



Gütegemeinschaft Friedhofsysteme e.V.

BODENKUNDLICHE UND UMWELTPROBLEME AUF FRIEDHÖFEN IN DEUTSCHLAND

Eine Projektstudie mit dem Kooperationspartner
Universität Kiel, Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde
und der Gütegemeinschaft Friedhofs-systeme e.V.



Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Herausgeber

Zentralverband des Deutschen Baugewerbes (ZDB)

Kronenstraße 55-58

10117 Berlin-Mitte

Telefon 030 / 20314-0

Fax 030 / 20314-419

E-mail bau@zdb.de

Internet www.zdb.de

Einführung in die Thematik

Die Gütegemeinschaft Friedhofsysteme e.V., hat sich u.a. das Ziel gesetzt, neue Konzepte für Friedhofsanlagen, -erweiterungen und -sanierungen unter dem Blickwinkel von Umwelt und Bauen zu entwickeln. Bei der Errichtung von Friedhofsystemen sind Umweltbelastungen, die das ökologische Gleichgewicht beeinträchtigen, insbesondere Belastungen des Grundwassers, des Bodens und der Luft zu vermeiden.

Um das innovative, komplexe und umweltrelevante Themenfeld von Friedhofsböden zu erforschen, hat die Gütegemeinschaft Friedhofsysteme e.V. in Kooperation mit der Universität Kiel, Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, eine Studie mit dem vollständigen Titel „Untersuchung und Beurteilung der Erdbestattungspraxis auf Friedhöfen in Deutschland hinsichtlich ihrer Auswirkung auf Boden, Grundwasser und Atmosphäre“ erstellt. Diese Studie wird von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert.

Mit dieser Studie über eine Laufzeit von einem dreiviertel Jahr sollen „Informationen über Art und Umfang der Probleme auf Friedhöfen in Deutschland“ gewonnen werden. Die Folgen einer Erdbestattung für Boden, Grundwasser und Atmosphäre werden seit vielen Jahrzehnten, besonders vor dem Hintergrund der im Wasserhaushalts- und weiteren Umweltschutzgesetzen definierten Rahmenbedingungen hinterfragt. Bisher liegt aber keine bundesweit einheitliche, unter wissenschaftlich fundierten bodenkundlichen Gesichtspunkten nachvollziehbare Beurteilung und Bewertung (Umweltverträglichkeit) vor, mit der Zielsetzung der Erarbeitung von Empfehlungen und technischen Richtlinien für die Vor- und Nachsorge von Erdbestattungen.

In nachfolgendem Bericht werden die einzelnen Arbeitsschritte und vorgesehenen Methoden des Vorhabens erläutert. Dabei geht es vor allem um die weitere Präzisierung bodenkundlicher Anforderungen an die Erdbestattung. Im Mittelpunkt steht die Ableitung und Bewertung von Verwesungs- und Filtereigenschaften und daraus resultierende Ruhefristen für unterschiedliche Bodentypen-Gruppen. Ziel des Vorhabens ist die Analyse der physikalischen, biologischen und chemischen Bodeneigenschaften und Stofftransporte unter Friedhofflächen, betrachtet unter der besonderen Berücksichtigung der Bodenfilter- und Bodenpufferfunktion, um hieraus Alternativen für eine „umweltschonendere“ Bewirtschaftung von Friedhofsflächen zu entwickeln.

Im Februar 2004

**Endbericht zur Studie:
„Bodenbeschaffenheit
und Zersetzungsproblematik auf Friedhöfen“**



**Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Dipl. Ing. agr. B. Pagels, Dr. H. Fleige, Prof. Dr. R. Horn**

Schleswig 2003



gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt - Osnabrück



Januar 2004

INHALTSVERZEICHNIS

TABELLENVERZEICHNIS	D
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	F
1 EINLEITUNG	1
2 FRAGEBOGENAKTION	3
2.1 BEFRAGUNG DER FRIEDHOFS- UND GESUNDHEITSÄMTER.....	3
2.1.1 <i>Auswertung der Fragebögen</i>	3
2.1.2 <i>Auswertung der Verwesungsstörungen bezogen auf die Befragungsgebiete</i>	4
2.1.3 <i>Auswertung weiterer Befragungsinhalte</i>	5
2.1.3.1 Bodenart.....	5
2.1.3.2 Bestattungs- und Grundwassertiefe	6
2.1.3.3 Erkenntnisse der Friedhofs- und Gesundheitsämter bezüglich der Zersetzungsproblematik	8
2.2 BEISPIELE AUS DER TAGESPRESSE (<i>EINE AUSWAHL</i>).....	10
2.3 FAZIT	11
3 ALLGEMEINE RECHTSGRUNDLAGEN DES FRIEDHOFS- UND BESTATTUNGSWESENS	12
3.1 LÄNDERSPEZIFISCHE RECHTSPRECHUNGEN	13
3.1.1 <i>Ruhefristen / Ruhezeiten</i>	13
3.1.2 <i>Gesetzliche Regelungen zur Bodenbeschaffenheit und Lage von Friedhöfen</i> ..	15
3.1.3 <i>Anforderungen an die Sargbeschaffenheit</i>	21
3.1.4 <i>Bestattungstiefen</i>	21
3.2 FAZIT	22
4 DIE ZERSETZUNG EINER LEICHE	24
4.1 AUTOLYSE	24
4.2 FÄULNIS UND VERWESUNG.....	25
4.3 VERWESUNGSSTÖRUNGEN	26
4.3.1 <i>Wachsleichen (Adipocire)</i>	26
4.3.2 <i>Mumifikation</i>	28
4.4 EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE ZERSETZUNG	28

4.4.1	<i>Menschenspezifische (individuelle) Faktoren</i>	29
4.4.2	<i>Variable Faktoren</i>	30
4.5	FAZIT	31
5	CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG DES MENSCHEN	33
5.1	MIKROORGANISMENFAUNA DES LEICHNAMS	34
5.2	ANORGANISCHE / ORGANISCHE GIFTE UND RADIOAKTIVE ISOTOPE	36
5.3	FREISETZUNG VON GASEN	37
5.4	EINFLUSS DER ABBAUPRODUKTE AUF MENSCH UND UMWELT	38
5.5	FAZIT	40
6	DER EINFLUSS VON WASSER UND BODEN AUF DIE ERDBESTATTUNG ...41	
6.1	WASSER.....	41
6.1.1	<i>Stauwasser</i>	41
6.1.2	<i>Adsorptions- und Kapillarwasser</i>	42
6.1.3	<i>Grundwasser</i>	43
6.2	BODEN	44
6.2.1	<i>Friedhofsboden - „Nekrosol“</i>	44
6.2.2	<i>Solleigenschaften eines Friedhofsbodens</i>	45
6.3	FAZIT	48
7	VOR- UND NACHSORGEGEDANKE	50
7.1	CEMETERY-RISK ASSESSMENT / UMWELTVERTRÄGLICHKEITSPRÜFUNG.....	50
7.2	BODENKUNDLICHES BEWERTUNGSVERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DES EIGNUNGSGRADES VON FRIEDHÖFEN.....	51
7.2.1	<i>Standortbeschreibung</i>	52
7.2.2	<i>Verwesungseigenschaften des Standortes</i>	52
7.2.2.1	Sauerstoffangebot	52
7.2.2.2	Luftkapazität	53
7.2.2.3	Bodenreaktion	54
7.2.2.4	Bodentemperatur	54
7.2.2.5	Verwesungsstufe und empfohlene Ruhefristen	54
7.2.3	<i>Filtereigenschaften des Standortes</i>	55
7.3	ANWENDUNGSBEISPIELE.....	56
7.3.1	<i>Braunerde aus Schmelzwassersand über Geschiebelehm</i>	57

7.3.2	<i>Pseudogley-Parabraunerde aus Löss über Terrassensand</i>	58
7.4	MÖGLICHKEITEN DER SANIERUNG BZW. SICHERUNG VON PROBLEMSTANDORTEN....	59
7.5	FAZIT	60
8	ZUSAMMENFASSUNG	61
9	LITERATURVERZEICHNIS	I
10	ANLAGEN	IX
	▪ ANLAGE 1: FRAGEBOGEN	
	▪ ANLAGE 2: HYGIENE-RICHTLINIEN VON NORDRHEIN-WESTFALEN	
	▪ ANLAGE 3: BEISPIELE AUS DER TAGESPRESSE (EINE AUSWAHL)	

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1 ANGABEN ZU DEN GRUNDWASSERSTÄNDEN UNTERHALB DER GRABSOHLE DER PROBLEMSTANDORTE (N = 79 DAVON GRUNDWASSERANGABEN N = 39 (49 %), KEINE GRUNDWASSERANGABEN N = 40 (51 %)).....	7
TABELLE 2 GESETZLICHE RUHEFRISTEN DER EINZELNEN BUNDESLÄNDER	14
TABELLE 3 ANGABEN ZU DEN GESETZLICHEN BESTATTUNGSTIEFEN (NORMALGRÄBER) DER LÄNDER BAYERN, HESSEN UND NORDRHEIN-WESTFALEN.....	22
TABELLE 4 REAKTIONSKETTE VON DER ÖLSÄURE ZUR PALMITINSÄURE WÄHREND DER FETTWACHSBILDUNG (BERG 1975).....	27
TABELLE 5 UNTERSCHIEDLICHE SCHMELZPUNKTE DER EINZELNEN FETTSÄUREN (MURSCH 1992)	27
TABELLE 6 AUSLÖSEMECHANISMEN FÜR DIE ADIPOCIREBILDUNG ((+) ADIPOCIREBILDUNG BEGÜNSTIGEN, (-) GEHINDERTE AUSWIRKUNG AUF ADIPOCIREBILDUNG, (O) KEINEN EINFLUSS AUF ADIPOCIREBILDUNG), COTTON (1987)	28
TABELLE 7 DIE EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE ZERSETZUNG (MOD. NACH ALBRECHT (2003) UND FIEDLER (2002))	29
TABELLE 8 ANTEILE WESENTLICHER ORGANGRUPPEN AN DER KÖRPERMASSE (MENSCH, 80 KG) NACH GRAW (2001)	33
TABELLE 9 CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG DES MENSCHLICHEN KÖRPERS (MENSCH, 70,55 KG) NACH SCHMIDT IN WILLIMANN (1969 BZW. 1996).....	33
TABELLE 10 SAUERSTOFFBEDARFSBERECHNUNG FÜR DIE OXIDATION EINES 70 KG SCHWEREN LEICHNAMS (MOD. NACH VAN HAAREN, 1951)	34
TABELLE 11 GENERATIONSWECHSEL DER MIKROORGANISMEN IM VERLAUF DER LEICHENZERSETZUNG (MOD. NACH ZEIDEL 1938)	35
TABELLE 12 LEBENSDAUER UND NACHWEISBARKEIT DER BAKTERIEN UND PILZE (URBAN 2003)	35
TABELLE 13 EINSTUFUNG DER SAUERSTOFFVERHÄLTNISSE VERBREITETER BÖDEN AUS LOCKERGESTEIN OBERHALB UND INNERHALB DER VERWESUNGSZONE (VERÄNDERT NACH DVWK 1995); z = ZEITWEILIG.....	53
TABELLE 14 ZUSCHLÄGE ZU DER O ₂ -STUFE DURCH DIE LUFTKAPAZITÄT	53
TABELLE 15 ZUSCHLÄGE ZU DER O ₂ -STUFE DURCH DIE BODENREAKTION	54
TABELLE 16 ZUSCHLÄGE ZU DER O ₂ -STUFE DURCH DIE JAHRESMITTELTEMPERATUR DER LUFT	54

TABELLE 17 BEWERTUNG DER EIGNUNG VON BÖDEN FÜR DIE FRIEDHOFSNUTZUNG UND EMPFOHLENE RUHEFRISTEN	55
TABELLE 18 ZUSÄTZLICHE SICKERWASSERMENGE DURCH BEWÄSSERUNG IN ABHÄNGIGKEIT VON DER MITTLEREN JÄHRLICHEN KLIMATISCHEN WASSERBILANZ	55
TABELLE 19 BEWERTUNG DER GRUNDWASSERGEFÄHRDUNG DURCH MIKROORGANISMEN NACH DER SICKERWASSERAUFENTHALTSDAUER IN DER UNGESÄTTIGTEN BODENZONE	56
TABELLE 20 EINSTUFUNG DER BINDUNGSSTÄRKE UND DER FILTERSTRECKE ZUR EINSCHÄTZUNG DER GRUNDWASSERGEFÄHRDUNG DURCH SCHWERMETALLIONEN BEI ÜBERSCHREITEN DES GRENZ-PH-WERTES.....	56
TABELLE 21 BEWERTUNG DER GRUNDWASSERGEFÄHRDUNG DURCH SCHWERMETALLIONEN BEI ÜBERSCHREITEN DES GRENZ-PH-WERTES.....	56

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1 SCHEMATISCHER AUSWERTUNGS- UND ERGEBNISAUFBAU DER FRAGEBOGENAKTION (*MEHRANGABEN ZU DEN ARTEN VON VERWESUNGSSTÖRUNGEN) ..4	
ABBILDUNG 2 RELATIVER ANTEIL DER VERWESUNGSSTÖRUNGEN DER BEFRAGUNGSGEBIETE (N-GESAMT = 79).....5	
ABBILDUNG 3 ANGABEN ZUR BODENART DER „PROBLEM“ – FRIEDHOFSTANDORTE (N-GESAMT = 118 BEZIEHT SICH AUF MEHRERE BODENARTANGABEN PRO STANDORT).6	
ABBILDUNG 4 EXEMPLARISCHE DARSTELLUNG DER KAPILLAREN STEIGHÖHEN IN CM BEI 0,3 MM /D FÜR SAND (S), SCHLUFF (U) UND TON (T) FÜR UNTERSCHIEDLICHE GRUNDWASSERTIEFEN (GWS = GRUNDWASSERSPIEGEL) BEI EINER BESTATTUNGSTIEFE VON CA. 180 CM.....8	
ABBILDUNG 5 SCHEM. DARSTELLUNG EINES ERDGRABES MIT SEINEN 5 FUNKTIONSZONEN UND DEN STOFFFLUSSRICHTUNGEN BZW. FRACHTTRANSPORT DER ZERSETZUNGSPRODUKTE UND DES WASSERS (MOD. NACH BACHMANN 1988)48	

1 Einleitung

Im Rahmen der Studie AZ. 20933: „Untersuchung und Beurteilung der Erdbestattungspraxis auf Friedhöfen in Deutschland hinsichtlich ihrer Auswirkung auf Boden, Grundwasser und Atmosphäre“ (gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt DBU Osnabrück) wird der Abschlussbericht zum gegenwärtigen Forschungsstand vorgelegt.

Die Themenschwerpunkte umfassen die Vorstellung der Fragebogenaktion zur Bodenbeschaffenheit und Zersetzungsproblematik auf Friedhöfen und die Auswertung der Tagespresse, die generelle Literaturlauswertung zu den Bereichen Zersetzungsproblematik, Grundwassergefährdung, Umweltschutz und rechtliche Aspekte im Friedhofswesen sowie die in Vorarbeit geleistete Handlungsanweisung (Bodenkundliche Bewertungsverfahren zur Bestimmung des Eignungsgrades von Friedhöfen).

In Deutschland wird die Anzahl der Friedhöfe auf über 30.000 geschätzt. Allein in Rheinland-Pfalz sind 30 bis 40 % der vom Geologischen Landesamt begutachteten Friedhöfe aus Mangel an Kenntnissen über die Bodeneigenschaften auf Problemstandorten angelegt worden, so dass einer Verkürzung der Ruhezeiten oder der Anlage von Tiefgräbern nicht zugestimmt werden konnte (WOURTSAKIS 2002). In Baden-Württemberg sind von rund 40 % der Friedhöfe Verwesungsprobleme bekannt (SCHMIDT und GRAW 2002). Friedhofsböden im Ruhrgebiet erfordern lange Liegezeiten infolge geringer Durchlüftung (SCHMIDT-BARTELT et al. 1990). Bedeutende Flächenanteile der Kommunen in Bochum sind durch Staunässe gekennzeichnet. Von insgesamt 21 Friedhöfen sind 2 sehr stark, 15 mit wechselnden Flächenanteilen staunass und lediglich 4 staufrei. Als Probleme werden u.a. überlange Liegezeiten durch Verzögerung bei der Verwesung (Fettwachsbildung), zusätzlicher Flächenbedarf bei der Sperrung eines Friedhofs durch den Amtsarzt, zusätzlicher Zeit- und Kostenaufwand genannt. Einfache physikalische Eigenschaften wurden von 2 Friedhofsböden untersucht, wobei u.a. extreme Verdichtung, geringe Luftkapazität und Sauerstoffmangel im Sargbereich festgestellt wurden. Inwiefern und in welchem Ausmaß in den anderen Bundesländer Verwesungsstörungen auf Friedhöfen anzutreffen sind, soll dabei durch die Fragebogenaktion zur Bodenbeschaffenheit und Zersetzungsproblematik erfasst werden.

WILLIMANN (1996) untersuchte im Rahmen einer Diplomarbeit u.a. die Auswirkungen der Bestattungstätigkeit auf den Boden. Er kommt zu dem Schluss, dass eine Komprimierung der Bodenschicht unterhalb der Grabsohle aufgrund des maschinellen Aushubs bzw. der Trittdichtung wahrscheinlich ist, was wiederum (sekundäre) Staunässe hervorrufen kann. In vernässten Böden verstärkt ein hoher Wassergehalt die Wärmeabfuhr. Als Folge findet die fäul-

nisbedingte Körpererwärmung nur in einem reduzierten Umfang statt, was die Zersetzungsprozesse verlangsamt.

Die Folgen einer Erdbestattung für Boden, Grundwasser und Atmosphäre werden nicht erst seit der Verabschiedung des Bundesbodenschutzgesetzes im Jahre 1999 beachtet, sondern bereits seit vielen Jahrzehnten in verschiedenen Regionen Deutschlands besonders auch vor dem Hintergrund der in Wasserhaushalts- und weiteren Umweltschutzgesetzen definierten Rahmenbedingungen kritisch hinterfragt. Bisher liegt keine einheitliche unter bodenkundlichen Gesichtspunkten nachvollziehbare Beurteilung und Bewertung (Umweltverträglichkeit) mit der Zielrichtung der Erarbeitung von Empfehlungen und Verordnungen für die Nachsorge von Erdbestattungen vor. Ein Problem in der bisherigen Praxis ist, dass die Beurteilung des Bodens für die Erdbestattung unzureichend und nicht bundeseinheitlich geregelt ist. In einigen Bundesländern werden als rechtliche Grundlage zur Anlage und Genehmigung von Friedhofsanlagen die Hygienerichtlinien aus Nordrhein-Westfalen (2001, vgl. auch RAISSI und MÜLLER 1999, WOURTSAKIS 2002) herangezogen, die aus bodenkundlicher Sicht optimale Standorteigenschaften definieren. Allerdings sind derartige Eigenschaften und Funktionen in der Realität nur äußerst selten anzutreffen. Vor diesem Hintergrund stellt sich somit die Frage, inwieweit es möglich ist, ein Konzept zur nachhaltigen Nutzung von Friedhofsflächen bei gleichzeitiger Minimierung von Umweltproblemen zu entwickeln, das auf bodenkundlichen Grundkenntnissen basiert. Hierbei ist es zweifellos erforderlich, die in Böden unter den verschiedenen klimatischen und hydrologischen Bedingungen ablaufenden Verwe-sungsbedingungen zu analysieren, um damit auch Empfehlungen für eine umweltgerechte Ausweisung von Landflächen für die Erdbestattung bzw. von alternativen Bestattungsverfahren abzuleiten und im besten Fall in den länderspezifischen Rechtsprechungen zur Bestattung zu verankern.

2 Fragebogenaktion

Die Erkenntnisse aus der Friedhofspraxis zeigen, dass die Problematiken hinsichtlich der Verwesung nicht nur ein Problem der Neuzeit darstellen, sondern schon Ende des 19. Jahrhunderts in wissenschaftlichen Arbeiten festgehalten wurden. Eine Mutmaßung geht dahin, dass aufgrund der sich ändernden Ernährungssituation also die Zunahme der Fettleibigkeit der Menschen die Adipocirebildung im 20. bzw. 21. Jahrhundert begünstigt wurde bzw. wird (WILLIMANN 1996). Diese Probleme wurden bis in jüngste Vergangenheit aus verschiedensten Gründen nicht an die Öffentlichkeit gebracht. Der „Tod“ und seine Folgen waren für die Öffentlichkeit kein Thema. Nun zeigen die letzten Jahre, dass das Tabu nun ein offen angesprochenes Thema sowohl in der Tagespresse als auch im Friedhofswesen geworden ist.

2.1 Befragung der Friedhofs- und Gesundheitsämter

Den weiteren konkreten Praxisbezug liefert die im Juli 2003 zusätzlich zur Studie vorgenommene Fragebogenaktion. An 975 Friedhofs- und Gesundheitsämter wurde folgender Fragebogen (siehe Anlage 1) versandt. Der Befragungsraum umschloss dabei die Postleitzahlengebiete 2-5. Für den Postleitzahlenraum 1 wurde bisher nur eine geringfügige Befragung vorgenommen, so dass eine Auswertung von dieser Region nicht möglich ist.

2.1.1 Auswertung der Fragebögen

Die Auswertung der Fragebogenaktion ergab einen Gesamtrücklauf von 33 %. Von diesem Rücklauf waren insgesamt 89 % auswertbar. Der nichtauswertbare Teil begründet sich auf Rücksendungen unbeantworteter Fragebögen und Verweise auf andere Ansprechpartner. Darüber hinaus wurde eine zusätzliche Gruppierung vorgenommen. Gruppe A, die in ihren Antworten Verwesungsprobleme auf einem oder mehreren ihrer Friedhöfe angaben und Gruppe B, die keinerlei Probleme benannten.

Beachtenswert ist, dass die Problemrückläufe mit einem Anteil von 26 % trotz unterschiedlicher Befragungsdichte pro Befragungsgebiet übereinstimmend mit den Ergebnissen der Fragebogenaktion der Bayerischen Gemeindezeitung von Jan. 2003 und der Fragebogenaktion in Baden-Württemberg 1999 sind, die von Prof. Dr. M. Graw vom Institut für Rechtsmedizin der Münchner Universitätsklinik (Studie zur Zersetzungsproblematik auf Friedhöfen) unterstützt und erhoben wurden. Die bayerische Gesamtrücklaufquote betrug 34,2 % (Baden-Württemberg 80%-ige Rücklaufquote) und davon gaben 27,7 % (Baden-Württemberg 38,4 %) Verwesungsprobleme an. So ist die Prognose von GRAW und HAFFNER (2002), dass diese Verwesungsproblematik kein regionales Problem ist verifiziert und man kann von einer

deutschlandweiten Situation ausgehen. Eine weitere Aufschlüsselung welcher Art diese Probleme waren, wurde für den bayerischen und baden-württembergischen Raum nicht vorgenommen. In dieser Auswertung betrug der Anteil der Wachsleichen 53 % bzw. der Mumifikationen 9 %. Andere Formen von Verwesungsstörungen lagen in einem Bereich von 38 %. Unter „Andere“ sind Verwesungsstörungen in Form von Leichenresten, Folienleichen, nicht vollständig zersetzte Särge und Urnen sowie Kleidungsstücke und Sargauskleidungen benannt worden.

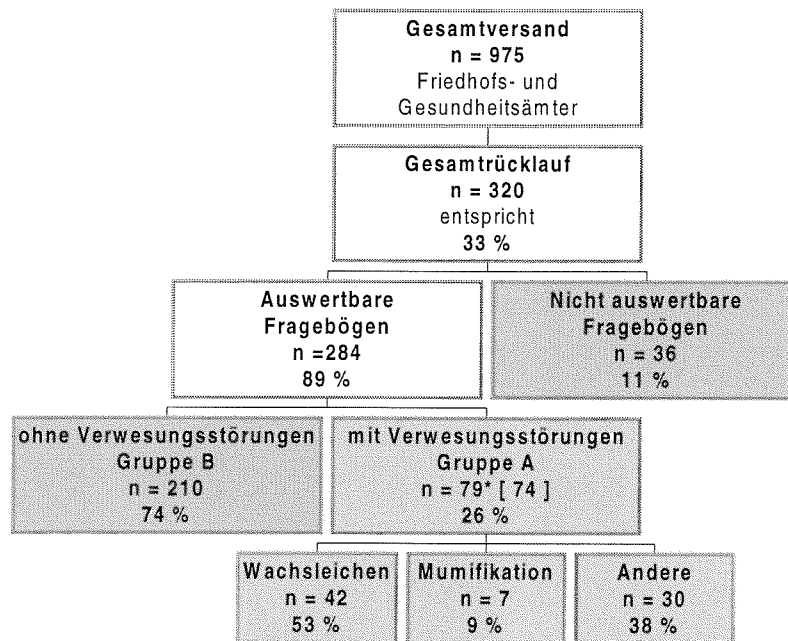


Abbildung 1 Schematischer Auswertungs- und Ergebnisaufbau der Fragebogenaktion (*Mehrangaben zu den Arten von Verwesungsstörungen)

2.1.2 Auswertung der Verwesungsstörungen bezogen auf die Befragungsgebiete

Die Problemstandorte (Gruppe A) wurden hinsichtlich der Art der Störungen bezogen auf die befragten Postleitzahlenregionen (2-5) aufgeschlüsselt.

Im norddeutschen Raum (PLZ 2: Schleswig-Holstein, Teile von Mecklenburg-Vorpommern, Hamburg, Bremen) wurden zu 56 % andere Formen der Verwesungsstörungen benannt, Wachsleichen mit 33 % und Mumifikationen mit 11 %. Im Postleitzahlengebiet 3 (überwiegend Niedersachsen) lag die Wachsleichenproblematik bei 61 %, „Andere“ bei 27 % und Mumifikationen bei 12 %. Die Wachsleichenanteile und die anderen Formen von Zersetzungsproblemen betrug im Postleitzahlengebiet 4 (überwiegend Nordrhein-Westfalen, Hessen) jeweils 47 %. Mumifikationen traten zu 6 % der Fälle auf. In Rheinland-Pfalz (PLZ 5) dominierte die Wachsleichenproblematik mit 73%. Andere Formen der Störungen lagen bei 20 % und der Anteil an Mumifikationen bei 7 %.

WOURTSAKIS (2003) geht davon aus, dass die n-Angaben bezüglich der Wachsleichenanzahl für Rheinlandpfalz noch um einen Faktor von 1.5 erhöht werden könnte, um in einen annähernd realistischen Bereich zu gelangen.

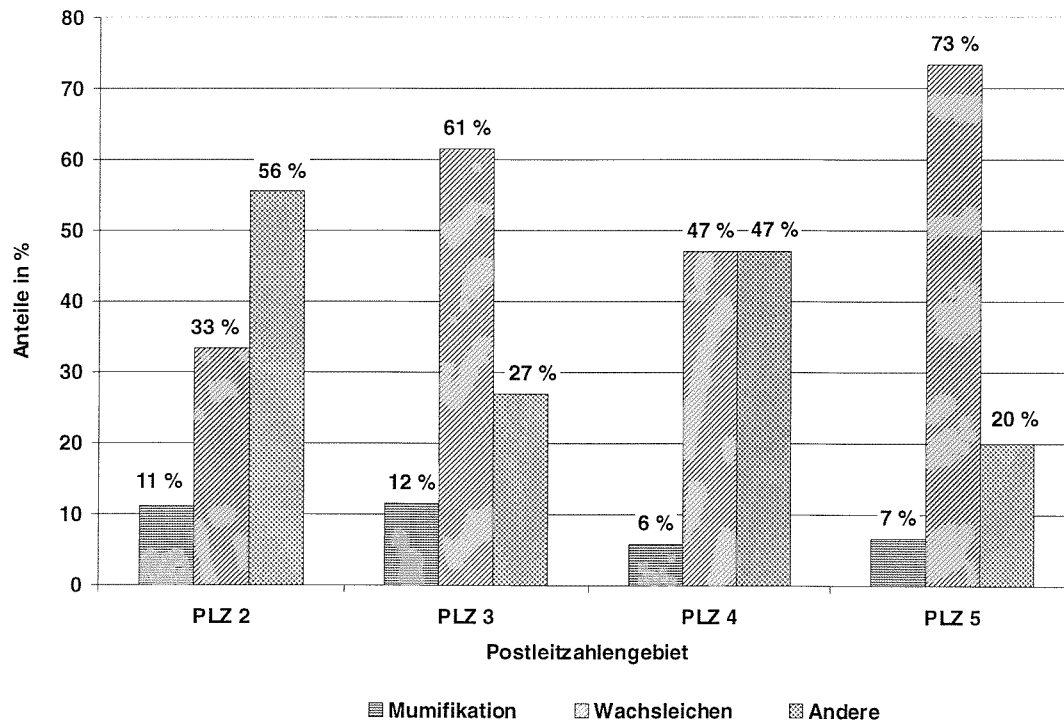


Abbildung 2 Relativer Anteil der Verwesungsstörungen der Befragungsgebiete (n-Gesamt = 79)

2.1.3 Auswertung weiterer Befragungsinhalte

Im Fragebogen wurden die Adressaten zu vielen allgemeinen Punkten, wie die Friedhofsanzahl, das Alter der Friedhöfe, die Anzahl der Gräber usw. befragt. Diese Antworten sollen eine Übersicht über die Friedhofsstrukturen der Gemeinden geben. Entscheidend für die bodenkundliche Bewertung sind die Aussagen zur vorherrschenden Bodenart, der Grundwasser- und Bestattungstiefe und der Art der Verwesungsstörungen, so dass im wesentlichen nur auf diese Punkte eingegangen wird.

