



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
MÜNCHEN

STUDIENGANG RESTAURIERUNG, KUNSTTECHNOLOGIE UND KONSERVIERUNGSWISSENSCHAFT

Die Wanddekorationen der Grabbauten EN 4 und EN 6
der Nekropole vor der Porta Nocera in Pompeji:
Kombination von ausgewählten Mörtelanalysemethoden
und Vergleich der Mörtel Eigenschaften

Bachelor's Thesis

SS 2016

Edith Aichinger, Clara Friedl

Vorgelegt am: 07.09.2016

Prüfer: Prof. Erwin Emmerling

Dr. Ralf Kilian

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass die vorliegende Arbeit von mir selbstständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe angefertigt wurde und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Die den benutzten Werken wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen sind kenntlich gemacht.

München, den 07.09.2016

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass die vorliegende Arbeit von mir selbstständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe angefertigt wurde und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Die den benutzten Werken wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen sind kenntlich gemacht.

München, den 07.09.2016

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand als Abschlussarbeit des Bachelor-Studiengangs Restaurierung, Kunsttechnologie und Konservierungswissenschaft an der Technischen Universität München. Die Arbeit steht in Verbindung zu dem am Fraunhofer-Institut für Bauphysik angesiedelten Projekt »POMPEII SUSTAINABLE PRESERVATION PROJECT« und dem Kooperationsprojekt der Max-Planck- und Fraunhofergesellschaft »POMPEJI – ARCH&LAB«.

Für die freundliche Unterstützung und die Erlaubnis zur Probenentnahme danken wir dem Soprintendenten von Pompeji, PROF. DR. MASSIMO OSANNA, sowie DOTT.SSA. ANNALISA CAPURSO. Herrn PROF. ERWIN EMMERLING, unserem Prüfer, sei hiermit für die Vergabe dieser Bachelorarbeit und die persönliche Unterstützung im Rahmen der Vorarbeiten in Pompeji ein Dank ausgesprochen. Von den Mitarbeitern des Fraunhofer-Institut für Bauphysik Holzkirchen bedanken wir uns bei DR. RALF KILIAN für die Ermöglichung dieser Arbeit. Ferner DR. VOLKER THOME für die Nutzung des Betonlabors und der Gerätschaften sowie dessen Mitarbeitern, insbesondere ANNA-LENA HÖHN, für die freundlichen Hilfestellungen. Ein besonderer Dank sei hier DR. KATRIN WILHELM für die Betreuung der Arbeit ausgesprochen. DR. EBERHARD WENDLER und SUSANNE ROTHER vom Fachlabor – DR. WENDLER – für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege in München danken wir herzlich für Beratungen jeglicher Art und die offene Bereitstellung von Labor und Gerätschaften. Auch VLADIMIR RUTTNER vom Gesteins-Präparationslabor des Lehrstuhls für Ingenieurgeologie (TUM) sei für seine Hilfe und sein Fachwissen bei der Präparation der Proben ausdrücklichst gedankt.

Ein spezieller Dank gilt ANNIBALE D'AMANZO, der die benötigte Mobilität ermöglichte. Herzlichen Dank an MICHAEL für seine Ruhe und Geduld.

Ein persönliches Dankeschön geht auch an CLAUDIA, WOLFRAM und BIRGIT die stets ein offenes Ohr für mich hatten.

Die vorliegende Bachelor's Thesis ist eine Gemeinschaftsarbeit von Edith Aichinger und Clara Friedl. Die zu prüfenden Kapitel sind wie folgt aufgeteilt:

1 Einleitung (E. Aichinger, C. Friedl)

2 Grabbauten und Fragmente (schriftliche Ausführung E. Aichinger, praktische Ausführung vor Ort in Gemeinschaftsarbeit mit C. Friedl)

3 Methoden der Mörtelanalyse

3.1 Allgemeiner Überblick über Mörtelanalysemethoden (C. Friedl)

3.2 Die Auswahl der Mörtelanalysemethoden (C. Friedl)

3.3 Stratigrafie und Gefüge (E. Aichinger)

3.4 Chemisch-mineralogische / petrografische Zusammensetzung (E. Aichinger)

3.5 Physikalisch-mechanische Kennwerte (C. Friedl)

3.6 Komponentenverhältnisse

3.6.1 Digitale Bildanalyse (E. Aichinger)

3.6.2 Bestimmung des carbonatischen Anteils mittels Scheibler-Apparat (C. Friedl)

3.6.3 Selektive Trennungsgänge (C. Friedl)

4 Ergebnis und Auswertung:

4.1 Stratigrafie und Gefüge (E. Aichinger)

4.2 Chemisch-mineralogische / petrografische Zusammensetzung (E. Aichinger)

4.3 Physikalisch-mechanische Kennwerte (C. Friedl)

4.4 Komponentenverhältnisse

4.4.1 Komponentenverhältnisse mittels digitaler Bildanalyse (E. Aichinger)

4.4.2 Gesamtcarbonatgehalt mittels CO₂-Analyse nach Scheibler (C. Friedl)

4.4.3 Säureunlöslicher Rückstand (C. Friedl)

4.4.4 Sieblinie und Korngrößenverteilung über Siebverfahren und elektrodynamische Fragmentierung (C. Friedl)

5 Methodendiskussion (C. Friedl)

6 Vergleich der Mörtel Eigenschaften von Grabmonument EN 4 und EN 6 (E. Aichinger)

7 Schlusswort (E. Aichinger / C. Friedl)

Inhalt

1 Einleitung	8
2 Grabbauten und Fragmente	8
2.1 Die Grabmonumente EN 4 und EN 6	8
2.2 Auswahl der Putzfragmente	9
3 Methoden der Mörtelanalyse	10
3.1 Allgemeiner Überblick über Mörtelanalysemethoden	10
3.1.1 Klassifizierung	10
3.1.2 Untersuchung von Stratigrafie und Gefüge	11
3.1.3 Bestimmung der chemisch-mineralogischen / petrografischen Zusammensetzung	11
3.1.4 Ermittlung der physikalisch-mechanischen Kennwerte	12
3.1.5 Bestimmung der Komponentenverhältnisse	13
3.2 Die Auswahl der Mörtelanalysemethoden	15
3.3 Stratigrafie und Gefüge	19
3.3.1 Makroskopische Untersuchung anhand der Fragmente	19
3.3.2 Mikroskopie anhand von An- und Dünnschliffen	20
3.3.2.1 Stereomikroskopie anhand von Anschliffen	20
3.3.2.2 Auflichtmikroskopie anhand von Dünnschliffen	21
3.3.2.3 Durchlichtmikroskopie anhand von Dünnschliffen	21
3.3.2.4 Auswahl der Proben	22
3.3.2.5 Probenpräparation	22
3.4 Chemisch-mineralogische / petrografische Zusammensetzung	25
3.4.1 Polarisationsmikroskopie	25
3.4.2 Rasterelektronenmikroskopie und energiedispersive Röntgenspektroskopie an Bruchflächen	27
3.5 Physikalisch-mechanische Kennwerte	30
3.5.1 Wassertropfeneindringtest	30
3.5.2 Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten in Anlehnung an DIN EN 15801	31
3.5.3 Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten über die Karsten'sche Methode	34
3.5.4 Bohrwiderstandsmessung	36
3.5.5 Vakuum-Tauchverfahren nach DIN EN 1936:2006	37
3.6 Komponentenverhältnisse	40
3.6.1 Digitale Bildanalyse	41
3.6.1.1 Kurzbeschreibung und Ziel	41
3.6.1.2 Vorgehen bei der Untersuchung	41
3.6.1.3 Problematiken und Fehlerquellen der digitalen Bildanalyse	47
3.6.1.4 Auswertung und Berechnung	49
3.6.1.5 Auswahl der Proben	50
3.6.2 Bestimmung des carbonatischen Anteils mittels Scheibler-Apparat	51
3.6.3 Selektive Trennungsgänge	54
3.6.3.1 Nasschemischer Säureaufschluss	55

3.6.3.2 Elektrodynamische Fragmentierung	56
3.6.3.3 Siebverfahren	58
4 Ergebnis und Auswertung	62
4.1 Stratigrafie und Gefüge	62
4.1.1 Grabmonument EN 4	62
4.1.2 Grabmonument EN 6	64
4.2 Chemisch-mineralogische / petrografische Zusammensetzung	66
4.2.1 Charakterisierung der Zuschläge und Zusätze	66
4.2.1.1 Grabmonument EN 4	66
4.2.1.2 Grabmonument EN 6	68
4.2.2 Charakterisierung des Bindemittels	68
4.2.2.1 Grabmonument EN 4	68
4.2.2.2 Grabmonument EN 6	71
4.3 Physikalisch-mechanische Kennwerte	72
4.3.1 Wassertropfeneindringtests	72
4.3.2 Kapillare Wasseraufnahme und Wasseraufnahmekoeffizient in Anlehnung an DIN EN 15801 ..	73
4.3.3 Wasseraufnahme über die Karsten'sche Methode	74
4.3.4 Bohrwiderstand	75
4.3.5 Rohdichte und offene Porosität	76
4.3.6 Kurzzusammenfassung	78
4.4 Komponentenverhältnisse	79
4.4.1 Komponentenverhältnisse mittels digitaler Bildanalyse	70
4.4.1.1 Gesamtporosität, Bindemittel-Zuschlagverhältnis, Kalkgallen- und carbonatischer Zuschlagsanteil	79
4.4.1.2 Korngrößenverteilung	80
4.4.2 Gesamtcarbonatgehalt mittels CO ₂ -Analyse nach Scheibler	83
4.4.3 Säureunlöslicher Rückstand	84
4.4.4 Sieblinie und Korngrößenverteilung über Siebverfahren und elektrodynamische Fragmentierung	88
4.4.4.1 Unterputz	88
4.4.4.2 Oberputz	89
5 Methodendiskussion	90
5.1 Untersuchung zu Stratigrafie und Gefüge	90
5.2 Bestimmung der chemisch-mineralogischen / petrografischen Zusammensetzung	91
5.3 Ermittlung der physikalisch-mechanischen Kennwerte	91
5.4 Bestimmung der Komponentenverhältnisse	93
5.5 Zusammenfassung	95
6 Vergleich der Mörtel Eigenschaften von Grabmonument EN 4 und EN 6	96
6.1 Stratigrafie	96
6.2 Verarbeitungstechnik / Schichtauftrag	96

6.3 Werkstoffe der Putze	97
6.4 Komponentenverhältnisse	99
6.5 Physikalisch-mechanische Eigenschaften	101
6.6 Putzsystem	103
7 Schlusswort	104
8 Literatur	105
9 Abbildungsverzeichnis	112

Anhang

I Abbildungen

II Diagramme

III Analyselisten

IV Untersuchungsdatenblätter

1 Einleitung

Die Wanddekorationen der in den 1950er und 1960er Jahren freigelegten Grabbauten der Nekropole vor der Porta Nocera in Pompeji sind aufgrund von Witterungseinflüssen, früheren Restaurierungen, des Tourismus und mangender Pflege auf einen nur mehr fragmentarischen Bestand reduziert. Die wenigen verbliebenen Stuckierungen lassen deren einstige Gestalt und Ästhetik erahnen. Um diese letzten in situ erhaltenen Überreste des einst vollfächigen Dekors zu bewahren, wurden im Rahmen des PSPP im Herbst 2015 erste Notsicherungen und -konservierungen an den Putzen von sieben ausgewählten Grabbauten durchgeführt. Die in diesem Rahmen vom Erdboden geborgenen Putzfragmente boten den Anlass einer eingehenden Untersuchung der Mörtel Eigenschaften der Gräber im Hinblick einer gezielten Konzeption von Material und Technik für deren weitere konservatorische Behandlung. Für diese Arbeit wurden die Fragmente der Grabbauten EN 4 und EN 6 herangezogen mit dem Ziel des Vergleichs ihrer Mörtel Eigenschaften anhand des Einsatzes gezielt kombinierbarer Analysemethoden. Die Charakterisierung der Putzmörtel im Einzelnen sowie in deren Wechselbeziehung sollte eine Grundlage für das Verständnis des Funktionssprinzips der Putzsysteme schaffen.

2 Grabbauten und Fragmente

2.1 Die Grabmonumente EN 4 und EN 6

Die Grabmonumente EN 4 und EN 6 (Abb. 2, 3, 4) repräsentieren zwei der zahlreichen Gräber der Porta Nocera Nekropole, die sich vor den Stadtmauern von Pompeji gelegen entlang der antiken Verbindungsstraße nach Nuceria erstreckt (Abb. 1). Nach D'AMBROSIO / DE CARO auf die Augusteische Zeit zwischen 27 v. bis 14 n. Chr. datiert, entstammt das Grab EN 6 einer etwas älteren Periode als der Grabbau EN 4 der julisch-claudischen Ära von ca. 14 bis 54 n. Chr.¹ Die bis heute überbliebenen Strukturen der Gräber stellen vermutlich nur noch die Sockel einstiger Monumentarchitekturen dar, die aus Lava-Bruchsteinmauerwerk konstruiert und an den Ecken mit Ziegelmauerwerk verstärkt wurden. In die Fassaden der Bauten sind Gewölbenischen eingelassen, der obere Abschluss der Sockel wird durch Gesimse betont. Die wenigen Überreste der ehemaligen Wanddekorationen verweisen darauf, dass die Oberflächen der Mauerwerke einst vollflächig mit einer weißen Marmorquaderimitation stuckiert waren. Bei Grabbau EN 6 lassen die in situ erhaltenen Stuckfragmente der Fassade deren rein architektonische Gliederung durch Bossenfelder erahnen, die an den Fassadenkanten von Lisenen oder Pilastern flankiert wurden. Bei EN 4 sind hingegen auch ornamentale und figürliche Stuckelemente in den Rahmenfeldern neben der Inschriftentafel und an dem Gesims ablesbar. Die ohnehin nur fragmentarisch erhaltenen Stuckdekorationen der Grabbauten weisen diverse Schadensbilder auf, die den Bestand weiter gefährden. So prägen insbesondere großflächige Ablösungen der Putzschichten von Mauerwerk und Schichtentrennungen das heutige Bild der Stuckierung (Abb. 5). Diese führten zudem teilweise zur vollständigen Ablösung von Putzenfragmenten, die aus ihrem Wandkontext gerissen ungeschützt auf dem Erdbreich um die Grabbauten liegen. Des Weiteren ist insbesondere die Putzoberfläche des Grabes EN 4 von diversen Fehlstellen und Abschaluungserscheinungen

1 D'AMBROSIO / DE CARO 1983, EN 4, EN 6.

durchzogen (Abb. 6). Füllungen und alte Anböschungen aus einer Vielzahl unterschiedlicher Materialien stellen heute sowohl ein konservatorisches als auch ein ästhetisches Problem dar.

Um den letzten verbliebenen Eindruck der ursprünglichen Wandgestaltung der Grabbauten zu erhalten, wurden an diesen, neben fünf weiteren Gräbern², in der ersten Kampagne des Pompeii Sustainable Preservation Projects im Herbst 2015 eine Schadenserhebung sowie Notsicherungsmaßnahmen der Putze durchgeführt. Aufgrund der Schadensproblematiken und der begonnenen Bearbeitung der Grabbauten EN 4 und EN 6 im Rahmen des PSPP wurden diese für die Untersuchung ihrer Wanddekorationen hinsichtlich der Mörtel Eigenschaften ausgewählt. Da die Analysen nicht an in situ an der Wand entnommenen Proben durchgeführt werden sollten, sondern an den bereits vollständig abgelösten, am Boden befindlichen Fragmenten, war bezüglich der Auswahl der für die Untersuchungen herangezogenen Grabbauten zudem der Faktor einer repräsentativen Anzahl dieser Fragmente zur vergleichenden Analyse ausschlaggebend. Dies war nur bei den Gräbern EN 4 und EN 6 gegeben.

2.2 Auswahl der Putzfragmente

Die Auswahl der zu untersuchenden Putzfragmente wurde vom 23.05. bis 27.05.2016 in Pompeji durchgeführt.³ Dabei konnte auf die in der ersten Kampagne des PSPP geborgenen Putzfragmente zurückgegriffen werden, die zum Schutz vor Beschädigungen im Zuge der konservatorischen Arbeiten an den Grabbauten durch Touristen und Witterungseinflüsse aufgelesen und in Kisten eingelagert wurden (Abb. 7). Bei der Selektion der Fragmente aus dem Fundus von etwa 1000 Einzelstücken waren folgende Kriterien ausschlaggebend:

- Zuordenbarkeit zu einem Grabbau
- Ausreichende Größe für die Mörteluntersuchungen
- Guter Erhaltungszustand (geringe Beschädigung und Verwitterung)
- Vollständigkeit des Putzaufbaus (es wurden jedoch auch Fragmente mit unvollständigem Schichtenpaket gewählt, da auch diese für spezielle Analysemethoden von Interesse waren)
- Eignung für die Methoden der Mörtelanalyse
- Nichtvorhandensein eines Reliefs in der Stuckierung, welches eine Rückpositionierung des Fragmentes an der Wand ermöglichen könnte
- Nicht-Ermittelbarkeit zu der ursprünglichen Position im Wandkontext (Fragmente, deren ursprüngliche Position an der Wand im Rahmen des PSPP bereits ermittelt wurde, wurden aus der Wahl ausgeschlossen)

Die im Rahmen des PSPP getroffene Zuordnung der Putzfragmente zu einem Grabbau war aufgrund der Bergung der Fragmente auch in Zwischenräumen der Grabbauten (Abb. 8) teilweise nicht eindeutig. Daher wurde die Zuordnung im direkten Vergleich zwischen Putzfragment und am Grab in situ erhaltenem Putz hinsichtlich ihrer Mörtelcharakteristika überprüft und konkretisiert. Dabei wurden folgende Aspekte berücksichtigt:

- Schichtenanzahl, Schichtenart, Gesamtstärke und Stärken der einzelnen Putzschichten
- Farbigkeiten der Putzschichten
- Korngrößenverteilung, Sortierung, Kornformen und Farbigkeiten der Zuschläge der Putzschichten
- Bindemittel-Zuschlagverhältnis der einzelnen Putzschichten

2 Porta Nocera Nekropole: EN 10, EN 12, EN 14; Via Nucerina Nekropole: N_A, N_F.

3 Mit freundlicher Genehmigung der SOPRINTENDENZA SPECIALE PER I BENI ARCHEOLOGICI DI POMPEI, ERCOLANO E STABIA.

Bei der Untersuchung der Mörtelcharakteristika der Putzfragmente und der in situ erhaltenen Putze kamen die in Kapitel 3.3.1 genannten Vergleichsbilder und ein Meterstab zum Einsatz. Die Ergebnisse wurden in Datenblättern festgehalten. Des Weiteren wurden die zum Vergleich herangezogenen in situ erhaltenen Putze fotografisch dokumentiert (Abb. 9 – 17). Aufgrund der Notsicherungsmaßnahmen an Grabbau EN 6 im Rahmen des PSPP war es jedoch nur erschwert möglich, den Putzaufbau in situ zu dokumentieren. Zum Vergleich wurden daher Fotografien der Zustandsdokumentation herangezogen (Abb. 5).

Nach der konkreten Zuordnung der Putzfragmente zu einem Grabbau konnte anhand der genannten Auswahlkriterien eine Selektion von 39 Fragmenten von sechs Gräbern getroffen werden.⁴ Diese wurden vermessen⁵, fotografisch und schriftlich dokumentiert (Abb. 18 – 26), einer Probennummer⁶ zugeordnet und für den Transport nach München verpackt. Bei der Verpackung war der Schutz vor mechanischer Beschädigung ebenso relevant wie die eindeutige Zuordnung des Fragmentes zu seiner Probennummer, welche nicht direkt auf dem Putz angetragen werden sollte. Die hergestellten Tablettts aus Polystyrolplatten (Abb. 27 – 29), in welche die Formen der Fragmente eingeschnitten und die Probennummern entsprechend angetragen wurden, erwiesen sich – auch im Rahmen von Transporten für die Mörteluntersuchungen – hinsichtlich der genannten Kriterien als äußerst praktikabel.

3 Methoden der Mörtelanalyse

3.1 Allgemeiner Überblick über Mörtelanalysemethoden

3.1.1 Klassifizierung

Analysemethoden zur Charakterisierung von Mörteln lassen sich nach dem naturwissenschaftlichen Gebiet in chemische, physikalisch-mechanische, mineralogisch-petrographische Verfahren einteilen, nach Art des Resultats in quantitative und qualitative Untersuchungen und nach gewonnener Erkenntnis bzw. Analyseziel hinsichtlich der gefügetechnischen, chemisch-mineralogischen und physikalischen Eigenschaften der Mörtel (Tab. 1). Wegen Überschneidungen der Gebiete ist die Klassifizierung der Analysemethoden nicht absolut und oft wird die Einteilung nach Methoden und gewonnenen Erkenntnissen vermischt:⁷ GÖDICKE-DETTMERING unterteilt in mineralogische und chemische Untersuchungen sowie in technologische Verfahren, wobei die Einteilung nicht explizit zwischen Untersuchungsziel und Verfahren differenziert.⁸ Ähnlich klassifizieren WINNEFELD / KNÖFEL, welche chemische, physikalische und mikroskopische Methoden gruppieren.⁹ Während die physikalischen Methoden auf die Ermittlung der physikalisch-mechanischen Eigenschaften als Untersuchungsziel ausgerichtet

4 Aufgrund der dominanten Anzahl von 27 geeigneten Fragmenten der Grabbauten EN 4 und EN 6 wurden diese für die Mörteluntersuchungen herangezogen.

