Rahmen der Ruhefristen gewährleistet ist. Allerdings sollten von einem flächenhaften Einsatz abgesehen werden (Albrecht, 2004b). In Abhängigkeit vom Bedeckungsgrad des Grabes sollte zusätzlich, je nach vorliegender Bodenart eine Verlängerung der Ruhefristen erwogen werden.

- Grabbepflanzungen

Auch die Grab- und Friedhofsbepflanzung hat einen Einfluss auf die Leichenlipidbildung, denn eine Verbesserung der Verwesung kann durch intensiv-bzw. tiefwurzelnde Pflanzen, wie z.B. Luzernen, oder eine geeignete Randbepflanzung der Grabfelder erreicht werden (Matthes, 1903; Aeschliemann, 2002; Milbert, 2002; Willey und Heilman, 1987; Scheffer und Schachtschabel, 2002). In zahlreichen Berichten verschiedener Autoren findet man Baumwurzeln, die sich einen Weg durch das Sargholz gebahnt und alle Knochen mit feinsten Wurzelfäserchen dicht umspinnen hatten. Dies kann bis zu einer massiven Durchsetzung der Gräber mit dichtem Netzwerk von Wurzeln gehen, bei einhergehendem weit fortgeschrittenem Zersetzungszustand der Leichen (Abel, 1912; Albrecht, 2002a; Müller, 1913). Solche Berichte decken sich mit unseren eigenen Erfahrungen, die wir bei unseren Ausgrabungen gemacht haben. Auch bei uns zeigten sich die Körper, wenn sie im Sarg von Wurzeln umgeben waren, gut zersetzt bzw. schon skelettiert.

Besonders förderlich für die Degradation ist der Wasserentzug durch die Pflanzenwurzeln (Albrecht, 2002a), denn Pflanzenwurzeln sind „ein ausgezeichnetes Mittel um Gräber trocken zu halten“ (Hunziker, 1919/1920). Insbesondere bei einem Friedhof mit „Wasserproblematik“ kann so eine permanente Dauerbepflanzung mit Bodendeckern oder die Nachbarschaft eines Baumes zu Wasserentzug aus dem Boden führen. Abgesehen „von der positiven Wirkung aufs Gemüt“ (Abel, 1912), führt eine reichhaltige Bepflanzung des Friedhofes und der Gräber über kleine Zierblumentöpfe hinaus, zu einer Bereicherung des Bodenlebens und die Wurzeln haben durch Zerstörung der Zellulose einen Effekt auf den Abbau des Sargholzes (Müller, 1913). Dies bestätigten Exhumierungen, bei denen eine vollständige Zersetzung des Sargholzes vor allem in solchen Gräbern vorgekommen war, wo eine üppige Entwicklung von Wurzelwerk bis in die Sargtiefe hinab zu konstatieren war (Müller, 1913). Darüber hinaus schließen die Pflanzenwurzeln das Bodenvolumen für mineralische Nährstoffe und Wasser auf und verankern die Pflanzen im Boden (Kuntze et al., 1994). So erschließen tiefwurzelnde Pflanzen den Bodenraum bis in große Tiefe und schaffen durch ihre Wurzeln Grobporen

(Albrecht, 2002a). Zudem wird propagiert, dass ein häufiger Wechsel zwischen Trocken und Nass, wie er durch Wurzelwerk bewirkt wird, günstig auf den Ablauf der postmortalen Dekomposition wirken kann (Schauenstein, 1882).

Dem steht entgegen, dass die meisten Stoffwechselforgänge am reibungslosesten im konstanten Milieu verlaufen. Allerdings fördert ein rasches Abfließen des Bodenwassers die Belüftung, da die Bodenporen entlang der Wurzel dann wieder mit Sauerstoff gefüllt werden können.

Bäume mit dichtem Laubdach, wie Buchen, Ulmen, Eichen, Linden, Kastanien und Platanen sollte man jedoch aufgrund der Schattenbildung vermeiden (Abel, 1912). Besser geeignet sind Koniferen (Tannen, Fichten, Zypressen, Thuja oder Taxus), ferner Birken und Eschen. Gerade Lebensbäume und Zypressen eignen sich gut, da sie ein feines üppiges Wurzelwerk liefern und wegen ihrer Schlankheit nicht zuviel Schatten werfen. Um eine wissenschaftlich fundierte Aussage machen zu können, laufen derzeit Untersuchungen von Prof. Graw und Prof. Fiedler zum Einfluss der Bepflanzung auf die Leichenlipidbildung und den Lipidabbau.

Auf jeden Fall sollte vermieden werden, aus Kostengründen die Grünflächen auf Friedhöfen zu verringern. Im Gegenteil, es sollten gezielt vermehrt tiefwurzelnde Pflanzen und Bäume gesetzt werden, um teure Sanierungsmaßnahmen zu verhindern. Zudem könnte man dann, wie bereits in einigen Städten erfolgt, bei verringertem Grabflächenbedarf Überlegungen anstellen die Friedhofsfläche zu reduzieren und sie als Parkanlage zu nutzen. Eine zusätzliche Möglichkeit könnte sein, dass zusammen mit der den Friedhof betreuenden Gärtnerei versucht wird, für die Dekomposition besser geeignete Pflanzen auf den Gräbern anzupflanzen, die auch weniger gegossen werden müssten.

- Gießaktivität

„Spätestens seit der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts sind auch in ländlichen Gebieten alle Friedhöfe an die örtliche Wasserversorgung angeschlossen. Damit änderten sich auch die Friedhofskultur und das Erscheinungsbild unserer Friedhöfe: Bewässerungsintensive und meist

blühende flachwurzelnde Saisonbepflanzungen lösten trockenresistente Dauerbepflanzungen weitgehend ab“ (Weinzierl und Waldmann, 2002). Gerade für viele ältere Menschen wurde so der tägliche Gang zur Grabpflege zum festen Bestandteil der Trauerarbeit und des sozialen Lebens.

Aber die heutige Gießaktivität der Friedhofsbesucher, die sich in einem Rahmen von 100-2000l/Grab/Jahr bewegt (Wourtsakis, 2002; Fleige et al., 2002), kann bei verminderter Verdunstung und selbst bei trockenen Friedhofsböden einen Wasserstau begünstigen (Fiedler und Graw, 2003a). So wird von manchen Wissenschaftlern befürchtet, dass bei Sandböden, bei einer solchen intensiven Bewässerung die Gefahr der Grundwasserverunreinigung besteht (Wourtsakis, 2002). Hierzu fehlen jedoch wissenschaftliche Untersuchungen.

Zusätzlich führt das übermäßige Gießen dazu, dass die luftführenden Grobporen häufiger und länger wassergefüllt sind und damit der Sauerstofftransport in die Zersetzungszone blockiert wird. Gerade bei schwach durchlässigen Böden könnte es so zur Vernässung kommen.

Sinnvoll wäre es, man würde auf die typischen, traditionellen, saisonalen Grabbepflanzungen, wie z.B. Begonien verzichten und weniger pflegeintensive und insbesondere weniger „gießbedürftige“ Gewächse bevorzugen. Sträucher und Gräser wären diesbezüglich weniger anspruchsvoll. Im Hinblick auf das vorherige Kapitel wären tiefwurzelnde Pflanzen noch geeigneter.

- Bearbeitungsmaßnahmen

Die Friedhofsböden unterliegen zahlreichen menschlichen Eingriffen, die den Wasser- und Lufthaushalt nachhaltig verändern und als Resultat zu Verdichtungen führen können. Diese verdichteten Böden werden dann häufig in der Folge stau- und haftnass (Kuntze et al., 1994). „Umlagerungen, Gefügezerstörung und anschließende Bodenverdichtung, lassen häufig eine Bearbeitungssohle entstehen, die als Diffusionshindernis der Bodenluft, bzw. als Wasserstauer fungiert“ (Graw, 2003). Durch das tiefgreifende Umgraben, aber auch durch Trittvverdichtungen (Willmann, 1996) wird die natürliche Wasserführung des Bodens unterbrochen. Der Boden wird durch das Ausheben

des Grabes lockerer und damit wasserdurchlässiger. Der Niederschlag versinkt rascher und trifft dann auf den dichten Bodenbereich im Grabsohlenbereich, was zu Staunässe führt. In diesem Zusammenhang tritt der Begriff „Badewanneneffekt“ häufiger auf. Damit meint man: „Gegenüber dem angrenzenden Boden zeichnet sich das wiederverfüllte Grab durch eine lockere Lagerung aus, wodurch es zur regelrechten Wasserfalle wird („Badewanneneffekt““ (Fiedler und Graw, 2003a).

Untersuchungen zeigen, in wie weit Friedhofsböden im Laufe der Zeit, bedingt durch die Nutzung als Bestattungsplatz, „Nutzungserscheinungen“ aufweisen: Ein besonderes Merkmal der Nekrosolen des Friedhofes in Lübeck beispielsweise waren die geringe Lagerungsdichte und die in den Tiefwurzelzonen erhöhte Humusanreicherung, die allerdings unter den Mengen von Gartenböden vergleichbarer Nutzungsdauer zurück blieben. Auch die Phosphatreserven wiesen keine auffallend hohen Werte auf und die pH-Werte streuten im Bereich des Oberbodens bei längerer Nutzung zwischen 5,4 und 6,6, sowie im Unterboden von 4,6-6,6 (Aey, 1990). Bei den Untersuchungen von Friedhöfen in Berlin fiel Grenzius auf, dass es aufgrund der Friedhofsnutzung zum Teil zu erheblich veränderten Böden gekommen war. Aufgrund der unterschiedlichen Standorte konnten jedoch keine allgemein gültigen Aussagen gemacht werden. Auffallend war eine häufig auftretende, durch zusätzliche Bewässerung verursachte Erhöhung des Wasserangebotes um eine Stufe. Eine Aussage über die Verwesungszustände wurde nicht getroffen (Grenzius, 1986).

Auch wenn es sich im Alltag eines Friedhofsbetriebs schwierig gestaltet, sollten die Friedhofsangestellten bezüglich der Auswirkungen von Bearbeitungsmaßnahmen auf die Degradation geschult werden. So könnte die eine oder andere Maßnahme anders oder später erledigt werden, beispielsweise wie das Befahren mit Transportfahrzeugen mit hoher Achsenlast, um so Verdichtungen zu vermeiden (Albrecht, 2003b).

- Biologische Aktivität im Boden

Bakterien sind mengenmäßig, wie auch nach ihren Bodenfunktionsleistungen, eine der wichtigsten Gruppen im Boden (Kuntze et al., 1994). Sie sind aber bezüglich ihrer Besiedlung und Aktivität in Friedhofsböden noch nie untersucht worden. Deutlich besser beforscht, ist der Einfluss von Tieren auf die Degradation und auf die Leichenlipidbildung (Payne und King, 1968; Reed, 1958; Hunger und Leopold, 1978), „denn Leichen sind für weit über hundert Gliederfüßerarten (Arthropoden), insbesondere für Fliegen (Diptera) und Käfer (Coleoptera) Brutstätten, Nahrungsquelle und Lebensraum“ (Benecke, 2003). Es gibt sehr ausführliche Studien zur Besiedlung von Kadavern, meist tierischer Natur, die sich mit dem Einfluss der Insekten etc. auf die Degradation beschäftigen. In den Experimenten von Payne und King wird die Bedeutung der Arthropoden bei der Dekomposition anhand von begrabenen Schweinen aufgezeigt (Payne und King, 1986). Auch Reed führte eine ausführliche Studie mit Hundekadavern über die Stadien der Verwesung mit besonderem Schwerpunkt auf die Besiedlung mit Insekten durch (Reed, 1958). Er zeigte, dass die Insekten Populationen im Allgemeinen kleiner, bei den Kadavern in den nicht bewaldeten Gebieten waren, als in den bewaldeten. Dies könnte auch der Grund für die langsamere Verwesung der Kadaver in den nicht bewaldeten Gebieten gewesen sein. Untersuchungen von Lund bestätigen dies und zeigten zusätzlich jahreszeitliche Schwankungen der Besiedlung und der Aktivität der Insekten (Lund, 1964).

Aufgrund von zahlreichen Untersuchungen auf Friedhöfen, wurde Ende des 19. Jahrhunderts der Begriff der Friedhofsfauna eingeführt, die in der Zusammensetzung je nach Autor variiert (Abel, 1912; Matthes, 1903; Hofmann, 1877; Hunger et al., 1993; Müller, 1975; Motter, 1889). Hunger und Leopold sammelten Veröffentlichungen zu der so genannten „Friedhofsfauna“ oder „Gräberfauna, mit vielen Beispielen der gefundenen Käfer, Milben, Collembolen, Phoriden und Staphyliniden (Hunger und Leopold, 1978). Allerdings sollte man beachten, dass nicht alle Arten direkt am Leichenfraß beteiligt sind, sondern auch viele Sekundärparasiten vorkommen, die sich nicht von den Leichen, sondern von den auf ihr lebenden Maden und Pilzgeflechten

nähren. Untersuchungen und Beschreibungen der Fauna von Gräbern, anhand von 150 menschlichen Exhumierungen und verschiedenen Versuchen mit begrabenen Hunden zeigten, dass die Fauna auch bei Erdbestatteten Körpern sehr „reichhaltig“ sein kann (Motter, 1889). „Käfer scheinen sich allerdings im Grab erst gegen Ende der Fäulnisvorgänge einzustellen. Regenwürmer findet man in den Gräbern gelegentlich, doch sind sie nach ihrer Lebensweise wohl nicht bei der Verzehrung der Leichen beteiligt“ (Abel, 1912). „In heutigen Zeiten dominieren in der Fauna begrabener Leichen Buckelfliegen (Phoridae), (in Zentraleuropa von *Conicera tibialis* Schmitz) oder Käfer (*Rhizophagus parallelocollicis*)“ (Benecke, 2003). Größere Tiere spielen im Gegensatz zum Tierfraß bei frei liegenden Leichen im Erdgrab keine Rolle.

In Laborexperimenten konnte nachgewiesen werden, dass bestimmte Fliegenlarven auch unter den Bedingungen eines Erdgrabes überleben können (Kulshrestha und Chandra, 1987).

Allerdings ist eine Einwanderung von Insekten durch die Erde in den Sarg aufgrund der Bestattungstiefe, der Grababdeckungen, der fehlenden tiefwurzelnden Pflanzen und der verdichteten Böden erschwert. Eine weitere Möglichkeit für die Insekten an den begrabenen Körper zu gelangen ist im Sargholz oder mit der Leiche selber. Doch diese Möglichkeit der Erstbesiedlung ist heutzutage aufgrund der industriellen Herstellung und Lagerung der Säрге und den fehlenden öffentlichen Aufbahrungen der Leichen nur eingeschränkt möglich. Darüber hinaus könnte die Temperaturerniedrigung (durch die dreitägige Lagerung in der Kühlkammer) der Leichen und ihre Auswirkung auf die mikrobielle Aktivität im Erdgrab auch eine Rolle spielen (Weinzierl und Waldmann, 2002).

Die meisten grabbewohnenden Gliedertiere legen ihre Eier schon vor der Einsargung auf der Leiche ab, es gibt nur wenige Fliegen-Gattungen, die auch ins Grab eindringen können (Abel, 1912). Eine von ihnen scheint die Sargbuckelfliege *C. tibialis* zu sein, die durch Gänge von der Erdoberfläche aus eindringen und die Leiche als reine Nahrungsquelle nutzen kann (Colyer, 1954). Zusätzlich besteht das Problem des sauerstoffarmen Milieus im Erdgrab, welches für viele Insekten eine Schwierigkeit darstellt. Zwar können die Eier

von Schmeißfliegen einen zeitweiligen Luftabschluss (bis zu 5 Tagen im Vakuum) überleben (Nielsen, 1976), doch könnte dieser Zeitraum bei fehlender Gaszirkulation durch einen hermetisch abgeriegelten Sarg nicht ausreichend sein.

Um Insekten die Möglichkeit zur Erstbesiedlung zu geben, wäre beispielsweise als Versuch denkbar, Madenlarven mit in den Sarg zu geben oder öffentliche Aufbahrungen zu fördern. Diesbezügliche Versuche sind aus ästhetischen Bedenken jedoch nicht durchführbar. Wesentlich praktikabler ist der Ansatz die Bedingungen für Mikroorganismen und Insekten auf dem Friedhof zu verbessern, was mittels vermehrter Bepflanzung möglich wäre. Dabei hätte man zusätzlich den günstigen Effekt von Pflanzen und Wurzeln auf die Degradation genutzt.

5.1.2.4. Allgemeinmaßnahmen

Auch die individuellen Eigenschaften eines Leichnams, wie ein höheres Alter (Prokop und Göhler, 1976; Hofmann, 1877; Smith Fiddes, 1955, Müller, 1913; Hunger et al., 1993; Froentjies, 1965), das weibliche Geschlecht (Hunger et al., 1983; Rabl et al., 1991; Froentjies, 1965, Müller, 1913; Evans, 1963; Rabl et al., 1991), die Adipositas (Prokop und Göhler, 1976; Thouret, 1792; Pfeiffer et al., 1998; Zillner, 1885; Müller, 1915; Madea, 2003) und bestimmte praemortale Erkrankungen (Smith Fiddes, 1955; Prokop und Göhler, 1976; Müller, 1915; Mayrhofer und Wimmer, 1924), bzw. Medikamenteneinnahmen und hier insbesondere Antibiosen (Wagner, 1960; Wagner, 1961; Graf und Preuß; 1969; Hofmann, 1877; Reh, 1960; Selles, 1957; FAZ, 1997; Abel, 1912; Madea, 2003; Krause, 2003) können unter Umständen zur Leichenlipidbildung beitragen.

Da die individuellen Eigenschaften eines Leichnams jedoch nicht zu beeinflussen sind, können hieraus auch keine Maßnahmen zur Verhinderung der Leichenlipidbildung abgeleitet werden. Man könnte jedoch überlegen, ob man so etwas wie den Terminus „Risikoleiche“ einführt. Dieser beschreibt eine Leiche, die schon aufgrund ihrer individuellen Voraussetzungen, z.B. schwer adipöse, weibliche, 80-jährige Leiche, ein erhöhtes Risiko trägt Leichenlipid zu

bilden. In diesem Fall könnten dann bereits bei der Bestattung prophylaktische Maßnahmen angewandt werden.

Gerade die Verhältnisse während der Bestattung oder auf dem Friedhof könnten häufig ohne großen finanziellen oder arbeitstechnischen Aufwand, im Sinne einer effizienteren Degradation verändert werden. Beispielsweise durch eine Friedhofsverordnung, die das Verwenden von Eichensärgen untersagt und als Totenbekleidung nur Baumwollstoffe zulässt. Zwar bedarf ein solches Vorgehen einer einfühlsamen Aufklärung der Bevölkerung, da sie zu Einschränkungen der bisherigen Traditionen (z.B. derzeit noch bis zu 20% Marktanteil beim Eichensarg) führt, jedoch haben unsere Erfahrungen gezeigt, dass die Öffentlichkeit auf solche Informationen zum größten Teil interessiert und verständnisvoll reagiert. Gerade die Einbindung der Bevölkerung durch Information kann schon positive Veränderungen ermöglichen. Als Beispiel wäre hier die Gießaktivität zu nennen, auf die nicht unmittelbar Einfluss genommen werden kann. Der Friedhofsnutzer kann jedoch für die Problematik sensibilisiert werden, so dass er sein Verhalten verändert.

Ein weiterer Punkt, der bisher nur wenig beachtet wurde, ist die Dokumentation von Degradationsstörungen. Denn häufig werden Probleme mit der Verwesung nur mündlich weitergegeben und so gehen bei personellem Wechsel viele Informationen verloren. Doch gerade diese Informationen sind wichtig für eine Planung und Einschätzung der räumlichen Eingrenzung der Fälle und der Ursachenermittlung, sowie einer Ermittlung der notwendigen Ruhefristen. Daher wäre es sinnvoll beim Auftreten von Verwesungsstörungen diese zu dokumentieren, um durch genaue Daten die Wahl der Prophylaxe- und/oder Sanierungsmaßnahmen zu erleichtern.