2.1.3.1 Bodenart

Die Friedhofs- und Gesundheitsämter wurden zur vorherrschenden Bodenart der Friedhofsflächen befragt (Abb. 3). Bei der Auswertung wurde ersichtlich, dass die gegebenen Aussagen nur bedingt Rückschlüsse auf die aufgeführte Zersetzungsproblematik zulassen, da häufig der geologisch hydrologische Bezug zum Friedhofsstandort fehlt. Als Hauptbodenarten wurden überwiegend Sand und Lehm angegeben. Obwohl die Eigenschaften von Sand aufgrund der

hohen Wasserleitfähigkeit und Luftkapazität und -leitfähigkeit sich eher günstig auf die Verwesungsvorgänge auswirken, ist es verwunderlich, dass gerade dort Verwesungsstörungen auftreten.

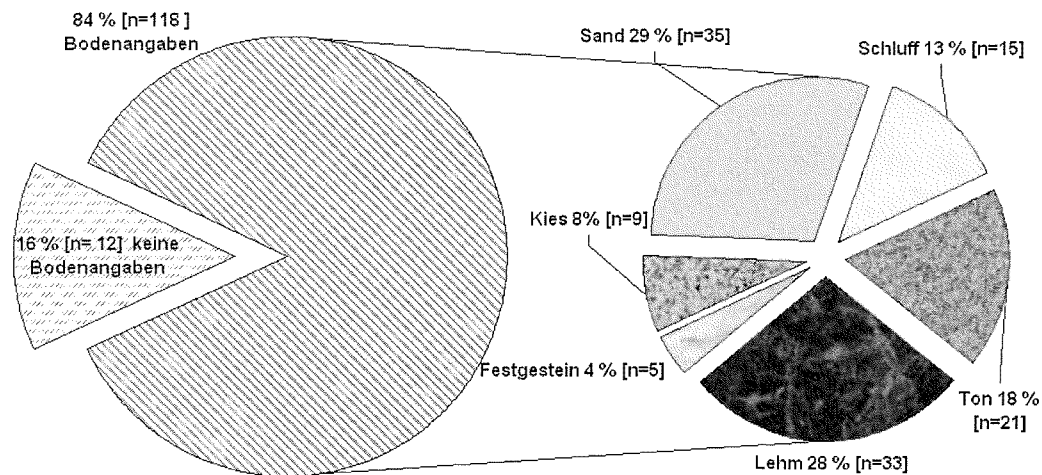


Abbildung 3 Angaben zur Bodenart der „Problem“ – Friedhofsstandorte (n-Gesamt =118 bezieht sich auf mehrere Bodenartangaben pro Standort).

2.1.3.2 Bestattungs- und Grundwassertiefe

Die Auswertung der Frage zu den Bestattungstiefen ergab, dass es sich überwiegend um eine durchschnittliche Gräbertiefe von ca. 140 - 190 cm (arithmetisches Mittel) handelte. Dies entspricht in etwa den gängigen Bestattungstiefen der Ländergesetzgebungen (180 cm).

Betrachtet man im Einzelnen die Angaben zu den Grundwassertiefen (Tab.1), so wird deutlich, dass einerseits von den Rückläufen mit Verwesungsproblemen die Hälfte keine Angaben zur Grundwasserlage unter den Friedhofsstandorten machen konnte und andererseits die gegebenen Antworten zeigen, dass die benannten Verwesungsstörungen überwiegend durch Wassereinfluss zu begründen sind. Bei ca. 26 % der Antworten lag der Grundwasserspiegel in 30-50 cm Tiefe unterhalb der Grabsohle.

Tabelle 1 Angaben zu den Grundwasserständen unterhalb der Grabsohle der Problemstandorte (n = 79 davon Grundwasserangaben n = 39 (49 %), keine Grundwasserangaben n = 40 (51 %))

Grundwassertiefe unterhalb der Grabsohle in cm (n = 39)	n	%
30 – 50	10	25,6
50 – 100	4	10,3
100 – 200	9	23,1
200 - 400	7	17,9
400 - 600	3	7,7
600 - 1000	3	7,7
> 1000	3	7,7

Neben der Grundwassertiefe bzw. der saisonalen Grundwasserspiegelschwankungen ist die kapillare Aufstiegshöhe in Abhängigkeit von der Bodenart zu berücksichtigen. Beim Sand geht man von einer kapillaren Aufstiegshöhe von 90 cm, bei Schluff von 270 cm und bei Ton von 160 cm aus (AG Boden, 1994).

In Abb. 4 ist exemplarisch der Einfluss der kapillaren Steighöhe in Abhängigkeit von der Bodenart bei sich verändernden Grundwasserständen dargestellt. Unterhalb der Grabsohle ist der durchschnittliche Grundwasserspiegel aufgetragen, der sich in ca. 400 cm Tiefe befindet. Unter Berücksichtigung der kapillaren Aufstiegshöhe bei einer kapillaren Aufstiegsrate von 0,3 mm / d, ist in Abhängigkeit der Bodenart und der jahreszeitlich bedingten Grundwasserspiegelschwankungen damit zu rechnen, dass der Sarg zumindest temporär im Wasser stehen kann und von einer Unterbindung des Verwesungsprozesses ausgegangen werden muss. Entsprechend den saisonal sich verändernden Grundwasserspiegeln sind zusätzlich in Abb. 4 ein extrem tiefer Grundwasserstand (exemplarisch z.B. für den Sommer / Herbst) und ein extrem hoher Grundwasserstand (exemplarisch z.B. für den Winter / das Frühjahr) abgebildet. Hier wird deutlich, dass auch bei einem schluffigen Boden der Sargbereich durch das Grundwasser beeinflusst werden kann.

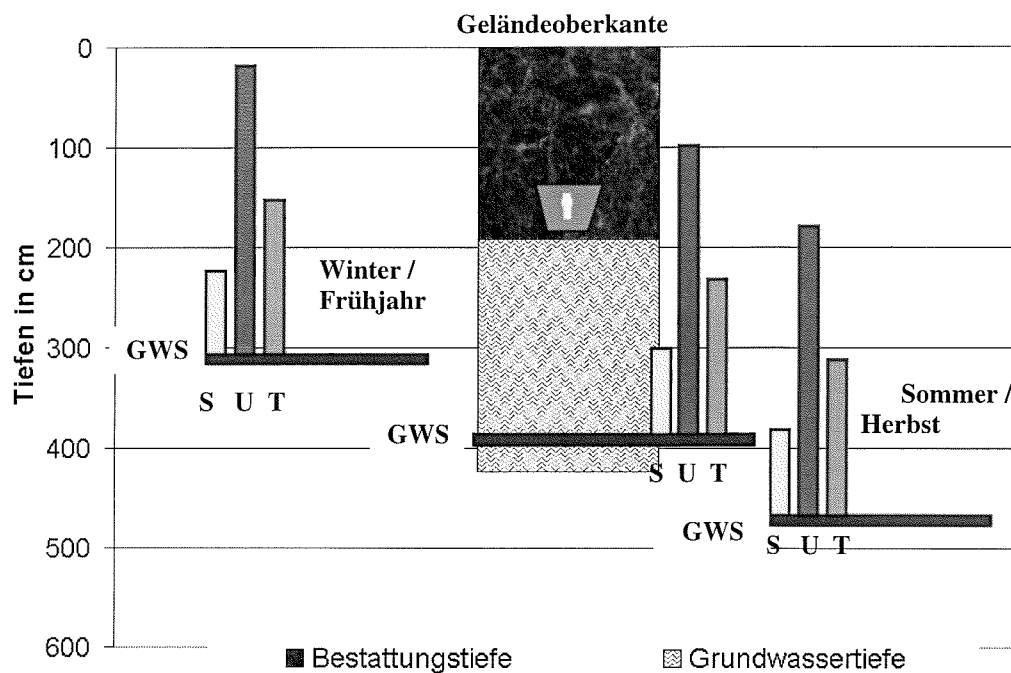


Abbildung 4 Exemplarische Darstellung der kapillaren Steighöhen in cm bei 0,3 mm /d für Sand (S), Schluff (U) und Ton (T) für unterschiedliche Grundwassertiefen (GWS = Grundwasserspiegel) bei einer Bestattungstiefe von ca. 180 cm.

2.1.3.3 Erkenntnisse der Friedhofs- und Gesundheitsämter bezüglich der Zersetzungsproblematik

Die Angaben zu den Problemstandorten machen deutlich, dass die Ursachen für die Verwesungsstörungen unterschiedlicher Natur sind. Das Zusammenspiel vieler Faktoren ist ausschlaggebend, ob eine optimale Verwesung im Erdgrab gewährleistet ist. Entscheidend sind die bodenphysikalischen und -chemischen Parameter gepaart mit den geologischen hydrologischen Faktoren. Hinzu kommen die Beerdigungsbeigaben, wie zum Beispiel die Sargbeschaffenheit, die Sargauskleidung, die Leichenbekleidung und der mögliche Einfluss der vorhandenen Vegetation.

Die Resonanz aus den Rückläufen weist dabei nochmals eingehend darauf hin, dass die Probleme hinsichtlich der Verwesungsstörungen und ihrer Begleiterscheinungen ein tatsächliches Problem darstellen und die Friedhofsbetreiber nach akzeptablen Lösungen suchen.

Im Einzelnen sind hier Kommentarauszüge (*Zitate*) aus den Rückläufen aufgeführt, die die Problematiken und die Ursachen näher erläutern bzw. Lösungsansätze beschreiben:

a) Probleme aufgrund der geologisch- hydrologischen Beschaffenheit derStandorte:

- „Auf einem Friedhof mit teilweise felsigen und trockenen Böden sind die Skelette noch vollständig vorhanden, aber vom Sarg ist nichts mehr da. Evtl. sind die Metallgriffe noch zu finden.“
- „Durch den hohen Grundwasserstand werden teilweise noch Leichenteile nach 25 Jahren ausgegraben.“
- „Probleme mit Hangwasser“
- „Anstehendes Grundwasser korrespondierend mit Pegelstand des Flusses“
- „Sandböden machen große Probleme bei der Zersetzung von Urnen: Teilweise sind 40 Jahre alte Urnen relativ unversehrt.“
- „Friedhof soll verdichtet belegt werden, dabei tauchen die Probleme bei der Überbeerdigung auf. Lange Verwesungszeiten gefährden eine neue Nutzung.“

b) Probleme aufgrund des Sargmaterials:

- „Mumifikation aufgrund des Sargmaterials“
- „...massive Eichensärge in den 60er Jahren, die schlecht verwittern“
- „Durch Feuchtigkeit und Kunststoffverschlüsse konservierte Leichenteile“

c) Zersetzungsproblematik aufgrund von Baumbeständen:

- „In Bereichen mit starkem Tannenbewuchs, sehr trockener Boden finden sich die meisten Überreste; Bedenken beim Abdecken der gesamten Gräber mit Stein oder Marmorplatten, da wesentlich weniger Feuchtigkeit im Boden ist.“
- „Teilweise treten Probleme in der Nähe großer Bäume auf. Auf einem Friedhof mit Lehmboden ist die Verwesung nach 30 Jahren nicht abgeschlossen. Teilweise sind hier auch Särge gut erhalten.“

d) Aussagen über Lösungsansätze:

- „Gute Erfolge bei Luftpressung mittels Lanze an Kopf- und Fußende.“
- „Auf einem Friedhof muss dem Bestattungsprozess einige Kilogramm Branntkalk beigegeben werden.“

e) Unterstützungsangebot von Seiten der Friedhofsämter:

- „Wenn einer unserer Friedhöfe für Sie für eine nähere Untersuchung von Interesse ist, stehe ich Ihnen nach vorheriger Absprache zur Verfügung.“

2.2 Beispiele aus der Tagespresse (*eine Auswahl*)

Die Recherche der in den Bundesländern erschienenen Zeitungsartikeln zum Thema: „Verwesungsproblematiken auf Friedhöfen“ zeigt auf, dass besonders im süddeutschen Raum die Tagespresse ein offenes Ohr für diese Thematik hat und regelmäßig über die Vorgänge im Friedhofswesen berichtet. So sei angefügt, dass laut des „Tagesspiegels“ vom 14.03.03 („Konservierte Ruhe“) in Baden-Württemberg etwa 40 % der Friedhöfe ein Problem mit dem Verwesungsprozess Verstorbener haben. Dieser Tatbestand spiegelt dabei genauestens die Ergebnisse und Aussagen der Fragebogenaktion wider.

In den beschriebenen Gemeinden und Städten werden als Hauptprobleme vor allem Staunässe, Anstiege des Grundwasserspiegels bzw. generell zu hohe Grundwasserstände und damit verbundene Verwesungsstörungen genannt. Darüber hinaus werden Situationen dargestellt, wie zum Beispiel die Verwesungsmüdigkeit der Böden, mangelnde Entwässerung durch zu hohe Anteile an organischem Material oder Verfüllungen mit für die Erdbestattung ungünstigen Bodenarten bzw. generell schlecht geeigneten Böden für die Bestattung. Das Handelsblatt (8.5.2002) notiert in seinem Artikel „Kein Pardon für Friedhöfe“, dass nicht nur eine unterbundene Verwesung Probleme im Friedhofswesen verursacht, sondern auch eine zu schnelle Zersetzung des Leichnams Kontaminationen hervorrufen kann, die im Konflikt mit dem Bundesbodenschutzgesetz stünden. Daher bedarf es einen Boden, der kontaminiertes Regen- und Gießwasser abpuffert, ohne die Nässe zu lange zu stauen. Diese Problematiken treten besonders dann ans Tageslicht und bedürfen eines Handlungsbedarfs, wenn auf den jeweiligen Friedhöfen Sanierungsmaßnahmen oder Erweiterungen vorgenommen werden müssen bzw. geplant sind. So schreibt die Zeitung „Der Patriot“ (Lippstadt 06.09.02), dass aufgrund der Friedhofserweiterung in Ehringhausen „Maßnahmen mit Blick auf den hohen Grundwasserstand in besagtem Bereich und aus hygienischen Gründen unumgänglich“ seien. Demnach müssen Drainagesysteme eingebaut werden, um das zu verfüllende Erdreich später gezielt entwässern zu können. Grundwasserprobleme werden auch im Artikel „Grundwasser im Grab“ der Nordbayerischen Nachrichten Pegnitz (20.11.02) beschrieben. Diese führen dazu, dass Teilbereiche des Friedhofes Auerbach nicht mehr für die Gräbernutzung in Frage kommen. Nicht nur hohe Grundwasserspiegel, sondern auch zu langsam infiltrierendes oder abfließendes Niederschlags- und Gießwasser führen zu Problemen auf Friedhöfen. In Mainbernheim (Kitzinger 21.03.03) resultiert der hohe Grundwasserstand mutmaßlich zu 90 % aus Niederschlags- und Gießwasser. Die Pirmasenser Rundschau (23.03.02) schildert eine Situation, in der das Gesundheitsamt ein Bodengutachten gefordert habe. Dabei kam zu Tage, dass in einer Tiefe von 1,5 bis 2,4 Metern Staunässe durch bindigen Lehm hervorgerufen werde

und nur eine schlechte Luftversorgung zulasse. Dies führe zu einer Verlängerung der Liegezeiten der Verstorbenen. Unterschiedliche technische Maßnahmen werden in den Zeitungsberichten angeführt, um überschüssiges Wasser abzuleiten: Es werden Drainagen eingebaut, Beobachtungsbrunnen oder sogar "Schluckbrunnen" angelegt. In Mühlheim (Offenbach-Post: „Schluckbrunnen" stoppen Überflutung 20.03.02) dienen die Schluckbrunnen dazu, dass bei starken Niederschlägen das Wasser aufgefangen wird. Diese Schluckbrunnen sind mit Filterkies und dann mit grobem Kies aufgefüllt und sorgen für eine rasche Ableitung des Regenwassers. (Eine Auswahl der Pressemitteilungen sind der Anlage 3 zu entnehmen.)

2.3 Fazit

Die Fragebogenaktion zeigt, dass 26 % der Rückläufe Verwesungsprobleme auf ihren Friedhöfen angeben haben und die Wachsleichenproblematik mit 53 % dominierend ist, aber auch die Mumifikationsangaben mit 9 % berücksichtigt werden müssen. Hinter diesem Resultat verbirgt sich oft die weitest gehende Unkenntnis über die Bodenbeschaffenheit und die Grundwasserstände. Dies führt dazu, dass in der Vergangenheit vorgenommene Fehlausweisungen folgende Probleme mit sich bringen:

- es müssen teure Friedhofserweiterungen zur Kompensation der ungeeigneten Friedhofsbereiche, Ruhefristverlängerungen sowie Sanierungsmaßnahmen angestrengt werden, die oft nur das Problem verlagern und keine wirklichen Lösungen bereiten
- es erfolgen Friedhofsschließungen oder Friedhofsverlagerungen in für die Angehörigen der Verstorbenen schwerer erreichbaren Randbereiche
- es besteht ein möglicher Schadstoffaustrag ins Grundwasser und damit die Gefährdung für Mensch und Umwelt

Daher sollten folgende Ziele angestrebt werden:

- eine kompetente bodenkundliche- hydrologische Beratung während einer Friedhofsplanung und Sanierung ist notwendig, die über die Planungsphase hinausgeht
- eine regelmäßige Überwachung bzw. analytische Begleitung des Standortes muss vorgenommen werden

3 Allgemeine Rechtsgrundlagen des Friedhofs- und Bestattungswesens

In der Bundesrepublik Deutschland herrscht überwiegend noch Friedhofszwang, wobei diese Rechtslage in Wandel begriffen und zum Teil schon geändert worden ist (Neufassung des Gesetzes über das Friedhofs- und Bestattungswesen vom 17.06.2003 des Landes Nordrhein-Westfalens: „Lockerung des Friedhofszwangs, Ausstreuung der Asche auf bestimmten Gelände oder die Herausgabe der Asche auf verlangen(...)“).

Friedhofszwang bedeutet, dass Erdbestattungen und Aschenbeisetzungen bisher nur auf öffentlichen Bestattungsplätzen erfolgen dürfen und generell eine Bestattung vorgenommen werden muss. Um dies zu gewährleisten, muss jedem Bürger nach §12 Abs. 1 (S7 GAEDKE (2000): "Mit dem Erstarken der gemeindlichen Selbstverwaltung setzte eine weitere Entwicklung ein, die auch heute noch nicht zum Abschluss gelangt. Da zu den Aufgaben der politischen Gemeinde auch die Sorge für die Gesundheit und Wohlfahrt ihrer Bürger gehört, gingen sie zunehmend dazu über, eigene kommunale Bestattungsplätze anzulegen und zu unterhalten, deren Benutzung jedem Einwohner zustand und noch heute zusteht...") eine Begräbnisstelle zur Verfügung stehen.

Dieses Recht und die dazu dienenden Bestattungsrichtlinien und das Friedhofswesen werden in Deutschland auf Länderebene geregelt. Der Bund liefert zu diesem Rechtsbereich nur ein "lockeres" Gerüst, das sich aus dem Personenstandsgesetz (Fassung vom 8.8.1957 BGBl. I S. 1126), der Verordnung zur Ausführung des Personenstandsgesetzes (25.2.1977 BGBl. I S.377), im Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung übertragbarer Krankheiten beim Menschen (Bundes-Seuchengesetz) in der Fassung vom 18.12.1979 zuletzt geändert am 24.3.1997 und aus den Richtlinien für das Strafverfahren und im Bußgeldverfahren (RiSTBV 1.1.1977) sowie der Regelung der Leichenschau und der Leichenöffnung und der Strafprozessordnung (StPO) in der Fassung vom 7. 4. 1987 (BGBl. I S.1074 ber. S.1319) plus dem Strafgesetzbuch (STGB) in der Fassung vom 10.03.1987 (BGBl. I S.945 ber. S.1160) zusammensetzt. Darüber hinaus besteht ein internationales Abkommen über die Leichenbeförderung vom 10.02.1937 (RGBl 1938 II S. 189).

Unter dem Blickwinkel des Umweltschutzes und den Anforderungen an die Bodenbeschaffenheit eines Friedhofes werden über den Bund nur die grundlegenden, wegweisenden Bestimmungen aus den Bereichen des Bodenschutzgesetzes, des Bundesimmissionsschutzgesetzes und der Wasserschutz- sowie der Trinkwasserschutz Verordnung angeführt.

So schreibt z.B. das BBodSchG nach § 1 Allg. Teil 1 vor, dass die Funktion des Bodens so zu sichern oder wiederherzustellen sei, um schädliche Bodenveränderungen abzuwehren. Ebenso sind die hierdurch verursachten Gewässerverunreinigungen zu sanieren und Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen auf den Boden zu treffen.

In Teil 2 werden die Grundsätze und Pflichten aufgeführt. So besteht nach § 7 die Vorsorgepflicht. Diese besagt, dass Vorsorgemaßnahmen geboten seien, wenn wegen der räumlichen, langfristigen oder komplexen Auswirkungen einer Nutzung auf die Bodenfunktion die Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung bestehen. Diese Pflichten richten sich grundsätzlich an den Friedhofsträger als Inhaber der tatsächlichen Gewalt und in den meisten Fällen auch als Eigentümer des Grundstücks (HOPPENBERG 2002).

Die Vorsorge für das Grundwasser richtet sich nach den wasserrechtlichen Vorschriften des Wasserhaushalts- und des Landeswassergesetzes und werden über die die drei Landesarbeitsgruppen LAWA, LAGA und LABO modifiziert.

3.1 Länderspezifische Rechtsprechungen

Für das Friedhofs- und Bestattungswesen sind in Deutschland die einzelnen Länder sowie die Gemeinden und Kommunen in ausführender Funktion zuständig, die entsprechende Bestattungsgesetze erlassen. Im jeweiligen Land werden in den Städten und Gemeinden zwischen kommunalen Friedhöfen (Gemeindeanstalten) und kirchlichen Friedhöfen unterschieden. Der kommunale Friedhof steht dabei für alle Gemeindemitglieder offen. Die konfessionellen Friedhöfe nehmen nur Personen ihrer Religionszugehörigkeit auf. Dies ist jedoch nur zulässig, wenn es neben dieser Ruhestätte einen zusätzlichen gemeindlichen Friedhof gibt (SPERLING in BLASCHE 2001; GAEDKE, 2000). Die Unterschiede in den Länderrechtssprechungen werden besonders in der Auslegung der Ruhefristen deutlich, in der Bestimmung der Lage der Friedhöfe, und das ist das Bedeutende, in der Begrifflichkeit, dass der Boden für die Erdbestattung geeignet sein soll.

3.1.1 Ruhefristen / Ruhezeiten

Unter Ruhezeit versteht man den Zeitraum, innerhalb dessen ein Grab nicht erneut belegt werden darf (GAEDKE 2000). Die Ruhefristen sollen so angelegt sein, dass eine angemessene pietätvolle Totenruhe gewährleistet ist. Darüber hinaus soll in dieser Zeit eine ausreichende Verwesung erzielt und damit nach Ablauf der Ruhezeit eine Wiederbelegung des Grabes ermöglicht werden. Die Ruhezeiten werden in den Landesgesetzgebungen festgelegt (siehe Tab.2) oder über entsprechende Hygienerichtlinien und Verordnungen bestimmt. Länder, wie Niedersachsen, Saarland und Schleswig-Holstein lehnen ihre Gesetzgebung an Hygienerichtlinien, Verordnungen und Gesetze anderer Länder an. Bei den Ruhezeiten handelt es sich um Mindestzeiten, die eingehalten werden müssen. Es können Verlängerungen vorgenommen

werden, wenn der Verwesungsprozess nach dieser vorgegebenen Zeit nicht abgeschlossen ist. Für den Antrag auf eine Verlängerung sind in den Ländern unterschiedliche Behörden zuständig. So ist es in Berlin der Senat, der eine solche Verlängerung der Ruhefrist anordnet, in anderen sind die Gesundheitsämter dafür verantwortlich. In den Ländern wie zum Beispiel Bayern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Thüringen werden keine genauen Zahlen angegeben. Die Ruhezeitbemessung richtet sich hier nach den aktuellen feldbezogenen Gegebenheiten der Friedhofsstandorte, d.h. unter Berücksichtigung der bodenkundlichen, geologischen und hydrologischen Standortfaktoren und werden mittels der Erfahrungswerte der Friedhofsträger und der hygienischen Gutachten seitens der Gesundheitsämter bestimmt (ALBRECHT 2002, GAEDKE 2000, HygRiL vom 23.03.1983 NRW). Für die Umsetzung der Ruhefristen in die Realität bedeutet dies nach WERTHER (2002), dass gerade in diesem Punkt keine bundeseinheitliche Regelung zweckmäßig ist. Jeder Friedhofsstandort verfügt über seine eigenen nicht auf andere Standorte übertragbaren Eigenschaften, so dass individuell entschieden werden muss, mit welchen Ruhezeiten der Friedhof zu bemessen ist. Selbst innerhalb des Friedhofsgeländes differieren einzelne Bereiche, so dass eine solche Heterogenität unbedingt in der Ausweisung von Grabstätten zu berücksichtigen ist.

Tabelle 2 Gesetzliche Ruhefristen der einzelnen Bundesländer

LAND	MINDESTRUHEZEIT IN JAHREN	ANMERKUNG
1 Baden-Württemberg	6 10 15	Kinder < 2 (Alter) Kinder < 10 Erwachsene /Aschen
2 Bayern	-	Bestimmung durch den Friedhofsträger und in Absprache mit dem Gesundheitsamt
3 Berlin	20	für Erd- und Urnenbestattungen
4 Brandenburg	20 15	für Erdbestattungen für Urnenbestattungen
5 Bremen	10 15 20 25	Kinder <3 Kinder <10 Aschen Erwachsene
6 Hamburg	25	Aschen / Personen
7 Hessen	25 30	Kinder < 5 Kinder / Erwachsene > 5
8 Mecklenburg-Vorpommern	20	Gesundheitsamt legt die Ruhezeit fest, sie darf 20 Jahre jedoch nicht unterschreiten
9 Niedersachsen*	-	Angaben nach den *Hygiene Richtlinien NRWs
10 Nordrhein-Westfalen*	25 30	Kinder < 5 Kinder / Erwachsene > 5 *Hygiene Richtlinien
11 Rheinland-Pfalz	15	unabhängig von Alter und Bestattungsart
12 Saarland*	bisher 20 wird auf 15 gekürzt	Leichen / Urnen Leichen/Urnen (je nach Bodenbeschaffenheit) (*www.soziales.saarland.de/11613.htm 05.08.03)
13 Sachsen-Anhalt	10 15 (Mindestruhezeit)	Kinder < 10 Personen > 10 Mindestruhezeit gilt auch für die Asche Verstorbener
14 Sachsen*	10	Kinder < 2

	15 20	Kinder < 13 Erwachsene / Aschen (*umwelt.sachsen.de/lfug/salfaweb- ht/print/brabl1.pdf)
15 Schleswig-Holstein**	15 25	Kinder < 5 und Ascheüberreste Erwachsene / Kinder > 5 **am Bsp. der Friedhofsordnung für den städt. Fried- hof Klint (Rendsburg)
16 Thüringen		siehe Brandenburg

3.1.2 Gesetzliche Regelungen zur Bodenbeschaffenheit und Lage von Friedhöfen

Die Gesetzgebungen der einzelnen Länder sagen nur geringfügig oder gar nichts über die geeignete Standortwahl bei der Ausweisung bzw. der Erweiterung von Friedhöfen aus. Dem Grunde nach soll der Boden nur dazu geeignet sein.

Detailliertere Angaben werden in Baden-Württemberg (BestG 7.2.1994 §4 (1)-(4), in Bayern (8.7.1911BayBS-VI S.33), Brandenburg (BbgBestG 7.11.2001 GVBl. I/01 S.226), in Hessen (BestG 4.11.1987 Zusatz zu §6), in Nordrhein-Westfalen (HygR 23.03.1983), in Rheinland-Pfalz (BestG vom 4.3.1983 geändert am 6.2.1991), im Saarland (Bestattungsgesetz vom 5.11.2003. Gesetz Nr. 1535 über das Friedhofs-, Bestattungs- und Leichenwesen) und in Sachsen (Sächs. BestG geändert durch Gesetz vom 18.3.1999 §1 (3) und (4)) vorgenommen. Darüber hinaus gilt in den Bundesländern bis auf Baden-Württemberg, Bayern, Bremen, Hamburg, Rheinland-Pfalz und Sachsen die Dritte Durchführungsverordnung zum Gesetz über die Vereinheitlichung des Gesundheitswesens vom 30.3.1935 (Rmin.Bl. Zentralbl. f. d. Deutsche Reich S. 327ff / Dienstordnung für die Gesundheitsämter Besonderer Teil /Abschnitt 11 Leichenwesen, Erd- und Feuerbestattung). In den Gesetzen und Verordnungen zum Bereich Bodenbeschaffenheit und Lage werden in den einzelnen Ländern folgende Ausführungen (GAEDKE, 2000 und www.postmortal.de) vorgenommen:

(Für die Länder Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt werden keine Angaben zur Bodenbeschaffenheit im Bestattungsgesetz gemacht. Niedersachsen schließt sich an die Hygiene Richtlinie von Nordrhein-Westfalen an; Thüringen bezieht sich auf Brandenburg!)

a) Baden-Württemberg

Gesetz über das Friedhofs- und Leichenwesen (Bestattungsgesetz) vom 21.7.1970, zuletzt geändert durch Gesetze vom 23.7.1993 und 7.2.1994:

(Rechtsverordnung des Sozialministeriums zur Durchführung des Bestattungsgesetzes (Bestattungsverordnung - BestattVO) vom 15. September 2000 (GBl. 2000 S. 669))

§ 4 Bodenbeschaffenheit und Lage

- (1) Auf Friedhöfen dürfen Gräberfelder für die Erdbestattung nur in ausreichender Entfernung von Wasserversorgungsanlagen und nur auf Böden angelegt werden, die zur Leichenverwesung geeignet und fähig sind, die Verwesungsprodukte ausreichend vom Grundwasser und der Außenluft fern zu halten.
- (2) Friedhöfe dürfen nicht in Überschwemmungsgebieten, Wasserschutzgebieten oder Quellenschutzgebieten angelegt werden. Ist die weitere Zone eines Wasserschutzgebietes unterteilt, so gilt das Verbot nur für den inneren Bereich.
- (3) Die zuständige Behörde kann Ausnahmen von dem Verbot des Absatzes 2 für Wasserschutzgebiete und Quellenschutzgebiet zulassen, wenn eine Verunreinigung der Gewässer oder eine sonstige nachteilige Veränderung ihrer Eigenschaften nicht zu besorgen ist.

b) Bayern

Bestattungsgesetz (BestG) vom 24.9.1970, geändert durch die Gesetze von 1974, 1991, und 1994
Anlage von Friedhöfen, Leichenhäusern und Gräften vom 8.7.1911 (BayBSV 1 S. 33):

(1) Friedhöfe

Der Boden soll so beschaffen sein, dass die Verwesung der Leichen möglichst rasch erfolgt. Dies ist bei einem Boden der Fall, der zeitweise durch Oberflächenwasser durchfeuchtet wird, die Hauptmasse des Wassers aber nur kurze Zeit zurückbehält und dann wieder die Luft ungehinderten Zutritt gewährt; als völlig einwandfrei ist ein Boden jedoch erst dann zu bezeichnen, wenn er auch imstande ist, dass die gasförmigen Stoffe in die Außenluft, Krankheitskeime und in Wasser gelöste schädliche Stoffe in die tieferen Bodenschichten und das Grundwasser gelangen. Diese Bedingungen erfüllt am besten ein Boden, der aus Kies und Lehm besteht, oder ein Humus-(Lehm)boden, der reichlich mit Kies und Lehm gemischt ist. Grober Schotter (ohne Sand und Lehmbeimengungen) ist ungeeignet, da er den Gasen den Weg zur Erdoberfläche, den im Wasser löslichen Stoffen und den Keimen den Weg ins Grundwasser frei lässt; reicher Lehm- oder Torfboden ist ungeeignet, weil er für die Luft undurchlässig ist. Zu berücksichtigen ist, dass ein ursprünglich geeigneter Boden durch oftmalige Benützung immer reicher an feinkörnigen Überresten von Leichen (Knochenerden) wird und dadurch allmählich undurchlässig und ungeeignet werden kann.