5 Die Wägung der Fragmente wurde erst in München vorgenommen. Diese wurde bei Ausgleichsfeuchte durchgeführt. Die Ergebnisse wurden in die Datenblätter der Fragmente aufgenommen.

6 Die Probennummern basieren auf der Nummerierung der Fragmentkisten aus der ersten Kampagne des PSPP. Dabei entspricht die erste Zahl der Probennummer der Kistennummer, aus der sie entnommen wurden.

7 Vgl. WINNEFELD / KNÖFEL 2000, S. 27; ESTÉVÃO CANDEIAS ET AL. 2006.

8 GÖDICKE-DETTMERING 1996, S. 8.

9 WINNEFELD / KNÖFEL 2000, S. 27.

sind, schließen die chemischen Methoden sowohl chemische Verfahren (nasschemische Trennungsgänge zur Ermittlung der Komponentenverhältnisse) als auch die Ermittlung der chemischen Zusammensetzung ein (über beispielsweise Röntgendiffraktometrie). Die Abspaltung der mikroskopischen Verfahren als eigenen Methodenbereich liegt insbesondere darin begründet, dass mittels Mikroskopie möglich ist, einen Mörtel hinsichtlich unterschiedlicher Eigenschaften (mineralogisch, physikalisch, gefügetechnisch, Komponentenverhältnisse) zu untersuchen,¹⁰ und die mikroskopischen Verfahren deshalb nicht einem zielorientierten Methodengebiet untergeordnet werden können. Der folgende Überblick über Mörtelanalysemethoden¹¹ richtet sich nach der Gliederung der vorliegenden Arbeit, in welcher die angewandten Analysemethoden nach Untersuchungszielen eingeteilt werden (Kap. 3.2).

3.1.2 Untersuchung von Stratigrafie und Gefüge

Makroskopische Untersuchung
Auf- und Durchlichtmikroskopie
Rasterelektronenmikroskopie

Schichtenaufbau und Gefüge eines Mörtels werden makroskopisch und mikroskopisch untersucht. Die makroskopische Begutachtung ist der erste Schritt einer Analyse, welcher vor Ort mit der Bestimmung von Mörtelfunktion und -aufbau sowie mit der Einschätzung von Schichtenabfolge und gefügetechnischen Merkmalen (Korngrößen, -formen, Kontakt zwischen Bindemittel und Zuschlag, Homogenität, Porosität etc.) beginnt. Die präzise Analyse von Stratigrafie und Gefüge erfolgt über die Untersuchung von An- und Dünnschliffen über Auflicht-, Durchlicht- und Rasterelektronenmikroskopie (morphologische und topografische Untersuchung).¹²

3.1.3 Bestimmung der chemisch-mineralogischen / petrografischen Zusammensetzung

Durchlicht- und Polarisationsmikroskopie
Röntgenbeugungsverfahren
Thermische Analyseverfahren
Spektroskopische Methoden
Nasschemische Trennungsgänge

Für die Bestimmung der chemischen und petrografischen Zusammensetzung eines Mörtels werden eine Vielzahl von Verfahren angewandt. Gängigste Methode ist die Durchlicht- und Polarisationsmikroskopie, welche die direkte, qualitative Mineralphasenbestimmung anhand von Dünnschliffen ermöglicht.¹³ Aus den Bereichen der

¹⁰ Einen umfassenden Überblick über die Möglichkeiten der mikroskopischen Verfahren geben SCHLÜTTER ET AL. 2001, S. 51; vgl. SIMON 2003, S. 178 und KRAUS 2011, S. 41.

¹¹ In der Mörtelanalytik werden eine Vielzahl von Verfahren aus den Bereichen der Chemie, Physik und den Geowissenschaften angewandt. Im folgenden Überblick wird eine Auswahl der gängigsten Methoden getroffen.

¹² SCHLÜTTER ET AL. 2001, S. 48 – 51; ESTÉVÃO CANDEIAS ET AL. 2006, p. 2.

¹³ SCHLÜTTER et al. 2001, S. 45.

Röntgenbeugungsverfahren, thermischen Analysen und spektroskopischen Methoden¹⁴ werden in erster Linie Röntgendiffraktometrie¹⁵ (XRD) zur Bestimmung kristalliner Mineralphasen (Zuschlagsphasen, C-S-H-Phasen), Röntgenfluoreszenzanalyse (XRF) und energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDX) zur Bestimmung der Elementzusammensetzung¹⁶ sowie Thermogravimetrie (TG) und Differenzthermoanalyse (DTA) vorwiegend zur Untersuchung des Bindemittelchemismus¹⁷ eingesetzt.¹⁸ Zur Analyse von organischen Verbindungen im Fall von Mörtelzusätzen dienen die Raman- und Infrarotspektroskopie.¹⁹ Ferner werden in der Salzanalytik überwiegend Atomabsorptionsspektrometrie (zur Kationenbestimmung) und Ionenchromatographie (zur Anionenbestimmung) angewandt.²⁰ Aus dem Bereich der Nasschemie sind in Verbindung mit Mörteltrennungsgängen basierend auf dem Säureaufschluss unterschiedliche Vorgehensweisen verbreitet, welche abhängig von der Komplexität des Trennungsganges qualitativ-quantitative Bestimmungen von Bindemittelphasen und löslichen Silikaten zulassen.²¹

3.1.4 Ermittlung der physikalisch-mechanischen Kennwerte

Mechanische Eigenschaften

Dichte und Porosität

Hygrische Eigenschaften

Für die Charakterisierung eines Festmörtels hinsichtlich seiner physikalisch-mechanischen Eigenschaften existiert eine Vielzahl in der Regel standardisierter Prüfverfahren.²² Dabei gibt es zur Bestimmung eines Kennwertes meist verschiedene Möglichkeiten. Die mechanischen Eigenschaften eines Mörtels werden bestimmt über Druck-, Biegezug- und (Haft)zugfestigkeits-Messungen sowie über die Bestimmung des Elastizitätsmoduls, des Bohrwiderstands und Frost-Tau-Widerstands.²³ Die hygrischen Eigenschaften²⁴ eines Mörtels sind unter anderem gekennzeichnet durch hygrische Längendehnung, Wasseraufnahme, Wasserdampfdiffusionswiderstand, Sorptionsverhalten²⁵ und die spezifische Oberfläche²⁶. Dichte und Porosität können anhand diverser

14 ESTÉVÃO CANDEIAS ET AL. weisen insbesondere auf die technischen Entwicklungen hin: Synchrotronstrahlung, Mikrostrahlanalyse (Mikro-XRD, -FTIR, -XAS, -XRF, Röntgenmikrotomografie) als räumlich hochauflösende Techniken. ESTÉVÃO CANDEIAS ET AL. 2006.

15 WINNEFELD / KNÖFEL 2000, S. 27.

16 SCHLÜTTER ET AL. 2001, S. 48, 49.

17 KRAUS 2011, S. 40; WINNEFELD / KNÖFEL 2000, S. 32.

18 Umfassende Beschreibungen über in den Geowissenschaften angewandte Untersuchungsmethoden finden sich bei AMTHAUER / PAVIČEVIĆ 2001.

19 RÖMPP online: *Infrarotspektroskopie* (2016); RÖMPP online: *Raman-Spektroskopie* (2016); WINNEFELD / KNÖFEL 2000, S. 30, 31.

20 RÖMPP online: *Ionenchromatographie* (2016); RÖMPP online: *Atomabsorptionsspektrometrie* (2016); ESTÉVÃO CANDEIAS ET AL. 2006, p. 2; WINNEFELD / KNÖFEL 2000, S. 27.

21 ESTÉVÃO CANDEIAS ET AL. 2006, p. 2; SIMON 2003, S. 180.

22 Folgendes ist eine Auswahl der geläufigsten mechanisch-physikalischen Eigenschaften und Prüfmethode. Die Beschreibung und Ausführung fast aller hier genannter Methoden findet sich bei BÖTTGER 1997.

23 WINNEFELD / KNÖFEL 2000, S. 27.

24 GÖDICKE-DETTMERING 1996, S. 23.

25 Anhand von Sorptionsisothermen werden die hygroscopischen Eigenschaften poröser Materialien gekennzeichnet. KNÖFEL / SCHUBERT 1989, S. 68.

26 Geläufige Verfahren sind die Bestimmungen der spezifischen Oberfläche nach Blaine oder BET.

Methoden ermittelt werden, je nach zur Verfügung stehender Probe und Art der zu bestimmenden Dichte und Porosität (Rohdichte, Reindichte, offene Porosität, Gesamtporosität).²⁷ Als meist verwendete Methoden seien hier die Quecksilberdruckporosimetrie zur Ermittlung der Porenradienverteilung²⁸ und Gaspyknometrie zur Bestimmung der offenen Porosität genannt. Da die meisten physikalisch-mechanischen Prüfmethode für die Reproduzier- und Vergleichbarkeit standardisierte Prüfkörper erfordern, sind sie bei historischen Mörteln selten anwendbar.²⁹ Gängigste Verfahren zur Charakterisierung historischer Mörtel sind Druckfestigkeits-, Porositäts- und Wasseraufnahmemessungen.³⁰

3.1.5 Bestimmung der Komponentenverhältnisse

Optische Untersuchungen / Abschätzung der Komponentenanteile

Digitale Bildanalyse

Trennungsgänge

Komponentenverhältnisse (Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis, Carbonatgehalt, Korngrößenverteilung) können direkt über digitale Bildanalyse³¹ anhand eingefärbter Dünnschliffe oder über eine Vielzahl indirekter Trennverfahren (nasschemisch und physikalisch-mechanisch) bestimmt werden. Art und Komplexität des Trennungsganges sind abhängig von der chemisch-mineralogischen Zusammensetzung des Mörtels.³² Die geläufigste und seit JEDRZEJEWSKA³³ (1960) vielfach modifizierte und spezialisierte Methode basiert auf der Auflösung des Mörtels mit Säure.³⁴ Einen komplexen Analysegang unter anderem mit Bestimmung des Bindemittel-Zuschlag-Verhältnisses, aufschließbaren SiO₂-Gehaltes³⁵ und carbonatischen Bindemittelanteils³⁶ in Kombination mit Siebanalyse zur Ermittlung der Sieblinie und Korngrößenverteilung formulierten WISSER / KNÖFEL.³⁷ Basierend auf WISSER / KNÖFEL stellt RILEM TC 167-COM einen erweiterten und mit anderen Methoden kombinierten Analysegang vor, welcher auf die Bestimmung des Gehaltes löslicher Oxide (Fe₂O₃, Al₂O₃, CaO, MgO, etc.) zur Präzisierung von Bindemittel- und Calciumsilikathydratphasen spezialisiert ist.³⁸ Alternative Methoden im Falle von säure-

27 Einen tabellarischen Überblick über die Methoden der Porositätsbestimmung mit deren Vor- und Nachteilen geben THOMSON ET AL. 2004, p. 97.

28 Vgl. WINNEFELD / KNÖFEL 2000, S. 27.

29 ESTÉVÃO CANDEIAS ET AL. 2006, p. 3.

30 GÖDICKE-DETTMERING formatiert historische Mörtel zu Prüfkörpern für die Rohdichtebestimmung, Wasseraufnahme und Druckfestigkeitsprüfung. GÖDICKE-DETTMERING 1996, S. 19; vgl. ESTÉVÃO CANDEIAS ET AL. 2006, p. 3.

31 KRAUS 2011, S. 41.

32 MIDDENDORF ET AL. 2005, p. 771 – 780.

33 JEDRZEJEWSKA 1960, p. 132 – 138.

34 ESTÉVÃO CANDEIAS ET AL. 2006, p. 2.

35 Über den Gehalt des HCl-löslichen SiO₂ sind Abschätzungen des puzzolanischen Anteils und der Hydraulizität möglich. WISSER / KNÖFEL 1987, S. 124.

36 Die verbreitetsten Methoden der gasometrischen CO₂-Analyse sind die Bestimmung mittels Scheibler-Apparat und "Carbonatbombe". Vgl. WISSER / KNÖFEL 1987, S. 124; BLÖCHL-WIRTS 2001, S. 21; GÖDICKE-DETTMERING 1996, S. 13.

37 WISSER / KNÖFEL 1987, S. 124 – 126. Der Analysegang ist weiterhin verbreitet und wird beispielsweise vorwiegend am Institut für Steinforschung e. V. (IFS) ausgeführt. KRAUS 2011, S. 40.

38 MIDDENDORF ET AL. 2005, p. 771 – 780; ähnliche Methoden bei: MIDDENDORF / KNÖFEL 1998, p. 189 – 196; MEHLMANN 1993, S. 45, 46; vgl. hierzu auch DIN EN 459-2:2010.

löslichen Zuschlägen (Carbonaten) sind unter anderem mechanisch-manuelle Auftrennungen in Kombination mit Wasser (bei hydraulischen oder gipshaltigen Bindemitteln) oder mit wässriger EDTA-Lösung (bei Luftkalk).³⁹ RILEM TC 167-COM empfiehlt bei mechanischen Auftrennungen zusätzlich die auszählende Auswertung der Komponenten in Dünn- und Anschliffen.⁴⁰ Eine weitere Methode bei säurelöslichen Zuschlägen ist die Trennung im Ultraschallbad.⁴¹

Analysemethode	Untersuchungsziel	qualitativ / quantitativ	»Methodenart«
Makroskopische Untersuchung	Stratigrafie, Gefüge	qualitativ, quantitativ	makroskopische Methoden
Durchlicht- und Polarisationsmikroskopie	mineralogisch-petrografische Zusammensetzung, physikalisch-mechanische Eigenschaften	qualitativ	mikroskopische Methoden
Auflichtmikroskopie	Stratigrafie, Gefüge, physikalisch-mechanische Eigenschaften		mikroskopische Methoden
Digitale Bildanalyse	physikalisch-mechanische Eigenschaften (Porosität), Komponenten-Verhältnisse	quantitativ	mikroskopische Methoden
Rasterelektronenmikroskopie (REM)	chemisch-mineralogische Zusammensetzung, physikalisch-mechanische Eigenschaften	qualitativ	mikroskopische Methoden
Energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDX)	chemische Zusammensetzung	qualitativ, semi-quantitativ	
Röntgendiffraktometrie (XRD)	mineralogisch-petrografische Zusammensetzung, Bestimmung der kristallinen Phasen	qualitativ, (quantitativ)	
Röntgenfluoreszenzspektroskopie (XRF)	Chemische Zusammensetzung	qualitativ, (quantitativ)	
Thermogravimetrie (TG) und Differenzthermoanalyse (DTA)	Chemische Zusammensetzung des Bindemittels	qualitativ, quantitativ	
Infrarotspektroskopie (IR)	Chemische Zusammensetzung (anorganisch / organisch)	qualitativ, quantitativ	
Raman-Spektroskopie	Chemische Zusammensetzung (anorganisch / organisch)	qualitativ, quantitativ	
Atomabsorptionsspektrometrie (AAS)	Chemische Zusammensetzung, Gehalt an wasserlöslichen Salzen, Kationenbestimmung	qualitativ, quantitativ	
Ionenchromatografie (IC)	Chemische Zusammensetzung, Gehalt an wasserlöslichen Salzen, (Anionenbestimmung)	qualitativ, quantitativ	
Spektralphotometrie	Chemische Zusammensetzung, Gehalt an wasserlöslichen Salzen	qualitativ, quantitativ	
Gaschromatografie	Chemische Zusammensetzung, Proteingehalt		

39 MIDDENDORF ET AL. 2005, p. 772.

40 Eine Evaluierung verschiedener Trennverfahren (Salzsäure, Salicylsäure, EDTA-Tetranatriumsalz, EDTA-Dinatriumsalz, mechanische Trennung, Ultraschallbad) von Kalkmörteln mit carbonatischen Zuschlägen im Vergleich zur digitalen Bildanalyse geben CASADIO ET AL. 2005, p. 671 – 689.

41 SIMON 2003, S. 182.

Nasschemischer Trennungsgang (HCl, EDTA, organische Säuren)	Komponentenverhältnisse, chemische Zusammensetzung, Zuschlagsmorphologie	quantitativ, qualitativ	chemische Methoden
Mechanisch-physikalischer Trennungsgang (händisch, elektrodynamische Fragmentierung, Ultraschall)	Komponentenverhältnisse, Zuschlagsmorphologie	quantitativ	mechanisch-physikalische Methoden
Siebverfahren	Komponentenverhältnisse: Korngrößenverteilung, Sieblinie	quantitativ	mechanisch-physikalische Methoden
Druckfestigkeitsmessung, Bohrwiderstandsmessung, Ultraschalllaufzeitmessung	physikalisch-mechanische Kennwerte: Bestimmung der Festigkeit, Bestimmung des dynamischen E-Moduls		mechanisch-physikalische Methoden
Wasseraufnahmemessungen, Sorptionsisotherme	physikalisch-mechanische Kennwerte: Bestimmung der hygrischen Kennwerte, Wasseraufnahmekoeffizient		mechanisch-physikalische Methoden
Vakuum-Tauchverfahren, Quecksilberdruck-Pososimetrie, Gaspyknometrie	physikalisch-mechanische Kennwerte: Bestimmung der Rohdichte, Reindichte, Porosität, Porenradienverteilung	(quantitativ)	mechanisch-physikalische Methoden
Stickstoffadsorption	physikalisch-mechanische Kennwerte: Bestimmung der spezifischen Oberfläche		

Tab. 1: Allgemeiner Überblick über Mörtelanalysemethoden (Auswahl).

3.2 Die Auswahl der Mörtelanalysemethoden

Die Analysemethoden wurden nach den jeweiligen Untersuchungszielen und in Hinblick auf eine ergebnisorientierte Methodenkombination ausgewählt (Tab. 2, 3). Zwei Fragestellungen als zentrale Anliegen dieser Arbeit waren hierfür entscheidend: erstens, welche Informationen für den Vergleich der Putzmörtel beider Grabbauten benötigt werden, und zweitens, welche Analysemethoden sich ergänzen oder hinsichtlich des gleichen Untersuchungsziels sinnvoll kombiniert werden können. Ein Vergleich der Putze der Grabbauten ist in optimierter Weise möglich, wenn möglichst viele Eigenschaften der Putzmörtel bekannt sind. Er ist umso präziser, je vielseitiger die gewonnenen Informationen über dessen Eigenschaften sind. Die Eigenschaften, welche einen Putzmörtel umfassend charakterisieren, lassen sich in vier Kategorien aufteilen:

- Gefüge und Stratigrafie
- Chemisch-mineralogische / petrografische Zusammensetzung
- Physikalisch-mechanische Kennwerte
- Komponentenverhältnisse

Diese Gruppen bilden die Untersuchungsziele dieser Arbeit und damit den Rahmen für die Auswahl der Analysemethoden aus Kap. 3.1. Angesichts der zweiten Fragestellung mit dem Ziel, die Vereinbarkeit der Methoden und die Korrelation der Ergebnisse beurteilen und diskutieren zu können, wurde die Auswahl⁴² wie folgt getroffen.

⁴² Ferner ist für die Auswahl und Anwendbarkeit bestimmter Methoden die zur Verfügung stehende Probenmenge und -größe ausschlaggebend. Überdies ist die Auswahl der Methoden unmöglich vor Beginn der Analysen absolut zu treffen. Sie ist ein Prozess, der von den Ergebnissen der laufenden Analysen und vorwiegend von den mikroskopischen Verfahren abhängig ist. Des Weiteren ist die Durchführbarkeit bestimmter Analysen beschränkt durch Methodenaufwand und den zur Verfügung stehenden Zeitrahmen (z. B. lange Trocknungszeiten).

Stratigrafie und Gefüge

Ergänzend zur makroskopischen Untersuchung, welche vor Ort in Zusammenhang des Vergleichs der Fragmente mit dem Putzbestand der Grabmonumente stattfand, wurden An- und Dünnschliffe ausgewählter Fragmente mittels Auflicht- und Durchlichtmikroskopie untersucht.

