

# Die spätrömische Grabkammer auf dem Gelände der Grundschule Reichertsberg in Trier

## Bestands- und Zustandsbeschreibung

von  
THOMAS LUTGEN

### Einleitung

Der folgende Bericht ist die aus redaktionellen Gründen gekürzte und leicht veränderte Fassung meiner Diplomarbeit, die im Mai 1999 vom Fachbereich Restaurierung und Konservierung von Kunst und Kulturgut der Fachhochschule Köln angenommen wurde<sup>1</sup>. In dieser Fassung sind die ausführlichen Vorschläge zu Konservierungs- und Restaurierungsmaßnahmen und die in diesem Zusammenhang durchgeführten naturwissenschaftlichen Untersuchungen nicht enthalten.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Putz- und Malereibestand der 1967/68 vom Rheinischen Landesmuseum Trier ausgegrabenen Grabkammer auf dem Gelände der Grundschule Reichertsberg in Trier eingehend untersucht. Neben der visuellen Untersuchung sollen Putz-, Pigment- und Bindemittelanalysen den Kenntnisstand über die Bauphasen und das Malereisystem erweitern.

Durch die Erfassung der in der Grabkammer anzutreffenden Schadensphänomene sind Rückschlüsse auf den Erhaltungszustand der römischen Bausubstanz möglich. Unterstützt durch naturwissenschaftliche Analyseverfahren werden die Schadensphänomene weiterführend untersucht und die Schadensursachen ermittelt. Photoaufnahmen direkt nach der Ausgrabung 1968 (Photoarchiv Rheinisches Landesmuseum Trier) zeigen einen deutlich besseren Erhaltungszustand des Kammerinneren als den heute festzustellenden.

<sup>1</sup> Ich danke meinen Betreuern Frau Prof. Dr. Elisabeth Jägers und Herrn Josef Beumling für die persönliche und wissenschaftliche Förderung und Unterstützung. Die Anregung zu diesem Thema entstand aus einem Gespräch mit Frau Dr. Sabine Faust und Herrn Restaurator Ludwig Eiden vom Rheinischen Landesmuseum Trier. Ihnen bin ich ebenso zu großem Dank verpflichtet, wie Herrn Jürgen Merten, Diplom-Bibliothekar am Rheinischen Landesmuseum Trier, und dem Museumsphotographen Herrn Thomas Zühmer. Danken möchte ich auch Herrn Dr. Hans-Peter Kuhnen, Direktor des Rheinischen Landesmuseums Trier, der freundlicherweise die Untersuchungen in der Grabkammer am Reichertsberg durch seine Zustimmung ermöglichte.

Durch die Vermittlung von Herrn Prof. Dr. Robert Fuchs und die spontane Bereitschaft von Herrn Dr. Günter Wiedemann, Gruppenleiter Abteilung Laser-Materialbearbeitung im Fraunhofer-Institut Material and Beam Technology, Dresden, konnten Versuche zur Entfernung der Kalk-Silikat-Sinterkruste an Putzfragmenten der Grabkammer durchgeführt werden. Für die umfassende Einweisung in die Verfahrenstechnik der Laserreinigung und die Durchführung der Versuchsreihen bedanke ich mich herzlich bei Herrn Dr. Wiedemann und Herrn Dipl. Ing. Thomas Heinz.

Die Trockenlegung des Mauerwerks mit Dränagen und die Isolierung der Außenwände mit Bitumen erfolgte unmittelbar nach der Ausgrabung als erste konservatorische Maßnahme. Durch die Abdeckung des Gewölbes mit einer flachen Betondecke wurde dieses vor Sickerwasser geschützt.

Eine von Herrn Eiden (Restaurator am Rheinischen Landesmuseum Trier) im Frühjahr 1998 durchgeführte Klimamessung über den Zeitraum von nur einem Monat zeigte extreme Temperatur- und Raumfeuchteschwankungen. Um die Ursachen dieser Schwankungen und ihre Auswirkungen auf die Bausubstanz feststellen zu können, wurden im Rahmen dieser Arbeit längerfristige Klimamessungen im Innen- und Außenbereich der Grabkammer durchgeführt.

### **Beschreibung der Innenausmalung**

Die Grabkammer der circa 1700 Jahre alten Grabanlage am Fuße des Reichertsberges präsentiert sich im Vergleich zu den weiteren im Trierer Raum ausgegrabenen römischen Grabanlagen in einem relativ guten Zustand.

Cüppers<sup>2</sup> bewertet vier Jahre nach der Ausgrabung den Erhaltungszustand der Grabkammer als gut und geht von einer baldigen Konservierung aus. Er mißt der Grabkammer als archäologischem Fund einen besonderen Stellenwert zu: „Diese noch ganz in ihrer Ausstattung erhaltene Grabkammer hat auf deutschem Boden keinen vergleichbaren Fund, sie beansprucht daher ein besonderes Interesse, sobald die Konservierung und Freilegung der Malerei abgeschlossen sind.“

Die Erhaltung der Grabkammer bis in die heutige Zeit ist dem Umstand zu verdanken, daß diese sich im Laufe der Jahrhunderte mit Schlammmassen verfüllt hat und überdeckt wurde. Im Zuge der Ausgrabung 1967/68 wurde der mit Erdreich aufgefüllte Innenraum der Kammer freigelegt. Das fest an der Wand- und Gewölbeoberfläche befindliche Erdreich wurde in dieser Maßnahme nicht entfernt, um die zum Teil fragilen Malerei- und Putzreste nicht zu zerstören. Weitere Reinigungen und Restaurierungen fanden damals nicht statt.

Um Untersuchungen an den Wandmalereien vornehmen zu können, wurden im Frühjahr 1998 die beiden Sandsteinsarkophage aus dem Raum entfernt.

Die Kammer<sup>3</sup> ist oberhalb der Grablegen bis in eine Höhe von 1,82 m mit einer geometrischen Kassettenmalerei ausgestattet. Orangegrundige Kassetten werden durch grüne und rote Bänder, Striche und Ritzer<sup>4</sup> gegliedert (*Abb. 1; 4*).

Im Bereich der Westwand (Rückwand) befindet sich über dieser Kassettierung ein weißgrundiges, durch das Tonnengewölbe oben abgeschlossenes Bogenfeld, das von einem gelben und einem grünen Band umrahmt wird. Geschmückt wird dieses Bogenfeld durch die dekorative Darstellung von Vögeln und stilisierten Rankenornamenten (*Abb. 5/6*).

<sup>2</sup> Cüppers 1972, 54.

<sup>3</sup> Beschreibung, Grundriß und Maße der Grabkammer siehe Faust im selben Band.

<sup>4</sup> Ritzer = 1-3 mm breiter Strich.



Abb. 1 Schematisierte Darstellung der ursprünglichen Ausmalung der Rückwand (Westwand), entsprechend des derzeitigen Malereibefundes.

Im Scheitelbereich des Gewölbes sind in direktem Anschluß an die Rückwand mehrere unterschiedlich große, in direkter Beziehung zueinander stehende Kreismedaillons aufgemalt (Abb. 2). Das zentrale, farblich stärker akzentuierte Medaillon zeigt im Zentrum die Kopfdarstellung einer Medusa<sup>5</sup> (Abb. 7). Die kleineren um das Zentralmedaillon angeordneten Kreise weisen jeweils eine stilisierte Blüte auf. Durch eine Renovierungsfassung (Phase 2) sind

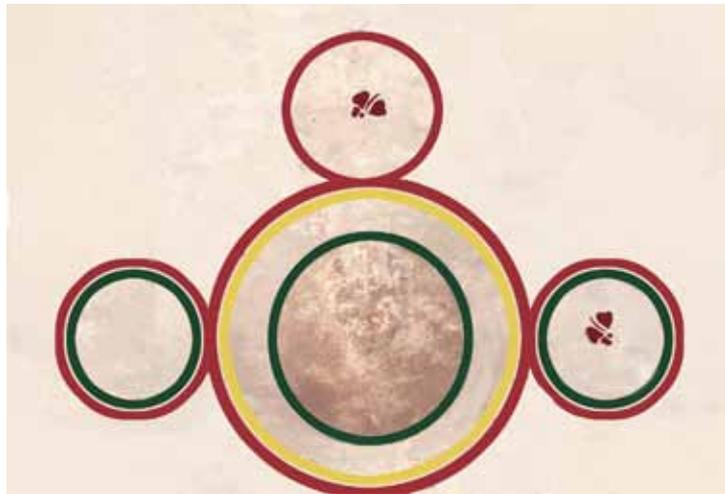


Abb. 2 Schematisierte Darstellung der erhaltenen bauzeitlichen Ausmalung in der Westhälfte des Gewölbes.

<sup>5</sup> Cüppers 1990, 631-633 spricht die Darstellung als Merkur an. Nach Aussagen von Parallelen handelt es sich aber eher um die Gorgo Medusa (Anm. 42).

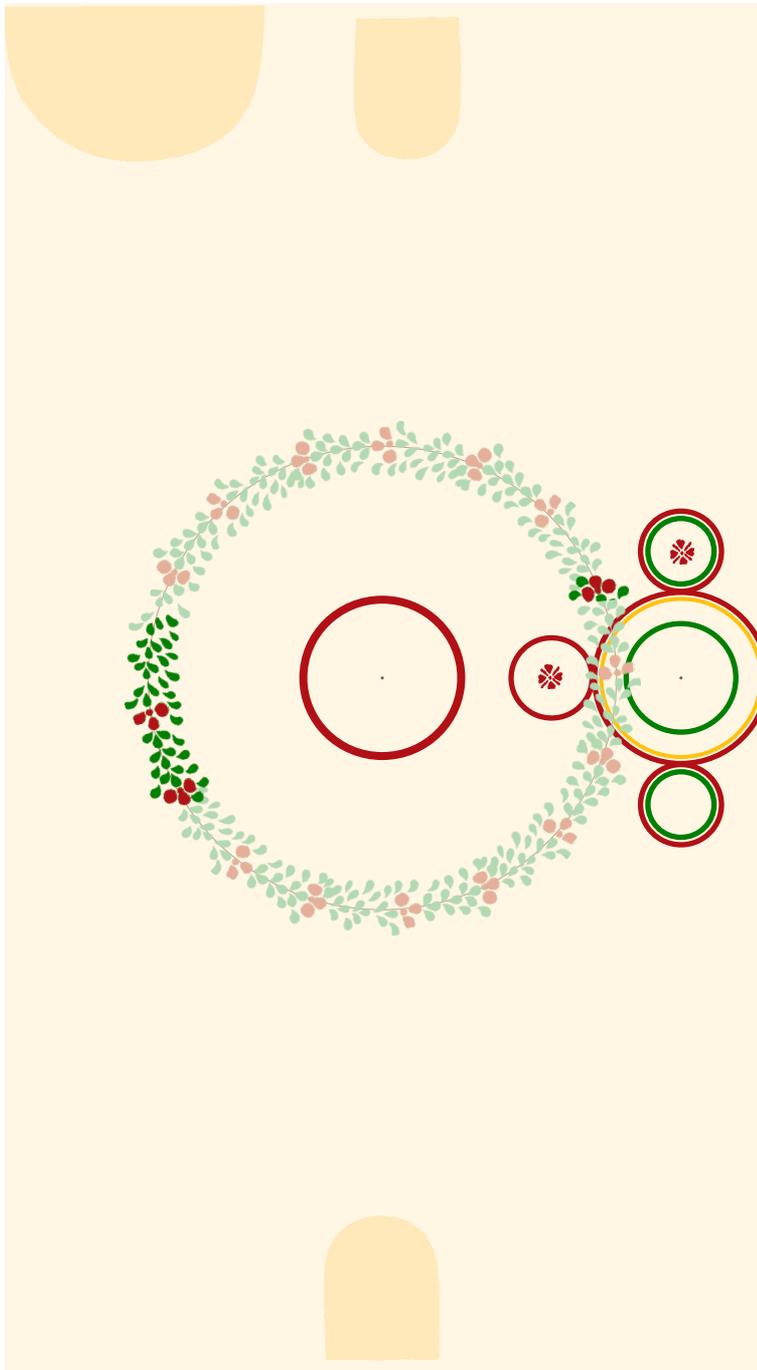


Abb. 3 Abwicklung des Gewölbes mit schematischer Darstellung der Deckenbemalung der Phasen 1 und 2. Der große Blattkranz gehört zur 2. Phase, unter der die Kreise der 1. Phase teilweise sichtbar sind.

Abb. 4 Detailaufnahme der Rückwand südlich der großen Nische, Reste der Kassettierung.





Abb. 5 Aufnahme der Rückwand unmittelbar nach der Ausgrabung, 1968.



Abb. 6 Detailaufnahme der Rückwand mit schemenhaft unter der Kalk-Silikat-Kruste erkennbarer Darstellung eines Vogels, 1998.



Abb. 7 Aufnahme der Kopfdarstellung im mittleren Kreismedaillon in der Westhälfte des Gewölbescheitels.

große Putzflächen im Gewölbe erneuert worden. Außer der zusammenhängenden Fläche mit den Kreismotiven im Gewölbescheitel haben sich lediglich im Mittelpunkt des Tonnengewölbes kleine Putzflächen mit Fassungsfragmenten der bauzeitlichen Phase erhalten. Die Malerei dieser ursprünglichen Fassung kann aufgrund des rudimentären Zustands und der Überputzung im Gewölbe nur zum Teil erfaßt werden. Es ist jedoch davon auszugehen, daß die vier Kreismedaillons im Anschluß an die Rückwand zu einer kompletten Gewölbeausmalung gehört haben (*Abb. 3*).

Bedingt durch die extrem starke Schädigung der Putz- und Malschicht der Ostwand (Frontwand) können keine Aussagen über die Art und Weise ihrer Ausmalung getroffen werden. Lediglich kleine gelbe, rote und grüne Farbfragmente verweisen auf die Existenz einer bauzeitlichen Malerei in diesem Bereich.

### **Untersuchung zum Materialbestand und zum technologischen Aufbau der Raumschale**

Der Materialbestand und der technologische Aufbau geben Aufschlüsse über die Entstehungsgeschichte der Grabkammer. Basierend auf den Erkenntnissen der Bestandsuntersuchung können Aussagen über die Baugeschichte getroffen werden.

Zunächst wurden rein optische und damit zerstörungsfreie Untersuchungsmethoden zur Erfassung der Mal- und Putztechnik sowie von deren Schäden eingesetzt. Aufbauend auf den optischen Untersuchungsergebnissen konnten danach gezielte zerstörungsarme Untersuchungsmethoden angewandt werden, um die in der Grabkammer verwendeten Materialien und deren Umwandlungsprodukte zu identifizieren.

#### **PHASE 1 (bauzeitlicher Bestand)**

##### *Mauerwerk der Wände und des Gewölbes*

Das an der Außenseite der Frontmauer sichtbare Mauerwerk setzt sich aus grob zugehauenen, unregelmäßigen Bruchsteinen und einem Versetzmörtel zusammen. Die Verwendung der Steine im Mauerverband ist unregelmäßig und ohne erkennbares System.

Die Vermauerung steht bis auf wenige Ausnahmen im Verband. Die Größe der Steine variiert von 12 bis 16 cm in der Höhe und 12 bis 28 cm in der Breite.

Die Eingangswand weist eine Mauerstärke von 0,48-0,52 m auf. Die Wangen und der Sturz der Eingangstür bestehen aus der gelblichgrauen Varietät des Kordeler Sandsteins und stammen aus Teilen eines älteren Grabbaus. Die über dem Türingang befindliche Lüftungsöffnung setzt sich aus größeren roten Steinquadern zusammen. Deutlich erkennbare Werkzeugspuren weisen auf die Bearbeitung mit einem Spitz Eisen hin.

Im Inneren der Kammer befindet sich im Gewölbeputz eine größere Fehlstelle von ca. 15 x 5 cm. Der in diesem Bereich sichtbare Stein zeigt eine gleichmäßige Bearbeitung mit einem Spitz Eisen. Im Vergleich zu den grob behauenen Steinen der Außenwand könnte es sich hier um einen sekundär als Mauerstein verwendeten Werkstein handeln.

Der Versetzmörtel weist im Bereich der Fugen eine außerordentlich glatte, mit einem Putzwerkzeug verdichtete Oberfläche auf. Wegen der erkennbaren Werkzeugspuren dürfte für die Glättung ein kellenartiges Verputzerwerkzeug wie z. B. eine Maurerkelle verwendet worden sein. Der über den Steinköpfen befindliche Fugenmörtel ist jedoch aufgrund seines hohen Anteils an bis zu 10 mm großen Kieseln wellig und uneben. Die Fugenbreite an der Außenwand über dem Türeingang variiert von 1,5 bis 5 cm Stärke.

#### Bindemitteluntersuchung

Am Objekt wurde zunächst nur eine kleine, 2 g schwere Putzprobe vom ursprünglichen Versetzmörtel entnommen und im Labor mit dem Calcimeter nach Scheibler auf das Bindemittel- und Zuschlagstoff-Verhältnis hin untersucht. Diese Versetzmörtelprobe wurde mikroskopisch untersucht und beschrieben. Der vorpräparierten und klimatisierten Probe wurde 10-prozentige verdünnte Salzsäure zugegeben. Trotz zunächst starkem Aufschäumen hatte sich erst nach etwa einer Stunde die gesamte Bindemittelmatrix aufgelöst. Der Rückstand zeigte eine starke gelbe Färbung. Der salzsäurelösliche Anteil des Versetzmörtels lag bei ca. 38 Gewichtsprozent. Jedoch zeigt die nachträgliche Bestimmung des Carbonatanteils anhand der Kohlendioxidverdrängung, daß lediglich etwa 14 Gewichtsprozent carbonatisch gebundenes Bindemittel vorhanden sind. Beim restlichen salzsäurelöslichen Anteil handelt es sich vermutlich um lösliche Silikate<sup>6</sup>. Die anschließend durchgeführte Titration zeigte neben 10,75 Gewichtsprozent Calcium auch 1,71 Gewichtsprozent Magnesium.

Eine größere, eindeutig zuweisbare Referenzprobe wurde von den seit der Ausgrabung im Depot des Rheinischen Landesmuseum Trier aufbewahrten Putzfragmenten entnommen. Der salzsäurelösliche Bestandteil dieser Probe lag bei ca. 25 Gewichtsprozent und gibt wegen der wesentlich größeren Probenmenge eine repräsentativere Aussage über das Bindemittel-Zuschlagstoff-Verhältnis.

#### Zuschlagstoffuntersuchung

Der Zuschlag des Versetzmörtels setzt sich aus Kies, Sand, Schluff und Ziegelsplitt zusammen. Mit über 78 Gewichtsprozent nimmt der Kiesanteil (Kornfraktion über 2 mm) den mengenmäßig größten Anteil am Zuschlag ein. Die Kornfraktionen kleiner 1 mm sind relativ gleichmäßig verteilt und bilden die verbleibenden 22 Prozent des Zuschlags. Neben Flußkies und Flußsand lassen sich relativ geringe Mengen an Ziegelsplitt und Ziegelmehl feststellen. Der offenporige, poröse Ziegelsplitt kann den Kornfraktionen von 0,5-1 mm zugeordnet werden, das Ziegelmehl den Kornfraktionen kleiner 0,125 mm.

#### Interpretation der Messergebnisse

Die Analyse des Versetzmörtel zeigt, daß ein bindemittelarmer, sog. „magerer“ Kalkmörtel mit einem Bindemittel-Zuschlagstoff-Verhältnis von 1:4 verwendet wurde. Die langsame Auflösung der Bindemittelmatrix nach der Säurezugabe und die starke Gelbfärbung des Rückstands deuten auf eine nicht rein calciumcarbonatische Bindung des Mörtels hin. Es ist eher ein Hinweis auf schwerer lösliche Magnesium-

<sup>6</sup> Jägers, frdl. mündl. Mittlg. 1999.

verbindungen oder Silikatverbindungen. Anhand der Titration kann der Calcium- und damit der Magnesiumanteil bestimmt werden. Das Verhältnis von Calcium zu Magnesium ist etwa 5:1<sup>7</sup>. Die mikroskopische Untersuchung der Putzprobe erlaubt keinen Rückschluß auf die Verwendung von Dolomitgestein als Zuschlag. Somit dürfte der nachweisbare, relativ geringe Magnesiumanteil für die Verwendung von magnesiumhaltigem Kalkstein als Bindemittel sprechen.

Die vorgenannten Gründe lassen den Rückschluß zu, daß auch bei der Grabkammer am Reichertsberg als Bindemittel für den Mörtel ein gebrannter magnesiumhaltiger Kalkstein<sup>8</sup> verwendet wurde.

Der Zuschlag des Versetzmörtels zeichnet sich durch einen außerordentlich hohen Anteil an großen Kieselsteinen auf. Damit unterscheidet er sich stark von dem des darüber befindlichen Oberputz.

#### *Mauerwerk der Grabeinfassungen*

Die drei ursprünglichen Grablegen in der Kammer sind im Unterschied zu dem Bruchsteinmauerwerk der Außenwände und des Gewölbes aus flachen Ziegeln und einem calcitischen Kalkmörtel gemauert worden. Diese Ziegelmauern sind ca. 57 cm hoch und mit ca. 24-26 cm Breite sehr schmal.

Die Ziegel sind ca. 3 cm hoch, ca. 13 cm breit und länger als 23 cm. Ihre Länge kann wegen der auf der Grabeinfassung aufliegenden Putzschichten nicht eindeutig festgestellt werden. Die Ober- bzw. Unterseite der Ziegel ist nicht einzusehen und damit auch keine eventuell vorhandene Stempelung.

Der Versetzmörtel der im regelmäßigen Verband gemauerten Ziegel schließt eben mit den Außenkanten derselben ab. Die Fugen scheinen mit einem Putzwerkzeug (vermutlich einer Kelle) eben abgezogen worden zu sein.

Optisch läßt sich der Versetzmörtel durch seine offenporige Struktur und seine braune Farbe von den anderen Putzen unterscheiden. Die Schichtstärke variiert von 0,8-10 mm. Als weiteres deutliches Erkennungsmerkmal lassen sich unregelmäßig verteilte weiße Kalkagglomerate, sogenannte Kalkspatzen, in dem Gefüge des Versetzmörtels erkennen.

Als Bindemittel dürfte ebenfalls, wie beim Versetzmörtel der Wand- und Gewölbeflächen, ein gebrannter, magnesiumhaltiger, Kalkstein verwendet worden sein. Neben der Überprüfung der Salzsäurelöslichkeit und dem Gipsnachweis (negativ) wurden keine weiteren chemischen Bindemitteluntersuchungen vorgenommen. Für das Vorhandensein von Magnesium spricht neben dem langsamen Auflösungsverhalten die starke Gelbfärbung der Lösung.

Das Bindemittel-Zuschlagstoff-Verhältnis des Putzes liegt bei etwa 1:1,5 Gewichtsteilen. Es handelt sich folglich um einen relativ bindemittelreichen Kalkmörtel.

Die mikroskopische Untersuchung des nichtsäurelöslichen Rückstands, der hier als Zuschlaganteil interpretiert wird, zeigt, daß sich dieser fast ausschließlich aus

<sup>7</sup> Vgl. Jägers/Jägers 1996, 3: Ergebnis der Putzuntersuchung der constantinischen Deckengemälde aus dem römischen Palast unter dem Trierer Dom. Verhältnis Magnesium und Calcium 1:5,47 bzw. 1:5,13.

<sup>8</sup> Zu Klassifikation von Calcit und Dolomit siehe Wright/Tucker 1990, 482 Tab. 3.

Flußkies und Flußsand zusammensetzt. Die Zuschlagzusammensetzung umfaßt alle Kornfraktionen von  $<0,063$  mm bis hin zu 2 mm großen Kieseln.

Nur in der Kornfraktion von 0,5 cm lassen sich einzelne Ziegelsplitter und in den Kornfraktion 0,125 mm bis  $<0,063$  mm auch Ziegelmehl nachweisen. In den ausgesiebten Rückständen von 0,25 mm und 0,125 mm finden sich vereinzelt schwarze Rußpartikel. Vermutlich handelt es sich dabei um Aschereste, die von der Herstellung des Kalkes herrühren.