Für die Eignung eines Bodens zur Anlegung von Gräbern kommt auch sein Grundwasserstand in Betracht. Da der Grundwasserstand nach Jahreszeit und Witterung schwankt, ist der höchste vorkommende Grundwasserstand zu ermitteln. Es ist unter allen Umständen zu vermeiden, dass die Grabsohle vom Grundwasser erreicht wird oder dass Särge in jene Zone zu liegen kommen, bis zu der das Wasser (durch Kapillarität) aufsteigt. Es soll vielmehr zwischen der Grabessohle und dem höchsten GW-Stand eine mind. 50 cm starke Bodenschicht sich befinden, die einerseits trockene Lagerung der Särge gewährleistet und andererseits den Übergang gelöster Fäulnisstoffe in das GW verhindert. Bei sehr grobporigem Kiesboden soll diese Schicht mächtiger sein, ebenso bei sehr

dichtem, feinkörnigem Boden, in dem erfahrungsgemäß das Kapillarwasser besonders hoch ansteigt. Ein nach seiner Zusammensetzung geeigneter Boden kann ungeeignet sein, wenn er Überschwemmungen ausgesetzt oder in einer Mulde gelegen ist, in der sich die Niederschläge sammeln. Ein an sich nicht verwendbarer Boden kann häufig durch Entwässerung oder Aufschüttung geeignet gemacht werden.

(2) Lage der Friedhöfe

Bei der Wahl des Platzes ist auf die Richtung des Grundwasserstromes zu achten. Das GW des Friedhofes soll besonders im großporigem Boden nicht gegen benachbarte Brunnen, die aus dem GW gespeist werden, fließen. Bei Beachtung dieses Grundsatzes und bei einwandfreier Bodenbeschaffenheit ist eine Gefährdung der Umgebung durch Anlage eines Friedhofes nicht zu befürchten... .

c) Berlin

Gesetz über die landeseigenen und nichtlandeseigenen Friedhöfe Berlins (Friedhofsgesetz vom 1.11.1995):

§ 3 Genehmigungserfordernis und Zuständigkeiten:

- (1) Friedhöfe dürfen nur mit der Genehmigung der für das Friedhofswesen zuständigen Senatsverwaltung angelegt und erweitert werden. Die Genehmigung ist zu versagen, wenn das Vorhaben den Bestimmungen nach §5 oder sonstigen Rechtsvorschriften widerspricht(...). In den Fällen der Anlegung, Erweiterung und Aufhebung ist außerdem das Einvernehmen der für das Gesundheitswesen zuständigen Senatsverwaltung erforderlich.

§ 5 Allgemeine Bestimmungen

- (3) Friedhöfe müssen den Anforderungen der öffentlichen Sicherheit und Ordnung, insbesondere der Gesundheit, entsprechen. Die Eignung der Bodenbeschaffenheit und der Grundwasserverhältnisse ist nachzuweisen.

d) Brandenburg

Gesetz über das Leichen-, Bestattungs- und Friedhofswesen Brandenburgisches Bestattungsgesetz – BbgBestG vom 7.11.2001

§ 25 Beisetzung

- (1) Erdbestattungen dürfen nur auf Friedhöfen vorgenommen werden. Die örtliche Ordnungsbehörde kann im Einvernehmen mit der unteren Gesundheitsbehörde im Einzelfall Ausnahmen zulassen, wenn ein wichtiger Grund vorliegt und öffentliche Belange nicht entgegenstehen.
- (2) Bei einer Feuerbestattung ist die Urne mit der Asche auf einem Friedhof oder in geeigneter Form in einer Kirche beizusetzen. Die Asche kann auch auf einer hierfür bestimmten Stelle eines Friedhofes verstreut werden. Auf Wunsch des Verstorbenen darf außerdem die Urne von einem Schiff aus auf Hoher See beigesetzt werden, wenn andere Rechtsvorschriften nicht entgegenstehen. Sonstige Beisetzungen außerhalb von Friedhöfen kann die örtliche Ordnungsbe-

hörde im Einzelfall im Einvernehmen mit der unteren Gesundheitsbehörde zulassen, wenn ein wichtiger Grund vorliegt und öffentliche Belange nicht entgegenstehen.

§ 29 Planung, Anlegung und Erweiterung von Friedhöfen

- (3) Friedhöfe müssen den Anforderungen der öffentlichen Sicherheit und Ordnung, insbesondere denen der Gesundheit entsprechen. Die Eignung der Bodenbeschaffenheit und der Grundwasserhältnisse ist nachzuweisen.

e) Bremen

Gesetz über das Friedhofs- und Bestattungswesen in der Freien Hansestadt Bremen vom 16.10.1990, geändert durch Gesetz vom 25.3.1997:

§ 2 Genehmigung

Die Anlage und Erweiterung von Friedhöfen bedürfen der Genehmigung. Die Genehmigung wird durch den Senat erteilt, der Senat kann die Genehmigung als Auftragsangelegenheit auf die Stadtgemeinden übertragen. Sie darf nur aus folgenden Gründen versagt werden:

1. Beeinträchtigung der Gesundheit
2. Belange der Stadtplanung
3. mangelnde Eignung der Böden
4. sonstiges zwingendes öffentliches Interesse

f) Hessen

Gesetz über das Friedhofs- und Bestattungswesen vom 17.12.1964 in der Fassung der Gesetze von 1970, 1978 und 1987

§ 7 Grabstätten und Ruhefristen

- (1) Grabstätten müssen so beschaffen sein, dass die menschliche Gesundheit durch die Verwesung nicht gefährdet werden kann.

Anlegung und Erweiterung von Friedhöfen-Erlass des Hess. Mdl vom 17.7.1991

Bei Anwendung des §6 des Gesetzes über das Friedhofs- und Bestattungswesen vom 17.12.1964 zuletzt geändert durch Gesetz vom 4.11.1987 ist wie folgt zu verfahren:

2 Grundsätzliche hygienische Voraussetzungen

- 2.1 Friedhöfe sind so anzulegen, dass durch sie keine Schäden oder Nachteile für die menschliche Gesundheit oder für das menschliche Wohlbefinden entstehen könne.
- 2.2 Vor allem muss verhindert werden, dass Geruchsbelästigungen entstehen und Zersetzungsprodukte oder Krankheitserreger durch Versickerung in den Untergrund oder auf sonstige Weise (Verschleppung durch Ratten, Insekten usw.) zu einer schädlichen Verunreinigung oder sonstigen nachteiligen Veränderungen der Eigenschaften des GW oder eines oberirdischen Gewässers führen können.
- 2.3 Vor der Anlegung oder Erweiterung von Friedhöfen ist zu prüfen, ob das Vorhaben gesundheitlich unbedenklich ist. Hierzu sind die zuständige Gesundheitsbehörde und die zuständige Wasserbehörde einzuschalten. Diese haben weitere Fachbehörden gutachtlich zu hören, sofern deren Zu-

ständigkeit durch die Maßnahme berührt wird. Das Landesamt für Bodenforschung beurteilt, ob der Untergrund zur Anlage eines Friedhofes geeignet ist. § 16 des Hessischen Denkmalschutzgesetzes ist zu beachten.

3 Bodenbeschaffenheit

3.1 Der Erdboden von Friedhöfen soll für die Zersetzung von Leichen durch Verwesung geeignet und fähig sein, die Zersetzungsprodukte bis zum Zerfall in anorganische Stoffe zurückzuhalten.

Grund- und Stauwasser darf weder ständig noch zeitweise in der Zersetzungszone stehen oder fließen. Da mit Schwankungen des GWS zu rechnen ist, muss zwischen Grabsohle und höchstem Grundwasserstand eine Filterschicht von 50 cm verbleiben. Die Durchlässigkeit des Untergrundes im Bereich der Grabsohle muss groß sein, dass das durch die Auflockerungszone der Grabstätte versickernde Niederschlagswasser und das seitlich eintretende Stauwasser in den tiefen Untergrund abfließen. Die Boden- GW-Verhältnisse werden mit Probeschachtungen von mind. 2,50 m Tiefe an sachverständig ausgewählten Stellen des Platzes geprüft, und zwar nach möglichst nach längerem Regen.

3.2 Gelände, das erst durch Dränung als Begräbnisplatz verwendet werden könnte, ist für die Neuanlage eines Friedhofes im allgemeinen ungeeignet. Ist die Neuanlage eines Begräbnisplatzes innerhalb eines solchen Geländes unvermeidlich oder erweisen sich später Dränungen als notwendig, so ist die unschädliche Ableitung des Wassers besonders zu sichern. Hiervon kann abgesehen werden, wenn vom Hang seitlich zufließendes Wasser vor Erreichen der Grabstätten durch Fangdräne abgeführt wird. Gelände, das wegen der Bodenverhältnisse oder geringen Grundwasserflurabstandes ungeeignet ist, kann, wenn dem nicht andere Gesichtspunkte entgegenstehen, durch Erdaufschüttung oder Bodenaustausch verbessert werden. Zur Eignung des Bodenauftrags- oder Bodenaustauschmaterials ist die zuständige Fachbehörde zu hören.

3.3 Die Rohrnetze von Wasserversorgungen, die dem allgemeinen Gebrauch dienen, dürfen Friedhofsgelände nicht durchschneiden oder in dessen unmittelbarer Nähe vorbeigeführt werden. Dies gilt nicht für Anschlussleitungen, die die Friedhofsanlage versorgen.

3.4 Die Neuanlegung bzw. Erweiterung von Friedhöfen ist in den

- Schutzzonen I, II und III /IIIA von festgesetzten und geplanten Wasserschutzgebieten,
- Den Schutzzonen I, II und III von Heilquellenschutzgebieten sowie
- Überschwemmungsgebieten und Talauen

nicht zulässig.

Ausnahmen hiervon können von der zuständigen Wasserbehörde zugelassen werden, wenn wasserwirtschaftliche, hydrogeologische und ökologische Gesichtspunkte dem Vorhaben nicht entgegenstehen, und der Leichenabbau gewährleistet ist.

Ist im Einzugsgebiet einer Wassergewinnungsanlage, für die ein Schutzgebiet weder festgesetzt noch beantragt ist, die Anlegung oder Erweiterung eines Friedhofs geplant, so ist der Mindestabstand des

Begräbnisplatzes zur Wassergewinnungsanlage im Einvernehmen mit der zuständigen Wasserbehörde festzulegen.

g) Niedersachsen

Es finden die Bestimmungen von Nordrhein-Westfalen Anwendung.

h) Nordrhein-Westfalen

Hygiene Richtlinien für die Anlage und Erweiterung von Begräbnisplätzen (s. Anlage 2)

i) Rheinland-Pfalz

Landesverordnung zur Durchführung des Bestattungsgesetzes vom 20.6.1983 (GVBl. S. 133), geändert durch Verordnung vom 6.3.1996 (GVBl. S.183)

§ 1 Bestattungsplätze

Die Bodenbeschaffenheit von Bestattungsplätzen muss zur Leichenzersetzung geeignet sein, ohne dass die Gefahr von Geruchsbelästigungen oder des Eindringens von Zersetzungsprodukten in das Grundwasser besteht; dies gilt nicht für Bestattungsplätze, die ausschließlich zur Beisetzung von Urnen bestimmt sind. Bestattungsplätze sind gegenüber Garten- und Hofflächen angrenzender Wohngrundstücke durch Anpflanzungen oder Einfriedungen gegen Sicht abzuschirmen. §3 Abs. 2 BestG bleibt unberührt.

j) Saarland

Bestattungsgesetz vom 5.11.2003. Gesetz Nr. 1535 über das Friedhofs-, Bestattungs- und Leichenwesen

§ 3 Bodenbeschaffenheit und Lage

- (1) Gräberfelder für die Erdbestattung dürfen auf Friedhöfen nur in ausreichender Entfernung von Wasserversorgungsanlagen und nur auf Böden angelegt werden, die zur Leichenverwesung geeignet und die fähig sind, die Verwesungsprodukte ausreichend von Grundwasser fernzuhalten. Dies gilt auch für die Wiederbelegung von Grabfeldern.
- (2) Friedhöfe dürfen nicht in Überschwemmungsgebieten angelegt werden. Gleiches gilt für Wasserschutzgebiete oder Quellschutzgebiete, es sei denn, dass eine Verunreinigung der Gewässer oder eine sonstige nachteilige Veränderung ihrer Eigenschaften nicht zu besorgen ist.

k) Sachsen

Sächsisches Gesetz über das Friedhofs-, Leichen- und Bestattungswesen (SächsBestG) vom 8.7.1994
Erster Abschnitt Friedhofswesen

§ 1 Bestattungsplätze

- (3) Vor Erteilung der Genehmigung hat die Genehmigungsbehörde eine gutachterliche Stellungnahme des Staatlichen Umweltfachamtes zu den geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten einzuholen und sich mit dem zuständigen Gesundheitsamt ins Benehmen zu setzen.

3.1.3 Anforderungen an die Sargbeschaffenheit

Die Anforderungen an die Sargbeschaffenheit, der einzelnen Länder können wie folgt zusammengefasst werden. Den Gesetzgebungen ist gemeinsam, dass die Särge aus einem Material beschaffen sein sollen, dass leicht verwest. Dabei sollten Hartholzsärge und Metallsärge nur dann verwendet werden, wenn sie eine ausreichende Zersetzung garantieren (die Praxis sieht oft anders aus). Ist dies nicht gegeben, so kann nach dem BestG (21.7.1970 GBl. S 395) von Baden-Württemberg verfügt werden, dass nur Särge aus leicht verweslichem Holz zu verwenden sind oder dass Leichen, die in Särgen aus Hartholz oder Metall überführt worden sind, in besonderen Teilen des Friedhofs bestattet werden. Darüber hinaus sind nach dem Bayerischen Bestattungsgesetz (§19 Beschaffenheit von Leichräumen) Leichräume (Art. 7 BestG) so einzurichten, dass Verstorbene, die zuletzt an einer übertragbaren Krankheit im Sinn des Bundesseuchengesetzes erkrankt waren, abgesondert werden können. Mit unter sollen nach §19 Abs. (1) und (2) die Särge so beschaffen sein, dass die physikalische, chemische oder biologische Beschaffenheit des Bodens oder des Grundwassers nicht nachteilig verändert wird, und die Verwesung der Leichen innerhalb der Ruhezeit ermöglicht wird. Dabei soll der Sarg nicht über eine verwesungshemmende Wirkung verfügen, sondern das Leichengewand sollte ebenfalls nicht aus synthetischen Stoffen bestehen.

Zusätzlich soll der Sargboden mit einer mind. 5 cm starken aus einem aufsaugenden Material (z.B. Holzwolle, Baumwolle...) Schicht verfügen, die die Verwesungsstoffe auffängt (BestG Rheinland-Pfalz). In den einzelnen Gesetzgebungen wird die Aussparung von Eisenbeschlägen z.B. aus Blei, Nickel... und anderen Materialien nur in Zusammenhang mit der Einäscherung erwähnt (GAEDKE 2000).

3.1.4 Bestattungstiefen

Anlehnend an die Angaben zu den Bestattungstiefen der Länder Bayern, Hessen und Nordrhein-Westfalen weichen die Bestattungstiefen der Gräber nur geringfügig voneinander ab, Die Tiefe richtet sich dabei nach den jeweiligen Boden und Grundwasserverhältnissen (GAEDKE 2000). Bei einer einfachen Bestattung, d.h. ein Grab pro Person soll das Aufschüttmaterial mindestens 90 cm über der Sargoberkante ohne Grabhügel aufgeschüttet sein. Dies gewährleistet die Vermeidung einer Geruchskontamination. Bei Doppelgräbern (Tiefgräbern) muss der Abstand zwischen Geländeoberkante und dem höchsten Grundwasserstand mind. 2,40 m betragen.

Tabelle 3 Angaben zu den gesetzlichen Bestattungstiefen (Normalgräber) der Länder Bayern, Hessen und Nordrhein-Westfalen

Länder	Grabtiefen
Bayern	<ul style="list-style-type: none"> - Ab Geländeoberkante (GOK) 1,80 m für Erwachsene - 1,30 m Kinder unter 12 - 1,10 m Kinder unter 7 - mind. 0,60 m unter 2 Jahren
Hessen	<ul style="list-style-type: none"> - Grabsohle mind. 1,80 m; Grabhügel ist insoweit nicht zu berücksichtigen - Erdschicht über dem Sarg mind. 1m. Zur Verhinderung von Geruchsbelästigungen sind Steinschüttungen mit Hohlräumen zu vermeiden - sofern durch bes. Verhältnisse eine Verringerung der Grabtiefe erforderlich wird, ist zuvor die hygienische Unbedenklichkeit durch Einholung einer gutachterlichen Stellungnahme des Amtarztes
Nordrhein-Westfalen	<ul style="list-style-type: none"> - müssen so tief angelegt sein, dass nach d. Zuschüttung des Grabes Zersetzungsprodukte nicht an die Erdoberfläche treten können - ein Ausgleich in die Höhe bei zu geringer Grabtiefe ist nicht möglich - Mindestfläche: 2,10 m Länge und 0,90 m Breite (Erw.) - Abstand zw. den Gräbern mind. 0,30 m - Grabtiefe 1,80 m - zwischen GOK bis zum GW Abstand von mind. 3,40 m

3.2 Fazit

Die rechtliche Regelung des Bestattungswesens gibt nur ein grobes Gerüst vor, dass von den Ländern, Gemeinden und Kommunen regionsspezifisch angepasst wird bzw. werden muss. Der Boden und Grundwasserschutz ist zwar in diesen verankert, doch in ihrer Handhabung zu ungenau.

Die Folgen sind:

- die unspezifische Auslegung der Aussage: „Der Boden muss für die Bestattung geeignet sein“ und die damit verbundenen Grauzonen in den Bereichen des Boden- und Wasserschutzes
- unangemessene Ruhezeiten (diese sind z.B. für Urnen in der Regel zu lang; die Ruhefristen können für Leichname sind zu kurz bemessen sein)
- zu große Bestattungstiefen bzw. zu rasche Mehrbelegung des Erdgrabes

Die Ziele sind:

- die Verankerung des Bundesbodenschutzgesetzes darf mit seiner Intension, die Funktionen des Bodens zu sichern oder wiederherzustellen und dabei schädliche Bodenveränderungen abzuwehren bzw. gegebenenfalls hierdurch verursachte Gewässerunreinigungen zu sanieren und Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen auf den Boden

zu treffen, in den Auslegungen der Landesgesetzgebungen nicht unberücksichtigt bleiben (HOPPENBERG, 2002)

- Ruhezeiten und Bestattungstiefen müssen an den jeweiligen Friedhofsstandort sowie seinen Teilbereichen angepasst werden
- die Urnenbeisetzung muss nicht in derselben Tiefe erfolgen, wie bei einem Sargbe-gräbnis
- im Bestattungswesen muss das Bestattungsmaterial (Kleidung, Sargholz...) für die Voraussetzungen eines optimalen Verwesungsprozesses ausgerichtet sein
- das Bestattungszubehör muss auf 100%ig leichte Zersetzbarkeit ausgerichtet werden

4 Die Zersetzung einer Leiche

Schon der dänische Königssohn Hamlet in Shakespeare merkte an, dass eine Leichenzersetzung von vielen Komponenten abhängt und damit die Dauer der Verwesung beeinflusst wird. Zwar ist zweifelhaft ob gerade aus beruflichen Gründen der verstorbene Gerber schlechteren Abbauprozessen ausgesetzt ist, als Personen mit anderem Berufs-

stand, doch weiß man jedoch vor dem Hintergrund, dass Moorleichen aufgrund der einwirkenden Gerb- und Huminsäuren die Verwesung zum Stillstand kommt und die Haut lederartig und beständig wird.

Der eigentliche Verwesungsprozess gliedert sich in 2 bis 3 Abschnitte. Im folgenden werden die Phasen der Autolyse, der Fäulnis und der nicht davon zu trennenden Verwesung beschrieben. In Abhängigkeit der äußeren Standortfaktoren, die auf den Leichnam einwirken, werden diese Prozesse gefördert aber auch inhibiert. Welches Ausmaß eine verzögerte Zersetzung annehmen kann, soll in den anschließenden Punkten beschrieben werden.

4.1 Autolyse

Während der Autolyse sind postmortale körpereigene enzymatische Prozesse (z.B. Magen Pankreas, intrauteriner Fruchttod) (PENNING 1996; VASS 1992; BERG 1976) ohne Beteiligung von Mikroorganismen zu verzeichnen. Hierbei kommt es zu Gewebeerweichung und Strukturauflösung (JACHAU 2002) und damit zur zunehmenden Diffusion von Intra- und Extrazellulärflüssigkeit über Zell- und Organgrenzen hinaus (URBAN 2002). Ursächlich dafür sind die noch aktiven körpereigenen Enzyme. Diese katalysieren verschiedene chemische Umsetzungen wie Glycolyse, Ringspaltung, Lactonbildung oder die Eiweißspaltung (SCHMIDT zit. in WILLIMANN 1996). Dieser postmortale Eiweißabbau zeigt, dass die Autolyse unter anaeroben Bedingungen bei länger sauer bleibenden pH-Werten mit einer hydrolytischen Spaltung der Peptidketten endet. Die Enzymaktivität kann entsprechend ihres spezifischen Aktionsoptimums bei Temperaturen von 34°- 40°C gesteigert werden, Kühlung hingegen würde jedoch den Abbauprozess der Leiche verzögern (WILLIMANN 1996).

Zitat: Shakespeare, Hamlet, 5. Akt, 2. Szene:

Hamlet: Wie lange liegt wohl einer in der Erde, ehe er verfault ist?

1. Totengräber: Mein` Treu, wenn er nicht schon vor dem Tode verfault ist (wie wir denn heutzutage viele lustsiche Leichen haben, die kaum bis zum Hineinlegen halten), so dauert er Euch ein acht bis neun Jahre aus; ein Lohgerber neun Jahre.

Hamlet: Warum der länger als ein anderer?

1. Totengräber: Ei, Herr, sein Gewerbe gerbt ihm das Fell so, dass es eine lange Zeit das Wasser abhält, und das Wasser richtet so`ne Blitzleiche ver-teufelt zugrunde...

4.2 Fäulnis und Verwesung

LORKE (1952) beschreibt die Fäulnis und die Verwesung als chemische Vorgänge, die in Abhängigkeit von denen im Medium vorherrschenden Redoxpotentialen unterschiedliche Ausformungen haben. Sie überlagern die Aktivität der Autolyse, sobald sich die Fäulnisbakterien entwickeln können (STRASSMANN in Schmierl 1982), so dass ohne scharfe Grenzen das Stadium der lytischen Veränderungen in das Zerstörungswerk der Fäulnisbakterien übergehen (FORSTER und ROPOHL 1987). Der pH- Wert im Boden bzw. des Zersetzungsortes bestimmt dabei den Potentialbereich. Die Fäulnis ist gekennzeichnet durch die anaerobe Gewebszersetzung durch bakterielle Enzyme mit typischer Geruchsentwicklung (MARC 1986). Die Darmbakterien verdauen nun den Körper vom Magen ausgehend. Es handelt sich hierbei um Colibakterien, Hefe- und Schimmelpilze, Staphylokokken, Streptokokken und Proteusstämmen (LAUTENSCHLÄGER 1934; de JONGH 1968). Diese Fäulnisbakterien bewirken einen viel intensiveren Zersetzungsvorgang als er während der Autolyse vorgenommen werden kann und führt schließlich zur totalen Zerstörung der Weichteile und damit zur Skelettierung. Die Fäulniserscheinungen sind nicht nur extrem temperatur-, sondern auch umgebungsabhängig: Vergleichbare Fäulniserscheinungen treten bei ähnlicher Temperatur nach einer Faustregel, der sog. Casper'schen Regel an der Luft in 1 Woche, im Wasser in 2 Wochen, im Erdgrab nach 8 Wochen (bzw. jeweils Vielfaches davon) auf (PENNING 1996).

Kennzeichen für die Fäulnis sind nach GRAW (2002) vor allem die Grünfärbung der Bauchhaut und das „Durchschlagen“ des Gefäßnetzes. Es bilden sich Faulgase wie Ammoniak, Kohlenwasserstoff, Schwefelwasserstoff, Phosphorsäure, Essigsäure, CO₂, H₂S und CH₄ und zahlreiche Zwischenprodukte (URBAN 2003). Welche Reduktionsprodukte gebildet werden, ist dann abhängig von den Ausgangssubstanzen sowie den Mikroorganismen und deren spezifischen Stoffwechselreaktionen (SCHOENEN 2003).

Die Dauer der Fäulnisphase beträgt in etwa 3-12 (-9) Monate, woran sich in einem fließenden Übergang der aerobe Verwesungsprozess anschließt (es wird deshalb geraten, vor Ablauf dieser Zeit keine Exhumierungen vorzunehmen). Durch den Austrieb der Körperflüssigkeiten des Leichnams wird zunehmend ein aerobes Milieu geschaffen. Die Mikroorganismenflora verändert sich, es werden O₂ Endprodukte des aerob verlaufenden Prozesses, wie Schwefel-, Phosphor-, Salpetersäure, Kohlendioxid und Wasser freigesetzt (SCHWERD 1992; SCHMIERL 1982). Die Verwesung verläuft ohne Gestank unter modrigem Geruch und bedarf einen Zeitraum von 7 – 30 Jahre (BACHMANN 1988). Am Ende des Prozesses wird die vollständigen Skelettierung und Mineralisierung des Leichnams erreicht.

4.3 Verwesungsstörungen

Verwesungsstörungen wie zum Beispiel die Wachsleichenbildung ist nicht erst ein Phänomen des 21. Jahrhunderts, bereits Fourcroy und Thouret entdeckten zu Beginn des 18. Jahrhunderts bei der Öffnung eines Massengrabes in Paris die Formen der Fettwachsleiche (Adipocire). Besonders in wissenschaftlichen Bereich der Forensik bzw. der gerichtlichen Medizin wurde und wird diese Leichenveränderung intensiv beleuchtet, so dass auf eine große Zahl an Veröffentlichung verwiesen werden kann. Auch die Mumifikation stellt kein Novum der jüngsten Bestattungsgeschichte dar. Schon zur Zeit der Pharaonen und noch in weiter zurückliegender Menschheitsgeschichte wurde die Mumifikation künstlich oder auch aufgrund der Begräbnisstätte herbeigeführt. In einigen Gewölben von Kathedralen sind die Leichname von einstigen Kirchenangehörigen vollständig mumifiziert erhalten.

Bei diesen Formen (Wachsleichenbildung und Mumifikation) der „Verwesungsstörungen“ handelt es sich um Gewebeveränderungen in der spätpostmortalen Phase. Sie treten dann auf, wenn die Mikroorganismenpopulation, die für die Verwesungsprozess zuständig ist aufgrund von äußeren Faktoren vermindert bzw. sie in ihrem Aktionsspektrum behindert wird.

4.3.1 Wachsleichen (Adipocire)

Aufgrund von zu hoher Feuchtigkeit (wobei der Grad an Feuchtigkeit umstritten ist, bei dem eine Wachsleichenbildung hervorgerufen wird) in den Gräbern, tiefer Bodentemperaturen und vor allem das Fehlen von Sauerstoff führen dazu, dass die primär im Körper vorhandenen mikrobiell gut abbaubaren Fettsäuren in nicht abbaubare gesättigte Hydroxi- oder Oxifettsäuren umgewandelt werden (SCHOENEN 2002; PFEIFFER 1998; EVANS 1963). Für diese Fettsäuretransformation - Ölsäure zu Palmitinsäure - sind bakterielle Enzyme, wie Clostridium perfr., Staph. albus und Proteus vulg. verantwortlich. TAKATORI (1986) untersuchte in seinen Studien Mikroorganismen und Bakterienkulturen von Exkrementen einer Leiche und Adipociremasse. Dabei konnte festgestellt werden, dass 6 Arten der Mikroorganismen in der Lage waren, Hydroxifettsäuren zu produzieren. Zum Beispiel produziert Clostridium welchii Enzyme, die die Hydrolyse und Hydrierung von Fett auslösen und demnach bedeutend für die Fettwachsbildung sind. In Tabelle 4 sind die einzelnen chemischen Schritte, die zur Umwandlung der ungesättigten zu gesättigten Fettsäuren führen aufgezeigt.