Chemisch-mineralogische / petrografische Zusammensetzung

Für die Ermittlung der mineralogisch-petrografischen Zusammensetzung wurde die durchlicht- und polarisationsmikroskopische Untersuchung von Dünnschliffen als Grundlage gewählt, da sie als direkte Methode die Bestimmung einzelner Zuschlags- und Bindemittelphasen erlaubt. Analyseziel war in erster Linie die qualitative und bildanalytisch quantitative Bestimmung von carbonatischen Zuschlagskörnern in den Unterputzschichten – eine Information, welche für die Wahl des geeigneten Trennungsganges und dessen Auswertung maßgeblich war.⁴³ Hinweise über die Art des verwendeten Bindemittels und die Anteile an Magnesium (Kalk, Dolomitmalk) sollte die Untersuchung mittels Rasterelektronenmikroskopie gekoppelt mit energiedispersiver Röntgenspektroskopie ergeben. Ergänzend zu den mikroskopischen Methoden wurden Röntgendiffraktogramme⁴⁴ zur Mineralphasenbestimmung erstellt.

Physikalisch-mechanische Kennwerte

Hinsichtlich der physikalisch-mechanischen Eigenschaften war das erstrangige Ziel, zu Informationen über die Festigkeit und Wasseraufnahme des mehrschichtigen Putzsystems zu gelangen. Standardisierte Druckfestigkeitsmessungen sowie die Ermittlung des dynamischen E-moduls durch beispielsweise Ultraschalllaufzeitmessungen kamen wegen des Schichtenaufbaus und der Probenformate nicht in Frage. Für die Ermittlung der Festigkeit wurde die Bohrwiderstandsmessung gewählt, da sie erstens die Bewertung der Festigkeit im Schichtenverbund ermöglicht, zweitens für den Fall eventueller Vergleichsmessungen in situ durchführbar und drittens verhältnismäßig zerstörungsarm ist. Das kapillare Saug- und Wasseraufnahmeverhalten wurde durch die Kombination aus Wassertropfeneindringtests und zwei Verfahren zur Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten ermittelt: die kapillare Wasseraufnahme entgegen der Schwerkraft in Anlehnung an DIN EN 15801 und unter Druckbedingungen anhand des Karsten'schen Prüfrohrs. Für Erkenntnisse über die Beziehungen Festigkeit / Dichte, Porosität / Wasseraufnahme wurden Rohdichte und offene Porosität mittels Vakuum-Tauchverfahren⁴⁵ bestimmt.⁴⁶ Als indirektes Verfahren ermöglicht es in einem Analysengang die Ermittlung beider

43 Für die Interpretation der Ergebnisse des nasschemischen Trennverfahrens mit Salzsäure müssen die Anteile an Carbonatphasen im Zuschlag sowie an »Kalkgallen« und kalkgallenähnlichen Bestandteilen im Bindemittel bekannt sein, da diese im Aufschluss vollständig in Lösung gehen. Vgl. KRAUS 2011, S. 41; vgl. SIMON 2003, S. 178.

44 Von jeweils einem Fragment des Grabes EN 4 und EN 6 wurden Röntgendiffraktogramme aller Putzschichten erstellt. Die Auswertung der Daten konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht stattfinden.

45 Ein alternatives Verfahren zur Bestimmung der offenen Porosität wäre die Quecksilberporosimetrie, deren Vorteil in der Aufstellung der Porengrößenverteilung liegt. Die Methode ist jedoch umstritten, da das Ergebnis bei Vorhandensein von Flaschenhalsporen in Richtung kleinere Porengrößen verfälscht wird. Vgl. BLÖCHL-WIRTS 2001, S. 24.

46 Verfahren zur Bestimmung der Porosität (u. a. Mikroskopische Verfahren, Digitale Bildanalyse, Stickstoffadsorption, Quecksilberporosimetrie, Gaspyknometrie, Vakuum-Tauchverfahren) werden beschrieben bei THOMSON ET AL. 2004, p. 77 – 106.

Kennwerte und ist mit unformatierten, unregelmäßig gebrochenen Proben durchführbar.⁴⁷ In Ergänzung zu den indirekten Messverfahren wurde das Putzgefüge hinsichtlich Dichte und Porosität an An- und Dünnschliffen mikroskopisch untersucht sowie der flächenbezogene Gesamtporenanteil mittels digitaler Bildanalyse gemessen.

Komponentenverhältnisse

Zur Ermittlung der Komponentenverhältnisse steht vordergründlich die Kombination aus digitaler bildanalytischer Messung und selektiven Trennungsgängen. Aufgrund der chemisch-petrographischen Zusammensetzung der Putzschichten war die Ergänzung beider Verfahren unerlässlich. Die Bestimmung des Gesamtcarbonatgehaltes aller Schichten erfolgte mittels volumetrischer CO₂-Analyse nach Scheibler, welche in Kombination mit der Ermittlung des säureunlöslichen Rückstands Rückschlüsse auf puzzolanische Reaktionprodukte ermöglichen kann.⁴⁸ Bindemittel-Zuschlags-Verhältnisse sowie Korngrößenverteilungen wurden bei allen Putzschichten durch digitale Bildanalyse bestimmt, welche bei carbonatischen Zuschlägen das bisher einzig ratensame und zweckdienlich anwendbare Verfahren ist.⁴⁹ Wegen des überwiegend nicht carbonatischen Zuschlags in den Unterputzschichten⁵⁰ wurde vergleichend als Trennverfahren der nasschemische Säureaufschluss (HCl) für die Abschätzung des Bindemittel-Zuschlag-Verhältnisses gewählt. Für die Interpretation des Ergebnisses war die Messung des prozentualen carbonatischen Zuschlagsanteils mittels Bildanalyse notwendig. Von dem säureunlöslichen Rückstand wurden vergleichend zu den bildanalytisch berechneten Werten Sieblinie und Korngrößenverteilung durch Siebverfahren bestimmt. Die Bestimmung von B/Z-Verhältnis und Korngrößenverteilung bei kalkgebundenen Mörteln mit carbonatischem Zuschlag (hier: Oberputz) durch Trennverfahren ist eine bisher nicht zufriedenstellend gelöste Herausforderung.⁵¹ Die Möglichkeiten der mechanischen Auftrennung mit und ohne Lösemittel sind begrenzt⁵² und ergeben meist nur in Verbindung mit Auszählverfahren verwertbare Ergebnisse. Für die Trennung des Oberputzes wurde das Verfahren der elektrodynamischen Fragmentierung gewählt, um Vergleichswerte zur Bildanalyse zu erhalten. Das Verfahren erzielte bei nachgestellten römischen Putzen gute, eine manuell-mechanische Trennung übertreffende Ergebnisse (Abb. 102 – 109).⁵³

47 GÖDICKE-DETTMERING formatiert für die Rohdichtebestimmung durch Ausmessen historische Mörtel zu Prüfkörpern und ermittelt die Reinichte und Gesamtporosität mittels Pyknometer nach DIN 52102. GÖDICKE-DETTMERING 1996, S. 19 – 21; die Formatierung der Proben sollte ausgeschlossen werden. Die Dichtebestimmung mittels Pyknometer ist an unformatierten Proben durchführbar, jedoch ist zur Bestimmung der Porosität die Kenntnis der Rohdichte notwendig, welche entweder über das Tauchverfahren oder über das Ausmessen von formatierten Proben gemessen wird. Im Falle von letzterem entspricht die ermittelte Porosität nicht der offenen Porosität, sondern der Gesamtporosität (zu den Begriffen s. Kap 3.5.5). DIN EN 1936:2006; alternatives Verfahren wäre die Bestimmung der offenen Porosität mittels Gaspyknometrie, THOMSON ET AL. 2004, p. 77 – 106.

48 Das Verfahren ähnelt der von JEDRZEJEWSKA beschriebenen Methode, JEDRZEJEWSKA 1960, p. 132 – 138.

49 CASADIO ET AL. 2005, p. 678.

50 Über die Anwendung des Verfahrens bei carbonatischen Zuschlagsanteilen gibt es zurecht skeptische Meinungen, ohne jedoch eine quantitative Grenze zu setzen. MEHLMANN fordert auf, vor dem Analysengang sicherzustellen, dass "es sich um einen weitgehend säurelöslichen Zuschlag handelt" (MEHLMANN: *Bestimmung von chemisch-mineralogischen Kennwerten sowie Untersuchungsmethoden*, S. 43); ähnlich äußert sich WENS mit der Aufforderung, die Zuschläge sollen "keine oder weitestgehend keine säurelöslichen Bestandteile enthalten". WENS: *Naturwissenschaftliche Untersuchungen an historischen Mörteln und Putzen (Analytik und Porosität)*, S. 45.

51 Vgl. hierzu CASADIO ET AL.: *Evaluation of binder/aggregate ratios in archaeological lime mortars with carbonate aggregate: a comparative assessment of chemical, mechanical and microscopic approaches*, p. 677, 678.

52 Aufgrund des gleichen Chemismus und der ähnlichen Härte von Bindemittel und Zuschlag kann die Trennung nur unter leichtem Druck erfolgen. Die Resultate sind Zuschlagskörner mit Restanhaftungen von Bindemittel sowie nicht aufgetrennte Bindemittel-Zuschlags-Agglomerate.

53 Die Putze wurden im Rahmen der Workshops "Experimentelle Archäologie – Zur Glättung antiker römischer Putze und Rekonstruktion" (Nov. 2010 und Okt 2011) hergestellt. Vgl. THIEMANN ET AL.: *Zur Glättung antiker römischer Putze und Rekonstruktion. Workshops zur Experimentellen Archäologie*, S. 201 – 224.

Untersuchungsziel	Methode	Einzelergebnisse
Gefüge und Stratigrafie	makroskopische Untersuchung Auflicht- und Durchlichtmikroskopie anhand von Anschliffen und Dünnschliffen	Kornformen, Korngrößen, Korngrößenverteilung, Sortierung, Bindemittel-Zuschlag-Kontakt, Porosität, Schichtstärken, Schichtenverlauf, Schichtenanbindung
chemisch-mineralogische / petrografische Zusammensetzung	Polarisationsmikroskopie REM-EDX Röntgendiffraktometrie	Phasenbestimmung von Bindemittel und Zuschlag
physikalisch-mechanische Kennwerte	Wassertropfeneindringtest Verfahren zur Ermittlung des Wasseraufnahmekoeffizienten Vakuum-Tauchverfahren Bohrwiderstandsmessungen	Wasseraufnahme und kapillares Saugverhalten Rohdichte offene Porosität Bohrhärte
Komponentenverhältnisse	Digitale Bildanalyse von Dünnschliffen Nasschemisches Trennverfahren Elektrodynamische Fragmentierung Sieblinienerstellung CO ₂ -Analyse	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis Gesamtcarbonatgehalt Säureunlöslicher Rückstand Korngrößenverteilung Gesamtporosität

Tab. 2: Methodenauswahl, gegliedert nach Untersuchungsziel und Einzelergebnissen.

Ergebnis Untersuchungsziel	Methodenkombination
Phasenbestimmung	Durchlicht- und Polarisationsmikroskopie REM-EDX Röntgendiffraktometrie
Kornformen	Makroskopische Untersuchung Auflicht- und Durchlichtmikroskopie Sieblinienerstellung
Porosität (Porenformen, offene Porosität, Gesamtporosität)	Makroskopische Untersuchung Vakuum-Tauchverfahren Durchlichtmikroskopie REM Digitale Bildanalyse
Wasseraufnahme	Wassertropfeneindringtests Wasseraufnahme nach Karsten Wasseraufnahme nach DIN EN 15801:2009
Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis des Oberputzes	Makroskopische Untersuchung Digitale Bildanalyse Elektrodynamische Fragmentierung und Siebverfahren
Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis des Unterputzes	Makroskopische Untersuchung Digitale Bildanalyse Nasschemisches Trennverfahren CO ₂ -Analyse
Korngrößenverteilung	Digitale Bildanalyse Siebverfahren

Tab. 3: Kombination der Methodenauswahl. Im Vordergrund steht die Kombination aus direkten, mikroskopischen Methoden und indirekten Messverfahren.

3.3 Stratigrafie und Gefüge

Ziel der Untersuchung der Putze hinsichtlich der Stratigrafie war die Klärung des Putzaufbaus bezüglich der Stärke des gesamten Putzpaketes, der Anzahl, Stärke und Art der Einzelschichten, deren Anbindung untereinander, der Schichtenverlauf sowie deren Differenzierbarkeit und Charakterisierung anhand von Farbigkeiten und Gefügemerkmalen. Hinsichtlich der gefügespezifischen Eigenschaften sollte die Untersuchung zu einer Einschätzung der Mörtelkomponentenverhältnisse (Bindemittel, Zuschlag, sichtbare Poren) und der Sortierung sowie der Kornformen und -farben führen. Hinsichtlich der Porosität waren des Weiteren deren Form, Position und Verteilung zu ermitteln. Weitere Gefügemerkmale und Schäden wie Risse und biogener Bewuchs sollten erfasst werden.

Zur Ermittlung der genannten Informationen wurden makroskopische als auch mikroskopische Methoden angewandt, da sich diese hinsichtlich ihrer Untersuchungsmöglichkeiten ergänzen. Die makroskopische Untersuchung wurde an den Putzfragmenten durchgeführt. Zur mikroskopischen Untersuchung wurden An- und Dünnschliffe dieser Fragmente angefertigt. Die Ergebnisse der makroskopischen, als auch der mikroskopischen Untersuchung, wurden pro Fragment in dem gleichen Datenblatt festgehalten, um mögliche Differenzen sichtbar zu machen (Anhang III). Als Grundlage wurde das von RIEDL⁵⁴ entwickelte Datenblatt zur Mörteluntersuchung herangezogen.⁵⁵

3.3.1 Makroskopische Untersuchung anhand der Fragmente

Beschreibung und Ziele der Untersuchung

Die makroskopische Untersuchung der Putzfragmente bildet nach BLÄUER »die Brücke zwischen den Beobachtungen am Bau und den weiteren Laboruntersuchungen«.⁵⁶ Hierbei können Informationen gewonnen werden, die bei der Interpretation weiterer Untersuchungen von Bedeutung sind. So wurde an den Fragmenten, neben den Informationen zum Schichtenaufbau, insbesondere die Vollständigkeit des Schichtpaketes über das Relief der Unterseite überprüft – dies war insbesondere hinsichtlich der Entnahme von Teilproben für die An- und Dünnschliffuntersuchung von Relevanz. Anhand der Fragmente wurde zudem der Grad der Verwitterung, der biogene Bewuchs und Schadensphänomene der Oberfläche ermittelt, um diese in die Auswertung anderer Untersuchungen mit einbeziehen zu können. Des Weiteren wurden die Proben hinsichtlich der Gefügecharakteristika ausgewertet. Dies war jedoch anhand der Fragmente weit weniger detailliert möglich, als an An- oder Dünnschliffpräparaten.⁵⁷

Vorgehen bei der Untersuchung

Die makroskopische Untersuchung der Putzfragmente wurde nach Augenschein und mit Zuhilfenahme einer Lupe (10x) durchgeführt. Für Messungen der Schichtstärken wurde ein handelsübliches Lineal verwendet. Zur

54 RIEDL 2007, Katalogteil, Dünnschliffdatenblätter D1–D29.

55 Dieses erwies sich als geeignet, da es alle zu untersuchenden Aspekte umfasst und eine klare Gliederung aufweist.

56 BLÄUER 2016, S. 33.

57 Aufgrund der verwitterten Fragmentkanten waren insbesondere die gefügespezifischen Merkmale nur bedingt repräsentativ für die Mörtel.

optischen Abschätzung der Komponentenverhältnisse von Bindemittel und Zuschlag, der Korngrößenverteilung, der Sortierung und der Kornformen wurden Vergleichsbilder herangezogen. Dabei kamen zur Abschätzung des Bindemittel-Zuschlagsverhältnisses das Vergleichskärtchen von GEOBERG⁵⁸ (Abb. 30), zur Abschätzung der Korngrößenverteilung sowie der Sortierung die Vergleichsbilder von TUCKER⁵⁹ (Abb. 31, 32) und zur Beurteilung der Kornformen die Vergleichsbilder von KRUMBEIN und SLOSS⁶⁰ (Abb. 33) zum Einsatz.

Auswahl der Proben

Für die Untersuchung wurden die Fragmente 3_1, 3_6, 8_3 und 8_4 des Grabbaus EN 4 und die Fragmente 3_7, 7_3, 9_2, 9_5 und 18_8 des Grabbaus EN 6 herangezogen, da diese (bis auf 18_8) ein vollständiges Putzpaket erahnen ließen. Zusätzlich wurden die Fragmente 12_3 und 12_5 untersucht. Diese waren im Rahmen der Fragmentauswahl in Pompeji nicht eindeutig einem Grabbau zuordenbar. Ihre Zugehörigkeit sollte mittels einer detaillierteren Betrachtung überprüft werden.

3.3.2 Mikroskopie anhand von An- und Dünnschliffen

Anschliffe und Dünnschliffe stellen einen Querschnitt durch das Putzpaket dar. Aufgrund ihrer beruhigten, polierten oder abgedeckten Oberfläche sind Strukturen und Farbigkeiten deutlicher zu erkennen, als am Fragment. Anschliffe eignen sich aufgrund ihrer Opazität nur für mikroskopische Auflichtuntersuchung, wobei an ihnen die Stratigrafie der Probe besonders gut ablesbar ist. Dünnschliffe können mikroskopisch sowohl im Auflicht, als auch im Durchlicht ausgewertet werden und eignen sich insbesondere zur Untersuchung feiner Strukturen.

3.3.2.1 Stereomikroskopie anhand von Anschliffen

Kurzbeschreibung und Ziel

Die Stereomikroskopie ermöglicht Untersuchungen bei einer 5–50fachen Vergrößerung, wobei durch den für beide Augen getrennten Strahlengang ein räumlicher Bildeindruck entsteht. Mittels des Stereomikroskops können insbesondere Stratigrafien und Makrostrukturen gut erkannt werden. Hauptziel der Auswertung der Anschliffe war daher die Klärung der Stratigrafie sowie der Gefügecharakteristika. Am Anschliff können die Porosität, sowie Risserscheinungen detaillierter betrachtet werden als am Fragment. So sind hierbei auch Aussagen über die Poren- oder Rissform, deren Größe, Position, Verteilung und Orientierung möglich. Des Weiteren ermöglicht die Anschliffuntersuchung eine exaktere Bestimmung der Farbigkeiten von Bindemittel und Zuschlag.

Vorgehen bei der Untersuchung

Zur Untersuchung der Anschliffe kam das Stereomikroskop Stemi 2000 C der Firma ZEISS vom Lehrstuhl für Restaurierung zum Einsatz. Dieses erlaubt ein räumliches Sehen bei 6,5facher bis 50facher Vergrößerung. Für Messungen wurde ein handelsübliches Lineal und ein Objektträgermikrometer verwendet. Zur Einschätzung des Bindemittel-Zuschlagverhältnisses, des Porenanteils sowie der Korngrößenverteilung, Sortierung und der

58 Quelle: www.geoberg.de/2009/03/18/hilfreiches-kaertchen-fuer-gelaendearbeiten/ (Juli 2012).

59 TUCKER 1996.

60 Vergleichsbilder nach KRUMBEIN UND SLOSS, 1963, aus: KOENSLER 1989, Abb. 15, S. 46.

Kornformen wurden die identischen Vergleichsbilder wie bei der markoskopischen Untersuchung der Fragmente herangezogen (Kap. 3.3.1). Zusätzlich kamen zur Schätzung des Porenanteils die Vergleichsbilder von BACELLE und BOSELLINI⁶¹ (Abb. 34) zum Einsatz.

3.3.2.2 Auflichtmikroskopie anhand von Dünnschliffen

Kurzbeschreibung und Ziel

Bei der Auflichtmikroskopie wird das Präparat in dem von diesem zurückgeworfenem Licht untersucht.⁶² Dabei unterscheidet man zwischen der Betrachtung in reflektiertem (Hellfeld) und gestreutem Licht (Dunkelfeld). Im Hellfeld tritt der Oberflächenglanz der Materialien in Erscheinung. Es zeigte sich, dass im Hellfeld auch Partikel, die unter einer hauchdünnen Schicht des Bindemittels liegen, erkannt werden können. Dies war bei der Betrachtung des Zuschlages im Oberputz von Relevanz (Abb. 130, 131). Eine Untersuchung im Auflicht-Dunkelfeld ermöglicht eine gute Beurteilung feinsten Details und Farbigkeiten von opaken Materialien. Daher sollten unter dieser Strahlungsbedingung Differenzen der Farbigkeiten in der Bindemittelmatrix der Putze ermittelt werden. Eine spezielle Methode der Dunkelfeldtechnik ist die Mikroskopie unter UV-Bestrahlung, wobei das unterschiedliche Fluoreszenzvermögen der Materialien zu deren Differenzierung genutzt werden kann. In der Restaurierung wird die UV-Untersuchung unter anderem zur Ermittlung von früheren Konservierungsmaßnahmen genutzt. Da am Oberputz des Grabbaus EN 4 der Verdacht einer Oberflächenbehandlung mit einem Konservierungsmittel bestand, wurden die Oberputze beider Grabbauten mit dieser Methode untersucht mit dem Ziel, mögliche Unterschiede in der UV-Fluoreszenz zu erfassen.