### *Außenputz*

Über die Existenz sowie die Art und Beschaffenheit des Außenputzes lassen sich auf Grund mangelnder Befunde keine klaren Aussagen treffen. In einem einzigen Bereich der Außenwand konnte ein Putzfragment festgestellt werden, das auf die Existenz eines geglätteten, einlagigen Außenputzes schließen läßt. Dieser Befund befindet sich dort, wo die nach der Ausgrabung errichtete steinsichtige linke Stützmauer an die Frontwand der Grabkammer anstößt. Der äußerst reduzierte Putzbestand ließ keine Probeentnahme zu. Grundsätzlich gilt zu bedenken, daß diese Außenputzschicht entsprechend der ursprünglichen Bausituation durch die unterirdische Anlage der Grabkammer nicht sichtbar gewesen wäre. Damit hatte sie eine ausschließlich mauerwerkschützende Funktion. Ungeklärt bleibt, inwieweit neben der Frontwand auch die drei weiteren Außenwände verputzt waren.

Bei der Freilegung waren über der Grabkammer noch Reste des Estrichbelages erhalten<sup>9</sup>. Diese werden durch die 1968 ausgeführte Betonabdeckung heute verdeckt.

### *Innenputz*

#### Putz der Wand- und Gewölbeflächen

Der ursprüngliche Putz ist einlagig aufgebaut und zeichnet sich durch seine graue bis rötlichbraune Farbe aus. Er sitzt mit einer Schichtstärke von ca. 1-1,5 cm auf dem Mauerwerk und zeigt eine glatte ebene Oberfläche.

#### Bindemitteluntersuchung

Auch für diese Putzuntersuchung konnten geringe Proben entnommen und archivierten Putzfragmenten der Grabkammer aus dem Depot des Rheinischen Landesmuseums Trier zugeordnet werden.

Die Analyse des ursprünglichen Putzes zeigt ein Bindemittel-Zuschlagstoff-Verhältnis von 1:1,8. Demzufolge dürfte die Herstellungsrezeptur des Mörtels aus einem Gewichtsteil gelöschtem Kalk und 2,8 Gewichtsteilen Zuschlag bestanden haben<sup>10</sup>.

Auch bei dieser Probe löste sich die Bindemittelmatrix nach Zugabe der zehnpromigen Salzsäure erst nach über einer Stunde komplett auf. Der Rückstand wies die bereits beobachtete starke Gelbfärbung auf. Anhand der Calciumtitration und der Calcium/Magnesiumtitration kann der langsame Löseprozeß der Probe aufgrund

<sup>9</sup> Cüppers 1990, 631.

<sup>10</sup> Umrechnung bei reinem Calciumcarbonat als Bindemittel (entsprechend der Molmassen gilt  $\text{CaCO}_3 : \text{Ca(OH)}_2$  1:0,74). Der Magnesiumanteil eines Dolomitmalkes bleibt bei der Umrechnung unberücksichtigt.

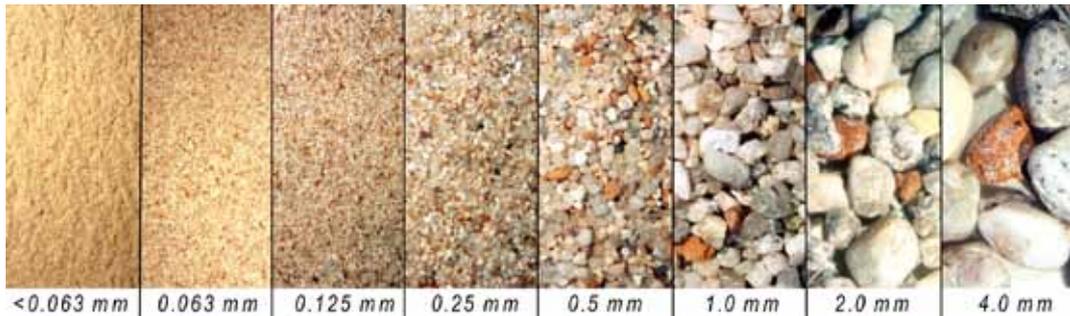


Abb. 8 Zuschlagzusammensetzung des einlagigen bauzeitlichen Gewölbe- und Wandputzes aus Kies, Sand, Schluff, Ziegelsplitt und Ziegelmehl, entsprechend der Korngrößenverteilung von <0,063 bis 4 mm.

des nachweisbaren Magnesiumanteils von ca. 2,08:6,88 Gewichtsprozent Calcium erklärt werden. Vermutlich handelt es sich beim Bindemittel des Obermörtels um magnesiumhaltiges Kalkhydrat.

Der Zuschlag setzt sich aus Kies, Sand, Schluff, Ziegelsplitt und Ziegelmehl zusammen (Abb. 8). Die Korngrößen reichen von <0,063 bis zu 4 mm. Der Ziegelsplitt- bzw. Ziegelmehlanteil ist in allen Kornfraktionen enthalten, nimmt aber gegenüber dem Kies, Sand und Schluff mengenmäßig einen wesentlich geringeren Anteil ein. Der Kies, Sand und Splittanteil (Korngröße >1 mm) liegt bei 67,8 Gewichtsprozent vom Zuschlag. Der Schluffanteil (Korngröße 0,063-<0,063 mm) liegt bei ca. 5 Gewichtsprozent, Feinsand und kleiner Ziegelsplitt bei ca. 30 Gewichtsprozent.

Der Zuschlag dieses Obermörtels (Abb. 8) weist eine stetige Sieblinie<sup>11</sup> auf. Die Korngrößenverteilung und damit der hohe Anteil an Kies, d. h. dem größten Korn, garantiert ein stabiles und beim Trocknungsprozeß schwindfreies Putzgefüge. Die Zugabe von Ziegelsplitt und -mehl und die damit im Kalkmörtel einhergehenden hydraulischen Eigenschaften unterstützen die höheren physikalisch-mechanischen Eigenschaften Druckfestigkeit<sup>12</sup> und Biegezugfestigkeit des Putzgefüges.

#### Oberflächenbearbeitung

Die Putzoberfläche ist außerordentlich eben. Im nördlichen Gewölbebereich lassen sich im Anschluß an die Rückwand parallel verlaufende, bis zu 18 cm breite, geradkantige und relativ scharfkantige Eindrückungen feststellen. Es handelt sich um Spuren, die von einem glättkellenähnlichem Werkzeug stammen müssen (Abb. 9), vermutlich von einem dünnen Metallglätter<sup>13</sup>. Während der Verputzung der Gewölbeflächen wurde durch das Ansetzen eines Metallglätters versucht, vom Scheitelpunkt des Gewölbes aus den noch feuchten Oberputz an der Oberfläche zu glätten und einzuebnen. Dabei wurde der Glätter mit der linken Seitenkante in der Ecke Rückwand/Gewölbe

<sup>11</sup> Vgl. Wesche 1993, 13 ff.

<sup>12</sup> Zu Druckfestigkeitserhöhung durch Zuschlag von Ziegelsplitt siehe Wesche 1993, 339 Tab. D 7.2

<sup>13</sup> Ein hölzernes Glätt- bzw. Reibebrett (*liaculum*) besitzt aufgrund der Abnutzungserscheinungen des weichen Holzes leicht abgerundete Außenkanten. Dies führt dazu, daß Putzverdichtungen, die von einem solchen Glättwerkzeug stammen, rundere und weichere Putzkanten aufweisen. Zum *liaculum* vgl. Gaitzsch 1980, 11.

Abb. 9 Detailaufnahme der Gewölbefläche unmittelbar an der Rückwand, mit Spuren des für die Oberflächenglättung verwendeten Metallglätters.



angesetzt und längs der Wölbung von oben nach unten über den Putz abgezogen. Leichte Unebenheiten im Mauerwerk der Rückwand oder die nicht völlig planparallele Haltung des Glätters führten dazu, daß die (in diesem Fall die linke) Außenkante des Glätters an den noch nicht verputzten vorstehenden Mauerwerksteinen der Rückwand verhakte.

Der Glättvorgang sollte zur Erzielung einer möglichst glatten Putzoberfläche in einer gleichmäßigen Geschwindigkeit durchgeführt werden. Kommt es jedoch zum leichten Schaben des Glätters an der unmittelbar anschließenden unverputzten Rückwand bzw. an dessen ungeglätteten Putzoberfläche, so führt dies zu einer kurzzeitigen Unterbrechung des Arbeitsablaufs. Durch diese Unterbrechung kommt es zu einer längeren Verweildauer des Glätters auf einer Stelle und damit partiell zu einer stärkeren Verdichtung des Putzgefüges.

Nach Gaitzsch wurden üblicherweise „Glättarbeiten mit den normalen Mauerkellen ausgeführt. Hierzu konnten alle die Kellen verwendet werden, die gerade Seitenkanten besaßen“<sup>14</sup>.

Betrachten wir jedoch die über 18 cm langen parallelen Putzverdichtungen im Gewölbereich der Kammer, so können diese nicht von einer römischen Mauerkelle (*trulla, rutrum, ascia*<sup>15</sup>) stammen, da deren Seitenkanten deutlich kürzer sind. Das Seitenmaß der hier verwendeten rechteckigen metallenen Glättkelle muß mindestens 18 cm betragen haben. Die äußerst parallel verlaufende Abfolge der Putzverdichtungen läßt aus der handwerklichen Praxis heraus sogar ein Glättwerkzeug mit noch größerer, gerader Seitenkante vermuten. Tatsächlich gibt es nach Gaitzsch<sup>16</sup> einen einzigen Fund einer Glättkelle aus Verulamium in England mit größeren Abmessungen.

### Putz der Grabeinfassungen

Der Putz auf den Grabeinfassungen weist im Gegensatz zu dem einlagigen Putz der Gewölbe- und Wandflächen einen zweilagigen Putzaufbau auf. Der Unterputz ist ca. 1 cm stark und nivelliert die Unebenheiten des Ziegelmauerwerks. Der Oberputz variiert in seiner Auftragsstärke von 1-1,5 cm und dient als Glättsschicht.

<sup>14</sup> Gaitzsch 1980, 16.

<sup>15</sup> Gaitzsch 1978, 43 Abb. 15 c.

<sup>16</sup> Gaitzsch 1980, 16: „Die Kelle besteht aus Eisen und ist mit einem bogenförmig, angeschmiedeten Handgriff versehen. Das rechteckige Kellenblatt hat eine außergewöhnliche Länge von 55,1 cm und eine mittlere Breite von 11 cm“. Sie „... diente ausschließlich zum Glätten und Abziehen von Putz-, Stuck- oder Gipsoberflächen“.

### Unterputz

Der Unterputz hat, wie der ursprüngliche Versetzmörtel, eine bräunliche Farbe. Besonderes Erkennungsmerkmal ist der hohe Anteil an großen Kieseln. Die Oberfläche scheint mit einem Glätt- oder Reibebrett eben abgezogen worden zu sein. Hierfür spricht die plane aber rauhe Oberflächenstruktur.

Der salzsäurelösliche Anteil der Putzprobe liegt bei 20,28 Gewichtsprozent. Dieser Anteil wird als Bindemittel interpretiert. Damit ergibt sich ein Bindemittel-Zuschlagstoff-Verhältnis von ca. 1:4 Gewichtsteilen. Es handelt sich damit um einen bindemittelarmen, sogenannten „mageren“ Kalkmörtel. Betrachtet man nun die Korngrößenverteilung des Zuschlags, so fällt der hohe Anteil an 4 mm großen Flußkiesel von 32,02 Gewichtsprozent auf. Der Anteil an Flußkiesel von 2-4 mm liegt bei 49,21 Prozent. Gleichzeitig ist ein verhältnismäßig großer Feinsandanteil von 18,55 Gewichtsprozent der Korngröße 0,125 mm festzustellen. Die Siebkurvenverteilung des Zuschlags entspricht annähernd einer Ausfallkörnung<sup>17</sup>. Dies hat zur Folge, daß der Untermörtel durch seine ideale Korngrößenverteilung und Sieblinie eine dichte Kornpackung bei gleichzeitig geringem Bindemittelanteil zuläßt, die ein stabiles Putzgefüge garantieren. Eine weitere das Putzgefüge stabilisierende Wirkung dürfte von dem im Zuschlag enthaltenen Ziegelsplitt und -mehl aufgrund seiner hydraulischen Wirkung ausgehen.

Bei den vereinzelt schwarzen, schichtigen Teilchen im Schluffanteil des Zuschlags handelt es sich vermutlich um Rußpartikel, die vom Brennen des Kalkes herrühren.

### Oberputz

Der Oberputz läßt sich im Bereich von Bruchkanten deutlich durch seine hellere Farbe und den extrem hohen Anteil an Ziegelsplitt vom Untermörtel unterscheiden. Die Oberfläche ist mit einem Glättwerkzeug stark verdichtet und außerordentlich eben. Im Anschluß an den gestampften Lehm Boden zeigen sich deutliche Putzspuren, die von einer Putz- bzw. Glättkelle herrühren dürften.

Das Bindemittel-Zuschlagstoff-Verhältnis wurde anhand der Salzsäurelöslichkeit bestimmt. Es liegt bei 33:67 Gewichtsprozent. Aus dem schlechten Löslichkeitsver-

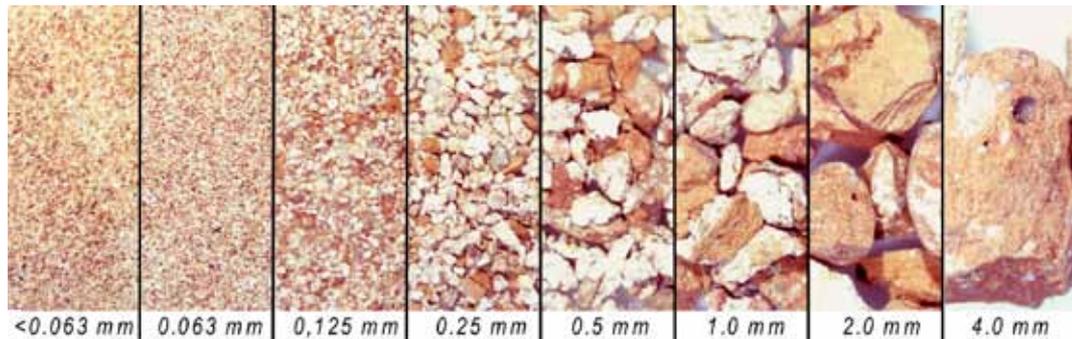


Abb. 10 Zuschlagzusammensetzung des Obermörtels der bauzeitlichen Grabeinfassung aus Ziegelsplitt und Ziegelmehl entsprechend der Korngrößenverteilung von <0,063 bis 4 mm.

<sup>17</sup> Ausfallkörnung = unstetige Sieblinie.

haltens und der starken Gelbfärbung des Rückstands kann auf einen magnesiumhaltigen Kalkmörtel geschlossen werden. Der Mörtel wurde ursprünglich vermutlich aus ungefähr einem Teil Kalk und drei Teilen Sand hergestellt.

Bei der Zusammensetzung des Zuschlags (*Abb. 10*) fällt auf, daß dieser fast ausschließlich aus Ziegelsplitt und -mehl besteht. Nur in den Kornfraktionen kleiner 0,25 mm können Flußsand bzw. Schluff festgestellt werden. Von niedriggebrannten Ziegeln hergestellter Ziegelsplitt und Ziegelmehl besitzen in einem Kalkmörtel eine hydraulische, verfestigende Wirkung.

Die calciumsilikatischen Verbindungen bilden sich aus Calcium und sogenannten hydraulischen Bestandteilen, die beim Obermörtel von dem Ziegelsplitt- und -mehlanteil des Zuschlags stammen.

#### *Auswertung der Untersuchungsergebnisse des bauzeitlichen Bestands*

##### Chronologie der Verputzarbeiten im Innenraum

Sämtliche Putzarbeiten der ursprünglichen Bauphase müssen unmittelbar hintereinander bzw. innerhalb weniger Tage ausgeführt worden sein, da Arbeitsgrenzen in Form von Anputzungen oder Überlappungen nicht festgestellt werden konnten.

Die Grabkammer weist mit ca. 60 m<sup>2</sup> eine Mauerwerksfläche auf, die von einer Person innerhalb von ein bis zwei Tagen angeworfen werden kann. Die Luftfeuchte in der Grabkammer wird durch die unterirdische Lage und durch den geringen Luftaustausch im Raum sehr hoch gewesen sein. Lediglich eine kleine Öffnung über dem Türsturz diente der Luftzirkulation. Infolgedessen dürfte sich der Carbonatisierungsprozeß des Kalkmörtels und damit die Erhärtung des Putzes trotz der latent hydraulischen Eigenschaften stark verzögert haben. Die Durchführung der Putzarbeiten ließ sich dadurch über einen Zeitraum von mehreren Tagen hinweg ohne erkennbare Putzanätze ausführen. Knoepfli/Emmenegger<sup>18</sup> gehen aufgrund der hohen Feuchte davon aus, daß der Mörtel in unterirdischen Grabkammern grundsätzlich in einem einzigen Zuge aufgebracht werden konnte.

Durch die Untersuchung der Übergangsbereiche von Gewölbe- und Wandflächen sowie der Anschlüsse der Grabeinfassungen der ersten Phase an den Wänden kann anhand der Glättspuren der Arbeitsablauf der Verputz- und Glättarbeiten nachvollzogen werden.

Wird ein Raum in einem Arbeitsgang komplett verputzt, so beginnt man mit den Glättarbeiten im allgemeinen in den zuerst verputzten Bereichen, denn diese haben die längste Stand- und damit Trockenzeit.

In der Grabkammer am Reichertsberg wurden zuerst die Grabeinfassungen verputzt. Anschließend erfolgte die Verputzung der Gewölbe- und Wandflächen. Anhand der Verdrückungen der schon geglätteten Gewölbe- und Wandflächen im Anschluß an die Wandfläche kann eindeutig nachgewiesen werden, daß die Wandflächen erst nach den Gewölbe- und Wandflächen geglättet wurden. Danach wurden die drei Nischen verputzt und die Kanten mit einem groben Borstenpinsel verschlichtet. Abschließend wurden die Nischenböden

<sup>18</sup> Knoepfli/Emmenegger 1990, 143.

verputzt und geglättet. Hierfür sprechen die Einritzungen im Übergangsbereich von Nischenwand zu Nischenboden, die von einem Glättwerkzeug (vermutlich einer Glättkelle) stammen dürften.

Es handelt sich bei der Abfolge der Verputzarbeiten um ein ungewöhnliches Putzschema. Man fängt heute grundsätzlich bei einer Wandfläche immer auf der obersten Gerüstlage mit dem Putzauftrag an und endet im Sockelbereich. Dies hat den Vorteil, daß beim Anwerfen des Mörtels abfallende Verluste und Überschüsse auf die darunter befindliche noch unverputzte Mauer und nicht auf eine schon verputzte und geglättete Fläche fallen.

Eine Erklärung für das umgekehrte Putzschema in der Grabkammer am Reichertsberg konnte nicht gefunden werden.

#### Bautechnische Begründung des Putzaufbaus

Bei der mikroskopischen Untersuchung einzelner Putzfragmente und Proben zeigt sich auf der ursprünglichen Farbfassung eine deutliche Versinterung der Oberfläche. Solche Sinterschichten bilden sich in Räumen, die durch Baumängel oder durch Bauschäden ein dauerfeuchtes Raumklima aufweisen.

Betrachten wir den Innenraum der Grabkammer, so lassen sich Maßnahmen erkennen, die zur Reduzierung der Feuchte schon in die ursprüngliche Bausubstanz integriert wurden. Am Übergang der Ostwand der ehemals unterirdisch gelegenen Grabkammer zum Boden sind unmittelbar über dem Bodenniveau drei ca. 6 cm große und bis zu ein Meter tiefe, schräg abfallende Öffnungen angebracht worden, um eingedrungenes Wasser abzuleiten. Vergleichbar den von Vitruv (IV 4) beschriebenen, aus dem Mauerwerk mündenden Rinnen dürften diese eine wasserableitende Funktion übernommen haben.

Daß das Mauerwerk und damit die Putzschichten durch aufsteigende Feuchte im Sockelbereich deutlich stärkeren physikalischen und chemischen Verwitterungsprozessen ausgesetzt ist, war dem römischen Baumeister bekannt. Schon Vitruv (IV 1) empfiehlt, daß man an feuchtebelasteten Wänden dem Mörtel bis ungefähr in eine Höhe von drei Fuß gestoßene Tonscherben statt feinem Sand als Zuschlagstoff zugeben soll. In diesem Zusammenhang wird auch das Bewerfen der Mauern mit Mörtel aus gemahlener Ziegeln als feuchteisolierende Maßnahme aufgeführt.

Dies muß auch dem Baumeister der Grabkammer bekannt gewesen sein, denn damit läßt sich der Unterschied in der Zusammensetzung der Sockelputze und der Wand- und Gewölbeputze erklären: Die Sockelputze weisen im Gegensatz zu den höhergelegenen Putzen nämlich einen deutlich höheren Anteil an Ziegelsplitt und Ziegelmehl im Zuschlag auf bzw. bestehen ausschließlich daraus<sup>19</sup>.

Das vermutlich aus niedriggebrannten Ziegeln gewonnene Ziegelmehl und der Ziegelsplitt besitzen, wie bereits beschrieben, latent hydraulische Eigenschaften. Die Zugabe im Kalkmörtel erhöht die Stabilität und damit die Verwitterungsbeständigkeit.

<sup>19</sup> Vgl. die Ergebnisse bei Riedl 1998, 12.

### Werkzeugspuren und Malhilfen

Sämtliche in der Grabkammer beobachtete Malhilfen wurden auf dem noch feuchten Oberputz ausgeführt. Der Arbeitsablauf für das Verputzen und die Ausmalung der Grabkammer am Reichertsberg dürfte wie folgt gewesen sein: Die Stukkateure verputzten das Gewölbe. In den noch feuchten Putz ritzten die Maler mit Zirkel bzw. Zirkelschnur, Schlagschnur und Richtlatte ihre Vorzeichnungen.

Eine 2 cm lange v-förmige Eindrückung in den Putz dicht an der Rückwand gibt den Scheitelpunkt des Gewölbes an. Sie wurde in den noch feuchten Putz ausgeführt.

Als weitere Malhilfe lassen sich deutlich Zirkelritzungen erkennen (*Abb. 11*). Diese dienen der Anlage der vier heute zum Teil noch erhaltenen, zur ursprünglichen Gewölbeausmalung gehörenden Kreismedaillons (*Abb. 2*). Die Putzflächen im Bereich der Kreismittelpunkte sind uneben, und das Putzgefüge ist verdichtet. Es handelt sich hierbei um Fingerspuren, die vom Anhalten der Zirkelschnur stammen. Die ca. 1-2 mm breite, nach außen stärker abgeschrägte Ritzung ist mit einem spitzen Gegenstand in den noch feuchten Putz ausgeführt worden, wie die weichen, wulstartig aufstehenden Mörtelgrate belegen.

In der großen Nische der Rückwand lassen sich im Bereich des Umhangs der dort dargestellten Figur an der rechten Schulter Spuren einer Vorzeichnung in Form einer Ritzung finden. Auch diese ca. 1 mm breite Einritzung ist mit einem spitzen Gegenstand in den frischen Putz ausgeführt worden. Der Ritzgriffel sowohl für die Vorzeichnung der figürlichen Bereiche als auch für die Zirkelschläge war vermutlich aus Eisen. Nur mit einem verschleißarmen Material wie Eisen lassen sich solch genaue, scharfkantige und schmale Ritzungen ausführen.

Weitere Befundstellen von Vorritzungen im figürlichen Bereich ließen sich aufgrund der starken Schmutzaufgaben und des fragmentarischen Erhaltungszustands der Malerei in diesen Bereichen während der Untersuchungsarbeiten nicht finden.