Unter diesen Umständen findet dann eine Transformation der Weichteile der Leiche in eine grauweiße, pastenartig weiche Masse statt, die im Verlauf zu einer harten und beständigen Substanz wird. Die Härtung begründet sich zum Einen auf die Veränderung des Schmelz-

punktes (s. Tab. 5) (GRAW 2001) von 13°C bei der Ölsäure auf 62,85 °C bei der Palmitinsäure (WILLIMANN 1996), zum Anderen auf die Ca²⁺ -Einlagerung (GRAW und HAFFNER 2001 zit. in Fiedler et al. 2002). Bis die ersten Anzeichen der Wachsleichenbildung auftreten, kann ein Zeitraum von 3-6 Monaten vergehen. In diesem Zeitraum findet die Adipocirebildung nicht simultan an allen Körperstellen gleichzeitig statt. Vielmehr lassen sich an den einzelnen Körperteilen unterschiedliche Stadien der Fettwachsbiildung feststellen. Mögliche Ursachen, die zur Wachsleichenbildung führen können, werden in Tabelle 6 dargestellt. COTTON (1987) zeigt darin die Umstände auf, die die Adipocire begünstigen oder unterbinden könnten. Inwiefern die Wachsleichenbildung wieder rückgängig gemacht bzw. wie dieser Leichenzustand wieder in einen aktiven Verwesungsprozess überführt werden kann, ist bis zum heutigen Zeitpunkt nicht eindeutig festgestellt. FROENTJES (1963) machte den Versuch, Wachsleichen 10-70 cm unter der Geländeoberkante zu begraben, um damit diese wieder in den Verwesungsprozess zu überführen. Nach viereinhalb Jahren waren 75% der „höhergelegten“ Leichname vollständig zersetzt, obwohl freie Fettsäuren gegenüber Bakterien sehr beständig sind. Gegenwärtig laufen diesbezüglich Versuche in St. Georgen in Bayern (FIEDLER und GRAW 2002).

Tabelle 4 Reaktionskette von der Ölsäure zur Palmitinsäure während der Fettwachsbiildung (BERG 1975)

Der Haupt-Reaktionsverlauf der Fettumwandlung	
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_5\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_5\text{CH}$ $= \text{CHOOH} + 2\text{H} + \text{H}_2\text{O}$ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_5\text{CHOHCH}_2\text{COOH}$ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_5\text{COCH}_2\text{COOH}$ $+ 2\text{H} + \text{H}_2\text{O}$ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_5\text{COOH} + \text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{H}$ $\text{CH}_3((\text{CH}_2)_7\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_2)_5\text{CHOOH})$	<p>Ölsäure (*Anteil im Fett 48%; im Adipocire 22%)</p> <p>Palmitoleinsäure + Essigsäure</p> <p>Palmitinsäure (*Anteil im Fett 26%; im Adipocire 53%) * nach GRAW (2001)</p>

	Schmelzpunkt in °C
Ölsäure C 18	13,0
Stearinsäure C18	69,9
Palmitinsäure C 16	62,9
Linolsäure C 18	-5,0
Hydroxystearinsäure	95,0

Tabelle 5 Unterschiedliche Schmelzpunkte der einzelnen Fettsäuren (MURSCH 1992)

Auswirkung auf die Adipocirebildung	
+	Vorhandensein von Fett
-	Zeitraum zwischen dem Tod und dem Begräbnis
-	Autopsie vor dem Begräbnis
-	Leichnam im Sarg
+	Leichenkleidung
-	Stroh auf der Grabsohle
o	Luftzutritt nach dem Begräbnis
+	Massengräber
+	Bakterielle Fäulnis
+	Warm und feucht

Tabelle 6 Auslösemechanismen für die Adipocirebildung ((+) Adipocirebildung begünstigen, (-) gehinderte Auswirkung auf Adipocirebildung, (o) keinen Einfluss auf Adipocirebildung), COTTON (1987)

4.3.2 Mumifikation

Eine andere Form der Verwesungsstörung ist die Mumifikation. Bei diesem Fall setzen nur die Phasen der Autolyse (als fermentierender Vorgang) und die Verwesung ein (BORN 1959). Der benötigte Wassergehalt für ein mikrobielles Wachstum wird hier unterschritten, so dass keine bzw. nur ansatzweise die Form der Fäulnis eintritt. Der Leiche wird aufgrund von trockener warmer aber auch kalter Umgebung die körpereigenen Flüssigkeiten schnell entzogen, so dass der Körper rasch austrocknet. Der errechnete Wasserverlust, ebenso bei den erhaltenen Organen, bemisst sich nach BORN (1959) bei 85-95 % des geschätzten Lebensgewichtes. Da von außen kein zusätzliches Wasser herangeführt wird (SCHMIERL 1982), wird die Leichenhaut trocken, lederartig-elastisch, und die Haare bleiben voll erhalten (TOUSSAINT 1857). Sobald Mumien wieder in Kontakt mit Wasser kommen, wird der Verwesungsprozess wieder aufgenommen und eine vollständige Zersetzung ist gewährleistet (SCHOENEN 2003).

4.4 Einflussfaktoren auf die Zersetzung

Die Zersetzung des menschlichen Körpers wird durch viele Faktoren, die auf unterschiedlichster Weise auf den Leichnam einwirken, beeinflusst. ALBRECHT (2003) und FIEDLER (2002) zeigen, dass es sich hierbei um fixe, variable und individuelle Faktoren handelt. Die fixen Faktoren beschreiben die klimatischen Begebenheiten Boden, Wasser und Luft, die mitunter den größten bzw. ausschlaggebenden Einfluss an der Verwesung haben (Tab. 7). Die variablen und individuellen Faktoren werden durch den Hauptfaktor Klima gelenkt und damit in ihrem Einfluss auf die Verwesung geschwächt bzw. gefördert. FIEDLER führt zusätzlich die kulturell gewachsenen Strukturen bzw. Traditionen im Friedhofswesen auf. Diese schei-

nen auf den ersten Blicken den variablen also leicht veränderbaren Faktoren zugeordnet zu sein. In diesem Bereich handelt es sich um die Bestattungsformen wie Erdgrab / Massengrab, Bestattungstiefen, die im Laufe der Geschichte von wenigen Zentimetern (50 cm) unter der Geländeoberkante (Zürich 9. Jahrhundert) zu 2 Meter Tiefe um 1450 in Deutschland gewachsen sind (AESCHLIMANN 2002). Dies beruhte auf der Annahme, dass Epidemien durch Miasmen also durch die Verwesungsluft hervorgerufen würden und damit die Bestattungstiefen entsprechend tief vorzunehmen sind (STEENSBERG 1972). Bis solche Annahmen und generell Bestattungsformen geändert werden, können Jahrzehnte vergehen, so dass bedingt von fixen Faktoren ausgegangen werden muss. Zu erwähnen sind unter diesem Aspekt die Sargbeschaffenheiten (Bestattungen ohne Sarg / mit Sarg), die jeweilige Grabpflege und die Grabgestaltung. In den Folgenden Abschnitten werden auf die vornehmlich variablen und individuellen Faktoren eingegangen. Die fixen Faktoren wie Boden-, Wasser- und Bakterien-einfluss werden in Kap. 6 gesondert betrachtet.

Tabelle 7 Die Einflussfaktoren auf die Zersetzung (mod. nach Albrecht (2003) und Fiedler (2002))

fixe Faktoren	variable Faktoren	individuelle Faktoren
Umweltbedingungen / Standortfaktoren Klima: Boden / Wasser / Luft	bedingt: kulturelle gewachsene Traditionen	Leichnam
klimatische Situation, Beerdigungszeitpunkt Sommer / Winter - Topographie, Lokalisation, Exposition - Geologisches Ausgangsmaterial - Bodenverhältnisse - Textur, Grund-/ Stauwasser - „Bewuchs“ - „Bodentiere (Mikroorganismen)“	- Bestattungsform - Einbau, Versiegelung - Grabtiefe - Sargmaterial - Grabpflege - Bekleidung	- Alter - Geschlecht - Fettleibigkeit - Körpertemperatur - Medikamente - Drogen, Gifte - Todeszeitpunkt - Todesursache

↑
Nutzungshäufigkeit (Bevölkerungsdruck), Flächenbedarf

4.4.1 Menschenspezifische (individuelle) Faktoren

Das Alter des Verstorbenen ist ein Faktor, der die Verwesung im Erdreich beeinflusst. So zersetzen sich Kinderkörper, aufgrund ihres hohen Wassergehaltes im Verhältnis zur Körpergröße und aufgrund ihres weichen Gewebes schneller als ein Erwachsenenkörper. Ein Beweis dafür stellen die kürzer veranschlagten Ruhezeiten für Kinder im Bestattungswesen dar. Sind die Randbedingungen jedoch so geschaffen, dass eine Wachsleichenbildung oder im anderen Extremfall die Mumifizierung herbeigeführt werden könnte (KATTER 1912, TOUSSAINT

1857), so sind es auch Kinderleichen, die diesen Zustand schneller erreichen. Das Geschlecht als individueller Faktor spielt ebenfalls eine Rolle. Die Studien hinsichtlich der Adipocirebildung von EVANS (1963) zeigen, dass Frauen aufgrund ihres höheren Fettanteils (20%; Männer 10%) eher zur Wachsleichenbildung neigen (WIENERS 1939). Dies lässt den Umkehrschluss zu, dass weibliche Personen unter Optimalbedingungen auch schneller verwesen.

Die körperliche Konstitution ist ein ausschlaggebender Faktor hinsichtlich des Verwesungsprozesses. Zum Beispiel: war die Person fettleibig, musste sie vor dem Tod regelmäßig Medikamente nehmen? Die Fettleibigkeit führt unter suboptimalen Bedingungen schnell zur Wachsleichenbildung (WILLIMANN 1996, MANT 1957). Sind die äußeren Faktoren günstig, so ist es gerade dem hohen Körperfettanteil zu zuschreiben, dass der Fäulnisprozess gefördert wird. Die wärmeisolierenden Eigenschaften des Fettes und der chemische Energiegehalt der Fettsäuren lassen hohe postmortale Körpertemperaturen entstehen und beschleunigen so den Abbauprozess. Zusätzlich wird die Fäulnis noch besser bei Leichnamen mit offenen Wunden als bei unversehrten Körpern initiiert. In diese Wunden können vor der Bestattung Fliegen ihre Eier ablegen und die Maden finden eine leicht zugängliche Nahrung vor (MANN 1990). Ein zusätzlicher Punkt stellt die Todesursache dar, die auch im Zusammenhang mit der Medikation vor dem Ableben zu sehen ist. Verabreichungen von Antibiotika, Cyaniden, Strychnin etc. vor dem Tode verzögern den Zersetzungsprozess in seiner Anfangsphase, da sich die dezimierte oder gar abgestorbene Bakterienfauna erst wieder aufbauen muss (DALDRUP 1978, SELLES 1956). Die Ausgangstemperatur vor der Bestattung ist nicht zu verachten. Hat der Körper sich vor der Beerdigung mehrere Tage im Kühlraum oder draußen in der Kälte befunden, so ist die Initialphase der Fäulnis erheblich verzögert, wenn die Bestattung vorgenommen wird. Dies hängt im Einzelnen mit der gehemmten Bakterienaktivität zusammen, die erst bei hohen Temperaturen ca. 30 °C ihr Maximum erreicht.

4.4.2 Variable Faktoren

Zu den variablen Faktoren, die auf den Zersetzungsprozess einwirken, zählt vor allem die Bestattungsform. Dies beinhaltet, ob die Leichname mit oder ohne Sarg, in Leichentüchern gewickelt sind oder nicht oder Einbalsamierungen vorgenommen worden sind. Die Literaturmeinung bezüglich einer Bestattung mit Sarg oder ohne Sarg gehen dabei weit auseinander. BORRIS (1967) in Schmierl befürwortet die Sargbestattung, da der gebildete Hohlraum um den Leichnam herum ein zusätzliches Sauerstoffangebot bereitstellt. Andere Meinungen bewerten die Bestattung der Leichname ohne Sarg positiv, da so der Kontakt mit der Bodenmatrix und den Bodenorganismen hergestellt wird und von Anfang an die fixen Faktoren Einfluss

auf die Verwesung nehmen können (STEENSBERG 1972). In diesem Zusammenhang lassen sich die generellen Faktoren des Einbaus, die Versiegelung der Grabsohle durch den Erdaushub sowie die Versiegelung der Graboberfläche durch Steinplatten etc. und natürlich die angelegte Bestattungstiefe nennen. Mit dem heutigen Kenntnisstand würde man, um die Zersetzung zu begünstigen, im Rahmen der Unterbindung von Geruchsemissionen, den Leichnam flacher unter der Geländeoberkante bestatten. Der gesetzliche „Standard“ ist ca. 90 cm von der Sargoberkante zur Geländeoberkante. Auch will man eine Versiegelung der Graboberfläche durch Grabmale bzw. Grabplatten vermeiden, um eine Luftzirkulation zu gewähren. Ein teilweises oder generelles Verbot von Grababdeckungen ist nur zulässig, wenn entsprechende geologisch-bodenkundliche Untersuchungen den Nachweis erbracht haben, dass anders eine ausreichende Verwesung innerhalb der Ruhezeit nicht gewährleistet ist (GAEDKE 2002). Nicht nur die Fragestellung Sarg oder kein Sarg spielt eine Rolle, sondern die Wahl eines geeigneten Sarges. Die Rechtsprechung verlangt die Verwendung von Särgen, die leicht verrotten und damit die Zersetzung nicht unnötig behindern. Es sind vor allem Materialien aus Kiefernholz, die positiv zu bewerten sind. Auch wenn es von den Angehörigen gut gemeint ist, sollte von aufwendigen Hartholzsärgen und deren Lackierungen, Särgen aus Metall oder Stein Abstand genommen werden (ALBRECHT 2003, SCHMIERL 1982, TOUSSAINT 1857). Hinzu kommt die Eigenschaft des Holzes, bei erhöhtem Wasserangebot zu quellen. Dies bewirkt die Verschließung der Poren und den damit verbundenen Sauerstofftransport in den Sarg und den Export der Dekompositionsgase (MÜLLER. 1914).

(Gegenwärtig werden an der Fachhochschule Rosenheim am Institut für Holzwirtschaft Untersuchungen hinsichtlich der Verrottungsbeschleunigung von Sargholz vorgenommen. Prof. Dr. G.-A. Peters)

Unter diesem Aspekt ist ebenfalls als variabler Faktor die Leichenbekleidung zu nennen. In den 50er Jahren waren die Leichengewänder vor allem aus Kunstfasern, die zusammen mit der Stoffausstattung des Sarges ein großes Zersetzungshindernis darstellen, so dass bei Exhumierungen noch vollständig erhaltene Leichname angetroffen werden.

4.5 Fazit

Die einzelnen Phasen der Zersetzung lassen anhand des großen Forschungsumfanges der forensischen Medizin kaum noch Fragen offen. Schwieriger ist es jedoch um die Tatsache bestellt, mit welcher Intensität sich die einzelnen Faktoren gegenseitig beeinflussen und wie dieser Einfluss gesteuert werden kann. Es ergeben sich daher offene Fragen:

- In welchem Zeitraum werden die Verwesungsstoffen an die Umgebung des Zersetzungsbereiches befördert?
- Lassen sich die Substanzen für diesen Zeitraum quantifizieren?
- Ist die Adipocirebildung wirklich mit als Folge unserer Ernährungsgewohnheiten zu sehen?
- Wie lassen sich Wachsleichen wieder in den Zersetzungsprozess überführen?

5 Chemische Zusammensetzung des Menschen

Um sich über die Abbauprodukte bei der Verwesung im Klaren zu sein, muss ebenso auf die Zusammensetzung des Menschen eingegangen werden. Anhand der geringfügig in Abhängigkeit des Körpergewichtes bzw. der generellen körperlichen Verfassung schwankenden Substanzanteilen, lassen sich sichere Prognosen ableiten, welche Stoffmengen während des Zeretzungsprozesses an die Umgebung abgegeben werden. Nach GRAW (2001) und SCHMIDT (1969) werden die Anteile wesentlicher Organgruppen an der Körpermasse und deren chemischen Zusammensetzung eines menschlichen Leichnams von 70-80 kg Körpergewicht aufgezeigt (s. Tab. 8 und 9).

Tabelle 8 Anteile wesentlicher Organgruppen an der Körpermasse (Mensch, 80 kg) nach GRAW (2001)

	[kg]	Chemische Zusammensetzung	[%]
Muskulatur	35	Sauerstoff	65
Fett	11	Kohlenstoff	20
Knochen	8	Wasserstoff	10
Blut	6,5	Stickstoff	+ - 3
Haut	2,5	Kalzium	1,5
Bindegewebe	5	Phosphat	1
		Andere Elemente	< 1

Tabelle 9 Chemische Zusammensetzung des menschlichen Körpers (Mensch, 70,55 kg) nach SCHMIDT in Willmann (1969 bzw. 1996)

	Prozent vom Körpergewicht	Wasser in %	Atherextrakt in %	Rohprotein in %
Haut	7,8	64,7	13	22,2
Skelett	14,8	31,8	17,2	18,9
Zähne	0,1	5		23,0
Quergestreifte Muskulatur	31,6	79,5	3,4	16,5
Gehirn, Rückenmark	2,5	73,3	12,7	12,1
Leber	3,4	71,5	10,4	16,2
Herz	0,7	73,7	9,3	15,9
Lungen	4,2	83,7	1,5	13,4
Milz	0,2	78,7	1,2	17,8
Nieren	0,5	79,5	4,0	14,7
Pankreas	0,2	73,1	13,1	12,7
Darmtrakt	2,1	79,1	6,2	13,2
Fettgewebe	13,6	50,1	42,4	7,1
Übriges Gewebe	17,4	75,5	12,3	14,0
Darminhalt	0,8			
Galle	0,2			
Haare	0,003			

So besteht der Mensch überwiegend aus Sauerstoff, Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff. Um diese komplexen Verbindungsformen der Eiweiße, Kohlenhydrate und Fette aufspalten zu können, bedarf es an einer ausreichenden Menge an Sauerstoff zur Oxidation des Leichnams. In diesem Zusammenhang bemisst VAN HAAREN (1951) die Bestandteile des Men-

schen zu 64 % aus Wasser (wobei der Wasseranteil in Abhängigkeit des Fettgehaltes des Menschen von 70 bis 40 % variieren kann), zu 20% aus Eiweiß, zu 10 % aus Fett, zu 1% aus Kohlenhydraten und zu 5% aus Mineralstoffen. Um daraus den Sauerstoffbedarf berechnen zu können, die für die Oxidation und damit für die Zersetzung (Verwesung) der Stoffe notwendig ist, muss zuerst die Verbindungszusammenstellung der oben genannten Verbindungen bekannt sein. Ein 70 kg schwerer Mensch benötigt demnach bei mittlerem Wassergehalt für eine vollständige Zersetzung einen chemischen Sauerstoffbedarf von ca. 50 kg O₂ (s. Tab. 10).

Tabelle 10 Sauerstoffbedarfsberechnung für die Oxidation eines 70 kg schweren Leichnams (mod. nach van Haaren, 1951)

	Anteil vom Körper	Bestandteile in %	Vollständige Oxidation	Oxidation eines 70 kg schweren Leichnams
Wasser	ca. 64 %			
Eiweiß	20 %	50-55% Kohlenstoff 6,5-7,3 % Wasserstoff 15-18 % Stickstoff 21-24 % Sauerstoff	Von 100 g Eiweiß → 200 g O ₂ (1kg → 2 kg O ₂)	14 kg → 28 kg O ₂
Fett	10 % (Frauen evtl. 20%)		Von 5 kg Fett → 15 kg O ₂ (1kg Fett → 3 kg O ₂)	7 kg → 21 kg O ₂
Kohlenhydrate	1 %		Von 500g Kohlenhydrat → 500g O ₂	0,7 kg → 0,7 kg O ₂
Mineralstoffe	5 %			
Summe	100 %			49,7 kg O₂

5.1 Mikroorganismenfauna des Leichnams

Für den Zersetzungsprozess sind die Bakterien und Pilzsporen essentiell. Ihre Zusammensetzung hängt dabei von den individuellen Faktoren des Leichnams ab, die auf den Verwesungsprozess einwirken. Um welche Bakterienarten es sich handelt, ist dabei im Zusammenhang mit der Umgebungsbeschaffenheit und der Zersetzungsphase zu sehen. So sind folgende Fragen zu berücksichtigen: Starb die Person an einer bakteriellen Krankheit oder gar Seuche, musste sie entsprechende Medikamente nehmen, die auf die Bakterienstämme Einfluss genommen haben, welche Stadien der Zersetzung hat der Organismus schon durchlaufen?

MEGNIN in Zeidler (1938) beschreibt in diesem Zusammenhang den bakteriellen Generationswechsel (SCHÜTZENMEISTER 1972), der sich während der sich ändernden Lebensbedingungen in der Leiche vollzieht. Er gliedert die Bakterien in Muskelzehrer der 1. Periode (Dauer: 3 Monate), die Fettzehrer der 2. Periode (Dauer: 3-4 Monate) und die Moderbildner

der 3. Periode (Dauer: 4-8 Monate). An diese schließt sich die 4. Periode der Acarinen (eine Übersicht kann Tab. 11 geben).

Tabelle 11 Generationswechsel der Mikroorganismen im Verlauf der Leichenzersetzung (mod. nach ZEIDEL 1938)

1. Periode Dauer 3 Monate	
<i>Dipterengattungen: (Mückenarten)</i>	Muskelzehrer
Curtonevra, Caliphora, Lucilia, Sacrophaga	
2. Periode Dauer 3-4 Monate	
<i>Coleoptera: (Käfer)</i>	Fettzehrer
Dermestes, Coryuthes	
<i>Lepidoptera: (Motten, Schmetterlinge)</i>	
Aglossa	
3. Periode Dauer 4-8 Monate	
<i>Dipteren: (Mückenarten)</i>	Moderbildner (Fäulnis)
Phora, Anthomyca	
<i>Coleopteren:</i>	
Silpha, Hister	
<i>Acarina: (Milben)</i>	
Saprinus, Serrator	
4. Periode restliche Zeit der Zersetzung	
<i>Acarinen: (Milben)</i>	Grösse liegt zwischen 0,1 und 1 mm
Tyroglyphus, Glyciphagus	
<i>Anthrenen: (Käfer)</i>	
Tineola biselliella	

Darüber hinaus werden in Tab. 12 die Bakterien aufgeführt, die während der Zersetzung des Menschen aktiv sein können. In Abhängigkeit ihrer Lebensdauer und Fertilität können diese noch nach einer bestimmten Zeit im Boden oder auch im schlimmsten Fall im Grundwasser nachgewiesen werden. Somit lässt sich die Tatsache begründen, dass zur Vorsorge Brunnenanlagen auf Friedhofgeländen nicht gestattet sind und das Wasserangebot nur zur Grabpflege, nicht aber als Trinkwasser verwendet werden soll.

Tabelle 12 Lebensdauer und Nachweisbarkeit der Bakterien und Pilze (URBAN 2003)

Bakterien	Lebensdauer / Nachweisbarkeit
Staphylokokken	> 4 Wochen
Tuberkelbazillen	lange mikroskopisch nachweisbar
Salmonellen	> 2 Jahre
Escherichia coli	ca. 4 Wochen
Salmonella paratyphi	ca. 4 Wochen
Nachweis von Clostridium tetani und C. welchii	ca. 1 Woche
Blastomyceten	ca. 3 Wochen
Hyphomyceten	> 6 Monate
Penicillium Arten	wenige Tage bis Wochen
Tuberkelbazillen	Vermehrungsfähigkeit < 4 Wochen – mikroskopisch nachweisbar bis zu 1 Jahr

Der vorherrschende Bodentyp, die Bodentemperatur und die Bodenfeuchtigkeit sind ebenfalls ausschlaggebend für die Entwicklung der Mikroorganismen. Nach REDDY (1981) steigt die Mikroorganismen - Sterberate zweimal schneller bei jedem Temperatursprung von 10°C in einer Temperatursteigleiste von 5°C auf 30°C an. So sind während der Fäulnisphase, in der sich Temperaturen von bis zu 40°C entwickeln können, überwiegend Escherichia coli Bakterien bzw. mesophile Darmbakterien aktiv, die bei einer Temperatur von 39°C existieren können (WILLIMANN 1996). Nicht nur die Umgebungstemperatur spielt für die Mikroorganismen eine Rolle, sondern auch der vorherrschende pH- Wert. Dies wird vor allem deutlich bei der reduzierenden Fäulnis und den damit verbundenen Protonenanstieg. Die WHO (1998) beschreibt, dass die Lebensbedingungen für bestimmte Organismen im pH-Bereich zwischen 6-7 ihren Optimalbereich haben. Die Bodenfeuchtigkeit spielt besonders für die Entwicklung von Verwesungsbakterien eine Rolle. Welcher Feuchtigkeitsgrad im Boden bzw. Lebensumgebung für die Mikroorganismen das Optimum darstellt, ist bis heute noch nicht eindeutig geklärt (SCHOENEN 2003).

Im Vergleich zu Viren scheinen die Bakterien nach PACHEO (2002) weit immobil zu sein. Sie legten bei den Untersuchungen des Vila Nova Cachoeirinha Friedhof nur wenige Meter zurück. Die Viren schafften eine Strecke von 10 Metern, wobei die letzten 2 m zum Grundwasser leicht überwunden werden konnten. Jedoch zeigen Untersuchungen über die „Wanderungen der Verunreinigung im Grundwasser“ der Sanitary Engineering Laboratory 1954 zit. in STEENBERG, dass zum Beispiel Colibakterien 70 m weit weg von Gräben, die das Grundwasser durchschneiden, wandern konnten. Maximale Bakterienwanderungen konnten mit der ausreichenden Menge eines Transportmediums (Wasser) bis zu 240 m festgestellt werden.

5.2 Anorganische / organische Gifte und radioaktive Isotope

Es sind nicht nur pathogene Keime, die dem Leichnam entweichen können, sondern auch anorganische und organische Gifte. Diese können sich zum Beispiel aus den Bestandteilen von Amalgamzahnfüllungen (WOURTSAKIS 2003), Herzschrittmachern bzw. anderen Formen von Implantaten oder, von dem Körper des Leichnams unabhängig, aus den Substanzen der Sargbeschlüge zusammensetzen. Nach BLUME (1996) können diese Schwermetalle (Cadmium, Blei, Zink, Quecksilber, Kupfer...) den Boden tiefgründig kontaminieren. GRENZIUS (1986) und SUKOPP (1980) haben in dieser Hinsicht Untersuchungen von Berliner Stadtböden vorgenommen. Die beprobten Friedhofsflächen zeigten dabei in der Bestattungszone

Schwermetallakkumulationen von Blei und Cadmium auf. Darüber hinaus beschreibt Urban (2003), dass diese anorganische Gifte bis zu mehreren Jahren nachweisbar sind.

Im wesentlichen können von den verwesenden Leichnamen ebenfalls organische Giftstoffe abgesondert werden. Dazu können zum Beispiel

- E605, ein Insektizid, das früher einen hohen Verbreitungsgrad hatte und aufgrund der hohen Toxizität immer seltener eingesetzt wird (<http://www.med-serv.de/ma-601-E605.html>) (Nachweisbarkeit ca. 8 Monaten).
- Salizylsäure (Bestandteil von mehreren Arzneimitteln, vor allem in Aspirin. Diese Substanz ist bis zu 3 Monaten im Umgebungsbereich des Leichnams nachweisbar) (http://www.seilnacht.tuttlingen.com/Chemie/ch_salic.htm)
- Kohlenmonoxid-Hämoglobin (Nachweisbarkeit ca. 2 Jahre)

gehören (URBAN 2003).

Eine besondere Bedeutung hat der Einsatz von radioaktiven Substanzen in der Onkologie. Bestattete Leichname, die zu ihren Lebzeiten aus medizinischen Gründen bestrahlt worden sind, geben in Abhängigkeit der verwandten Isotope Strahlung an die Umgebung ab. Es kann sich dabei um folgende Isotope handeln, deren Halbwertszeiten sich zwischen 5 Stunden bis zu über mehrere Jahren bewegen können:

- ^{32}P [14,3 d],
- ^{60}Co [5,3 d],
- $^{99\text{m}}\text{Tc}$ [6 h]
- ^{123}I [13,1 h] und ^{131}I [8 d]

5.3 Freisetzung von Gasen

Während der Verwesung werden Gase freigesetzt, die überwiegend aus der Fäulnis bzw. durch die Umsetzungsarbeit der Mikroorganismen stammen. Früher glaubte man dabei an Miasmen, übelriechende Ausdünstungen, die in der alten Medizin als krankmachende Stoffe angesehen wurden. Die Stoffe, die an die Luft abgegeben wurden, sollten die Ursache für die Ausbreitung von Epidemien sein (STEENSBERG, 1972). Während des Verwesungsvorganges werden ohne Frage Gase freigesetzt. Es handelt sich um Kohlendioxid, Ammoniak, geruchsintensive leichtflüchtige Amine, Methan, Schwefelwasserstoff, geringe Mengen an geruchsintensiven kurzkettigen organischen Alkoholen (Methyl-, Ethyl-, Propyl-, Butylalkohol usw.) sowie Säuren, Ester und Thioester (SCHOENEN 2003; MATHYS 1998).