Vorgehen bei der Untersuchung

Zur mikroskopischen Untersuchung der Dünnschiffe im Auflicht kam das Mikroskop Leica DMLM des Lehrstuhls für Restaurierung zum Einsatz. Dies ermöglicht Untersuchungen bei 50 bis 1000facher Vergrößerung im Auflicht, Hell- und Dunkelfeld sowie unter UV-Bestrahlung.

3.3.2.3 Durchlichtmikroskopie anhand von Dünnschliffen

Kurzbeschreibung und Ziel

Bei der Durchlichtmikroskopie wird ein Dünnschliff im transmittierten, linear polarisierten Licht untersucht. Dabei können Eigenfarbe, Lichtbrechung und morphologische Kennzeichen der Präparatbestandteile betrachtet werden.⁶³ Ziel der Durchlichtmikroskopie war die Erfassung der gefügespezifischen Merkmale der Putze, möglicher Gefügeschäden, der Morphologie des Bindemittels und die Beurteilung des Bindemittel-Zuschlagkontaktes. Des Weiteren sollten die Putzschichten auf die Präsenz von Sinterhäuten untersucht werden. Anhand dieser ist es in Kombination mit den gefügespezifischen Merkmalen möglich, Rückschlüsse auf die Auftragstechnik der Mörtel zu ziehen.

61 Vergleichsbilder nach BACELLE und BOSELLINI 1965, aus: FLÜGEL 1978, Abb. 26b, c, f, g, S. 156, 157, 160, 162.

62 JONES 1997, S. 66.

63 RAIH / RAASE / REINHARDT 2011, S. 125.

Vorgehen bei der Untersuchung

Zur mikroskopischen Untersuchung der Dünnschliffe im Durchlicht kam das Polarisationsmikroskop Leica DMLP des Lehrstuhls für Restaurierung zum Einsatz. Dies ermöglicht Untersuchungen im Durchlicht bei 25-, 100-, 200-, 400- und 630facher Vergrößerung.

3.3.2.4 Auswahl der Proben

Aufgrund der Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurden für die mikroskopische Auswertung der Putze sowohl Anschliffe als auch Dünnschliffe der Fragmente hergestellt, welche bereits zur makroskopischen Untersuchung herangezogen wurden (Kapitel 3.3.1).

3.3.2.5 Probenpräparation

Die An- und Dünnschliffpräparation wurde im Gesteins-Präparationslabor am Lehrstuhl für Ingenieurgeologie der Technischen Universität in München durchgeführt (Abb. 35 – 44).⁶⁴ Es wurden zwei Chargen⁶⁵ an An- und Dünnschliffen angefertigt: uneingefärbte Präparate⁶⁶ der Fragmente 3_1, 8_4 des Grabbaus EN 4 und 3_7, 7_3, 9_5, 18_8 des Grabbaus EN 6 sowie der nicht eindeutig zuordenbaren Fragmente 12_3 und 12_5; blaugefärbte⁶⁷ der Fragmente 3_1, 3_6, 8_3, 8_4 des Grabbaus EN 4 und 3_7, 7_3, 9_2, 9_5 des Grabbaus EN 6.⁶⁸

Eine Anfärbung mit blauem Farbstoff, wie sie SCHLÜTTER ET AL.⁶⁹ empfehlen, hat den Vorteil, dass Poren und Risse besser beurteilt und von der Umgebung differenziert werden können. Daher waren die eingefärbten Präparate insbesondere für die bildanalytische Untersuchung (Kap. 3.6.1.2) zweckmäßig. Im Zuge der Blaufärbung nimmt jedoch das Bindemittel aufgrund der in diesem eingeschlossenen, teilweise mitgefärbten Poren einen entsprechenden Farbstich an und behindert die Beurteilung der tatsächlichen Farbigkeiten.⁷⁰ Zur Ermittlung der Bindemittelfarbe wurden daher die unangefärbten Präparate herangezogen. Um die Möglichkeit einer späteren REM-EDX Analyse an den Dünnschliffpräparaten zu gewährleisten, wurden diese poliert und nicht abgedeckt.⁷¹ Das Präparatformat wurde überwiegend auf 4,8 x 4,8 cm festgelegt. Mit dieser Größe konnten alle Putzschichten aufgenommen werden. Zudem gewährleistete es eine möglichst hohe untersuchbare Kornanzahl bei der digitalen Bildanalyse. Die Anschliffe entstanden als ein Nebenprodukt der Dünnschliffpräparation.

64 Mit freundlicher Unterstützung von Herrn VLADIMIR RUTTNER und Herrn RUDOLF SCHWINHAMMER. Ihnen sei gedankt.

65 Die beiden Chargen wurden zeitlich versetzt hergestellt. Zu Beginn wurden nur die unangefärbten Präparate angefertigt. Anhand der erkannten Problematiken bei ihrer Präparation wurde versucht, bei der zweiten Charge entsprechende Verbesserungen vorzunehmen.

66 Probennummer der unangefärbten Präparate von EN 4: Anschliff A 3_1_1, A 8_4_1, Dünnschliff D 3_1_1, D 8_4_1; Probennummer der unangefärbten Präparate von EN 6: Anschliff A 3_7_1, A 7_3_1, A 9_5_1, A 18_1_1, Dünnschliff D 3_7_1, D 7_3_1, D 9_5_1, D 18_1_1; Probennummer der unangefärbten Präparate der nicht zuordenbaren Fragmente: Anschliff A 12_3_1, A 12_5_1, Dünnschliff D 12_3_1, D 12_5_1.

67 Probennummer der blaugefärbten Präparate von EN 4: Anschliff A 3_1_2, A 3_6_1, A 8_3_1, A 8_4_2, Dünnschliff D 3_1_2, D 3_6_1, D 8_3_1, D 8_4_2; Probennummer der blaugefärbten Präparate von EN 6: Anschliff A 3_7_2, A 7_3_2, A 9_5_2, A 9_2_1, Dünnschliff D 3_7_2, D 7_3_2, D 9_5_2, D 9_2_1.

68 Die Fragmente 12_3, 12_5 und 18_8 wurden für die angefärbte Charge und für die Untersuchungen ausgemustert, da sich diese teilweise auch nach mikroskopischer Betrachtung nicht eindeutig einem Grabbau zuordnen ließen oder nicht das gesamte Putzpaket aufweisen.

69 SCHLÜTTER / JULING / HILBERT 2000, S. 2.

70 BLÄUER 2016, S. 42.

71 Nach einer Empfehlung von SCHLÜTTER ET AL. (SCHLÜTTER / JULING / HILBERT 2000, S. 3).

Präparationstechnik

Zur größtmöglichen Ausbeute an Information wurden die Fragmente bei der Probenentnahme jeweils an der Seite beschnitten, die die größte Schichtdicke aufwies. Geschnitten wurde nass, daher erfolgte im Anschluß eine zweitägige Trocknung in der Vakuumkammer. Zur Imprägnierung der Proben wurde das niedrigviskose, hochtransparente Epoxidharz-System GP 20⁷² von GÖSSL & PFAFF eingesetzt. Für die eingefärbten Präparate wurde diesem der Farbstoff Bluedye von LOGITECH zugesetzt. Zur Einbettung wurden die Anschnitte in angepasste Aluförmchen gesetzt, auf deren Boden das Harz-Härter Gemisch (1:3) eingebracht wurde. Nach dem Einzug des Materials in den Putz wurde dieser Vorgang wiederholt und die Proben in einer Vakuumdruckkammer evakuiert. Diese wurde bei sichtbarer Luftblasenbildung mehrmals entlüftet, um die Imprägnation des porösen Probenmaterials zu optimieren. Nach einer Aushärtungszeit des Epoxidharzes von 24 Stunden wurden die Proben formatiert und auf rotierenden Schleifscheiben mit einer Siliziumkarbid-Wasser-Suspension der Körnungsstufen 80, 150, 220, 400 und 800 geschliffen.⁷³ Die eingefärbten Präparate wurden nur bis zur Körnung 220 behandelt. Aufgrund des Zutagetretens einer hohen Anzahl an noch nicht gefüllten Poren wurden diese weitere zwei- bis teilweise dreimal mit gefärbtem Epoxidharz im Vakuum Imprägniert und jeweils 24 Stunden lang zum Aushärten auf der Heizplatte gelagert. Im Anschluß wurden auch diese bis zur Körnung 800 geschliffen. Nach einer weiteren Trocknungsphase auf der Heizplatte wurden die Präparatklötzchen mit Epoxidharz auf einseitig angeschliffene Objektträger geklebt. Für die uneingefärbten Proben kam hierfür erneut das Epoxidharzsystem GP 20, für die eingefärbten das Epoxidharzsystem Härter / Harz „wasserklar“ von POXYSYSTEMS⁷⁴ zum Einsatz. Letzteres war ein Versuch der Reduktion der Luftblasenbildung während des Aufklebens durch eine Kaltklebetechnik. Die Aushärtezeit des Harzes von POXYSYSTEMS betrug 48 Stunden.

Die Präparate wurden anschließend mit einer Säge auf ca. 800 µm Dicke geschnitten. Dabei wurde der Rest als Anschliff abgetrennt – diese wurden mit den Körnungen 220, 400, 800, 1000, 1200 geschliffen und anschließend mit MIKROMASH bis zur Körnung 12000 poliert. Die angefärbten Dünnschliffpräparate wurden mit einer Diamantfräse⁷⁵ auf 100 µm Stärke reduziert. Bei den Uneingefärbten wurde dieser Schritt mittels händischem Schleifen durchgeführt.⁷⁶ Es folgte eine weitere Reduktion der Präparatdicke durch Schleifen auf Glasplatten mit einer Siliziumkarbid-Suspension der Körnungen 400, 800, 1000, 1200. Dabei wurde die aktuelle Stärke mikroskopisch über die Interferenzfarbe des Quarzes zwischen gekreuzten Polarisatoren ermittelt. Die Endpolitur wurde nach einer Reinigung im Ultraschallbad von einer Poliermaschine ausgeführt. Als Poliermittel kam Ceroxid- alpha weiß der Firma HOMBERG+BRUSIUS E. K. zum Einsatz. Die fertiggestellten Dünnschliffpräparate weisen eine Dicke von ca. 25–30 µm auf. Alle Präparate wurden abschließend mit der entsprechenden Probennummer versehen.

Beobachtungen und Problematiken der Präparation

Bereits bei Schnitt zeigten sich erste Probleme bei der Präparation, die sich aus der Materialbeschaffenheit ergaben. So kam es vereinzelt zu Brüchen innerhalb der Putze und zur Ablösung von ganzen Putzschichten. So

72 GP 20 A Harz: Dichte 1,12 g/ccm, Viskosität bei 25° C 150 m/Pas; GP 20 B Härter: Dichte 0,95 g/ccm, Viskosität bei 25° C 50–100 m/Pas; Brechungsindex des Gemisches: 1,553.

73 Nach jedem Körnungsschritt wurde die Probe im Ultraschallbad gereinigt.

74 Harz "wasserklar": Dichte bei 23° C 1,14 g/cm³, Viskosität bei 23° C 950 m/Pas; Härter "wasserklar": Dichte bei 23° C 0,95 g/cm³, Viskosität bei 23° C 15 m/Pas; Brechungsindex des Gemisches: 1,553.

75 Die Fräsung wurde vom geologischen Präparator Herr NAMVAR JAHANMEHR der Fakultät für Geowissenschaften der Ludwig-Maximilians-Universität in München ausgeführt. Ihm sei gedankt.

76 Aufgrund der zeitlich versetzten Anfertigung der angefärbten und unangefärbten Präparate war das Fräsen bei Herr NAMVAR JAHANMEHR nur bei den angefärbten möglich.

trennte sich beim Schnitt der Probe 7_3_2 der gesamte Oberputz ab – dies weist auf eine schlechte Adhäsion zum Unterputz hin. Bei Fragment 9_2 kam es zum Bruch innerhalb einer Unterputzschicht (Abb. 48). Diese besaß offenbar eine schlechte Kohäsion. Beim Schnitt für die Probe 8_4_1 zerbrach der Unterputz fast vollständig. Der daraus hergestellte An- und Dünnschliff stellt nur noch eine Rekonstruktion (Abb. 45, 46) dar und eignet sich nicht mehr zur Beurteilung der Stratigrafie. Die Brüche beim Schnitt hätten durch eine vorangehende Imprägnation der Fragmente mit Epoxidharz in der Vakuumkammer verhindert werden können. Aufgrund der Veränderungen des Materials während des Evakuierens, wären die Fragmente anschließend jedoch für bestimmte Untersuchungen nicht mehr brauchbar gewesen.

Neben Brüchen und Ablösungen von Putzlagen, kam es beim Schneiden der Fragmente zu Ausbrüchen in den Putzen durch große Zuschlagskörner. Die Anschnitte wiesen infolgedessen oft große Löcher auf und mussten nach dem Impägnieren mit einer 80'ger Körnung weit herunter geschliffen werden. Es war jedoch nicht möglich, alle diese Ausbrüche im vollem Umfang zu entfernen,⁷⁷ da der tiefe Abtrag des imprägnierten Materials und die großen Partikel des Schleifmittels weitere Probleme nach sich zogen. So führte das grobe Schleifmittel zu Ausrissen im feineren Oberputz. Des Weiteren konnten bereits nach kurzer Schleifdauer wieder verstärkt ungefüllte Porenräume und Luftblasen festgestellt werden, da das Epoxidharz nicht tief genug eingedrungen war. Daher musste erneut imprägniert werden. Eine einmalige Imprägnation erwies sich bei dem porösen Material generell als nicht ausreichend, da selbst große Porenräume nicht gefüllt wurden. Trotz mehrmaliger Imprägnation in der Vakuumkammer war es nicht möglich, vollständig luftblasenfreie Präparate herzustellen.⁷⁸

Auch das große Format der Dünnschliffe zog Probleme nach sich und erschwerte insbesondere die Herstellung von Präparaten einer gleichmäßigen Stärke mit einwandfreien Politur – die Poliermaschine war nicht auf derart große Dünnschliffe ausgelegt und lief aufgrund der zu geringen Kraft nicht rund.

In einigen Dünnschliffen wurde bei der mikroskopischen Untersuchung Schleifmittel im Epoxidharz festgestellt. Die Ursache liegt aller Wahrscheinlichkeit nach in einer zu kurzen Aushärtungszeit des Imprägniermittels.

Während der Präparation zeigte sich bei der blau-eingefärbten Charge ein interessantes Phänomen: die Proben des Grabbaus EN 4 nahmen im letzten Millimeter des Oberputzes mehr oder weniger schlecht das Epoxidharz an. Dies äußerte sich in einer weiß-verbliebenen Linie an der Putzoberfläche. Besonders deutlich tritt dies bei den Proben 3_1_2 und 8_4_2 (Abb. 47) in Erscheinung. Dies könnte ein Hinweis auf die Behandlung der Oberfläche mit einem Konservierungsmittel sein – eine Vermutung die aufgrund der Oberflächenschäden des Oberputzes am Grabbau EN 4 bereits während der ersten Kampagne des Pompeji Sustainable Preservation Project aufkam.

Die Erfahrungen während der Dünnschliffherstellung zeigten, dass für derart komplexe Materialien ein großes Zeigkontigent für die Präparation eingeplant werden muss. Insgesamt umfasste die Fertigung aller Präparate etwa drei Wochen. Die Anwesenheit und Mitarbeit des Analytikers bei der Präparation ist von zweifacher Bedeutung. Einerseits wird verhindert, dass Artefakte der Präparation wie beispielsweise Ausbrüche in den Putzen falsch interpretiert werden. Andererseits können auch während der An- und Dünnschliffherstellung wichtige Hinweise über die Materialeigenschaften (z. B. Kohäsion, Adhäsion der Putze) gewonnen werden.

77 Diese Bereiche müssen bei der bildanalytischen Porositätsmessung ausgeklammert werden.

78 Auch dieser Umstand ist bei der Bildanalyse zu beachten.

3.4 Chemisch-mineralogische / petrografische Zusammensetzung

Ziel der Untersuchung zur chemisch-mineralogisch / petrografischen Zusammensetzung war die Bestimmung und Charakterisierung der unterschiedlichen Phasen in den Putzen anhand ihrer Chemie und Morphologie. Die Analyse sollte die Annahme, dass es sich um Kalkmörtel handelt, bestätigen und eine Differenzierung zwischen Weiß- und Dolomitkalk ermöglichen, da aufgrund der Geologie der Region um Pompeji beide Gesteinsarten als Rohstoff in Frage kommen (Abb. 49). Angesichts des hohen natürlichen Vorkommens an Puzzolanen des Landstriches waren die Putze auch bezüglich der Anzeichen für hydraulische Reaktionen auszuwerten. Eine Untersuchung der Bindemittelmorphologie und dessen Gefüge sowie möglicher bindemittelähnlicher Aggregate wie beispielsweise Kalkgallen sollte Rückschlüsse auf die verwendete Bindemittelform (Sumpfkalk, trocken gelöschter Kalk) ermöglichen. Des Weiteren war zu klären, ob es im Zuge der Alterung und Verwitterung zu Umwandlungsprozessen im Mörtelgefüge kam. Die in den Mörteln eingesetzten Zuschläge sollten hinsichtlich ihrer mineralogisch-petrografischen Zusammensetzung charakterisiert werden. Die Untersuchung sollte zudem klären, ob dem Mörtel organisches Material wie beispielsweise Stroh oder Kohle zugesetzt wurde.

3.4.1 Polarisationsmikroskopie

Kurzbeschreibung und Ziel

Bei der Polarisationsmikroskopie wird das materialspezifische, optische Verhalten von Substanzen für deren Identifizierung genutzt.⁷⁹ Dabei wird das Präparat im transmittierten, linear polarisierten Licht oder zwischen gekreuzten Polarisatoren untersucht. Im linear polarisierten Licht können Eigenfarbe, Lichtbrechung und morphologische Kennzeichen der Präparatbestandteile analysiert werden. Zwischen gekreuzten Polarisatoren werden isotrope und anisotrope Substanzen differenzierbar. Isotrope Materialien (amorphe Phasen, kubische Minerale) weisen in alle Raumrichtungen die gleichen optischen Eigenschaften auf, daher erscheinen sie zwischen gekreuzten Polarisatoren ausgelöscht. Bei anisotropen Materialien ist die Lichtausbreitung richtungsabhängig. Das eintretende Licht wird in zwei senkrecht zueinander stehende Wellen unterschiedlicher Geschwindigkeit aufgespalten. Die Differenz der Geschwindigkeiten und die Dicke der Substanz bestimmen deren Doppelbrechung, die über die charakteristischen Interferenzfarben visuell wahrnehmbar wird. Durchstrahlt man das Präparat mit einem konvergenten Strahlenbündel (konoskopischer Strahlengang) entsteht ein Interferenzbild, das unter Vergrößerung mit der Amici-Bertrand-Linse betrachtet werden kann. Über die Gestalt dieses Interferenzbildes kann auf die Anzahl der optischen Achsen des Materials geschlossen werden. Der zusätzliche Einsatz der Lamda-Platte ermöglicht des Weiteren die Beurteilung des optischen Charakters.⁸⁰ Über die spezifischen Eigenschaften der anisotropen Materialien wie Doppelbrechung, Auslöschungsverhalten, Anzahl der optischen Achsen und optischer Charakter können diese identifiziert werden.⁸¹

Ziel der polarisationsmikroskopischen Untersuchung war die Bestimmung und Charakterisierung der unterschiedlichen Phasen in den Putzen anhand ihrer Morphologie und ihres optischen Verhaltens – insbesondere sollte die Annahme, dass es sich um einen Kalkmörtel mit vulkanischen Sanden als Zuschlag handelt, durch die Analyse gestützt werden.