Die Architekturgliederung im Bereich der Wand- und Gewölbeflächen über den Mauern der Grablagen zeigt keine Hinweise auf die Verwendung von Ritzungen als Malhilfen zur Anlage der Kassetten und Bänder. Als Malhilfe dürfte für die rein geometrischen und damit einfacher auszuführende Malereiflächen ein Lineal oder eine Latte verwendet worden sein. Hierfür spricht die äußerst exakte Ausführung der Bänder, Striche und Ritzer, die in dieser Qualität nicht freihändig gezogen werden können.



Abb. 11 Detailaufnahme der Zirkelschlagritzung als Malhilfe für die Anlage der Malerei (Phase 1). Deutlich erkennbar die nach außen flacher abgeschrägte und damit breitere Ritzflanke.

### *Farbfassung*

#### Beschreibung der ursprünglichen Malerei

Durch die Untersuchung im Aufricht konnte die Malerei der bis auf die kleine Öffnung über der Tür fensterlosen und damit dunklen Grabkammer erfaßt werden. Die Malerei ist durch die starken Schmutz- und Krustenaufgaben, durch Schäden in der Mal- und Putzschicht sowie durch umfangreiche Putzerneuerungen in späteren Renovierungsphasen heute kaum mehr zu erkennen.

Besonders an Tagen mit hoher Raumluftfeuchte, von 95-99 % relativer Luftfeuchte (rF), ist die Malerei durch die Krustenaufgabe hindurch deutlicher zu erkennen als an Tagen mit trockener Raumluft. Infolge der Feuchtigkeitsaufnahme kommt es in der an trockenen Tagen milchig trüben Krustenaufgabe zur Veränderung des Brechungsindex und damit zu einer temporären stärkeren Transparenz.

Das ursprüngliche Fassungssystem zeigt im Bereich über den Grabeinfassungen bis in 1,80 m Höhe eine Kassettierung der Wand- und Gewölbeflächen (*Abb. 1; 4*). Auf der weißgründierten Wandfläche wurden die Kassettfelder orangefarben vorgelegt und darauf mit grünen und roten Bändern untergliedert. Zwischen diesen Bändern finden sich Reste einer in Grün angelegten ornamentalen Ausmalung. Die Sockelzone wird direkt oberhalb der Mauern der Grablegen durch ein rotes, die Putzkante umlaufendes Band von der zurückliegenden Wandfläche abgesetzt. Die Kante der Wandfläche zum Gewölbe hin ist durch ein grünes Band hervorgehoben. Es ist im Bereich der Kassettierung 8 cm breit. Grüne Bänder umgeben auch die drei Nischen.

Oberhalb der Kassettierung sind in dem gelb und grün gerahmten Bogenfeld einzelne Fragmente einer stilisierten, floralen Rankenmalerei erhalten. Zu beiden Seiten der Westwandnische befinden sich inmitten dieser Ranken Darstellungen je eines Vogels (*Abb. 5; 6*).

Die große Nische in der Rückwand (Westwand) zeigt äußerst fragmentarisch die Darstellung eines Genius mit einem Füllhorn in seiner Linken und einer Patera (Spendeschale) in seiner rechten Hand (*Abb. 12; 13*). Unterhalb der Patera haben sich Fragmente der Malerei erhalten, die sich als Darstellung eines Opferaltars interpretieren lassen<sup>20</sup>. Zu beiden Seiten wird die Figur von einer ca. 40 cm hohen, gelben Quaderung mit diagonaler Aufteilung begrenzt.

Die Wandflächen oberhalb der Grablegen weisen ebenfalls Reste einer Kassettierung auf. Darüber finden sich weitere vertikale und diagonale gelbe Bänderungen, deren System nicht eruiert werden konnte. Vermutlich handelt es sich um eine Gliederung der Gewölbeflächen.

Im Gewölbescheitelpunkt an der Westseite (Rückwand) befindet sich ein Kreismedaillon mit einem Durchmesser von 94 cm. Dieses wird an der Nord-, Süd- und Ostseite jeweils von einem kleineren Kreismedaillon begrenzt (*Abb. 2*). Die beiden seitlichen Medaillons (Dm. 51 cm) werden durch ein rotes, ca. 4-5 cm breites Band begrenzt. Im Abstand von ca. 2 cm dazu befindet sich innen ein weiteres grünes, 4 cm breites Band. Der kleinere Kreis im Gewölbescheitel (Dm. 46,5 cm) ist nur von einem roten

<sup>20</sup> Eine zeichnerische Rekonstruktion der Genius-Darstellung ist im derzeitigen Zustand nicht möglich.



Abb. 12 Aufnahme der Rückwandnische mit fragmentarisch erhaltener Darstellung eines Genius (Phase 1).



Abb. 13 Makroaufnahme der Rückwandnische. Kopf der Geniusdarstellung.

Band umgeben. Im Zentrum der Kreise sind ca. 14-15 cm große, stilisierte Blüten mit dunkelroten herzblattförmigen Blättern angelegt.

Das zentrale Kreismedaillon ist außen mit einem roten, zur Innenfläche mit einem gelben und im Abstand von ca. 12 cm dazu mit einem grünen Band zur weißen Hintergrundfläche abgegrenzt. Im Zentrum dieses Kreises haben sich Fragmente der Darstellung eines geflügelten Kopfes erhalten. Vermutlich handelt es sich um die Darstellung eines Medusenhauptes (Abb. 7).

Die Nischen im unteren Bereich der nördlichen und südlichen Gewölbefläche sind, wie die Nische der Westwand, mit einem gelb unterlegten grünen und nach außen mit einem roten Band abgegrenzt. Die halbrund zurücktretenden Nischenwände zeigen rote und grüne Farbspuren, deren runde Formen auf eine stilisierte, florale Ausmalung schließen lassen<sup>21</sup>.

Der Putz- und Malschichtbestand an der Eingangswand ist in seinem Umfang durch die starken Schäden in Mitleidenschaft gezogen und gibt daher keine Auskunft über das ursprüngliche Malereisystem.

<sup>21</sup> Vgl. Ausmalung der Nischen in der westlichen Grabkammer in Nehren. (Krencker 1924, 71 Abb. 4-5)

### Ausführung der Malerei

Der Arbeitsablauf und die Ausführung der Malerei lassen sich anhand der Befundlage in weiten Bereichen rekonstruieren. Nachdem der Oberputz in den Wand- und Gewölbeflächen aufgetragen und geglättet war, wurde kurz darauf eine weiße, bis 1 mm starke Kalkschlämme aufgebracht. Der starke Pinselduktus und die fast ausschließlich vertikale Pinselführung sind im Streiflicht deutlich erkennbar (Abb. 14). Zum Auftrag der Kalkschlämme wurde vermutlich ein Pinsel mit harten Borsten verwendet. Die vertikale Endredaktion des noch frischen Putzes der geglätteten Wandflächen



Abb. 14 Detailaufnahme von der Rückwand (Westwand) oberhalb der Nische. Erkennbar sind die vertikalen Pinselstrukturen der Grundierungsschlämme (Phase 1).

mit einem Borstenpinsel ist typisch für die spätrömische Zeit und läßt sich an einer Vielzahl von Objekten nachweisen. Auf diese weiße Grundierungsschicht erfolgte dann die Vorzeichnung der Kreise im Gewölbe durch Vorritzen.

Für die Anlage der geometrischen Architekturfelder wurden die weiß vorgrundierten Wandflächen oberhalb der Grabeinfassungen bis in eine Höhe von 1,82 cm orange-farben vorgelegt. Diese farbige Vorlage läßt sich auch im Bereich der Gewölbeflächen nachweisen. Der außerordentlich dünn-schichtige Farbauftrag der Rückwand ohne erkennbaren Pinselduktus läßt auf eine niedrigviskos eingestellte Farbe und eine gleichmäßige Verteilung mit dem Pinsel schließen.

Durch die stark lehmhaltige, braune Schmutzaufgabe kann die orange Grundierung häufig nicht von der Schmutzkruste unterschieden werden. Erst die mikroskopische Untersuchung macht eine eindeutige Unterscheidung möglich.

Auf diesen orange vorgelegten Flächen erfolgte auf der Rückwand die geometrische Aufteilung mit Ritzern und grünen Bändern. Wegen des fragmentarischen Erhaltungszustands lassen sich jedoch im Gewölbe und auf der Eingangswand keine weiteren Aussagen über das Malsystem dieser Zone treffen.

Zum Schluß wurden die ornamentalen Muster auf die orangefarbenen Zwischenfelder aufgemalt (Abb. 1). Die Rahmungen der Nischen und der Bogenfelder erfolgte mit einem breiten gelben Band, das zur Gewölbefläche bzw. zur Nische hin mit einem grünen ca. 4 cm breiten Band überfaßt wurde.

Die figürliche Malerei in dem Kreismedaillon an im Gewölbescheitel zeigt einen systematischen Aufbau: Zunächst wurde der orangefarbene Grundton (Inkarnatton) angelegt. Dann erfolgte die Ausmalung der Schattenbereiche in einem rotbraunen Farbton. Abschließend wurden durch weiße Pinselstriche Lichter gesetzt. Die Schatten und Lichter zeigen eine klare farbige Absetzung vom darunter liegenden Untergrund. Die Ausführung wird nacheinander auf der zuvor getrockneten Schicht erfolgt sein.

Entsprechend der Malerei des geflügelten Medusenhauptes erfolgte auch die Ausführung der Malerei beim Genius in der Rückwandnische.

### Verwendete Pigmente

Zur Bestimmung der verwendeten Pigmente und des Bindemittels wurden die 1x1 mm großen Fassungsproben fast ausschließlich an den Putzfragmenten aus dem Museumsdepot entnommen. Die Zuordnung und Bestimmung der in der Malerei verwendeten Pigmente erfolgte neben dem histochemischen Anfärbeverfahren für Pigmente auch durch Vergleiche mit Streupräparaten. Im Gegensatz zum Auflicht lassen sich transparente und teiltransparente Präparate so auf ihren strukturellen Aufbau hin untersuchen<sup>22</sup>.

Der Farbkanon der ursprünglichen Ausmalung umfaßt Gelb, Rot, Dunkelrot, Grün, Weiß, Schwarz und die Ausmischung der einzelnen Pigmente untereinander.

Entsprechend der zu vermutenden Pigmente<sup>23</sup> wurden Pigmentproben von den vorgenannten Putzfragmenten entnommen und auf ihre chemische Zusammensetzung hin untersucht. Die mikrochemischen Untersuchungen wurden mit Referenzproben von heute erhältlichen Farbpigmenten verglichen.

Gelb: Die mikrochemische Untersuchung zeigte, daß sich die gelbe Probe in konzentrierter Salzsäure langsam auflöste. Der tiefblaue Farbumschlag der eingedampften Pigmentlösung bei Zugabe von Blutlaugensalz, aber auch die starke Rotfärbung der salzsauren Pigmentlösung bei Zugabe von Kaliumthiocyanat, dienten als ionenspezifischer Nachweis für Eisen. Der ionenspezifische Reaktionsnachweis von Blei durch Ausfällung von schwarzen Kristallen mit Kupferacetatlösung und Kaliumnitritlösung fiel negativ aus. Die Reflektographie zeigt zu den Referenzkurven von gelbem Ocker deutliche Übereinstimmungen. Bei dem gelben Pigment handelt es sich demnach um ein eisenoxidhaltiges Pigment, vermutlich gelben Ocker (Eisen III-oxidhydrat ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )/Goethit). Nach Herold<sup>24</sup> ist natürlicher Ocker das am meisten verwendete gelbe Pigment.

Die Verwendung des von E. Jägers und E. Jägers<sup>25</sup> an den unter dem Trierer Dom gefundenen constantinischen Deckengemälden erstmals an römischen Malereien nachgewiesene seltene Gelbpigment Natron-Jarosit kann für die Ausmalung der Grabkammer ausgeschlossen werden.

Rot: Im roten Pigment konnte mit Hilfe des mikrochemischen Nachweises, wie bei der gelben Probe, Eisen aber kein Blei nachgewiesen werden. Die Reflektographie zeigte hier zu den Referenzkurven von gebrannten rotem Ocker deutliche Übereinstimmungen. Bei dem roten Pigment handelt es sich um eine eisenoxidhaltige Verbindung, vermutlich natürlicher roter Ocker (Eisenoxid [ $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ]), der in der Antike an zahlreichen Stellen vorgefunden wurde<sup>26</sup>.

<sup>22</sup> Vgl. hierzu Riederer 1987, 24.

<sup>23</sup> Zu Pigmenten der antiken Malerei siehe Riederer 1987, 202. - Knoepfli/Emmenegger 1990, 147. - Ling 1992, 198-220. - Noll et al. 1975, 49-61. - Dörner 1989, 28-50. - Kühn 1981, 15-43.-Bearat 1997 a, 14.

<sup>24</sup> Herold 1994, 38.

<sup>25</sup> Jägers/Jägers 1996, 8.

<sup>26</sup> Herold 1994, 39.

Dunkelrot: Der mikroskopische Vergleich mit heute im Handel erhältlichem dunkelrotem Eisenoxid<sup>27</sup> zeigte deutliche Parallelen. Mit Hilfe des mikrochemischen Nachweises konnte Eisen nachgewiesen werden (vgl. Gelb und Rot). Es handelt es sich um Caput mortuum (bläuliches Eisenoxid ( $x\text{-Fe}_2\text{O}_3$ )/Hämatit), eine dunkelrote eisenoxidhaltige Verbindung<sup>28</sup>.

Grün: Für die grünen Farbflächen konnte eindeutig ein grünes Pigment und nicht, wie häufig an römischer Wandmalerei zu finden, eine Ausmischung von gelben und blauen Pigmenten belegt werden. Die naßchemischen Untersuchungen weisen hier auf eine grüne Erde (Eisensilikatverbindung/Seladonit [glimmerartiges Mineral]) hin. Aufgrund der Infrarotspektroskopieuntersuchung<sup>29</sup> einer grünen Pigmentprobe konnten weitere einschränkende Aussagen getroffen werden. Der Kurvenverlauf weist eindeutig auf das Mineral Seladonit hin. Seladonit stammt im Gegensatz zu dem Mineral Glaukonit als grünes Erdpigment vermutlich nicht aus dem deutschen Raum<sup>30</sup>. Nach Kühn<sup>31</sup> stammen die guten Sorten Grüner Erde aus der Gegend von Verona, aus Tirol, Böhmen oder Zypern. Vitruv (VII 7,4) erwähnt die Grüne Erde als „*creta viridis*“ die in der römischen Wandmalerei eine weite Verbreitung fand und gibt dazu an, daß die beste aus Smyrna (heute Izmir), Türkei, kommt. Jägers/Jägers<sup>32</sup> schließen für die unter dem Trierer Dom gefundenen constantinischen Deckengemälde bei der verwendeten Grünen Erde (Mineral Seladonit) auf ein importiertes Pigment aus Italien. Die Reflektographieuntersuchung zeigt zu der heute erhältlichen Grünen Erde aus der Nähe von Verona (Veroneser Erde) einen nahezu gleichen Kurvenverlauf. Der Vergleich mit Referenzmessungen von heute im Handel erhältlicher Veroneser Erde<sup>33</sup> und Deutscher Grüner Erde<sup>34</sup> zeigt bezüglich Kurvenverlauf und dessen erster Ableitung ebenfalls eindeutige Parallelen zur Veroneser Erde.

Weiß: Für die Weißausmischung wurde, wie für die Grundierungsschlämme, vermutlich Kalk (Calciumcarbonat [ $\text{CaCO}_3$ ]/gebrannter Kalkstein) verwendet. Die Probe löste sich in verdünnter Salzsäure unter starkem Aufschäumen auf. Die Betrachtung der eingedampften Lösung unter dem Polarisationsmikroskop zeigte keine Gipsnadeln. Die Verwendung eines anderen, ebenfalls den Römern bekannten, Weißpigments, des Bleiweißes, konnte wegen des negativen mikrochemischen Nachweisverfahrens auf Blei ausgeschlossen werden.

Schwarz: Auffällig waren die Ergebnisse bei der Untersuchung der Schwarzpigmente. Bei der mikroskopischen Untersuchung nach der Entfernung der calcitischen Putzmatrix und der aufliegenden Sinterschicht zeigen sich neben roten und gelben Farbkörnern auch kleinere schwarze Partikel. Mit Hilfe des mikrochemischen Nach-

<sup>27</sup> Kremer Pigmente / Aichstetten, Produktnummer 48710, Katalog 1997/98.

<sup>28</sup> Eisenoxidpigmente siehe Dörner 1989, 41.

<sup>29</sup> Die Pigmentuntersuchung mit Hilfe der Infrarot-Spektroskopie wurde freundlicherweise von Frau Prof. Dr. Elisabeth Jägers durchgeführt.

<sup>30</sup> Siehe Jägers/Jägers 1996, 5. - Grissom 1986, 141-167. - Weiterführende Literatur zu dem Pigment Grüne Erde in der römischen Malerei siehe auch Bearat 1997 b, 269-286.

<sup>31</sup> Kühn 1981, 30.

<sup>32</sup> Jägers/Jägers 1997, 5.

<sup>33</sup> Kremer Pigmente/ Aichstetten, Produktnummer 41820, Katalog 1997/98.

<sup>34</sup> Kremer Pigmente/ Aichstetten, Produktnummer 40800, Katalog 1997/98.

weises konnte Eisen nachgewiesen werden (vgl. Gelb-, Rot-, Grün- und Dunkelrotpigmente). Der Vergleich mit Streupräparaten von Eisenoxidschwarz, Elfenbeinschwarz, Knochenschwarz, Rebschwarz und Ruß zeigte jedoch deutliche Parallelen zu dem organischen Pigment Knochenschwarz. Die kleine Korngröße, die kantengerundete Form, aber auch die halbtransparente bräunliche schichtige Matrix des schwarzen Pigments zeigten die gleichen Merkmale wie das Knochenschwarz-Streupräparat. Bei dem verwendeten schwarzen Pigment handelt es sich also wohl um Beinschwarz. Die Herstellung von Schwarz durch das Verbrennen von Knochen (Beinschwarz) und Elfenbein (Elfenbeinschwarz) war nach Plinius, n.h. XXXV 42 schon in der Antike bekannt. Die Verwendung von Eisenoxidschwarz konnte aufgrund der opaken Einzelkörner und der größeren Kornform eindeutig ausgeschlossen werden. Eisenoxidschwarz ist zudem ein in der römischen Malerei unübliches Pigment. Der durch die mikrochemische Analyse nachgewiesene Eisenanteil dürfte vermutlich auf die Ausmischung der schwarzen Farbe mit rotem und gelbem Ocker zurückzuführen sein.

Basierend auf der Pigmentuntersuchung konnten für die ursprüngliche Ausmalung der Grabkammer die in *Tab. 1* aufgeführten Pigmente nachgewiesen werden.

Farbe	Pigment	Chemische Zusammensetzung/Mineral
Gelb	Gelber Ocker	Eisen III-oxidhydrat ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )/Goethit
Rot	Roter Ocker	Eisenoxid ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )
Dunkelrot	Dunkelroter Ocker	bläuliches Eisenoxid ( $x\text{-Fe}_2\text{O}_3$ )/Hämatit
Grün	Grüne Erde	Eisensilikatverbindung/Seladonit
Weiß	Kalk	Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ )/gebr. Dolomitstein
Schwarz	Beinschwarz	Kohlenstoff/organische Verbindung

Tab. 1 Auflistung der für die ursprüngliche Ausmalung verwendeten Pigmente in der Grabkammer am Reichertsberg.

### Maltechnik / Bindemittel

Die ursprüngliche polychrome Ausmalung erfolgte nachweislich in die noch feuchte Kalkschlämme. Das feuchte Raumklima der Grabkammer dürfte die Carbonatisierung der Kalkschlämme verzögert und damit die freskale Bindung der Pigmente in den Untergrund unterstützt haben. Der sukzessive Aufbau der Malerei in den figürlichen Bereichen spricht aber für eine teilweise Anwendung der Secco-Technik. Herold<sup>35</sup> geht bei römischen Wandmalereien von einer selbstverständlichen Ausführung in Fresko- und Secco-Mischtechnik aus.

Zur besseren Haftung der Malschicht an den Untergrund sind laut Knoepfli/Emmenegger<sup>36</sup> häufig weitere ölige bzw. proteinhaltige Bindemittel, wie z. B. Kasein, der Farbe zugesetzt worden<sup>37</sup>. Die lange Verfüllung der Grabkammer mit Erdreich und die damit verbundene Dauerdurchfeuchtung haben jedoch zu einem starken

<sup>35</sup> Herold 1994, 42.

<sup>36</sup> Knoepfli/Emmenegger 1990, 61.

<sup>37</sup> Riedl 1998,14 führt als mögliche Bindemittelzusätze Kasein, Öl, Harz oder tierischen Leim auf.

Bindemittelabbau in der Malschicht geführt. Demzufolge gestaltet sich der Nachweis von organischen Bindemitteln außerordentlich schwierig<sup>38</sup>.

Die Farbpalette setzt sich aus Erdpigmenten, künstlich hergestellten kohlenstoffhaltigen Schwarzpigmenten und Kalk zusammen. Es handelt sich um eine einfache, leicht zu beschaffende und daher preiswerte Pigmentpalette. Die Herkunft der Pigmente läßt sich durch naturwissenschaftliche Analysen nicht eindeutig bestimmen. Lediglich für die Grüne Erde kann eine Herkunft aus der Gegend von Verona als wahrscheinlich angenommen werden.

Die Ausmalung der Grabkammer am Reichertsberg reiht sich bezüglich ihres Mal-systems und ihres Farbkanon in die für den Trierer Raum seit dem 3. Jahrhundert typische römischen Wandmalerei ein<sup>39</sup>.

Die häufig in der römischen Wandmalerei nördlich der Alpen, so z. B. an den konstantinischen Deckengemälden in Trier, verwendeten, aufwendig herzustellenden und teureren Pigmente wie Ägyptischblau oder Zinnoberrot konnten nicht nachgewiesen werden<sup>40</sup>.

Die Grabkammer von Nehren (Kreis Cochem-Zell) zeigt neben weiteren maltechnischen Parallelen die gleiche Pigmentpalette wie die Grabkammer am Reichertsberg<sup>41</sup>.

## PHASE 2 (Renovierung)

### *Veränderungen gegenüber der ersten Phase*

Die Putzuntersuchung zeigt, daß weite Bereiche der Gewölbeflächen zu einem späteren Zeitpunkt mit einem Renovierungsputz ausgebessert worden sind. Dieser Putz läßt sich wegen der unterschiedlichen Bearbeitungsweise im Streiflicht deutlich vom ursprünglichen Putz unterscheiden.

Es handelt sich bei dieser Renovierung um eine Teilausbesserung der Gewölbeflächen. Lediglich handtellergröße Flächen des ursprünglichen Putzes haben sich in diesem neuverputzten Bereich des Tonnengewölbes erhalten. Im Bereich der Kreisornamente vor der Rückwand (*Abb. 2*) fehlt dieser Renovierungsputz. Die Rückwand selbst blieb von dieser Renovierungsmaßnahme unberührt. Beweis dafür ist ein Kalkspritzer (*Abb. 15*), der in ihrem rechten Kassettenfeld zu sehen ist.



Abb. 15 Detailaufnahme eines Kalkspritzers auf der Nordhälfte der Westwand im Bereich der Kassettenierung.

<sup>38</sup> Die durchgeführten mikrochemische Nachweisreaktionen und histochemische Anfärbungen von Probeanschliffen lassen aus diesem Grund lediglich ölige Bindemittel als möglichen Bindemittelzusätze ausschließen. Die Proteinnachweisverfahren fallen zum Teil positiv aus. Aufgrund der unregelmäßigen Verteilung in der Malschicht dürfte es sich dabei jedoch eher um angefärbte stickstoffhaltige Mikroorganismen denn um proteinhaltige Bindemittelreste handeln.

<sup>39</sup> Vgl. Untersuchungsergebnisse von Jägers/Jägers 1996, 5

<sup>40</sup> Vgl. Untersuchungsergebnisse Jägers/Jägers 1996, 5 und Riedl 1998, 14.

<sup>41</sup> Vgl. Untersuchungsergebnisse von Knoepfli et al. 1978, 4.