Eine Möglichkeit zur Dokumentation ist der Dokumentationsbogen von Albrecht, um gezielt Informationen über Verwesungsschwierigkeiten zu erhalten (Albrecht, 2004a), welcher in Zusammenarbeit mit einem Gesundheitsamt entstanden ist. Dieser fordert Informationen zu Grabdaten, Grababdeckung, Angaben zum Wassereinfluss, Bodenverhältnisse und dem Zersetzungszustand des Sarges und der Leiche. Der Bogen sollte vom Friedhofsverwalter oder von Mitarbeitern des Gesundheitsamtes erhoben

werden. Die Forderung den Bogen bei Verdacht auf Verwesungsprobleme bei jeder Graböffnung auszufüllen, ist sicherlich aufgrund des Aufwandes – trotz der einfachen Anwendbarkeit-unrealistisch. Eine stichprobenartige Durchführung würde allerdings nützliche Informationen erbringen, die jedoch nicht zwangsweise nur durch diesen Bogen, sondern auch durch eigene Notizen zu erheben sind. Voraussetzung für den Nutzen einer Datensammlung ist aber, dass diese auch sachkundig ausgewertet werden.

5.2. Diskussion von Sanierungsmaßnahmen

„Wenn Leichenwachsbildung beobachtet wird, so hilft bei der langen Erhaltung dieser abnormen Zersetzungsprodukte im Grabe die Verlängerung des Turnus nichts, vielmehr ist der Friedhof oder sein die Verwesungsstörungen zeigender Teil für die weitere Beerdigung nicht zu verwenden“ (Abel, 1912). Ziel ist es solche Konsequenzen zu verhindern und mittels Sanierungsmaßnahmen doch einen Abbau des Leichenlipids zu erreichen.

5.2.1. Wechsel des Milieus

Wenn die zu Leichenlipid umgewandelten Körper in ein für die Degradation geeigneteres Milieu (gute Bodenverhältnisse, kein Wasserstau) umgebettet werden, kann ein Abbau auch in wenigen Jahren erfolgen. Dies zeigen beispielsweise die Erfahrungen aus den Niederlande, wo nach Umbettung „75% aller oberflächlich beerdigten Adipocireleichen nach 4 ½ Jahren dekompostiert vorgefunden wurden“(Prokop und Göhler, 1976).

Daher ist die effektivste Sanierungsmaßnahme der Wechsel in einen zur Erdbestattung besser geeigneten Friedhofsboden.

5.2.2. Optimierung der Umgebungsvariablen

Allerdings ist dies nur in den wenigsten Fällen praktikabel, daher muss man, wenn man das Milieu nicht austauschen kann die vorliegenden Bedingungen auf dem Friedhof verändern. Dies sollte zunächst unter dem Gesichtspunkt der Verbesserung der Diffusion gesehen werden.

Denn im Gegensatz zu den Kohlenhydraten und Eiweißen, die bereits bei der anaeroben Fäulnis schon weit aufgespalten werden können (Specht, 1937; Müller, 1975; Daldrup, 1979), stagniert der Lipidabbau während dieser Phase (Lindlar und Gröbe, 1968; Lindlar, 1969; Döring et al., 1976; Szathmary et al., 1985; Fallani und Astore, 1961) und ist erst während der aeroben Verwesung vollständig möglich. Dies erklärt, warum gerade der Lipidabbau so anfällig für einen Sauerstoffmangel ist, denn beispielsweise wird „für den vollständigen Abbau von 1 kg Stearinsäure 2,92 kg Sauerstoff benötigt“ (Schoenen, 2003b). Die aeroben Zustände werden aber auch für die β -Oxidation beim Abbau des Leichenlipids notwendig, daher ist die Erhöhung der Diffusion bei den Sanierungsmaßnahmen ebenfalls so wichtig. Zusätzlich werden durch eine ausreichende Sauerstoffzufuhr noch die Vegetation und das mikrobielle Leben positiv beeinflusst, die wiederum eine vollständige Degradation begünstigen können.

Diffusionserleichternde Maßnahmen sind allerdings nicht nur Belüftungssysteme, sondern auch Entwässerungsmaßnahmen oder Verbesserungen der Bodenverhältnisse. Daher ist das Grundprinzip aller nachfolgend vorgestellten Verfahren, die Bodenbelüftung effizienter zu gestalten, um damit einen höheren Sauerstoffgehalt durch eine bessere Ventilation zu erzielen.

Ist es zum Auftreten von Leichenlipid gekommen, wäre es sinnvoll zur Planung der Sanierungsmaßnahmen zuerst festzulegen, wie flächendeckend das Problem auf dem Friedhof vorkommt und welche Ursachen dafür in Frage kommen könnten. Hierfür könnte ein Gutachten von einem ausgewiesenen Expertenteam hilfreich sein (Fiedler und Graw, 2004).

Wie wirkungsvoll es sein kann die Umgebungsvariablen zu optimieren, zeigen die Erfolge der Sanierungsmaßnahmen der Firma Linder+Partner AG in der Schweiz, die die Fettwachsleichen nach erfolgten Bodenaustauscharbeiten und Einbau von Entwässerungssystemen, sowie Erhöhung der Grabtiefe und Wechsel des Sarges erneut „begraben“ und mit diesem Verfahren eine rasche endgültige Zersetzung erreichen (Aeschliemann, 2003; Hauri-Bionda, 2001).

5.2.2.1. Verbesserung der Diffusion

Heutzutage werden von verschiedenen Herstellern Hilfsmittel zur gezielten Erhöhung der Sauerstoffkonzentration im Friedhofsboden angeboten. Die meisten Verfahren, wie das von Müller bereits 1914 entwickelte Sargventil (Müller, 1914) oder die Diffusionsstäbe oder die Kunststoff-Särge der Firma Noduk mit Entlüftungsventil oder das vertikale Einbringen von Kugelstyropor-Platten funktionieren über passive Belüftung. Vorteil sind die einfache Anwendung und die geringen Kosten (beispielsweise bei den Diffusionsstäben ca. 50 Euro/Grab- Stand 2009). Sie können gezielt bei einzelnen Gräbern angewandt werden und sind sowohl als Prophylaxe- als auch als Sanierungsmaßnahme einsetzbar. Laut einem Gutachten der Universität Duisburg erfolgt bei einer Sanierung mit den Cyclo-Diffusionsstäben die Zersetzung innerhalb von 5 Jahren (Gefa Produkte, 2000; Beck, 1995). In unserer Versuchsreihe konnte eine Erhöhung der Sauerstoffkonzentration bei den Gräbern mit den eingebauten Diffusionsstäben verzeichnet werden. Bei der Graberöffnung war es jedoch noch zu keinem deutlichen Abbau des Leichenlipids gekommen. Daher ist es unwahrscheinlich, dass hier nach 5 Jahren, wie in dem Gutachten nur Knochen zu sehen sind. Insgesamt sind die Diffusionsstäbe sicherlich eine wirksame Maßnahme, um den Gas-Luftaustausch zu fördern und damit den natürlichen Zersetzungsprozess zu unterstützen. Ob die Luftwechselraten bei schweren Belüftungsstörungen im Boden ausreichen, um Leichenlipid abzubauen kann anhand unserer erhobenen Daten nicht sicher beurteilt werden.

Die Gräber mit den Belüftungsrohren für eine kontinuierliche Luftzufuhr zeigten wie erwartet nur einen geringen O₂-Anstieg. Aber die modifizierte Versuchsreihe mit den Belüftungsrohren für die kontinuierliche Belüftung kombiniert mit der Eingabe von Blähton zeigte durchgängig ordentliche Sauerstoff- und Kohlendioxidwerte. Dies könnte zeigen, dass hier insbesondere der Bodenaufbruch und die Eingabe von Blähton zu einer Verbesserung der Belüftung geführt haben. Insgesamt scheinen die Belüftungsrohre per se allerdings nur eine geringe Verbesserung der Belüftung zu erzielen.

In unseren Prophylaxemaßnahmen wurden zur Verbesserung der Belüftung Leca-Baumschnorchel eingebracht, die sicherlich mit zu den hohen Sauerstoffkonzentrationen in diesen Gräbern geführt haben. Dies passt zu den Erfahrungen von Müller, der bei seinen Ausgrabungen auf Überreste von Fundamentierungspfählen stieß, die von der Oberfläche des Bodens bis in die Tiefe reichten. Dabei fiel ihm auf, dass eine Verhinderung der Adipocirebildung, trotz ungünstigem Boden immer dann eingetreten war, wenn die Pfähle gänzlich oder nahezu ganz verschwunden und an ihrer Stelle Kanäle getreten waren (Müller, 1914). Vorteil dieser Maßnahme ist wiederum die einfache und individuelle Handhabung bei geringen Kosten. Zudem es durch die gebildeten Kanäle nicht nur zu einer Verbesserung der Diffusion kommen sollte, sondern es könnte auch zu einer Förderung der mikrobiologische Aktivität führen. Eine aktive Belüftung erfolgte in unseren Versuchen durch rezidivierende Belüftungen mittels Druckluft. Diese Maßnahme führte nur zu einer geringen Erhöhung des Sauerstoffgehaltes. Allerdings konnte bei der Graberöffnung Pilzmycel, im Sinne eines aeroben Milieus mit beginnenden Verwesungszeichen festgestellt werden. Und auch noch 24h nach den Lufteingaben imponierten erhöhte Sauerstoffwerte. Von daher ist abzuleiten, dass ein System mit permanenter Luftzufuhr eine dauerhafte Belüftungsverbesserung erbringen könnte. Ein dortiger Folgeversuch mit kontinuierlicher Luftzufuhr mittels einer solarbetriebenen Pumpe von Prof. Graw und Prof. Fiedler läuft derzeit. Schon nach wenigen Monaten zeigte sich hier Pilzmycel, als Erfolg der Bodenbelüftung. Die endgültigen Ergebnisse dieser Versuchsreihe stehen jedoch noch aus.

➤ siehe Foto Nr. 3 im Anhang :vom Pilzmycel auf dem Grab

In der Zwischenzeit werden nun auch stationäre, aktive Belüftungssystemen angeboten, bei denen Sauerstoffbatterien mit eingebracht werden. Hierzu wurden jedoch bisher noch keine wissenschaftlichen Untersuchungen veröffentlicht, daher gilt abzuwarten welchen Effekt sie erzielen können. Allerdings hatte sich bei unseren Versuchen gezeigt, dass nicht der hohe

Sauerstoffgehalt alleinig eine bessere Verwesung garantiert, wichtig ist eher eine gute Durchlüftung.

Die mobilen Belüftungsanlagen, bei denen man mittels Lanze den Boden lockert und z.B. Blähton einbringen kann, habe ich bei den Entwässerungsmaßnahmen diskutiert.

5.2.2.2. Entwässerung

Nicht nur schlecht durchlüftete Böden führen zu Degradationsstörungen, sondern auch solche mit wasserführender Schicht. Denn „Bodenluft und wasser stehen grundsätzlich in einem antagonistischen Verhältnis zueinander, da das Bodenwasser die vorhandene Luft verdrängt.“ (Wourtsakis, 2002), daher wird das Hohlraumvolumen des Bodens entweder von Wasser oder von Luft gefüllt.

Zwar ist Wasser eine der wichtigsten Voraussetzungen für das Wachstum der Mikroorganismen und dient darüber hinaus als Lösungsmittel für organische und anorganische Stoffe, aber ein Wasserüberschuss kann zu Degradationsstörungen führen. Bei der Leichenlipidbildung beruht der Haupteinfluss des Wasserüberschusses wahrscheinlich auf dem Verdrängen von Sauerstoff (Keller, 1963). Durch Abkühlung mittels Wärmeleitung mit Verdunstung und Kondensation oder durch Umspülen mit kaltem Wasser, beeinflusst das Wasser zusätzlich die vorherrschende Temperatur. Außerdem ist die Entwässerungsfunktion der Fäulnis gestört. Auch die Wasserunlöslichkeit der Fettsäuren wird von manchen Wissenschaftlern als Faktor „für die Problematik der Wachsleichen“ (Schoenen, 2002) angeschuldigt. Dies erscheint aber unsinnig, denn wenn die Fettsäuren wasserlöslich wären, würden sie zwar bei den Fäulnisvorgängen besser ablaufen können, mit dem eigentlichen Abbau hat dies aber Nichts zu tun.

Über den Einfluss der im Wasser gelösten Elektrolyte auf die Leichenlipidbildung wird derzeit noch gestritten (Mant, 1987; Yan et al., 2001; Kratter, 1880).

Um Degradationsstörungen und/oder Umweltbelastungen zu vermeiden, sind je nach Bundesland unterschiedliche Forderungen an die Wasserverhältnisse auf

einem Friedhof festgelegt worden. Aus Sorge vor Grundwasserverunreinigungen durch die Abbauprodukte der Leichenzersetzung, muss zwischen Grabsohle und höchstem Grundwasserstand, unabhängig von der Bodenart, eine Filterschicht von wenigstens 70 bis 80 cm Mächtigkeit vorhanden sein. Darüber hinaus soll der Boden bis in 2,5m Tiefe frei von Stau- und/oder Hangwasser sein (Stedte-Gaudich, 2002).

Ob eine tatsächliche Gefahr von den Bestatteten ausgeht ist umstritten, denn hierzu gibt es widersprüchliche Angaben (Thalmann, 1978; Risse und Dapper, 1975). Allerdings liegen nicht viele wissenschaftliche Untersuchungen zur „Umweltbelastung“ eines Erdbegräbnisses (Mollweide, 1983; Urban, 2002a; Urban, 2002b; Raestrup, 1926; Walcher, 1937; Katte, 1967; Schmidt, 1969; Weinig, 1958; Rubner et al., 1912; Urban, 2002a; Urban, 2002b; Urban, 2003), bzw. zur Gesundheitsschädlichkeit von Friedhöfen (Matthes, 1903; Büchi und Willmann, 2002; Lautenschläger, 1936; Schrap, 1972; Pacheco et al., 1991; Schneckenberger, 2002; Fiedler et al., 2002) vor. Bei der Leichenlipidbildung spielen die Überlegungen über die Gesundheitsgefährdung der Abbauprodukte jedoch keine Rolle, da hier eine Konservierung vorliegt und keine reguläre Zersetzung erfolgt ist. Das Thema „Umweltproblem“ ist daher wohl eher als Verkaufsargument zu sehen.

Eine „Wasserproblematik“ auf einem Friedhof überhaupt zu erkennen gestaltet sich häufig schwieriger als man annimmt, da es viel bei der Erhebung der Messdaten zu beachten gilt. Beispielsweise „bei der Untersuchung der Grundwasserverhältnisse ist zu beachten, dass der Grundwasserstand keine statische Größe ist, sondern häufig Schwankungen unterworfen ist. Außerdem muss die Mächtigkeit des geschlossenen Kapillarsaums mitberücksichtigt werden“ (Wourtsakis, 2002). Daher sollte die Prüfung des Bodens möglichst im Frühjahr oder nach langen Niederschlags-Perioden durchgeführt werden. Und man sollte auf Stauwasser aufpassen, denn oft ist der Standort zwar frei von Grundwasser, weist aber eine verzögerte Wasserbewegung, meist nur in Jahreszeiten mit hohen Niederschlagsmengen auf (Fleige et al., 2002).

Auch die Bodenbeschaffenheit spielt eine große Rolle bei einer „Wasserproblematik“. „Das im Boden haftende Wasser darf nicht zur Vernässung führen, das setzt eine gute Permeabilität des Bodens voraus, damit das Sickerwasser abgeführt werden kann“ (Risse und Dapper, 1975).

Bestes Beispiel hierfür sind die Exhumierungen von Müller, hier stammte das stagnierende Wasser, worin manche Leichen in ihren Särgen in den Erdgräbern schwammen nicht unbedingt von einem hohen Grundwasserspiegel, sondern von Sickerwasser (Müller, 1913).

Wie bereits bei den Diffusionsstörungen beschrieben, sind gerade verdichtete Böden problematisch, da sie stau- und haftnaß werden und nicht mehr in ausreichendem Maße an der Grundwasserneubildung teil nehmen. Ein typisches Beispiel hierfür ist der Friedhof in Bochum, bei dem das Problem der Staunässe aufgrund von extrem verdichteten Böden im Vordergrund stand. Lösung war die Anlage von Fangdränen außerhalb und von Dränsystemen innerhalb des Friedhofgeländes (Schmidt-Bartelt et al., 1990).

„Ziel einer Melioration vernässter Böden muß es sein, Wasserbewegung und Wasserspeicherung im Boden zu verbessern, um das Auftreten von Leichenlipid zu verhindern“ (Büchi und Willmann, 2002). Dazu dienen Dränung und/oder Unterbodenmeliorationen (Bestreben durch mechanische Maßnahmen, den verdichteten Unterboden für die Pflanzenwurzeln besser zu erschließen), die das nutzbare Bodenvolumen erhöhen (Kuntze et al., 1994). Aber auch Grabbepflanzungen können als Drainagesysteme fungieren und Aufschüttungen können ebenfalls als Meliorationsmaßnahmen durchgeführt werden.

Bei den Dränagen gibt es eine Vielzahl von eingesetzten Verfahren, angefangen von Fang- oder Rohrdränagen bis zu Flächen- oder Einzelgrabdränung, die je nach vorliegendem Problem unterschiedlich eingesetzt werden (Milbert, 2002). Darüber hinaus sollte man begleitend begünstigende Maßnahmen wie die Dränung der Grabnebenflächen in 0,7m Bodentiefe und die Erhöhung des Baumanteils (zur Senkung des Wasserverbrauchs und zur Bodenlockerung) nutzen (Milbert, 2002). Zusätzlich

sollten alle Maßnahmen, die zur Verdichtung eines Bodens führen vermieden werden.

Aufschüttungen dienen bei Problemen mit Stauungs­nässe oder hohem Grundwasserspiegel als Geländeerhöhung, um eine Wasserfreiheit im Grab selber und in der darunter gelegenen Filterschicht zu erreichen (Albert, 2002a). Wichtig ist hierbei auf das geeignete Bodenmaterial zu achten (Milbert, 2002), bestimmte Maßnahmen beim Anlegen zu beachten, wie beispielsweise auf Bagger, Raupen oder Rüttelplatten zu verzichten, um Bodenverdichtungen zu vermeiden (Albrecht, 2002 a) und die Aufschüttung gezielt zu begrünen. Da nach dem Einbau des Bodenmaterials durchaus mit Setzungserscheinungen zu rechnen ist, wird empfohlen in den ersten 2 Jahren keine Bestattung durchzuführen (Albert, 2002a; Milbert, 2002). In dieser Zeit kann vielmehr durch eine gezielte Begrünung für verbesserte Bodenbedingungen für die folgende Erdbestattung gesorgt werden. Hierzu sind schnellwüchsige Pflanzen wie Sommerraps, tiefwurzelnden Pflanzen wie Luzernen und Lupinen zu empfehlen (Albert, 2002a; Milbert, 2002).

Der Einbau von Drainageanlagen ist häufig recht kostspielig und arbeitsaufwendig. Zwar sind sie keine Lösung für eine einzelne Grabsanierung, aber ein Wasserüberschuss betrifft meistens ohnehin größere Teile eines Friedhofes. Es kann eine sehr individuelle, auf das Problem des einzelnen Friedhofs zugeschnittene Lösung erfolgen. Beispielsweise das Anwenden unterschiedlicher Drainagesysteme, wenn in einem Bereich Staunässe im anderen Grundwassereinfluss besteht. Es wäre aufgrund der vielen verschiedenen Möglichkeiten und der Komplexität zu empfehlen die Planung von Fachleuten durchführen zu lassen. Auf Extremstandorten mit hohen Wasserständen wie bzw. in Flussnähe oder bei stark ziehendem Hangwasser, ist eine effektive Bestattung mit regulären Drainagesystemen nicht möglich. Hier müssten dann Tauchpumpen eingesetzt oder ein Grabhilfssystem gewählt werden.