79 RAITH / RAASE / REINHARDT 2011, S. 13; SCHLÜTTER / JULING / HILBERT 2000, S. 3.

80 RAITH / RAASE / REINHARDT 2011, S. 110, 121.

81 RAITH / RAASE / REINHARDT 2011, S. 62, 64, 87, 125.

Vorgehen bei der Untersuchung

Zur mikroskopischen Untersuchung der Dünnschliffe im Durchlicht kam das Mikroskop Leica DMLP des Lehrstuhls für Restaurierung zum Einsatz. Dies ermöglicht Untersuchungen im Durchlicht bei linear polarisiertem Licht, zwischen gekreuzten Polarisatoren sowie im konoskopischen Strahlengang bei 25-, 100-, 200-, 400- und 630facher Vergrößerung. Die Dünnschliffe wurden nach den von PECCHIONI ET AL. zur Mörtelcharakterisierung vorgeschlagenen Aspekten ausgewertet: nach der Art des Bindemittels, dessen Textur, Struktur, Farbigkeit (IIPol, xPol) und Interaktion mit dem Zuschlag als Hinweis auf hydraulische Reaktionen. Nach der Präsenz von Kalkgallen und diesen ähnlichen Partikeln sowie nach der Art der Hauptphasen des Zuschlags, der Präsenz und Art von sichtbaren, organischen Zusätzen und hinsichtlich möglicher Hinweise auf Umwandlungsprodukte wie beispielweise Rekristallisationen.⁸² Die Bestimmung der Zuschläge erfolgte mit Zuhilfenahme von Mineral- und Gesteinsbestimmungsbüchern an Dünnschliffen.⁸³ Aufgrund der Vermutung, dass es sich bei den Zuschlägen überwiegend um vulkanische Gesteinsfragmente handelt, wurden zu deren Charakterisierung nach einer Empfehlung von SHELLEY⁸⁴ ein Gesteinsbestimmungsbuch für Geländearbeiten⁸⁵ hinzugezogen und die Sande zusätzlich am Auflichtmikroskop anhand ihrer Gefüge und Farbigkeiten untersucht.⁸⁶ Die Ergebnisse der Untersuchung wurden in dem Datenblatt eingetragen, das bereits für die Untersuchung zu Stratigrafie und Gefüge genutzt wurde. Die sich teilweise überschneidenden und / oder ergänzenden Fakten der beiden Untersuchungen können auf diese Weise gut kombiniert werden.

Auswahl der Proben

Für die Untersuchung wurden die Dünnschliffpräparate⁸⁷ der Fragmente gewählt, die bereits für die makroskopische Betrachtung und für die Untersuchung zu Stratigrafie und Gefüge herangezogen wurden (Kapitel 3.3.1). Der Grund hierfür liegt in der erwünschten Kombinierbarkeit der Resultate. Die Präparate der Fragmente 12_3, 12_5 und 18_1 wurden auch hier aus der Untersuchung ausgeklammert, da diese teilweise auch nach weiterer Untersuchung nicht eindeutig einem Grabbau zuordenbar waren oder nicht das gesamte Putzpaket aufwiesen.

82 PECCHIONI / FRATINTI / CANTISANI 2014, S. 19.

83 ADAMS / MACKENZIE / GUILFORD 1986; YARDLEY / MACKENZIE / GUILFORD 1992; MACKENZIE / DONALDSON / GUILFORD 1989; MACKENZIE / GUILFORD 1981; PICHLER / SCHMITT-RIEGRAF 1993.

84 Nach SHELLEY ist eine genaue Bestimmung von Vulkaniten mit mikroskopischen Methoden meist problematisch und eigentlich nur durch chemischen Analysen durchführbar. Für eine grobe Charakterisierung empfiehlt er daher eine Bestimmung anhand geländespezifischer Merkmale. (SHELLEY 1993, p. 39, 41).

durch rein mikroskopische Methoden in der Regel nicht durchführbar. Hierfür sind chemische Analysen notwendig. Aufgrund dessen empfiehlt er zu groben Charakterisierung

85 VINX 2015.

86 SHELLEY 1993, p. 39, 41.

87 Dünnschliffpräparate Grabmonument EN 4: 3_1_1, 3_1_2, 3_6_1, 8_3_1, 8_4_1, 8_4_2; Dünnschliffpräparate Grabmonument EN 6: 3_7_1, 3_7_2, 7_3_1, 7_3_2, 9_5_1, 9_5_2, 9_2_1.

3.4.2 Rasterelektronenmikroskopie und energidispersive Röntgenspektroskopie an Bruchflächen⁸⁸

Kurzbeschreibung und Ziel

Die Rasterelektronenmikroskopie ist primär eine bildgebende Methode, die jedoch je nach Detektor auch für qualitative und semiquantitative Analysen geeignet ist.⁸⁹ Im REM wird mittels eines fokussierten Primärelektronenstrahls die Oberfläche einer Probe zeilenweise abgetastet. Dabei wird in Abhängigkeit von der Probenbeschaffenheit und der Beschleunigungsspannung⁹⁰ die Emission von Sekundärelektronen, charakteristischen und kontinuierlichen Röntgenstrahlen, Wärme und Licht angeregt.⁹¹ Der Primärelektronenstrahl tritt dabei selbst nach mehrfacher Reflexion in der Probe wieder aus dieser aus.⁹² Die unterschiedlichen, erzeugten Signale werden von spezialisierten Detektoren erfasst, in eine Spannung umgewandelt und zu einem Bild zusammengefügt. Gängig sind Rückstreuelektronen- (BSE), Sekundärelektronen- (SE) sowie energiedispersive Detektoren (EDX).⁹³ Der BSE Detektor erfasst die von der Probe zurückgestreuten, hochenergetischen Primärelektronen. Da die Anzahl der zurückgestreuten Elektronen von der durchschnittlichen Ordnungszahl der Atome des kleinsten erfassten Probenbereiches abhängt,⁹⁴ bilden die BSE-Bilder einen Materialkontrast ab. Dabei besitzen schwere Elemente einen höheren Ablenkwinkel, wodurch mehr Elektronen zurückgestreut werden, was zu einer helleren Darstellung im Bild führt. Über die Rückstrahlelektronenabbildung kann somit eine Differenzierung der Phasen in der Probe vorgenommen werden.⁹⁵ Der SE- Detektor erfasst hingegen die niedrigerenergetischen (ca. 5 eV) Sekundärelektronen, die durch die Anregung aus den Schalen der Probenatome herausgeschlagen werden.⁹⁶ Die Sekundärelektronenabbildung erreicht höhere Auflösungen als die Rückstrahlelektronenabbildung und erzeugt plastische Bilder anhand deren Mikrostrukturen der Probe detailliert untersucht werden können.⁹⁷ Zur Erfassung der von der Probe emittierten, elementspezifischen Röntgenstrahlung kommt ein energiedispersiver Detektor (EDX) im REM zum Einsatz. Dieser erzeugt anhand der eintretenden Signale ein Spektrum des Elementbestandes des untersuchten Probenbereiches.⁹⁸

Ziel der Untersuchung der Putzbruchflächen mittels der bildgebenden Methoden (BSE, SE) war die Erfassung der Bindemittelmorphologie, welche für Mörtel mit unterschiedlichen hydraulischen Anteilen charakteristische Strukturen (Phasen) aufweist.⁹⁹ In Kombination mit der EDX-Analyse sollte die qualitative und semiquantitative chemische Zusammensetzung der Bindemittelphasen ermittelt werden. Anhand des Calcium-, Silizium- und Aluminium-Gehalts in der Matrix können Hinweise auf hydraulische Phasen gewonnen werden, die in Kombina-

88 Aufgrund der kleinen Probenkammer von nur 32 mm Durchmesser des für die Untersuchung zu Verfügung stehenden Rasterelektronenmikroskops (Phenom ProX) war es nicht möglich die 48 x 48 mm großen Dünnschliffe der Putze zu untersuchen.

89 SCHLÜTTER / JULING / HILBERT 2000, S. 4.

90 Je höher die Beschleunigungsspannung, desto stärker ist die Wechselwirkung der Primärelektronen mit den Elektronen der Probenatome. (WINGENDER 2002, S. 19).

91 KRINSLEY ET AL. 1998, p. 4; SCHLÜTTER / JULING / HILBERT 2000, S. 4.

92 JONES 1997, S. 134.

93 SCHLÜTTER / JULING / HILBERT 2000, S. 4.

94 JONES 1997, S. 134.

95 SCHLÜTTER / JULING / HILBERT 2000, S. 4.

96 JONES 1997, S. 134.

97 JONES 1997, S. 135; KRINSLEY ET AL. 1998, p. 5; SCHLÜTTER / JULING / HILBERT 2000, S. 4.

98 SCHLÜTTER / JULING / HILBERT 2000, S. 4.

99 SCHLÜTTER / JULING / HILBERT 2000, S. 8–12.

tion der Ergebnisse der Röntgendiffraktometrie hinsichtlich der chemischen Verbindungen der C-S-H-Phasen auswertbar sind. Die EDX-Analyse an Kalkgallen sollte anhand des Magnesiumanteils im Bindemittel eine Differenzierung zwischen Weiß- und Dolomitkalk ermöglichen.^{100/101} Anhand der energiedispersiven Röntgenspektroskopie an Kalkgallen können nach WANG zudem Aussagen über die Reinheit des Ausgangsmaterials getroffen werden, da diese zwar das Bindemittel repräsentieren, jedoch nicht in eventuelle hydraulische Reaktionen durch puzzolanische Zusätze einbezogen wurden.¹⁰²

Vorgehen und Problematiken bei der Untersuchung

Zur Untersuchung der Putzbruchflächen stand das Desktop Rasterelektronenmikroskop Phenom ProX der Firma LOT-QUANTUMDESIGN GMBH des Instituts für Bauphysik der Fraunhofer-Gesellschaft zur Verfügung.¹⁰³ Dieses ist mit einem Rückstreuelektronendetektor (BSD), sowie mit einer integrierten EDX Mikroanalytik ausgestattet. Ein Sekundärelektronendetektor ist in diesem Gerät nicht verbaut, daher konnten bei der Untersuchung feine Strukturen nicht aufgelöst werden. Der Rückstrahlelektronen-Dektector des Gerätes erlaubt 80- bis 130000fache Vergrößerungen bei einer Auflösung von 14 nm und lässt sowohl Materialkontrast- als auch Topographiedarstellungen zu, wobei letztere von dem Gerät errechnet werden und daher qualitativ nicht mit Sekundärelektronenabbildungen vergleichbar sind. Das Vakuum in der Probenkammer beträgt nur etwa 0,1 mbar. Dieser niedrige Druck hat den Vorteil, dass die Aufladung wenig oder nicht leitender Proben wie Mörtel reduziert wird. Die Beschleunigungsspannung ist zwischen 5 bis 15 kV variabel, wobei mit 5 kV vor allem bei Proben geringer Dichte eine bessere Bildqualität erreicht werden kann. Für die EDX-Analyse wird hingegen für eine höhere Wechselwirkung der Elektronen mit den Probenatomen eine Beschleunigung von 15 kV empfohlen. Der EDX-Detektor des Gerätes ist laut Hersteller in der Lage, die Elemente ab der Ordnungszahl 5 (Bor)¹⁰⁴ zu detektieren und zu quantifizieren, wenn diese mit mindestens 0,1 Gewichtsprozent in der Probe enthalten sind. Für die Auswertung der EDX-Analysen steht die Software „Element Identification« zur Verfügung.¹⁰⁵

Die Untersuchung der Bindemittelmorphologie wurde anhand der Rückstreuelektronenabbildung durchgeführt. Jedoch war es mit der verwendeten Technik nicht möglich, die Strukturen der Bindemittelmatrix derart weit aufzulösen, wie es für die Erfassung unterschiedlicher Phasen – wie es SCHLÜTTER ET AL. vorstellen¹⁰⁶ – notwendig gewesen wäre. In der entsprechenden Vergrößerung war das Bild entweder derart verschwommen, dass keine Informationen mehr daraus ablesbar waren¹⁰⁷, oder die Aufladung der Probe war trotz zweimaligem Besputtern (s. Probenpräparation) noch so hoch, dass das Bild sich extrem stark bewegte. Aufgrund dieser Problematik, war es bei der Element-Analyse nicht möglich, gezielte Messpunkte zu setzen, was die Auswertung der Ergebnisse deutlich erschwerte, da der Ursprung der gemessenen Elemente nicht genau nachvollzogen werden kann. Dennoch wurden in der Bindemittelmatrix der Putze in vom Zuschlag entfernten Bereichen an mindestens drei Messpunkten EDX-Analysen vorgenommen, um den Calcium-, Silizium-, Aluminium- und Magnesiumgehalt zu

100 RIEDL 2007, S. 74.

101 Nach DIN EN 459 ist ein Baukalk ab einem Massenprozentanteil von ≥ 5 Ma.-% MgO als Dolomitkalk klassifiziert, nach WISSER ab ≥ 10 Ma.-%. (WENDEHORST 2004, S. 321; WISSER 1988, S. 43).

102 WANG 1995, S. 74.

103 Die Arbeit an dem Rasterelektronenmikroskop wurde von Frau ANNA LENA HOEHN vom Fraunhofer IBP begleitet. Ihr sei gedankt.

104 Allerdings zeigte sich bei den EDX-Messungen, dass selbst Kohlenstoff mit der Ordnungszahl 6 – trotz garantiertem Gehalt in der Probe über 0,1 Gewichtsprozent – meist nicht detektierbar war.

105 Quelle: http://www.phenom-world.com/downloads/specification_sheets/Product-SpecSheet_PROX_LR.pdf (August 2016).

106 SCHLÜTTER / JULING / HILBERT 2000, S. 8–12.

107 Dies könnte an der niedrigeren Beschleunigungsspannung des hier verwendeten Gerätes gelegen haben.

ermitteln. Wichen die Ergebnisse der Messpunkte stark von einander ab, wurden weitere Messpunkte an einer entfernten Position hinzugefügt. Um Hinweise auf die Bindemittelart und die ursprüngliche Reinheit des Bindemittels zu erhalten, wurden zudem vergleichende Element-Analysen des Bindemittels, der Putzmatrix und der Kalkgallen vorgenommen. Auch hierbei wurden mindestens drei Messpunkte gesetzt.

Auswahl der Proben

Für die Untersuchung wurden Bruchflächen der einzelnen Putzschichten von je zwei Fragmenten pro Grabbau entnommen.¹⁰⁸ Von Grabmonument EN 4 wurden die Putze der Fragmente 3_1 und 8_4, von Grabmonument EN 6 die Putze der Fragmente 7_3 und 3_7 hinsichtlich der Fragestellungen analysiert.¹⁰⁹ Diese Fragmente sind auch in die Methoden der klassischen Mikroskopie eingebunden – dies ermöglicht eine Kombination der Untersuchungsergebnisse. Die Wahl der Fragmente 3_1 und 7_3 basiert zudem auf deren paralleler röntgen-diffraktometrischen Untersuchung, die unter anderem zur Auswertung mit der REM-EDX Analyse herangezogen werden sollte.

Probenpräparation

Von jedem Fragment wurden pro Putzschicht mittels Absprennen mit dem Skalpell eine Bruchfläche entnommen. Von den Unterputzen wurde zudem – falls nicht bereits in der ersten Probe enthalten – am Stereomikroskop eine Kalkgalle isoliert. Aufgrund der Porosität der Proben wurden diese mit einer leitenden Grafitpaste auf Stiftprobentellern aus Aluminium eingebettet.¹¹⁰ Dies erwies sich jedoch bezüglich der stets zu hohen Aufladung der Bruchflächen als nicht ausreichend für die REM-Untersuchung. Folglich wurden die Proben nach über 5-minütiger Vor-Evakuierungszeit¹¹¹ bei 2 mbar für 45 s mit einer hauchdünnen Schicht Gold¹¹² leitfähig besputtert.¹¹³ Die Nachteile des Verlustes von Details der BSE-Abbildung und möglichen Überlagerungen im Elementspektrum, auf die SCHLÜTTER ET AL.¹¹⁴ hinweisen, musste dabei in Kauf genommen werden.

Auswertung

Die Ergebnisse der REM-EDX-Analyse konnten im Rahmen dieser Arbeit nicht mehr ausgewertet werden.¹¹⁵ Insbesondere die Evaluation der Elementanalyse hinsichtlich eventueller C-S-H-Phasen ist aufgrund der nicht möglichen spezifischen Messpunktsetzung und dem Fehlen der Kombination mit den Resultaten der XRD-Ana-

108 Ziel der Untersuchung war ursprünglich, die Bruchflächen der Putze von drei Fragmenten pro Grabbau und den Dünnschliff von je einem Fragment pro Grabbau rasterelektronenmikroskopisch auszuwerten. Dies war aus zeitlichen Gründen jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht zu realisieren.

109 Probennummern EN 4: 3_1_3_1, 3_1_3_2, 3_1_3_3, 8_4_3_1, 8_4_3_2, 8_4_3_3. Probennummer EN 6: 3_7_3_1, 3_7_3_2, 3_7_3_3, 3_7_3_4, 7_3_3_1, 7_3_3_2, 7_3_3_2_KG, 7_3_3_3, 7_3_3_3_KG, 7_3_3_3_O, 7_3_3_4.

110 Aufgrund der hohen Porosität, insbesondere der Unterputze, waren die Bruchflächen extrem empfindlich gegenüber auch leichter mechanischer Einwirkungen. Daher kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich das Makrogefüge (beispielsweise Risse) beim Einbetten verändert hat. Dies war bei der Interpretation der BSD-Aufnahmen zu berücksichtigen.

111 Nach etwa fünf Minuten Evakuierung stieg der Druck sprunghaft an. Nach einem Hinweis von Fr. HOEHN zeigt dies an, dass die Probe kein Wasser mehr enthält.

112 Eine Kohlenstoffbedampfung, wie sie SCHLÜTTER ET AL. (SCHLÜTTER / JULING / HILBERT 2000, S. 3) empfehlen, wurde in dem Labor an den zu untersuchenden Proben nicht durchgeführt.

113 Verwendetes Gerät: Quorum SC7620 Mini Sputter.

114 SCHLÜTTER / JULING / HILBERT 2000, S. 3.

115 Alle Messergebnisse der REM-EDX-Analyse stehen jedoch für eine Auswertung im Rahmen einer zukünftigen XDR-Untersuchung zur Verfügung.

lysen nicht sinnvoll durchzuführen. Die angedachte röntgendiffraktometrische Untersuchung der Putze, welche die notwendigen Angaben über die chemischen Verbindungen zur Verfügung gestellt hätte, konnte im Zeitrahmen dieser Arbeit nicht realisiert werden. Die gleiche Problematik ergibt sich für die Auswertung der Elementanalyse hinsichtlich der Bindemittelart. Eine pauschale Differenzierung zwischen Weiß- und Dolomitkalk, wie sie gelegentlich vorgenommen wird, erschien jedoch auch nicht sinnvoll – hierbei wird ein Bindemittel nur als Weißkalk klassifiziert, wenn es 0 % Magnesium enthält.¹¹⁶

3.5 Physikalisch-mechanische Prüfmethode

3.5.1 Wassertropfeneindringtest

Kurzbeschreibung

Der Wassertropfeneindringtest dient zur Abschätzung des kapillaren Saugverhaltens und wird insbesondere zur Beurteilung von Oberflächenhydrophobie durchgeführt. Bei dem Test wird die Eindringzeit eines Tropfens entionisierten Wassers definierten Volumens (10 µl, 50 µl)¹¹⁷ gemessen und der Randwinkel des Tropfens sowie dessen Spreitung nach dem Aufbringen auf die Oberfläche abgeschätzt (Abb. in Anhang III).¹¹⁸ Für die Vergleichbarkeit innerhalb einer Testreihe wird das Volumen des Wassertropfens konstant gehalten.¹¹⁹ Der Tropfen ist eingedrungen, wenn die Oberfläche mattfeucht erscheint, das heißt, keine Lichtreflexion sichtbar ist. Lange Eindringzeiten ab etwa dem zweistelligen Minutenbereich mit hohen Randwinkeln von 90 ° bis 120 ° signalisieren hydrophobe Oberflächen, während kurze Eindringzeiten im Sekundenbereich mit niedrigen Randwinkeln von 0 ° und 30 ° auf die hohe kapillare Saugfähigkeit des Mörtels und damit schätzungsweise auf seinen hohen Wasseraufnahmekoeffizienten schließen lassen. Die Beziehung zwischen Randwinkel und Wassertropfeneindringkoeffizient in Abhängigkeit von der Zeit wird grafisch mit Hilfe eines Streudiagramms, die Werte der Messpaare mittels Säulendiagrammen dargestellt (Abb. 196 – 202). Die Testdurchführung und grafische Auswertung geschahen im Fachlabor – DR. WENDLER – für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege.

Probenauswahl und Vorgehensweise

Die Wassertropfeneindringtests wurden an insgesamt 13 Proben beider Grabbauten durchgeführt (Anhang IV). Neben der Beurteilung der Benetzung dienten die Tests zur gezielten Auswahl der Proben für die Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten. Die 13 Proben waren Teil der Proben-Vorauswahl, welche auf der Eignung für die weiteren Analysemethoden basierte, nach Kriterien wie der Größe des Fragments, der Grad der Verwitterung, der Stärke einzelner Schichten. Ausschlaggebend war zudem die Beschaffenheit der Oberfläche. Beispielsweise wurde Probe 3_7 ausgeschlossen wegen starker Verunreinigung der Oberputzoberfläche. Die

116 Vgl. RIEDL 2007, Katalogteil, Naturwissenschaftliche Analysen, Bindemittelanalysen N57 - N101.

117 Unterschiedliches Tropfenvolumen in Abhängigkeit vom Saugverhalten.

118 Vgl. BLÖCHL-WIRTS 2001, S. 76.

119 Die Testreihe wurde mit dem Tropfenvolumen von 10 µl durchgeführt. Nur testweise wurden 50 µl appliziert.

Wassertropfeneindringung in den Oberputz wurde an jeweils sechs Proben beider Grabmonumente getestet (EN 6: 7_3, 8_2, 9_2, 9_5, 18_8, 18_9; EN 4: 3_1, 3_6, 4_1, 8_3, 8_4, 9_6). Vergleichend wurden Wassertropfeneindringtests an den Unterputzschichten zweier Proben des Grabes EN 6 (9_5, 18_6) und einer Probe des Grabes EN 4 (8_4) durchgeführt. Wegen zu schnellen Eindringens des Tropfens in die Unterputzschichten und zu hoher Fehlerwahrscheinlichkeit beim Ablesen der Eindringzeit wurden lediglich drei Proben getestet. Die Wassertropfeneindringtests wurden in der Regel je Fragment an drei bis fünf Stellen durchgeführt. Ausnahmen bilden die Proben 18_9, 3_1 und 3_6 wegen eindeutiger Ergebnisse, der Bestätigung einer Tendenz oder Ergebnisähnlichkeit zu einer anderen Probe.