Auf den neuverputzten Bereichen wurde, vergleichbar mit der ursprünglichen Ausmalung, eine weiße Grundierungsschicht aufgebracht. Die Reste der noch erhaltenen bauzeitlichen Malerei im Gewölbe wurden dabei ebenfalls übertüncht. Sie sind heute zu sehen, weil in diesen Bereichen die Kalktünche abgefallen ist (Abb. 2; 7).

Die Ausführung der Putzarbeiten und der Ausmalung darf im Vergleich zur ursprünglichen Malerei als qualitativ minderwertiger bezeichnet werden. Die Zirkelritzungen sind derb und weniger exakt ausgeführt. Gleiches gilt auch für die eigentliche Ausmalung, die weniger differenziert erscheint.

#### Beschreibung der Teilerneuerung der Malerei im Gewölbe

Die reich dekorierte Malerei der Westwand war vermutlich in einem guten Zustand und wurde im Zuge der Renovierung nicht überarbeitet bzw. verändert.

Die Gewölbefläche wurde putztechnisch ausgebessert und malerisch erneuert.

Eine wesentliche Änderung läßt sich in der Mitte im Scheitelpunkt des Gewölbes erkennen. Dort wurde ein ca. 71 cm großes, mit einem 4,5–5 cm breiten roten Band umfaßtes Kreismedaillon angelegt. Im Mittelfeld dieses Kreises befinden sich Fragmente einer figürlichen Ausmalung. Schemenhaft zeichnen sich die Formen einer geflügelten Kopfdarstellung ab. Vermutlich handelt es sich wie bei der bauzeitlichen Ausmalung, um eine Medusendarstellung (Abb. 19)<sup>42</sup>. Ein im Jahr nach der Auffindung aufgenommenes Schwarz-Weiß-Photo (Abb. 20) zeigt den damals noch wesentlich besseren Erhaltungszustand. Um diesen kleinen Kreis wurde ein zweiter, wesentlich größerer Kreis (Dm. 2,14 m) eingeritzt. Dieser dient als Orientierung für ein umlaufendes florales Rankenband mit grünen Blättern und roten Blüten. Diese rundblättrigen Blüten befinden sich in einem regelmäßigen Abstand von 58 cm (Abb. 21; 22).

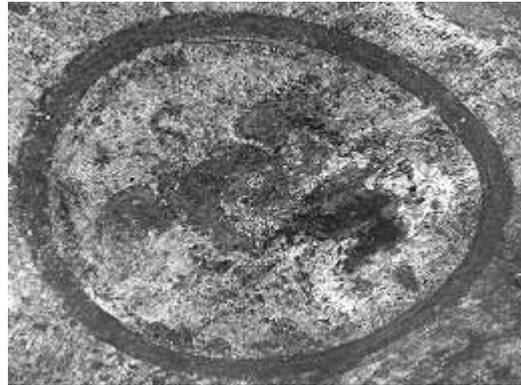


Abb. 20 Kreismedaillon der 2. Phase mit Medusenhaupt, Zustand 1968.

Abb. 19 Mittelpunkt des Gewölbes, Kreismedaillon der 2. Phase mit Medusenhaupt.

<sup>42</sup> Vgl. z. B. Fiochi Nicolai et. al. 1998, 103 Abb. 116; 104 Abb. 117. - Mielsch 2000, 119 Abb. 144.

Abb. 21/22 Ausschnitt des großen Blütenkranzes um das mittlere Kreismedaillon, 2. Phase.

Die ansonsten weiß gekalkte Gewölbefläche zwischen Kreismedaillon und Rankenband wird durch weitere kleine, rote Blüten aufgelockert. Diese Blüten sind unregelmäßig ohne erkennbares System in einem Abstand von 17-29 cm Abstand um das Kreismedaillon angelegt.

Im unteren Bereich der Wand-Gewölbeflächen lassen sich nur äußerst fragmentarisch Farbspuren der Renovierungsfassung finden. Das Malsystem kann in diesen Bereichen jedoch durch die starken Schmutzaufgaben nicht geklärt werden. Eine Entfernung dieser Auflagen läßt weiterreichende Erkenntnisse besonders in diesen Bereichen erwarten.



### Renovierungsputz

Beim Renovierungsputz handelt es sich um einen einlagigen, von ca. 1,5 cm Stärke bis auf Null auslaufenden Kalkmörtel. Im Gegensatz zum ursprünglichen Oberputz weist dieser Putz eine rauhe, wellige Oberflächenstruktur auf (Abb. 17).

### Bindemittel- und Zuschlaguntersuchung

Die Analyse des Renovierungsputzes gestaltetet sich äußerst schwierig. Im Gegensatz zu den ursprünglichen Putzen konnten keine von den im Landesmuseum nach der Ausgrabung magazinierten abgefallenen Putzfragmente dem Renovierungsputz zugeordnet werden. Aus diesem Grund beschränkt sich die Putzanalyse auf zwei äußerst kleine, 2 Gramm schwere Putzproben, die aus dem originalen Putzbestand in der Grabkammer entnommen werden mußten. Die Untersuchungsergebnisse sind entsprechend der geringen Probemenge nur relativ zu sehen. Lediglich tendenzielle Aussagen können über den Materialbestand des Renovierungsputzes getroffen werden. Hierfür wären weitere Untersuchungen von repräsentativen Putzproben notwendig, deren Entnahme am Objekt jedoch nicht zu verantworten war.

Dennoch lassen sich zwischen ursprünglichen Oberputz und Renovierungsputz eindeutige Unterschiede in der Zusammensetzung feststellen. Besonders auffallend wird

Abb. 16 Putzüberlappung im Rahmen der Teilerneuerung des Gewölbeputzes (Phase 2). Die linke Bildhälfte zeigt den Renovierungsputz, die rechte Bildhälfte zeigt den ursprünglichen Putz.

der Unterschied am verwendeten Größtkorn des Zuschlags, der beim Renovierungsputz bei 2 mm liegt.

Die Verwendung von Kies mit bis zu 2 mm beim Zuschlag ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß der Renovierungsputz, zum Teil auf Null auslaufend, den defekten ursprüngliche Oberputz überlappt. Die Übergangsbereiche wurden mit einem Quast grob verschlichtet und sind heute im Streiflicht durch die körnigere Oberflächenstruktur besonders deutlich zu erkennen (Abb. 16).

Die vergleichsweise ungünstigere Korngrößenverteilung mit einem Größtkorn von lediglich 2 mm bedingt auch den daraus resultierenden höheren Bindemittelanteil. Das Verhältnis von Bindemittel zu Zuschlag liegt bei etwa 35:65 Gewichtsprozent.

Interessanterweise weist dieser Putz nahezu keinen Ziegelsplitt- bzw. Ziegelmehlanteil auf. Der Zuschlag setzt sich aus kantengerundetem Kies, Sand und Schluff zusammen.

Die ungünstigere Korngrößenverteilung und das Fehlen der hydraulisch abbindenden Zuschläge führt im Gegensatz zum ursprünglichen Obermörtel zu einem Putz mit geringeren physiko-mechanischen Werten<sup>43</sup>. Entsprechend dieser Tatsache lassen sich auch in diesen ausgebesserten Gewölbebereichen massive Putzschäden feststellen.

#### Werkzeugspuren und Malhilfen

Der Renovierungsputz ist in Art einer dicken Putzschlämme aufgetragen worden. Vermutlich wurde dem Mörtel eine große Menge an Anmachwasser<sup>44</sup> zugegeben. Die daraus resultierende niedrige Verarbeitungsviskosität und die Verwendung einer Mauerkelle als Glättwerkzeug dürften für das deutlich veränderte optische Erscheinungsbild des Renovierungsputzes gegenüber dem des bauzeitlichen Putzes verantwortlich sein. Besonders bei Betrachtung der Oberfläche im Streiflicht (Abb. 17) wird die wellige Struktur deutlich, die vermutlich von einer Putzkelle (trulla, rutrum, ascia)<sup>45</sup> stammt. Gaitzsch<sup>46</sup> geht anhand einer großen Anzahl von Fundstücken davon aus, daß üblicherweise Glättarbeiten mit normalen Glättkellen ausgeführt wurden.



<sup>43</sup> Siehe zu physiko-mechanischen Kennwerten von Mörteln: Wesche 1993, 416 f.

<sup>44</sup> Durch Zugabe von Wasser und der Durchmischung wird die Mörtelmischung aus Kalk und Zuschlag zum verarbeitungsfertigen Putz aufbereitet. Die hierfür benötigte Menge an Wasser wird Anmachwasser genannt.

<sup>45</sup> Gaitzsch 1978, 43.

<sup>46</sup> Gaitzsch 1980, 16.

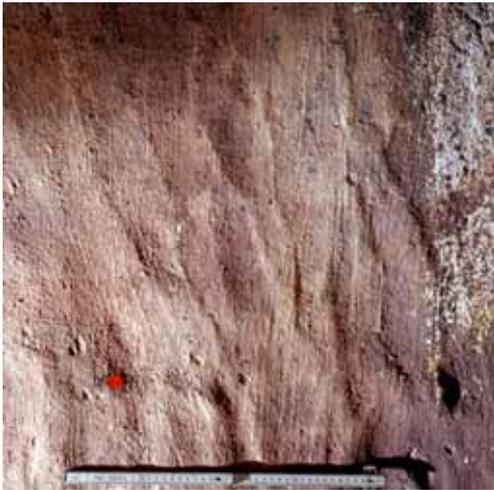


Abb. 17 Detailaufnahme der welligen Putzoberfläche im Anschluß des Gewölbes an die Ostwand im Streiflicht.



Abb. 18 Ausschnitt aus dem Gewölbereich mit Ritzung in den feuchten Putz zur Anlage des 2,14 m großen Kreises und schräg eingeritzten Markierungen (Phase 2).

Die Maurerkelle wurde bei der Verdichtung und Glättung vertikal im Abstand von ca. 10 cm nebeneinander über die Putzoberfläche geführt. Diese Oberflächenbehandlung führt zu den vertikal bzw. zum Teil auch diagonal verlaufenden Wellenstrukturen (Abb. 17). Die Anschlüsse an den älteren Putz wurden mit einem Borstenpinsel grob verteilt und sind im Streiflicht deutlich zu erkennen. Lediglich im unteren Bereich der Gewölbeflächen kann die Zone der Putzüberlappung wegen starker Schmutz- und Lehmauflagen nicht eindeutig lokalisiert werden.

Deutlich wird diese Renovierung auch an den Mörtelresten des Renovierungsputzes, die auf der Putzkante der Grabeinfassung zu finden sind. Vermutlich handelt es sich um Putzreste, die beim Anwerfen der Ausbesserung herabgefallen sind und nach Abschluß der Verputzarbeiten nicht von den hervorstehenden Putzkanten entfernt wurden.

Das Ausmalungssystem im Gewölbefeld wurde im Rahmen der Teilausbesserung verändert. Als Malhilfe für die neue Anlage der nunmehr konzentrisch um den Gewölbemittelpunkt angelegten Malerei wurden die Kreise mittels Zirkelschlag vorgeritz. Die Ritzung erfolgte in den neuverputzten Bereichen in den noch feuchten Renovierungsputz.

Die Ritzung ist ca. 3-4 mm breit und verläuft weniger geradlinig als in der ersten Phase. Anders als bei dieser wurde ein stumpfer Gegenstand, vermutlich ein Holzgriffel, benutzt. Dieser ließ sich wohl über den welligen, körnig rauhen und kaum verdichteten Renovierungsputz nur sehr unregelmäßig führen (Abb. 18).

Der Zirkelschlag ist mit einer Schnur ausgeführt worden. Einen deutlichen Hinweis dafür geben zwei Spuren entlang der großen Kreisritzung des Blüten- und Blattkranzes, die vom Ausrutschen des Holzgriffels aus der Schnurführung stammen dürften. Der Einstichpunkt ist großflächig verdichtet und wellig. Verantwortlich für die Putzverdrückungen dürften die den Mittelstift haltenden Finger sein

Schräg zum Zirkelschlag finden sich vereinzelt zum Teil bis zu 20 cm lange Ritzungen. Hierbei wird es sich um Hilfslinien für die Aufteilung der großen Kranzes handeln. Eine Makroaufnahme (*Abb. 18*) zeigt diese schräg verschlaufenden geritzten Markierungsmarken.

#### Pigmente / Bindemittel

Da es sich bei der Renovierungsphase nur um eine Teilerneuerung der Gewölbeflächen handelt, wurde der ursprüngliche Farbkanon übernommen. Anhand mikrochemischer Nachweisverfahren und der Untersuchung mit der VIS-Reflektographie kann nachgewiesen werden, daß die gleiche Pigmentpalette wie bei der ursprünglichen Malerei eingesetzt wurde.

Die Renovierungsfassung wurde vergleichbar der ursprünglichen Ausmalung freskalo auf einer Kalkschlämme ausgeführt. Ölige bzw. proteinhaltige Zusätze in den Farben können nicht nachgewiesen werden.

#### *Ursache der Veränderungen und deren zeitliche Einordnung*

Die Renovierungsmaßnahmen erstrecken sich auf das Gewölbe und die unteren Wandflächen oberhalb der Grablegen.

Da sich handtellergroße Flächen des originalen Obermörtels als Inseln in dem Renovierungsputz erhalten haben, kann man davon ausgehen, daß der ursprüngliche Gewölbeputz nicht mechanisch entfernt wurde, sondern abgefallen ist. Es handelt sich um Schäden, die schon im Zeitraum der Nutzung an der Grabkammer aufgetreten sind.

Vermutlich wurde im Zuge der Bestattung eines weiteren Familienmitglieds in der Grabkammer die Teilrenovierung aufgrund des schlechten Erhaltungszustandes durchgeführt. Dies bedeutet, daß die Grabkammer schon innerhalb relativ kurzer Zeit nach Fertigstellung massive Bauschäden aufwies.

Wie beschrieben war dem Baumeister der Grabkammer das Problem der aufsteigenden Bodenfeuchte und das sich am Fuße des Reichertsberges ansammelnde Hangwasser als bauschädigender Faktor bekannt. Infolge der offenen Bauweise des Obergeschosses und vermutlich durch bautechnische Mängel bzw. Defekte im Estrichbelag ist es denkbar, daß durch den Boden des Obergeschosses Wasser in das Kammerinnere eindringen konnte. Die großen Putzdefekte im Gewölbebereich sind vermutlich ursächlich auf von oben eindringende Wasser bzw. auf erhebliche Kondenswasserbildung zurückzuführen, die dem Verwitterungsprozeß massiven Vorschub geleistet haben dürften. Diese extreme Feuchtebelastung der Bausubstanz führte trotz konstruktiver wasserableitender Maßnahmen zu weitreichenden Schäden. Als Folge der Feuchtigkeit bildete sich schon in frühen Jahren bis zur ersten Renovierung der Grabkammer auf den noch intakten Putz- und Malschichtbereichen eine glasig-transparente mit

Rissen durchzogene spannungsreiche Schicht, eine sogenannte Sinterkruste<sup>47</sup>. Diese mikroskopisch nachweisbare ca. 0,2-0,3 mm starke Schicht ist im Querschliff durch die deutliche farbliche Zäsur erkennbar. Die Elementenanalyse zeigt, daß diese ausschließlich aus Calcit besteht. Die Rasterelektronenmikroskopaufnahmen lassen eine relativ geordnete kristalline Struktur erkennen (*Abb. 27*).

In dem Untersuchungsbericht von Knoepfli et al.<sup>48</sup> von 1978 über die Grabkammer in Nehren, Kreis Cochem-Zell, wird ebenfalls, wie von Wilhelmi<sup>49</sup> neben der Grundfeuchte auch das Schadenspotential von einsickerndem Wasser in das Gewölbe durch die offene Bauweise des Obergeschosses für die Bildung der Kalksinterschichten verantwortlich gemacht.

Der Vergleich mit den Schäden in der westlichen, im Malereibestand komplett erhaltenen Nehrener Grabkammer ist für die Grabkammer am Reichertsberg außerordentlich interessant. Beide Grabdenkmäler sind im gleichen Zeitraum erbaut worden. Die Lage im Hanggelände, der zweigeschossige Aufbau und die bautechnischen Ausführungen sowie Verputz und Maltechnik weisen deutliche Parallelen auf. Sie zeigen vergleichbare Schadensphänomene. Insbesondere ist die Ausbildung der Krustenauflagen zu nennen.

Die maßgebenden Faktoren für die Entstehung einer solchen Sinterkruste sind nach Tennikat<sup>50</sup> immer Wechselwirkungen zwischen Löse- und Kristallisationsprozessen infolge von Temperatur- und Luftfeuchteschwankungen. Nur wenn die Luftfeuchte hoch und das Substrat (hier der Kalkmörtel) feucht ist, kann es zu Löseprozessen und in Zusammenhang mit ständigen Klimaschwankungen zur Ausbildung einer solchen Sinterkruste kommen.

### PHASE 3 (Erweiterung um eine Grablege)

#### *Bauliche Veränderungen*

Die drei ursprünglichen Grabeinfassungen wurden um eine vierte Grabeinfassung erweitert. Hierfür wurde die Längswand der nördlichen Grablege durch eine Ziegelsteinmauer mit der Eingangswand verbunden und damit in der Nordostecke des Raumes eine neue Einfassung geschaffen. Diese kurze Mauer verläuft leicht schräg und ist an ihrem Ostende abgerundet, um den Konflikt mit der hier anschlagenden Eingangstür gering zu halten. Durch einen Mauerdurchbruch in der Nordwand, in Form einer rundbogigen Nische, wurde diese Grabeinfassung in ihren Abmessungen auf die zur Aufnahme einer Körperbestattung erforderliche Länge gebracht.

#### Baumaterial der Nischenausmauerung und der Trennmauer

Sowohl die neu eingebrochene ebenerdige Kalottennische als auch die vorgenannte Abgrenzungsmauer sind aus flachen rechteckigen Ziegeln gemauert. Diese Grabeinfassungsmauer ist gegenüber den Mauern der drei ursprünglichen Grablegen mit 24,5 cm deutlich breiter.

<sup>47</sup> Tennikat 1994 b, 99: „Eine harte Kruste mit glatter Oberfläche, die fest mit dem Putzuntergrund verbunden ist und großflächig aufliegt.“

<sup>48</sup> Knoepfli et al. 1978, 4.

<sup>49</sup> Wilhelmi 1978, 183.

<sup>50</sup> Tennikat 1994 a, 93.

In Bereichen von Fehlstellen im Putz konnten die einzelnen Ziegel näher untersucht werden. Die hier verwendeten rotbraunen Exemplare sind 4 cm hoch und ca. 23 cm breit. Ihre Länge ließ sich nicht feststellen. Deutlich erkennbar sind die Abdrücke der Formen bei der Herstellung. Die Farbe der Ziegel läßt Rückschlüsse auf eine niedrige Brenntemperatur, d. h. unterhalb der Sintergrenze, zu. Im Vergleich zu dem bei der ursprünglichen Grabeinfassung verwendeten Format sind sie geringfügig höher und breiter.

### Versetzmörtel

Der Versetzmörtel der Verbindungsmauer dieser Phase zeigt gegenüber dem der zugehörigen Nischenausmauerung deutliche Unterschiede in der Zusammensetzung<sup>51</sup>. Die Korngrößen reichen bei beiden von Schluff über Sand zu bis 4 mm große Kieseln. Die Siebkurven verlaufen jedoch stark unterschiedlich. Die Untersuchung der einzelnen Kornfraktionen und deren Zusammensetzung bestätigt die Annahme, daß es sich um zwei verschiedene Versetzmörtel handelt. Der Versetzmörtel der Kalottenische weist als Zuschlag ausschließlich Flußkies, Flußsand und -schluff auf. Der Mörtel der Verbindungsmauer enthält in den kleineren Kornfraktionen im Unterschied dazu aber auch Ziegelsplitt und -mehl.

### Putz

Die neue Grabeinfassungsmauer und die Kalottenische zeigen einen zweischichtigen Putzaufbau. Der Unterputz egalisiert die Unebenheiten des Mauerwerks und zeigt eine körnigraue Putzoberfläche. Darüber befindet sich der Oberputz, dessen Oberfläche kaum geglättet erscheint.

Der Unterputz zeichnet sich zunächst durch die bräunliche Farbe und seine offene porige Struktur aus. Durch die Auftragsstärke von 1-1,5 cm egalisiert diese Putzlage die Unebenheiten des Ziegelsteinmauerwerks. Die Oberfläche ist körnig rau und scheint mit einem Brett oder einer Kelle abgezogen.

Besonderes optisches Erkennungsmerkmal des Putzes sind die ca. 2-4 mm großen Kalkagglomerate (Kalkspatzen) und vereinzelt, bis zu 1 cm große dunkelgraue bis graue Kieselsteine. In ihrer Zusammensetzung und dem Bindemittel-Zuschlagstoff-Verhältnis unterscheiden sich die beiden analysierten Putzproben von Grabeinfassung und Nische jedoch sehr voneinander. Der salzsäurelösliche Bestandteil des Unterputzes der Grabeinfassungsmauer liegt mit 47,99 Gewichtsprozent außerordentlich hoch. Hierfür sind vermutlich der hohe Anteil an Kalkagglomeraten im Putzgefüge verantwortlich. Der Unterputz der Nische in der Nordwand besitzt mit 29,95 Gewichtsprozent salzsäurelöslichen Anteilen einen wesentlich geringeren Bindemittelanteil. Der Vergleich der Zuschlagzusammensetzung zeigt ebenfalls deutliche Unterschiede, so daß von zwei unterschiedlichen Unterputzen ausgegangen werden muß.

Der Oberputz in der Bodennische und der an der Grabeinfassungsmauer zeigen bezüglich ihrer Oberflächenbeschaffenheit gleichfalls klare Unterschiede. Wie bei den

<sup>51</sup> Aufgrund des säurelöslichen Verhaltens und der weißen Bindemittelmatrix dürften beide Versetzmörtel calcitisch gebunden sein.

bauzeitlichen Grabeinfassungen wurde auch der östliche Bereich der Westwand bis in die Höhe der Grabeinfassung überputzt. Dieser Oberputz ist etwa 1-1,5 cm stark aufgetragen worden. Im Bereich der Grabeinfassung ist die Oberfläche stark verdichtet. Im Anschluß an den gestampften Lehm Boden zeigen sich wulstartige Werkzeugspuren, die von der Glättung mit einer Maurerkelle stammen dürften. Im Unterschied zu den scharfkantigen und geradlinigen Kanten des bauzeitlichen Oberputzes der Grabeinfassung sind die Kanten der nachträglich eingebauten Grabeinfassung wellig gebrochen. Die Oberflächenbearbeitung wirkt im Vergleich zu den ursprünglichen Grabeinfassungen eher nachlässig. Der Anschluß an die ursprüngliche Grabeinfassung zeigt eine deutlich erkennbare Putznaht.

Die Oberfläche des Oberputzes in der Kalottennische ist im Gegensatz zu der stark geglätteten Grabeinfassung körnig, rau und uneben. Diese Bereiche sind vermutlich mit einem Pinsel oder Quast grob verschliffen worden. Neben dem deutlichen erkennbaren Pinselduktus, der die Oberflächenstruktur bestimmt, weisen auch die welligen Putzübergänge zum Gewölbeputz darauf hin.

Die Untersuchung der Korngrößenverteilung zeigt ebenfalls sehr deutliche Unterschiede. Lediglich die Zuschlagszusammensetzung aus fast reinem Ziegelsplitt und Ziegelmehl ist nahezu identisch.

Obwohl die Nische in der Nordwand und die Erweiterung der Grabeinfassungsmauer nachweislich aus einer Phase stammen, zeigen sie also deutliche Unterschiede im Putzaufbau. Ein Grund dafür kann nicht angegeben werden. Eine farbige Band als Nischenumrahmung und Malereireste konnten in diesem Bereich nicht festgestellt werden.

Die neuverputzte Nische wurde weiß gekalkt. Hinweise auf eine farbige Ausmalung der Wand- und Gewölbefläche konnten nicht gefunden werden.