Beim Vorliegen eines „Wasserüberschusses“ auf einem Friedhof sollte zuerst dieser behoben werden, da ansonsten andere Hilfsmittel wie Diffusionsstäbe nicht effektive Wirkung erzielen können.

Unsere Erfahrungen

Der Versuch mit dem eingeblasenen Blähton zur Wasserspeicherung erschien gerade auf dem Modellfriedhof so ideal, da hier zwar kein Grundwassereinfluss bestand, aber es immer wieder zu Stauwasser aufgrund der Bodenverhältnisse (Pseudogleye und Verdichtungen) und aufgrund von Quellwasseraustritten (Hangquellen) kam. Zusätzlich führten mangelnde Bewachsung und die Hanglage im Reihengrabfeld B in manchen Gräbern rezidivierend zu stehenden Wasserspiegeln in den Gasprobenrohren.

Bei den Gräbern mit dem eingefüllten Blähton, konnte man anhand der Gasprobenwerte (nur mäßige CO₂ und O₂-Werte) keinen großen Effekt der Maßnahme vermuten, allerdings fielen bei der Graberöffnung kleine Larven auf, bei im Verhältnis weniger Leichenlipid. Daher könnte es sinnvoll sein, eine solche Entwässerungsmaßnahme unterstützend einzusetzen, insbesondere da der Aufwand und die Kosten gering sind und es dabei auch noch zu einer Bodenlockerung durch das Einblasen kommt. Bei deutlich wasserbelasteten Friedhöfen müssten allerdings reguläre Drainageverfahren eingesetzt werden. In der Versuchsreihe mit den Pilzkulturen zeigte sich bei der Graberöffnung ein auffallend trockenes Milieu, welches auf den als Trägerstoff mit eingebrachten Rindenmulch zurückzuführen sein könnte. Daraus könnte man ableiten, dass wasserspeichernde Grabbeigaben durchaus Sinn machen, insbesondere in Kombination mit einem weiteren Sanierungsverfahren und wenn nicht bereits ein starker Wasserüberschuss herrscht.

5.2.2.3. Verbesserung der Bodenverhältnisse

Die Vorstellung, einen für die Degradation ungeeigneten Friedhofsboden mittels Maßnahmen zu verbessern, ist naheliegend. Allerdings zeigt sich in der Praxis wie komplex ein natürlich gewachsener Boden ist, der nicht einfach zu ersetzen ist (Schmidt-Bartelt et al., 1990).

Die Möglichkeiten zur Bodenverbesserung sind vielfältig:

- Zur Beseitigung von Staunässe kann eine Bodenlockerung mittels Durchstoßen tiefer liegender stauender Schichten mit Materialdurchmischung vorgenommen werden.
- Zur Verbesserung des Bodengefüges kann der Bodenaushub durch Zugabe von Kalk oder geeignetem Humusmaterial gedüngt werden. „Als Kompostmaterial ist besonders Grünschnitt-Kompost geeignet. Der Siebschnitt des Materials sollte ca. 10 bis 50 mm betragen, d.h. feines Material (kleiner als 10mm) und möglichst vor Anwendung abgeseibt werden“ (Fischer, 1994).
- Reicht dies nicht, sollte ein Bodenaustausch nach Ausheben der Grabstelle mit mittelsandigen bis lehmig-sandigen Substraten erfolgen (Aeschliemann, 2002). Durch einen hohen Sandanteil wird der Luftporenanteil erhöht und somit die Durchlüftung positiv beeinflusst (Albrecht, 2002a). Zusätzlich sollte man darauf achten, dass der Bodenaushub keinen Bauschutt oder Abfall enthält.
- Auch die Herstellung von geeigneten Filterschichten unter der Grabsohle durch Einbau von filter- und bindungsfähigem Material kann helfen (Stedte-Gaudich, 2002).
- Darüber hinaus werden Maßnahmen zur Erhöhung der Gründigkeit durch Untergrundsprennung des Gesteinsuntergrundes (Bergland) oder durch tieferes Auskoffern der Grabstelle und anschließendes Verfüllen bis zur Grabsohle empfohlen (Milbert, 2002).

Ausführliche Praxishinweise zum Einbringen des Bodenmaterials, wie beispielsweise die Arbeiten bei trockener Witterung durchzuführen oder den Ober- und Unterboden des aufzubringenden Bodens getrennt auszubauen und getrennt zu lagern, findet man unter Milbert, 2002 und Albrecht, 2002a; sowie in der Broschüre des Ministeriums für Umwelt Baden-Württemberg, 1994. Hier finden sich auch Beispiele wie das Bodenmaterial so schonend, wie möglich eingebracht werden kann. „Denn beim Aus- und Einbau von Bodenmaterial wird die vorhandene Porenkontinuität zerstört, die Böden neigen dann zur

Verdichtung“ (Milbert, 2002). Nach dem Einbau des Bodenmaterials sollte dann „in den ersten 2 Jahren keine Bestattung durchgeführt werden“ (Albrecht, 2002a). Wie bei den Entwässerungsmaßnahmen sollte bei groß angelegten Bodenaustauschmaßnahmen ein Fachmann zu Rate gezogen werden, denn sonst könnte die Sanierungsmaßnahme durch Unkenntnis schlussendlich zu weiteren Verdichtungen und Diffusionsstörungen führen.

pH

Immer wieder wird diskutiert, ob der pH-Wert der Umgebung eine Rolle bei der Dekomposition (Scheffer und Schachtschabel, 2002; Henderson, 1987; Mant und Furbank, 1957) und damit auch bei der Leichenlipidbildung spielt.

„Praktische und experimentelle Erfahrungen haben gezeigt, dass Alkalität den Prozess der Leichenfetthärtung fördert, während er durch sauren pH gehemmt wird oder doch verzögert abläuft“ (Müller, 1975). Diese These wird durch zwei Beobachtungen aus der Literatur unterstützt: Beispielsweise dass in Abtrittsjauchen (die immer alkalisch sind) die Saponifikation schneller als in anderen Medien eintritt und dass die Fettwachsbildung bei Wasserleichen in der Donau (pH =8), im Vergleich zum Rhein (pH= 7,3) ebenfalls rascher vorangeht (Harcken, 1952). Darüber hinaus hemmt ein sehr niedriger pH-Wert viele Mikroorganismen. Ein Mechanismus den sich die Lebensmittelindustrie zur Haltbarkeit durch Hemmung der Fäulnisbakterien zu Nutze macht.

Zwar scheint der pH-Wert eines Friedhofbodens zwischen 6 und 8 optimal für die Umsetzung (Fleige et al., 2002), doch den pH-Wert im Boden isoliert zu verändern ist kaum möglich. Dies gelingt nur über einen Wechsel des Bodentyps.

Zusätzlich spielt das Redoxpotential bei den postmortalen Abbauvorgängen eine Rolle (Lorke und Schmidt, 1952; Lorke und Schmidt, 1953). Während in luftführenden Schichten, also bei positiver Redoxlage Oxidation vorherrscht, liegen in sauerstoffarmen, tieferen oder verdichteteren Böden reduzierende Stoffe vor, die zu einem anaeroben Abbau führen (Kuntze et al., 1994; Lorke, 1953a; Lorke, 1953b).

Bodentyp

„Denn insbesondere die Böden und deren Eigenschaften entscheiden über Zersetzungsprozesse“ (Fiedler und Graw, 2004). Entscheidend für die Eignung der Böden für Bestattungszwecke ist die Korngrößenzusammensetzung des Substrates (zuständig für die Filterfähigkeit), sein Adsorptionsvermögen (Bindung der Zersetzungsstoffe), sowie der Wasser- und Lufthaushalt des Bodens (Schrap, 1970). Der Gasaustausch und somit die Sauerstoffversorgung des Bodens erfolgt überwiegend in den Poren $> 50 \mu\text{m}$, welche den weiten Grobporen z.B. in Sandböden entspricht (Wourtsakis, 2002). Daher eignet sich ein grobkörniger Boden im Interesse einer größeren Sauerstoffzufuhr trotz geringerem Porenvolumen besser für die postmortale Dekomposition als ein feinkörniger“ (Müller, 1914). Dies erklärt sich damit, dass die „kleineren Poren für den Luftaustausch eher ungünstig sind, da an ihnen bevorzugt Wasser `haftet´. Bei lang anhaltender Wassersättigung, infolge Stau- oder Grundwasserbeeinflussung, kann sich ein O_2 -Defizit im Boden ergeben“ (Fiedler und van de Sand, 2001). Allerdings besteht ein Boden selten nur aus einer Körnchengröße, in der Regel handelt es sich um Gemische. Konkret empfehlen viele Autoren einen lehmig-sandigen Boden (Schrap, 1972; Müller, 1913). Als ungünstig werden zu hohe Ton- bzw. Schluffgehalte angesehen. Grund hierfür ist, dass ein lockerer Sand- und Schotterboden relativ die größte Menge an Grundluft enthält und ein schnelles Eindringen der Feuchtigkeit gestattet, die rasch bis zu einer tiefer gelegenen undurchlässigen Schicht absickern kann, so dass wieder der Luft Platz gemacht wird. Dies bietet somit durch reichen und raschen Wechsel von Luft und Feuchtigkeit die günstigsten Bedingungen für schnell verlaufende Zersetzungsprozesse. Das bestätigten Untersuchungen wonach der Sauerstoffgehalt in sand- und kiesreichen Gräbern weitaus am größten ist und dass er mit wachsendem Gehalt an Lehm abnimmt (Müller, 1913). Aber nicht jeder Boden ist in jeder Klimazone gleich gut geeignet, denn die Bodentätigkeit wird durch das Klima beeinflusst. So kann z.B. „ein Boden, der im Tiefland zu den mäßig tätigen gehört, im Hochland oder in nördlicher Lage zu den untätigen gehören (Ramann, 1905). In einem warmen Klima sollte man

von einer allzu starken Permeabilität lieber absehen, da bei überreichlicher Luftzufuhr die Wasserkomponente stark reduziert würde. In kälteren Gebieten sollte man für eine stärkere Körnergröße sorgen, um durch ausgiebigere Mengen Luft die verwesungsreduzierende Wirkung der niederen Temperatur auszugleichen (Müller, 1913).

→ Fazit: Im Medium Boden herrscht ein komplexes Zusammenspiel der Einflussfaktoren Wasser und Sauerstoff. Für die Degradation ist ein grobkörniger Boden mit großem Porenvolumen gut geeignet. Wie die Befragungen von Friedhöfen in Baden-Württemberg zeigten (Graw und Haffner, 2001), wurden Degradationsstörungen jedoch auch in Regionen beobachtet, die Böden aufweisen, die grundsätzlich als Friedhofsstandorte geeignet sind (Fiedler und Graw, 2004). Dies verdeutlicht, dass ein für die Degradation geeigneter Boden kein Garant für ein Nicht-Auftreten einer Leichenlipidbildung ist.

Biokomposter/ Mikroorganismen

Von unterschiedlichen Herstellern werden derzeit Mikroorganismen auf biologischem Trägermaterial zur Förderung der Zersetzung angeboten, die mit in den Sarg gegeben werden, bzw. in die den Sarg umgebende Erde. Ähnlich den „Sarg-Pads“, die bereits im Kapitel Sargbeigaben beschrieben wurden, wird beispielsweise von der Firma Ackermann ein Verrottungsbeschleuniger, der eine hohe Konzentration von insbesondere holzzersetzenden Mikroorganismen (speziell Ligninabbauer) enthält angeboten. Zum Nachweis der Effektivität liegen derzeit jedoch noch keine wissenschaftlichen Studien vor. Allerdings ist es sehr fraglich, ob diese als Sanierungsverfahren wirkungsvoll genug sind und ob sie überhaupt unter den Bedingungen im Erdgrab überleben können. Auch der Einsatz von Kleintierlebewesen zum Abbau von Leichenlipid wird immer wieder diskutiert. Dies scheint jedoch nicht erfolgsversprechend, da man in der Literatur überhaupt nur wenig Berichte über Insekten an Leichenlipid findet, abgesehen von einem Abbau des Leichenlipids durch diese (Koch, 2002; Evans, 1963; Müller, 1913; Moura et al., 1997; Thouret, 1792; Schulz, 2003).

Unsere Erfahrungen mit den Bodenhilfsstoffen:

- Bodenhilfsstoffe der Firma Neudorff: In dieser Versuchsreihe zeigten sich erhöhte Verwesungsparametern und bei der Graberöffnung wurde weniger Leichenlipid gefunden. Damit könnte eine gewisse Wirkung der Bodenhilfsstoffe möglich sein.
- Bodenhilfsstoffe der Firma Bio Terra: In dieser Versuchsreihe konnte weder bei den Gasprobenwerten, noch bei der Graberöffnung eine Wirkung festgestellt werden.
- Holzerstörende Pilzbrut: Bei diesem Versuch konnten im Verlauf erhöhte Sauerstoffkonzentrationen verzeichnet werden, daher war es zu einer Verbesserung der Belüftung gekommen. Dies könnte auch auf die wasserspeichernde Wirkung des Rindenmulchs zurückzuführen sein, zudem die Verwesungsparameter eher niedrigere Werte gezeigt hatten, was sich auch bei der Graberöffnung bestätigte, da das Leichenlipid nicht abgebaut worden war. Die eigentliche Wirkung, die man sich von dem Pilz erhofft hatte, nämlich das Sargholz anzugreifen ist nicht eingetreten, denn der Sarg zeigte sich unverändert erhalten.
- Fazit: Das Einbringen von Bodenhilfsstoffen hat in unseren Versuchen nur bei den Gräbern mit den Bodenhilfsstoffen der Firma Neudorff einen gewissen Effekt gezeigt. Als alleinige Sanierungsmaßnahme von Leichenlipid ist es nach den bisherigen Untersuchungen wahrscheinlich nicht wirksam genug. In Anbetracht der geringen Kosten und der einfachen Handhabung ist es aber vorstellbar, diese mit anderen Sanierungsverfahren zu kombinieren.

5.2.2.4. Weitere Ansätze

Redoxverfahren

Das Ziel, das Leichenlipid lokal zu sanieren, gelang mit diesem Verfahren nur eingeschränkt. Denn es kam aufgrund der Temperaturerhöhungen zu einer Verflüssigung der Fettsäuren, die damit nicht direkt abgebaut, sondern nur in

die Umgebung abgelaufen waren. Es war also zu keiner Verkürzung der Fettsäuren gekommen, was dazu führt, dass zum eigentlichen Abbau weiterhin Sanierungsmaßnahmen in dem Fall Belüftungsmaßnahmen erforderlich sind. Zudem zeigten Bereiche die nicht unmittelbar mit dem Reaktionsgemisch beimpft wurden unverändert einen „Fettpanzer“. Demnach ist die treffgenaue Applikation für den Erfolg maßgebend. Allerdings gestaltet es sich häufig schwierig, die Leiche immer genau zu dedektieren. Auch stellte sich heraus, dass das Verfahren in der Anwendung relativ aufwändig war und damit eine individuelle Grabanwendung, wie vom Hersteller empfohlen nicht sinnvoll erscheint. Zudem die Umweltverträglichkeit des Verfahrens fraglich ist, denn die Anwendung mit Kalk führt zu einer nicht unerheblichen Erhöhung des pH-Wertes und greift damit stark in die Umwelt ein (Fiedler und Graw, 2004). Damit könnten anschließende Sanierungsmaßnahmen zur Neutralisation des Bodens notwendig werden. Temperaturerhöhungen in der Umgebung wurden keine festgestellt (Seher und Morlo-Roth, 2004). Als Sanierungsmaßnahme ist das Redoxverfahren damit keine Alternative zu den bisher diskutierten Möglichkeiten.

5.3. Diskussion der Messergebnisse

5.3.1. Einfluss der Temperatur

Allgemeines

Wie schon in der Einleitung dargestellt, gibt es sehr widersprüchliche Angaben zum Einfluss der Temperatur. „Während einerseits betont wird, dass gerade bei niedrigen Temperaturen die Fettsäuren ausfallen, liegen andererseits Beobachtungen vor, dass gerade in warmer Umgebung eine besonders schnelle Leichenlipidbildung resultiert“ (Graw und Fiedler, 2002). Darüber hinaus könnte es sein, dass „lediglich in den ersten Wochen der Adipocire-Bildung ein Augenmerk auf die Temperatur zu richten ist“ (Forster und Ropohl, 1983). Ein Grund hierfür könnte sein, dass die, durch die Kälte langsamer verlaufende Fäulnis fetttransformierende Enzyme begünstigt, die auch bei niedrigen Temperaturen noch katalysieren. Möglicherweise ist eine gewisse

Wärme zunächst wichtig für die Entwicklung von Bakterien wie *Clostridium perfringens*, deren Enzyme dann bei niedrigeren Temperaturen noch aktiv sind und die Fetttransformation bewirken können (Cotton et al., 1987; Tomita 1984). Von der Temperatur hängen die Reaktionsgeschwindigkeiten der chemisch-fermentativen Vorgänge und die Entwicklung einer Leichenflora und -fauna ab (Weinig, 1958). Als Faustregel darf man annehmen, dass die Verwesung der herrschenden Temperatur annähernd parallel geht (Hunger und Leopold, 1978; Fleige et al., 2002), was anhand der Anstiege der CO₂-Werte in den Sommermonaten zu sehen ist. Denn die Wachstumsgeschwindigkeit der Mikroorganismen ist stark temperaturabhängig, allerdings sind die häufigsten in Böden und Gewässern vorkommenden Mikroorganismen psychrotolerant, das heißt sie wachsen noch bei 0°Celsius, haben aber ein Temperaturoptimum von 20-30° Grad Celsius (Fritsche, 2002; Kahana et al., 1999).

Im Allgemeinen folgt die Jahresdurchschnittstemperatur von Böden in 50 cm Tiefe ziemlich genau dem Jahresmittel der Lufttemperatur (Scheffer und Schachtschabel, 2002). Die Temperaturen in Mitteleuropa bewegen sich in der Tiefe eines Erdgrabes (1,70m) im Allgemeinen zwischen 3° und 15° Grad Celsius mit geringen jahreszeitlichen und beinahe fehlenden tageszeitlichen Temperaturschwankungen. Die saisonalen Temperaturschwankungen haben ungefähr den Verlauf einer Sinuskurve und sind gegenüber Schwankungen der Außentemperatur abgeschwächt und verzögert. In den Monaten Januar bis März wird das Minimum durchlaufen, zwischen Juli und September ein Maximum (Weinig, 1958; Schoenen, 2002).

Dies bestätigt auch das folgende Experiment von Rodriguez und Bass, die Temperaturmessungen bei in unterschiedlichen Tiefen erdbestatteter Körpern durchführten. Sie zeigten in den Tiefen 0,6 und 1,2 Metern praktisch keine Tagesschwankungen der Bodentemperatur, es wurden jedoch in allen Tiefen saisonale Temperaturschwankungen beobachtet (Rodriguez und Bass, 1983). Auch bei den Temperaturverläufen im Grab spielt der Friedhofsboden eine Rolle. In nassen Böden wie z.B: in Gleye oder Pseudogleye verstärkt ein hoher Wassergehalt die Wärmeabfuhr (Fleige et al., 2002), daher erwärmen sie sich im Vergleich zu trockeneren Böden nur langsam und nur gering. „Je feuchter

ein Boden ist, umso mehr Wärme muss zugeführt werden, um eine bestimmte, ökologisch wichtige Temperatur zu erreichen“(Kuntze et al, 1994). Daher begünstigt die niedrige Temperatur in diesen Böden, zusätzlich zum vorliegenden Wasserstau eine Leichenlipidbildung.