3.5.2 Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten in Anlehnung an DIN EN 15801

Die Ermittlung des Wasseraufnahmekoeffizienten über die kapillare Wasseraufnahme entgegen der Schwerkraft wurde in Anlehnung an DIN EN 1925, DIN EN 15801 und DIN EN ISO 15148¹²⁰ durchgeführt. Da die Mörtelproben Grundvoraussetzungen (u. a. Materialhomogenität, Mindestgröße, Würfel- oder Zylinderform mit gesägten Flächen) der standardisierten Verfahren nicht erfüllen, wurde in einigen Punkten von der Norm abgewichen (Probengeometrie, Vorkonditionierung, Messintervalle):

Konditionierung

Die Proben wurden seit ihrer Bergung im Oktober 2015 vor Ort trocken und seit ihrem Transport vier Wochen bei Raumklima von $(23 \pm 3) \text{ }^\circ\text{C}$ und $(50 \pm 5) \text{ } \%$ rF gelagert. Es erfolgte keine Trocknung bis zur Massenkonstanz, um Ergebnisse zu erhalten, die mit der Situation vor Ort und mit der in situ durchführbaren Wasseraufnahme nach Karsten verglichen werden können.¹²¹ KNÖFEL / SCHUBERT schlagen eine Vorlagerung der Proben bis zur Gleichgewichtsfeuchte bei Normklima ($20 \text{ }^\circ\text{C}$, $65 \text{ } \%$ rF) vor.¹²² Dieses Klima ist mit vor-Ort-Bedingungen vergleichbar. Da der Verzicht auf vollständige Probentrocknung bis zur Massenkonstanz mit Einbüßen der allgemeinen Vergleichbarkeit¹²³ vonstattengeht, wurden bei aufeinanderfolgenden Messungen der Wasseraufnahme die Proben nach jeder Messung auf die Masse vor der Wasseraufnahme bei $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ¹²⁴ mit bis zu $0,1 \text{ } \%$ Differenz getrocknet und 24 Stunden im Raumklima gelagert (Tab. 4).¹²⁵

120 DIN EN 1925:1999: *Prüfverfahren für Naturstein – Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten infolge Kapillarwirkung*; DIN EN 15801:2009: *Erhaltung des kulturellen Erbes – Prüfverfahren – Bestimmung der Wasserabsorption durch Kapillarität*; DIN EN ISO 15148: 2002: *Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen*.

121 Vgl. BLÖCHL-WIRTS 2001, S. 44.

122 Einer kontrolliert klimatischen Konditionierung bis zum Erreichen der Gleichgewichtsfeuchte konnte aufgrund des kurzen zur Verfügung stehenden Zeitraums nicht nachgegangen werden. KNÖFEL / SCHUBERT 1993, S. 62; vgl. BLÖCHL-WIRTS 2001, S. 44.

123 Die Vergleichbarkeit der Schichten ist vorrangiges Ziel und über die Trocknung auf das Ausgangsgewicht ausreichend gegeben.

124 Die standardisierte Trocknungstemperatur genormter Prüfverfahren entspricht in der Regel $105 \text{ }^\circ\text{C}$. $70 \text{ }^\circ\text{C}$ ist nach Norm die Maximaltemperatur zur Trocknung von Mörteln »mit organischen Zuschlägen mit porigem Gefüge«. Die Trocknung von gips- oder anhydrithaltigen Mörteln erfolgt mit $40 \text{ }^\circ\text{C}$, da adsorptiv bzw. chemisch gebundenes Wasser oberhalb dieser Temperatur freigesetzt werden kann (vgl. BLÄUER-BÖHM / JÄGERS 1997, p. 228). DIN 18555-3:1982; die von DIN EN 1925:1999 vorgegebene Trocknungstemperatur von $70 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ wurde nicht eingehalten wegen des möglichen Gehaltes an Gips oder Anhydrit.

125 Ähnlich geht BLÖCHL-WIRTS vor, welche die Proben bei abwechselnden Messungen der kapillaren Wasseraufnahme und Wasserdampfdiffusion 24 h bei $40 \text{ }^\circ\text{C}$ trocknet. BLÖCHL-WIRTS 2001, S. 5, 6.

Durchführung der Messung

Vor der Wasseraufnahme wurde das Ausgangsgewicht der Probe mit einer Analysenwaage mit Abweichung von $\leq \pm 0,001 \text{ g}^{126}$ gemessen und die Fläche der saugenden Schicht ermittelt.¹²⁷ Die Fläche wurde anhand von transparentem Millimeterpapier über Dreisatz bestimmt: auf ein rechteckig zugeschnittenes Millimeterpapier der Masse $m_{p, \text{ges.}}$ und Fläche $A_{p, \text{ges.}}$ wurde die Fläche A_S der saugenden Schicht angetragen und ausgeschnitten (m_S). Die Berechnung der Fläche erfolgte über folgende Gleichung:

$$A_S = m_S / m_{p, \text{ges.}} \times A_{p, \text{ges.}}$$

Die Messung der aufgenommenen Wassermenge in Abhängigkeit von der Zeit erfolgte nach DIN EN 15801:2009, 8: die Proben wurden mit der Saugfläche auf mit entionisiertem Wasser getränkten Schaumstoff gestellt (Eintauchtiefe ca. 1 – 2 mm) und mittels einer Stoppuhr in bestimmten Abständen gewogen (Abb. Anhang III). Abweichend von DIN EN 15801 wurden wegen schnellen Saugens und Erreichens der Sättigung kürzere Messintervalle gewählt (5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 300, 600, 900, 1200, 1800, 3600 s). Das Messende wurde mit der eintretenden Sättigung bzw. mit Durchschlagen der Feuchte an der gegenüberliegenden Fläche¹²⁸ bestimmt. Die Messung war bei den getesteten Proben meistens vor 30 min und nicht später als nach 60 min beendet. Die Wägung erfolgte jeweils nach Abnahme des auf der Oberfläche anhaftenden Wassers mit feuchtem Zellstoff. Des Weiteren wurde zu jeder Wägung die mittlere Steighöhe des Wassers gemessen, welche dem Durchschnittswert aller zwischen der maximalen und minimalen Steighöhe liegenden Werte entspricht.

Berechnung und Auswertung

Die Berechnung des Wasseraufnahmekoeffizienten w erfolgte nach der von RAPP (1996) programmierten Kalkulation. Die Menge des aufgenommenen Wassers Δm_i [kg/m^2] in Abhängigkeit von der Fläche und Zeit sowie der w -Wert [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}})$] werden nach folgenden Formeln berechnet:¹²⁹

$$\Delta m_i = (m_t - m_i) / A$$

$$w = (\Delta m'_{t_f} - \Delta m'_0) \cdot t_f^{-1/2}$$

mit m_t = Masse der Probe zum Zeitpunkt t der Wasseraufnahme, m_i = Masse der Probe vor der Wasseraufnahme, A = Saugfläche, $\Delta m'_{t_f}$ = Masse des aufgenommenen Wassers auf dem linearen Diagrammabschnitt zur Zeit t_f .

Die Absorptionskurven wurden mit den Mengenwerten an aufgenommenem Wasser Δm_i als Funktion von $t_f^{1/2}$ in Diagrammen dargestellt, wobei die lineare Steigung der Kurve im vorderen Abschnitt vor Eintritt der Sättigung der konstanten Wasseraufnahme und somit dem Wert des Wasseraufnahmekoeffizienten entspricht (Abb. Anhang III).¹³⁰ Die Berechnung der Wasseraufnahmekoeffizienten erfolgte deshalb grundsätzlich mit Gewichtung der Anfangswerte – einerseits wegen der geringen Oberputzstärke der Proben des Grabes EN 4 und anderer-

126 Alle folgenden Prüf- und Analysemethoden wurden mit Waagen dieser Abweichung durchgeführt.

127 Eine Formatierung der Proben wie in der Arbeit GÖDICKE-DETTMERINGS wurde ausgeschlossen. Vgl. GÖDICKE-DETTMERING 1996, S. 23.

128 Die gegenüberliegende Fläche ist bei Prüfung der Wasseraufnahme der Oberputzoberfläche die Rückseite der ersten Unterputzschicht und umgekehrt.

129 DIN EN 15148:2002.

130 BLÖCHL-WIRTS 2001, S. 14.

seits wegen der allgemein geringen Probenstärke¹³¹, die eine frühe Sättigung zur Folge hat. Die Sättigung ist mit Entstehen einer Kurve bzw. mit Abknicken des linearen Diagrammabschnittes der Wasseraufnahme in Milliliter als Funktion der Zeit sichtbar. Bei der Auswertung wurde deshalb ausschließlich die konstante Wasseraufnahme zu Beginn der Messung berücksichtigt. Der w -Wert wurde nach DIN EN 15801:2009 aus mindestens fünf linear aufeinanderfolgenden Punkten der Kurve errechnet. Auf die Berechnung des Eindringkoeffizienten B wurde aufgrund der unregelmäßigen Steighöhen als Folge der Materialheterogenität, der Schichtung und der unregelmäßig gebrochenen Seitenflächen verzichtet. Die errechneten w -Werte der Proben wurden in Säulendiagrammen gegenübergestellt (Abb. 203). Berechnung, Testdurchführung und Auswertung geschahen im Fachlabor – DR. WENDLER – für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege.

Fehlerquellen

Als mögliche Fehlerquellen beim Prüfverfahren der kapillaren Wasseraufnahme nennen KNÖFEL / SCHUBERT geringe Putzstärken unter 10 mm, zu geringe Querschnitte, geometrische Unregelmäßigkeiten, Auslaugung von Salzen, kurze Versuchszeiten, inhomogenes Material und die Behandlung mit Konservierungs- bzw. Hydrophobierungsmitteln.¹³² In Anbetracht dessen, dass die geprüften Putzfragmente einige dieser Kriterien erfüllen, dürfen die ermittelten w -Werte als nicht absolut betrachtet werden. Diese Punkte sind selbstverständlich die wesentlichen Merkmale von historischen Putzfragmenten im Unterschied zu materialwissenschaftlichen Prüfkörpern, was verdeutlicht, dass standardisierte Verfahren zwar übernommen und angewandt werden können, die Ergebnisse jedoch in erster Linie untereinander vergleichbar sind.

Auswahl der Proben

Die Wasseraufnahmekoeffizienten wurden von vier Proben des Grabes EN 6 und drei Proben des Grabes EN 4 ermittelt. Bei fünf der Proben wurde die Oberputzoberfläche und bei zwei der Proben der Unterputz als kapillar saugende Fläche getestet. Die Auswahl der Proben für die Wasseraufnahme über die Oberputzfläche basierte in erster Linie auf den Ergebnissen der Wassertropfeneindringtests. Pro Grab wurden die jeweiligen Proben mit den höchsten Wassertropfeneindringkoeffizienten (EN 4: Probe 8_3 und EN 6: Probe 9_5 und 18_8) und jene mit stark wasserabweisenden Werten (EN 4: 3_6 und EN 6: 8_2) geprüft (Kap. 4.3.1). Weitere Kriterien für die Auswahl der Proben waren eine ausreichende Putzstärke, die ebene Saugfläche, die Eignung für darauf folgende Analysemethoden (Rohdichte- und Porositätsbestimmung, Digitale Bildanalyse, Trennungsgänge), die Probengröße für den Vergleich mit der Karsten'schen Methode sowie die unterschiedliche Beschaffenheit der Oberflächen¹³³. Die Möglichkeiten, den Wasseraufnahmekoeffizienten der Unterputzschichten zu ermitteln, waren begrenzt: zum Einen durch die unebenen Unterputzrückseiten, zum Anderen durch das Vorhandensein der Oberputzschichten an nahezu allen Proben. Von insgesamt drei Proben des Grabes EN 6 ohne Oberputzschicht wurde die größte für die Wasseraufnahme über die Oberfläche der zweiten Unterputzschicht ausgewählt. Zudem wurde die Wasseraufnahme der Probe 4_1 über die Rückseite gemessen, welche als einzige Probe eine ausreichend ebene Unterputzrückfläche aufwies.

131 Zu kurze Saugzeiten aufgrund zu geringer Stärke und Dichte können laut KNÖFEL / SCHUBERT eine Fehlerquelle sein. Die Autoren empfehlen daher die Mindeststärke von 10 mm. KNÖFEL / SCHUBERT 1993, S. 62; DIN EN ISO 15148:2002 setzt für inhomogene, mit Zuschlägen versehene Probekörper eine mindestens fünfmal größere Probenstärke als das größte Teilchen voraus.

132 KNÖFEL / SCHUBERT 1993, S. 62.

133 In der Auswahl berücksichtigt wurden Proben mit unterschiedlichen Verwitterungs- und Beschädigungsstufen des Oberputzes (Risse, Fehlstellen, biogener Bewuchs), um den Einfluss der Beschädigung auf die Wasseraufnahme beurteilen zu können.

Probe	m ₀ Wasseraufnahme DIN 15801		Wasseraufnahme Karsten 1		Wasseraufnahme Karsten 2		
	[g]		[g]	Δ m ₀ [%]	[g]	Δ m ₀ [%]	Δ m _{K-1} [%]
3_6	281,871		281,580	0,10	281,285	0,20	0,10
4_1	280,525		280,545	0,01	280,224	0,11	0,11
7_1	465,637		465,568	0,01			
8_2	438,198		437,944	0,06	438,002	0,04	0,01
8_3	246,497		246,389	0,04			
8_4			634,42		633,79		0,09
9_2			391,951				
9_5	496,958		496,762	0,04	496,49	0,09	0,05
18_8	124,101						

Tab. 4: Massendifferenz zwischen den Messungen der Wasseraufnahme. Nicht berücksichtigt sind in dieser Tabelle die Prüfflächen. 3_6-WA-K-2 erfüllt nicht die Voraussetzung der Massendifferenz zu $m_0 < 0,1 \%$, bildet als Unterputzmessung jedoch keinen direkten Vergleichswert zum nach DIN 15801 geprüften Oberputz.

3.5.3 Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten über die Karsten'sche Methode

Die Karsten'sche Methode ermöglicht die zerstörungsfreie bzw. zerstörungsarme¹³⁴ in-situ-Prüfung der Wasseraufnahme mit Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten w [$\text{kg}/(\text{m}^2\sqrt{\text{h}})$], des Wassereindringkoeffizienten B [$\text{cm}/\sqrt{\text{h}}$] und der Wasseraufnahmekapazität WAK [Vol.-%].¹³⁵ Im Unterschied zur Wasseraufnahme nach DIN 15801 wird bei dem Verfahren die „Wassereindringung unter Druckbedingungen“¹³⁶ gemessen.

Vorgehensweise¹³⁷

Die Wasseraufnahme wurde mit Karsten'schen Prüfröhren des Prüfflächen-Durchmessers von 4,5 cm, der Wassersäulenhöhe von 10 cm und einem Skalenbereich von 5 ml geprüft. Die Proben wurden bei 40 °C bis Erreichen der Ausgangsmasse des Zeitpunkts vor der Wasseraufnahme (Tab. 4) getrocknet und 24 Stunden bei Raumklima ($23 \pm 3 \text{ °C}$ und $50 \pm 5 \text{ \% rF}$) gelagert. Zur Prüfung wurden die Proben senkrecht aufgestellt. Die

134 Rückstände der Abdichtungsmasse zur Anbringung des Prüfröhrchens und Mitablösen von Oberfläche bei Entfernen des Röhrchens sind möglich. DIN EN 16302:2013 nennt das Verfahren zerstörungsfrei und schreibt gleichzeitig die Prüfung des Dichtmaterials hinsichtlich Verfärbung oder sonstiger Veränderung des Prüfgrundes vor. DIN EN 16302:2013.

135 D'HAM ET AL. 2011, S. 82.

136 Die Druckbedingungen sollen jenen von Schlagregen ähneln. DIN EN 16302:2013.

137 Die Karsten'sche Methode ist in DIN EN 16302:2013 geregelt. Die Durchführung der Methode weicht in folgenden Punkten von der Norm ab: die Prüfflächen der Proben entsprechen nicht den geforderten ebenen, gleichmäßigen, rissfreien Flächen. Die Proben wurden nicht im Sinne des Abschnittes 7.3 angeschliffen und vorkonditioniert. Da es sich möglicherweise um "behandelte Probekörper" handelt, wird sich diesbezüglich auf die Verfahrenseinschränkung für behandelte und "aus ungeschützten Oberflächen entnommene Probekörper" berufen. Des Weiteren erfolgte keine Berechnung der Gesamtwasseraufnahme.

Röhrchen wurden mit dem dauerelastischen Sanitärkitt PLASTIK-FERMIT¹³⁸ angebracht und abgedichtet (Abb. Anhang III). Nach dem Auffüllen mit entionisiertem Wasser bis zur Nullmarke wurde in bestimmten Intervallen das aufgenommene Wasservolumen in Abhängigkeit von der Zeit mittels einer Stoppuhr notiert. Die Ablesezeiten wurden je nach Saugfähigkeit der Probe gewählt,¹³⁹ mit meist häufigen Ablesezeiten in Skalenabständen von 0,05 ml zur Beginn der Messung¹⁴⁰ und einer Mindestmenge von sieben Messpaaren¹⁴¹. Volumen, Zeitpunkt und Wasserausbreitung bei Undichtwerden und Feuchtehofbildung wurden notiert.¹⁴² Diese sind Zeichen für die Ergebnisverfälschung aufgrund der nicht idealisierten Ausbreitrichtung des Wassers.

Auswertung und Darstellung

Die Auswertung zur Bestimmung des w-Wertes erfolgte über das von RAPP / WENDLER (1996) entwickelte Kalkulationsprogramm Calcarow. Die Auswertung mit Calcarow basiert auf der Annahme, dass sich das Wasser aufgrund der Gesetzmäßigkeit der Kapillaren gleichmäßig und richtungsunabhängig in porösem Gefüge ausbreitet.¹⁴³ Bei der Berechnung des w-Wertes wird von der idealisierten Ausbreitung des Wassers in einer dreidimensionalen, halbkugelförmigen Durchfeuchtungszone ausgegangen, beschrieben durch einen Zylinder und Viertel-Torus.¹⁴⁴ Die in dieser Arbeit über die Karsten'sche Methode berechneten Wassereindringkoeffizienten resultieren aus der Gewichtung der Anfangswerte der Wasseraufnahme. Die aus der zweidimensionalen (Kap. 3.5.2) und dreidimensionalen Wasseraufnahme (Kap. 3.5.3) ermittelten w-Werte wurden in Balkendiagrammen gegenübergestellt (Abb. 203, 204) Das Volumen des eindringenden Wasser [ml] wurde als Funktion der Zeit in Form einer Wasseraufnahmekurve dargestellt (Abb. 205).¹⁴⁵ Durchführung und Auswertung wurden im Fachlabor – Dr. Wendler – für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege praktiziert.

Probenauswahl

Für die Durchführung der Karsten-Messung wurden alle Proben ausreichender Größe $> \varnothing 4,5$ cm und Ebenheit zur Auswahl herangezogen.¹⁴⁶ Wegen des Vorteils der Methode gegenüber der Wasseraufnahme nach DIN 15801, nicht auf vollkommen plane Flächen beschränkt zu sein, konnten die Unterputzrückseiten einiger Proben getestet werden. Die Wasseraufnahme nach Karsten wurde an allen unter Kap. 3.5.2 geprüften Proben durchgeführt mit Ausnahme des Fragments 18_8 (zu geringe Fläche). Zudem wurde die Testreihe durch weitere Fragmente ergänzt. Die Wasseraufnahme über die Oberputzfläche wurde an drei der Proben des Grabes EN 6 (8_2, 9_2, 9_5) und vier der Proben des Grabes EN 4 (3_6, 8_4, 8_3, 4_1) getestet. Die Unterputzrückseite der Schicht 1 wurde an drei Proben des Grabes EN 4 (4_1, 3_6, 8_4) und zwei Proben des Grabes EN 6 (8_2, 9_5), die Unterputzoberfläche Schicht 2 an Probe 7_1 geprüft.