#### PHASE 4 (Aufstellung der Steinsarkophage)

Nachdem sämtliche Gräber belegt waren, wurden zwei Sandsteinsarkophage auf die Grabeinfassungsmauern gestellt. Die Sarkophage bestehen aus einem rechteckigen ausgehöhlten Steinblock und einem Deckel. Diese Deckel waren ursprünglich durch zwei bzw. drei eingeleitete Eisenkrampen fest mit dem Unterteil verbunden.

Die beiden Steinsarkophage wurden in der Grabkammer nebeneinander in Nord-Süd-Ausrichtung auf den Grabeinfassungsmauern aufgestellt. Der zur Eingangswand stehende Sarkophag ist wesentlich kleiner und war mit dem Skelett eines Kindes belegt. Beide Sarkophage sind aus der roten Varietät des Kordeler Sandsteins gearbeitet. Die regelmäßige, kreisförmige Bearbeitung der Steinoberfläche mit den deutlichen Ansätzen vom Spitzisen ist typisch für die römische Steinbearbeitung. Bauliche Veränderungen an der Grabkammer konnten im Zusammenhang mit ihrer Aufstellung nicht festgestellt werden.

#### PHASE 5 (Zeitraum nach der Nutzung bis zur Wiederentdeckung 1967/68)

Nach der Aufgabe des Grabdenkmals wurde die Grabkammer sukzessiv in zyklisch voranschreitenden Perioden<sup>52</sup> mit Erdreich verschüttet. Die Lage am Fuße des Reichertsberges hat dabei die Verfüllung der Grabkammer durch den Hang herabflie-

ßende Schlammassen nach starken Niederschlägen begünstigt. Durch die Tür- und Lüftungsöffnung konnten die erdreichführenden Wassermassen in das Innere der Kammer gelangen und dort bis in Höhe der Unterkante des Sturzes der Lüftungsöffnung sedimentieren.

Die am Reichertsberg anzutreffende Bodentypen-Gesellschaft setzt sich nach Richter<sup>53</sup> aus Ranker oder Rostbraunerde auf Buntsandstein zusammen. Die stark tonhaltigen Schichten des mittleren Buntsandstein bestimmen den hohen Tonmineralienbestand des Erdreichs und auch die rostbraune Farbigkeit.

Die extrem feinkörnige rotbraune Verfüllung der Grabkammer ist auf die Beschaffenheit des die Grabkammer umgebenden Erdreichs zurückzuführen. Die aufschlammbaren tonigen Bestandteile sind durch das in die Grabkammer eingedrungene Wasser mitgeführt worden und haben sich dort abgesetzt.

#### PHASE 6 (Wiederentdeckung und Ausgrabung der Grabkammer)

Die Grabkammer wurde bei Ausschachtungsarbeiten für den Neubau der Grundschule Reichertsberg 1967/68 entdeckt. Daran anschließend erfolgte die Ausgrabung und Freistellung durch das Rheinische Landesmuseum Trier. Der Ausgrabungsbericht ist verloren gegangen. Aus diesem Grund kann der Arbeitsablauf nur mehr anhand der optisch erkennbaren Maßnahmen, der Photos und der Notizen von Cüppers<sup>54</sup> rekonstruiert werden.

Das Erdreich wurde bis auf eine 0,5 bis 5 mm starke Schicht auf der Malerei aus dem Inneren der Grabkammer gebracht. Die Außenwände der Grabkammer wurden freigestellt und die Fundamente des Mauerwerks mit Drainagen versehen.

Die Wandaußenflächen erhielten einen einlagigen Putz, der anschließend mit einem wasserabweisenden Bitumenanstrich beschichtet wurde. Unmittelbar an die Außenkante des südlichen Türpfeilers wurde eine steinsichtige Bruchsteinmauer errichtet. Diese Stützwand erhielt ein überstehende Betonplattenabdeckung. Auch der zum Teil noch erhaltenen Estrichboden über dem Gewölbe wurde mit einer Betonplatte abgedeckt. Unmittelbar nördlich der Grabkammer wurde zur Verbindung des Schulgeländes mit dem oberhalb verlaufenden Weg eine Treppe angelegt. Abschließend wurde entsprechend dem neu geschaffenen Umgebungsgelände der Bereich an den Rück- und Seitenwänden mit Erdreich oder Kies zugeschüttet.

#### PHASE 7 (Ausräumen der Sarkophage aus der Grabkammer)

Im Frühjahr 1998 wurden für die geplante Untersuchung der Innenraumschale der Grabkammer die zwei Sandsteinsarkophage nach außen verbracht. Heute sind diese im Eingangsbereich der Grundschule Reichertsberg aufgestellt.

<sup>52</sup> Nach der Ausgrabung und Freistellung der Grabkammer zeigen sich in unterschiedlichen Höhenbereichen im Innenraum horizontale farbige Absetzungen in der Lehmkrustenauflage. Diese farbigen Zäsuren sind ein Indiz dafür, daß es sich um keine kontinuierliche sondern um eine zyklische Verfüllung gehandelt haben muß.

<sup>53</sup> Zu Bodengeographie und Bodentypen im Raum Trier und Umgebung siehe Richter 1978, 34 ff. und Übersichtskarte der Bodentypen-Gesellschaften von Rheinland-Pfalz, Herausgegeben 1966 vom Geologischen Landesamt Rheinland-Pfalz, bearbeitet von W. Th. Sthor, Mainz, Maßstab 1:250 000, Stand der Bearbeitung Dezember 1963.

<sup>54</sup> Cüppers 1972, 53-54. - Cüppers 1990, 631-633.

<i>Phase</i>	<i>Zeitraum</i>	<i>Veränderungen / Bauliche Maßnahmen</i>
1	Erbauungszeit 2. Hälfte 3. Jahrhundert – 1. Hälfte 4. Jahrhundert n. Chr.	<b>Ursprüngliche Situation</b> Zweigeschossige Grabanlage Drei gemauerte Grablegen Architektonische und figürliche Ausmalung
2	Während der Nutzung als Bestattungsstätte vermutlich zu spätrömischer Zeit	<b>Erste Renovierungsmaßnahme</b> Ausbesserung des Gewölbeputzes Teilerneuerung der Ausmalung
3	Während der Nutzung als Bestattungsstätte vermutlich zu spätrömischer Zeit	<b>Erweiterung der Bestattungsplätze</b> Einbau einer weiteren Grablege in die Nord-Ost-Ecke der Grabkammer
4	Während der Nutzung als Bestattungsstätte vermutlich zu spätrömischer Zeit	<b>Erweiterung der Bestattungsplätze</b> Einstellen von zwei Sandsteinsarkophagen
5	Nach der Nutzung bis zur Wiederentdeckung 1967/68	<b>Aufgabe des Grabbaus als Grabstätte</b> Verlust des Obergeschosses Verschüttung der Grabkammer mit Erdreich
6	1967/68 1998	<b>Wiederentdeckung der Grabkammer</b> Ausgraben und Freistellen der Grabkammer Trockenlegung durch Isolierung der Außenwände Abbau der ursprünglichen Zugangstreppe Einbau einer Eisengittertür
7		<b>Ausräumen der Grabkammer für die Untersuchung</b> Transportieren der zwei Steinsarkophage aus dem Inneren der Grabkammer

Tab. 2 Auflistung der im Rahmen der Bauuntersuchung festgestellten Veränderungen und Untergliederung in einzelne Phasen.

## Untersuchungen zum Erhaltungszustand der Raumschale

### KLIMAUNTERSUCHUNGEN

Für die raumklimatischen Messungen sind nach Arendt<sup>55</sup> folgende Grundmeßwerte erforderlich: die Lufttemperatur innen und außen, die Luftfeuchte innen und außen, die Oberflächentemperatur innen.

Für die Untersuchung des Innenraumklimas wurden zwei elektronische Thermohydrographen in der Grabkammer installiert. Die Klimamessung wurde vom 23.11.1998 - 31.3.1999 im 30 Minuten-Takt durchgeführt und gespeichert. Aufgrund der technischen Einschränkung durch die geringe Anzahl der zur Verfügung stehenden Meßgeräte konnten die Einzelmessungen nicht durch Referenzmessungen überprüft werden. Zur genaueren Bewertung der Meßwerte der Klimauntersuchung vor und in der Grabkammer wurden diese mit den Klimawerten der Wetterstation in Trier Petrisberg verglichen.

#### *Luftfeuchte und Lufttemperatur in der Grabkammer*

Mit einem Thermohydrographen wurden die Temperatur und Luftfeuchte im Innenraum der Grabkammer gemessen und gespeichert. Durch die Analyse der Messergebnisse können die erreichten Minimal- und Maximalwerte berechnet werden (s. Tab. 3).

Die Temperaturschwankungen im Meßzeitraum vom November 1998 bis März 1999 lagen bei maximal 9,2°Celsius. Die Temperaturspanne reicht dabei von 0,0°Celsius bis zu 9,2°Celsius.

Die durchschnittliche relative Raumluftfeuchte liegt mit einem Wert von 94,90 rF außerordentlich hoch. Die Luftfeuchte schwankt zwischen 70,2 und 99,9 % rF um maximal 29,7 % rF.

Meßzeitraum [Monat]	Lufttemperatur [°C]		Luftfeuchte [% rF]	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
November 1998	2,6	5,1	79,2	93,7
Dezember 1998	2,7	6,7	76,3	99,9
Januar 1999	2,1	8,3	79,5	99,9
Februar 1999	0,0	6,0	79,5	99,9
März 1999	4,7	9,2	70,2	99,9
<b>November 1998-März 1999</b>	<b>0,0</b>	<b>9,2</b>	<b>70,2</b>	<b>99,9</b>

Tab. 3 Erreichte Minimal- und Maximalwerte der Luftfeuchte und der Lufttemperatur im Innenraum der Grabkammer vom 23. November 1998 bis 31. März 1999.

#### *Wandoberflächentemperatur in der Grabkammer*

Mit einem Gerät konnte über einen an die Wandoberfläche angebrachten Metallfühler die Temperatur der Wandoberfläche im Innenraum der Grabkammer im 30-Minuten-Takt gemessen und gespeichert werden (s. Tab. 4). Der tiefste gemessene Wert lag bei 0,1° Celsius, der höchste bei 8,0° Celsius.

<sup>55</sup> Arendt 1993, 122.

Meßzeitraum [Monat]	Oberflächentemperatur [°C]	
	Minimum	Maximum
November 1998	2,6	4,6
Dezember 1998	2,4	6,5
Januar 1999	2,0	7,8
Februar 1999	0,1	5,7
März 1999	4,8	8,0
<b>November 1998-März 1999</b>	<b>0,1</b>	<b>8,0</b>

Tab. 4 Erreichte Minimal- und Maximalwerte der Oberflächentemperatur im Innenraum der Grabkammer vom 23. November 1998 bis 31. März 1999.

#### *Luftfeuchte-/Temperaturmessung vor der Grabkammer*

Mit einem Thermohygrometern wurden die Temperatur und Luftfeuchtwerte unmittelbar vor der Grabkammer gemessen und gespeichert (s. Tab. 5). Durch die Analyse der Messergebnisse können die erreichten Minimal- und Maximalwerte berechnet werden.

Die Temperaturschwankungen unmittelbar vor der Grabkammer reichen im Winter und Frühjahr von  $-1,7^{\circ}\text{Celsius}$  bis  $16,7^{\circ}\text{Celsius}$ <sup>56</sup>. Der gemessenen Mittelwert liegt bei  $5,57^{\circ}\text{Celsius}$ . Die Luftfeuchteschwankungen reichen von 31,8-99,9 % rF und sind damit außerordentlich stark.

Meßzeitraum [Monat]	Lufttemperatur [°C]		Luftfeuchte [% rF]	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
November 1998	2,1	6,1	77,1	95,64
Dezember 1998	0,1	31,5	34,2	99,90
Januar 1999	-1,7	12,0	54,0	99,90
Februar 1999	-0,3	10,7	47,0	99,90
März 1999	2,9	16,7	31,8	99,90
<b>November 1998-März 1999</b>	<b>-1,7</b>	<b>16,7 (31,5 *)</b>	<b>31,8</b>	<b>99,90</b>

Tab. 5 Erreichte Minimal- und Maximalwerte Luftfeuchte und Lufttemperatur im Innenraum der Grabkammer vom 23. November 1998 bis 31. März 1999. (\* vermutlich manipulierter Meßwert).

#### *Luftfeuchte-/Temperaturmessung der Wetterstation Trier Petrisberg*

Die Temperaturmeßwerte der Wetterstation Petrisberg von November bis Januar liegen mit minimal  $-8,4^{\circ}\text{Celsius}$  deutlich unter dem Gefrierpunkt. Die höchste Temperatur wurde mit  $14^{\circ}\text{Celsius}$  gemessen. Demzufolge liegt die maximale Temperaturamplitude bei  $22,4^{\circ}\text{Celsius}$ . Die Luftfeuchteschwankungen reichen von minimal 45 % rF bis zu maximal 98 % rF. Die maximale Feuchteamplitude beträgt 53 % rF.

<sup>56</sup> Bei den vom 12.-13. Dezember innerhalb von wenigen Stunden gemessenen Werten von bis zu  $31,5^{\circ}\text{Celsius}$  dürfte es sich um manipulierte Werte (evtl. durch einen sich in der Nähe des Fühlers aufhaltenden Marders) handeln.

Meßzeitraum [Monat]	Lufttemperatur [°C]		Luftfeuchte [% rF]	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
November 1998	-11	12,2	52	98
Dezember 1998	-6,0**/-7,9*	12,6	46	98
Januar 1999	-6,8**/-8,4*	14,0	45	98
<b>November 1998-Januar 1999</b>	<b>-6*</b>	<b>14,0*</b>	<b>45</b>	<b>98</b>

Tab. 6 Erreichte Minimal- und Maximalwerte Luftfeuchte und Lufttemperatur der Wetterstation Trier Petrisberg von November 1998 bis Januar 1999. (\* in 2 m Höhe \*\* in 5 cm Höhe).

### *Klimasituation im Raum Trier*

Das Klima des Trierer Raumes wird nach Cloß<sup>57</sup> durch seine geographische Lage sowohl von maritimen als auch von kontinentalen Einflüssen bestimmt. Der Einfluß des Atlantischen Ozeans führt zu einem stetigen Temperaturverlauf und damit zu einem milden Klima.

### Thermische Situation

Die sommerlichen Mittelwerte liegen im Juli bei 16-18° C, die des kältesten Monats Januar selten unter 0° C. Die mildernden Einflüsse der Gewässer durch die Tal-Lage an der Mosel führen zu einer Jahresmitteltemperatur von 9,7°C. Die Anzahl der Sommertage<sup>58</sup> liegt im Durchschnitt bei 40, die von heißen Tagen<sup>59</sup> bei 7-8 Tagen mit dem zeitlichen Schwerpunkt in den Monaten Juni bis August.

Die Zahl der Frosttage beträgt im Jahresmittel etwa 66 Tage. Spätfröste bis in den Mai hinein und Frühfröste ab September treten besonders in den Hanglagen des Flußtales auf.

### Hygrische Situation

Trier hat mit 785 mm an 171 Tagen im Jahr eine relativ hohe Niederschlagsmenge. Die häufigsten Niederschläge sind im Juli/ August und Dezember/Januar zu verzeichnen.

Bedingt durch die hohe Bodenfeuchte und größere Gewässerflächen zeigt der Raum Trier eine besonders hohe Nebeldichte und -häufigkeit. Die Sonnenscheindauer von 1526 Stunden im Jahresmittel steht in direkter Abhängigkeit zu den Nebeltagen und der recht hohen Bewölkungsdauer von knapp 70 % .

### *Einfluß des Standortes und der Konstruktion auf das Raumklima*

Durch die umbaute Lage der Grabkammer am Reichertsberg (links die Steinmauer, rechts die Treppe, oben das Betonplattenvordach) kommt es zu einem reduzierten Luftaustausch. Die relativ hohe Niederschlagsmenge und die hohe Bodenfeuchte sorgen für eine hohe Luftfeuchte von 78,4 % im Mittel (hohe Nebeldichte und -häufigkeit).

<sup>57</sup> Cloß 1979, 364.

<sup>58</sup> Sommertage = Tage mit mindestens 25° C.

<sup>59</sup> Heiße Tage = Tage mit mindestens 30° C.

figkeit) des untersuchten Zeitraumes. An Tagen mit hoher Sonnenscheindauer kann es im Tagesverlauf, wie bereits erwähnt, zu besonders starken Klimaschwankungen von bis zu über 60 % rF kommen.

Durch die moderne luft- und lichtdurchlässige Eingangstür<sup>60</sup> in der Ostwand und die darüber befindliche antike Lüftungsöffnung ist ein konstanter Luftaustausch gewährleistet. Infolgedessen kommt es zu einer zeitlich verzögerten Übertragung des Außenklimas auf das Innenraumklima.

Die Seitenwände und die Rückwand der Grabkammer sind von Erdreich umgeben und bleiben durch die klimapuffernde Wirkung bei steigenden Raumlufttemperaturen an warmen Jahrestagen länger kühl. Hier besteht allerdings die Gefahr der Kondenswasserbildung. Die freigestellte Eingangswand heizt sich im Gegensatz zu den drei weiteren Wänden infolge der direkten Sonnenbestrahlung sehr schnell auf, kühlt aber gleichzeitig an kühlen Tagen auch schneller ab. Demzufolge unterliegt die Eingangswand aufgrund der spontanen, ausgeprägteren Klimaschwankungen stärkeren Spannungen. Dies dokumentiert sich an der massiveren Schädigung der Putz- und Malschichtsubstanz.

Grundsätzlich sind die kurzzeitigen Klimaschwankungen aufgrund der gedämpften Übertragung in der Grabkammer für die Schadensentwicklung weniger von Bedeutung. Vielmehr geht von der generell hohen Raumluftfeuchte ein schädigendes Potential aus. Hier ist zum Beispiel die vermehrte Besiedlung von Mikroorganismen bei feuchten Raumklima zu erwähnen.

Sieht man die konstant hohe Raumluftfeuchte in Verbindung mit der hohen Salzbelastung, so befinden sich diese, da oberhalb der kritischen Gleichgewichtsfeuchte von 60-65 % rF, permanent in Lösung. Lediglich im Eingangstürbereich zeigen sich temporäre Salzausblühungen. Die mikroklimatischen Bedingungen werden in diesem Bereich durch den verstärkten Luftaustausch durch die moderne Eingangstür stärker vom herrschenden Außenklima beeinflusst.

Der Meßzeitraum erstreckte sich lediglich über die Wintermonate bis in den Frühling hinein. Durch weitere Klimauntersuchungen im Zeitraum des Sommers müßte überprüft werden, inwieweit es zu einer Austrocknung, d. h. Unterschreitung der Luftfeuchte unterhalb der oben angegebenen kritischen Luftfeuchte, in den Sommermonaten kommt.

#### *Zusammenfassung und Auswertung der Ergebnisse*

Durch die Tal-Lage und die Nähe zur Mosel herrscht ein grundsätzlich mildes aber niederschlagsreiches und damit feuchtes Klima. Weiter verstärkt durch die Lage am Fuße des Reichertsberges und den dreiseitigen Bodenanschluß, entsprechend dem Niveau des umgebenden Erdreichs führt dies zu einer extrem starken Feuchtebelastung.

Vergleicht man die Klimawerte der Wetterstationen in Trier mit den Außenklimamessungen vor der Grabkammer, so zeigt sich durch die geschützte Lage am Berghang ein milderer Klima mit deutlich weniger Frosttagen.

<sup>60</sup> Sie besteht aus einem Gitterlochblech.

Meßstandorte	Lufttemperatur [°C]				Luftfeuchte [% rF]			
	Minimum	Maximum	Mittelwert	Schwankungs- bereich	Minimum	Maximum	Mittelwert	Schwankungs- bereich
Wetterstation Petrisberg* in Trier	-8,4	14,0		22,4	45,0	98,0		53,0
Vor der Grabkammer Meßgerät 2.1	-1,7	18,0	5,57	19,7	31,8	99,9	91,6	68,1
Innenraum der Grabkammer Meßgerät 1	0,0	9,2	5,00	9,2	70,2	99,9	94,9	29,6
Innenraum, Wandoberfläche Meßgerät 2.2	0,1	8,0	4,92	7,9	-	-	-	-

Tab. 7 Vergleich der unterschiedlichen Klimasituation im Raum Trier (Wetterstation Petrisberg), vor der Grabkammer und im Innenraum der Grabkammer im Meßzeitraum 23.11.1998-31.3.1999. Dargestellt an den Minimal- und Maximalwerte sowie den Mittelwerten der relativen Luftfeuchte und der Lufttemperatur. (\*Meßzeitraum von November 1998 bis Januar 1999).

Die Auswertung der Klimamessungen vom November 1998 bis März 1999 zeigt, daß die Temperaturschwankungen im Außenbereich der Grabkammer von 22,4 bzw. 19,7° Celsius gegenüber denen im Innenraum der Grabkammer um 9,2° Celsius stärker sind. Dies gilt auch für die relativen Luftfeuchtwerte. Schwanken die Werte im Außenbereich innerhalb eines Tages über 68,1 % rF, so sind im Innern der Grabkammer lediglich Schwankungen von 29,6 % rF festzustellen. Diese Verringerung von Klimaschwankungen ist eine Folge der baulichen Gegebenheiten und das Standortes. Nach Huber<sup>61</sup> führt die „klimapuffernde“ Wirkung der Bausubstanz dazu, daß sich das Innenraumklima als Mittelwert des jeweils herrschenden Außenklimas darstellt. Vergleichen wir die Klimakurven des Außenraumes mit dem des Innenraumes, so zeigt sich, daß außerklimatische Schwankungen retardierend und gedämpft in den Innenraum übertragen werden. Schwarz<sup>62</sup> spricht bei diesem Phänomen von einer Phasenverschiebung und führt dieses auf die Wärmespeicherkapazität des dicken Mauerwerks zurück.

Durch den Standort und die baulichen Rahmenbedingungen bleibt das Raumklima also relativ konstant. Im Mittel liegt die relative Luftfeuchte mit 94,9 % rF wesentlich höher als beim Außenklima. Gleichzeitig ist es in der Grabkammer im Mittel mit 5,0° Celsius gegenüber der Jahresmitteltemperatur des Außenklimas (Wetterstation Petrisberg) von 9,7°C fast um die Hälfte niedriger. Das Raumklima in der Grabkammer wird aus diesem Grund durch den Besucher als feucht und kühl empfunden.

<sup>61</sup> Vgl. Huber 1995, 156.

<sup>62</sup> Schwarz 1992, 315.

## SCHADENSPHÄNOMENE UND DEREN URSACHEN

Um das Schadenspotential und den Umfang der Verwitterung genauer zu bestimmen, werden die verschiedenen Schadensphänomene in diesem Kapitel untergliedert und ihre Ursachen eruiert.

### *Risse*

Im Putzgefüge befinden sich Risse, die an der Putzoberfläche durch spaltenförmige Öffnungen erkennbar sind. Diese verlaufen meist linear und weisen nur vereinzelt weitere Verästelungen auf. Die Breite dieser Risse variiert in der Grabkammer von 0,5 mm bis zu 3 mm. Die Risse befinden sich im ursprünglichen Putz sowie in den Renovierungsputzen und reichen ohne Ausnahme bis zum Mauerwerk. Die Putzbereiche entlang der Risse in der Grabkammer zeigen keine Niveauunterschiede oder Ausbrüche.

Vermutlich handelt es sich um statische Risse, die auf Setzungen des Fundaments und des Mauerwerks zurückzuführen sind<sup>63</sup>. Durch solche Setzungen kommt es zu Verschiebungen und Brüchen im Mauerwerk, die häufig entlang der Setzmörtelfugen verlaufen.

Infolge der Brüche im Mauerwerk entstehen in der starren Kalkputzschicht Risse. Da sich keine Niveauunterschiede der Putze oder Ausbrüche entlang dieser Risse zeigen, sind die Setzungen im Fundament oder im Mauerwerk als gering einzuschätzen.

Von den in der Grabkammer feststellbaren Rissen ist kein größeres Schadenspotential zu erwarten. Konservatorische Maßnahmen sind aus diesem Grund nicht dringend erforderlich. Von dem Rißnetz geht vielmehr eine ästhetische Beeinträchtigung der Malerei aus.