MENGEDE (2000) stellt in diesem Zusammenhang seine Ergebnisse der CO_2 Freisetzung zur Bestimmung des Verwesungsvorganges in einem Friedhofsboden aus Löss im Ruhrgebiet vor.

Es zeigt sich, dass in den ersten zwei Jahren nach der Bestattung die größte CO₂ Entwicklung festgestellt wurde. Dies korreliert mit dem Einsetzen der Fäulnis- und Verwesungsphase sowie mit der Bodenfeuchte und Bodentemperatur, die auf alle Formen der Verwesungsphasen und der Gasproduktion Einfluss nehmen.

5.4 Einfluss der Abbauprodukte auf Mensch und Umwelt

Die vorangestellten Ausführungen zeigen, dass aufgrund der Abbauprodukte es nicht unbegründet ist, wenn zum Beispiel die USA unter dem Rechtsbereich des „Safe Drinking Water Act“, die Friedhöfe als mögliche Quelle für Kontaminationen aufführt (ALISON et al. 2000).

Zieht man in diesem Zusammenhang nochmals die Parameter der Zersetzungsprodukte diesmal nach WEHNER und KRIENER (1989) heran, so handelt es sich bei einer Leiche mit 78 kg „Normgewicht“ um bis zu 2.7 kg anorganischer Stickstoff und ca. 140 g Schwefelwasserstoff (H₂S), die freigesetzt werden. Zu dem werden ca. 5 – 10 % der Kohlenstoffverbindungen der Leiche nicht vollständig oxidiert, sondern im anaeroben Körperinneren mikrobiell umgesetzt, wodurch weitere 2 – 3 kg anaerobe Stoffwechselprodukte gebildet werden.

Unter der Annahme, dass bei der Neuanlage von Grabfeldern bis zu 3000 Gräber pro Hektar eingerichtet werden, ergibt sich alleine dadurch eine enorme N-Menge, die in einer Tiefe von ca. 2 Metern freigesetzt und dann aufgrund der fehlenden Nährstoffaufnahmemöglichkeiten durch Pflanzenwurzeln mit dem abwärtsgerichteten Wasserstrom in Richtung Grundwasser verlagert wird (HORN et al. 2001). WOURTSAKIS (2003) nimmt in Bezug auf dieses Rechenbeispiel einen Platzbedarf von 10 m² pro Bestattung an, entsprechend verringert sich der Gesamtstickstoffaustrag. Unterstellt man nun der Einfachheit halber, dass der Abbau nicht nur in den ersten 5 Jahren verstärkt sondern über die gesamte Liegezeit von z.B. 20 Jahren erfolgt, dann gelangen in dem Gesamtzeitraum insgesamt knapp 9000 kg/ha oder 9 t/ha N-Verbindungen in das Grundwasser, was eine mittlere jährliche Austragsrate von ca. 500 kg/ha N-Verbindungen bedeutet. In der Intensivlandwirtschaft rechnet man zum Vergleich bei einem N-Düngereinsatz von ca. 200 - 240 kg/ha * a und einem Ertrag von ca. 8-10 t/ha Getreide mit einem Auswaschungsverlust von möglichst unter 45 kg/ha * a, was um mindestens das 10-fache unter der mittleren N-Freisetzung von Friedhofsböden liegt (HORN et al. 2001). SPONGBERG et al. (1999 und 2000) nimmt Analysen hinsichtlich des Metall- und Formaldehydgehaltes in Abstufung zur Grabentfernung und der Grabtiefe vor. Es zeigt sich, dass in Grabesnähe erhöhte Formaldehydgehalte aufgrund von ehemaligen Einbalsamierungspraktiken erfasst wurden, obwohl diese Maßnahmen mit Beginn des 19. Jahrhunderts überwiegend aufgegeben worden sind. In Amerika und Kanada ist es jedoch nach wie vor üblich, die

Leichname einzubalsamieren. So werden die Arterien und die Körperhöhlräume mit ca. 13 l Formaldehyd gefüllt, um den Zersetzungsprozess für die Leichenschau zu verzögern. Zusätzlich führt ELSTON (2003) auf, dass auf dem „Christ the King Cemetery“ (Kanada) 100.000 Begräbnisstellen zur Verfügung stehen, so dass demnach von einem Formaldehydeintrag von 1,3 Mio. Liter in den Boden auszugehen ist. CHAN zit. in LITEPLO et al. (2002) ist diesbezüglich ganz anderer Meinung. Anhand von Grundwasseruntersuchungen auf 6 kanadischen Friedhöfen ist nur von einem geringen Austrag von Einbalsamierungsflüssigkeiten auszugehen. Im reinen Zustand ist Formaldehyd ein farbloses, stechend riechendes Gas, das etwas schwerer als Luft ist. Die Dämpfe reizen Augen und Schleimhäute. Der Kontakt mit der wässrigen Lösung führt zu Verätzungen, außerdem ist eine Ekzembildung möglich. Formaldehyd steht im Verdacht, Allergien und auch Krebs auszulösen. Beim Verschlucken treten schwere innere Verletzungen auf, die tödliche Dosis liegt bei 10-20ml konzentrierter Formaldehydlösung (http://www.seilnacht.tuttlingen.com/Chemie/ch_forma.htm).

Ein weiterer mengenmäßig großer Anteil an „Verwesungsstoffen“ stellen die pathogenen Keime dar, die einen Einfluss auf Mensch und Umwelt haben können. Vermehrte jedoch punktuelle Grundwasseruntersuchungen wurden Anfang des 19. Jahrhunderts bis in die 60er-70er Jahre des 21. Jahrhunderts vorgenommen. SCHRAPS (1971) konnte in seinen Studien auf einem Friedhof im Oberbergischen Kreis hohe Bakterienkonzentrationen, Ammoniumgehalte sowie Nitratgehalte an den Entnahmestellen feststellen. Mit zunehmender Entfernung zur Grabstätte wurde jedoch eine rasche Abnahme der Keimzahlen sowie der anorganischen und organischen Verunreinigungen festgestellt. Dennoch würde nach heutigen Maßstäben der Null-Grenzwert für Fäkalkeime sowie Coliforme Bakterien nach der Novellierung der Trinkwasser Verordnung (2001) weit überschritten werden. Auch Untersuchungen von VAN HAAREN in den Niederlanden (1951) zeigen eine hohe elektrische Leitfähigkeit von 2300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sowie erhöhte Chloridgehalte, Sulfate und Bikarbonate unter den Gräbern. In Australien wurden von DENT (1998) mehrere Friedhöfe untersucht. Er stellte fest, dass die Grundwasserinhalte der Friedhöfe der gegebenen Situation nach die regionalen hydrogeologisch-chemischen Begebenheiten und der Verwesungsstoffe der Verstorbenen wieder spiegeln. So misst er einen Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit bei den Erdgräbern, Coliforme Bakterien von überwiegend $n = 0$ jedoch in anderen Bereichen von bis zu $n = 2400$ (total). In Brasilien wurden von PACHECO (1991) 3 Friedhöfe auf pathogene Keime untersucht. Die Ergebnisse zeigen unter dem hygienischen und sanitären Aspekt und der unterschiedlichen geologischen Lage bzw. Beschaffenheit der Versuchsstandorte, dass unter bakteriologischen Gesichtspunkten die Belastung des Grundwassers beachtlich ist und demnach diese Friedhöfe eine Gefahr

für das Grundwasser darstellen. Eine abrupte Phosphatgehaltserhöhung von 5 auf 80 mg P_{ca} konnten in jüngsten Studien von FIEDLER et al. (2002) im Bereich der Grabsohle festgestellt werden, die dem Knochenabbau zu zuordnen sind.

Die Schwermetallakkumulationen in den Erdgräbern haben besonders dann einen Einfluss auf Mensch und Umwelt, wenn der für die Mobilisation des jeweiligen Metalls entsprechende pH-Wert im Boden erreicht wird. Die mobilisierten Metalle können so schnell ins Grundwasser gelangen oder auch über Pflanzenwurzeln aufgenommen und über Nutzpflanzen mit verzehrt werden.

Ähnliches gilt für radioaktive (ionisierende) Isotope. Diese können von Pflanzen bzw. aber auch von Pilzen aufgenommen und an andere Organismen übertragen werden. Jedoch fehlen in dieser Hinsicht aufklärende Messungen, so dass im Friedhofsbereich bis jetzt keine quantitativen Aussagen über die in diesem Zusammenhang vorherrschende Radioaktivität gemacht werden kann. Eine erste vorläufige Bewertung einer möglichen Kontamination kann über die Angaben der Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 vorgenommen werden.

Die Gasproduktion während des Verwesungsprozesses kann sich höchstens durch die hohe Konzentrationen in luftabgeschlossenen Grüften auf den Menschen negativ auswirken. BACH (1875) berichtet in diesem Zusammenhang, dass Übelkeit, Erbrechen und Durchfall die Folge sein können. Ansonsten lassen sich bei ungünstigen Grababdeckungen nur intensive Gerüche feststellen, die keine gesundheitlichen Probleme für den Menschen herbeiführen.

5.5 Fazit

Aus den vorgenommenen Untersuchungen auf Friedhofsstandorten bleiben die bodenkundlichen und hydrologischen Verhältnisse oft unberücksichtigt. Es entstehen dabei Schwierigkeiten hinsichtlich der Auswertbarkeit und Vergleichbarkeit des vorhandene Datenmaterials,

- da Referenzflächen nicht mitbeprobte wurden
- da die regionalen Verschiedenheiten keine direkten Vergleiche zulassen
- da keine Grenzwerte bzw. Prüfwerte definiert sind und demnach zwei Meinungen vorherrschen. Die eine, dass von Friedhöfen keine ausgehende Gefahr zu erwarten ist und die andere, dass gerade von diesen Flächen Kontaminationen ausgehen können

6 Der Einfluss von Wasser und Boden auf die Erdbestattung

Bei der Erdbestattung wird der Sarg sowie Leichnam an den Boden übergeben. Hier wirken die drei Phasen der Bodenmatrix auf den Verwesungsprozess ein.

Die Bodenmatrix besteht aus einer flüssigen, gasförmigen und festen Phase. Da diese Phasen sowohl räumlich als auch interaktiv stark zusammenhängen, lassen sie sich schwer getrennt von einander betrachten, so dass in den einzelnen Punkten Überschneidungen unvermeidbar sind.

6.1 Wasser

Die Feuchtigkeit gelangt auf zwei Wegen in den Boden. Über die Infiltration des Niederschlags und den kapillaren Aufstieg aus dem Grundwasser (SCHMIERL 1982). Die Niederschlagsmenge und die Exposition des Friedhofes ist dabei verantwortlich für das Einflussvermögen des Wassers auf die Zersetzungsintensität. Die klimatische Wasserbilanz, die zum Beispiel für das Sommerhalbjahr über ausgeglichene bis zu negativen Bilanzen verfügt, kann durch Gießwassermengen der Grabpflege erheblich beeinflusst werden. Nach BLUME (1980) handelt es sich um eine zusätzliche Wassermenge von 50-100 mm, WOURTSAKIS (2002) spricht von einer Menge von 500-1000 mm. Addiert man diese zusätzliche Wassermenge z.B. zur klimatischen Wasserbilanz von -150 bis <-50 (Jahresmittelniederschlag 720 mm) für Schleswig-Holstein (Fehman) hinzu, so würde man automatisch in einen positiven Bereich der nördlichen Kalkalpen gelangen (DVWK 1996). Zusätzlich entscheidet die Exposition des Friedhofgeländes (z.B. Hanglage oder Tallage), mit welcher Intension der Regen fällt und bestimmt damit, ob das Wasser entweder evapotranspirieren, sich ansammeln, auf der Oberfläche abfließen oder in die Bodenmatrix infiltrieren kann (DENT 1998). Infiltriert das Wasser, so kommt es in Kontakt mit dem Leichnam und wirkt auf den Verwesungsprozess ein. Es ist von der einen Seite notwendig, um den Mikroorganismen ein entsprechendes Feuchtigkeitsangebot zur Verfügung zu stellen und kann aber auf der anderen Seite bei einer zu hohen Wassermenge den Verwesungsprozess unterbinden. Des weiteren nimmt das Grundwasser Einfluss auf den Bodenwassergehalt. Die Korngrößenverteilung entscheidet dann über die Anteile von Stauwasser, Haftwasser, Adsorptions- und Kapillarwasser.

6.1.1 Stauwasser

Stauwasser bildet sich im Boden dort, wo es nach der Infiltration durch den Oberboden auf eine geringe wasserleitende also stauende Bodenschicht stößt. Dies tritt besonders im Frühjahr und im Frühsommer auf, wenn die meisten Niederschläge fallen. Im Laufe des Jahres

wird dieses Wasser über Versickerung und Wasserentzug durch die Vegetation verschwinden. Den Bodentyp bezeichnet man als Pseudogley, den man aufgrund seiner Rostfleckigkeit im Bodenprofil erkennen kann (BLUME 1986 in HARTGE 1999). Ein Stauwasserleiter, z.B. die Grabverfüllung, verfügt in der Regel über eine größere Wasserleitfähigkeit als der darunter liegende Staukörper.

Ein Beispiel aus der Landwirtschaft zeigt, dass im Pflugsohlenbereich (in ca. 30 cm Tiefe) eine stauende Schicht, aufgrund der Verschmierung des Bodens während der Pflugarbeiten, hervorgerufen werden kann. Bei der Grabtätigkeit für die Herrichtung eines Erdgrabes kann durch eine mechanische Schleifschicht, Trittvverdichtung etc. ein ähnlicher Zustand erreicht werden, der zu Staunässe führt (WILLIMANN 1996).

6.1.2 Adsorptions- und Kapillarwasser

Das Adsorptionswasser beschreibt den Zustand, bei dem die Wassermoleküle an den Bodenteilchen durch van der Waalsche Kräfte (zwischen den O-Atomen der mineralischen Substanz und der Wassermoleküle) und über elektrostatische Kräfte (zwischen geladener fester Oberfläche der Bodenteilchen und den hydratisierten Ionen und Wasserdipolen) gehalten werden. Das Kapillarwasser legt sich über die Schichten des Adsorptionswassers und bildet in Abhängigkeit vom Matrixpotential an den Berührungsstellen mit den festen Teilchen stark gekrümmte Menisken aus. Diese beruhen auf der Tendenz, kleine Werte hinsichtlich der Grenzfläche Luft-Wasser anzunehmen, um so einen energieärmeren Zustand zu erreichen. Das Kapillarwasser unterscheidet sich dabei vom Adsorptionswasser durch die fehlende Verdichtung und vom Sickerwasser durch das Fehlen einer schrägen oder vertikalen durch die Schwerkraft bedingten Abwärtsbewegung. Es wird gehalten durch Kohäsion und Adhäsion. Das Mengenverhältnis zwischen Adsorptionswasser und Kapillarwasser hängt vom Wassergehalt des Bodens ab. Mit wachsendem Wassergehalt nimmt auch der Anteil des Kapillarwassers zu (SCHEFFER / SCHACHTSCHABEL 2002). Bedeutend für das Kapillarwasser ist, dass es vom Porendurchmesser abhängig ist, je kleiner der Porendurchmesser also bei kleiner Körnung und damit resultierende stärkere Bindungskräfte sind, desto höher ist die kapillare Steighöhe (HINTERMAIER-ERHARD et al. 1997).

Der Kapillarhub beschreibt die Aufwärtsbewegung vom Grundwasser über den Kapillarsaum in Richtung Geländeoberkante, so dass in Abhängigkeit der Bodenart z.B. für Schluff eine kapillare Steighöhe bei einer kapillaren Steigrate von 3 mm/d von 150 cm resultieren kann. So macht sich der Kapillaranstieg trotz tiefer Grundwasserstände von 0,5 – 2 m Tiefe unter der

Grabsohle dadurch ungünstig bemerkbar, dass er eine dauernde Vernässung der Grabsohlen hervorruft (KELLER 1966).

6.1.3 Grundwasser

Das Grundwasser ist definiert als ständig vorhandenes unterirdisches Wasser, das die Hohlräume der Erdrinde zusammenhängend ausfüllt, allein der Schwerkraft unterworfen ist und sich durch Gefälle bzw. unterschiedliche Druckpotentiale bewegen kann (Bodenkundliche Kartieranleitung 1996). Unter Bezugnahme der klimatischen Wasserbilanz treten jahreszeitlich bedingte Grundwasserschwankungen auf (DVWK 1996). Diese bewirken, dass der Grundwasserspiegel zumindest temporär in die Grabsohle eindringen kann. Nach VOIGT (1974) und OLIVIER (1969) darf das Grundwasser unter dem Aspekt der Erdbestattung weder ständig noch zeitweise oberhalb der Grabsohle auftreten. Zu hohes anstehendes Grundwasser begünstigt die Adipocirebildung, so dass der Mindestabstand des Grundwasserspiegels von der Grabsohle mind. 50 cm betragen soll. Jedoch kurzzeitig höher anstehendes Grundwasser kann SCHÜTZENMEISTER (1972) ohne Störung des normalen Verwesungsablaufs hingenommen werden.

Die Hygiene Richtlinien verlangen eine Filtermächtigkeit zwischen Grabsohle und höchsten Grundwasserstand von mind. 70 cm. Letztendlich müssen jedoch die standortspezifischen Grundwasserabstände erfasst und darüber der Mindestabstand des Grundwasserflurabstandes abgeleitet werden (KELLER 1966, VOIGT 1974 in WOURTSAKIS 2003). Entsprechend müssen bei nassen Böden aufgrund des Grundwassereinflusses, die dennoch zur Bestattung herangezogen werden, die Begräbnisplätze angehoben oder drainiert werden (WEINIG 2003). Das anstehende Grundwasser verursacht, hervorgerufen durch erhöhte Niederschlagsmengen bzw. durch die oben aufgeführten zusätzliche Gießmengen (HORN et al. 2002) oder beeinflusst durch angrenzende hochwasserführende Flüsse bzw. Bäche, einen Luftabschluss in der Verwesungszone. Die Leichenumsetzung ist nicht mehr gewährleistet und es kann höchstens noch von einem verminderten Verwesungsprozess ausgegangen werden. Zusätzlich besteht die Gefahr in der Ausschwemmung von Leichenexudaten, wie Bakterien, Viren und anorganischen und organischen Abbaustoffen.

6.2 Boden

Der Boden wird charakterisiert über seine Textur (Korngrößenverteilung) und die damit verbundene Struktur, die Luftkapazität bzw. Luftaustauschrate, die Wasserleitfähigkeit, das Wasserspeichervermögen (Feldkapazität) sowie über das Sorptionsvermögen der Bodenteilchen weiter konkretisiert. Anhand dieser Bodenkenngrößen lässt sich der Eignungsgrad für den Zersetzungsprozess einer Leiche im Erdreich bestimmen bzw. Aussagen hinsichtlich dessen Inhibitionsvermögens auf die variablen und individuellen Faktoren vornehmen.

6.2.1 Friedhofsboden - „Nekrosol“

Nekrosole, die Rigosole der Friedhöfe, sind Böden, die aus klimatischer und lufthygienischer Sicht Grünflächen und Parkanlagen gleichzusetzen sind (BLUME 1981). Die Friedhofsböden können aufgrund des Erdaushubs bis zu einer Grabtiefe von 2 Meter intensiv gelockert sein, d.h. geringe Lagerungsdichten aufweisen, und sind je nach Alter der Friedhöfe bzw. der Humusmenge des ursprünglichen Bodentyps mit organischer Substanz (Tote, Holz, Torf) unterschiedlicher Zersetzbarkeit angereichert. Aufgrund der Grabtätigkeit für die Bestattungen findet eine tiefgründige Horizontalvermischung statt (GRENZIUS 1987). Lockerung und humusbedingte Verbesserung der Wasser- und Nährstoffversorgung der Böden führt im Zusammenhang mit der Bewässerung durch die Grabpflege zu höherer Feuchtigkeit im Boden und zu einer Intensivierung der Bodenentwicklung durch Organismen (SUKOPP et al. 1980, AEY 1990, BLUME 1996). Austauschbare Ca- und P-Nährstoffe sowie Stickstoff können in hohen Mengen verfügbar sein. Durch die künstliche Bewässerung weisen z.B. ursprünglich trockene Sandstandorte aufgrund der Friedhofsnutzung eine höhere Bodenfeuchte auf (AEY 1990). Untersuchungen von KAHLE (2003) im Stadtgebiet von Rostock zeigen für die Oberböden der Friedhöfe (die Grabfüllung bei einer Erdbestattung) Lagerungsdichten von 1,2 g/cm³ (gering). Im Unterboden werden die Lagerungsdichten aufgrund der gravimetrischen Auflast des darüber liegenden Bodenmaterials größer und liegen für den untersuchten Standort bei 1,34 g/cm³.

Bei unter Friedhofsnutzung stehenden Auftragsböden sind je nach Witterungsbedingungen und eingesetzten Maschinen Bearbeitungssohlen bzw. Verdichtungshorizonte mit plattenartigen Strukturen ausgebildet, welche die Funktion von Diffusionsbarrieren der Bodenluft bzw. von Wasserstauern haben (SCHMIDT-BARTELT et al. 1990). Im Bereich der Grabsohle kann es zusätzlich zu tiefgründigen Kontaminationen durch Schwermetallanreicherungen kommen. Diese resultieren nach SUKOPP et al. (1980) höchstwahrscheinlich von Sargbe-

schlagen. Auf einem Berliner Friedhof konnte er folgende Konzentrationen feststellen: Kupfer 15-25 mg/kg, Blei 25-75 mg/kg, Zink 31-82 mg/kg, Cadmium 0,8 –1,0 mg/kg. Diese Werte liegen dabei nach den Angaben der Europäischen Union ca. um ein zehnfaches unter den maximalzulässigen Metallkonzentrationen für Bodenkontaminationen.

6.2.2 Solleigenschaften eines Friedhofsbodens

In den länderspezifischen Gesetzgebung zur Bestattung werden die Solleigenschaften eines Friedhofsbodens mit unterschiedlichster Intensität beschrieben. Gemeinsam ist den Ausführungen, dass der Boden geeignet sein soll. Wie diese Eignung auszusehen hat, wurde schon 1891 innerhalb einer wissenschaftlichen Deputation für das Medizinalwesens Richtlinien aufgestellt (zit. in LAUTENSCHLÄGER 1934).

Es ist bei der Beurteilung von Friedhofsböden zu berücksichtigen, dass es sich bei den Gräbern nicht mehr um natürlich gewachsene Böden handelt. Der einzige Abschnitt, der noch einem Bodentyp zugeordnet werden kann, ist der Bereich der Grabsohle und die darunter liegende Filterschicht. Es handelt sich bei der Beschreibung der Solleigenschaften eines Friedhofstandortes um „Optimal-Parameter“, die wie BACHMANN (1988) beschreibt je nach geologischen und klimatischen Verhältnissen variieren und nicht immer angetroffen werden können.

Im Einzelnen lässt sich das Erdgrab in 5 Zonen (s. Abb.5) mit jeweils unterschiedlichen Funktionen aufteilen. Entsprechend ihrer Aufgaben muss das Bodenmaterial bestimmte Charakteristika aufweisen, die im Folgenden erläutert werden:

a) Deckschicht

Die Deckschicht bei der Erdbestattung besteht aus homogenisiertem Einfüllmaterial und verfügt deshalb über ein unkontinuierliches Porensystem, eine geringe Lagerungsdichte und eine generell höhere Wasserleitfähigkeit als bei einem natürlich gelagerten Boden. Die Mächtigkeit soll vom Sargdeckel bis zur Geländeoberkante mind. 90 cm ohne Grabhügel betragen. Der Boden sollte nach MÜLLER (1914) eine hohe Gaspermeabilität aufweisen, so dass die Hauptbodenart dem eines relativ grobkörniges poröses Material entspricht, das in der Lage ist, die entstehenden Geruchsstoffe aus Fäulnis und Verwesung zu absorbieren. Für einen ausreichenden Gasaustausch muss mindestens eine Luftkapazität von 10-15 Vol.-% oberhalb und innerhalb der Zersetzungszone vorhanden sein (WOURTSAKIS 2003, RAISSI und MÜLLER 1999, VOIGT 1974, SCHMIERL 1982). Die Werte für die gesättigte Wasserleitfähigkeit haben nach RAISSI und MÜLLER (1999) in einem Bereich - oberhalb und unterhalb der Zersetzungszone - von > 10 cm/d zu liegen. WOURTSAKIS (2003) führt eine notwendige Was-

serleitfähigkeit für die Deckschicht von 40-100 cm/d auf, die Horizonten mit guter Gefügeentwicklung, fein- bis mittelkörnigen Sanden bzw. mittel bis schwach zersetzten Torfen zuzuordnen sind (AG Boden 1996). Der optimale pH- Wert ist vor allem an den für die Mikroorganismenpopulation geeigneten pH-Bereich auszurichten. Dieser liegt bei 6-7,5 pH (sehr schwach sauer bis Neutralbereich). Die damit verbundene Kationenaustauschkapazität, als Maß für das Sorptionsvermögen und der Basensättigung [cmol_c/kg Boden], hat in einem Bereich von 150-180 cmol_c/kg bzw. 180-210 cmol_c/kg zu liegen (AG Boden 1996).

b) Zersetzungsschicht

Die Zersetzungsschicht hat die Aufgabe, die Verwesung zu unterstützen, die Zersetzungsprodukte aufzufangen und die Stoffe über physiko-chemische Mechanismen vom Sickerwasser zu trennen bzw. aufzuspalten (BACHMANN 1988). Diese Schicht soll dabei über eine Mindestmächtigkeit von 50 – 80 cm verfügen. In diesem Bereich muss besonders das infiltrierende Wasser ausreichend schnell abgeleitet werden können, um die Durchlüftung nicht zu unterbinden und die mikrobielle und chemische Umsetzung zu fördern. Bei Böden mit tiefem Grundwasserstand ist nach VOIGT (1974) ein überwiegender Anteil an Mittelporen ausreichend. Bei Staunäseeböden und Böden mit hohem Grundwasserstand sind weite Grobporen notwendig, die bei Feldkapazität, d.h. nach Ablauf des Sickerwassers, mit Luft gefüllt sind.

Die Bodenreaktion soll in einem pH-Bereich von 4,0-7,5, bei einer mittleren bis hohen Kationenaustauschkapazität, liegen.

c) Filtrations- und Filterschicht

Die Filtrations- und Filterschicht hat die Aufgabe, das herankommende Sickerwasser mit seinen Frachten aufzunehmen, mechanisch zu filtern und chemisch umzusetzen, ehe das Grundwasser erreicht wird (WEINIG 2003). Ihre Mächtigkeit soll nach RAISSI und MÜLLER (1999) mind. 70 cm, nach BACHMANN (1988) mind. 50 cm betragen. Die mechanische Filtration vollzieht sich, in dem die mit Hilfe der Sickerwässer transportierten Stoffe aufgrund der kleineren Porung des Filterbereichs zurückgehalten werden. Die chemische Filterung findet an den Reaktionsoberflächen der Bodenteilchen, die in Abhängigkeit vom Tonanteil zu bewerten sind, statt (ALBRECHT 2003). Eine zu enge Porung würde jedoch wieder einen Verzögerten Sickerwassertransport herbeiführen, der unter Umständen Staunässer hervorrufen. Positiv gesehen ist jedoch eine gewisse Verweildauer notwendig, um Umsetzungsprozesse zu gewährleisten. Die Verweildauer ist proportional zur Filterstrecke zu sehen. Je länger bzw. mächtiger die Filterschicht ist, desto geringer muss die Verweildauer in Abhängigkeit des Stoffverhaltens veranschlagt werden. Entsprechend müsste zum Beispiel bei grobtexturierten Böden aus Grobsanden und Kiesen wegen ihrer hohen Durchlässigkeit von 100 m pro Tag

und ihrer geringen Kationenaustauschkapazität eine mitunter größere Mächtigkeit der Filterschicht gewährleistet sein (VOIGT 1974, KELLER 1966). Die Wasserdurchlässigkeit unterhalb der Grabsohle soll so groß sein, dass in der Zersetzungsschicht keine über einen längeren Zeitraum wassergesättigte Verhältnisse vorherrschen können. Bei einem Grobporenanteil von 5-8 Vol.-% und einem kf-Wert von mehr als 20-100 cm/d ist die Forderung erfüllt (WOURTSAKIS 2002).

d) Kapillarsaum (-raum)

Über dem Grundwasser erhebt sich ein unterschiedlich hoch ansteigender Kapillarsaum, der bereits der wasserungesättigten Bodenzone gehört (KUNTZE 1994). Unmittelbar über der Grundwasseroberfläche also im unteren Bereich spricht man vom geschlossenen Kapillarsaum der obere ist der offene Kapillarsaum. Bei Grundwasserhöchststand darf der geschlossene Kapillarsaum die Filtrationsschicht nicht erreichen, da sonst, wenn auch nur temporär, Abbauprodukte und aus der Leiche stammende Mikroorganismen in unmittelbaren Kontakt mit dem Grundwasser gelangen können (BACHMANN 1988). Entsprechend ist die Festlegung der Kapillarsaummächtigkeit von den Grundwasserganglinien abhängig zu machen.

e) Grundwasser

Die Durchlüftung des Bodens hängt weiterhin vom Grundwasserstand und dem kapillaren Aufstieg ab. Somit ist es erforderlich, dass je feinporiger die Böden sind, desto größer der Grundwasserabstand sein muss. So hat der Grundwasserspiegel in Abhängigkeit seines Wasserhöchststandes und unter Berücksichtigung der Bodenart mit einem Mindestabstand von 50 cm unterhalb der Filterschicht zu liegen.