138 Gängiges Dichtmaterial für die Karsten'sche Methode. Vgl. D'HAM ET AL. 2011, S. 83.

139 Das "geeignete Intervall [hängt] von der Porosität des geprüften Materials" ab. DIN EN 16302:2013.

140 Der w-Wert bezieht sich zumeist auf den Beginn des Saugvorganges. WENDLER / SNETHLAGE 1989, S. 111.

141 D'HAM ET AL. empfehlen 7 – 14 Messpaare. D'HAM ET AL. 2011, S. 82 – 83.

142 D'HAM ET AL. 2011, S. 84.

143 D'HAM ET AL. 2011, S. 84.

144 Zur Berechnung: WENDLER / SNETHLAGE 1989, S. 111, 112; D'HAM ET AL. 2011, S. 84.

145 D'HAM ET AL. 2011, S. 82 – 83; DIN EN 16302:2013.

146 Vgl. DIN EN 16302:2013.

3.5.4 Bohrwiderstandsmessung

Kurzbeschreibung und Vorgehensweise

Die Bohrwiderstandsmessung ist ein in-situ und stationär anwendbares Verfahren zur Beurteilung der mechanischen Eigenschaften (Härte und Festigkeit) im Tiefenprofil.¹⁴⁷ Es handelt sich um ein nicht standardisiertes Prüfverfahren. Die gewonnene Information und Auswertung hängt von der Art des verwendeten Bohrwiderstandsmessgeräts ab. Grundsätzlich sind zwei Systeme verbreitet: die Messung der aufgewendeten Kraft in Newton bei konstantem Vorschub und konstanter Drehgeschwindigkeit (DFMS)¹⁴⁸ und die Messung der Bohrfortschrittsgeschwindigkeit bei konstantem Vorschub und konstanter Leistung – ein vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik entwickeltes Verfahren, welches in dieser Arbeit angewandt wurde.

Die Bohrwiderstandsmessung wurde im Fachlabor für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege ausgeführt mit dem Gerät der Fa. DURABO – einer auf einem Gleitschlitten beweglichen, akkubetriebenen Bohrmaschine (Abb. 50).¹⁴⁹ Bei konstantem Vorschub über ein Gewicht (in der Regel 2 kg) und konstanter Leistung wird die widerstandsbedingte und daher materialabhängige Eindringgeschwindigkeit auf einer Schreibrolle bei konstantem Papiervorschub aufgezeichnet. Das resultierende Roh-Bohrtiefenprofil beschreibt die Eindringtiefe in Abhängigkeit von der Zeit, wobei sich der tiefenbezogene Bohrwiderstand als Wert proportional zur reziproken Bohrfortschrittsgeschwindigkeit aus der jeweiligen Steigung eines frei wählbaren Abschnittes ergibt.¹⁵⁰ Für die Prüfung des Bohrwiderstandes an den Putzfragmenten wurde als Andrucklast ein Gewicht von 1 kg gewählt. Die Bohrung wurde ohne Schlag als Drillbohrung ausgeführt mit geschärften Bohrern mit polykristalliner Diamant-Spitze (PKD) des Durchmessers 3 mm. Nach der jeweils zweiten Messung wurde ein frischer Bohrer eingesetzt, um Artefakte durch Bohrerverschleiß zu vermeiden. Die Bohrtiefe ist durch die Gesamtschichtstärke des Putzfragmentes und die Bohrerlänge auf 30 mm begrenzt.

Auswertung und Darstellung

Die Diagramme der Bohrwiderstandstiefenprofile (Bohrhärte/Steigung $[\arctan]$ ¹⁵¹ als Funktion der Tiefe [mm]) wurden aus Abschnitten konstanter Steigung aus dem Roh-Bohrtiefenprofil durch abschnittsweise Auswertung (Ausmessen und Berechnen) mit einer Auflösung nicht kleiner als 1 mm Bohrtiefe erstellt (Abb. 206).¹⁵²

Fehlerquellen und Artefakte

Grundsätzlich kann das Ergebnis der Bohrwiderstandsmessung durch Bohrmehlförderung und Bohrerverschleiß in Abhängigkeit vom Bohrer- und Probenmaterial (z. B. hoher Quarzgehalt) beeinflusst werden.¹⁵³ Dies äußert sich in einem in die Tiefe zunehmenden Widerstand.¹⁵⁴ Materialinhomogenitäten¹⁵⁵ können unruhige Bohrprofile mit einzelnen Festigkeitssprüngen oder -abfällen ergeben. Sprünge können durch Zusammenfassung von als

147 NOGUEIRA ET AL. 2014, p. 757, 758.

148 MEINHARDT / PFEFFERKORN 2011, S. 66; NOGUEIRA ET AL. 2014, p. 757 – 768.

149 MEINHARDT / PFEFFERKORN 2011, S. 65.

150 WENDLER / SATTLER 1996, S. 146.

151 Der Wert des Bohrwiderstandes über die Korrekturfunktion der trigonometrischen Umkehrfunktion $\arctan(b/a)$ ist der Festigkeit proportional. WENDLER / SATTLER 1996, S. 152.

152 Vgl. WENDLER / SATTLER 1996, S. 147.

153 WENDLER / SATTLER 1996, S. 152.

154 Vgl. WENDLER / SATTLER 1996, S. 145 – 159.

155 PFEFFERKORN warnt vor Fehlinterpretationen bei der Prüfung von inhomogenem Material. Um Materialinhomogenitäten des Gefüges von Verwitterung zu unterscheiden, schlägt er die Erstellung von Flächenprofilen aus mehreren Bohrungen vor. PFEFFERKORN 1998, S. 103.

einheitlich angesehenen Steigungsabschnitten und Reduktion der Auswertungsauflösung des Rohbohrprofils relativiert werden.¹⁵⁶ PFEFFERKORN empfiehlt, insbesondere bei heterogenem Gefüge mit Grobkorn eine Auswertung durch millimetergenaue Auflösung zu überdenken, da zu unruhige, schwer lesbare Bohrprofile entstehen. Damit spricht er vor allem die Schwierigkeit der individuellen Darstellung und Auswertung vor dem Hintergrund eines unvereinheitlichten Prüfverfahrens an. Die manuelle Auswertung kann andererseits für die Interpretation von Nutzen sein, um ergebnisrelevante Messbereiche bei der Auswertung zu eliminieren oder zu korrigieren.

Probenauswahl

Die Bohrwiderstandsmessung wurde an zwei Proben des Grabes EN 6 (7_3, 9_2) und zwei des Grabes EN 4 (3_1, 3_6) durchgeführt. Die Proben wurden aufgrund ihrer Schichtenabfolgen und -stärken als repräsentative Putzstücke beider Grabbauten ausgewählt. Pro Putzfragment wurden mindestens zwei Bohrprofile erstellt.

3.5.5 Ermittlung der Rohdichte und der offenen Porosität durch das Vakuum-Tauchverfahren nach DIN EN 1936:2006

Begriffe und Definitionen der Rohdichte, Reindichte und Porosität

Die Dichte eines porösen Feststoffs ist durch die Kenngrößen Rohdichte, Reindichte und Porosität beschrieben.¹⁵⁷ Die Rohdichte [kg/m³] eines trockenen Feststoffes ist definiert durch das Verhältnis zwischen der Feststoffmasse und seinem Gesamtvolumen¹⁵⁸ als der Summe aus Feststoff- und Porenvolumen nach folgender Gleichung:

$$\rho_R = m_F / (V_F + V_P)$$

mit ρ_R = Rohdichte, m_F = Feststoffmasse, V_F = Feststoffvolumen und V_P = Porenvolumen

Im Unterschied zur Rohdichte ist die Reindichte das Verhältnis aus Feststoffmasse und Feststoffvolumen. Somit beschreibt sie ein poröses Material hinsichtlich seiner festen Bestandteile abzüglich der Poren.

Poren werden unterteilt in offene und geschlossene Poren. Offene Poren sind nach DIN EN 993-1 alle Poren, welche mit Flüssigkeit gefüllt werden können, sprich alle Poren, welche direkt oder indirekt über andere Poren mit der Außenfläche verbunden sind.¹⁵⁹ Geschlossene Poren dagegen sind vollkommen isolierte Hohlräume, in welche weder flüssige noch dampfförmige Phasen eintreten können.¹⁶⁰ Je nach Analyseverfahren werden das Gesamtporenvolumen als Summe der offenen und geschlossenen Poren und deren prozentualer Anteil an dem Gesamtvolumen als Gesamtporosität angegeben oder die offene Porosität¹⁶¹ als prozentuales Verhältnis zwischen dem Volumen der offenen Poren und dem Gesamtvolumen. Weitere Parameter, welche einen porösen Feststoff charakterisieren, sind dessen Porengrößenverteilung und Spezifische Oberfläche.¹⁶²

156 PFEFFERKORN 1998, S. 103.

157 Folgendes nach: DIN EN 993-1: *Prüfverfahren für dichte geformte feuerfeste Erzeugnisse – Teil 1: Bestimmung der Rohdichte, offenen Porosität und Gesamtporosität*; DIN 66137-1:2003: *Bestimmung der Dichte fester Stoffe – Teil 1: Grundlagen*; DIN EN 1936:2006: *Prüfverfahren für Naturstein – Bestimmung der Reindichte, der Rohdichte, der offenen Porosität und der Gesamtporosität*.

158 Auch genannt »Rohvolumen« (DIN EN 1936:2006) oder »scheinbares Volumen« (BORELLI 1999, S. 5.).

159 BORELLI 1999, S. 3.

160 BORELLI 1999, S. 3.

161 DIN EN 993-1.

162 Vgl. THOMSON ET AL. 2004, p. 77 – 106.

Verfahrensbeschreibung

In dieser Arbeit wurde die Rohdichte und offene Porosität über das Vakuum-Tauchverfahren nach DIN EN 1936:2006: Prüfverfahren für Naturstein¹⁶³ bestimmt. Das gleiche Verfahren wird für die Prüfung der Porosität von Mörtel beschrieben bei KNÖFEL / SCHUBERT.¹⁶⁴ Nach der Schichtentrennung wurden die Proben bis zur Massenkonstanz¹⁶⁵ im Trockenschrank bei 40 °C getrocknet.¹⁶⁶ Zur Ermittlung des Trockengewichtes (m_d) erfolgte die Wägung der abgekühlten Proben nach ca. zweistündiger Lagerung bei Raumtemperatur in einem geschlossenen Behälter mit Silikagel. Anschließend wurden die Proben für 1 h 45 min im Exsikkator unter Vakuum aufbewahrt. Der Druck wurde über die gesamte Zeit mittels einer Wasserstrahlpumpe bei 20 ± 7 mbar konstant gehalten. Innerhalb weiterer 10 min wurde bei konstantem Druck von 19 mbar entionisiertes Wasser von 24 °C langsam tröpfelnd zugegeben bis zur kompletten Überdeckung der Proben (Abb. 51). Nach Beibehalten des Druckes für weitere 20 min wurde der Atmosphärendruck wiederhergestellt und die Proben für 23 h unter Wasser gelagert. Zur Ermittlung der Masse der gesättigten Probe und der Wägung unter Wasser wurden Waage, Messbecher mit entionisiertem Wasser, Wägekorb, Gestell und Labor-Hebebühne wie in Abb. 51 zu sehen angeordnet. Die Wägung der gesättigten Probe in Luft (m_s) erfolgte nach Abtupfen des oberflächlich anhaftenden Wassers mit feuchtem Zellstoff. Für die Wägung unter Wasser (m_h) wurde die Probe im Drahtkorb bis zu einer markierten Tiefe eingetaucht. Die Zeit zwischen Herausnahme der Proben aus dem Wasser, Wägung in Luft und Wägung im Wasser wurde zur Vermeidung von Verdunstung möglichst kurz gehalten (unter 30 s). Die Temperatur des entionisierten Wassers wurde aus den Mittelwerten zweier Messungen direkt vor und nach den Wägungen bestimmt. Die temperaturabhängige Dichte des Wassers wurde der Tabelle nach DIN EN 993-1 entnommen. Die Durchführung der Messung geschah im Fachlabor – DR. WENDLER – für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege.

Berechnung und grafische Darstellung

Die Berechnung der Rohdichte, des Volumens und des Anteils der offenen Poren erfolgte nach DIN EN 1936:2006 nach folgenden Gleichungen:

Volumen der offenen Poren [ml]:

$$V_o = (m_s - m_d) / \rho_{rh} \cdot 1000$$

Rohdichte [kg/m³]:

$$\rho_b = m_d / (m_s - m_h) \cdot \rho_{rh}$$

Offene Porosität [Vol.-%]:

$$p_o = (m_s - m_d) / (m_s - m_h) \cdot 100$$

Die Ergebnisse der Rohdichte, offenen Porosität in V-% und über digitale Bildanalyse vermessene Porosität in A-% wurden grafisch in Säulendiagrammen dargestellt (Abb. 207, 210). Ferner wurde die Beziehung zwischen Rohdichte und Porosität mittels Streudiagrammen erläutert (Abb. 208, 209).

163 vgl. DIN EN 993-1.

164 KNÖFEL / SCHUBERT 1993, S. 59, 60.

165 Die Massenkonstanz sei nach DIN EN 1936 erreicht, wenn »die Differenz zwischen zwei aufeinander folgenden Wägungen im Abstand von (24 ± 2) h nicht größer als 0,1 % der Masse des Probekörpers ist.«

166 In Abweichung von DIN EN 1936, wonach die Proben bei (70 ± 5) °C getrocknet werden.

Probenauswahl und -aufbereitung

Zur Ermittlung der Rohdichte und offenen Porosität der einzelnen Putzschichten wurden jeweils zwei Fragmente von EN 4 (8_4, 3_6) und EN 6 (9_5, 9_2) ausgewählt – vier repräsentative Stücke ausreichender Größe, bei welchen mindestens ein Verfahren der Wasseraufnahme angewandt wurde. Die Trennung bzw. Spaltung der Schichten mit dem Ziel, möglichst große, kompakte Einzelstücke zu erhalten, war wegen des unregelmäßigen Schichtenverlaufs, der variierenden Schichtstärken und der stellenweise sehr guten Anbindung erschwert. Es wurden unregelmäßig gebrochene Stücke unterschiedlicher Größe und Anzahl gewonnen. Nach der Trennung standen von Fragment 8_4 ein Stück der ersten und dritten Schicht und drei kleinere Stücke der zweiten Schicht zur Verfügung (s. Tab. 5), von 3_6 jeweils ein Stück der Unterputzschichten und fünf kleinere Stücke des Oberputzes. Aufgrund der guten Anbindung der Schichten des Fragments 9_5 konnte von Unterputzschicht 2 kein ausreichend großes Einzelstück gewonnen werden. Statt eines zu kleinen und unrepräsentativen Bruchstückes von Schicht 2 wurden zwei größere Schichtpaketstücke der Unterputzschichten geprüft. Von Fragment 9_2 wurde vergleichend zu 9_5 ein Schichtpaket der ersten, zweiten und dritten Schicht, zwei Einzelproben der Schicht 3 sowie ein größeres Stück von Schicht 4 geprüft.

Die Probenbezeichnungen ergeben sich aus der Fragmentnummer (erste zwei Ziffern), der laufenden Probennummer des Fragments (dritte Ziffer) und der Zahl für die jeweilige Schicht (letzte Ziffer(n)).

	Probennummer	Schicht	Anzahl Einzelstücke	Masse [g]
EN 4	8_4_5_1	Unterputz, Schicht 1	1	37
	8_4_5_2	Unterputz, Schicht 2	3	30
	8_4_5_3	Oberputz, Schicht 3	1	10
	3_6_6_1	Unterputz, Schicht 1	1	37
	3_6_6_2	Unterputz, Schicht 2	1	37
	3_6_6_3	Oberputz, Schicht 3	5	5
EN 6	9_5_5_1	Unterputz, Schicht 1	1	8
	9_5_5_1+2	Unterputz, Schicht 1 und 2	2	14
	9_5_5_3	Unterputz, Schicht 3	1	2
	9_5_5_1+2+3	Unterputz, Schicht 1, 2 und 3	1	36
	9_5_5_4	Oberputz, Schicht 4	1	30
	9_2_3_1+2+3	Unterputz, Schicht 1, 2 und 3	1	44
	9_2_3_3	Unterputz, Schicht 3	2	13
	9_2_3_4	Oberputz, Schicht 4	1	15

Tab. 5: Proben für die Ermittlung der Rohdichte und offenen Porosität mit jeweiliger Stückzahl und Gesamtmasse.

Schwierigkeiten während der Durchführung

Schwierigkeiten während der Prüfung waren in erster Linie auf die Fragilität der Proben zurückzuführen. Nach der Schichtentrennung wurden die Proben mit dem Pinsel von losem Material befreit, um den Verlust während der einwöchigen Trocknung und Prüfung möglichst gering zu halten. Trotz vorsichtiger Handhabung konnte der Verlust weniger Körner während der Prüfung nicht verhindert werden. Bei der Wasserzugabe unter Vakuum und

der Wägung unter Wasser lösten sich einzelne Zuschlagskörner (Abb. 52). Größere Schwierigkeiten bereitete die Abnahme des oberflächlich anhaftendem Wassers vor der Wägung der gesättigten Probe in Luft. Dieser Schritt des Verfahrens beinhaltet zwei mögliche Fehlerquellen: Die mechanische Belastung durch die Berührung mit dem feuchten Tuch führt unweigerlich zur Ablösung weiterer Partikel. Wenn das Abtupfen des Wassers jedoch zu vorsichtig und zurückhaltend erfolgt, verfälscht der zurückbleibende Wasserfilm das Messergebnis. Die Einschätzung, wie viel Wasser überhaupt abgenommen werden sollte, erwies sich insbesondere bei den fragilen bruchrauen Oberflächen als schwierig. Auf geglätteten Oberputzflächen ist anhaftendes Wasser als glänzender Film sichtbar und lässt sich, ohne besonders vorsichtig sein zu müssen, leicht entfernen. Welchen Einfluss das verwendete Gewebe auf die Abnahme des Wassers hat, ist fraglich. Nach DIN EN 993-1 wird unabhängig von dem zu prüfenden Material ein mehrfach gewaschenes, angefeuchtetes Leinentuch verwendet. THOMSON et al. empfehlen für Mörtel ein feuchtes Fensterleder.¹⁶⁷ Die Durchführung mit Zellstoff zeigt, dass die Schwierigkeit eher durch die mechanische Belastung und die Unklarheit gegeben ist, wie viel Feuchte oberflächlich abgenommen werden kann, ohne den Poren Wasser zu entziehen.

3.6 Methoden zur Bestimmung der Komponentenverhältnisse

3.6.1 Digitale Bildanalyse

3.6.1.1 Kurzbeschreibung und Ziel

Die digitale Bildanalyse basiert auf dem Prinzip, mittels einer Bildbearbeitungssoftware, den Flächeninhalt in Pixeln von Bildbereichen bestimmter Farb- oder Helligkeitswerte zu lokalisieren und zu quantifizieren, die vom Operator zuvor definiert wurden.^{168/169} Die Erzeugung des digitalen Bildes¹⁷⁰ eines Präparates kann mit digitalen Kamerasystemen, die an ein Polarisations-, oder Rasterelektronenmikroskop gekoppelt sind,¹⁷¹ oder über

167 THOMSON ET AL. 2004, p. 92.

168 LINDQVIST / SANDSTRÖM 2000, p. 613.

169 Die digitale Bildanalyse wird heutzutage in zahlreichen Gebieten der Wissenschaft zur Ermittlung quantitativer Daten aus digitalen Bildern eingesetzt. Der Schwerpunkt der Anwendungsgebiete liegt im Bereich der Medizin, der Biologie, der Metallurgie und den Geowissenschaften (KRINSLEY ET AL. 1998, p. 145).

170 Bei der Erzeugung eines digitalen Bildes werden die Strahlungsintensitäten der Primärfarben (Rot, Grün, Blau) des abgebildeten Gegenstandes von einem Sensor erfasst. Ein digitales Farbbild besteht aus drei Farbkanälen (Rot, Gelb, Blau). Die Farbtiefe des Bildes ist abhängig von der Anzahl der möglichen Farbabstufungen pro Kanal. Diese werden in BIT angegeben. Aus der für Digitalbilder gebräuchlichen Farbtiefe von 8 BIT resultieren 256 mögliche Farbzustände pro Kanal und damit $256 \times 256 \times 256 = 16.777.216$ mögliche Farbzustände des RGB Bildes. Die Daten eines digitalen Bildes werden im Computer in ein Zahlensystem konvertiert (KÖNIG 2010, S. 14–16). Dabei wird eine orthogonale Pixelmatrix erstellt, wobei jeder Ortskoordinate ein Farb- bzw. Helligkeitswert zugeordnet wird (MAGNUS 1998, S. 5). Für jeden Pixel ist damit im digitalen Bild die exakte Position und der Grau- bzw. Farbwert definiert. Eine Bildbearbeitungssoftware ist anhand dieser Daten in der Lage, Objektflächen im Bild zu lokalisieren und zu quantifizieren, die den Farb- oder Helligkeitskriterien entsprechen, die der Nutzer zuvor definiert hat (LINDQVIST / SANDSTRÖM 2000, p. 613).