Von einigen Autoren wird propagiert, dass ein häufigerer Witterungswechsel die Dekomposition fördern soll (Müller, 1913; Hunziker, 1919/1920) und damit einer Leichenlipidbildung vorbeugen kann. Dies bestätigte eine experimentelle Studie, die sich mit dem Einfluss der Wintermonate in bestimmten Klimazonen auf die Verwesung beschäftigte (Micozzi, 1986). Die toten Tiere wurden zur Simulation eines Winters vorübergehend eingefroren und dann wieder aufgetaut. Sie zeigten eine überwiegend aerobe Verwesung und waren für den Befall mit Insekten und Mikroorganismen, wahrscheinlich aufgrund der Gewebszerstörung durch das Einfrieren leichter zugänglich, als die Referenztiere die nicht eingefroren waren. Diese Untersuchung lässt sich jedoch nicht auf die Bedingungen in unseren Breitengraden übertragen, da hier die Leichen nicht im Erdgrab einfrieren und damit der Effekt der Gewebeerstörung wegfällt.

→ Fazit: Sicherlich ist die Temperatur nur ein modulierender Faktor und nicht alleinig ausschlaggebend für eine Leichenlipidbildung. Diese kommt sowohl bei niedrigen (Krauland, 1943; Berg, 1962; Ambach et al. 1991), als auch bei höheren Temperaturen (Cotton, 1987; Simonsen, 1977) vor. Kühlere Temperaturen hemmen zwar die Degradation und begünstigen somit die Leichenlipidbildung (Müller, 1913, Müller, 1975; Wourtsakis, 2002), aber im Erdgrab herrschen moderatere Temperaturbedingungen, so dass der Einfluss der Temperatur geringer ist als bei frei liegenden Leichen. Wenn es zu einer Umwandlung in Adipocire gekommen ist, dann findet diese bei warmen Temperaturen meistens beschleunigt statt. Darüber hinaus wird die vorherrschende Temperatur im Erdgrab durch die Bodenverhältnisse beeinflusst.

Modellfriedhof

Es wurden keine regelmäßigen Temperaturmessungen durchgeführt. In den Stichproben fielen niedrigere Temperaturen auf dem Sarg als in der Außenluft auf.

Grabkammer

1. Auch in unseren Messungen zeigten sich wie bei den Versuchen von Rodriguez und Bass, kaum Tages-, jedoch saisonale Temperaturschwankungen.
2. Darüber hinaus imponierte die Innentemperatur niedriger als die Außentemperatur und zog dieser immer etwas hinter her, wie es bereits für die Bodentemperaturen beschrieben wurde.
3. Zu allen Zeiten wurden Temperaturen über Null Grad Celsius gemessen, so dass die Temperatur zwar nicht in den Optimalbereich der Bakterien fiel, jedoch ein Wachstum der Mikroorganismen jederzeit möglich war.

Grabhülle

1. Die Temperaturkurven in der Hülle und außerhalb des Grabes zeigten ein ähnliches Verhalten wie es bereits für die Grabkammer gezeigt wurde.
2. Auffallend war hier jedoch, dass man anhand des Verhaltens der Temperatur den Wassereinfluss nachweisen konnte. Die Temperatur in der Hülle wurde nämlich deutlich von der Temperatur des benachbarten Neckars mit seinem Grundwasserstrom beeinflusst.
3. Für das Verhalten des CO₂ konnte, wenn auch nicht so deutlich, eine Abhängigkeit von der Außentemperatur gezeigt werden. Die höchsten Werte wurden im Juni und September festgestellt, im Sinne einer erhöhten Verwesungsaktivität, die niedrigsten im März. Allerdings waren es zu wenige Messungen, um eine sichere Aussage treffen zu können.

5.3.2. Einfluss der Luftfeuchtigkeit

Die Luftfeuchtigkeit wurde nur in den Grabkammern gemessen, nicht auf dem Modellfriedhof und nicht in der Grabhülle.

Grabkammer:

Die Messungen der Luftfeuchtigkeit ergaben erhöhte Werte in der Grabkammer, spielten aber bei fehlender „Wasserproblematik“ keine Rolle. Es zeigte sich, dass es zu keinen Mumifizierungen bei diesen Luftfeuchtigkeitswerten gekommen war.

5.3.3. Diskussion der Gasprobenmessungen

Allgemeines

Bodenluft weist meistens eine Sauerstoffkonzentration zwischen 8,9 und 21 Vol% auf (Schmierl, 1982). Der Sauerstoffgehalt eines Bodens unterliegt saisonalen Schwankungen, da die „Bodenfeuchte in den Monaten Februar, März und April am größten, der Sauerstoffgehalt damit am geringsten ist“ (Weinig, 1958).

Bei den Forderungen nach einer Verbesserung der Belüftung im Boden wird selten konkretisiert, wie hoch der Sauerstoffgehalt eines Bodens sein sollte um eine optimale Degradation zu ermöglichen. „Nach Erfahrungen in Rheinland-Pfalz wird, für einen für den Verwesungsprozess ausreichenden Gasaustausch, eine Luftkapazität von mind. 10 Volumen-Prozent oberhalb und unterhalb der Zersetzungszone benötigt; Luftkapazitätswerte von weniger als 5 Volumen-Prozent können als verwesungsbehindernd bezeichnet werden“ (Wourtsakis, 2003). Andere Quellen geben einen Gehalt von 6 bis 8% Sauerstoff als ausreichende Konzentration an (Ramann, 1905).

Als weiterer Parameter für das Monitoring der Bodenbelüftung wird gelegentlich das CO₂ verwandt. Bei einem erschwerten Gasaustausch zwischen Bodenluft und Atmosphäre sammeln sich erhebliche Mengen von Kohlendioxyd an, die 5% bis 10% der Bodenluft ausmachen können. Zwar können erhöhte CO₂-Konzentrationen durchaus wachstumsfördernd sein, allerdings gelten Werte in

der Bodenluft, die oberhalb von ca. 15% liegen, als wachstumsbegrenzend (Kuntze et al., 1994), denn die CO₂-Anreicherung ist mit einem O₂-Mangel der Bodenluft verbunden. Diese durch die erhöhten CO₂-Werte bedingte Verlangsamung des Wachstums macht man sich in der modernen Obstkonservierung zu Nutze, um Obst länger lagern zu können. In Böden mit hohen CO₂-Konzentrationen kann es ebenfalls zu Verlangsamung der Degradation kommen, sowie zur anaeroben Umsetzungen der organischen Substanzen, bis hin zur Leichenlipidbildung (Hunger und Leopold, 1978; Den Dooren de Jong, 1961).

Ein erhöhter CO₂- und erniedrigter O₂-Gehalt kann auch als Folge der biologischen Aktivität im Boden entstehen. Durch die CO₂-Freisetzung während der Verwesung kann das CO₂ auch als Indikator für den Degradationsverlauf verwendet werden. Anhand ihr wurde in einem Versuch mit einem in einem Friedhofsboden begrabenen Wolfskadaver die Dynamik des Verwesungsvorganges dargestellt (Mengede et al., 2001). Die stärkste Verwesung in diesem Versuch war über die CO₂-Freisetzung in den Monaten Juni bis August feststellbar, was sich bei unseren CO₂-Messungen in der Grabhülle bestätigte.

Allerdings kann es zu Fehlinterpretationen kommen, wenn man nur anhand von Gasprobenmessungen und hier insbesondere anhand der Sauerstoffkonzentrationen eines Grabes einzuschätzen versucht, ob es zu einer Leichenlipidbildung gekommen ist oder nicht. Denn es wurden auch Gräber mit hohen O₂-Werten (z.B. 15%) gefunden, die trotzdem eine Adipocirebildung aufwiesen (Müller, 1914). Dies bestätigten Erfahrungen von Prof. Egli, der von Fällen berichtete, in denen Adipocirebildung trotz sehr niedrigem Sauerstoffgehalt (zwischen 0,7%-2,71%) fehlte oder er Gräber fand, in denen sich Leichenlipid trotz hohem Sauerstoffgehalt gebildet hatten (Egli, 1913). Man könnte daraus ableiten, dass „anaerobe Bedingungen förderlich für die Leichenlipidbildung sind, aber nicht essentiell“ (Mant und Furbank, 1957). Es ist allerdings eher so, dass „Konzentrationsmessungen von O₂ und CO₂ in der Bodenluft letztlich kein Maß für die Durchlüftungsbedingungen sein können“

(Kuntze et al., 1994). Daher sollten Gasprobenwerte nur als grobes Einschätzungskriterium für die Belüftungssituation gelten.

Eine Alternative zur Messung der Sauerstoffkonzentrationen könnte die Bestimmung der Luftwechselraten sein. Theoretische ist eine maximal notwendige Luftzufuhr von ca. $0,24 \text{ m}^3$ pro Tag für eine Verwesungsdauer von 2 Jahren notwendig (Kuhn, 1997). Die Bestimmung der Luftwechselrate ist jedoch im Gegensatz zu Sauerstoffmessungen wesentlich aufwendiger.

Modellfriedhof

1. Auch in unseren Versuchen zeigten sich teilweise hohe Sauerstoffkonzentrationen in einzelnen Gräbern, die darauf hindeuten, dass eine gute Bodenbelüftung vorliegt. Allerdings kann man nach dem vorherigen Kapitel nicht generell davon ausgehen, dass damit auch eine vollständige Verwesung möglich ist. Zur weiteren Einschätzung wären Messungen der Durchlüftung, also der Luftwechselraten als zusätzliche Information geeignet gewesen.
2. Wenn man nach den Erfahrungen der anderen Autoren geht, die Sauerstoffkonzentrationen von mindestens 10% für einen Verwesungsvorgang notwendig halten, dann hätte in vielen unserer Versuchsreihen keinerlei Verwesung stattgefunden. Dies deckt sich jedoch nicht mit den Beobachtungen bei den Graberöffnungen, bei denen durchaus Anzeichen für eine beginnende Verwesung zu sehen waren.
3. Auch in unseren Versuchen zeigte sich, beispielsweise bei den Gegenproben der Einfluss von tief wurzelnden Pflanzen und Bäumen, denn hier wiesen die Gräber deutlich erhöhte Sauerstoffkonzentrationen auf. Es wurde jedoch zunächst kein Grab eröffnet, um den Verwesungsstand zu dokumentieren. Dies bleibt einem Folgeprojekt vorbehalten.
4. Ebenso (beispielsweise in Feld 1) bestätigte sich der Einfluss von Stauwasser, der zu einer Verdrängung des Sauerstoffes führte, was anhand der reduzierten Sauerstoffkonzentrationen zu sehen war.

5. Wie bei der Versuchsreihe mit dem Wolfskadaver (Mengede et al., 2001) ergaben sich bei unseren Messungen die niedrigsten CO_2 –Werte in den Monaten Dezember bis April und die höchsten CO_2 und CH_4 –Werte in den Sommermonaten (Juni bis Oktober). Dies erklärt sich durch den Einfluss der Bodenfeuchte und der Bodentemperatur auf die Verwesungsaktivität. Diese waren in den Sommermonaten besonders günstig, da durch die Abnahme der Bodenwassergehalte und der damit erfolgten Zunahme luftführender Poren anhand des Spannungsanstieges im Sommer die CO_2 -Produktion vermehrt war.
6. Die hohen CH_4 -Werte im Feld 1 deuten auf eine erhöhte Fäulnisaktivität in diesem Bereich hin, was gut zu den niedrigen Sauerstoffwerten in diesen Gräbern passt.

→ Die Gasprobenergebnisse der Grabkammer- und des Grabhüllenversuchs wurden bereits bei der Darstellung der Verfahren diskutiert.

6. Zusammenfassung

6.1. Wiederholung der Fragestellung

Auf zahlreichen Friedhöfen liegen Bedingungen vor, die keinen regulären Zersetzungsprozess der Leichen erlauben.

Man kann aufgrund der erhobenen Daten davon ausgehen, dass über ein Drittel der deutschen Friedhöfe von Degradationsstörungen betroffen sind. In der Folge sind angesichts verzögerter Grabwiederbelegungen und schwindender Raumreserven aufwändige Friedhofssanierungen, -erweiterungen oder sogar –neuanlagen notwendig.

Daher sind in den vergangenen Jahren vielfältige Konzepte zur Sanierung und Prophylaxe des Leichenlipids entwickelt worden, die jedoch bisher nur selten wissenschaftlich auf ihre Effektivität untersucht wurden.

Die Dissertation setzte sich mit den Ursachen der Leichenlipidbildung auf Friedhöfen, insbesondere mit dem Einfluss eines reduzierten Gasaustausches und der Temperatur im Liegemilieu auseinander. Außerdem sollten Sanierungs- und Prophylaxemaßnahmen aufgezeigt werden.

Hierzu wurden auf einem Modellfriedhof acht Versuchsreihen mit Sanierungsmaßnahmen installiert und regelmäßig Gasproben entnommen. Als Komponenten wurden die Bodenhilfsstoffe der Firma Neudorff, der Firma Bio Terra und eine holzzerstörende Pilzbrut verwendet, als wasserspeicherndes und die Poren offen haltendes Verfahren der Liapor Blähton. An Belüftungsverfahren wurden Belüftungsröhre für eine kontinuierliche Luftzufuhr (mit und ohne Bodenaufbruch), Diffusionsstäbe und eine aktive Belüftung mittels Druckluft getestet. Teilweise wurden die verschiedenen Maßnahmen auch kombiniert. Nach zweieinhalb Jahren wurde dann mittels Graberöffnungen der Degradationsverlauf dokumentiert.

Zusätzlich wurde ein Prophylaxeverfahren bei neuen Bestattungen untersucht und mittels Gasprobenanalysen die Belüftungssituation beurteilt. Das Verfahren beinhaltete eine Veränderung der Bodenzusammensetzung (Einbringen von Schotter), das Einbringen eines Hilfsmittels zur Verbesserung der Belüftung

(Baumschnorchel) und eine Veränderung der Arbeitstechnik (kein Verdichten der Erdverfüllung).

Darüber hinaus wurden die Grabkammer der Firma Ackermann, die Grabhülle der Firma Weihe und das Redoxverfahren der Firma Keller auf ihre Funktionalität hinsichtlich des Degradationsverlaufs überprüft. Zudem wurden bei den Grabhülle- und Grabkammerversuchen die Temperatur und Luftfeuchtigkeit in und außerhalb der Kammer/Hülle über mehrere Jahre gemessen.

6.2. Zusammenfassung meiner Ergebnisse

Modellfriedhof

Bei der Auswertung der Gasprobenmessungen fiel auf, dass der Standort des einzelnen Grabes häufig einen größeren Einfluss auf die Belüftung und damit auf seinen Degradationsverlauf hatte, als der installierte Versuchsaufbau. Zudem konnte man einen Einfluss des Stauwassers, bzw. der vorliegenden Vegetation auf die Belüftungssituation nachvollziehen. In den Sommermonaten zeigte sich, wie bereits von anderen Wissenschaftlern nachgewiesen, anhand erhöhter CO₂-Werte eine verbesserte Verwesung.

Die getesteten Sanierungsmaßnahmen auf dem Modellfriedhof hatten unterschiedliche Erfolge erbracht. Der Beobachtungszeitraum von zweieinhalb Jahren hatte allerdings nicht gereicht, um einen vollständigen Abbau des Leichenlipids konstatieren zu können. In einigen Gräbern konnte jedoch bei der Öffnung als Zeichen einer erfolgreichen Belüftungsmaßnahme ein aerobes Milieu (mit Pilzwachstum) verzeichnet werden.

Bei den Gräbern, die mit den Prophylaxemaßnahmen behandelt wurden, imponierten erhöhte Sauerstoffkonzentrationen als Zeichen einer verbesserten Belüftung. Daher und bei Überwiegen von Verwesungsgasen bei geringen Fäulnisparametern ist folglich keine Leichenlipidbildung zu erwarten.

Grabhülle

Die unter den primären Bedingungen des Versuchsstandortes zu erwartende Umwandlung zu Leichenlipid wurde nicht festgestellt. Der Hülleninnenraum war frei von Wasser, trotz der Lage im Wasserniveau und obwohl das Gelände mehrere Male überflutet wurde. Im Gegenteil: es zeigte sich nach zwei Jahren eine fortgeschrittene Degradation, obwohl die zuvor gemessenen Sauerstoffkonzentrationen kontinuierlich niedrige Werte ergeben hatten. Die Messungen der Temperatur ergaben eine Abhängigkeit der Grabinnentemperatur von den Außentemperaturen und insbesondere vom umströmenden Wasser des Grundstroms.

Grabkammer

Es zeigte sich eine deutliche Abhängigkeit der Grabinnentemperatur von der Außentemperatur, bei moderaten Temperaturschwankungen im Inneren der Kammern. Damit konnte belegt werden, dass ein rascher Austausch zwischen dem Innern der Kammer und der Umgebung statt fand.

Bei den Grabkammereröffnungen zeigte sich bei Versuch 1 nach Ende der fünf Jahre eine deutliche Degradation, ebenso wurde bei Versuch 2 ein rasches Eintreten der Verwesung festgestellt. Zu einer Leichenlipidbildung oder einer Mumifikation kam es in keiner der Kammern.

Redoxverfahren

Das Redoxverfahren zeigte Schwächen in der Anwendung (zu aufwendig, pH-Erhöhung) und erbrachte auch als Sanierungsmaßnahme nur bedingt Erfolg.

Weitere Prophylaxemaßnahmen

Da der Luft- und Wasserhaushalt eines Bodens eine recht fixe Größe ist, die nur mit hohem, meist technischem Aufwand verbessert werden kann, sollte man sich als Prophylaxemaßnahmen auch der Verbesserung der Faktoren bei der Bestattung oder auf dem Friedhof zuwenden. Diese können direkt vor Ort, häufig mit relativ wenig Aufwand, beispielsweise mit einer Veränderung der Friedhofsordnung beeinflusst werden. Denn schon im Vorfeld kann Vieles getan

werden, damit es nicht zur Leichenlipidbildung kommt. Zu nennen wären hierbei die Veränderung der Oberflächenbeschaffenheit eines Grabes (keine Versiegelung, Anpflanzen von tief wurzelnden Pflanzen...), der Sargqualität (Bevorzugung möglichst weicher Holzarten mit Sollbruchstellen) und der Leichenbekleidung (besser Baumwolle als synthetischen Stoffe). Aber auch die Bestattungstiefe, der Bestattungstonus oder die biologische Aktivität des Friedhofsbodens können Einfluss auf die Degradation nehmen. Das große Interesse der Bevölkerung am Modellfriedhof zeigte, dass man durchaus einen offenen Umgang mit der Thematik wagen und so durch Informationen Veränderungen in der Diskussion bewirken kann.

Auch bei der Neuanlage oder Erweiterung eines Friedhofes besteht die Möglichkeit der Prävention, denn es sollten ausschließlich Flächen ausgewiesen werden, „die Bodenverhältnisse vorweisen, die eine vollständige Zersetzung innerhalb der Ruhefristen wahrscheinlich machen“ (Fiedler und Graw, 2004).

Weitere Sanierungsmaßnahmen

Wenn schon Zersetzungsprobleme aufgetaucht sind, können keine allgemein gültigen Lösungen postuliert werden. Es gilt immer zu prüfen, welche Problematik (z.B. Wasserüberschuss, Bodenverdichtungen) vorliegt und welche Sanierungsmaßnahmen daher geeignet sind. Wie Althaus sehr treffend zusammenfasst: „Die Entscheidung für Art und Umfang von Sanierungsmaßnahmen ist letztendlich für jeden Einzelfall auf der Grundlage einer detaillierten Bodenerkundung und nach einer sorgfältigen Kosten- Nutzen-Analyse zu treffen“ (Althaus, 2001).

Besteht die Möglichkeit, ist ein Wechsel des Milieus sicherlich die effektivste Sanierungsmaßnahme. Ansonsten sollen durch nachhaltige aktive oder passive Belüftung des Grabbereiches aerobe Zersetzungs Vorgänge in Gang gesetzt werden. „Dies benötigt jedoch Zeit und ist daher für einen Friedhof mit akutem Belegungsdruck nicht geeignet, ebenso wenig für Friedhöfe, die eine Wasserbeeinflussung im Grabbereich aufweisen“ (Fiedler und Graw, 2004).