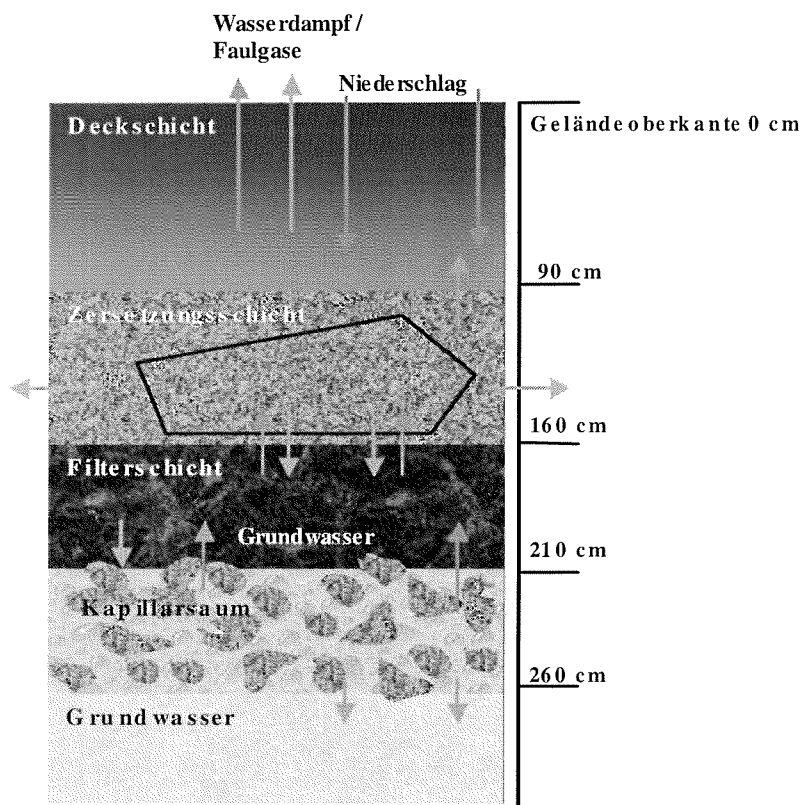


Abbildung 5 Schem. Darstellung eines Erdgrabes mit seinen 5 Funktionszonen und den Stoffflussrichtungen bzw. Frachttransport der Zersetzungsprodukte (———>) und des Wassers (- - - ->) (mod. nach Bachmann 1988)

6.3 Fazit

Trotz der eingehenden Kenntnis über die Eigenschaften verschiedener Bodentypen und ihrem Wasserhaushalt bleiben hinsichtlich der Bodenbeschaffenheit auf Friedhofsstandorten und ihren Einfluss auf Mensch und Umwelt nach wie vor wichtige Fragen offen:

- Sind unter dem Aspekt des Boden und Wasserschutzes die Erdgräber als Deponien anzusehen?
 - Bei einer abgedichteten Deponie ist aufgrund der vertikalen und horizontalen Versiegelung ein Sickerwasseraustritt ins Grundwasser nahezu ausgeschlossen. Im Gegensatz dazu verfügt das Erdgrab über eine lose in der Regel unverdichtete Verfüllung aus homogenisiertem Material. Dies bedingt eine geringe Lagerungsdichte und ein hohes Infiltrationsvermögen. Wie vom Deponiekörper gehen von dem Leichnam als organische Materie Verwesungsstoffe bzw. Abbauprodukte aus, die ungehindert in Ermangelung an Dichtungssystemen zur Seite und vertikal aus dem Grabbereich entweichen können.

- Ist der Friedhof gleichbedeutend mit einer punktuellen Schadstoffquelle?
 - Punktuell heißt, gut lokalisiert und räumlich begrenzt und der Schadstoffeintrag ist an dieser Stelle vergleichsweise hoch. Schadstoff und Quelle beschreiben den Schadstoff und dessen Exposition zum Grundwasser.

- Was für ein Gefährdungspotential können von Erdgräbern ausgehen?
 - Gräber können wegen des wiederverfüllten Aushubmaterials als zusätzlich Senken fungieren.
 - Es handelt sich um homogenisiertes Bodenmaterial, das in seiner Horizontabfolge keinem natürlich gewachsenen Boden zugeordnet werden kann und somit eine Übertragung der klassischen bodenkundlichen Kennwerten erschwert ist.

- Welche Ziele sind zu verfolgen?
 - Die Verankerung des Bundesbodenschutzgesetzes darf mit seiner Intension, die Funktionen des Bodens zu sichern oder wiederherzustellen und dabei schädliche Bodenveränderungen abzuwehren bzw. gegebenenfalls hierdurch verursachte Gewässerunreinigungen zu sanieren und Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen auf den Boden zu treffen, in den Auslegungen der Landesgesetzgebungen nicht unberücksichtigt bleiben (HOPPENBERG, 2002).
 - Eine Bewertung (Bestimmung der Geringfügigkeitsschwellen) des von Friedhöfen ausgehende Gefährdungspotentials muss vorgenommen werden.
 - Die Konzeption eines einheitlichen Bewertungssystems für Friedhofsstandorte ist dafür notwendig.

7 Vor- und Nachsorgegedanke

Unter der Annahme dessen, dass nicht jeder Boden für die Erdbestattung bzw. als Friedhofsstandort aufgrund seiner schlechten Eigenschaften für die Leichenzersetzung oder auch mögliche Gefahren für das Grundwasser darstellen kann, ist es notwendig, bundeseinheitliche Regelungen hinsichtlich einer Beurteilung von Friedhofsstandorten zu manifestieren.

So können im Vorwege Probleme, die zur verminderten Verwesungsprozessen führen, ausgeschlossen werden, die Friedhofsverwaltungen können besser ihre Grabstätten verwalten und unter dem Aspekt der Auslastung besser kalkulieren. Gefährdungen für Mensch und Umwelt könnten ausgeschlossen werden. Es gilt anhand einer „Umweltverträglichkeitsprüfung“, wie sie für bestimmte Anlagen (z.B. Verbrennungsanlagen, Mülldeponien) gesetzlich vorgeschrieben sind, die Vor- und Nachsorge in die Friedhofsplanung mit einzubeziehen (TA Friedhof =TASi).

7.1 Cemetery-Risk Assessment / Umweltverträglichkeitsprüfung

Weltweit werden bereits Konzepte angestrengt, inwiefern eine Art Umweltverträglichkeitsprüfung für Friedhöfe konzipiert werden kann. Die Environment Agency des United Kingdom (Assessing the Groundwater Pollution Potential of Cemetery Development 2002) stellt ein Rahmengerüst zur Gefährdungseinschätzung von Friedhofsstandorten vor.

Es geht dabei darum folgende Schritte (hier verkürzt dargestellt) in der Planung und Erweiterung und im weiteren Verlauf der Beobachtung zu berücksichtigen:

1) Risikoabschätzung durch das Heranziehen von:

- verfügbaren Informationen über den potentiellen Friedhofsstandort
- topographisches, geologisches und hydrologische Kartenmaterial
- Grundwassergefährdungsabschätzungskarten
- Informationen über Quellen, private Trinkwasserbrunnen und grundwassergespeistes Oberflächenwasser

2) Informationsbedarf über:

- den Standort
- die Anzahl und Arten der Bestattungen
- die meteorologischen Daten
- die Boden- und Unterbodeneigenschaften
- die geologische und hydrologische Beschaffenheit
- die Grundwasser- und Oberflächenwasserbeschaffenheit
- die bestehende Nähe von Wasserquellen

- der Abstand zu Wohnsiedlungen
- Auswertung bestehender Datenprotokolle

3) *Das Monitoring ist genauso wie für Deponien vorzunehmen.*

Das heißt im Einzelnen:

- es muss eine Bestimmung der Wasserqualität und die physikalischen Bedingungen für das umgebende Grundwasser und Oberflächenwasser vor dem Bauvorhaben (Erfassung des status quo) vorgenommen werden
- die Erfassung von gefährdungsanfälligen Bereichen ist notwendig
- es ist ein Frühwarnsystem für eine Umweltbelastung zu installieren

4) *Die Art und Weise der Überwachung sollte erfolgen über:*

- Beobachtungsbrunnen
- unterschiedliche Untersuchungsintervalle in Abhängigkeit der Gefährdungsabschätzung (monatlich, halbjährlich, jährlich):
 - monatlich: Beobachtungspunkte im Bereich des Grundwasser Auf- und Abstroms (mögliche Einschätzung des Verlaufs einer Kontaminationsfahne)
 - alle 4 Monate: Wasserstände, pH-Werte, Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, ungelöster Sauerstoff, NH₄, N, Cl
 - halbjährlich: SO₄, TON (gesamt N), TOC (gesamt C), Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, P

7.2 Bodenkundliches Bewertungsverfahren zur Bestimmung des Eignungsgrades von Friedhöfen

Eine erste Handhabung zur Bestimmung des Eignungsgrades von Friedhöfen wurde von FLEIGE et al. 2002 (Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde Kiel) vorgenommen. Die Handlungsanweisung ist noch in ihrer Erprobung und soll zukünftig, anhand von erhobenen Daten auf Problemstandorten ergänzt bzw. entsprechend angepasst werden. Mittels dieser Empfehlung lassen sich erste Abschätzungen für die Standortwahl zukünftiger Friedhofsflächen hinsichtlich der Verwesungsintensität und der daraus resultierenden Ruhezeit sowie eine Grundwassergefährdungsabschätzung vornehmen. In den folgenden Punkten wird die Vorgehensweise des Bewertungsverfahrens aufgeführt.

7.2.1 Standortbeschreibung

- Die Standortbeschreibung erfolgt am besten durch die Eintragung in ein bodenkundliches Aufnahmeblatt (siehe DVWK 1995 bzw. AG Boden 1994) kombiniert mit dem vorgeschlagenen Formular zur Bewertung der Eignung von Böden für die Erdbestattung. Bei der Standortbeschreibung muss die flächenhafte Verbreitung der Bodentypen (vgl. BÖKER et al. 1998, Bodenkarte bei BLUME 1996), z.B. durch eine Rasterkartierung (SCHLICHTING et al. 1995), festgestellt werden. Vorinformationen zur Fläche wie Bodenschätzung, geologische Karten, hydrologische Gutachten etc. sollten vorher eingesehen werden. Es ist zu klären, inwieweit bei reliefiertem Gelände laterale Stofftransporte zu erwarten sind.
- Besondere Bedeutung kommt der Tiefenlage von redoximorphen Horizonten wie Stauwasserhorizonte (Sw-, Sd-, Sg-, Sq-Horizonte), Grundwasserhorizonte (Go-, Gr-Horizonten) und Y-Horizonte der Reduktosole im Boden zu, da sie die Verwesungsintensität erheblich verlangsamen.

7.2.2 Verwesungseigenschaften des Standortes

Bei der Verwesung sind aus bodenkundlicher Sicht die Verwesungsbedingungen für die zersetzenden aeroben Mikroorganismen entscheidend. Die Verwesungsintensität ist dabei abhängig von der Konstellation der Standortfaktoren: Sauerstoffangebot, Bodenreaktion als Maß für Nährstoffangebot und -verfügbarkeit, Bodentemperatur und Bodenfeuchte. Die Umsetzung ist am intensivsten bei hohem Sauerstoffangebot und mittleren Feuchteverhältnissen, Bodenreaktionen zwischen pH-Werten von 6-8 und hohen Bodentemperaturen.

7.2.2.1 Sauerstoffangebot

Eine erste Bewertung der Sauerstoffverhältnisse in Abhängigkeit vom Bodentyp zeigt Tab. 13. Hierbei wird bereits deutlich, dass ein Großteil der Böden aus tiefgründigem Lockergestein aufgrund geringen Sauerstoffangebotes bzw. mehr oder weniger starker Nässeerscheinungen für die Verwesung vollkommen ungeeignet ist.

Für die weitere Bewertung der Verwesungsintensität eines Standortes werden daher nur Böden der **O₂-Stufe (Sauerstoffangebot) von 1-3** herangezogen.

Tabelle 13 Einstufung der Sauerstoffverhältnisse verbreiteter Böden aus Lockergestein oberhalb und innerhalb der Verwesungszone (verändert nach DVWK 1995); z = zeitweilig

Oberhalb der Verwesungszone ca. 0-8 dm	Innerhalb der Verwesungszone ca. 8-20 dm	Bodentypen (Auswahl)	O ₂ -Stufe (Sauerstoffangebot)
Hoch	hoch	Lockersyroseme, Regosole, Pararendzinen, Tschernoseme, Braunerden, Lessives, Podsole, Plaggenesche, Hortisole, Kolluvisole (keine Pseudovergleyung bzw. Vergleyungsmerkmale bis 2 m Tiefe)	1
z. mittel	z. mittel	Pelosole, Terrae calcis (keine Pseudovergleyung bzw. Vergleyungsmerkmale bis 2 m Tiefe)	2
z. mittel	z. mittel- gering	Tiefpseudovergleyte, pseudovergleyte bzw. Pseudogley- Braunerden, -Lessives, -Tschernoseme, -Podsole	3
z. mittel-gering	z. gering	Braunerde-Pseudogleye, Lessive-Pseudogleye, Podsol-Pseudogleye, Pseudogley-Pelosole	Für die Erdbestattung nicht geeignet *durch Dränung bei sandig-schluffiger Bodenart bedingt geeignet (dann Stufe 3)
z. gering	z. gering	Norm-Pseudogleye, Haftnässe-Pseudogleye*, Pelosol-Pseudogleye	
z. gering	sehr gering	Tiefvergleyte, vergleyte bzw. Gley-Braunerden*, -Lessives*, -Schwarzerden*, -Podsole*, -Kolluvisole *	
gering-sehr gering	sehr gering	Gleye*, Marschen*, Reduktosole, Moore	

Durch Dränung ist bei sandig-schluffigen Böden in Grabtiefe eine Verbesserung des Sauerstoffangebotes möglich. Böden in Überschwemmungsgebieten (Auenlandschaften) sowie Böden aus Festgestein (Ranker, Rendzinen) sind trotz teilweise hohen Sauerstoffangebotes nicht für die Erdbestattung geeignet.

7.2.2.2 Luftkapazität

Mit Zunahme des Grobporenanteils steigt die Luftkapazität und damit oberhalb von Grund- und Stauwasser auch das Sauerstoffangebot, so dass die Verwesungsintensität steigt (Tab. 14). Die Berechnung und Bewertung der Luftkapazität (konventionell Grobporenanteil) erfolgt auf Grundlage der Bodenart unter Berücksichtigung der effektiven Lagerungsdichte/Trockenrohdichte und der organischen Substanz (AG Boden 1994). Sauerstoff ist nicht zu erwarten, wenn es an Grobporen mangelt, mithin die Luftkapazität gering ist. Kies und Kluftgestein ist als ungeeignet einzustufen, da Verwesungsgeruch auftreten kann.

Tabelle 14 Zuschläge zu der O₂-Stufe durch die Luftkapazität

LK (Vol.-%)	<2	2-4	4-8	8-12	>12
Zuschlag	+2	+1.5	+1	+0.5	0

Die Porengrößenverteilung ist bei den Primärporen von der Körnung und Kornform, bei den Sekundärporen vom Bodengefüge abhängig. Der Anteil der Grobporen ist in der Regel um so

größer, je grobkörniger, also sandreicher die Böden sind. Mit steigender Aggregation nimmt die Rissausbildung und damit die Gaszügigkeit generell zu. Auf Friedhöfen führt allerdings die umfassende Störung des Bodenaufbaus zu einer weitgehenden Zerstörung dieser Strukturfunktion.

7.2.2.3 Bodenreaktion

Neben dem Sauerstoffangebot und der Luftkapazität ist die Bodenreaktion für die mikrobielle Tätigkeit und damit für die Verwesungsgeschwindigkeit von Bedeutung (Tab.15). Die Zersetzung ist stark pH-abhängig, so dass der pH-Wert als Maß für die gegenwärtige Verfügbarkeit der basischen Kationen wie K, Ca und Mg dienen kann.

Tabelle 15 Zuschläge zu der O₂-Stufe durch die Bodenreaktion

pH-Wert (CaCl ₂)	<4	4-6	6-8	>8
Zuschlag	+1	+0.5	0	+0.5

In der Regel sind in einer Grabtiefe zwischen 1,5 und 2m aufgrund noch geringer chemischer Verwitterung nur selten pH-Werte < 4, z.B. teilweise in glazifluvialen Sanden, zu erwarten, während andere Ausgangssubstrate der Bodenbildung, z.B. Geschiebelehm/-mergel oder Löss höhere pH-Werte in diesen Tiefen aufweisen. Durch Zugabe von Kalk bei dem Begräbnis kann die Verwesung optimiert werden.

7.2.2.4 Bodentemperatur

Der Abbau der Leiche dürfte in starker Abhängigkeit von der Bodentemperatur (Tab. 16) innerhalb der Zersetzungszone stehen, wo aufgrund der Tiefe nur noch geringe jahreszeitliche Temperaturschwankungen stattfinden. Mit zunehmenden Temperaturmittelwerten steigt die Verwesungsgeschwindigkeit. Die mittleren Bodentemperaturen liegen in den gemäßigten Breiten (und damit in Deutschland) um etwa 1°C höher als die mittleren Lufttemperaturen (USDA 1999), lassen sich mithin aus letzteren ableiten.

Tabelle 16 Zuschläge zu der O₂-Stufe durch die Jahresmitteltemperatur der Luft

Jahresmitteltemperatur der Luft (C°)	<4	4-8	>8
Zuschlag	+1	+0.5	0

7.2.2.5 Verwesungsstufe und empfohlene Ruhefristen

Der Verwesungsstufe ergibt sich aus der Summierung der Bemerkungen nach den Tab. 13-16. Auf Basis der Einstufung können verschiedene Ruhefristen empfohlen werden (Tab.17). Prin-

ziell gilt natürlich, dass die Böden möglichst eine hohe Verwesungsintensität aufweisen sollten.

Tabelle 17 Bewertung der Eignung von Böden für die Friedhofsnutzung und empfohlene Ruhefristen

Stufe	1-2	2.5-4	>4
Verwesungsintensität	hoch	mittel	gering
Empfohlene Ruhefristen	<20 Jahre	20-30 Jahre	>30 Jahre

Die Ruhefristen in den einzelnen Bundesländern variieren für Erwachsene z.B. von 15 Jahren in Baden-Württemberg, bis 30 Jahren in Hessen, wobei der Eignungsgrad der Böden für die Erdbestattung bisher nur in sofern eine Rolle spielt, als dass die Ruhefristen bei Verwesungsproblematiken zwangsweise verlängert werden.

7.2.3 Filtereigenschaften des Standortes

Bei der Betrachtung der Filtereigenschaften des Bodens gilt es zu unterscheiden zwischen anorganischen und organischen (Schad-)Stoffen. Bei Kenntnis des Verhaltens eines Stoffes im Boden ist eine erste Prognose der Grundwassergefährdung durch Friedhöfe basierend auf bestehenden Erkenntnissen möglich. Die mittlere jährliche klimatische Wasserbilanz für verschiedene Regionen Deutschlands und die daraus resultierende Sickerwassermenge ist aus DVWK 1999 bzw. AG Boden 1994 zu entnehmen. Es wird vorgeschlagen, aufgrund der zu erwartenden zugeführten Bewässerungsmenge durch Pflege des Grabes vorerst mit einem Aufschlag von 50-150 mm in Abhängigkeit von der mittleren jährlichen klimatischen Wasserbilanz zu kalkulieren (Tab. 18).

Tabelle 18 Zusätzliche Sickerwassermenge durch Bewässerung in Abhängigkeit von der mittleren jährlichen klimatischen Wasserbilanz

Mittlere jährliche klimatische Wasserbilanz (mm)	0-200	200-400	>400
Zusätzliche Sickerwassermenge durch Bewässerung (mm)	+150	+100	+50

Das Verhalten von Mikroorganismen im ungesättigten Unterboden erscheint noch weitgehend ungeklärt. Zur Abschätzung einer möglichen Grundwassergefährdung wird daher vorgeschlagen, die Sickerwasser-Aufenthaltsdauer in Beziehung zur wahrscheinlichen Lebensfähigkeit (z.B. die langlebigen E. Coli und Salmonellen > 2 Jahre) heranzuziehen (Tab. 19), mit dem Ziel eines weitgehend gesicherten, vollständigen Abbaus in der ungesättigten Filterschicht.

Tabelle 19 Bewertung der Grundwassergefährdung durch Mikroorganismen nach der Sickerwasseraufenthaltsdauer in der ungesättigten Bodenzone

Stufe	1	2	3
Grundwassergefährdung	gering	mittel	hoch
Aufenthalt des Sickerwassers im Boden in Jahren	>3	1-3	<1

Bei Schwermetallen, die an Ort und Stelle z.B. durch Zahnfüllungen mit Quecksilberanteilen bzw. die Sargbeschlüge mit Anteilen an Cadmium und Zink angereichert sein können, gilt es zu überprüfen, inwieweit die Unterböden die Fähigkeit besitzen, Schwermetalle in der Bodenlösung zu immobilisieren. Hierbei sind die sog. Grenz-pH-Werte der einzelnen Metallionen von Interesse, oberhalb deren eine starke Bindung im Boden erfolgt, so dass keine Grundwassergefährdung vorliegt. Während Hg bsp. erst bei pH <4 mobil wird, ist eine Verlagerung von Zn bzw. Cd mit dem Sickerwasser bereits bei pH <5.5 bzw. <6 möglich (DVWK 1988). Die potentielle Grundwasserkontamination durch Schwermetalle bei Überschreiten des Grenz-pH-Wertes wird vereinfacht über die Bindungsstärke in Abhängigkeit vom Tongehalt und der Filterstreckenmächtigkeit berechnet (Tab. 20). Der arithmetische Mittelwert aus dem Horizont mit der höchsten Bindungsstärke (>5 dm, wenn <5 dm horizontübergreifende Berechnung) und der Filterstrecken Stufe ergibt die Grundwassergefährdung durch Schwermetallionen (Tab. 21). Grobsande und insbesondere Kiese und klüftiges Festgestein sind nicht als Filter und somit für die Friedhofsnutzung geeignet.

Tabelle 20 Einstufung der Bindungsstärke und der Filterstrecke zur Einschätzung der Grundwassergefährdung durch Schwermetallionen bei Überschreiten des Grenz-pH-Wertes

Stufe	1	2	3
Bindungsstärke in Abhängigkeit von Tongehalt (Gew.-%)	Sl4, Ut3, Ut4, Tu, L, T	Su, St, Sl2, Sl3, Us, Uu, Ut2	fS, mS
Filterstrecke Grabsohle bis Oberkante Go-Horizont (m)	>5	2-5	>2

Tabelle 21 Bewertung der Grundwassergefährdung durch Schwermetallionen bei Überschreiten des Grenz-pH-Wertes

Stufe	1	1.5-2	2.5-3
Grundwassergefährdung	gering	mittel	hoch

7.3 Anwendungsbeispiele

Anhand von zwei Bodenbeispielen - Braunerde aus Schmelzwassersand über Geschiebelehm und Pseudogley-Parabraunerde aus Löss über Terrassensand- soll die Anwendung des Bewertungsverfahrens demonstriert und der Eignungsgrad dieser Bodentypen festgestellt werden.

7.3.1 Braunerde aus Schmelzwassersand über Geschiebelehm

Ap (30 cm), mS, Ld 3, Humus 2,3 %, pH 6.1, Bv (-50 cm), mS, Ld 3, pH 4.2, Cv1 (-180 cm), mS, Ld3, pH 4.6, Cv2 (-280 cm), mS, Ld 3, pH 4.7, IICv (-780 cm), Lt3, Ld 3, pH 5.8, Go (-840 cm), Gr (>840 cm), Grabtiefe 1,8 m, mittlere jährliche klimatische Wasserbilanz 250 mm, Jahresmitteltemperatur Luft: 7°C

Prognose der Verwesungsintensität des Bodens oberhalb der Grabsohle

Horizont	O ₂ -Stufe (Tab. 13)	LK ¹ (Vol.-%)	Zu-Schlag ² (Tab. 14)		pH (CaCl ₂)	Zu-Schlag ² (Tab. 15)		JMT Luft (°C)	Zu-schlag (Tab. 16)	Stufe: Verwesungsintensität ³ und empfohlene Ruhefristen (Tab. 17)
Ap	1	24	0	0	6.1	0	+0.5	7	0.5	1-2 (hoch) <20 Jahre
Bv		25	0	4.2	+0.5					
Cv1		25	0	4.6	+0.5					

¹LK nach AG Boden (1994), ²höchster Zuschlag entscheidet, ³O₂-Stufe plus Zuschläge

Prognose der Grundwassergefährdung unterhalb der Grabsohle: Mikroorganismen

Horizont	Sickerwassermenge ¹ (mm) (Tab. 18)	FK ² (mm*dm ⁻¹)	FK des Horizontes ² (mm)	Aufenthaltsdauer des Sickerwassers in Jahren pro Horizont ³	Aufenthaltsdauer in Jahren ⁴	Stufe: Grundwassergefährdung (Tab.19)
Cv2	350	11	110	0.3	6.5	1 (gering)
IICv		43.5	2175	6.2		
Go						

¹Mittlere klimatische jährliche Wasserbilanz plus geschätzte Bewässerungsmenge

²FK nach AG Boden (1994)

³Aufenthaltsdauer des Sickerwassers (Jahre) = FK des Horizontes (mm) : Sickerwassermenge (mm)

⁴Summe aller Horizonte

Prognose der Grundwassergefährdung unterhalb der Grabsohle: Schwermetalle

Horizont	pH	Grenz-pH ¹ 1=mobil, 2= immobil			Stufe: Bindungsstärke nach Tongehalt ² (Tab. 20)	Stufe: Filterstrecke Grabsohle bis Oberkante Go-Horizont (Tab. 20)	Stufe: Grundwassergefährdung ³ (Tab. 21)
		Hg	Zn	Cd			
Cv2	4.7	2	1	1	3	1 (gering, Cadmium)	
IICv	5.8	2	2	1	1		
Go							

¹Grenz-pH: Hg pH 4, Zn pH 5.5, Cd pH 6 (DVWK 1988), keine Grundwassergefährdung bei Nichtüberschreiten des Grenzwertes

²Horizont mit der stärksten Bindung entscheidet, Berechnungsbasis 5 dm, gegebenenfalls horizontübergreifend

³Arithm. Mittelwert aus Horizont(en) mit höchster Bindungsstärke und Filterstrecken-Stufe

Interpretation: Der mittelsandige Braunerde-Standort lässt aufgrund seines hohen Sauerstoffangebotes in Verbindung mit hohen Luftkapazitäten im gesamten Profilverlauf bis zur Grabsohle eine hohe Verwesungsintensität erwarten. Ein Eintrag von langlebigen Mikroorganismen in das tiefstehende

Grundwasser erscheint aufgrund der langen Aufenthaltsdauer des Sickerwassers im Boden nahezu ausgeschlossen. Eine Verlagerung von Cd ist aufgrund des Überschreitens des pH-Grenzwertes in tieferliegende Bodenhorizonte möglich, wobei eine Grundwassergefährdung aufgrund der hohen Filterwirkung des lehmigen Horizontes und der großen Filterstrecke allerdings nur gering ist.

7.3.2 Pseudogley-Parabraunerde aus Löss über Terrassensand

Ah (10 cm), Ut3, Ld 3, Humus 3 %, pH 6.5, SwAl (-60 cm), Ut3, Ld 3, pH 4.8, SdBt (-100 cm), Ut4, Ld4, pH 5.4, Cv1 (-180 cm), Ut3, Ld 3, pH 5.7, Cv2 (-200 cm), Ut3, Ld 3, pH 5.8, IICv (-300 cm), mS, Ld3, pH 5.6, Go (-320 cm), Gr (>320 cm) Grabtiefe 1,8 m, mittlere jährliche klimatische Wasserbilanz 150 mm, Jahresmitteltemperatur Luft: 7°C

Prognose der Verwesungsintensität des Bodens oberhalb der Grabsohle

Horizont	O ₂ -Stufe (Tab. 13)	LK ¹ (Vol.-%)	Zu-Schlag ² (Tab.14)		pH (CaCl ₂)	Zu-Schlag ² (Tab. 15)		JMT Luft (°C)	Zu-schlag (Tab. 16)	Stufe: Verwesungsintensität ³ und empfohlene Ruhefristen (Tab. 17)
Ah	3	6	+1	+1.5	6.5	0	+0.5	7	0.5	>4 (gering) >30 Jahre
SwAl		4.5	+1		4.8	+0.5				
SdBt		2.5	+1.5		5.4	+0.5				
Cv1		4.5	+1		5.7	+0.5				

¹LK nach AG Boden (1994), ²höchster Zuschlag entscheidet, ³O₂-Stufe plus Zuschläge

Prognose der Grundwassergefährdung unterhalb der Grabsohle: Mikroorganismen

Horizont	Sickerwassermenge ¹ (mm) (Tab. 18)	FK ² (mm*dm ⁻¹)	FK des Horizontes ² (mm)	Aufenthaltsdauer des Sickerwassers in Jahren pro Horizont ³	Aufenthaltsdauer in Jahren ⁴	Stufe: Grundwassergefährdung (Tab. 19)
Cv2	300	36	72	0.2	0.6	3 (hoch)
IICv		11	110	0.4		
Go						

¹Mittlere klimatische jährliche Wasserbilanz plus geschätzte Bewässerungsmenge

²FK nach AG Boden (1994)

³Aufenthaltsdauer des Sickerwassers (Jahre) = FK des Horizontes (mm) : Sickerwassermenge (mm)

⁴Summe aller Horizonte

Prognose der Grundwassergefährdung unterhalb der Grabsohle: Schwermetalle

Horizont	pH	Grenz-pH ¹ 1=mobil, 2=immobil			Stufe: Bindungsstärke nach Tongehalt ² (Tab. 20)	Stufe: Filterstrecke Grabsohle bis Oberkante Go-Horizont (Tab. 20)	Stufe: Grundwassergefährdung ³ (Tab. 21)
		Hg	Zn	Cd			
Cv2	5.8	2	2	1	1	3 (hoch, Cadmium)	
IICv	5.6	2	2	1	3		
Go							

¹Grenz-pH: Hg pH 4, Zn pH 5.5, Cd pH 6 (DVWK 1988), keine Grundwassergefährdung bei Nichtüberschreiten

des Grenzwertes

²Horizont mit der stärksten Bindung entscheidet, Berechnungsbasis 5 dm, gegebenenfalls horizontübergreifend

³Arithm. Mittelwert aus Horizont(en) mit höchster Bindungsstärke und Filterstrecken-Stufe

Interpretation: Die Pseudogley-Parabraunerde aus tonigem Schluff ist nur schlecht geeignet für die Erdbestattung aufgrund des zeitweilig geringen Sauerstoffangebotes und geringer Luftkapazität, so dass eine geringe Verwesungsintensität zu erwarten ist. Einen Eintrag von Mikroorganismen in das Grundwasser erscheint aufgrund der kurzen Aufenthaltsdauer des Sickerwassers im Boden als wahrscheinlich. Eine Verlagerung von Cadmium in das Grundwasser ist aufgrund des Unterschreitens des pH-Grenzwertes sowie der geringen Bindungsstärke der Horizonte und der geringen Filterstrecke möglich.