### *Fehlstellen in der Putzschicht, die bis auf das Mauerwerk reichen*

Partiell sind Fehlstellen des gesamten Putzaufbaus zu verzeichnen, die das Mauerwerk erkennen lassen. Im Bereich der Grabeinfassung variieren die Fehlstellen in einer Größe von ca. 5 cm<sup>2</sup> bis ca. 10 cm<sup>2</sup> und im Gewölbe von ca. 20 cm<sup>2</sup> bis ca. 50 cm<sup>2</sup>. Durch den Verlust der gesamten Putzschicht sind die Mauerwerkssteine bzw. die Fugen in diesen Bereichen sichtbar.

Durch mangelnde mechanische Verklammerung der Putzschichten an dem Putzträger, dem Mauerwerk oder durch extreme mechanische Beanspruchungen wie Fundament- und Mauerwerkssetzungen oder anthropogene Einflüsse etc. konnten sich die beschädigten Putzbereiche partiell vom Untergrund lösen bzw. abfallen.

Die starke Schmutzkruste in diesen Fehlstellen ist ein Hinweis, daß diese Schäden vor der Verschüttung mit Schlamm und Erdreich entstanden sein müssen. Diese Schäden dürften in Verbindung mit der Aufstellung der großen Sandsteinsarkophage in der dazu verhältnismäßig kleinen Grabkammer stehen.

Die Fehlstellen in den Mauern der Grabeinfassungen befinden sich ausschließlich im Anschlußbereich zum gestampften Lehmboden. Durch Tritt- und Stoßbelastungen,

<sup>63</sup> Vgl. Herold 1994, 69.

unterstützt durch Salze und Mikroorganismen, dürfte es zum Verlust der Putze in diesen Bereichen gekommen sein.

Zur Stabilisierung der morbiden Bruchkanten und Reduzierung der damit einhergehenden höheren Wasserdampfdiffusion in diesen Bereichen wird eine Randanböschung aus reinem Kalkmörtel empfohlen. Die Zusammensetzung dieses Mörtels sollte sich zur Angleichung der physikalisch-mechanischen Kennwerte an der Rezeptur des ursprünglichen Putzes orientieren. Durch Zugabe von farbigen Sanden<sup>64</sup> oder Pigmenten kann der Kalkmörtel dem originalen Putz in seiner Farbigkeit angeglichen werden. Die Randanböschung integriert sich damit in den farblichen Gesamteindruck und wird nicht als optisch störend empfunden.

#### *Fehlstellen im Oberputz*

Der Oberputz der ursprünglichen Bauphase hat sich in unterschiedlichem Umfang vom Unterputz gelöst und ist abgefallen. Die Fehlstellen lassen sich durch die deutlich erkennbaren Abbruchflanken des Oberputzes eingrenzen. In diesen Bereichen ist der ursprüngliche Unterputz zu sehen. Besonders die Eingangswand oberhalb der Grabbeinfassungen zeigt großflächige Verluste des bauzeitlichen Oberputzes. Durch die verstärkte Reliefbildung bei der Untersuchung im Streiflicht konnten diese Schäden deutlicher lokalisiert werden.

Eine mögliche Ursache für diese Schäden ist, daß der besonders im Fugenbereich stark geglättete und an der Oberfläche versinterte Versetzmörtel keine ausreichende Möglichkeit der mechanischen Verklammerung mit dem Oberputz bietet. Geringe mechanische Einwirkungen reichen aus, damit sich die beiden Putzlagen voneinander lösen.

Der zwischen Oberputz und darunter liegendem Träger entstandene Hohlraum ist unter einem Millimeter stark. Zur Konsolidierung der Putzflächen müssen diese Hohlräume mit einer kraftschlüssigen Injektionsmasse verfüllt werden. Entsprechend den Ergebnissen der von Heermann<sup>65</sup> durchgeführten Untersuchungen zur Herstellung von injektionsfähigen Hinterfüllmassen eignet sich eine dispergierte Hinterfüllmasse auf Basis von Weißkalkhydrat. Durch die Variation der Zusätze läßt sich die Hinterfüllmasse bezüglich der physikalisch-mechanischen Kennwerte und anwendungsbezogene Anforderungen auf das Objekt einstellen. Besonders in Bezug auf die hohe Salzbelastung in der Grabkammer sollte von salzbildenden<sup>66</sup> bzw. salzhaltigen<sup>67</sup> konfektionierten Waren Abstand genommen werden.

Im Gegensatz zu der ebenfalls möglichen Verfüllung mit kunstharzgebundenen Massen bleibt man bei der Verwendung von Kalkhydrat bei dem ursprünglich verwendeten Bindemittel dessen hohe Alterungsbeständigkeit durch eine Vielzahl von historischen Bauten belegt werden kann.

#### *Flächige Ablösungen innerhalb des Oberputzes*

Die obersten Putzkornlagen haben sich in handtellergroßen Flächen vom Putzgefüge

<sup>64</sup> Gewaschener Sand ohne quellbare Tonmineralienanteile.

<sup>65</sup> Heermann 1995. - Strotmann 1993, 56 ff.

<sup>66</sup> Zementhaltige Massen.

<sup>67</sup> Gipshaltige Massen.

abgehoben. Optisch erkennbar sind diese Ablösungen durch ca. 1 mm stark hervorstehende schalenartige Putzflächen. Das sogenannte Aufblättern zeigt sich innerhalb der obersten Putzschicht. Im Bereich der Abrißflanken läßt sich deutlich das unter der Schale befindliche, morbide, stark sandende Putzgefüge erkennen. Die flächigen Ablösungen befinden sich ausschließlich im Bereich des ursprünglichen Oberputzes und im Renovierungsputz an den Wandflächen und im Gewölbe.

Im Putzgefüge vorhandene Salze reagieren auf Klimaschwankungen im Innenraum mit Volumenveränderungen infolge von Hydratations- und Kristallisationswechseln. Die mit der Kristallisation verbundene Volumenvergrößerung der Salze führt im Porenraum des Putzgefüges zur Zerstörung desselben. Kommt es in einer bestimmten Zone im Putzgefüge zu einer Salzanreicherung, so wird dieser Bereich infolge der Sprengwirkung der Salze sukzessiv im Laufe der Zeit zerstört. Man spricht in diesem Fall von einer mürben oder sandenden Putzzone. Die darüber liegende intakte bzw. durch eine Krustenaufgabe stabilisierte Putzoberflächenzone wird in Form von großflächigen Schalen abgedrückt.

Durch die extrem starke Gefährdung vor allem im Bereich der Gewölbekappe ist eine temporäre Stabilisierung im Rahmen einer Notsicherungsmaßnahme dringend erforderlich.

#### *Fehlstellen in den oberen Kornlagen der Oberputzschicht*

Dieses Schadensphänomen zeigt sich besonders im Sockelbereich und im ursprünglichen Oberputz bis in eine Höhe von 2 Meter. Die durch Glättung verdichtete Putzoberfläche und die darüber liegende Malschicht fehlen. Das darunter freiliegende Putzgefüge ist stark verwittert. Die einzelnen sichtbaren Sandkörner und Kieselsteine sitzen lose in der Bindemittelmatrix und drohen abzufallen. Die Oberfläche „sandet“ ab.

Kommt es unmittelbar hinter der Putzoberfläche durch Löse- und Ablagerungsprozesse zu einer erhöhten Salzkonzentration, so führen Kristallisations- und Hydratationsprozesse (d. h. Salze kristallisieren aus und gehen wieder in Lösung) im Putzgefüge infolge von Klimaschwankungen zur Lockerung des Putzgefüges.

Die verdichtete, bindemittelreiche Putzoberfläche hat keine ausreichende Anbindung an die darunter liegenden zermürbte Putzzone mehr und fällt ab. Die oberflächennahen Putzonen verwittern sukzessiv weiter; es kommt zu einer sogenannten Rückwitterung infolge der Salzbelastung der oberflächennahen Putzonen.

Neben der Salzbelastung können aber auch spannungsreiche, fest mit der Mal- und Putzschicht verbundene Krustenaufgaben durch unterschiedliches Delatationsverhalten zur Ablösung der obersten Kornlagen vom darunter liegenden Putzgefüge führen.

Die Grabeinfassungen weisen aufgrund ziegelsplitt- und ziegelmehlhaltiger Zuschläge höhere Festigkeitswerte auf. Aus diesem Grund zeigt sich, trotz der an der Salzeffloereszens nachweisbaren hohen Salzbelastung der Sockelzone, dieses Schadensphänomen hier nur in einem sehr geringem Ausmaß.

Die „sandenden“ Putzoberflächen stellen durch den fortschreitenden Substanzverlust der Putzschicht einen massiven Schadensfaktor dar.

### *Fehlstellen in der Malschicht*

Dieses Schadensphänomen ist in der Grabkammer besonders an der Eingangswand und oberhalb von absandenden Putzbereichen festzustellen: Die Malschicht liegt mitsamt der Grundierungsschlämme zum Teil in Form von kleinen Schollen auf der Putzschicht auf. Die Randbereiche der bis zu 0,5 cm<sup>2</sup> großen Schollen stehen schüsselförmig auf. Infolgedessen haben sich zwischen den einzelnen Schollen Klüfte gebildet, die einem Craquelé ähneln (Abb. 23). Grundsätzlich kann es bei spontanen Klimawechseln im Inneren der Grabkammer durch das damit einhergehende hygri-



Abb. 23 Makroaufnahme aus dem Kreismedaillon in der Mitte des Gewölbes (Phase 2). In einer Fehlstelle sind gelbe Farbspuren der darunter liegenden ursprünglichen Malerei (Phase 1) erkennbar.

rische und thermische Delatationsverhalten von aufliegenden Krusten zum Verlust der Anbindung zwischen Malschicht und Malschichtträger kommen. Infolge dieser Ablösungen kommt es zu Schäden in Form von Brüchen und Rissen in der Malschicht. In den Randbereichen der Risse führt dies meist zur Aufwölbung und schüsselförmigen Verformung der Malschicht.

Im weiter fortgeschrittenen Verwitterungsstadium kommt es zu partiellen Ablösungen vom Untergrund und unter Umständen zum Verlust der Malschicht. Die Ablösungserscheinungen können innerhalb des Schichtenaufbaus der Malschicht oder aber zum Malschichtträger auftreten.

Zum Erhalt der Malschicht in den geschädigten Bereichen ist eine Konsolidierung in Form einer Verklebung an den Untergrund dringend geboten. Grundsätzlich stehen neben dem mineralischen Festigungsmittel Kieselsäureethylester auch eine Vielzahl von natürlichen und künstlichen organischen Festigungsmitteln zur Verfügung. Aufgrund der extrem hohen Luftfeuchte im Jahresmittel und der mikrobiologischen Besiedlung reduziert sich die Zahl der einsetzbaren organischen Festigungsmittel aufgrund ihrer unzureichenden Alterungsbeständigkeit und der mikrobiologischen Anfälligkeit<sup>68</sup> entscheidend.

### *Lose auf der Grundierungsschlämme aufliegende Pigmente*

In Bereichen, in denen die weiße Grundierungsschlämme keine optisch erkennbaren Schäden aufweist, liegen zum Teil die Pigmente der Malschicht dennoch lose auf. In diesen pudernden Malschichtbereichen ist es durch den Abbau des Bindemittels in der Malschicht zu einer Gefügeschwächung derselben gekommen. Die Pigmente liegen infolgedessen lose, ohne oder mit nur geringer Haftung auf dem Malschichtträger auf. Durch Luftzirkulation und mechanische Beanspruchungen können Malschichtpigmente abfallen und verloren gehen.

<sup>68</sup> Vgl. Petersen 1994, 134 ff.

Der Bindemittelabbau ist auf Löse- und Auswaschungsprozesse durch Feuchteintrag sowie auf die Zersetzung durch Mikroorganismen zurückzuführen. Hinzu kommen alterungsbedingte Abbauprozesse des Bindemittels selbst. Pudernde Malschichten können durch mehrere Schadensfaktoren beeinflusst werden, die sich unter Umständen kumulierend verstärken können.

Die vorgenannten Schadensursachen stehen immer in direkter Verbindung zum verwendeten Bindemittel- bzw. Bindemittelsystem. Neben dem vorgenannten Bindemittelabbau dürfen aber auch die starke Salzbelastung an diesem Schadensprozeß beteiligt sein.

Zum Erhalt der Malschicht in diesen geschädigten Bereichen ist eine Konsolidierung in Form einer Klebung an den Untergrund dringend geboten.

### *Mikroorganismen*

In der Grabkammer am Reichertsberg findet sich im Bereich der Grabeinfassungen und entlang der unteren Wandflächen auf der Putz- bzw. Malschichtoberfläche ein dünner, grüner Belag. Die Ausbildung ist besonders in den mit Sonnenlicht beschienenen Grabeinfassungsbereichen ausgeprägt, die sich in der Nähe der aus Gitterloblech gearbeiteten Eingangstür befinden. Die homogene und dichte Schicht liegt auf der Mal- bzw. Putzschicht und verdeckt diese komplett. In Bereichen von Rissen im darunter liegenden Putzgefüge hat sich die Auflage nicht ausgebildet. An die grünen Auflagen schließen unmittelbar Effloreszenzen (Salzausblühungen) an. Bei Anregung mit ultravioletter Strahlung kommt es zur intensiven, grünfarbigen Fluoreszenz dieser Auflage<sup>69</sup>. Der Belag kann damit deutlicher lokalisiert und eingegrenzt werden.

Nach Petersen/Krumbein<sup>70</sup> können sich durch pigmentierte oder pigmentaustauschende Algen, Cyanobakterien, Bakterien, Pilze bzw. mit fluoreszierenden Farbstoffen solche Beläge bilden. Auf Grund der grünen Farbe handelt es sich vermutlich um Algen<sup>71</sup> oder Cyanobakterien<sup>72</sup>. Die Farbigkeit des Belages wird in diesem Fall durch das biogen produzierte Chlorophyll bestimmt.

Nach Eckhard<sup>73</sup> weisen die Cyanobakterien und Algen einen Zelldurchmesser von 0,001-0,06 mm auf. Erst eine sehr große Anzahl von Zellansammlungen und deren farblichen Absetzung durch das darin enthaltene Chlorophyll bzw. Melanin läßt dem Betrachter die Besiedlung durch Mikroorganismen deutlich werden. Daraus resultierend kann davon ausgegangen werden, daß auch Putz- und Malschichtbereiche besiedelt sein können, ohne daß dies optisch erkennbar ist.

Beschränken sich die sichtbaren grünen Biofilme auf den Sockelbereich der Grabkammer, so ist eine Besiedlung, wenn auch wesentlich geringer, in den oberen Wand- und Gewölbebereichen dennoch zu erwarten.

<sup>69</sup> Zur Untersuchung von Mikroorganismen mit Hilfe der Fluoreszenzmikroskopie siehe Berner/Petersen 1992, 164-167.

<sup>70</sup> Petersen/Krumbein 1994, 53.

<sup>71</sup> Algen gehören zu kohlenstoffautotrophen Organismen. Sie nehmen Kohlendioxid aus der Luft auf und wandeln dieses bei der Photosynthese bzw. Chemosynthese in körpereigene Substanzen um.

<sup>72</sup> Cyanobakterien gehören zu den heterotrophen Organismen und unterscheiden sich gegenüber den Kohlenstoffautotrophen darin, daß sie organische Substrate aufnehmen und in körpereigenes Material umbauen.

<sup>73</sup> Eckhardt 1990, 48.

Vorraussetzung für das Wachstum der Mikroorganismen sind mittlere Temperaturen und eine ausreichende Feuchtigkeit<sup>74</sup>. Eckhardt<sup>75</sup> beschreibt die Voraussetzungen eingehender und geht beim Wachstum und der Vermehrung von Zellen vom Vorhandensein spezifischer mineralischer und organischer Nährstoffe und der Einhaltung bestimmter Milieufaktoren wie Temperatur, Feuchte, pH-Wert etc. aus.

Durch die aufsteigende Mauerfeuchte bietet der Sockelbereich der Grabkammer einen idealen Standort für den biologischen Bewuchs. Die heute eingebaute, lichtdurchlässige Stahltür unterstützt die Photosynthese und damit das Wachstum von Algen und Cyanobakterien<sup>76</sup>. Beim mineralischen Untergrund kann es sich um die ursprünglichen organischen Bindemittel der Malerei handeln, aber auch um organische Materialien, die sich im Laufe der Jahrhunderte durch Staub, Regenwasser und Exkremente von Kleinstlebewesen als Verschmutzung auf den Wandflächen abgelagert haben<sup>77</sup>.

In direkter Nachbarschaft der Biofilme lassen sich massive Salzausblühungen feststellen, die auf salztolerante Mikroorganismen schließen lassen. Festzustellen bleibt, daß nur Mikroorganismen mit speziellen Anpassungen in der Lage sind, salzbelastete Standorte zu besiedeln<sup>78</sup>. Eindeutige Erkenntnisse über die Wechselwirkung zwischen Salzbelastung und mikrobiologischer Besiedlung sind bisher noch nicht bekannt.

Bei den Salzen handelt es sich nachweislich um Salzkombinationen, die unter anderem auch Nitrate aufweisen. Für bestimmte Mikroorganismen können diese Nitratsalze „eine wesentliche Stickstoffquelle“<sup>79</sup> sein und damit als Nährboden dienen. Diese werden als nitrifizierende Mikroorganismen bezeichnet.

Neben heterotrophen Bakterien und Pilzen bilden auch die vorgenannten nitrifizierenden Mikroorganismen organische Säuren. Die calcitisch gebundenen Putz- und Malschichten sowie die mineralischen Zuschläge können angelöst und damit zerstört werden. Entfernt man mit dem Skalpell einen Teil des Biofilms, so zeigt die darunter befindliche weiße Kalkschlämme eine deutliche Gefügeschwächung. Kaiser/Raschle<sup>80</sup> sprechen in diesem Zusammenhang von einer lokalen Lochkorrosion, die sich bis zur flächigen Zerstörung des Materials ausweiten kann.

Neben der direkten Zerstörung durch mikrobiologisch gebildete Säuren besitzen die Biofilme zugleich auch feuchtespeichernde Eigenschaften. Damit wird der Anlagerung von Schadstoffen massiv Vorschub geleistet.

Die Effloreszenzen infolge der extrem hohen Salzbelastung des Mauerwerks befinden sich oberhalb der Biofilme. Eine Veränderung des Mikroklimas (höhere Feuchte) in den mikrobiellen Auflagen dürfte dazu führen, daß sich in diesen Bereichen auch bei niedrigen Raumluftfeuchten keine Effloreszenzen ausbilden.

<sup>74</sup> Kaiser/Raschle1996, 121.

<sup>75</sup> Eckhardt 1990, 48.

<sup>76</sup> Vgl. hierzu Eckhardt 1990, 49.

<sup>77</sup> Eckhardt 1990, 50.

<sup>78</sup> Siehe Petersen 1996.

<sup>79</sup> Petersen 1996, 75.

<sup>80</sup> Kaiser/Raschle 1996, 121.

Petersen<sup>81</sup> unterscheidet grundsätzlich zwischen dem bloßen Abtöten einer Besiedlung und einem mehr oder weniger lang anhaltenden Schutz gegenüber einer Neubesiedlung. Die Behandlung mit Bioziden kann immer nur zu einer rein symptomatischen Behandlung führen. Neben möglichen chemischen Wechselwirkungen am Objekt besteht auch eine gesundheitliche Gefährdung für den Anwender<sup>82</sup>.

Erst die Bekämpfung der Schadensursache kann langfristigen Erfolg bringen. Eine Biozidanwendung darf grundsätzlich nicht als Ersatz für eine Bausanierung, d.h die Bekämpfung der Schadensursachen angesehen werden.

Die ästhetische Beeinträchtigung durch den oberflächlichen Bewuchs kann durch die mechanische Entfernung mit dem Skalpell Sorge getragen werden. Versuche zur Nachreinigung mit reinem Wasserdampf erbrachten ein befriedigendes Ergebnis.

Um eine Wiederbesiedlung einzuschränken, empfiehlt sich der Einbau einer lichtundurchlässigen Eingangstür. Gleichzeitig muß eine dauerhafte Regulierung des Raumklimas erfolgen. Durch die regelmäßig durchzuführende Kontrolle der Grabkammer können bei einer Wiederbesiedlung entsprechende konservatorische Maßnahmen eingeleitet werden.

#### *Biologischer Bewuchs*

Im Sockelbereich der Grabeinfassungen befindet sich unterhalb der Biofilme eine mehrere Millimeter starke, intensiv dunkelgrüne Schicht. Mit dem bloßen Auge lassen sich Würzelchen, Blättchen und Stämmchen erkennen. Dieser Belag zieht sich besonders in unmittelbarem Anschluß oberhalb des Bodenniveaus entlang der Grabeinfassungsmauern und der Sockelflächen und schließt unmittelbar an die Unterkante der darüber befindlichen Biofilmauflagen. Der flächige und dichte Bewuchs verdeckt die darunter befindliche Mal- und Putzschicht. Aufgrund des optischen Erscheinungsbildes handelt es sich eindeutig um Moos- und Flechtenbeläge. Eine weiterführende Bestimmung anhand naturwissenschaftlicher Untersuchungen unterbleibt aus diesem Grund.

Moose gedeihen besonders gerne in schattigen, dunklen und zugleich feuchten Bereichen. Die untere Sockelzone der Grabeinfassungen bietet für die Besiedlung und das Wachstum aufgrund der aufsteigenden Mauerfeuchte und der dunklen Lichtverhältnisse ideale Rahmenbedingungen. Aufgrund des langsamen Wachstums ist eine mechanische Entfernung empfehlenswert.

#### *Salzausblühungen*

Besonders im Bereich der Grabeinfassungen oberhalb der Biofilme und im Sockelbereich der Wand- und Gewölbeflächen bis in eine Höhe von 1,20 m befinden sich weiße kristalline Auflagen auf der Malerei- und Putzoberfläche. Diese weißen Ausblühungen verdecken die darunter befindlichen Malerei.

Auffällig sind starke Malschicht- bzw. Putzoberflächendefekte im direkt anschließenden Bereich bzw. unter diesen kristallinen Auflagen. Diese zeigen, abhängig

<sup>81</sup> Petersen 1994, 139

<sup>82</sup> Siehe Merkord 1994, 170 ff.

vom Raumklima, eine unterschiedliche Gestalt. Zum einen liegen die Kristalle als dichte, weiße, watteähnliche Zusammenballungen, die sich aus einer Vielzahl von einzelnen langfaserigen Nadeln zusammensetzen, auf der Oberfläche. Zum anderen befinden sich lediglich vereinzelt langfaserige, nadelförmige glitzernde Aggregate auf der Wandfläche.

Die langfristige Beobachtung der Schadensbereiche zeigt, daß zu unter unterschiedlichen Bedingungen an derselben Stelle die kristallinen Auflagen unterschiedlich stark ausgeprägt sind. Bei sehr feuchtem Raumklima verschwinden die Auflagen nahezu komplett. An trockenen Tagen (Sommerzeit) kommt es zu einer stärkeren Ausbildung dieser Auflagen.

Die feuchtigkeitsabhängige Ausbildung und das kristalline Erscheinungsbild sind typische Hinweise für Salzausblühungen, sogenannte Effloreszenzen. Die vorgenannten Schadensphänomene entsprechen nach optischer Betrachtung der von Bläuer<sup>83</sup> beschriebenen Ausblühungsformen Salzrasen und Salzflaum.

Aus konservatorischen Gründen wurden lediglich die historische Bausubstanz nicht schädigende Salzproben aus der Lehmkrustenauflage der Rückwand entnommen. Die Erstellung eines Tiefenprofils der Salzbelastung war aus diesem Grund nicht möglich. Die Ausbildung von Effloreszenzen sind aber ein deutlicher Hinweis darauf, daß auch im Putzgefüge und im Mauerwerk eine hohe Salzkonzentration zu erwarten ist.

Die in der Grabkammer anzutreffenden unterschiedlichen Salzarten wurden nach der mikroskopisch-mikrochemischen Methode von Bläuer-Böhm<sup>84</sup> untersucht und soweit möglich bestimmt.