Bei den Bodenverbesserungs- und entwässerungsverfahren handelt es sich teilweise um sehr komplexe, jedoch sehr effektive Maßnahmen, die am besten nur nach Beratung durch ein Expertenteam durchgeführt werden sollten.

Die Anwendungen von Bodenhilfsstoffen oder das Einbringen von wasserspeichernden Materialien sind als alleinige Maßnahme bei schwierigen Bodenbedingungen meistens nicht ausreichend. In Anbetracht ihrer einfachen Handhabung und geringen Kosten sind sie jedoch teilweise eine gute Ergänzung zu weiteren Sanierungsmaßnahmen.

6.3. Fazit

Sowohl mit dem Prophylaxe-, als auch mit den Sanierungsmaßnahmen hatte sich in unseren Versuchen teilweise eine deutliche Verbesserung der Belüftung erzielen lassen. Allerdings zeigte sich, dass die bisher verwendeten Belüftungsmaßnahmen nicht effektiv genug waren, um einen raschen Abbau des Leichenlipids zu ermöglichen.

Beide Grabhilfssysteme erwiesen sich im Vergleich zum originären Erdgrab des Versuchsstandortes als deutliche Verbesserung. Falls nicht durch andere günstigere Maßnahmen eine Verbesserung des Milieus erreicht werden kann, ist es aus wissenschaftlicher Sicht durchaus möglich, dass Friedhofsträger derartige Grabhilfssysteme einsetzen (Schmidt, 2004).

Da man aufgrund von kulturellen und religiösen Traditionen kaum die Bestattungsform erzwingen kann und will (auch wenn sich ein Trend hin zur Kremation abzeichnet), bleibt den Kommunen nur übrig, sich mit den Folgen der Leichenlipidbildung auseinander zu setzen. Wichtig ist dabei, dass man die standortspezifischen Bedingungen berücksichtigt, denn nur so kann eine erfolgreiche Prophylaxe oder Sanierung gelingen.

Nach unseren Untersuchungen bleiben offene Fragen, bzw. ergaben sich neue Fragen, wie beispielsweise die Frage nach der geeigneten Bestattungstiefe oder dem Einfluss der biologischen Aktivität eines Friedhofes auf die Leichenlipidbildung, daher kann Bedarf an weiterer Forschung angemeldet werden. Wünschenswert wäre eine umfangreiche Untersuchung zum Einfluss

von unterrangigen Faktoren, wie die Bekleidung, die Sargqualität etc. auf die Leichenlipidbildung.

Insbesondere gilt es, die Ergebnisse von den Untersuchungen von Prof. Graw und Prof. Fiedler zum Einfluss einer kontinuierlichen aktiven Belüftung mittels Solarpumpe abzuwarten. Hier wird sich zeigen, ob sich damit, wie nach den bisher erhobenen Daten zu vermuten, eine deutliche Verbesserung der Belüftungssituation und der Degradation erbringen lässt. Zusätzlich sind die Versuchsergebnisse derselben Forschungsgruppe zum Einfluss der Bepflanzung auf die Degradation, bzw. auf die Leichenlipidbildung von Interesse.

Auch kann man gespannt sein, wenn in einigen Jahren nach Ablauf der Ruhefristen die Gräber mit den installierten Prophylaxeverfahren zur Wiederbelegung geöffnet werden und sich dann endgültig zeigt, ob das Verfahren Erfolg gezeigt hat.

7. Literaturverzeichnis

Abel, R. (1912)

Leichenwesen

In Rubner, M., Gruber, M., Ficker, M.

Handbuch der Hygiene

S. Hirzel Verlag, Leipzig

Ackermann, G. (2002)

Grabkammern- innovative Technologien für den Friedhof

Seminar: Friedhöfe in Baden-Württemberg

Adachi, J., Ueno, Y., Miwa, A., Asano, M., Nishimura, A., Tatsuno, Y: (1997)

Epicoprostanol Found in Adipocere from Five Human Autopsies

Lipids, 32/11, 1155-1160

Aeschliemann, E. (2002)

Probleme mit der Erdbestattung

Friedhofskultur, 92, 24-26

Aeschliemann, E. (2003)

persönliche Mitteilung

Aey, W. (1990)

Historisch-ökologische Untersuchungen an Stadtökotopen Lübecks

Diss, TU Berlin

Albrecht, M. (2002a)

Aktuelle Planungsfragen und Bewertung aus bodenkundlich- hygienischer Sicht

Tagung „Konfliktfeld Friedhof,

Verwesungsproblematik, Umweltrisiko, Sanierung“,

Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz, Mainz

Albrecht, M. (2002b)

Verwesungsprobleme: Technische Maßnahmen sollen helfen

Friedhofskultur, 92, 28-30

Albrecht, M. (2003a)

Planungsfragen für den Friedhof

Friedhofskultur, 9, 36-37

Albrecht, M. (2003b)

Ruhefristen festlegen

Friedhofskultur, 11, 37-38

Albrecht, M. (2003c)

Die Verwesung aus bodenkundlicher Sicht

Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, 113,

- Albrecht, M. (2004a)
Graböffnungen dokumentierten
Friedhofskultur, 2, 21-23
- Albrecht, M. (2004b)
Kontrovers diskutiert: Platten und Kies als Grabdeckungen
Friedhofskultur, 4, 31-32
- Albrecht, M., Schulze-Wolf, T. (1996)
Die bodenkundliche Untersuchung von Friedhofsflächen
Friedhofskultur, 8, 286-288
- Althaus, G. (2001)
Ausgangsgestein, Boden und Friedhof
Seminar: Friedhöfe in Baden-Württemberg
- Althoff, H. (1974)
Bei welchen Fragestellungen kann man aussagefähige pathomorphologische
Befunde nach Exhumierung erwarten?
Z. Rechtsmedizin, 75, 1-20
- Ambach, E., Tributsch, W., Puffer, P., Rabl, W. (1991)
Ungewöhnliche Auffindung zweier Leichen im Gletscher- Forensische und
glaziologische Aspekte
Beitr. Gerichtl. Med., 49, 285-288
- Arbab-Zadeh, A., Prokop, O., Reimann, W. (1977)
Rechtsmedizin
Gustav Fischer, Stuttgart, New York
- Ascarelli, A. (1906)
Histologische Studien und bakteriologische Versuche über Adipocire
Vjschr. Gerichtl. Med., 32, 219-264
- Bal, T., Hewitt, R. Hiscutt, A., Johnson, B. (1989)
Analysis of bone marrow and decomposed body tissue for the presence of
paracetamol and dextropropoxyphene
J. Forensic Sci Soc, 29(3), 219-223
- Bauer, F.J. (1992)
Von Tod und Bestattung in Alter und Neuer Zeit
Historische Zeitschrift München, 254, 1-31
- Bauer, F.C., Hirsch, E.F. (1949)
A New Method for the Colorimetric Determination of the Total Esterified Fatty
Acids in Human Sera
Archives of Biochemistry, 20, 242-250

Beck (1995)
Stellungnahme zum Einsatz des Cyclo-Diffusionssystems auf dem Duisburger
Fiskusfriedhof
Oberstadtdirektor Duisburg
Persönliche Mitteilung

Benecke, M. (2003)
Besiedlung durch Gliedertiere
in Brinkmann, B., Madea, B. (2003)
Handbuch gerichtliche Medizin, Band 1
Springer, Berlin, Heidelberg, New York

Berg, S.P. (1950)
Das postmortale Verhalten von Blut
Dtsch. Z. Gerichtl. Med., 40, 1-75

Berg, S. (1962)
Zur Todeszeitbestimmung bei Skelettfunden
Beitr. Gerichtl. Med., 22, 18-30

Berg, S. (1975)
Leichenzersetzung und Leichenzerstörung
In Müller, B.
Gerichtliche Medizin
2. Aufl., Springer, Berlin, Heidelberg, New York

Berg, S., Döring, G., Suchenwirth, H., Weiner, K.L. (1969)
Beobachtungen über das Verhalten von Fettwachsleichen in größerer
Wassertiefe
Arch. Kriminol., 143, 148-162

Berg, S., Döring, G. (1970)
Untersuchungen über den Fettgewebsumbau bei Wasserleichen
Beitr. Gerichtl. Med., 27, 209-213

Berg, S., Specht, W. (1958)
Untersuchungen zur Bestimmung der Liegezeit von Skeletteilen
Dtsch. Zschr. gerichtl. Med., 47, 209-241

Bethell, P.H., Carver, M.O.H. (1987)
Detection and enhancement of decayed inhumations at Sutton Hoo
In Boddington, A., Garland, A.N., Janaway, R.C.
Death, decay and reconstruction
Manchester University Press

Bianchini, G. (1926)
Neue Untersuchungen über Fettwachs und seine Entstehungsweise
Dtsch. Z. Gesamte Gerichtl. Med., 8, 343

- Bio Terra (2000)
Maltaflor
Prospekt der Firma Bio Terra, Peter Franke GmbH
- Boddington, A., Garland, A.N., Janaway, R.C. (1987)
Flesh, bones dust and society
Death, decay and reconstruction
Manchester University Press
- Bohne (1914)
Über Leichenerscheinungen
Vjschr. Gericht. Med., 47, 13-25
- Bohnert, M., Schmialek, A., Faller-Marquardt, M., Buitrago-Tellez, C.,
Pollak, S. (1998)
Umwandlung des Gehirns und der Gesichteweichteile in Leichenlipid-
morphologische und radiologische Befunde
Rechtsmedizin, 8, 135-140
- Borris, W. (1967)
Hygiene des Bestattungswesens
Zitiert unter Schmierl, 1982
- Braun, R., Deibl, A. (2003)
Umfrage bei Grabkammerbetreibern
Friedhofskultur, 3, 38-39
- Brinkmann, B., Madea, B. (2003)
Handbuch gerichtliche Medizin, Band 1
Springer, Berlin, Heidelberg, New York
- Büchi, H., Willimann, I. (2002)
Verdachtsfläche Friedhof: Umweltgefährdung durch Leichenzersetzung
Wasser Boden, 54/11, 20-24
- Bürger, M.H. (1910)
Die Adipocirebildung und ihre gerichtlich-medizinische Bedeutung
Vjschr. Gericht. Med., 39, 172-182
- Cabirol, N., Pommier, M.T., Gueux, M., Payen, G. (1998)
Comparison of lipid composition in two types of human putrefactive liquid
Forensic Sci. Int., 94, 47-54
- Claus, G. (1997)
Über den zu erwartenden Verlauf der Leichenzersetzung im Erdgrab mit dem
Bestattungssystem Weihe
Gutachten des Steinbeis-Transferzentrum, FH-Mannheim

- Coe, J.I. (1974)
Postmortem chemistry : practical considerations and a review of the literature
J. Forensic Sci., 19, 13-32
- Coester, Dr. (1889)
Zur Entstehung des Fettwachses
Vjschr. Gerichtl. Med., 50, 211-215
- Colyer, C. (1954)
More about the „coffin” fly, *Concicera tibialis* Schmitz (Diptera, Phoridae)
Entomologist, 87, 129-132
- Cotton, G.E., Aufderheide, A.C., Goldschmidt, V.G. (1987)
Preservation of human tissue immersed for years in fresh water of known temperature
J. Forensic Sci., 32, 1125-1130
- Daniels, J., Hagen, W., Lehmkuhl, H., Posch, J., Pürckhauer, F., Schröder, E., Stralau, J., Trüb, C. L. P. (1973)
Das öffentliche Gesundheitswesen, Band III
Georg Thieme Verlag, Stuttgart
- Daldrup, T. (1979)
Postmortaler Eiweißzerfall in menschlichen Organen, Reaktionen und zeitliche Zusammenhänge
Triltsch Verlag, Düsseldorf
- Den Dooren de Jong, L.E. (1961)
On the formation of adipocere from fats – contribution to the microbiology of systems containing two liquid phases
Journal of microbiology and serology, 27, 337-361
- Dietz, O., Arnold, J. (1982)
Gesetz über das Friedhofs- und Leichenwesen (Bestattungsgesetz) in Baden-Württemberg
2. Auflage, Kohlhammer, Stuttgart, Berlin, Köln, Mainz
- Dix, J.D. (1987)
Missouri's Lakes and the Disposal of Homicide Victims
J. Forensic Sci., 32, 806-809
- Döring, G. (1973)
Die chemischen Altersveränderungen des Leichenlipids
Inaugural Diss., Universität Göttingen

- Döring, G. (1975)
Postmortaler Lipidstoffwechsel
Beitr. Gerichtl. Med., 33, 76-84
- Döring, G., Lackner, H., Mieskes, G., Vogel, R. (1976)
Propandiol-(1.3)-fettsäureester als Metaboliten der postmortalen Fettspaltung
Z. Rechtsmedizin, 78, 285-296
- Du Camp, M. (1874)
Les cemetiere de Paris
Rev. Des Deux Mondes, 3eme Periode, Tome2eme, 812-851
unter Bauer, F.J. (1992)
- Egli, (1913)
Zitiert unter Müller Diss, (1913)
- Ermann, (1882)
Beitrag zur Kenntnis der Fettwachsbildung
Vjschr. Gericht. Med., 37, 51-65
- Ermann, (1884)
Thanatologische Beiträge
Vjschr. Gerichtl. Med., 40, 29-36
- Evans, W.E. (1962)
Some histological findings in spontaneously preserved bodies
Medicine Science and the law, 2, 155-164
- Evans, W.E. (1963)
Adipocere formation in a relatively dry environment
Medicine Science and the law, 3, 145-153
- Fallani, M., Astore, P.A. (1961)
Die Fettsäuren des Fettgewebes im Laufe der Leichenveränderung
Dtsch. Z. Gesamte Gerichtl. Med., 52, 525-526
- FAZ (1997)
Zeitungsartikel vom 05.09.1997
„Chemotherapie verzögert Verwesungsprozess“
- Fiedler, S. (2004)
Zersetzungsprobleme und Ruhefristen auf baden-württembergischen Friedhöfen
Friedhofskultur; 7, 16-17
- Fiedler, S., Graw, M. (2003a)
Erdbestattungen verursachen Zersetzungsprobleme
Bayerische Gemeindezeitung, 1, 3

- Fiedler, S., Graw, M. (2003b)
Decomposition of buried corpses, with special reference to the formation of adipocere
Naturwissenschaften, 90, 291-300
- Fiedler, S., Graw, M. (2004)
Versuche zur Beschleunigung des Abbaus von Leichenlipid in Erdgräbern durchgeführt
Friedhofskultur; 7, 19-20
- Fiedler, S., Sand van de, M. (2001)
Welche Bodeneigenschaften sind für eine Friedhofsnutzung von Bedeutung
BWGZ, 8, 285-286
- Fiedler, S., Schneckenberger, K., Graw, M., Schweinsberg, F., Stahr, K. (2002)
Bildung so genannter Fettwachsleichen in redoximorphen Nekrosolen- Beispiel St. Georgen
Wasser und Boden, 54/11, 8-11
- Fiedler, S., Schneckenberger, K., Graw, M. (2004)
Characterization of soils containing adipocere
Arch Environ Contam Toxicol, 47(4), 561-568
- Fiedler, S., Weinzierl, W., Waldmann, F., Graw, M. (2003)
Problems of decomposition in cemetery soils- evaluation of Baden-Württemberg (Deutschland)
Z. Dtsch. Geol. Ges., 155, 101-108
- Fischer, K. (1994)
Ackermann-Grabkammer – Untersuchungen zu den Auswirkungen der austretenden Verwesungsgase
Universität Stuttgart Arbeitsbereich Siedlungsabfall
Gutachten
- Fischer, K. (1996)
Messungen zum Luftaustausch und möglichen Geruchsemissionen bei der Grabkammer Elisa
Universität Stuttgart Arbeitsbereich Siedlungsabfall
Gutachten
- Fleige, H., Horn, R., Blume, H.P., Wetzel, H. (2002)
Bodenkundliche Bewertungsverfahren zur Bestimmung des Eignungsgrades von Friedhöfen
Wasser und Boden, 54/11, 31-39

- Forbes, S.L., Stuart, B.H., Dadour, I.R., Dent B.B. (2004)
A preliminary investigation of the stages of adipocere formation
J. Forensic Sci., 49, No3, 566-574
- Forbes, S.L., Stuart, B.H., Dent, B.B. (2002)
The identification of adipocere in grave soils
Forensic Sci. int., 127, 225-230
- Forbes, S.L., Stuart, B.H., Dent, B.B., Fenwick-Mulcahy, S. (2005)
Characerization of adipocere formation in animal species
J. Forensic Sci., 50, No3, 633-640
- Forster, B. (1986)
Praxis der Rechtsmedizin
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York
- Forster, B., Ropohl, D. (1983)
Medizinische Kriminalistik am Tatort
Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart
- Forster, B., Ropohl, D. (1987)
Rechtsmedizin
Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart
- Franke, G. (2008)
Persönliche Mitteilung
- Friedl, C. (2002)
Gräber an falscher Stätte
Berliner Zeitung vom 26.07.2002
- Fritsche, W. (2002)
Mikrobiologie
3. Auflage, Spektrum Verlag, Heidelberg, Berlin
- Froentjes, W. (1965)
Kurzer Bericht über die unvollständige Leichenzersetzung auf Friedhöfen und die Adipocirebildung
Dtsch. Zschr. gerichtl. Med., 56, 205-207
- Gabriel, M. (1930)
Die bisherigen Ergebnisse der Moorleichenforschung und Mitteilung eines neuen Fundus einer Moorleiche
Dtsch. Zschr. ges. gerichtl. Med., 15, 226-238
- Gefa Produkte Fabritz GmbH (2000)
Informationsbroschüre über Cyclo Diffusionssysteme

- Gädke, J., Diefenbach, J. (1999)
Handbuch des Friedhofs- und Bestattungsrechts
8. Auflage, Heymann, Köln, Berlin, Bonn, München
- Geo Magazin (2004)
Thermo-Einsatz auf dem Friedhof
Heft 02
- Gibbes (1794)
Über die Umwandlung animalischer Muskeln in eine Spermaceti-ähnliche
Substanz
Zitiert nach Erman 1882
- Gostomzyk, J.G., Frei, G.F. (1969)
Der postmortale Anstieg der Konzentration der freien Fettsäuren als Ausdruck
einer vitalen Reaktion
Arch. Kriminol., 143, 181-186
- Gotouda, H., Takatori, T., Terazawa, K., Nagao, M., Tarao, H. (1988)
The mechanism of experimental adipocere formation: hydration and
dehydrogenation in microbial synthesis of hydroxy and oxo fatty acids
For. Science Int., 37, 249-257
- Goy, S. (1927)
Über Leichenwachs
Biochem. Zeitschrift, 187, 470-471
- Goy, S., Wende, E. (1922)
Über zwei Leichenwachsuntersuchungen
Biochemische Zeitschrift, 131, 8-12
- Graf, E., Preuß, R. (1969)
Gadamers Lehrbuch der chemischen Toxikologie und Anleitung zur
Ausmittelung von Giften
Band I/1, 3. Auflage, Vandenhoeck&Ruprecht, Göttingen
- Graw, M. (2003)
Studie zur Zersetzungsproblematik auf Friedhöfen in Bayern: "Die
Schwierigkeiten sind immens"
Gemeinde-Zeitung Bayern, 10, 3
- Graw, M., Fiedler, S. (2002)
Immer wieder totgeschwiegen
Bayerische Gemeindezeitung, 21, 4
- Graw, M., Haffner, H.T. (2001)
Studie zur Zersetzungsproblematik auf Friedhöfen in Baden-Württemberg
Baden-Württembergische-Gemeindezeitung, 8, 284-285

Graw, M., Schmidt, M., Schneckenberger, K., Fiedler, S. (2002)
Degradation von Leichen-Fäulnis, Verwesung und Artefaktbildung
Wasser und Boden, 54/11, 16-19

Gregory, W. (1847)
Über eine fette Substanz, von einem thierischen Körper herrührend
Justus Liebigs Annalen der Chemie, 56, 362-364