7.4 Möglichkeiten der Sanierung bzw. Sicherung von Problemstandorten

Im Friedhofswesen haben sich seit mehreren Jahren verschiedenste technische Möglichkeiten entwickelt, um Zersetzungsschwierigen zu vermeiden oder wieder rückgängig zu machen. Zu den bekanntesten Methoden ist die Verlegung von Dränagen zur Abführung überschüssigen Wassers sowie die Erdaufschüttung zu nennen, wenn die Grundwasserspiegel zu hoch an der Grabsohle anstehen und die vorgeschriebene Bestattungstiefe nicht eingehalten werden kann. Weitere Systeme sind Grabkammern, die oft dort installiert werden, wo aufgrund der Boden- und Wasserverhältnisse die ernsthafte Gefahr besteht, dass die Friedhofsflächen nicht mehr genutzt werden können (HERNE 1994). Die Grabkammertypen unterscheiden sich dahingehend, dass sie im Grabsohlenbereich entweder offen oder geschlossen sind. Entsprechend gibt es unterschiedliche Filtersysteme wie z.B. Biofilter oder Aktivkohlefilter. Die biologischen Filter binden über Mikroorganismen Geruchsstoffe wie Ammoniak, Schwefelwasserstoff, kurzkettige Alkohole etc. und frei werdende Gase und wandeln sie in ihre Primärbestandteile um (MATHYS, 1998). Die Aktivkohlefilter beruhen auf einer rein physikalisch und adsorptiven Weise. In manchen Friedhofsbereichen, auf denen man vermutet, dass die Zersetzung nicht optimal verläuft und die Gefahr der Fettwachsleichen besteht, versucht man über technische Hilfsmittel Sauerstoff in den Grabbereich zu befördern. Ein diesbezügliches Forschungsprojekt läuft im Schwarzwald. Diese Maßnahme ist möglich über Belüftungsrohre zur kontinuierlichen Luftzufuhr, über Rohre zur häufigen Belüftung mittels Druckluft und Diffusionsstäben. Darüber hinaus werden dem Grab Bodenhilfsstoffe wie zum Beispiel Universal-Komposter, Pilzkulturen für die Sargzersetzung beigemischt, um den Zersetzungsprozess anzuregen (SCHMIDT und GRAW 2002). In Norwegen war man mit dem Gedanken an den Umweltschutz bezogen auf Friedhöfen schon weiter vorangeschritten. Hier wurden vermehrt Grabhüllen verwendet, die die Leichenstoffe aufnehmen und ein unkontrolliertes Versickern in das Grundwasser verhindern sollen. Das Resultat nach Ablauf der 30 Jährigen Ruhefrist war, dass die Leichname zu Wachsleichen "umgesetzt" worden sind. Über thermisch wirkende

Reagenzien, die über ein Bohrgestänge an Kopf und Fußende des Grabes eingebracht werden, soll durch die Wärmeentwicklung bzw. entsprechenden exothermen Reaktion von bis zu 300°C die Umsetzung wieder aktiviert werden (SEHER 2003). Des weiteren geht man dazu über Kalkzuschläge in das Erdgrab zu geben. Man verfolgt dabei die Intension, den pH-Wert zu erhöhen, die Feuchtigkeit zu binden und das Gefüge zu stabilisieren (MILBERT 2002).

7.5 Fazit

Für die Gewährleistung eines gesicherten Friedhofsstandortes sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

- die Planung von Friedhöfen darf nicht nach ausschließlich ästhetischen Gesichtspunkten (schöne Sichtachsen begünstigen nicht einen optimalen Verwesungsablauf) verlaufen
- es ist eine ganzheitliche Berücksichtigung bodenkundlicher, geologischer und hydrologischer Aspekte vorzunehmen
- es ist dabei erforderlich, eine Verknüpfung des landesweit vorhandenen Datenmaterials und Austausch von Informationen herzustellen
- die Gewährleistung eines einheitlichen Untersuchungsstandards unter der Berücksichtigung einer Art UVP für Friedhöfe ist notwendig
- nur über die Vermeidung von Verwesungshindernissen kann eine pietätvolle Bestattung gewährleistet werden

8 Zusammenfassung

Die Studie zur Bodenbeschaffenheit und Zersetzungsproblematik auf Friedhöfen verdeutlicht nach den ermittelten praktischen Erfahrungswerten der Friedhofs- und Gesundheitsämter durch die Fragebogenaktion, dass 26 % der Rückläufe Verwesungsprobleme auf ihren Friedhöfen angeben haben und die Wachsleichenproblematik mit 53 % dominierend ist, aber auch die Mumifikationsangaben mit 9 % berücksichtigt werden müssen. Ebenso verdeutlicht vor allem die süddeutsche Tagespresse, dass diese Probleme nicht mehr tabuisiert werden und in den Gemeinden und Städten Gehör finden.

Darüber hinaus legt die intensive Literaturrecherche dar, dass über einen großen Zeitraum hinweg nur unzureichende Untersuchungen (Grundwasseranalysen, Bodenuntersuchungen, etc.) auf Friedhofsstandorten vorgenommen worden sind und die bereits bestehenden Ableitungen aus den Handlungsempfehlungen als vorläufig betrachtet werden müssen, da ausreichend charakterisierende Felduntersuchungen fehlen. Die einzelnen Schritte der menschlichen Zersetzung und deren Störungserscheinungen (Wachsleichenbildung) sind durch die forensische Medizin unter dem Aspekt der Todeszeitpunktfeststellung intensiv untersucht worden. Es fehlen jedoch genauere Untersuchungspunkte hinsichtlich der Bodeneigenschaften gepaart mit den klimatischen Faktoren, die zu solchen Zuständen führen bzw. welche Möglichkeiten herangezogen werden können, um die Wachsleichen wieder in den Verwesungsprozess zu überführen. Von der rechtlichen Seite des Bestattungswesen bleiben nach wie vor Fragen hinsichtlich des adäquaten Umgangs mit Verwesungsstörungen sowie die gesicherte Einbettung des Wasser- und Bodenschutzes offen.

Um praktikable Lösungen für Problemstandorte herbeizuführen, die einen gesicherten Betriebsablauf auf Friedhöfen gewährleisten und dem Vorsorgeaspekt des Umweltschutzes Rechnung tragen, ist es notwendig, eingehende Feldforschungen an unterschiedlichen Friedhofsstandorten in Deutschland vorzunehmen. Nur so können gesicherte Aussagen über die Ursachen, die zu Verwesungsstörungen führen sowie Grundwassergefährdungsprognosen gemacht werden. Basierend auf den Untersuchungsergebnissen ließe sich eine Handhabung konzipieren, die bundesweit als „Friedhofs-Manual“ vorgeschlagen werden und den kommunalen, gemeindlichen, kirchlichen und auch privaten Friedhofsträgern als Leitfaden für den Betriebsablauf dienen kann.

9 Literaturverzeichnis

- **Aeschlimann, E.** (2002): Probleme mit der Erdbestattung. Friedhofskultur 02/02 S 24-26
- **Albrecht, M.** (2002): Bodenschutz auf dem Friedhof. Friedhofskultur 02/02 S 14-15
- **Albrecht, M.** (2002): Aktuelle Planungsfragen aus den Friedhofsverwaltungen- Bewertungen aus bodenkundlicher-hygienischer Sicht. 2. Friedhofstagung Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz 10. April 2002 Mainz
- **Albrecht, M.** (2002): Verwesungsprobleme: Technische Maßnahmen sollen helfen. Friedhofskultur 02/02 S. 28-30
- **Albrecht, M.** et al. (1996): Die bodenkundliche Untersuchung von Friedhofsflächen. DFK 08/96 S. 286-288
- **Alison, L.** et al. (2000): Organic Contamination in Soils Associated with Cemeteries. Journal of Soil Contamination, 9 (2): pp. 87-97
- **Anton, H.** (-): Die Verwesungskraft des Friedhofsbodens bei der Bestattung von Leichen im Gemeingrab und im Einzelgrabe. Hygienisches Institut der Universität München
- **Bach, O.** (1875-76): Untersuchungen von Gräbergase. Gesundheit 1. Jahrgang S. 102
- **Bachmann, W.** (1988): Friedhofs- und Bestattungshygiene. In: Das Grüne Gehirn, (Loseblattausgabe E 3.8.2., S. 1-24), 8. Aufl., Verlag R. S. Schulz, Percha und Kempfenhausen am Sternberger See
- **Berg, S.** (1958): Untersuchungen zur Bestimmung der Liegezeit von Skeletteilen. Dtsch. Zeitschrift für gerichtliche Medizin, Bd. 47, S. 209-241
- **Blume, H-P.** (1996): Böden städtisch-industrielle Verdichtungsräume; in: (Hrsg.)Blume, H.-P.; Felix-Henningsen, P.; Fischer, W. R.; Frede, H.-G.; Horn, R.; Stahr, K.: Handbuch der Bodenkunde, Kap. 3.4.4.9; ecomed, Landsberg
- **Blumenthal-Barby, P. F.** (1983): Post finem; Zeitschrift Hygiene 29 Heft 8
- **Born, E.** (1959): Über natürliche Mumifizierung. Zbl. Allg. Path. Path. Anat. 99, S.490-499
- **Borneff J.,** et al. (1991): Hygiene. Georg Thieme Verlag, Stuttgart- New York.
- **Bouchon, K. & Henkel, G.** (1978): Kriterien und Verfahren zur Ausweisung von Friedhofsstandorten. –Standortkriterien-, Das Gartenamt, 7, S. 441-452, 5 Abb., Bonn.
- **Büchi, H.** und I. Willimann (2002): Verdachtsfläche Friedhof: Umweltgefährdung durch Leichenzersetzung? Wasser und Boden S 20-24 54/11
- **Burghardt, W.** (1994): Soils in urban and industrial environments; Z. Pflanzenern. Bodenk., 157, S. 205-214
- **Cotton G. E.,** et al. (1987) : Preservation of Human Tissue Immersed for Five Years in Fresh Water of Known Temperature. Journal of Forensic Sciences, Vol. 32, No. 4: 1125-1130.
- **Cunningham A. B.,** et al. (1991): Influence of Biofilm Accumulation on Porous Media Hydrodynamics. Environ. Sci. Technol., 25 (7), 1305-1311.
- **Daldrup T.** (1978): Postmortaler Eiweißzerfall in menschlichen Organen. Dissertation Uni Göttingen Tritsch Verlag, Düsseldorf.
- **Danielopol D. L.** (1983): Gewässerökologie: Der Einfluss organischer Verschmutzung auf das Grundwasser-Ökosystem der Donau im Raum Wien und Niederösterreich. Bundesministerium für Gesundheit und Umweltschutz Österreich.
- **De Jongh, D. S.** et al. (1968): Postmortem Bacteriology. The American Journal of Clinical Pathology. Vol. 49, No. 3 p.424-428
- **Dent, B.; Knight M.** (1998): Cemeteries: A special kind of landfill. The context of their sustainable management. National Centre for Groundwater Management, University of Technology, Sydney. International Association of Hydrologists International Groundwater Conference 1998
- **Dorn J. M., Hopkins B. M.** (1985): Thanatochemistry. Reston Publishing Company, Reston.
- **DVWK** (1988): Filtereigenschaften des Bodens gegenüber Schadstoffen. Merkblätter 212, Kommissionsvertrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gs und Wasser mbH, Bonn.
- **DVWK** (1995): Gefügestabilität ackerbaulich genutzter Mineralböden Teil I: Mechanische Belastbarkeit. Merkblätter 234, Kommissionsvertrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gs und Wasser mbH, Bonn.
- **DVWK** (1997) : Gefügestabilität ackerbaulich genutzter Mineralböden. Teil II: Ableitung physikalischer Bodenkenngrößen. Merkblätter 235, Kommissionsvertrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gs und Wasser mbH, Bonn.
- **DVWK** (2001): Gefügestabilität ackerbaulich genutzter Mineralböden. Teil III: Empfehlungen zur standortgerechten Landbewirtschaftung. H.236, Kommissionsvertrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gs und Wasser mbH, Bonn. im Druck
- **Evans, W.** (1963): Adipocere formation in a relatively dry environment. Medicine, Science and the Law, 3, 145-153.
- **Evans, W.** (1963): The Chemistry of Death. Charles C. Thomas, Springfield, Illinois

- **Fiedler, S.** et al. (2001): Untersuchungen von Friedhofsböden (Nekrosolen) auf einem Problemstandort. Seminar: Friedhöfe in Baden-Württemberg.
- **Fiedler, S.** et al. (2002): Bildung so genannter Fettwachsleichen in redoximorphen Nekrosolen- Beispiel St. Georgen. *Wasser und Boden* 54 11/2002
- **Fiedler, S.** et al. (2003) : Decomposition of buried corpses, with special reference to the formation of adipocere. *Naturwissenschaften* (2003) 90: 291-300
- **Fleige, H.;** Horn R. et al. (2002): Bodenkundliche Bewertungsverfahren zur Bestimmung des Eignungsgrades von Friedhöfen. *Wasser & Boden* 54/, S. 31-39
- **Forbes SL,** (2002): An Investigation of the Formation of Adipocere in Grave Soils, 16th International Symposium on the Forensic Sciences, Canberra, May, Forensic Sciences - Outcomes for Society Handbook, 162-163
- **Forster, B.** und D. Ropohl (1987): Rechtsmedizin. Ferdinand Enke Verlag Stuttgart
- **Froentjes, W.** (1965): „Kurzer Bericht über die unvollständige Leichenzersetzung auf Friedhöfen und die Adipocirebildung.“ *Deutsche Zeitschrift für die gesamte Gerichtliche Medizin* 56: 205-207.
- **Gaedke, J.** (1992): Handbuch des Friedhofs- und Bestattungsrechts, 6. Aufl., 696 S., Carl Heymanns Verlag, Köln, Berlin, Bonn, München.
- **Gaedke, J.** (2002): Friedhofs- und Bestattungsrecht. Heymann Verlag
- **Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz** (1994): Merkblatt „Kriterien für die Untersuchung und Bewertung der Eignung des Bodens für die Erdbestattung [unveröff.]
- **Gerba C. P.,** Bitton G. (1984): Microbial Pollutants: Their Survival and Transport Pattern to Groundwater. In: Bitton, Gerba: Groundwater – Pollution – Microbiology. John Wiley & Sons.
- **Gesetz** und Verordnungsblatt für Rheinland-Pfalz, S. 133, Mainz.
- **Gfeller, H.** (1927): Über das Leichenwachs. Inaugural-Dissertation Phil. Fakultät Bern
- **Gisi U.,** et al. (1990) : Bodenökologie. Thieme Verlag, Stuttgart – New York.
- **Graw M;** Schmidt, M.; Schneckenberger, K.; Fiedler, S. (2002): Degradation von Leichen-Fäulnis, Verwesung und Artefaktbildung. *Zeitschrift Wasser & Boden*, 11.
- **Graw, M.** (2002): Forschungsprojekt zur Problematik der Verwesung läuft im Schwarzwald. Friedhofskultur Feb. 2002
- **Graw, M.** and H.-T. Haffner (2001): “ Studie zur Zersetzungsproblematik auf Friedhöfen in Baden-Württemberg.“ *Die Gemeinde* 8: 284-285.
- **Hackenberg, H. W.** (1970): Untersuchungsmethoden der Hygiene. – 715 S. 142 Abb., 52 Tab., VEB Verl. Volk u. Gesundheit, Berlin.
- **Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie** (2002): Arbeitshilfen für bodenkundliche Anforderungen bei der Anlage oder Erweiterung von Friedhöfen; Untersuchungskriterien zur Bewertung der Eignung der Böden für Erdbestattungen
- **Hessisches Ministerium des Inneren und für Europaangelegenheiten** (1991): Anlegung und Erweiterung von Friedhöfen. – Erlass v. 17.01.1991; *Staatsanzeiger für das Land Hessen* 31/1991, S. 1834-1835, Wiesbaden.
- **Hintermaier-Erhard G.** et al. (1997): Wörterbuch der Bodenkunde. Enke Verlag
- **Hoppenberg, M.** (2002): Rechtliche Aspekte des Bodenschutzes im Friedhofswesen. *Friedhofskultur* Feb. 2002
- **Horn, R.,** Fleige, H. (2001): Bodenkundliche Anforderungen für die Erdbestattung. In: *Friedhofssysteme – Schutz für Boden und Wasser* (Gütegemeinschaft Friedhofssysteme, Hrsg.), Berlin.
- **Hygiene-Richtlinien** für die Anlage und Erweiterung von Begräbnisplätzen (979); Nordrhein-Westfalen (2001). Ministerialblatt des Landes NRW, 16.
- **Illi M.** (1992): *Wohin die Toten gingen.* Chronos Verlag, Zürich.
- **Jachau, K.;** Krause, D. (2002): Späte Leichenerscheinungen. *Rechtsmedizin* 3 2002 S. 175-182
- **Janaway R. C.** (1987): The preservation of organic materials in association with metal artifacts deposited in inhumation graves. In: Boddington A., et al.: *Death, decay and reconstruction.* Manchester University Press, Manchester.
- **Kahle, P.** (2003): Bodenphysikalische Eigenschaften anthropogener Böden im Stadtgebiet von Rosstock. *Wasser und Boden*, 55/1+2 S. 24-28 (2003)
- **Keller, G.** (1966): Über die Eignung nordwestdeutsche Böden für die Erdbestattung. *Z. deutsch. geol. Ges.* 1963 Band 115 S.609-616
- **Killam E. W.** (1990): *The Detection of Human Remains.* Charles C. Thomas Publisher, Springfield, Illinois.
- **Klöppling, K.** (1994): Umweltschutz contra Totenkult?
- **Kratter, J** (1912): Lehrbuch der gerichtlichen Medizin. S. 46-72 Enke Verlag
- **Kratter, J** (1919): Leichenwesen einschließlich der Feuerbestattung. In A., Gärtner (Hrsg.) *Weyls Handbuch der Hygiene.* Vol. 2 Verlag von Johann Ambrosius Barth, Leipzig
- **Kratter, J.** (1880): Studien über Adipocire. *Zeitschrift für Biologie.* 16 S. 455-492

- **Kratter, J.** (1896): Adipocire, In A. Eulenburg (Hrsg), Real-Encyclopädie der gesamten Heilkunde. Vol. 1, Urban & Schwarzenberg, Wien S. 290-306
- **Krauland, W.** (1943): Fettwachsbildung unter ungewöhnlichen Bedingungen. Dtsch. Zeitschrift für die gesamte gerichtliche Medizin Bd. 37 S.179-189
- **Kuntze, H.** et al. (1994): Bodenkunde. Ulmer Verlag 5. Auflage
- **Landesgesetz** über das Friedhofs- und Bestattungswesen (Bestattungsgesetz- BestG) vom 04. März 1983; Gesetz und Verordnungsblatt für Rheinland-Pfalz, S. 69, Mainz.
- **Landesverordnung** zur Durchführung des Bestattungsgesetzes vom 20. Juni 1983;
- Laske, D. (1995): Friedhöfe-Ökologische Nischen und heitere Ruhegärten. – Naturw. Rdsch., 48. Jahrgang, H. 9. S. 343-349.
- **Lautenschläger, O.** (1934): Die Böden der Friedhöfe Dissertation. Technische Hochschule Danzig
- **Liteplo, R. G** et al. (2002): Formaldehyde. World Health Organisations Geneva, 2002 S.9
- **Lorke, D.** und O. Schmidt (1952): Fäulnis und Verwesung im Experiment. Dtsch. Zeitschrift für gerichtliche Medizin, Bd. 41, S. 236-239
- **Lötterle, J.** et al. (1981) : Einfluß der Bodenart auf die Leichendekomposition bei langen Liegezeiten. Beiträge zur gerichtlichen Medizin Wien S.197-201 ISSN 0067-5016
- **Mann R. W.**, et al. (1990): Time since death and decomposition of the human body: Variables and observations in case and experimental field studies. Journal of Forensic Sciences, 35(1), 103-111.
- **Mant, A. K.** (1957): Adipocere- A Review. J. of Forensic Sciences 4 S. 18-35
- **Mathys W.** (1998): Gutachten Wirksamkeit von Geruchsbiofiltern System Biologic in wiederverwendbaren Grabkammern System Rhema; Institut für Hygiene Westfälische Wilhelms- Universität Münster
- **Matthes, X (1903)**: Zur Frage der Erdbestattung vom Standpunkt der öffentlichen Gesundheitspflege. Z. f. Hygiene und Infektionskrankheiten Berlin, Göttingen, Heidelberg Springer S. 439-468
- **Mengede, R.** et al. (2000): Langzeitversuch zur Bodenatmung auf einem Friedhof. Dtsch. Bodenkundl. Gesellschaft 96/II S.531-532
- **Meuser, H.**, Schluß, U. et al (1998): Bodenmerkmale montan-industrieller Standorte in Essen Z. Pflanzenern., Bodenk., 161 S. 197-203 (1998)
- **Micozzi, M. S.** (1986): Experimental Study of Postmortem Change Under Field Conditions: Effects of Freezing, Thawing, and Mechanical Injury. Journal of Forensic Science, 31/3 S.953-961.
- **Milbert, G.** (2002): Geologisch-bodenkundliche Gutachte zur Neuanlage und Erweiterung von Begräbnisplätzen-Vorgehensweise und Vorschläge für Herrichtungsmaßnahmen. 2. Friedhofstagung des Geologischen Landesamtes Rheinland-Pfalz 10. April 2002 Mainz
- **Mollweide, H.-U.** (1983): Gefährdung des Grundwassers bei Erdbestattungen. Z. ges. Hygiene 29 1983
- **Müller, W.** (1914): Physikalisch-chemische Bestimmungen über die Entstehung und Vermeidung des Leichenwachses auf Friedhöfen. Archiv für Hygiene und Bakteriologie München Bd. 83 S. 285-326
- **Mursch, K.** (1992): Histochemische Untersuchungen der Leichenlipide in menschlichen Knochenfunden zur Schätzung der Liegezeit. Dissertation
- **National Groundwater** and Contaminated Land Centre Environment Agency UK: Assessing the Groundwater Pollution Potential of Cemetery Developments (2002)
- **Olivier, G.** (1969): Hygiene des Leichenwesens. -In: das öffentliche Gesundheitswesen, 3. Hygiene und Seuchenbekämpfung, S. 166 - 186, Thieme-Verlag Stuttgart (Ulmer)
- **Pacheco, A.**; Mendes, J. M. B. et al (1991): Cemeteries- a Potential Risk to Groundwater. Wat. Sci. Tech. Vol 24 No. 11 pp. 97-104
- **Pagels, B.** (2002): Überprüfung der Gaszügigkeit zweier Aktivkohlefilter in verschiedenen Bodensubstraten bei differenten Wassergehalten. Diplomarbeit Institut für Bodenkunde Kiel.
- **Penning, R.** (1997): Rechtsmedizin systematisch. ISBN 3-89599-104-X Uni-Med Verlag AG, Bremen und Lorch/ Württemberg
- **Pfeiffer S.**; Milne, S.; Stevensons R. M. (1998): The Natural Decomposition of Adipocere. J. Forensic Sci. 1998 43/2 S. 368-370
- **Popp-Sewing, J.** (2001): Die Giftquelle Gottesacker. Bocholt – Borkener Volksblatt. Bocholt.
- **Prokop, O.** (1960): Lehrbuch der gerichtlichen Medizin. VEB Verlag Volk und Gesundheit Berlin
- **Prokop, O.**; W. Göhler (1976): Forensische Medizin. 3. Aufl. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart
- **Pulfrich, H.-D.** (1994): Grabkammern: Lösung für freiflächenarme Städte.-
- **Raissi, F.** und Müller, U. (1999): Bodenkundliche Anforderungen an Anträge zur Erdbestattung. Geo-Fakten,4, 1.4.
- **RdErl.** d. Ministers für Arbeit, Gesundheit NRW vom 21.8. bzw. 25.10.1979 (Ministerialblatt für das Land Nordrhein-Westfalen, S. 1724 bzw. 2258) geändert durch RdErl. Vom 23.3.1983 (Ministerialblatt für das Land Nordrhein-Westfalen, S. 541), Düsseldorf.

- **Reddy, K. R.**, Khaleel, R., Overcash, M. R. (1981): Behavior and Transport of Microbial Pathogens and Indicator Organisms in Soils Treated with Organic Wastes. *J. Environ. Qual.*, Vol. 10, no. 3, 1981 S. 255-265
- **Reh, H.** (1960): Diskussionsbemerkung zum Vortrag H. J. Wagner: Deutsche Zeitschrift für die gesamte gerichtliche Medizin, 49, 720-722.
- **Robert M.**, Berthelin J. (1986): Role of Biological and Biochemical Factors in Soil Mineral Weathering. In Huang P.M., Schnitzer M. (Eds.): Interactions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes. Soil Science Society of America, Madison.
- **Rodriguez, W. C** et al. (1983) : Insect Activity and its Relationship to Decay Rates of Human Cadavers in East Tennessee. *Journal of Forensic Science* 28, S. 423-432.
- **Rodriguez, W. C.** and W. M. Bass (1985): Decomposition of Buried Bodies and Methods That May Aid in Their Location. *Journal of Forensic Science* 30 (3), S. 836-852.
- **Schmidt G.** (1969): Postmortale Veränderungen von Arzneistoffen und Giften in Organen und Körperflüssigkeiten einschließlich Neubildung von Störsubstanzen. In: Gadamer's Lehrbuch der chemischen Toxikologie, Bd. 1, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen.
- **Schmidt R. F.** (1983): Medizinische Biologie des Menschen. Piper & Co Verlag München.
- **Schmidt, M;** Graw, M. (2002): Forschungsprojekt zur Problematik der Verwesung läuft im Schwarzwald. *Friedhofskultur* S....-....
- **Schmidt-Bartelt, D.**, Behnke, R. und Burghardt, W 1990: Friedhöfe auf Löß und urban- industriell überprägten Substraten im Ruhrgebiet.- Bodenmerkmale, Probleme und Lösungsansätze.- *Mitt. deutsche bodenkdl. Ges.* 61, S. 131- 134, 3 Tab., Göttingen.
- **Schmierl, G.** (1982): Die Leichenzersetzung im Erdgrab aus verwaltungsrechtlicher, hygienischer, geologischer und rechtsmedizinischer Sicht- Dissertation. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
- **Schmitt, A.** (1985): Friedhof und Grünordnung in der Gemeinde. – *Städte und Gemeindeblatt*, 11, S. 399-403.
- **Schmitt, E. J.** (1996): Baden-Baden geht neue Wege der Erdbestattung.
- **Schneider J.** et al. (1982): Der Münsterhof in Zürich. Walter-Verlag, Olten.
- **Schneider, H.** (1952): „Einwirkungen von Friedhöfen auf die chemische und bakteriologische Beschaffenheit des Grundwassers.“ *Die Wasserschliessung*: 120-121.
- **Schneider, H.** (1988): Die Wassererschließung. – Essen (Vulkan-Verlag). (Darin Abschnitt 3.7 Einwirkung von Friedhöfen auf die chemische und bakteriologische Beschaffenheit des Grundwassers.
- **Schoenen, D.** (2003): Verwesung und Verwesungsstörungen. *Friedhofskultur* 07/2003 S. 31-32
- **Schoenen, D.** (2003): Verwesungsstörungen bei Erdbestattungen. In: *Hygieneinspektor* 6/2003 S.20-30
- **Schoenen, D.** und Albrecht, M, (2003): Die Verwesung aus hygienischer und bodenkundlicher Sicht. In *Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene e.V.* 113 Eigenverlag, Berlin 2003
- **Schraps, W. G.** (1971): Bodenkundliche Untersuchungen für die Anlage von Begräbnisplätzen. *Z. Dtsch. Geolog. Gesellschaft* 1970 S. 81-87
- **Schraps, W.G.-** 1972: Die Bedeutung der Filtereigenschaften des Bodens für die Anlage von Friedhöfen. *Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges.* 16, 225 – 229
- **Schulze-Wolf, T.** (1996): Friedhofsplanung aus bodenkundlich-hygienischer Sicht – *Deutsche Friedhofskultur*, 8, - S. 289-290.
- **Schützenmeister, W.** (1972): Die geologische Bedingungen für Friedhofstandorte. *Z. für die gesamte Hygiene und ihre Grenzgebiete* 18, 87 –90, 1 Tab., Berlin.
- **Schwerd, W.** (1992): Lehrbuch für Mediziner und Juristen Deutscher Ärzte-Verlag Köln
- **Seher, W.** (2003): Vortrag Gräbersanierung am Beispiel Süd Norwegens (Fachtagung in Hamburg 2003)
- **Selles, M.** (1956): La putrefacción cadavérica y su retrado por la intervención de los antibióticos. (Die Leichenverwesung und ihre Verzögerung durch den Einfluss von Antibiotika). *Forenses (Madrid)* 13, S. 161-163
- **Siebert, R.** (1964): Über Vorkommen und Resistenzentwicklung enteropathogener Kolibakterien 1961 und 1962- Dissertation. Dissertationsdruckerei Schön München
- **Spongberg, A.;** Becks, P. (1999): Inorganic Contamination from Cemetery Leachate. *Water, Air and Soil Pollution* 117: S 313-327 2000
- **Spongberg, A.;** Becks, P. (2000): Organic Contamination in Soils Associated with Cemeteries. *Journal of Soil Contamination*, 9 (2): S. 87-97 2000. –
- **Steensberg, J.** (1972): Hygienische Forderungen an Friedhöfe. *Bundesgesundheitsblatt* 08/1972
- **Stedte-Gaudich, R.** (2002): Durchlässig, grundwasserfrei und sorptionsfähig? Friedhofsböden in NRW. *Friedhofskultur* 02/02 S 16-19