Nach Arnold<sup>85</sup> kann es aufgrund des unterschiedlichen Löslichkeitsverhalten von anzutreffenden Salzarten zu einer örtlich getrennten Ausfällung bzw. Bildung von Salzausblühungen kommen. Im Zuge der aufsteigenden Mauerfeuchte besteht die Möglichkeit der Fraktionierung von schwerlöslichen Salzen im unteren Mauerbereich und den leichtlöslicheren in höher gelegenen Mauerregionen<sup>86</sup>. Um sämtliche in der Grabkammer anzutreffenden Salzarten erfassen zu können, wurden in regelmäßigen Abständen vom Boden bis zum Gewölbe acht Salzproben entnommen<sup>87</sup>.

Durch die Herstellung von Wasserauszügen konnte anhand von mikrochemischen Untersuchungen die Ionenbestimmung durchgeführt werden. Die zur weiteren Bestimmung der Salzsysteme<sup>88</sup> notwendige mikroskopische Erfassung ihres Habitus, ihrer Form und ihrer Aggregate unmittelbar nach der Probeentnahme konnte aufgrund der extrem hohen Raumluftfeuchte nicht durchgeführt werden.

<sup>83</sup> Bläuer 1990, 110.

<sup>84</sup> Bläuer-Böhm 1994, 86-103. - Bläuer-Böhm 1996, 39 ff.

<sup>85</sup> Arnold 1990, 3.

<sup>86</sup> Vgl. Arnold et al. 1989, 185.

<sup>87</sup> Aufgrund der extrem hohen Luftfeuchte zum Zeitpunkt der Probeentnahme konnten keine reinen Salzproben, sondern Putzproben mit Salzen entnommen werden.

<sup>88</sup> Weitere Untersuchungsverfahren wie die Röntgendiffraktion (XRD), die Infrarotspektroskopie (IR) und die Raster-Elektronen-Mikroskopie (REM) hätten zu einer vollständigeren Salzanalyse geführt, die entsprechend der Zielsetzung jedoch nicht dringend erforderlich war.

Probe-Nr.	Probemenge [g]	Messpunkt	Kationen	Anionen	pH-Wert	Leitfähigkeit [ $\mu\text{s}/\text{cm}$ ]	Auswertung
2	0,0272	Weißer Salzkruste, Türeingang, linke Grabeinfassungsmauer; ca. 30 cm vom Boden	Ca <sup>2+</sup> = 2 Na <sup>+</sup> = 3 K <sup>+</sup> = 3 Mg <sup>2+</sup> = 2	Cl <sup>-</sup> = 1 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> = 1	6,62	110,1	Chloride, Nitrate und Carbonate* Phosphate ?
3	0,0133	Biofilmauflage neben Salzkruste (vgl. Probe 2) Türeingang, linke Grabeinfassungsmauer. Ca. 30 cm vom Boden	Ca <sup>2+</sup> = 8 Na <sup>+</sup> = 3 K <sup>+</sup> = 3 Mg <sup>2+</sup> = 1	Cl <sup>-</sup> = 1 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> = 8	6,52	59,1	Chloride, Nitrate und Carbonate*
4	0,7320	Rückwand, links von der Nische, Grabeinfassung, ca. 10 cm über dem Boden	Ca <sup>2+</sup> = 2 Na <sup>+</sup> = 2 K <sup>+</sup> = 2	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> = 2 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> = 1	6,89	118,5	Sulfate, Nitrate und Carbonate*
5	0,2081	Rückwand, links von der Nische, Grabeinfassung, ca. 50 cm über dem Boden	Ca <sup>2+</sup> = 2 Na <sup>+</sup> = 2 K <sup>+</sup> = 2	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> = 2 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> = 2	6,65	674	Sulfate, Nitrate und Carbonate*
6	0,4297	Rückwand, links von der Nische ca. 100 cm über dem Boden	Ca <sup>2+</sup> = 2 Na <sup>+</sup> = 1 K <sup>+</sup> = 1	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> = 2 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> = 2	6,79	215	Sulfate, Nitrate und Carbonate*
7	0,6592	Rückwand, links von der Nische ca. 140 cm über dem Boden	Na <sup>+</sup> = 2 CaCO <sub>3</sub> = 3	Cl <sup>-</sup> = 2 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> = 1	6,83	168,3	Carbonate, Chloride, Nitrate
8	0,1578	Rückwand, links von der Nische ca. 200 cm über dem Boden	Ca <sup>2+</sup> = 2 Na <sup>+</sup> = 2 K <sup>+</sup> = 2	Cl <sup>-</sup> = 2 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> = 2	6,71	1484	Chloride, Nitrate und Carbonate*
9	0,4249	Gewölbescheitel im Bereich von einer Putzschale	Na <sup>+</sup> = 3 Ca <sup>2+</sup> = 1	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> = 1	6,49	25,3	Sulfate und Carbonate*

Tab. 8 Zusammenfassende Darstellung der Salzanalyse der acht am Wasserauszug (100 ml) untersuchten Proben der Grabkammer am Reichertsberg mit anschließender Auswertung.

(Probeentnahme am 26.1.99; Raumklima 98,6 % relative Luftfeuchte, 6,3° C;

Mengen Mikrochemie nach Bläuer-Böhm<sup>88a</sup>: 1 = wenig; 2 = mittel; 3 = viel; 8 = Spuren;

\* konnte mikrochemisch nicht analysiert werden, da unterhalb der Nachweisgrenze).

<sup>88a</sup>Bläuer-Böhm 1996, 91.

### Auswertung der Salzanalyse

Die Salzuntersuchung zeigt, daß an der Malereioberfläche in der Grabkammer ausschließlich Salzgemische vorliegen, die sich aus unterschiedlichen Salztypen zusammensetzen. Grundsätzlich konnten Sulfate, Nitrate, Carbonate und Chloride nachgewiesen werden. Alle identifizierten Salztypen sind nach Faller et al.<sup>89</sup> häufig in alter Bausubstanz anzutreffen.

Der Carbonatnachweis fiel, weil unter der Nachweisgrenze, bei allen Proben negativ aus. Der Calcitnachweis sowie die Ausbildung der calcitischen Sinterkrusten sind deutliche Hinweise auf lösliche carbonatische Verbindungen im Putz- und Malerschichtgefüge.

Die vorgenannten Salzarten zeigen in Form von Salzgemischen eine räumliche horizontale Verteilung. So lassen sich in unterschiedlichen Höhen und Bereichen der Grabkammer verschiedene Salzgemische lokalisieren (Abb. 24)<sup>90</sup>.

Die Salzausblühungen im Bereich der Außenwand der Grabeinfassungsmauer setzen sich aus Chloriden und Carbonaten aber wenigen Nitraten zusammen. Eine Probe wurde aus einem dichten Biofilmbelag entnommen. Sie zeigt, daß sich diese

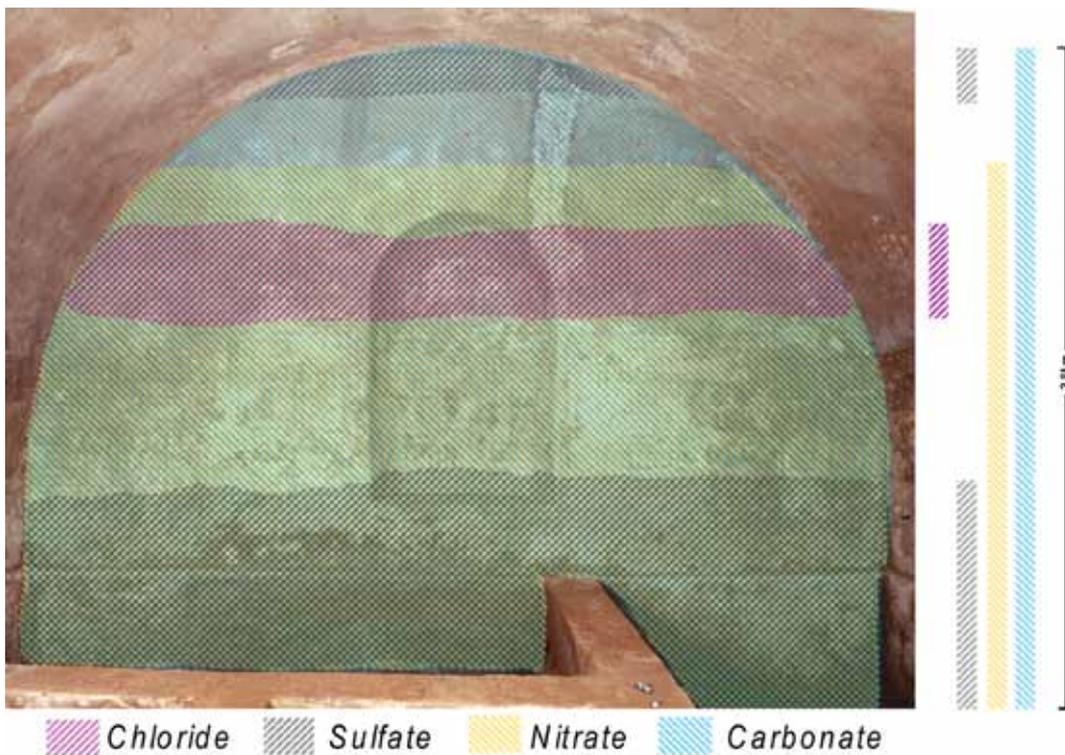


Abb. 24 Horizontale Verteilung der verschiedenen Salzarten im Bereich der Rückwand.

<sup>89</sup> Faller et al. 1989, 106 Tab. 1. - Vgl. auch Arnold et al. 1989, 181, Tab. 2: Identifizierte Salzarten in der Klosterkirche Müstair. Sulfate, Nitrate, Carbonate u. Chloride.

<sup>90</sup> Vgl. Arnold et al. 1989, 181 ff. 185 Abb. 21.

Auflagen aus salzresistenten Mikroorganismen und Bakterien zusammensetzen. Die Salzproben vom Boden bis in eine Höhe von ca. 100 cm im Bereich der Rückwand zeigen eine an den Leitfähigkeitswerten erkennbare hohe Salzbelastung von bis zu 674  $\mu\text{s}/\text{cm}$  auf. Die dort anzutreffenden Salzgemische setzen sich überwiegend aus Nitraten und Sulfaten zusammen. Möglicherweise steht diese Ionenbilanz im Bereich der aufsteigenden Grundfeuchte in unmittelbarem Zusammenhang zum Nitrat- und Sulfatgehalt der Mosel oder des Grundwassers<sup>91</sup>. Bei den hohen Nitratbelastungen im Bereich der Grablegen können diese jedoch auch auf die Körperbestattungen selbst und deren Zersetzungsprodukte zurückgeführt werden.

Oberhalb der stark geschädigten Putz- und Malschicht im Bereich von 140 cm bis 200 cm wurden überwiegend schwerlösliche Carbonate aber auch leichtlösliche Chloride und Nitrate (geringe Konzentration) festgestellt. Die Salzbelastung schwankt deutlich und ist mit Leitfähigkeitswerten von bis zu 1484  $\mu\text{s}/\text{cm}$  zum Teil extrem hoch.

Die Salzprobe aus dem Scheitelbereich des Gewölbes zeigt mit einem Leitfähigkeitswert von 25,3  $\mu\text{s}/\text{cm}$  eine äußerst geringe Salzbelastung. In dieser Probe konnten ausschließlich geringe Mengen an schwerlöslichen Sulfaten nachgewiesen werden. Diese Natrium- und Calciumsulfate dürften sich entsprechend der Auswertung der Elementenanalyse EDX der Kalksinterkruste ebenfalls erst seit der Ausgrabung 1967/68 in der Grabkammer gebildet haben. Durch die Montage einer luftdurchlässigen Metalltür kann seit dieser Zeit Schwefeldioxid aus der Luft<sup>92</sup> in das Innere der Grabkammer und in Form von Schwefelsäure die calcitische Malschicht umwandeln.

Was sind nun die Ursachen dieses Schadensphänomens? Tennikat<sup>93</sup> formuliert dies folgendermaßen: „Die beiden wesentlichen Quellen für wasserlösliche Salze im Inneren eines Bauwerks stellen das Mauerwerk selbst und der Untergrund des Gebäudes dar“.

Wasserlösliche Salze werden im Zuge der aufsteigenden Feuchte permanent gelöst und lagern sich in im Bereich der Verdunstungszone an. Abhängig von der baulichen Situation und den klimatischen Verhältnissen kommt es zu einer örtlichen Salzanreicherung im Putzgefüge selbst oder an der Oberfläche der Mauerwerks-, der Putz- oder der Malschichtoberfläche. Die komplette, hohe Versalzung der gesamten Bausubstanz der Grabkammer ist auf die dauerfeuchte Bodenlagerung zurückzuführen. Die ständige hohe Durchfeuchtung führte zur Mobilisierung und der Verteilung von schwerlöslichen Salzen bis in die Zonen der Gewölbekappen hinein.

Die Transportwege des Wassers und der darin gelösten Salze<sup>94</sup> liegen nach Tennikat<sup>95</sup> hauptsächlich im porösen Wandputz und im Versetzmörtel und selten im weniger porösen Mauerwerksstein.

<sup>91</sup> Nitratbelastung des Grundwassers durch Überdüngung der Weinberge siehe auch Analysebericht Quellwasser Heidenbor vom 8.7.1996 der Stadtwerke Trier GmbH, Labor für Wassergüte und -hygiene.

<sup>92</sup> Seit der Industrialisierung ist der Schwefeldioxidgehalt der Luft merklich gestiegen

<sup>93</sup> Tennikat 1992, 13

<sup>94</sup> Zu Salztransport vgl. Arnold, 1992, 3: „Salze werden fast nur im Wasser gelöst transportiert (Transport). [Ausnahmen sind das Kriechen auf kurzen Distanzen und Transport als Aerosole durch die Luft.]

<sup>95</sup> Tennikat 1992, 13.

Das Salz kann bei einer relativen Raumlufftfeuchte unterhalb der Gleichgewichtsfeuchte<sup>96</sup> der Salze zunächst ausfallen und bei kompletter Verdunstung des Wassers kristallisieren und damit sein Volumen um ein Vielfaches vergrößern.

Der so entstehende Kristallisationsdruck im Porenraum eines porösen Körpers kann zu einer Gefügesprengung führen. Kommt es umgekehrt zur Hydratation d. h. der Wasseraufnahme von kristallisierten Salzen, so kann dies ebenfalls zu einer Volumenvergrößerung führen<sup>97</sup>.

Bei einer Anreicherung von Salzen an der Substratoberfläche bilden sich durch Veränderung der Raumlufftfeuchte oder durch chemische Reaktionen<sup>98</sup> sogenannte Ausblühungen in Form von Salzkristallgebilden. Die Gestalt der Salzkristalle ist abhängig von der Ionen-Zusammensetzung des Salzgemisches, der daraus resultierenden Gleichgewichtsfeuchte und den klimatischen Rahmenbedingungen<sup>99</sup>.

Arnold et al.<sup>100</sup> geben, basierend auf der naturwissenschaftlichen Auswertung der Salz- und Klimauntersuchung und Beobachtungen in der Klosterkirche von Münstair (Schweiz) die relative Gleichgewichtsfeuchte der Salzlösungen und damit die sogenannte kritische Feuchte mit ca. 60 % relativer Luftfeuchte (rF) an. In der Grabkammer am Reichertsberg konnten die gleichen Salzarten d.h. Sulfate, Nitrate, Carbonate und Chloride wie in Münstair identifiziert werden. Deutliche Parallelen bezüglich der Gleichgewichtsfeuchte der Salzlösung in Münstair und der Grabkammer sind zu erwarten. Tatsächlich konnte während des Untersuchungszeitraumes im Rahmen dieser Arbeit mehrfach die deutliche Ausbildung von Salzeffloreszenzen durch das Abfallen der Raumlufftfeuchte auf 60-65% relative Luftfeuchte beobachtet werden. Der Wert der kritischen Feuchte dürfte also vermutlich in der Grabkammer bei etwa 60–65 % relativer Luftfeuchte anzusiedeln sein.

Eine Salzextraktion der oberflächennahen Zonen dürften lediglich kurzfristigen Erfolgsaussichten haben. Durch die Transportmechanismen kapillares Saugen, Diffusion, Osmose und Oberflächendiffusion würden binnen kurzer Zeit aus dem stark salzbelasteten Mauerwerk wieder Salze in die zuvor salzreduzierten Bereiche nachwandern. Der Erfolg einer Entsalzung in der Grabkammer am Reichertsberg ohne konstruktive Veränderungen an der Bausubstanz wäre grundsätzlich nur von kurzer Dauer. Von einer Entsalzung ist aus diesem Grund eher abzuraten.

Vielmehr sollte durch die dauerhafte Regulierung des Raumklimas die schädigende Wirkung der Salze reduziert werden. Die in der Grabkammer anzutreffenden Salze bzw. Salzgemische zeigen unterschiedliche Gleichgewichtsfeuchten<sup>101</sup>. Die starken

<sup>96</sup> Für die Gleichgewichtsfeuchte von Salzgemischen gilt nach Tennikat 1992, 16: „Da in der Wand stets ein Gemisch verschiedenartigster Ionen vorliegt, verändert sich die Gleichgewichtsfeuchte eines Salzes durch die Anwesenheit der Lösungsgenossen.“

<sup>97</sup> Tennikat 1992, 18: „Auch die Hydratationsdrücke von Salzen reichen aus, um die Porenräume von Gesteinen (hier Putze und Malschicht) zu sprengen“.

<sup>98</sup> Arnold 1992, 4 f: „Durch Reaktion von leichtlöslichen Ionen entstehen schwer oder schwachlösliche Salze. Als Beispiel für viele dient die vereinfachte, formulierte Reaktion  $\text{Ca}(\text{Cl})_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaCO}_3 + 2 \text{NaCl} + 16 \text{H}_2\text{O}$ .“

<sup>99</sup> Vgl. Arnold et al. 1989, 187.

<sup>100</sup> Arnold et al. 1989, 187.

<sup>101</sup> Zu Gleichgewichtsfeuchten von Salzen siehe Tennikat 1992, 23; 122 ff.

Luftfeuchteschwankungen in der Grabkammer führen zu Hydratations- und Kristallisationsprozessen und damit zur Schädigung der Bausubstanz. Bei einer konstant hohen Raumlufffeuchte bleiben die Salze grundsätzlich in Lösung; bei konstant niedriger Raumlufffeuchte bleiben die Salze in kristalliner Form und stellen ein geringeres Schadenspotential dar. Die Regulierung auf eine konstant niedrige Raumlufffeuchte ist mit einem hohen konstruktiven und technischen und damit auch finanziellen Aufwand verbunden. Die zu erwartenden hohen Energie- und Wartungskosten lassen diese Anforderungen aussichtslos erscheinen. Die Regulierung auf eine konstant hohe Luftfeuchte durch die Pufferung bzw. Befeuchtung der Luft während der Austrocknungsphasen erscheint leichter zu realisieren und damit vielversprechender.

#### *Kalk-Silikat-Sinterkrusten*

Ein außerordentlich großes Schadensphänomen stellt die auf der Putz- und Malerschichtoberfläche liegende großflächige, milchig transparente, rötliche Schicht dar. Diese liegt unmittelbar auf der Malerei und scheint mit dieser untrennbar verbunden. Die Malerei ist durch die halbtransparente zum Teil rötliche Schicht in weiten Bereichen der Grabkammer nicht mehr oder nur noch schemenhaft zu erkennen. Die Schichtenaufgabe wird durch aneinandergereihte, kugelförmige Kristallisationsformen (Krustensäume) netzartig unterbrochen. Die erhabenen Krustensäume heben sich durch ihre weiße Farbigekeit von der rötlicheren Schichtenaufgabe ab.

Die Betrachtung der Kruste unter dem Mikroskop zeigt, daß diese eine außerordentlich homogene und dichte Schicht ausbildet. Die Oberfläche ist eben und glatt, aber durchgehend mit kleinen Haarrissen durchzogen. Dies ist ein Hinweis auf Spannungen innerhalb der Kruste. Auch auf den kugelförmigen Krustensäumen zeigen sich schichtige Abplatzungen (Abb. 25).



Abb. 25 Kalk-Silikat-Kruste mit kugeligen Krustensäumen (Makroaufnahme).

Die Untersuchungen an dem Querschliff einer Probe (Abb. 26) zeigte eine glasig-transparente, vielschichtige fest mit dem Untergrund verbundene, ca. 0,1-1 mm starke Auflage auf der Renovierungsfassung (Phase 2)<sup>102</sup>. Die einzelnen unterschiedlich starken Schichten zeichnen sich durch farbliche Zäsuren deutlich voneinander ab. Einzelne Sand- und rotbraune Schluffteilchen (vermutlich Tonmineralien) sind in die Matrix eingebunden und geben dieser eine leicht rötliche Farbe.

Die EDX-Analyse zeigt, daß diese Auflage einen hohen Silikatanteil aufweist. Diese silikatischen Bestandteile stammen von der Verschüttung der Grabkammer mit stark

<sup>102</sup> Zwischen der ursprünglichen Malerei und der Renovierungsphase zeigt sich ebenfalls eine milchig-transparente Kruste. Diese wurde im Rahmen der Renovierungsphase im Bereich des Gewölbes übertüncht und ist deshalb nur im Anschliff zu erkennen.



Abb. 26 Querschliff der eingebetteten Kalk-Silikat-Sinterkruste. Anhand der farblichen Zäsuren ist der schichtige Aufbau deutlich erkennbar.

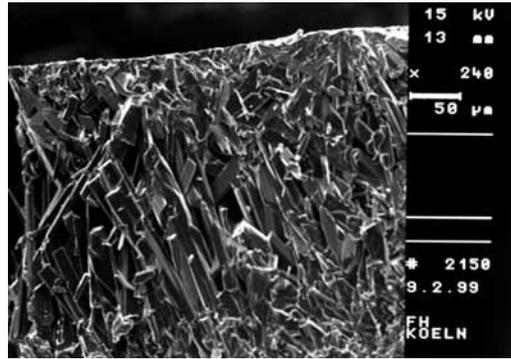


Abb. 27 Rasterelektronenmikroskopaufnahme eines Querschnitts der Kalk-Silikat-Kruste. Erkennbar ist die kristalline Struktur.

tonhaltigem Erdreich aus dem Hanggelände bzw. tonhaltigen Hangwasser, das in die Grabkammer eingedrungen ist. Die farbigen Zäsuren zeigen die sukzessive Ausbildung der Kruste infolge der raumklimatischen Bedingungen.

Die einzelnen Schichten setzen sich aus ungleichmäßigen nicht orientierten kristallinen Aggregaten zusammen. Die isometrische kristalline Ausrichtung führt zu einer extrem dichten Krustenausbildung (Abb. 27). Im Bereich von Rissen in der Krustenaufgabe zeigen sich kugelige runde, erhabene Aufwölbungen. Der Durchmesser reicht von ca. 1 mm bis zu 3 mm großen Kugeln, die mit bloßem Auge zu erkennen sind.

Die Kruste löst sich in 10-prozentiger Salzsäure unter starkem Aufschäumen nahezu rückstandsfrei auf. Lediglich einzelne Sandkörner und Schluffpartikel bilden den Rückstand. Der Gipsnachweis fiel negativ aus. Auch mit dem halbquantitativen Nachweisverfahren mittels Merkoquant Teststreifen konnte kein Sulfat nachgewiesen werden. Die Sinterkruste dürfte sich ausschließlich aus Calcit und Silikaten gebildet haben und wird deswegen als Kalk-Silikat-Sinterkruste bezeichnet.

Die Kalk-Silikat-Sinterkrusten auf den Putzfragmenten zeigen im Unterschied zu einer Krustenprobe an der Rückwand anhand der Elementverteilung von Schwefel, daß die obersten Bereiche der sich seit der Ausgrabung bildenden Krusten eine leichte Vergipsung aufweisen. Diese dürfte in direktem Zusammenhang mit der heutigen Schwefeldioxidbelastung der Luft stehen, denn durch den Einbau der luftdurchlässigen Eisentür kann seit der Ausgrabung ein Luftaustausch stattfinden.