Grellner, W. (1998)
Toxikologische Nachweismöglichkeiten bei Fettwachsumwandlung und
mehrjähriger Liegezeit
Arch. Kriminol., 202, 81-86

Grenzius, R. (1986)
Die Böden Berlins (West) – Klassifizierung, Vergesellschaftung, ökologische
Eigenschaften
Diss., Technische Uni. Berlin

Harcken, W. (1952)
Fettwachs und Fettwachsbildung unter besonderer Berücksichtigung des pH-
Wertes
Inaugural Diss., Universität Göttingen

Hauri-Bionda, R. (2001)
Institut für Rechtsmedizin, Universität Zürich
Schriftliche Mitteilung

Hausbrandt, F. (1942)
Bemerkenswertes an einer 6 Jahre in einem Moortümpel gelegenen
Fettwachsleiche (nach Mord durch Erdrosseln)
Dtsch. Zschr. ges. gerichtl. Med., 36, 217-231

Hauser, A. (1994)
Von den letzten Dingen
Neue Züricher Zeitung, Zürich

Henderson, J. (1987)
Factors determining the state of preservation of human remains
In Boddington, A., Garland, A.N., Janaway, R.C.
Death, decay and reconstruction
Manchester University Press

Henssge, C.; Madea, B. (2003)
Leichenerscheinungen und Todeszeitbestimmung
In Brinkmann und Madea (2003)

- Herrmann, B. (1981)
Eine Möglichkeit der makroskopischen Fehlbeurteilung von
Dekompositionerscheinungen des Knochens
Z. Rechtsmed., 87, 275-278
- Hirsch, F., Schlabow, K. (1948/49)
Untersuchung von Moorleichenhaaren
Dtsch. Z. Gesamte Gerichtl. Med., 48, 540-541
- Hofmann, E. (1877)
Die forensisch wichtigsten Leichenerscheinungen
Vjschr. Gerichtl. Med., 26, 246-281
- Hofmann, T. (2006)
Im 3sat-Bericht vom 03.11.2006: Ein neuer Friedhof benötigt heute viel
Wissenschaft
Unter www.3sat.de
- Holley, S.; Fiedler, S.; Graw, M. (2008)
Makroskopische Abschätzung des postmortalen Intervalls (PMI) und
Ausschluss einer forensisch relevanten Liegezeit-ein Vergleich von
Literaturangaben mit rezenten osteologischen Funden
Arch.Kriminol, 221, 175-184
- Homans W.J., 1996
Geruchsemissionen aus Grabkammern
Kurzbericht zu olfaktometrischen Messungen
- Holczabek, W. (1969)
Dünnschichtchromatographische Lipiduntersuchungen bei Fäulnis
Beitr. Gerichtl. Med., 25, 304-309
- Horn, R. (2002)
Gefährdungspotentiale für die Umwelt erkennen und Lösungswege finden
Wasser Boden, 54/11, 1
- Horn, R., Fleige, H. (2000)
Bodenkundliche Anforderung für die Erdbestattung
In Friedhofssysteme – Schutz für Boden und Wasser
Gütegemeinschaft Friedhofssysteme Hrsg., Berlin
- Hunger, H., Dürwald, W., Tröger, H.D. (1993)
Lexikon der Rechtsmedizin
Johann Ambrosius Barth Verlag, Leipzig, Berlin, Heidelberg

Hunger, H., Leopold, D. (1978)

Identifikation

Springer, Berlin, Heidelberg, New York

Hunziker, H. (1919/1920)

Über die Befunde bei Leichenausgrabungen auf den Kirchhöfen Basels

Z. Path., 22, 147-205

Illi, M. (1992)

Wohin die Toten gingen

Chronos Verlag, Zürich

Inoue, H., Iwasa, M., Maeno, Y., Koyama, H., Sato, Y., Matoba, R. (1996)

Detection of toluene in an adipoceratous body

Forensic Sci. int., 78, 119-124

Ipsen (1910)

Bemerkung zum Vortrag von Bürger

Vjschr. Gerichtl. Med., 39, 180-181

Janaway, R.C. (1987)

The preservation of organic materials in association with metal artefacts deposited in inhumation graves

In Boddington, A., Garland, A.N., Janaway, R.C.

Death, decay and reconstruction

Manchester University Press

Jennerich, L. (2004a)

Was tun gegen Wachsleichen

Friedhofskultur; 2, 24

Jennerich, L. (2004b)

Gräbersanierung mit Prozesshitze

Friedhofskultur; 2, 23

Joachim, H., Berg, S. (1973)

Der Aussagewert perinataler Lipidverschiebung im Blutserum für die Diagnose des Gelebthabens beim Neugeborenen

Z. Rechtsmedizin, 72, 294-298

Jobba, G., Földes, V. (1978)

Frühzeitige Leichenwachsbildung

Arch. Kriminol., 161, 82-84

Kahana T., Almog, J., Levy, J., Shmeltzer, E., Spier, Y., Hiss, J. (1999)

Marine Taphonomy: Adipocere Formation in a Series of Bodies Recovered from a Single Shipwreck

J. Forensic Sci., 44, 897-901

- Katte, W. (1967)
Strychnin-Nachweis in Kindesleiche nach 5 Jahren Erdbestattung
Arch. Kriminol., 139, 28-33
- Keller, G. (1963)
Über die Eignung nordwestdeutscher Böden für die Erdbestattung
Z. deutsch. geol. Ges., 115, 609-616
- Klemp, F. (1931)
Enterdigung und Sektionserfolg
Dtschr. Zschr. f. gesamt gerichtl. Med., 16, 190-209
- Klöppling, K. (1994)
Erfahrungen der Praxis im Umgang mit Grabkammern
Deutsche Friedhofskultur, 10, 383-387
- Kobayashi, M., Sakurada, K., Nakajima M., Iwase, H., Hatanaka, K., Matsuda, Y., Ikegaya, H., Takatori, T. (1999)
A `keyhole lesion` gunshot wound in an adipocere case
Leg Med (Tokyo), 1(3), 170-173
- Koch, H.,J. (2002)
Forensische Entomologie
Diplomarbeit, Fachhochschule der Polizei Villingen-Schwenningen
- Kratter, J. (1880)
Studien über Adipocire
Zeitschrift für Biologie, 16, 455-492
- Krauland, W. (1943)
Fettwachsbildung unter ungewöhnlichen Bedingungen
Dtsch. Zschr. ges. gerichtl. Med., 37, 179-189
- Krause, D. (2003)
Späte Leichenveränderungen
In Brinkmann, B., Madea, B. (2003)
Handbuch gerichtliche Medizin, Band 1
Springer, Berlin, Heidelberg, New York
- Krumme, F. (1964)
Untersuchungen zum Flächenbedarf der Friedhöfe
Diss., Technischen Hochschule Hannover
- Küchenmeister, F. (1885a)
Die verschiedenen Bestattungsarten menschlicher Leichname, vom Anfang der Geschichte bis heute, Teil 1
Vierteljahrsschrift für gerichtl. Medizin, 42, 324-351

Küchenmeister, F. (1885b)
 Die verschiedenen Bestattungsarten menschlicher Leichname, vom Anfang der
 Geschichte bis heute, Teil 2
 Vierteljahrsschrift für gerichtl. Medizin, 43, 79-130

Kuhn, R. (1997)
 Gutachten: Grabhüllesystem Weihe als Bestattungsform an Problemstandorten
 Fachhochschule für Technik und Wirtschaft, Reutlingen

Kulshrestha, P., Chandra, H. (1987)
 Time Since Death – An Entomological Study on Corpses
 Am. J. Forensic Med. Pathol., 8, 233-238

Kuntze, H., Roeschmann, G., Schwerdtfeger, G. (1994)
 Bodenkunde
 5. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart

Lautenschläger, O. (1936)
 Die Böden der Friedhöfe mit besonderer Berücksichtigung des Zentralfriedhofes
 Danzig-Langfuhr
 Diss., Technische Hochschule Danzig

Leca (2000)
 Substrate für Baumpflanzungen und -sanierungen – Leca baum
 Prospekt der Firma Leca Deutschland GmbH, Unternehmen Aker ExClay

Lindlar, F. (1969)
 Postmortale Lipidveränderungen und Todeszeitbestimmung
 Beitr. Gerichtl. Med., 26, 71-73

Lindlar, F., Gröbe, R. (1968)
 Abspaltung höherer Triglycerid-Fettsäuren während der Autolyse des
 Fettgewebes
 Hoppe-Seyler`s Z. Physiol. Chem., 349, 1493-1496

Lochte, 1910
 Bemerkung zum Vortrag von Bürger
 Vjschr. Gerichtl. Med., 39, 180-181

Lötterle, J., Schmierl, G., Schellmann, B. (1982)
 Einfluß der Bodenart auf die Leichendekomposition bei langen Liegezeiten
 Beitr. Gerichtl. Med, 40, 197-201

Lorke, D. (1953a)
 Die postmortale Wasserstoffionenkonzentration an der Oberfläche tierischer
 Organe
 Dtsch. Z. Gerichtl. Med., 42, 167-172

- Lorke, D. (1953b)
 Postmortale pH-Messungen an der Oberfläche und in der Tiefe tierischer Organe
 Dtsch. Z. Gerichtl. Med., 42, 173-179
- Lorke, D., Schmidt, O. (1952)
 Fäulnis und Verwesung im Experiment
 Dtsch. Z. Gerichtl. Med., 41, 236-239
- Lorke, D., Schmidt, O. (1953)
 Beitrag zum postmortalen Abbau des Schwefels in Abhängigkeit von der Redoxlage
 Dtsch. Z. Gerichtl. Med., 42, 164-166
- Ludwig (1860)
 Schmidt's Jahrbuch, Bd106, 147
- Lund, (1964)
 Unter Hunger und Leopold, 1978
- Madea, B. (1993)
 Leichenzerstückelung mit ungewöhnlicher Konservierung der Leichenteile
 Arch. Kriminol., 193, 72-78
- Madea, B. (2003)
 Praxis Rechtsmedizin
 Band 1, Springer, Berlin, Heidelberg, New York
- Mann, R.W., Bass, W.M., Meadows, L. (1990)
 Time since death and decomposition of the human body: Variables and observations in case an experimental field studies
 J. Forensic Sci., 35, 103-111
- Mant, A.K. (1987)
 Knowledge acquired from post-War exhumations
 In Boddington, A., Garland, A.N., Janaway, R.C.
 Death, decay and reconstruction
 Manchester University Press
- Mant, A.K., Furbank, R. (1957)
 Adipocere-A Review
 J. Forensic Sci., 4, 18-35
- Matthes (1903)
 Zur Frage der Erdbestattung vom Standpunkt der öffentlichen Gesundheitspflege
 Zeitschrift für Hygiene, 44, 439-468

- Mayer, B., Reiter, C., Bereuter, T. (1997)
Investigation of the triacylglycerol composition of iceman`s Mummified tissue by high-temperature gas chromatography
J.Chromatogr.B.Biomed.Sci Appl., 692(1), 1-6
- Mayrhofer, A., Wimmer, Ch. (1924)
Über eine bemerkenswerte Bildung von Adipocire
Beitr. Gerichtl. Med., 6, 49-54
- Mellen, P.F.M., Lowry, M.A., Micozzi, M.S. (1993)
Experimental Observations on Adipocere Formation
J. Forensic Sci., 38, 91-93
- Mengede, R., Burghardt, W., Bahmani, M. (2001)
Langzeitversuch zur Bodenatmung auf einem Friedhof
Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges., 96, 531-532
- Micozzi, M.S. (1986)
Experimental study of postmortem change under field conditions: Effects of freezing, thawing, and mechanical injury
J. Forensic Sci., 31, 953-961
- Milbert, G. (2002)
Geologisch- bodenkundliche Gutachten zur Neuanlage und Erweiterung von Begräbnisplätzen, Vorgehensweise und Vorschläge für Herrichtungsmaßnahmen
Tagung „Konfliktfeld Friedhof, Verwesungsproblematik,Umweltrisiko,Sanierung“, Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz, Mainz
- Ministerium für Umwelt Baden Württemberg (1994)
Bearbeitet von Kohl, R.; Lehle, M.; Reinfelder, H.; Schlechter, R.
Leitfaden zum Schutz der Böden beim Auftrag von kultivierbarem Bodenaushub
- Minovici, N., Kernbach, M., Cotutiu, C. (1930)
Kritische Untersuchungen über histologische und histo-chemische Veränderungen bei der Leichenfäulnis, in Beziehung zur Todeszeitbestimmung
Dtsch. Z.Gesamte Gerichtl. Med., 14, 383-400
- Mollweide, H.U. (1983)
Gefährdung des Grundwassers bei Erdbestattungen
Z.ges.Hyg., 29(5), 289-291
- Morovic-Budak, A. (1965)
Experiences in the process of putrefaction in corpses buried in earth
Med. Sci. Law, 5, 40-43

- Motter, M.G. (1889)
A Contribution to the Study of the Fauna of the Grave
Journal of the New York Entomological Society, 6, 201-233
- Moura, O.M., de Carvalho, C., Monteiro-Filho, E. (1997)
A preliminary analysis of insects of medico-legal importance in Curitiba, State of Parana
Mem Inst Oswaldo Cruz, 92(2), 269-274
- Mueller, B. (1961)
Zur Frage des Beginnes einer umfangreichen Fettwachsbildung an der Leiche und zur Schätzung der Todeszeit
Arch. Kriminol., 127, 35-39
- Müller, B. (1975)
Gerichtliche Medizin
2. Aufl., Springer, Berlin, Heidelberg, New York
- Müller, W. (1913)
Postmortale Dekomposition und Fettwachsbildung
med. Diss., Universität Zürich
- Müller, W. (1914)
Physikalisch-chemische Bestimmung über die Entstehung und Vermeidung des Leichenwachses auf Friedhöfen – Das Prinzip der künstlichen Sargventilation
Archiv für Hygiene, 83, 285-362
- Müller, W. (1915)
Untersuchungen über die Bildung von Leichenwachs aus krankhaftem Gewebe des Menschen
Vjschr. Gerichtl. Med., 50, 251-255
- Nanikawa, R. (1973)
Über die Bestandteile von natürlichen und experimentell hergestellten Leichenwachsen
Z. Rechtsmedizin, 72, 194-202
- Nanikawa, R., Tawa, N., Saito, K. (1961)
Chemische Studien über Fettwachsbildung, Widerlegung der Verseifungstheorien
Dtsch. Z. Gesamte Gerichtl. Med, 52, 708-709
- Neudorff (2002)
Radivit Universal Komposter
Prospekt der Firma W.Neudorff GmbH

- Nielsen, B. (1976)
Schmeißfliege und Vakuum verpackter Schinken
Unter Benecke, 2003
- Nippe (1913)
Studien über Leichenzersetzung
Vjschr. Gerichtl. Med., 46, 42-62
- Okamoto, Y. (1903)
Ein Fall von einer sehr wohl erhaltenen Gräberadipocire
Vjschr. Gerichtl. Med., 26, 259-262
- Otto, F. (1994)
Verbot der Grababdeckung mit Stein
Friedhofskultur, 10, 417
- Pacheco, A., Mendes, J.M.B., Martins, T., Hassuda, S., Kimmelman, A.(1991)
Cemeteries-a potential risk to groundwater
Wat.Sci.Tech., 24/11, 97-104
- Payne, J.A., King, E.W. (1968)
Arthropod Succession and Decomposition of Buried Pigs
Nature, 219, 1180-1181
- Petersohn, F. (1972)
Rechtsmedizinische Feststellungen an einer 3 Jahre in Plastik gehüllten
Kinderleiche
Beitr. Gerichtl. Med., 29, 351-358
- Pfeiffer, S., Milne, S., Stevenson, R.M. (1998)
The natural decomposition of adipocere
J. Forensic Sci., 43, 368-370
- Prokop, O., Göhler, W. (1976)
Forensische Medizin
3. Auflage, Gustav Fischer, Stuttgart, New York
- Rabl, W., Ambach, E., Tributsch, W. (1991)
Leichenveränderung nach 50 Jahren Wasserzeit
Beitr. Gerichtl. Med., 49, 85-89
- Raestrup, (1926)
Über Exhumierungen
Dtsch.Z.Gesamte Gerichtl.Med., 6, 34-48
- Ramann, (1905)
Zitiert in Hunger und Leopold, (1978)

- Reed, H.B. (1958)
A Study of Dog Carcass Communities in Tennessee, With Special Reference to the Insects
Am. Midl. Nat., 59, 213-245
- Reh, H. (1960)
Diskussionsbemerkung zum Vortrag H.J. Wagner
Dtsch. Zschr. ges. gerichtl. Med., 49, 720-722
- Reh, H., Haarhoff, K., Vogt, C.D. (1977)
Die Schätzung der Todeszeit bei Wasserleichen
Z. Rechtsmedizin, 79, 261-266
- Reimann, W. (1954/1955)
Zur Frage der frühzeitigen Leichenwachsbildung
Dtsch. Z. Gesamte Gerichtl. Med., 43, 169
- Reiser, M. (2002)
Zwischenbericht zur Messtechnischen Begleitung der Grabkammer-Versuche
Universität Stuttgart, Arbeitsbereich Technik und Analytik der Luftreinhalung
Persönliche Mitteilung
- Remy, E. (1926)
Zur Chemie des Leichenwachses unter besonderer Berücksichtigung der Anaphylaxie
Archiv für Hygiene, 96, 311-320
- Risse, H., Dapper, H. (1975)
Der Leichenabbau und seine Bedeutung für das Bestattungswesen und die Friedhofsplanung
Deutsche Friedhofskultur, 10, 223-224
- Roche Lexikon der Medizin (1999)
4. Aufl., Urban&Fischer, München
- Rodriguez, W.C., Bass, W.M. (1983)
Insect Activity and its Relationship to Decay Rates of Human Cadavers in East Tennessee
J. Forensic Sci., 28, 423-431
- Rodriguez, W.C., Bass, W.M. (1983)
Decomposition of Buried Bodies and Methods That May Aid in Their Location
J. Forensic Sci., 30/3, 836-852
- Roth W., Lex M. (1872)
Handbuch der Militärgesundheitspflege, I, 554

- Rothschild, M.A.; Schmidt, V., Pedal, I. (1996a)
Leichenlipid: Unterschiedliche Entstehungsarten erschweren zusätzlich die
Abschätzung der Liegezeit
Arch. Kriminol., 197, 165-174
- Rothschild, M.A., Schmidt, V., Schneider, V. (1996b)
Adipocere-problems in estimating the length of time since death
Med Law, 15, 329-335
- Rubner, M., Grate, M., Ficker, M. (1912)
Handbuch der Hygiene
S. Hirzel, Leipzig
- Schauenstein, 1882
In Maschka Handbuch der gerichtlichen Medizin, Tübingen
Unter Müller, 1913
- Scheffer, F., Schachtschabel, P. (2002)
Lehrbuch der Bodenkunde
15. Aufl., Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin
- Scheibe, E. (2002)
Zwischen Anspruch und Wirklichkeit
Friedhofskultur, 2, 5
- Schleyer, F. (1957)
Über die Beziehungen zwischen der Säurezahl des Unterhautfettgewebes und
dem Leichenalter
Dtsch. Z. Gerichtl. Med., 46, 569-574
- Schmidt, G. (1969)
Postmortale Veränderungen von Arzneistoffen und Giften in Organen und
Körperflüssigkeiten einschließlich Neubildung von Störsubstanzen
In Preuss, R.
Gadamers Lehrbuch der chemischen Toxikologie und Anleitung zur
Ausmittelung der Gifte
Vandenhoeck Ruprecht, Göttingen
- Schmidt, M., Graw, M. (2002)
Forschungsprojekt zur Problematik der Verwesung
Friedhofskultur, 2, 20-21
- Schmidt, M. (2004)
Untersuchungen zur Liegezeitproblematik
13. Frühjahrstagung Region Süd der Deutschen Gesellschaft für
Rechtsmedizin, Salzburg