- **Sukopp, H.;** Blume, H-P; et al (1980): Landschaftsentwicklung und Umweltforschung, Beiträge zur Stadtökologie von Berlin (West). Exkursionsführer für das zweite europäische Ökologische Symposium, Schriftenreihe des Fachbereichs Landschaftsentwicklung der TU Berlin.
- **Takatori T.,** et al. (1986): Microbial Production of Hydroxy and Oxo Fatty Acids by several Microorganisms as a Model of Adipocere Formation. In Forensic Science International, 32: 5-11.
- **Takatori T.,** et al. (1987): The Mechanism of Experimental Adipocere Formation: Substrate Specificity on Microbial Production of Hydroxy and Oxo Fatty Acids. In Forensic Science International, 35: 277-281.
- **Takatori, T.** (1996): Investigation on Mechanism of Adipocere Formation and Its Relation to Other Biochemical Reactions. J. Forensic Science International. 80 S. 49-61
- **Toussaint (1857):** Mumifikation der Leichen. Vierteljahresschrift für gerichtliche und öffentliche Medizin. 11 S. 203-233
- **Uffelmann, J.** (1890): Der Boden und die Mikroorganismen. Handbuch der Hygiene S. 137-140
- **Urban, R.** (2002): Bodenkontamination durch Leichengifte. In Konfliktfeld Friedhof Verwesungsproblematik-Umweltrisiko-Sanierung. 2. Friedhofstagung des Geologischen Landesamtes Rheinland-Pfalz 10. April 2002 Mainz
- **Urban, R.** (2002): Umweltbelastung, Bodenkontamination und Gesundheitsgefährdung bei Erdbestattung? Wasser und Boden, 54/11 S. 25-30
- **Urban, R.** (2003): Bodenkontamination durch Leichengifte. Friedhofskultur 01/03 S. 29-30
- **Utermann, W.** (1934): Die Fettwachsbildung und die Fettwachsleichen aus dem Rhein bei Düsseldorf in den Jahren 1926-1932. Inaugural-Dissertation Münster
- **van der Honing, H.;** van der Ende W. et al (1988): Kwaliteit oppervlakte-, drain- en grondwater nabij begraafplaatsen. H2O 1988 Nr. 12 S. 327-331
- **van Haaren, F. W. J.** (1951): Kerkhoven als bronnen van waterverontreiniging. Water 16 2.08.1951 S. 167-172
- **van Wyk C. W.,** Theunissen F., Phillips V. M. (1990, Dezember): A Grave Matter – Dental Findings of People Buried in the 19th and 20th Centuries. The Journal of Forensic Odonto-Stomatology, Vol. 8, No. 2.
- **Vass A. A.,** et al. (1992) : Time Since Death Determinations of Human Cadavers Using Soil Solution. Journal of Forensic Sciences, Vol 37 (5), 1236-1253.
- **Voigt, H.** (1974): Bodeneignung für Erdbestattung. In: BDLA: Friedhofsplanung- Vorträge und Diskussionsergebnisse des XV. Seminars des Bundes Deutscher Landschaftsarchitekten e.V., 05-07.03.1973, Bremen, 15, 68-74 Callwey München
- **Voit, E.** (1888): Versuche über Adipocirebildung. Münchner Medizinische Wochenschrift S.518-519
- **Wagner, H.** (1960): Einfluss der Antibiotica und Sulfonamide auf die Leichenfäulnis. Deutsche Zeitschrift für die gesamte gerichtliche Medizin, 49, 714-720.
- **Wagner, H.** (1961): Die Beeinflussung postmortaler physikalisch-chemischer Vorgänge durch Antibiotica und Sulfonamide. Deutsche Zeitschrift für die gesamte gerichtliche Medizin, 51, 572-581.
- **Watter, H.** (1994): Grabkammer als Problemlösung? –
- **Wehner, G. H.** und E. Kriener (1989): Hygienisches Gutachten; wiederverwendbare Grabkammern nach Sukfüll.
- **Weinig, O.** (2003): Bestattungshygiene. Akademie für das öffentliche Gesundheitswesen im Bayer. Staatsministerium für Gesundheit, Ernährung und Verbraucherschutz. Stoffplan Nr. 4.8.5
- **Werther, G. & Gipp, W.** (1984): Friedhofs- und Bestattungsrecht in Rheinland-Pfalz: Kommunale Schriften für Rheinland-Pfalz 43. Deutscher Gemeindeverlag Köln, Berlin, Hannover, Kiel, Mainz, München.
- **Werther, G.** (2002): Friedhöfe nach dem rheinland-pfälzischen Bestattungsrecht. 2. Friedhofstagung des Geologischen Landesamtes Rheinland-Pfalz 10. April 2002 Mainz
- **WHO** (1998): The impact of cemeteries of the environment and public health. Target 28.
- **Wieners, F.** (1939): Ansichten über die Fettwachsbildung unter besonderer Berücksichtigung der modernen Anschauungen. Inaugural Dissertation Münster
- **Willimann, I.** (1996): Leichenzersetzung im Erdgrab- Zersetzungsstörungen-Hygiene-Maßnahmen.- Institut für terrestrische Ökologie (ITÖ), ETH Zürich
- **Wourtsakis, A.** (2002): Bodenkundliche und hydrogeologische Anforderungen für die Erdbestattung. 2. Friedhofstagung des Geologischen Landesamtes Rheinland-Pfalz 10. April 2002 Mainz
- **Wourtsakis, A.** (2003): Bodenkundliche und hydrogeologische Anforderungen für die Erdbestattung. Friedhofskultur 01/03 S. 31-34
- **Zagar, M.** (2002): Friedhöfe im Spannungsfeld von Ökonomie, Ökologie und Geologie. 2. Friedhofstagung des Geologischen Landesamtes Rheinland-Pfalz 10. April 2002 Mainz
- **Zeidler, H.-J.** (1938): Die Hygiene des Bestattungswesens. Veröffentlichungen aus dem Gebiete des Volksgesundheitsdienstes LI. Band 5. Heft

- **Zillner, E.** (1885): Studien über Verwesungsvorgänge. Vierteljahresschrift für gerichtliche Medicin und öffentliches Sanitätswesen. Bd. XLII S.1-31 Verlag von August Hirschwald Berlin

Ergänzende Literatur:

- **Bajpai, R. K., Iannotti E. L.** (1988): Product Inhibition. In: Erickson L.E., Fung D. Y-C: Handbook on anaerobic fermentations. Marcel Dekker Inc.
- **Bastianon, D.; et al.** (2000) Geophysical surveying to investigate groundwater contamination by a cemetery. In: SYMPOSIUM ON THE APPLICATION OF GEOPHYSICS TO ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS, Arlington, VA, U.S.A., 2000. Proceedings. Arlington, Environmental and Engineering and Geophysical Society. p. 709-718.
- **Berg, S.** (1975): Leichenzersetzung und Leichenzerstörung. In Mueller B.: Gerichtliche Medizin S. 62-79. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.
- **Bitton, G.** (1984): Groundwater Pollution Microbiology: The Emerging Issue
- **Brauß, F. W.** (1952): Bedeutet die Nachbarschaft eines Friedhofes in jedem Fall eine Gefährdung der Wasserversorgung? Gesundheits-Ingenieur 86 Heft 5/6 (73. Jahrg. 1952)
- **Braz, V.; BECKMANN; COSTA E SILVA, L.** (2000) Integração de resultados bacteriológicos e geofísicos na investigação da contaminação de águas por cemitérios. In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1., Fortaleza, 2000. *Anais*. Fortaleza, ABAS. 1 CD-ROM.
- **Brock T. D et al.** (1994): Biology of Microorganisms. Seventh Edition, Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- **Brunner, W.** (1927): Das Friedhofs- und Bestattungsrecht. Berlin Carl Heymanns Verlag
- **Carvalho Junior, M.A.F.; SILVA, L.M.C.** (1997) SP e eletrorresistividade aplicados ao estudo hidrogeológico de um cemitério. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 5., São Paulo, 1997. Resumos expandidos, São Paulo, Sociedade Brasileira de Geofísica, p. 471-474.
- **Coe J. I.** (1974): Postmortem Chemistry. Practical Considerations and a Review of the Literature. Journal of Forensic Sciences, 19: 13-32.
- **Comphania DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL** (1999) Implantação e operação de cemitérios. Procedimento. São Paulo, CETESB. 6 p. (L1.040)..
- **Eggelsmann, R.** (1981): Dränanleitung für Landbau, Ingenieurbau und Landschaftsbau, 2. Aufl. 268 S., 155 Abb., 62 Tab., Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin.
- **Erman (1882):** Beitrag zur Kenntnis der Fettwachsbildung. Vierteljahresschrift für gerichtl. Medizin Bd. 37 S.51-65 Verlag von August Hirschwald
- **Gerlach, U., et. al.** (1989). Innere Medizin für Krankenpflegeberufe. Thieme Verlag, Stuttgart – New York
- **Göbel, R.** (1987): Hygienische Voraussetzungen im Bestattungswesen.-
- **Gotouda, H. et al.** (1988) : The Mechanism of Experimental Adipocire Formation Hydration and Dehydration in Microbial Synthesis of Hydroxy and Oxo Fatty Acid. Forensic Science International, 37 1988 S. 249-257
- **Hall D. G. M., et. al.** (1977) : Water Retention, Porosity and Density of Field Soils. Soil Survey Technical Monograph No. 9, Harpenden.
- **Healing T. D., Hoffmann P.N., Young S. E.** (1995): The infections hazards of human cadavers. Communicable Disease Report, Vol. 5, Review Number 5, London.
- **Henderson J. D.** (1987): Factors determining the state of preservation of human remains. In: Boddington A., et. al.: Death, decay and reconstruction. Manchester University Press.
- **Lance, J. C.; Gerba C. P.** (1980): Poliovirus Movement during High Rate Land Filtration of Sewage Water. J. Environ. Qual. Vol. 9, no. 1 1980 S. 31-34
- **Mant, A. K.** (1987) : Knowledge aquired from post-war exhumation. Death, decay and reconstruction: approaches to archaeology and forensic science. A. Boddington, A. N. Garland and R. C. Janaway. Manchester, Manchester University Press: 65-78.
- **Martins, M.T. et al.** (1991) Qualidade bacteriológica de águas subterrâneas em cemitérios. Revista de Saúde Pública, v. 25, n. 1, p. 47-52.
- **Martins, MT; Pellizari, VH; Pacheco, A.; Myaki, DM.,; Adams, C., Bossolan, NR, Mendes, JM, Hasuda, S** 1983: Endangering of the groundwater by burials. Z. Gesamte Hygiene 29,289 – 291
- **Matos, B.; PACHECO, A.; RODRIGUES, D.; PELLIZARI, V.; MEHNERT, D.** (2001) Using coliphage T4 as a tracer in soil columns. Virus Reviews & Research.
- **Matos, B.A.** (2001): Avaliação da ocorrência e do transporte de microrganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, município de São Paulo. São Paulo, 114 p. PhD Thesis – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo).

- **Matos, B.A.** et al. (1998): Contaminação do aquífero livre em cemitérios: estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 10., São Paulo, 1998. Anais. São Paulo, ABAS.
- **Matos, B.A.** et al. (2000) Ocorrência de microrganismos no aquífero freático do cemitério Vila Nova Cachoeirinha, São Paulo. In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1., Fortaleza, 2000. Anais. Fortaleza, ABAS.
- **Matos, B.A.**; et al. (1999) Transporte de microrganismos no aquífero freático em cemitério: estudos em escalas de campo e de laboratório. In: SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 4., Coimbra, 2000. Comunicações. Coimbra, APRH.
- **Matos, B.A.**; et al. (1997): Mecanismos de transporte e retenção de microorganismos patogênicos em aquíferos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12., Vitória, 1997. Anais 3. Vitória, ABRH, p. 525-532.
- **Matos, B.A.** et al. (1997): Sobrevivência e transporte de micróbios patogênicos em aquíferos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12., Vitória, 1997. Anais 3. Vitória, ABRH, p. 519-524.
- **Mayrhofer, A.** et al. (1924): Über eine bemerkenswerte Bildung von Adipocire. Beitrag zur gerichtlichen Medizin S.49-54. 1924
- **McCarty P. L.**, et al. (1984): Microbiological Processes Affecting Chemical Transformations in Groundwater. In: Bitton, Gerba: Groundwater – Pollution – Microbiology. John Wiley & Sons.
- **Mellen, P. F.** (1993): Experimental Observations on Adipocere Formation. J. of Forensic Sciences 38 S. 91-93
- **Mendes, J.M.B.**; et al. (1989): Cemitérios e meio ambiente - a geofísica como método auxiliar na avaliação de sua influência nas águas subterrâneas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE O MEIO AMBIENTE, 2., Florianópolis, 1989. Anais. Florianópolis, UFSC, v. 1, p. 50-57.
- **Migliorini, R.B.** (1994) Cemitérios como fonte de poluição em aquíferos. Estudo do Cemitério Vila Formosa na bacia sedimentar de São Paulo, São Paulo, 74 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- **Miotto, S.L.** (1990) Aspectos geológico-geotécnicos da determinação da adequabilidade de áreas para a implantação de cemitérios. Rio Claro-SP, 116 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- **Nordmann, M.** (1939): Erfahrungen bei Exhumierungen. Zentralblatt für Allg. Path. U. Path. Anatomie Bd. 73 Nr.3 S. 81-86
- **Ottmann F.** (1987): Créer ou aménager un cimetière : géologie, techniques, hygiène. Editions du Moniteur, Paris.
- **Otto, F.** (1994): Verbot der Grababdeckung mit Stein? Deutsche Friedhofskultur, 10, S. 417.
- **Pacheco (2000)** Cemitérios e meio ambiente. São Paulo, 102 p. Tese (Livre Docência) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- **Pacheco, A.** (1986) Os cemitérios como risco potencial para as águas de abastecimento. Revista do Sistema de Planejamento e da Administração Metropolitana, Ano 4, n. 17, p. 25-37.
- **Pacheco, A.**; BATELLO, E. (2000) A influência de fatores ambientais nos fenômenos transformativos em cemitérios. Revista Engenharia e Arquitetura, v.2, n. 1, p. 32-39.
- **Pacheco, A.**; MATOS, B.A. (2000) Cemitérios e meio ambiente. Revista Tecnologias do Ambiente. Lisboa, Portugal, Ano 7, n. 33, p. 13-15.
- **Pacheco, A.**; et al. (1990): Cemitérios podem contaminar as águas subterrâneas. Saneamento Ambiental, v. 6, p. 31-33.
- **Pacheco, A.**; et al. (1999): Resíduos de cemitérios e saúde pública. Revista Limpeza Pública, v. 52. p. 25-27.
- **Pequeno Marinho, A.M.C.** (1998): Contaminação de aquíferos por instalação de cemitérios. Estudo de caso do Cemitério São João Batista, Fortaleza, 88 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará.
- **Rodriguez, D.**; et al. (2000): Transport and retention of coliphage T4 in soil columns from a cemetery in São Paulo, Brazil. In: WORLD WATER CONGRESS OF THE INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION, 1., Paris, 2000. Conference Preprint, Paris, IWA, Book 7, p. 154-155.
- **Silva, L.M.** (1998) Cemitérios: fonte potencial de contaminação dos aquíferos livres. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE HIDROLOGIA SUBTERRÂNEA, 4., Montevideo, 1998. Memórias, Montevideo, ALHSUD, v. 2, p. 667-681.
- **Trick, J.K.** et al. (1999) Pollution potential of cemeteries: Impact of the 19th century Carter Gate Cemetery, Nottingham. British Geological Survey, Keyworth, Nottingham, United Kingdom (Technical Report WE/99/4, Environment Agency Technical Report NC/99/24).
- **Weinberg E. D.** (1987): The influence of soil on infectious disease. In: Experientia 43, Birkhäuser Verlag, Basel.

- **Young, C.P** et al. (1999): Pollution potential of cemeteries. Draft Guidance. Environment Agency R&D Dissemination Centre, United Kingdom (R&D Technical Report P223).
- **Young, C.P** et al. (1999): Pollution potential of cemeteries. Environment Agency R&D Dissemination Centre, United Kingdom (R&D Project Record P2/024/1).

Web- Literatur

- **Elston, S.**(2003)
<http://www.wcr.ab.ca/columns/suzanneelston/2003/suzanneelston091503.shtml>
- **Pacheco, A** (2003): Cemeteries and the environment.
<http://www.igc.usp.br/subsites/cemiterios/cemit2.php>
- www.postmortal.de
- ...

10 Anlagen

Fragebogen zum Thema: Bodenbeschaffenheit und Zersetzungsproblematik auf Friedhöfen

Unsere Anschrift:

Institut für Pflanzenernäh-
rung und Bodenkunde CAU

Kiel

Olshausenstr. 40

24118 Kiel

Fax: 0431- 880 1499

Tel. 0431 - 880 - 3190

**Ihre Anschrift:**

Name: _____

Strasse: _____

Ort: _____

<p>1. Wie viele Friedhöfe haben sie in Ihrer Gemeinde / Stadt ? Wie alt sind die Friedhöfe?</p>	<p>Anzahl: Durchschnittsgröße in ha: Alter im Durchschnitt:</p>
<p>2. Anteile der Bestattungsarten in % ?</p>	<p>Feuerbestattung: Erdbestattung:</p>
<p>3. Wieviele Einzel- und Tiefgräber (Erdgräber) sind auf der Friedhofsanlage?</p>	<p>Einzelgrab: Tiefgrab:</p>
<p>4. Wie lange ist die durchschnittliche Nutzungsdauer eines Wahlgrabes?</p>	<p>Jahre:</p>
<p>5. Wie lange sind die gesetzlich (vom Gesundheitsamt) festgelegten Ruhezeiten?</p>	<p>Flachgrab: Tiefgrab:</p>
<p>6. Welche Bestattungstiefen sind bei Erdbestattungen auf Ihrer Friedhofsanlage vorgesehen?</p>	<p>Tiefe in cm: von bis</p>
<p>7. Wie tief liegt das Grundwasser unter der Grabsohle?</p>	<p>Tiefgrab: Flachgrab: keine Angabe:</p>

8. Welche vorherrschende Bodenart (z.B. Sand, Ton, Schluff) ist auf Ihrem Friedhofsgelände anzutreffen?	<p style="text-align: center;">_____</p> Keine Angabe:
9. Sind während der Betriebszeit des Friedhofes Störungen im Verwesungsprozess aufgetreten?	Ja: Nein: Wenn ja, welche: - Wachsleichen: - Mumifikation: - andere:
10. Ist eine Friedhofserweiterung / Umgestaltung geplant oder bereits vorgenommen worden?	Ja, geplant: Ja, im Jahr: Nein:
11. Sind Sanierungen (z.B.: Erdaustausch, Drainagesysteme) geplant oder schon vorgenommen worden?	Ja, geplant: Ja, im Jahr: Welche: Nein:
12. Sind alternative Bestattungsformen geplant (z.B.: Grabkammersysteme)?	Ja: Wenn ja, welche? Nein:
13. Wurden schon mal chemische Grundwasseranalysen und Pegelstände ermittelt?	<i>Pegelstände:</i> monatliche Messung: mehr als 5 Jahre: <i>Chem. Analyse:</i> monatliche Messung: mehr als 5 Jahre: Nein:
14. Können Sie uns noch eigene Erkenntnisse zum Thema mitteilen?	

Hygiene-Richtlinien für die Anlage und Erweiterung von Begräbnisplätzen
RdErl. d. Ministers für Arbeit, Gesundheit und Soziales vom 21. 8. bzw. 25.10. 1979
(MBI. S. 1724 bzw. 2258), geändert durch RdErl. vom 23. 3. 1983 (MBI. S. 541)

Nach § 75 der Dritten Durchführungsverordnung zum Gesetz über die Vereinheitlichung des Gesundheitswesens vom 30. März 1935 (RGS. NW. S. 7/SGV. NW. 2120) Dritte DVO hat das Gesundheitsamt (der Amtsarzt) bei der Anlage und Erweiterung von Begräbnisplätzen mitzuwirken. Hierbei sind folgende Grundsätze zu beachten:

1 Begräbnisplätze (Friedhöfe)

1.1 Begräbnisplätze (Friedhöfe) sind so anzulegen, daß durch sie keine Schäden oder Nachteile für die menschliche Gesundheit oder für das menschliche Wohlbefinden entstehen können.

1.2 Vor allem muß verhindert werden, daß es zu Geruchsbelästigungen kommt und daß Zersetzungsprodukte oder Krankheitserreger durch Versickerung in den Untergrund oder auf sonstige Weise (Verschleppung durch Ratten, Insekten usw.) zu einer Verunreinigung des Grundwassers oder eines ober-irdischen Gewässers führen können.

1.3 Der gutachtlichen Äußerung des Gesundheitsamtes hat eine Stellungnahme der zuständigen Wasserbehörde und das Ergebnis einer geologisch-bodenkundlichen Untersuchung durch das Geologische Landesamt Nordrhein-Westfalen zugrunde zu liegen. In Überschwemmungsgebieten ist für die Anlage und Erweiterung von Begräbnisplätzen eine zusätzliche wasserrechtliche Genehmigung erforderlich.

1.4 Gegenüber Nachbargrundstücken sind Friedhöfe durch Bäume, Sträucher oder Mauern hinreichend gegen Sicht abzuschirmen.

2 Bodenbeschaffenheit

2.1 Der Boden von Begräbnisplätzen muß die für eine Zersetzung von Leichen durch Verwesung erforderlichen Voraussetzungen erfüllen. Er muß daher in der Zersetzungszone und darüber bis zur Erdoberfläche hinreichend wasser- und luftdurchlässig sein. Diese Eigenschaften muß der Boden auf dem ganzen Grundstück des Friedhofes und in seiner näheren Umgebung besitzen.

2.2 Die Erdschicht über der Zersetzungszone muß wenigstens 0,90 m mächtig sein. Sie darf keine zu weiten Hohlräume (z. B. zwischen Steinschüttungen) enthalten.

2.3 Die Erdschicht unter der Zersetzungszone muß geeignet sein, die Zersetzungsstoffe der Leichen bis zum Zerfall in anorganische Stoffe vom Grundwasser zurückzuhalten.

2.4 Zwischen Grabsohle und höchstem Grundwasserstand muß eine Filterschicht von mindestens 0,70 m vorhanden sein, die in der Lage ist, alle bei der Zersetzung der organischen Substanz freiwerdenden Stoffe, von denen eine Beeinträchtigung des Grundwassers zu besorgen ist, zu binden. Wenn diese Voraussetzungen nicht gegeben sind, muß das Gelände mit geeignetem Bodenmaterial um die fehlende Höhe aufgefüllt oder der Grundwasserspiegel abgesenkt werden.

2.5 Die Boden- und Wasserverhältnisse werden in Schürfgruben von mindestens 2,50 m Tiefe an sachverständig ausgewählten Stellen des Platzes geprüft, soweit nicht anstehendes festes Gestein bzw. austretendes Wasser das Ausheben der Gruben bis zu dieser Tiefe verhindert.

3 Wasserverhältnisse

3.1 Grundwasser darf weder ständig noch zeitweise höher als 0,70 m unter Grabsohle auftreten.

3.2 Grundwasser, Stauwasser oder Sickerwasser darf nach Kontakt mit der Zersetzungszone keine Entnahmestellen von Trink- oder Betriebswasser erreichen, wenn nicht sichergestellt ist, daß auf seinem Weg durch den Boden eine ausreichende Filterung erfolgt und alle Schadstoffe abgebaut werden.

3.3 Die Entfernung von einem Begräbnisplatz bis zum nächsten Brunnen soll mindestens 100 m betragen. Geringere Abstände können im Einzelfall im Einvernehmen mit der zuständigen Wasserbehörde zugelassen

werden, die - wenn sie untere Wasserbehörde ist- die Stellungnahme des Staatlichen Amts für Wasser- und Abfallwirtschaft herbeizuführen hat.

3.4 Die Neuanlage von Begräbnisplätzen oder eine erhebliche Erweiterung vorhandener Begräbnisplätze in den für Grundwasserwerke ausgewiesenen Schutzzonen 1, II und III bzw. III A ist nicht zulässig (siehe auch Nr. 5.1.2 Buchst. q der mit RdErl. d. Ministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten v. 25. 4. 1975 [SMBL. NW. 770] eingeführten DVGW-Richtlinien für Grundwasser, Arbeitsblatt W 101). Begräbnisplätze in den für Trinkwassertalsperren ausgewiesenen Schutzzonen I und II sind nicht zulässig (siehe auch Nr. 5.2.2 Buchst. f der mit RdErl. d. Ministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten v. 25. 4. 1975 eingeführten DVGW-Richtlinien für Trinkwassertalsperren, Arbeitsblatt W 102).

3.5 Böden, in denen die Versickerung des Niederschlagswassers deutlich gehemmt ist und in denen zeitweilig Staunässe höher als 0,70 m unter Grabsohle auftritt, sind für Friedhofszwecke grundsätzlich ungeeignet.

3.6 Ist die Anlage eines Begräbnisplatzes innerhalb eines Geländes, in dem Grundwasser oder Staunässe auftritt (siehe 3.1 und 3.5) unvermeidlich, so ist das überschüssige Wasser durch geeignete Maßnahmen abzuleiten. Dabei ist die unschädliche Ableitung dieses Wassers besonders zu sichern.

3.7 Wird im Laufe der Benutzung eines Geländes als Begräbnisplatz die Ableitung von überschüssigem Wasser nachträglich notwendig, so ist auf die unschädliche Ableitung des aufgefangenen Wassers besonders zu achten.

3.8 Dem Friedhof zufließendes Wasser ist abzuführen, bevor es diesen erreicht hat.

3.9 Rohrnetze von Wasserversorgungen dürfen Friedhöfe nicht durchschneiden oder in deren unmittelbarer Nähe vorbeigeführt werden. Das gilt nicht für Anschlußleitungen, die die Friedhofsanlage versorgen.

4 Grabstätten

4.1 Grabstätten müssen so tief angelegt sein, daß nach der Zuschüttung des Grabes Zersetzungsprodukte nicht an die Erdoberfläche treten können.

4.2 Bei felsigem Untergrund kann die mangelnde Tiefe der einzelnen Grabstätte nicht durch eine überhöhte Aufschüttung des Grabhügels ausgeglichen werden. Bei dieser Bodenbeschaffenheit ist vielmehr der Begräbnisplatz insgesamt durch Erdaufschüttungen zu erhöhen oder durch andere geeignete Maßnahmen in einen entsprechenden Zustand zu versetzen.

4.3 Die Fläche des Einzelgrabes ist genügend groß zu bemessen. Als Mindestfläche der Gräber sind für Erwachsene 2,10 m Länge und 0,90 m Breite, für Kinder unter 5 Jahren 1,20 m Länge und 0,60 m Breite anzusetzen.

4.4 Der Abstand zwischen Einzelgräbern muß mindestens 0,30 m betragen.

4.5 Die Grabtiefe soll grundsätzlich 1,80 m betragen. Für Leichen von Kindern unter 5 Jahren ist eine Tiefe von 1,50 m ausreichend.

4.6 Sofern durch besondere Verhältnisse eine Verringerung der Grabtiefe erforderlich wird, ist hierzu die hygienische Unbedenklichkeit darzulegen.

4.7 Bei Doppelbelegungen (Tiefbestattungen) sind die für die Zersetzung von Leichen durch Verwesung geltenden Richtlinien sinngemäß anzuwenden. Zwischen Bodenoberfläche und höchstem Grundwasserstand ist ein Abstand von mind. 3,40 m erforderlich.

4.8 Grabfelder für Kinder bis zu 5 Jahren sollen wegen der unterschiedlichen Grabtiefen getrennt von den Grabfeldern für Erwachsene angelegt werden.

4.9 Gemauerte Gruftanlagen, in denen Särge ohne Erdbedeckung abgestellt werden, sind im allgemeinen nicht mehr zugelassen.

5 Ruhefristen

5.1 Die Mindest- und Höchstzeiten der Ruhefristen sind für jede Friedhofsanlage unter Berücksichtigung der Boden- und Grundwasserverhältnisse festzulegen.

5.2 Dabei ist von einem Turnus von 25 bis 50 Jahren auszugehen. Für Leichen von Personen unter 5 Jahren werden im allgemeinen 25 Jahre, im übrigen 30 Jahre als Mindestzeiten anzusetzen sein.

5.3 Die Mindestfristen dürfen nur verkürzt werden, wenn die Bodenverhältnisse für die Verwesung besonders günstig sind.

5.4 Sollen die Fristen aufgrund besonderer Verhältnisse verkürzt werden, so ist in dem Gutachten des Gesundheitsamtes zu belegen, daß bei der Wiederöffnung von Gräbern tatsächliche Feststellungen über die vollständige Verwesung bis auf Knochenreste erhoben wurden.