Kalksinterkrusten entstehen vergleichbar den Salzanreicherungen an Wandoberflächen infolge von Löseprozessen. Das schwerlösliche Salz Calciumcarbonat liegt infolge von Löseprozessen in Calcium- und Carbonationen vor. An der Verdunstungszone des Objekts kann es dann zu einer Ionenanreicherung und im Laufe der Zeit zu der Ausbildung einer Sinterschicht kommen.

Die Ausbildung von Sinterkrusten wird von vielen Faktoren beeinflusst<sup>103</sup>. Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten des Aufbaus von Sinterkrusten: Zum einen können die nachwachsenden Schichten sich unter den älteren Schichten

<sup>103</sup> Vgl. Tennikat 1994 b, 99, 101. - Arnold, 1990, 1-9. - Riedl 1998, 26-39.

ausbilden und drücken diese nach außen. Zum anderen besteht die Möglichkeit, daß sich durch an der Wandoberfläche ablaufendes salzreiches Wasser an der Oberfläche der älteren Sinterschicht neue Sinterauflagen bilden. Die Sinterkruste kann folglich von oben nach unten bzw. von unten nach oben wachsen.

Das unterschiedliche Wachstum ist grundsätzlich von den klimatischen Rahmenbedingungen, den Salzen und dem Aufbau des Mauerwerks abhängig.

In Bereichen, in denen aufgrund von Spannungen die Sinterkruste ein Reißnetz aufweist, kann infolge des Kapillarsoges vermehrt calciumreiches Wasser an die Oberfläche treten. Es kommt hier zu einer stärkeren Ausfällung und Kristallisation des Calciums und damit zu kugeligen, runden Ausfällungsprodukten.

Eine Entfernung dieser Kruste ist aus konservatorischen Sicht dringend erforderlich.

#### *Lehmkrustenauflage*

Nahezu 60 Prozent der Putz- bzw. Malschichtoberfläche werden von einer rötlich braunen, von 0,5 mm bis zu 5 mm starken Schicht verdeckt. Die Lehmkrustenauflage rührt von der Verfüllung der Grabkammer mit Erdreich her. Da das Erdreich nicht bis zum Gewölbescheitel stand, lassen sich dort keine bzw. nur wenige dieser Auflagen beobachten.

Die Schicht zeigt starke Schrumpfrisse und liegt zum Teil spannungsreich auf der Putz- bzw. Malschichtoberfläche auf. Neben der ästhetischen Beeinträchtigung kommt es durch Spannungen in der Kruste zu Ablösungen der darunter liegenden Malschichtbereiche.

Unter dem Mikroskop erkennt man eine äußerst feinkörnige dichte rotbraune Schicht. Neben matten Flächen zeigen sich auch leicht milchige transparente Überzüge auf der Lehmkruste. Im Gegensatz zu den Bereichen mit matten Oberflächen lassen sich die Stellen mit dem glasigen Überzug nicht mit Wasser anlösen. Die zuletzt genannten lösen sich erst durch eine 10-prozentige Salzsäure. Der Rückstand zeigt neben feinem Sand auch aufschlammbar Schluff in Form von Tonmineralien auf. Demzufolge wird die hier untersuchte Schmutzauflage als Lehmkrustenauflage angesprochen.

Bei der salzsäurelöslichen milchig-transparenten Oberflächenauflage auf der Lehmkruste handelt es sich um Versinterungen infolge der zyklischen Klimawechsel in der Grabkammer nach der Ausgrabung von 1967/68. Vergleichbar mit der Kalk-Silikat-Krustenbildung wird aus dem Putz- und Mauerwerk lösliches Calcium bis an die Verdunstungszone transportiert. Nach der Ausgrabung befindet sich diese im Bereich der Lehmkrustenauflage und auf deren Oberfläche. Dort kommt es in Trockenperioden zur Ausfällung und Carbonatisierung des gelösten Calciums und damit zur Versinterung der Lehmkruste. Die ursprünglich wasserlösliche Lehmschicht wird wasserunlöslich.

Versuche am Objekt zeigten, daß die Lehmkrustenauflage zum großen Teil wasserlöslich ist. Sie läßt sich mit einem Mikrodampf Reinigungsgerät anlösen und mit einem Schwamm abtupfen. Die mechanische Entfernung mit dem Skalpell bzw. mit dem Feinpartikelstrahlverfahren erwies sich ebenso geeignet. Diese letztgenannten Verfahren werden gegenüber der Entfernung mit dem Mikrodampfgerät aufgrund der geringeren Temperatur- und Feuchtebelastung empfohlen.

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE DER ZUSTANDSUNTERSUCHUNG

Grundsätzlich sind für die Schäden an der Mal- und Putzsubstanz die hohen Feuchtebelastungen und Salze in Verbindung mit Klimaschwankungen verantwortlich zu machen. Die kumulative Wirkung der Schadensfaktoren Wasser in Form von aufsteigender Feuchte, Kondenswasserbildung und eindringendem Regenwasser sowie die Lösung von bauimmanenten und autotroph gebildeten Salzen führten in Verbindung mit Klimaschwankungen in der Grabkammer zu den teilweise starken Schäden.

Der Schadensverlauf darf wegen nutzungsbezogener Veränderungen nicht als dynamischer fortlaufender Prozeß angesehen werden. Vielmehr lassen sich drei Zeitabschnitte im Schadensverlauf unterscheiden: Der erste Abschnitt umfaßt die Zeitspanne während der drei Belegungsphasen in spätrömischer Zeit. Die Grabkammer zeigt in diesem Zeitraum besonders durch eindringendes Regenwasser, aufsteigende Mauerfeuchte und Kondenswasserbildung in Verbindung mit Löse- und Fällungsreaktionen die Ausbildung einer spannungsreichen Sinterkruste und Schäden in der Putzsubstanz.

Der zweite Abschnitt umfaßt den Zeitraum nach der Aufgabe als Grablege bis zur Wiederentdeckung 1967/68. Das Innere der Grabkammer verfüllte sich nach und nach mit Erdreich. Die dauerfeuchte Bodenlagerung führte zu Lösungsprozessen und Wanderungen von Salzen und dem Abbau von Bindemittel im Putz- und Malschichtgefüge.

Der dritte Abschnitt setzt mit der Ausgrabung und dem Einleiten von Trockenlegungsmaßnahmen ein und hält bis heute an. Die über Jahrhunderte hinweg dauerfeuchte Grabkammer trocknet periodisch entsprechend den Klimaveränderungen im Jahreswechsel aus. Infolge der Raumklimaschwankungen kommt es zu Hydratations- und Kristallisationswechsel der Salze und damit zu der Zerstörung des Putz- und Malschichtbestandes. Parallel dazu verstärkt sich die Sinterkrustenbildung durch die Lösung und Ausfällung von Calciumcarbonat. Innerhalb der letzten dreißig Jahren führte dies zu einer gravierenden Verschlechterung der Lesbarkeit der Malerei. Durch die im Zuge des Ausgrabung eingebaute luft- und lichtdurchlässige Eisengittertür kommt es zum Luftaustausch. Die höhere Schwefeldioxidbelastung der Luft im 20. Jahrhundert läßt sich an der beginnenden Vergipsung der Sinterkruste beobachten. Durch den Lichteinfall kommt es in den dauerfeuchten Sockelbereichen zu einer starken mikrobiologischen Besiedlung. Der säurebildende Mikroorganismenbelag führt zu Löseprozessen und zur Zerstörung der darunter befindlichen Mal- und Putzschicht.

### **Grundsätzliche Vorgaben für ein Konservierungs- und Restaurierungskonzept<sup>104</sup>**

#### Regulierung des Raumklimas

Die gesamte Schadenssituation des Mal- und Putzbestandes steht in direkter Verbindung zu den starken Klimaschwankungen und der enorm hohen Feuchtebelastung im Innenraum der Grabkammer. Die Hydratation und Kristallisation der Salze infolge der Feuchteschwankungen führt zu weiteren Schäden.

<sup>104</sup> Es handelt sich hier um einen Auszug aus dem im Rahmen meiner Diplomarbeit entwickelten ausführlichen Konservierungs- und Restaurierungskonzept.

Die dauerhafte Regulierung und Stabilisierung des Raumklimas ist als grundsätzliche Konservierungsmaßnahme unbedingt erforderlich. Es handelt sich dabei um eine Maßnahme, von deren Gelingen der langfristige Erhalt der Grabkammer maßgeblich abhängt.

Im Verhältnis zur Außentemperatur weist das Innere der Grabkammer ein relativ konstantes und aus konservatorischer Sicht günstiges Raumklima auf. Die extrem hohe Luftfeuchte und die in den Sommermonaten zu erwartende Austrocknung bergen jedoch grundsätzliche Gefahren für die Bausubstanz. Das Ziel einer Konservierungsmaßnahme sollte daher die Reduzierung der Klimaschwankungen und damit die Stabilisierung des Raumklimas im Jahresmittel sein. Damit ließe sich die schädigende Kondenswasserbildung an den Wandflächen ausschließen bzw. zumindest reduzieren.

Basierend auf der dauerhaften, extrem hohen Raumluchtfeuchte in der Grabkammer sind massive Folgeschäden durch Löseprozesse oder Mikroorganismen etc. zu erwarten. Durch Lüften oder Heizen kann die Raumluchtfeuchte auf ein die Bausubstanz schonenderes Niveau reduziert werden. Zugleich sollte aber auch gewährleistet sein, daß die kritische Feuchte, d.h. die Gleichgewichtsfeuchte der Salzlösung, die etwa bei 60-65 % rF liegt, zu keinem Zeitpunkt unterschritten wird. Da eine komplette Trockenlegung aus technischen, ökonomischen und denkmalpflegerischen Gründen ausgeschlossen werden muß, ist für die Grabkammer ein Raumklima von 70-80 % rF grundsätzlich zu empfehlen. Die Kristallisation der vorhandenen, dauerhaft in Lösung befindlichen Salze wäre damit auszuschließen. Durch die Festlegung der Obergrenze von 80 % rF ließen sich die Löseprozesse, d.h. die Neubildung von Sinterkrusten zumindest reduzieren.

Grundsätzliche Empfehlungsrichtlinien für das Raumklima<sup>105</sup>:

- Keine Kondensation im Bereich der Wandflächen.
- Kein (oder möglichst seltenes) Austrocknen der Luft unter 65 % rF länger als einen Tag lang, damit die Kristallisation der Salzlösungen nicht eintritt.
- Möglichst seltene Luftfeuchtigkeiten über 80 % rF wegen der Löseprozesse (als Folge davon Bildung von Sinterkrusten) und wegen der Mikroorganismenbesiedlung

Durch den Einbau eines Heizungssystems mit integriertem Luftbefeuchter kann das Raumklima gesteuert werden<sup>106</sup>. Aufgrund der klimatischen Eigendynamik von Baukörpern sind der Klimaregulierung durch technische Maßnahmen nach Huber<sup>107</sup> jedoch relativ enge Grenzen gesetzt. Damit sind aber zugleich enorme finanzielle und konstruktiver Veränderungen notwendig. In der Praxis zeigen sich solche Systeme zugleich als störanfällig und wartungsintensiv<sup>108</sup>.

Huber<sup>109</sup> beschreibt unter anderem auch Möglichkeiten zur Verringerung von Klimaschwankungen durch bauliche Maßnahmen. In diesem Rahmen stellt der Autor die Pufferung von Klimaschwankungen durch eine Klimaschleuse vor. Durch die

<sup>105</sup> Vgl. Anforderungskatalog von Arnold et al. 1989, 198.

<sup>106</sup> Weiterführende Literatur Arendt 1993, 104 ff. - Mertz 1997, 248-251.

<sup>107</sup> Klimaregulierung durch technische Apparaturen oder bauliche Maßnahmen siehe Huber 1995, 163.

<sup>108</sup> Vgl. Huber 1995, 155.

<sup>109</sup> Huber 1995, 154-169.

Regulierung der Raumtemperatur können raumklimatische Ausgleichsvorgänge eingeleitet und das Klima gesteuert werden. Ein Vorbau könnte die Funktionen eines Präsentationsraumes mit denen einer Klimaschleuse verbinden. Damit ein solcher Vorbau der Funktion einer Klimaschleuse gerecht wird, sind folgende konstruktive Anforderungen zu erfüllen:

- Fensterlos und damit dunkel, zur Vermeidung der Besiedlung mit photo-synthetisierenden Mikroorganismen.
- Feuchteabhängig arbeitende Heizung bzw. keine Heizung.
- Raumhöhe des Vorbaus entsprechend der Westwandhöhe, um die direkte Sonneneinstrahlung und die damit verbundene spontane Aufheizung der Ostwand (Eingangswand) zu vermeiden.
- Installation eines Ventilators<sup>110</sup> mit externem Lufteinlaß bzw. -auslaß aus dem Vorbau, der in Verbindung mit der ursprüngliche Lüftungsöffnung oberhalb der Eingangstür steht. Dieser dient der Reduzierung der zeitweilig extrem hohen Luftfeuchte in der Grabkammer durch Luftzirkulation und -austausch.

<sup>110</sup> Die Wirksamkeit eines solchen luftfeuchteabhängigen Belüftungssystems wäre in einer Versuchsreihe zu überprüfen. An mehreren Objekten wie z. B. der Torhalle Lorsch sind solche Lüftungssysteme installiert worden. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind nach Kenntnisstand des Autors jedoch nicht publiziert.

**Literatur**

- Arendt 1993 C. Arendt, Raumklima in großen historischen Räumen – Heizungsart - Heizungsweise, Schadensentwicklung - Schadensverhinderung (Köln 1993).
- Arnold et al. 1989 A. Arnold/K. Zehnder/A. Küng/O. Emmenegger, Wandmalereizerfall, Salze und Raumklima in der Klosterkirche von Müstair. Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung 5, 1991, 171-200.
- Arnold 1990 A. Arnold, Salze: Lästige weiße Ausblühungen oder Hauptschadensursache? Jahresbericht Steinzerfall-Steinkonservierung 2, 1990, 1-9.
- Bearat 1997 a H. Bearat, Quelle est la gamme exacte des pigments romains? Confrontation des résultats d'analyse avec les textes de Vitruve et de Pline. In: Roman Wall Painting. Material, Techniques, Analysis and Conservation. Proceedings of the International Workshop, Fribourg 7.-9. März 1996 (Fribourg 1997) 11-34.
- Bearat 1997 b H. Bearat, Les pigments verts en peinture murale romaine; bilan analytique. In: Roman Wall Painting, Material, Techniques, Analysis and Conservation, Proceedings of the International Workshop, Fribourg 7.-9. März 1996 (Fribourg 1997) 269-286.
- Berner/Petersen 1992 M. Berner/K. Petersen, Mikroorganismen auf Wandmalerei. Eine Untersuchungsmethode mit Hilfe der Fluoreszenzmikroskopie. Restauro 98, 1992, 164-167.
- Bläuer 1990 Ch. Bläuer, Salze und Salzkrusten. In: Arbeitsheft zur Denkmalpflege in Niedersachsen 8 (Hannover 1990) 110-114.
- Bläuer-Böhm 1994 Ch. Bläuer-Böhm, Salzuntersuchungen an Baudenkmalern. Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung 8, 1994, 86-103.
- Bläuer-Böhm 1996 Ch. Bläuer-Böhm, Praktische Hinweise zur Vorgehensweise bei der Untersuchung und Beurteilung von salzbelasteten Baudenkmalern. In: Salzsäuren an Wandmalerei. Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege 78 (München 1996) 39-52.
- Cloß 1979 H.-M. Cloß, Die Klimasituation im Regierungsbezirk Trier. In: Beiträge zur trierischen Landeskunde (Trier 1979) 362-380.
- Cüppers 1972 H. Cüppers, Grabkammer Reichertsberg. In: Rettet das römische Trier. Denkschrift der archäologischen Trier-Kommission (Trier 1972) 53-54.
- Cüppers 1990 H. Cüppers in: Die Römer in Rheinland-Pfalz (Stuttgart 1990) 631-633.
- Dörner 1989 M. Dörner, Malmaterialien und seine Verwendung im Bilde<sup>17</sup>, neu bearb. von Hans Gerd Müller (Stuttgart 1989).
- Eckhardt 1990 F. E. W. Eckhardt, Zum Vorkommen und Verhalten von Mikroorganismen in Bausteinen und Putzen. In: M. Petzet (Hrsg.), Konservierung und Restaurierung von verputzten Mauerflächen. Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege. Arbeitsheft 45. Vorträge des Symposiums mit Denkmalpflegern aus der Republik Ungarn und der Bundesrepublik Deutschland in Seon vom 15.-20. November 1987 (München 1990) 48-53.
- Faller et al. 1989 A. Faller/E. Karotke/E. Althaus, Salzsäuren an historischen Bauwerken. In: Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke. Sonderforschungsbereich 315, Universität Karlsruhe 1989.
- Fiocchi Nicolai et. al. 1998 V. Fiocchi Nicolai/F. Bisconti/D. Mazzoleni, Roms christliche Katakomben. Geschichte-Bilderwelt-Inschriften (Regensburg 1998) 103 Abb. 116; 104 Abb. 117.
- Gaitzsch 1978 W. Gaitzsch, Römische Werkzeuge (Waiblingen 1978).
- Gaitzsch 1980 Wolfgang Gaitzsch, Eiserne römische Werkzeuge. In: B.A.R. International Series 78 (Oxford 1980).

- Grissom 1986 C. A. Grissom, Green Earth. In: R. L. Feller (Hrsg.), Artists Pigments. A Handbook of their History and Characteristics 1 (London 1986) 141-167.
- Heermann 1995 K. Heermann, Entwicklung einer injektionsfähigen Hinterfüllmasse für die Konservierung des mittelalterlichen Putzes in der Krypta der Kirche St. Andreas in Fulda-Neuenberg, Diplomarbeit Fachhochschule Köln 1995.
- Herold 1994 K. Herold, Konservierung von archäologischen Bodenfunden, Wandmalerei, Mosaik (Horn 1994).
- Huber 1995 A. Huber, Verringerung von Klimaschwankungen; durch bauliche und ausstellungs-technische Maßnahmen. Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung 9, 1995, 154-169.
- Jägers/Jägers 1996 E. Jägers/E. Jägers, Naturwissenschaftliche Untersuchungen zur Maltechnik und den Malmaterialien von römischen Malereien in Trier. Vorgestellt anlässlich des Kolloquiums „Roman Wall Painting“ in Fribourg 1996 (für den Druck vorbereitet) 1-9.
- Kaiser/Raschle 1996 J.-P. Kaiser/P. Raschle, Untersuchungen zum mikrobiellen Bewuchs von Beschichtungsmaterialien und dem Einfluß einiger ausgewählter Biozide. In: Restauratorenblätter 16 (Wien 1996) 121-126.
- Knoepfli et al. 1978 A. Knoepfli/A. Arnold/O. Emmenegger, Römisches Grabmal von Nehren an der Mosel, Kreis Cochem-Zell. Wandmalerei, Untersuchungsbericht und Konservierungsvorschläge, Gutachten vom Landesamt für Denkmalpflege, Abt. Archäologische Denkmalpflege, Amt Koblenz 1978.
- Knoepfli/  
Emmenegger 1990 A. Knoepfli/O. Emmenegger, Wandmalerei bis zum Ende des Mittelalters. In: A. Knoepfli u. a. (Hrsg.), Reclams Handbuch der künstlerischen Techniken II (Stuttgart 1990) 7-212.
- Kühn 1981 H. Kühn, Erhaltung und Pflege von Kunstwerken und Antiquitäten 2 (München 1981).
- Krencker 1924 D. Krencker, Der „Heidenkeller“, eine römische Grabkammer bei Nehren a. d. Mosel. Germania 8, 1924, 68-73.
- Krenkler 1980 K. Krenkler, Chemie des Bauwesens I. Anorganische Chemie (Berlin/Heidelberg/New York 1980).
- Ling 1992 R. Ling, Roman Painting (Hampshire 1991/Reprint Cambridge 1992) 198-220.
- Merkord 1994 J. Merkord, Gefahren im Umgang mit Fungiziden und Bioziden. Restauro 100, 1994, 170-173.
- Mertz 1997 G. Mertz, Klimatechnik in Museen. Fachmännische Instandhaltung, regelmäßige Wartung. Restauro 103, 1997, 248-251.
- Mielsch 2000 H. Mielsch, Römische Wandmalerei (Stuttgart 2000).
- Noll et al. 1975 W. Noll/L. Born/R. Holm, Die römischen Wandmalereien der Kölner Domgrabung von 1969 in naturwissenschaftlicher Sicht. In: A. Linfert, Römische Wandmalerei der nordwestlichen Provinzen (Köln 1975) 49-61.
- Petersen 1994 K. Petersen, Überlegungen zur Auswirkung restauratorischer Maßnahmen auf die mikrobielle Besiedlung von Wandmalereien. Arbeitshefte zur Denkmalpflege, Heft 11, 1994, 134-140.
- Petersen/  
Krumbein 1994 K. Petersen/W. E. Krumbein, Untersuchung mikrobieller Schädigung von Wandmalereien. In: Jahresbericht Steinzerfall - Steinkonservierung 4 (Berlin 1994) 49-63.
- Petersen 1996 K. Petersen, Zur mikrobiellen Besiedlung salzbelasteter Wandmalereien. In: Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege 78 (München 1996) 75-80.
- Richter 1978: G. Richter, Bodengeographie. In: Sammlung geographischer Führer, Trier und Umgebung 11 (Berlin/Stuttgart 1978) 34-43.

- Riedl 1998 N. Riedl, Entfernung von Kalksinterkrusten dargestellt am Beispiel der römischen Wandmalerei von Mülheim-Kärlich. Möglichkeiten und Gefahren unter Zuhilfenahme des flüchtigen Bindemittels Cyclododekan. Diplomarbeit Fachhochschule Köln 1998.
- Riederer 1987 J. Riederer, Archäologie und Chemie. Einblicke in die Vergangenheit (Berlin 1987).
- Schwarz 1992 A. Schwarz, Das Klima eines unbeheizten historischen Raums. Untersuchungsergebnisse aus der Celler Schloßkapelle. *Restauro* 98, 1992, 314-317.
- Strotmann 1993 R. Strotmann, Untersuchung zur Restaurierung von kalkputztragenden Wänden aus Strohlehm. Diplomarbeit Fachhochschule Köln 1993.
- Tennikat 1992 M. Tennikat, Wandmalereischäden durch Salzkristallisation. Dissertation im Fachbereich Geowissenschaften. Universität Hannover 1992.
- Tennikat 1994 a M. Tennikat, Mechanismen der Zerstörung von Wandmalerei durch wasserlösliche Salze. *Arbeitshefte zur Denkmalpflege* 11, 1994, 93-98.
- Tennikat 1994 b M. Tennikat, Blumenköhl-, Sinter- und Seidenglanzkruste. Salzkartierung und naturwissenschaftliche Erklärungen. *Arbeitshefte zur Denkmalpflege* 11, 1994, 99-103.
- Wesche 1993 K. Wesche, Baustoffe für tragende Bauteile, Beton, Mauerwerk 2 (Wiesbaden/Berlin 1993).
- Wilhelmi 1978 K. Wilhelmi, Zur Erhaltung der römischen Fresken in der Nehrener Grabkammer „Heidenkeller“ an der Mosel. *Trierer Zeitschrift* 40/41, 1977/78, 175-184.
- Wright/Tucker 1990 V. P. Wright/M. E. Tucker in: V. P. Wright (Hrsg.), *Calcretes. Carbonate sedimentology* (Oxford 1990) 482.

#### Abbildungsnachweis

- Abb. 1-2, 4, 6-19, 21-26 Verfasser.  
 Abb. 3 Zeichnung: RLM Trier (F.-J. Dewald).  
 Abb. 5 Foto: RLM Trier, RE 1968,70 (H. Thörnig).  
 Abb. 20 Foto: RLM Trier, RE 1968,170 (H. Thörnig).  
 Abb. 27 B. Anheier, Fachhochschule Köln.

Anschrift des Verfassers: *Kurfürstenstr. 8, 54295 Trier*