Schmidt- Bartelt, D., Behnke. R., Burghardt, W. (1990)
Friedhöfe auf Löß und urban-industriell überprägten Substraten im Ruhrgebiet –
Bodenmerkmale, Probleme und Lösungsansätze
Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges., 61, 131-134

Schmierl, G. (1982)
Die Leichenzersetzung im Erdgrab aus verwaltungsrechtlicher, hygienischer,
geologischer und rechtsmedizinischer Sicht
med. Diss., Universität Erlangen-Nürnberg

Schneckenberger, K. (2002)
Charakterisierung zweier Nekrosole mit Leichenlipidbildung im Vergleich zu
einem Referenzstandort, sowie Ableitung möglicher ökologischer
Konsequenzen
Dipl., Universität Hohenheim

Schneider, V., Bratzke, H., Maxeiner, H. (1982)
Über bemerkenswerte Befunde bei einer defensiven Leichenzerstückelung
Z. Rechtsmedizin, 89, 131-143

Schoenen, D. (2002)
Wachtleichenbildung- ein mikrobielles Problem
Wasser Boden, 54/11, 12-15

Schoenen, D. (2003a)
Verwesung und Verwesungsstörungen
Friedhofskultur, 7, 31-32

Schoenen, D. (2003b)
Die Verwesung aus hygienischer Sicht
Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, 113,

Schoenen, D. (2004)
Wie verrottet Sargholz in Grabkammern
Friedhofskultur; 6, 19-20

Schönen, D., Hanraths, S. (2002)
Kommt es in Grabkammern zur Mumifikation
Friedhofskultur, 12, 29-30

Schraps, W.G. (1970)
Bodenkundliche Untersuchungen für die Anlage von Begräbnisplätzen
Z. Deutsch. Geol. Ges., 122, 81-87

Schraps, W.G. (1972)
Die Bedeutung der Filtereigenschaften des Bodens für die Anlage von
Friedhöfen
Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges., 16, 225-229

- Schützenmeister, W. (1972)
Die geologischen Bedingungen für Friedhofsstandorte
Z. Gesamte Hygiene, 18, 87-90
- Schulz, M. (2003)
Unusual Mass Occurrence of Astigmatic Mites
Persönliche Mitteilung
- Schumann, M., Barz, J., Bonte, W. (1995)
Leichenbeseitigung durch Einbetonieren und Versenken im Wasser
Arch. Kriminol., 195, 18-26
- Schwab, S. (1994)
Aktuelles aus der Rechtsprechung zum Friedhofsrecht
Friedhofskultur, 10, 416
- Schwarze, F., Engels, J., Mattheck, C. (1999)
Holzzersetzende Pilze in Bäumen
Rombach Verlag
- Seher, W., Morlo-Roth, C.D. (2004)
Grabsanierung bei Wachsleichenproblemen
Friedhofskultur; 7, 20
- Selles, M. (1957)
Die Leichenverwesung und ihre Verzögerung durch den Einfluß der Antibiotika
Dtsch. Z. Gesamte Gerichtl. Med., 46, 518
- Sigrist, T., Patscheider, H., Schegg, H.K. (1982)
Ungewöhnliche Leichenbeseitigung
Arch. Kriminol., 170, 146-158
- Simonsen, J. (1977)
Early formation of adipocere in temperate climate
Med Sci Law., 17/1, 53-55
- Simpson, K., Knight, B. (1985)
Forensic Medicine
9. Aufl., Edward Arnold, London
- Smith Fiddes, F. (1955)
Forensic medicine
10. Auflage, J&A Churchill, London
- Specht, W. (1937)
Chemische Abbaureaktionen bei der Leichenzersetzung
Ergeb Allg Pathol, 33, 138-180

Spiegel Magazin (1998)
Gestörter Kreislauf
Heft 34, 160-161

Steensberg J., (1972)
Hygienische Forderungen an Friedhöfe
Bundesgesundheitsblatt, 15, 241
unter Schmierl, 1982

Steutde-Gaudich, R. (2002)
Durchlässig, grundwasserfrei und sorptionsfähig?- Friedhofsböden in NRW
Friedhofskultur, 92, 16-19

Sticht, G., Ramme, H., Dotzauer, G. (1981)
Morphologische und toxikologische Befunde nach 17jähriger Liegezeit einer
Leiche
Beitr. Gerichtl. Med., 39, 177-183

Strassmann, G. (1924)
Über Leichenveränderungen, autolytische, Fäulnis- und Verwesungsvorgänge
Dtsch. Zschr. ges. gerichtl. Med., 3, 359-371

Strassmann, G., Fantl, D. (1926)
Untersuchungen an einer Fettwachsleiche
Dtsch. Z. Gesamte. Gerichtl. Med., 6, 168-174

Sukopp, H., Wittig, R. (1998)
Stadtökologie
Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm

Szathmary, S., Tamaska, L., Steigel, A. (1985)
Ein Beitrag zum postmortalen Neutrallipidabbau – Einsatz moderner
Analysemethoden (HPLC, Kapillar GC, GC-MS und NMR) bei der
Fettwachsbildung
Z. Rechtsmed. , 94, 273-287

Takatori, T. (1996)
Investigations on the mechanism of adipocere formation and its relation to other
biochemical reactions
Forensic Sci.Int., 80, 49-61

Takatori, T. (2001)
The mechanism of human adipocere formation
Leg Med (Tokyo), 3(4), 193-204

- Takatori, T., Gotouda, H., Terazawa, K., Mizukami, K., Nagao, M. (1987)
The mechanism of experimental adipocere formation: substrate specificity on microbial production of hydroxy and oxo fatty acids
For. Science int., 35, 277-281
- Takatori, T., Ishiguro, N., Tarao, H., Matsumiya, H. (1986)
Mikrobial production of hydroxy and oxo fatty acids by several microorganisms as a model of adipocere formation
For. Science Int., 32, 5-11
- Takatori, T., Yamaoka, A. (1977a)
The mechanism of adipocere formation-1. Identification and chemical properties of hydroxy fatty acids in adipocere
J. Forensic Sci., 9, 63-73
- Takatori, T., Yamaoka, A. (1977b)
The mechanism of adipocere formation-2. Separation and identification of oxo fatty acids in adipocere
J. Forensic Sci., 10, 117-125
- Takatori, T., Yamaoka, A. (1979)
Separation and identification of 9-chloro-10-methoxy (9-methoxy-10-chloro)hexadecanoic and octadecanoic acids in adipocere
Forensic Sci Int, 14(1), 63-75
- Thalman, R. (1978)
Urne oder Sarg
Inaugural Dissertation, Basel
- Thouret, (1792)
Bericht über die Leichen, die aus dem Kirchhof und der Kirche der unschuldigen Märtyrer ausgegraben wurden
Chemische Annalen, 2, 464-474
- Tomita, K. (1984)
On the Production of Hydroxy Fatty Acids and Fatty Acids Oligomers in the Course of Adipocere Formation
Jpn. J. Legal Med., 38/3, 257-272
- Urban, R. (2002a)
Bodenkontamination durch Leichengifte
Tagung „Konfliktfeld Friedhof,
Verwesungsproblematik, Umweltrisiko, Sanierung“,
Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz, Mainz

- Urban, R. (2002b)
Umweltbelastung, Bodenkontamination und Gesundheitsgefährdung bei Erdbestattungen
Wasser Boden, 54/11, 25-30
- Urban, R. (2003)
Bodenkontamination durch Leichengifte
Friedhofskultur, 1, 29-30
- Vass, A.A. (2001)
Beyond the grave – understanding human decomposition
Microbiol. Today, 28, 190-192
- Vass, A.A., Bass, W.M., Wolt, J.D., Foss, J.E., Ammons, J.T. (1992)
Time since death determinations of human cadavers using soil solution
J. Forensic Sci., 37, 1236-1253
- Voit, E. (1888)
Versuche über die Adipocirebildung
Münch.Med.Wschr., 35, 517-519
- Wagner, H.J. (1960)
Einfluß der Antibiotika und Sulfonamide auf die Leichenfäulnis
Dtsch. Zschr. ges. gerichtl. Med., 49, 714-719
- Wagner, H.J. (1961)
Die Beeinflussung postmortaler physikalisch-chemischer Vorgänge durch Antibiotika und Sulfonamide
Dtsch. Zschr. gerichtl. Med., 51, 572-581
- Walcher, K. (1937)
Die späten Leichenveränderungen
Ergeb. Allg. Pathol., 33, 35-137
- Weinig, E. (1958)
Die Nachweisbarkeit von Giften in exhumierten Leichen
Dtsch. Z. Gesamte Gerichtl. Med., 47, 397-416
- Weinzierl, W., Waldmann, F. (2002)
Karte der potentiellen Problemstandorte für Erdbestattungen in Baden-Württemberg
Wasser und Boden, 54/11, 4-7
- Weitzel, M.A. (2005)
A report of decomposition rates of a special burial type in Edmonton, Alberta from an experimental field study
J.Forensic Sci., 50(3), 641-647

- Werther, G. (2002)
Friedhöfe nach dem rheinland- pfälzischen Bestattungsrecht
Tagung „Konfliktfeld Friedhof,
Verwesungsproblematik,Umweltrisiko,Sanierung“,
Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz, Mainz
- Wessolek, G. (1988)
Auswirkungen der Bodenversiegelung auf Boden und Wasser
Unter Albrecht, M. (2004)
Kontrovers diskutiert: Platten und Kies als Grababdeckungen
Friedhofskultur, 4, 31-32
- Wetherill, Ch. (1856)
Transact. of the American Philos.Society
Journal f. prakt.Chemie, 68, 26-35
- Wieners, F. (1939)
Ansichten über Fettwachsbildung unter besonderer Berücksichtigung der
modernen Anschauung
Diss., Uni Münster
- Wiigh-Mäsak, S. (2002)
Ökologische Bestattung
Friedhofskultur, 2187, 92. Jahrgang, 27-28
- Wiigh-Mäsak, S. (2003)
Persönliche Mitteilung
- Willey, P., Heilman, A. (1987)
Estimating Time Since Death Using Plant Roots and Stems
J. Forensic Sci., 32, 1264-1270
- Willimann, I. (1996)
Leichenzersetzung im Erdgrab-Zersetzungsstörungen-Hygiene-Maßnahmen
Dipl. Arb., Institut für terrestrische Ökologie (ITÖ), ETH Zürich
- Wirth, I., Strauch, H. (2000)
Rechtsmedizin
Kriminalistik Verlag, Heidelberg
- Wourtsakis, A. (2002)
Bodenkundliche und hydrogeologische Anforderungen für die Erdbestattung
Tagung „Konfliktfeld Friedhof,
Verwesungsproblematik,Umweltrisiko,Sanierung“,
Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz, Mainz

- Wourtsakis, A. (2003)
Bodenkundliche und hydrogeologische Anforderungen für die Erdbestattung
Friedhofskultur, 1, 31-34
- Yan F., Mc Nally, R., Kontanis, E.J., Sadik, O.A. (2001)
Preliminary Quantitative Investigation of Postmortem Adipocere Formation
J. Forensic Sci., 46, 609-614
- Zagar, M. (2002)
Friedhöfe im Spannungsfeld von Ökonomie, Ökologie und Geologie
Tagung „Konfliktfeld Friedhof,
Verwesungsproblematik, Umweltrisiko, Sanierung“,
Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz, Mainz
- Zeidler, H.J. (1938)
Die Hygiene des Bestattungswesens
Inaug.-Diss., Berlin
- Zillner, E. (1885)
Studie über Verwesungsvorgänge
Vierteljahrsschrift für gerichtl Medizin, 42, 1-31
- Zugibe, F.T., Costello, J.T., Breithaupt, M.K. (1987)
The man in the mask
J. Forensic Sci., 32, 810-817

8. Anhang

8.1. Fotos

Modellfriedhof

- Foto Nr.1: Bild von der „Wasserbelastung“ eines eröffneten Grabes



- Foto Nr.2: Bild der Rauchinsufflation



- Foto Nr.3: Bild von Pilzmycel auf dem eröffneten Grab



- Foto Nr.4: Leichenlipid in eröffnetem Grab



- Foto Nr.5: Leichenlipid aus eröffnetem Grab



Grabkammer

- Foto Nr.6: Bild des toten Schweins im Sarg



- Foto Nr.7: Bild des modifizierten Sargs



- Foto Nr.8: Bild des toten Schweins nach beinahe 5 Jahren in der Grabkammer



Grabhülle

- Foto Nr.9: Bild der Grabhülle



8.2. Tabellen

Versuch 1

1B	Oktober	Mai	Dezember	April	Juni	Juli	September	Oktober	April
O ₂	2,4%	2,8%	3,0%	3,2%	3,8%	4,9%	2,4%	2,7%	4,7%
N ₂	71,7%	65,4%	66,8%	76,8%	47,2%	63,5%	63,0%	43,2%	56,0%
CO ₂	8,4%	5,3%	1,1%	1,8%	3,2%	7,4%	10,1%	11,2%	2,1%
CH ₄	16,4%	24,7%	28,5%	10,2%	42,8%	30,1%	25,7%	43,7%	39,2%
2H	Oktober	Mai	Dezember	April	Juni	Juli	September	Oktober	April
O ₂	3,8%	6,8%	3,3%	10,0%	2,9%	3,2%	6,5%	2,2%	5,8%
N ₂	92,5%	87,1%	82,5%	87,3%	86,1%	82,0%	91,8%	77,8%	87,2%
CO ₂	6,5%	4,9%	6,8%	0,8%	2,8%	8,6%	7,8%	8,1%	7,6%
CH ₄		0,0%	0,1%	0,1%	0,2%	13,2%	0,0%	7,3%	0,0%
3F	Oktober	Mai	Dezember	April	Juni	Juli	September	Oktober	April
O ₂	2,6%	1,7%	3,0%	3,9%	4,0%	5,4%	3,6%	3,6%	3,8%
N ₂	85,9%	85,9%	82,6%	84,2%	80,9%	87,6%	76,2%	77,1%	92,4%
CO ₂	8,8%	8,9%	5,0%	1,8%	3,0%	7,8%	8,1%	9,1%	5,8%
CH ₄	2,0%	3,0%	2,5%	0,0%	3,1%	4,0%	2,1%	3,6%	0,9%
4E	Oktober	Mai	Dezember	April	Juni	Juli	September	Oktober	April
O ₂	10,7%	13,5%	14,0%	3,8%	6,7%	11,6%	10,1%	4,1%	14,1%
N ₂	84,2%	96,0%	80,7%	91,0%	79,2%	86,4%	82,1%	83,1%	79,8%
CO ₂	3,4%	3,4%	0,4%	0,6%	1,5%	2,9%	3,1%	4,2%	7,3%
CH ₄	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	2,6%	0,0%	0,0%
5B	Oktober	Mai	Dezember	April	Juni	Juli	September	Oktober	April
O ₂	3,4%	5,7%	6,1%	7,9%	2,7%	6,6%	4,3%	4,0%	6,6%
N ₂	88,7%	94,9%	92,2%	83,5%	86,7%	90,5%	77,7%	82,5%	83,5%
CO ₂	8,9%	5,4%	0,0%	0,8%	8,9%	6,0%	8,3%	8,0%	8,6%
CH ₄	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%

Versuch 2

1H	Oktober	Mai	Dezember	April	Juni	Juli	September	Oktober	April
O ₂	2,9%	2,0%	3,6%	3,6%	2,7%	4,9%	11,1%	3,6%	3,1%
N ₂	86,0%	74,2%	75,2%	90,3%	79,3%	78,2%	78,6%	68,1%	75,5%
CO ₂	8,3%	6,0%	0,9%	1,3%	3,2%	9,5%	8,5%	10,6%	11,2%
CH ₄	8,4%	6,5%	4,3%	0,0%	6,0%	10,3%	8,2%	10,5%	9,4%
2C	Oktober	Mai	Dezember	April	Juni	Juli	September	Oktober	April
O ₂	2,3%	10,5%	11,3%	9,7%	11,0%	12,0%	13,2%	10,1%	13,2%
N ₂	84,0%	84,1%	82,4%	78,3%	81,5%	88,7%	68,0%	80,9%	81,7%
CO ₂		3,8%	0,3%	0,9%	1,6%	3,1%	2,6%	5,7%	4,9%
CH ₄	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
3E	Oktober	Mai	Dezember	April	Juni	Juli	September	Oktober	April
O ₂	2,9%	2,3%	3,4%	3,4%	3,3%	5,5%	7,2%	2,7%	4,0%
N ₂	85,6%	93,6%	90,7%	89,9%	83,2%	85,6%	90,5%	76,8%	84,8%
CO ₂	9,0%	6,4%	0,9%	1,8%	2,8%	7,8%	8,4%	9,6%	11,8%
CH ₄	2,2%	1,5%	2,0%	0,0%	2,0%	2,6%	0,0%	4,2%	0,0%
4G	Oktober	Mai	Dezember	April	Juni	Juli	September	Oktober	April
O ₂	3,6%	3,3%	6,4%	3,3%	2,8%	5,5%	3,9%	2,8%	5,2%
N ₂	87,1%	99,4%	84,7%	87,2%	85,4%	84,0%	86,6%	82,1%	89,6%
CO ₂	6,9%	6,0%	0,5%	1,2%	3,3%	8,6%	7,4%	8,7%	6,8%
CH ₄	0,8%	2,9%	0,1%	0,0%	1,6%	2,5%	0,7%	4,2%	0,0%
5C	Oktober	Mai	Dezember	April	Juni	Juli	September	Oktober	April
O ₂	2,8%	2,1%	3,2%	2,1%	2,3%	5,5%	4,5%	3,7%	4,7%
N ₂	84,7%	91,4%	74,1%	79,9%	81,0%	83,1%	84,1%	82,6%	83,6%
CO ₂	10,0%	10,0%	0,6%	1,6%	4,1%	7,2%	8,3%	8,1%	7,9%
CH ₄	3,7%	8,4%	6,6%	0,1%	5,1%	6,2%	6,2%	5,8%	4,1%

Versuch 3

1D	Oktober	Mai	Dezember	April	Juni	Juli	September	Oktober	April
O ₂	2,6%	2,2%	2,7%	2,6%	3,6%	4,9%	4,3%	3,2%	3,5%
N ₂	79,2%	86,3%	72,0%	91,1%	80,4%	86,5%	81,6%	80,5%	86,7%
CO ₂	7,8%	3,1%	0,2%	0,5%	2,1%	4,9%	6,8%	6,8%	11,7%
CH ₄	9,4%	6,7%	4,9%	1,7%	4,9%	5,7%	6,1%	5,4%	3,1%
2D	Oktober	Mai	Dezember	April	Juni	Juli	September	Oktober	April
O ₂	3,0%	4,0%	3,8%	6,0%	4,7%	4,2%	4,9%	6,8%	10,2%
N ₂	86,4%	90,3%	91,4%	84,9%	89,1%	80,7%	84,2%	70,3%	75,9%
CO ₂	9,1%	5,1%	0,1%	1,1%	2,2%	7,3%	9,0%	10,7%	8,9%
CH ₄	4,2%	0,5%	0,7%	0,0%	0,2%	10,1%	1,3%	7,8%	0,0%
3H	Oktober	Mai	Dezember	April	Juni	Juli	September	Oktober	April
O ₂	2,3%	10,6%	4,0%	4,4%	2,1%	4,1%	5,0%	7,7%	2,9%
N ₂	80,8%	84,1%	89,5%	91,5%	83,5%	81,1%	81,0%	67,2%	82,4%
CO ₂	9,8%	2,4%	0,3%	1,2%	3,3%	8,8%	8,5%	8,6%	9,2%
CH ₄	8,7%	0,3%	1,5%	0,1%	2,4%	4,8%	5,0%	19,3%	6,0%
4C	Oktober	Mai	Dezember	April	Juni	Juli	September	Oktober	April
O ₂	4,4%	3,9%	6,2%	7,8%	4,2%	14,3%	4,5%	4,5%	8,1%
N ₂	84,2%	80,8%	87,8%	81,6%	82,5%	78,5%	82,4%	82,5%	83,1%
CO ₂	7,5%	5,7%	0,5%	0,9%	3,4%	5,6%	7,9%	6,2%	5,7%
CH ₄	0,0%	6,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
5G	Oktober	Mai	Dezember	April	Juni	Juli	September	Oktober	April
O ₂	4,1%	2,3%	8,8%	6,3%	4,5%	8,1%	5,7%	13,1%	14,0%
N ₂	89,1%	95,1%	85,3%	92,8%	82,5%	86,0%	94,0%	81,0%	80,0%
CO ₂	6,9%	9,3%	0,5%	1,4%	4,0%	7,9%	7,8%	7,4%	8,2%
CH ₄	0,0%	3,1%	0,0%	0,0%	1,3%	7,4%	1,0%	0,4%	0,0%

Versuch 5

1A	Oktober	Mai	August	Dez	April	Juni	Juli	Sept	Oktober	April	Mai
O ₂	2,9%	3,2%	4,6%	2,8%	3,0%	2,7%	4,3%	4,3%	2,8%	2,5%	4,6%
N ₂	79,2%	78,4%	70,7%	71,6%	83,4%	78,2%	63,3%	63,6%	71,9%	80,8%	71,6%
CO ₂	6,4%	4,4%	0,8%	0,6%	0,7%	3,7%	6,0%	7,9%	8,2%	4,8%	5,1%
CH ₄	12,4%	11,9%	25,1%	28,3%	10,3%	16,5%	23,5%	22,0%	17,5%	15,5%	22,9%
2G	Oktober	Mai	August	Dez	April	Juni	Juli	Sept	Oktober	April	Mai
O ₂	4,5%	3,3%	5,3%	12,5%	3,6%	2,7%	11,1%	4,0%	14,7%	2,5%	5,3%
N ₂	96,3%	92,9%	89,6%	75,9%	84,4%	76,1%	73,7%	77,0%	74,9%	81,2%	75,2%
CO ₂	3,7%	1,5%	0,3%	0,0%	1,0%	3,7%	1,2%	5,7%	4,0%	3,2%	5,8%
CH ₄	0,0%	4,2%	0,0%	7,6%	9,2%	10,5%	14,5%	11,0%	7,4%	14,7%	18,8%
3B	Oktober	Mai	August	Dez	April	Juni	Juli	Sept	Oktober	April	Mai
O ₂	3,2%	2,3%	6,4%	4,8%	6,4%	3,1%	4,8%	8,3%	3,3%	8,0%	4,9%
N ₂	82,2%	91,2%	81,7%	83,9%	92,3%	77,1%	84,4%	83,0%	81,2%	80,8%	83,2%
CO ₂	8,6%	9,0%	2,5%	1,1%	1,6%	5,3%	7,4%	7,4%	7,7%	7,8%	8,1%
CH ₄	6,3%	5,1%	7,2%	8,1%	0,0%	10,2%	9,1%	0,5%	2,5%	6,2%	0,9%
4A	Oktober	Mai	August	Dez	April	Juni	Juli	Sept	Oktober	April	Mai
O ₂	3,1%	2,5%	6,2%	3,5%	1,8%	5,2%	4,9%	4,4%	3,2%	2,8%	4,1%
N ₂	88,9%	84,6%	86,2%	85,6%	90,4%	86,4%	89,2%	81,5%	82,0%	89,1%	86,5%
CO ₂	8,1%	7,6%	2,0%	0,0%	1,4%	2,4%	4,4%	8,4%	5,0%	8,9%	12,5%
CH ₄	2,3%	5,9%	4,7%	6,2%	3,9%	5,4%	5,5%	4,5%	4,4%	1,0%	0,9%
5H	Oktober	Mai	August	Dez	April	Juni	Juli	Sept	Oktober	April	Mai
O ₂	4,6%	4,9%	5,2%	8,9%	4,9%	3,6%	5,9%	5,3%	2,9%	9,3%	9,1%
N ₂	87,4%	93,2%	91,9%	87,5%	85,9%	84,8%	88,0%	85,8%	81,7%	82,8%	81,6%
CO ₂	7,9%	8,4%	1,1%	0,3%	1,2%	3,3%	8,2%	7,4%	6,9%	8,1%	10,3%
CH ₄	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%	0,0%	0,8%	0,0%	0,2%

Versuch 7

1G	Oktober	Mai	Dezember	April	Juni	Juli	September	Oktober	April
O ₂	3,7%	2,9%	8,2%	2,3%	4,5%	4,2%	5,8%	5,9%	3,2%
N ₂	73,3%	78,8%	78,4%	89,7%	78,3%	80,4%	80,0%	76,2%	85,2%
CO ₂	6,5%	5,4%	0,1%	1,3%	2,3%	6,8%	8,2%	7,5%	7,7%
CH ₄	12,8%	10,8%	16,0%	2,5%	9,1%	13,4%	15,1%	12,7%	5,9%
2A	Oktober	Mai1	Dezember	April	Juni	Juli	September	Oktober	April
O ₂	4,1%	3,7%	2,9%	5,1%	2,6%	5,6%	6,6%	2,8%	4,8%
N ₂	88,4%	95,1%	85,0%	89,8%	81,5%	87,2%	84,3%	79,8%	86,7%
CO ₂	7,1%	3,9%	0,6%	1,0%	2,9%	6,6%	6,9%	6,0%	7,2%
CH ₄		0,0%	2,2%	0,0%	1,2%	3,5%	0,0%	6,3%	0,0%
3D	Oktober	Mai 1	Dezember	April	Juni	Juli	September	Oktober	April
O ₂	2,6%	3,0%	9,3%	4,1%	3,3%	6,3%	6,1%	9,5%	5,4%
N ₂	88,1%	92,3%	80,7%	79,2%	80,5%	88,3%	83,2%	87,8%	84,8%
CO ₂	8,8%	8,4%	0,3%	2,0%	4,9%	7,1%	8,5%	7,0%	8,8%
CH ₄	2,0%	0,9%	1,1%	0,0%	1,5%	1,3%	0,3%	6,1%	0,0%
4H	Oktober	Mai	Dezember	April	Juni	Juli	September	Oktober	April
O ₂	6,4%	6,9%	9,0%	7,6%	3,9%	5,0%	8,5%	4,2%	10,9%
N ₂	86,2%	101,5%	73,1%	80,9%	85,0%	88,6%	84,0%	85,0%	83,2%
CO ₂	6,0%	4,4%	0,3%	7,2%	2,2%	5,9%	5,7%	6,8%	6,0%
CH ₄	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
5F	Oktober	Mai	Dezember	April	Juni	Juli	September	Oktober	April
O ₂	3,8%	2,1%	5,7%	7,9%	4,2%	9,1%	3,4%	7,8%	13,9%
N ₂	89,0%	93,0%	90,1%	81,3%	84,5%	85,2%	87,5%	76,8%	78,6%
CO ₂	8,6%	9,3%	0,0%	1,1%	3,5%	5,5%	8,8%	9,6%	8,1%
CH ₄	0,0%	0,4%	2,1%	0,0%	0,0%	2,4%	0,0%	0,9%	1,0%

Versuch 8

1C	Oktober	Mai	Dezember	April	Juni	Juli	September	Oktober	April
O ₂	2,3%	3,9%	5,0%	4,2%	4,2%	2,7%	5,4%	2,7%	3,6%
N ₂	69,2%	66,7%	64,8%	69,2%	70,2%	68,5%	72,0%	77,1%	74,2%
CO ₂	6,9%	5,1%	0,2%	1,0%	2,0%	4,9%	8,0%	8,6%	5,4%
CH ₄	22,4%	24,6%	17,1%	7,4%	18,1%	28,7%	28,2%	12,3%	18,2%
2B	Oktober	Mai	Dezember	April	Juni	Juli	September	Oktober	April
O ₂	2,1%	4,2%	3,8%	4,5%	2,6%	4,8%	3,7%	3,4%	5,1%
N ₂	92,3%	91,2%	85,7%	91,8%	84,6%	88,5%	74,7%	79,4%	87,0%
CO ₂	6,6%	4,7%	0,5%	1,5%	2,9%	6,6%	7,5%	8,5%	8,1%
CH ₄	2,5%	1,9%	3,0%	0,0%	2,8%	5,7%	0,0%	3,7%	0,0%
3A	Oktober	Mai	Dezember	April	Juni	Juli	September	Oktober	April
O ₂	12,1%	10,4%	12,3%	8,7%	12,0%	15,5%	8,4%	12,4%	14,2%
N ₂	83,3%	76,4%	83,1%	61,1%	80,8%	84,8%	68,2%	79,2%	82,4%
CO ₂	4,0%	3,2%	0,0%	0,5%	2,4%	1,9%	5,8%	3,3%	4,5%
CH ₄	0,0%	7,6%	0,0%	10,1%	0,0%	2,0%	0,0%	0,0%	0,0%
4D	Oktober	Mai	Dezember	April	Juni	Juli	September	Oktober	April
O ₂	3,0%	1,8%	5,7%	4,8%	3,7%	6,9%	6,2%	11,8%	11,2%
N ₂	86,9%	100,9%	87,4%	85,9%	85,1%	92,0%	85,5%	77,1%	79,3%
CO ₂	7,1%	8,4%	0,1%	1,3%	2,0%	6,1%	6,7%	6,8%	7,3%
CH ₄	0,0%	0,4%	0,1%	0,0%	0,5%	0,0%	1,0%	0,4%	0,0%
5D	Oktober	Mai	Dezember	April	Juni	Juli	September	Oktober	April
O ₂	3,0%	1,7%	4,6%	7,2%	3,6%	8,9%	5,2%	7,4%	6,8%
N ₂	89,3%	92,1%	85,2%	83,2%	90,1%	89,2%	85,6%	77,9%	83,9%
CO ₂	7,9%	8,3%	0,4%	0,7%	4,1%	4,7%	7,6%	5,7%	8,6%
CH ₄	1,0%	5,4%	0,1%	0,0%	1,2%	1,2%	0,0%	10,9%	0,0%

Gegenproben

G1	Oktober	Mai	April	Juni	Juli	Septembe	Oktober	April
O ₂	14,7%	11,9%	4,9%	7,3%	10,3%	4,6%	9,4%	5,5%
N ₂	77,5%	87,0%	59,7%	60,0%	64,2%	49,8%	56,0%	52,2%
CO ₂	6,0%	4,2%	1,3%	2,4%	5,6%	8,4%	9,7%	6,8%
CH ₄	1,3%	3,7%	36,0%	33,3%	34,8%	36,3%	20,7%	40,9%
G2	Oktober	Mai	April	Juni	Juli	Septembe	Oktober	April
O ₂	7,9%	8,0%	10,7%	4,6%	9,6%	13,2%	9,7%	11,6%
N ₂	86,0%	93,8%	78,6%	83,0%	84,7%	81,4%	86,9%	84,6%
CO ₂	7,0%	7,3%	1,0%	2,8%	4,2%	4,2%	4,9%	4,3%
CH ₄	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
G3	Oktober	Mai	April	Juni	Juli	Septembe	Oktober	April
O ₂	3,3%	7,9%	8,7%	2,7%	6,5%	8,9%	13,0%	9,1%
N ₂	82,7%	100,2%	81,6%	86,2%	87,0%	83,3%	80,3%	81,9%
CO ₂	10,0%	5,1%	0,9%	4,4%	7,5%	7,1%	7,5%	8,5%
CH ₄	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	4,6%	0,0%
G4	Oktober	Mai	April	Juni	Juli	Septembe	Oktober	April
O ₂	5,0%	5,1%	11,0%	5,3%	7,5%	8,2%	4,7%	8,5%
N ₂	85,9%	93,8%	77,7%	83,8%	88,4%	81,0%	86,0%	86,5%
CO ₂	8,9%	6,6%	0,8%	4,5%	6,7%	7,1%	8,1%	7,7%
CH ₄	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
G5	Oktober	Mai	April	Juni	Juli	Septembe	Oktober	April
O ₂	11,0%	13,8%	14,3%	9,5%	11,7%	12,7%	13,9%	13,2%
N ₂	83,5%	85,2%	83,0%	80,5%	84,2%	83,2%	71,1%	78,6%
CO ₂	6,1%	0,0%	0,3%	3,1%	0,1%	3,2%	4,5%	6,1%
CH ₄	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	9,3%	16,4%	0,0%
G6	Oktober	Mai	April	Juni	Juli	September	Oktober	April
O ₂	4,2%	3,1%	9,3%	3,5%	3,4%	3,5%	3,4%	5,8%
N ₂	88,0%	97,4%	89,4%	85,5%	93,5%	84,7%	94,8%	84,6%
CO ₂	9,3%	5,7%	0,8%	3,5%	6,9%	8,6%	5,8%	9,8%
CH ₄	0,0%	0,7%	0,0%	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Zeitliche Entwicklung der Gaswerte nach aktiver Sauerstoff-Diffusion am Versuch 5

27. August							16. April		
1A	0h	1h	2h	3h	4h	5h	0h	1h	24h
O ₂	4,6%	19,3%	16,7%	14,4%	16,1%	14,3%	2,5%	18,8%	6,3%
N ₂	70,7%	73,2%	75,7%	70,0%	78,9%	76,3%	80,8%	77,7%	90,0%
CO ₂	0,8%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	1,7%	4,1%	0,1%	1,5%
CH ₄	25,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	15,5%	0,3%	0,3%
2G	0h	1h	2h	3h	4h	5h	0h	1h	24h
O ₂	5,3%	19,1%	18,8%	14,1%	17,2%	19,8%	2,5%	19,1%	9,2%
N ₂	89,6%	73,1%	75,1%	56,7%	75,4%	76,7%	81,2%	81,2%	87,5%
CO ₂	0,3%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,8%	0,0%	2,1%
CH ₄	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	14,7%	1,0%	0,2%
3B	0h	1h	2h	3h	4h	5h	0h	1h	24h
O ₂	6,4%	16,8%	12,6%	12,6%	11,7%	15,1%	8,0%	19,7%	13,8%
N ₂	81,7%	76,0%	65,4%	69,2%	74,2%	79,8%	80,8%	79,5%	84,7%
CO ₂	2,5%	0,0%	0,4%	0,1%	0,5%	0,4%	5,3%	0,0%	0,7%
CH ₄	7,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	6,2%	0,0%	0,0%
4A	0h	1h	2h	3h	4h	5h	0h	1h	24h
O ₂	6,2%	18,3%	14,5%	16,2%	15,8%	16,3%	2,8%	18,3%	11,5%
N ₂	86,2%	75,6%	64,4%	73,9%	75,1%	80,9%	89,1%	80,0%	88,3%
CO ₂	2,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,2%	7,5%	0,0%	0,9%
CH ₄	4,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,0%	0,0%	0,0%
5H	0h	1h	2h	3h	4h	5h	0h	1h	24h
O ₂	5,2%	19,6%	19,2%	18,3%	18,0%	17,8%	9,3%	21,3%	18,2%
N ₂	91,9%	80,8%	79,6%	78,6%	79,4%	78,8%	82,8%	81,8%	80,8%
CO ₂	1,1%	0,0%	0,0%	0,1%	0,2%	0,1%	6,4%	0,0%	1,8%
CH ₄	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	3,2%	0,0%

Prophylaxeversuche

Grab A	Oktober	Mai	Dezember	April	Juli	September	Oktober	April	Mai
O ₂	9,3%	10,4%	15,5%	19,4%	4,8%	7,9%	11,6%	15,7%	13,6%
N ₂	81,2%	93,1%	82,0%	75,2%	83,5%	93,2%	85,3%	81,1%	82,7%
CO ₂	8,2%	4,7%	0,1%	0,1%	7,0%	0,7%	2,6%	3,4%	8,1%
CH ₄	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Grab B	Oktober	Mai	Dezember	April	Juli	September	Oktober	April	Mai
O ₂	8,9%	9,1%	11,9%	16,1%	7,5%	8,1%	10,5%	15,3%	13,5%
N ₂	83,2%	88,8%	82,6%	77,9%	89,5%	81,1%	78,7%	80,5%	80,0%
CO ₂	8,0%	5,1%	0,1%	0,1%	5,6%	6,4%	6,9%	6,9%	11,0%
CH ₄	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Grab C		Mai	Dezember	April	Juli	September	Oktober	April	Mai
O ₂		11,2%	12,9%	13,7%	10,7%	9,9%	8,7%	15,1%	13,5%
N ₂		91,6%	81,4%	79,6%	88,0%	81,5%	79,2%	78,6%	78,7%
CO ₂		0,0%	0,1%	0,5%	4,7%	5,5%	6,0%	8,2%	10,8%
CH ₄		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Grab D	Oktober	Mai	Dezember	April	Juli	September	Oktober	April	Mai
O ₂	7,6%	13,7%	17,2%	15,0%	10,2%	13,0%	10,4%	14,9%	14,0%
N ₂	84,6%	90,7%	88,1%	78,5%	87,4%	88,7%	77,5%	77,4%	78,1%
CO ₂	8,4%	3,8%	0,1%	0,3%	5,3%	5,3%	5,0%	8,8%	9,7%
CH ₄	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Grab E	Oktober	Mai	Dezember	April	Juli	September	Oktober	April	Mai
O ₂	11,5%	15,5%	14,8%	14,2%	5,5%	10,9%	8,7%	14,7%	10,9%
N ₂	81,5%	89,8%	81,0%	78,8%	79,6%	88,6%	88,0%	79,6%	68,4%
CO ₂	6,6%	3,1%	0,1%	0,1%	6,0%	6,0%	7,0%	6,8%	13,5%
CH ₄	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%	0,0%
Grab F			Dezember	April	Juli	September	Oktober	April	Mai
O ₂			17,2%	10,6%	5,4%	6,4%	6,4%	9,9%	6,7%
N ₂			78,3%	87,0%	89,7%	84,7%	91,1%	83,2%	81,7%
CO ₂			0,0%	0,3%	5,8%	7,8%	5,0%	7,1%	10,2%
CH ₄			0,0%	0,0%	2,4%	0,0%	2,6%	0,0%	2,2%

9. Danksagung

Hiermit möchte ich mich von Herzen bei allen Menschen bedanken, die mich in der langen Zeit meiner Promotion unterstützt und ertragen haben.

Insbesondere bei:

Prof. Dr. med. Matthias Graw für die Überlassung des Themas, die fachliche Unterstützung und die freundlichen Worte

Frau Prof. Sabine Fiedler, die die Projekte bodenkundlich betreut hat

Herrn Eigenmann und seinen Friedhofsangestellten, die mir tatkräftig bei den Arbeiten auf dem Friedhof zur Seite standen

und den Mitarbeitern im Labor der Gerichtsmedizin Tübingen für ihre Hilfe

Und bei meiner Familie, meinem Freund Daniel und meinen Freundinnen Judit und Kahina, die meine Klagen und Launen über sich haben ergehen lassen und mich immer wieder motiviert haben weiter zu machen.

Und bei Dr. Adrian Kleemann, der mich überhaupt auf die Idee einer Dissertation in der Rechtsmedizin gebracht hat.

10. Lebenslauf

Name: Mona Schmidt

Geboren: 20.01.1976 in Göppingen

Werdegang:

1982- 1986: Besuch der Albert-Schweizer-Grundschule Göppingen

1986-1995: Besuch des Hohenstaufengymnasium Göppingen (Abitur)

1995-1996: Soziales Jahr in einer Kinderpsychologen Praxis in Esslingen

1996- 1999: Ausbildung zur Krankenschwester am Städtischen Klinikum Esslingen (Diplom Krankenschwester)

1999- 2005: Studium der Humanmedizin an der Eberhard Karls Universität Tübingen (Ärztliche Prüfung am 30.11.2005)

2006- 2009: Stelle als Assistenzärztin in der Inneren Abteilung des Kreiskrankenhaus Rottweil

2009 – bis dato: Stelle als Assistenzärztin in der Medizinischen Klinik der Universitätsklinik Tübingen (Abteilung II)