171 LINDQVIST / SANDSTRÖM 2000, p. 613.

Flachbett-Scanner¹⁷² erfolgen. Das Aufnahmeverfahren sollte die Möglichkeit einer variablen Lichtführung aufweisen. Insbesondere bei komplexen Materialien können die zu vermessenden Phasen oft erst in der Kombination von Auflicht, Durchlicht und Aufnahmen zwischen gekreuzten Polarisatoren differenziert werden.¹⁷³ Vor der bildanalytischen Messung muss das digitale Ausgangsbild über unterschiedliche Bearbeitungsmodi optimiert werden. In einem nächsten Schritt werden die Farb- und Helligkeitseigenschaften der zu untersuchenden Bildbestandteile herausgearbeitet und von den Eigenschaften der Umgebung abgegrenzt. Diesen Vorgang nennt man Segmentierung. Dabei wird ein neues Bild erzeugt, das aus einer der Phasenanzahl entsprechenden Farbanzahl (Falschfarbenbild) besteht, wobei die gewählten Farben in ihren entsprechenden Grauwerten gut differenzierbar sein müssen. Aus diesem Falschfarbenbild wird anschließend ein Graustufenbild oder ein Binärbild (Schwarz-Weiß-Werte) generiert. Ein Binärbild repräsentiert nur noch eine zu vermessende Phase. Auch dieses kann mittels diverser Bildbearbeitungsmodi und Filter weiter optimiert werden. Die quantitative Messung der zu untersuchenden Phase erfolgt nach der Justierung der Meßbedingungen und Meßparameter anhand der eben genannten Bildtypen in einer dafür optimierten Bildanalysesoftware. Abschließend müssen die gewonnenen Daten ausgewertet und ggf. korrigiert werden.¹⁷⁴

Die bildanalytische Untersuchung wurde im Rahmen dieser Arbeit zur Ermittlung der quantitativen Verhältnisse der Mörtelkomponenten Bindemittel und Zuschlag, der Gesamtporosität sowie der Korngrößenverteilung eingesetzt.¹⁷⁵ Hinsichtlich der parallelen Untersuchung der Komponentenverhältnisse über das Säureaufschlußverfahren wurde zudem der Kalkgallen- und Carbonatanteil im Zuschlag der Unterputze bestimmt. Besonderes Augenmerk bei der Bildanalyse lag auf der Ermittlung des Bindemittel-Zuschlagverhältnisses und der Korngrößenverteilung der Oberputze, da diese aufgrund der vermuteten carbonatischen Chemie des Zuschlages nicht mit den klassischen quantitativen Methoden untersucht werden können. Daher war die Bildanalyse die einzige Methode, mit der das Bindemittel-Zuschlagverhältnis der Oberputze bestimmt wurde. Hinsichtlich der Korngrößenverteilung der Oberputze lag ein besonderes Interesse auf der Gegenüberstellung der bildanalytisch ermittelten Korngrößenverteilung mit der in der Mörtelanalyse noch nicht bewährten elektrodynamischen Fragmentierung, die für diese Putzschichten herangezogen werden sollte (Kap 3.6.3.2).

3.6.1.2 Vorgehen bei der Untersuchung

Auswahl der Probenart, der Geräte und der Software

Im Rahmen der digitalen Bildanalyse wurden polierte, mit blau eingefärbte Dünnschliffpräparate untersucht. Diese zeigen nach MAGNUS die besten Eigenschaften hinsichtlich der Unterscheidbarkeit feinsten Farbnuancen.¹⁷⁶

Die Anfärbung des Epoxidharzes mit blauem Farbstoff ermöglicht hingegen nach CASADIO ET AL., LINDQVIST / SANDSTRÖM und MERTENS / ELSÉN eine optimale Segmentierbarkeit der Porenräume.¹⁷⁷

Zur Bilderzeugung wurde das Aufnahmeverfahren mittels Flachbettscanner gewählt. Dieses wird von verschiedenen Autoren¹⁷⁸ für die Bildanalyse von Dünnschliffen empfohlen, da es gegenüber den klassischen Metho-

172 ARPIN / MALLOL / GOLDBERT 2002, p. 305–313; CASADIO / CHIARI / SIMON 2005, p. 688; MIRIELLO / CRISCI 2006; TARQUINI / ARMIENTI 2003.

173 ARPIN / MALLOL / GOLDBERT 2002 p. 309; MAGNUS 1998, p. 34–40.

174 MAGNUS 1998, S. 6.

175 Vgl. ELSÉN 2006, p. 1416.

176 MAGNUS 1998, S. 16.

177 CASADIO / CHIARI / SIMON 2005, p. 688; MERTENS / ELSÉN 2006, p. 1453; LINDQVIST / SANDSTRÖM 2000, p. 613.

178 ARPIN / MALLOL / GOLDBERT 2002; CASADIO / CHIARI / SIMON 2005, S. 688; MIRIELLO / CRISCI 2006; TARQUINI / ARMIENTI 2003.

den der Bilderzeugung folgende Vorteile aufweist: die Probenfläche kann von Vornhinein als Gesamtbild mit homogener Helligkeitsverteilung aufgenommen werden. Im Vergleich dazu können mit mikroskopischen Systemen nur Detailaufnahmen erzeugt werden, die einen randseitigen Helligkeitsabfall aufweisen und im Nachhinein zu einem Komposit zusammengesetzt werden müssen. Beim Scanvorgang entstehen zudem perfekt überlappende Bilder, die ohne Verzerrungsfehler addiert werden können.¹⁷⁹

Zur Bildoptimierung kam das Camera RAW 7.0 Plugin der Bildbearbeitungssoftware Adobe Photoshop CS6 zum Einsatz. Dieses für die RAW-Bild-Entwicklung optimierte Modul ermöglicht gezielte und differenzierte Eingriffe in die Bildinformationen sowie Verlaufskorrekturen. Die Optimierung der Binärbilder wurde in der Bildanalyse-Software ImageJ durchgeführt, da diese auch zur Messung Anwendung fand.

Die Phasensegmentierung wurde mit der Bildbearbeitungssoftware Adobe Photoshop vorgenommen, die im Rahmen des Workshops über mikroskopische Techniken in der Denkmalpflege hinsichtlich dieses Einatzgebietes von THOMAS KÖBERLE vorgestellt wurde.¹⁸⁰ Versuche zur Segmentierung in der Bildanalyse-Software ImageJ erzielten aufgrund der Inhomogenitäten innerhalb der Zuschlagskörner sowie aufgrund des teilweise fehlenden Farbkontrastes zwischen der Bindemittelmatrix und einigen Zuschlägen keine befriedigenden Ergebnisse. In einem weiteren Versuch wurde das von GROVE / JERRAM zur standardisierten Porositätsmessung entwickelte ImageJ Macro »jPOR«¹⁸¹ getestet.¹⁸² Dessen Farbpalette ist jedoch auf die Bildanalyse geologischer, blau eingefärbter Epoxidharz-Präparate optimiert und berücksichtigt daher keine Differenzierung zwischen den blauen Farbwerten der Poren und bläulichen Farbwerten, wie sie bei der Anfärbung von Mörteldünnschliffen mit carbonatischem Bindemittel in eben diesem entstehen.¹⁸³ Angesichts der daraus resultierenden Notwendigkeit einer manuellen Korrektur der von »jPOR« festgelegten Schwellenwerte in ImageJ wurde beschlossen, auf den Einsatz des Macros zur Porositätsmessung zu verzichten.¹⁸⁴

Zur Messung der Komponentenverhältnisse und der Korngrößenverteilung wurde die vom NATIONAL INSTITUTE OF HELATH (USA) entwickelte, frei verfügbare Bildanalyse-Software ImageJ (2.0.0) verwendet, die auch MIRIELLO und CRISCI¹⁸⁵ im Rahmen der Mörtelanalyse nutzten.¹⁸⁶

Bilderzeugung mittels Flachbettscanner

Zur Bilderzeugung kam der 48 BIT Colour Flachbett-Diascanner der Firma MIKROTEK (Scan Maker i900, 6400x3200 DPI CCO) zum Einsatz.¹⁸⁷ Dieser erlaubt sowohl Scans im Auf- als auch im Durchlicht. Das Gerät ist für Durchlichtaufnahmen mit einem sogenannten »Slide Holder« ausgestattet (Abb. 53). Dieser ermöglicht das Scannen

179 MIRIELLO / CRISCI 2006, p. 187.

180 WEBER / PINTÉR / KÖBERLE: *Microscopic techniques to study mineral materials in cultural heritage: A workshop for the optimal use of polarized light microscopy and SEM to better understand building materials and their defects*, Wien 2016. Das Skript des Workshops wurde mit freundlicher Weise von Fr. KATRIN WILHELM zur Verfügung gestellt.

181 Quelle: <http://www.geoanalysis.org/jPOR.html> (August 2016).

182 Die Vorgehensweise des Versuches richtete sich nach der von GROVE und JERRAM verfassten Anleitung »User Guide, Version 1.1«. Die Anleitung wurde auf der Internetdomain von GEOANALYSIS (<http://www.geoanalysis.org/jPOR.html>) veröffentlicht.

183 Vergleichende Messungen im ImageJ mit jPOR und mit Photoshop segmentierten Poren ergaben mit jPOR um bis zu 30% höhere Porositätswerte auf Kosten des Bindemittelanteils. Die Übergriffe des Messbereiches auf die Bindemittelmatrix waren in der Schwellenwertdarstellung von ImageJ visuell erkennbar. Um dies auszugleichen, war eine manuelle Einstellung der Schwellenwerte in ImageJ notwendig. Diese Operation führte zu ähnlichen Ergebnissen ($\pm 5\%$) wie die Messungen aus in Photoshop segmentierten Poren.

184 Aufgrund der Vergleichbarkeit der gewonnenen Daten ist es zudem von Vorteil, wenn diesen die gleichen Bearbeitungsmodi zu Grunde liegen. Daher wurden alle Phasen mit dem gleichen Werkzeug im Adobe Photoshop CS6 segmentiert.

185 MIRIELLO / CRISCI 2006, p. 189.

186 Ein Vergleich der Eignung dieser Software hinsichtlich der Untersuchung historischer Mörtel zu anderen Bildanalyseprogrammen konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht erbracht werden.

187 Den Arbeitsplatz am Scanner ermöglichte mir die Grafikagentur ARTACUS in Augsburg. Ihnen sei gedankt.

von bis zu zwölf Dias oder Dünnschliffpräparaten im Diaformat als Stapelverarbeitung. Die Objektauflagefläche für Auflichtaufnahmen befindet sich in einer anderen Sektion des Gerätes. Daher mussten die Präparate für diesen Bildtyp umpositioniert und auf dieser Ebene ausgelegt werden. Jedoch war auch hier eine Stapelverarbeitung möglich: die Software des Scanners (Silver Fast Launcher v6.6.1r1b) bietet die Option, jedes einzeln zu erfassende Bildobjekt mit einem Rahmen zu detektieren, der mit einem Dateinamen und den gewünschten Scangrößen deklariert und automatisch gescannt wird (Abb. 54).

Die Aufnahmegrößen wurden nach der Auswertung von Testreihen für jeden Scan auf den Farbraum RGB bei 48 BIT Farbtiefe¹⁸⁸, dreifacher Vergrößerung und einer Auflösung von 1600 dpi festgelegt. Bei dieser Justierung konnte eine Auflösung erzielt werden, bei der ein Pixel 5,3 µm entspricht.¹⁸⁹ Zur Kalibrierung wurde ein Mikrometer (MÜLLER OPTRONIC) mit einer Messskala von 1 mm / 0,01 mm mitdigitalisiert. Auf Korrekturen von Modi wie Kontrast oder Helligkeit wurde verzichtet, da diese in Photoshop CS6 qualitativ besser bei geringerem Verlust an Bildinhalten durchgeführt werden können. Die Speicherung der Bilddateien erfolgte wie von ARPIN ET AL.¹⁹⁰ empfohlen im verlustfreien TIFF-Format.

Von jedem Dünnschliffpräparat wurden insgesamt sieben Bildtypen angefertigt: eine Aufnahme im Auflicht, sechs im Durchlicht, davon eine im Scanmodus »Durchlicht positiv«, eine im Modus »Durchlicht negativ« sowie vier Aufnahmen zwischen gekreuzten Polarisatoren unterschiedlicher Winkel. Die Auflichtaufnahmen erfolgten mit der Objektträger-Glasseite zur Lichtquelle gerichtet, da dies einen optimalen Kontrast erzielte.¹⁹¹ Bei diesem Bildtyp waren teilweise die Zuschläge besser vom Bindemittel differenzierbar (Abb. 55). Der Modus »Durchlicht positiv« brachte die besten Resultate hinsichtlich differenzierter Farbabstufungen, insbesondere im Bereich der blau eingefärbten Porenräume (Abb. 56). Der Modus »Durchlicht negativ« zeigte hingegen im Ergebnis schärfere Korngrenzen an den transparenten Körnern des Oberputzes (Abb. 59).¹⁹² Für die Bilderzeugung zwischen gekreuzten Polarisatoren (Abb. 57) wurden entsprechend der Empfehlung von TARQUINI¹⁹³, aus einer Polfilterfolie (Heliopan, linear, Stärke: 0,4 mm, Lichtverlust von 1-1,5 Blendenstufen) je zwei Quadrate in den Winkeln 22,5 °, 45 °, 67,5 ° und 90 ° zur linearen Durchlassrichtung geschnitten. Jedes Paar wurde bei der Durchlichtaufnahme nacheinander in gekreuzter Stellung über und unter den Dünnschliffen platziert.

Insgesamt erzielten die Scanoperationen gute Ergebnisse. Bei jedem Bildtyp zeigten sich jedoch Phänomene, die bei der späteren Segmentierung Probleme verursachen. So war es bei keiner Aufnahmesituation möglich, ein gestochen scharfes Bild zu erzeugen.¹⁹⁴ Als weiteres, problematisches Phänomen sind durch den Scanvorgang erzeugte chromatische Abberationen an den Kanten der transparenten Zuschlagskörner zu nennen. Diese

188 Die Aufnahme mit einer Farbtiefe von 48 BIT zeigte im Vergleich zu Aufnahmen mit 24 BIT deutlich weniger chromatische Abberationen (Farbsäume), daher wurde diese Justierung trotz der steigenden Datengröße gewählt.

189 Der Scanner erreicht bei einer Maximaleinstellung von 6400 dpi eine Auflösung von 3,7 µm pro Pixel. Dabei kommt es jedoch zu einer Verdoppelung der Dateigröße von ca. 250 MB auf ca. 500 MB. Dies schien, in Relation zur nur geringen Steigerung der Auflösung, hinsichtlich der späteren Bearbeitbarkeit der Bilder nicht sinnvoll.

190 ARPIN / MALLOL / GOLDBERT 2002, p. 310.

191 In einem Aufnahmeversuch mit der polierten Dünnschliffseite zur Lichtquelle hin zeigte sich deutlich weniger Kontrast. Über eine Befuchtung der Oberfläche mit Wasser konnte dieser zwar verbessert werden, das Resultat blieb jedoch qualitativ schlechter als in der Aufnahmeposition mit der Glasseite zur Lichtquelle. Optimal für einen Auflichtscan wären daher gedeckte Präparate.

192 Auch im Vergleich zu einem nachträglich im Photoshop in dem Farbwerten invertierten Scan aus dem Modus »Durchlicht positiv«.

193 TARQUINI / ARMIENTI 2003, p. 28.

194 Im Vergleich zum höheren Grad der Schärfe eines gescannten Dias oder eines zweidimensionalen, opaken Objektes kann man vermuten, dass dieses Phänomen aus der tatsächlichen Dreidimensionalität eines Dünnschliffes resultiert: Der Inhalt eines derratigen Präparates ist nicht über die ganzen 30 µm absolut identisch. Um dieses Problem zu beheben wäre ein Scanner mit einer Blendenvorrichtung zum Fokussieren einer Schärfenebene notwendig.

äußern sich in Blau-Gelb-Farbsäumen und stören die Differenzierung dieser von den blau eingefärbten Porenräumen. Der Effekt ist bei Durchlichtaufnahmen besonders ausgeprägt. Dieser Bildtyp läßt zudem Unregelmäßigkeiten in den Präparatdicken über Helligkeitsverläufe in den Aufnahmen besonders deutlich in Erscheinung treten. Die Bilder zwischen gekreuzten Polfilterfolien zeigen infolge des Lichtverlustes um 1-1,5 Blendenstufen den Effekt des Bildrauschens, insbesondere in den dunklen Bereichen. Dies beeinträchtigt eine spätere Farbsegmentierung. Aufgrund der unterschiedlichen Aufnahmesektionen des Scanners für Durch- und Auflichtscans konnten die entsprechenden Bilder nicht vollständig kongruent erzeugt werden. Daher war eine nachträgliche Ausrichtung der Einzelbilder in einer Bildbearbeitungssoftware notwendig.

Bilddoptimierung

Die durch den Scanvorgang erzeugten, bei der Segmentierung störenden Effekte wurden mit dem Camera RAW Modul der Bildbearbeitungssoftware Adobe Photoshop CS6 korrigiert oder abgemildert. Um eine möglichst standardisierte Bearbeitung einer Bildart aller Dünnschliffe zu garantieren, wurden im Camera RAW Optimierungseinstellungen festgelegt und auf jede Aufnahme des entsprechenden Types angewendet. In einzelnen Fällen mussten diese jedoch leicht nachkorrigiert werden. Zur Bilddoptimierung wurden bei allen Aufnahmen Helligkeitsverläufe korrigiert und der Mitteltonkontrast leicht erhöht. Die Farbsäume der chromatischen Aberration konnten über die Objektivkorrektur deutlich reduziert, jedoch nicht vollständig entfernt werden. An den Durchlichtaufnahmen wurde die Sättigung der Blautöne erhöht und deren Luminanz leicht reduziert. Diese Aktion erbrachte einen besseren Farbkontrast der Porenräume zur Bindemittelmatrix. Die Aufnahmen zwischen gekreuzten Polarisatoren wurden aufgehellt, das Bildrauschen von Luminanz und Farben reduziert.¹⁹⁵ Zur Vorbereitung der Phasensegmentierung wurden die optimierten Bilder jedes Dünnschliffs als TIFF-Dateien in Ebenen jeweils eines Photoshop-Dokumentes geladen und inhaltlich automatisch ausgerichtet.

Phasensegmentierung

Ziel der Segmentierung war der Erhalt von je drei bis vier Messbildern pro Putzschicht eines Dünnschliffs. Für die Messung der Komponentenverhältnisse wurden je zwei Messbilder angefertigt. Eins, das den Kalkgallenanteil dem Bindemittel, ein zweites, das den Kalkgallenanteil dem Zuschlag zurechnet. Die Differenz des Zuschlaganteils ergibt dabei den Kalkgallengehalt einer Schicht. Für jeweils einen Dünnschliff pro Grabmonument wurde für die Unterputzschichten ein drittes Messbild angelegt, das den Carbonatanteil repräsentiert. Die Carbonate wurden dabei mikroskopisch ermittelt und in der Durchlichtaufnahme kartiert.

Bei der Phasensegmentierung wurde eine von KÖBERLE¹⁹⁶ vorgestellte Methode angewandt. Dabei wurde die Segmentierung der zu quantifizierenden Phasen in der Software Photoshop CS6, über die Differenzen der Farbwerte¹⁹⁷ mit dem Auswahl-Werkzeug »Zauberstab« vorgenommen.¹⁹⁸ Dieses Werkzeug bietet die Option,

195 Die Aufnahmen zwischen gekreuzten Polarisatoren erwiesen sich jedoch im Zuge der Segmentierung als unnötig. Dieser Bildtyp ist jedoch für die bildanalyse an Präparaten sehr nützlich, deren Porenräume nicht durch eine Blaufärbung des Epoxidharz hervorgehoben sind.

196 WEBER / PINTÉR / KÖBERLE: *Microscopic techniques to study mineral materials in cultural heritage: A workshop for the optimal use of polarized light microscopy and SEM to better understand building materials and their defects*, Wien 2016. Das Skript des Workshops wurde mir freundlicherweise von Frau KATRIN WILHELM zur Verfügung gestellt.

197 Aufgrund der oftmals hohen Helligkeitskontraste im Innenraum der Zuschlagskörner erwies sich eine Zerlegung der Phasen über Grauwertkontraste als unmöglich. Auch CARÒ UND GIULIO weisen darauf hin, das die Verwendung eines Grauwertistogrammes zwar optimal, jedoch bei der Analyse inhomogener Zuschläge oft nicht möglich ist (CARÒ / GIULIO 2004, p. 249).

198 Versuche der Segmentierung mittels Bildoperationen wie Addition oder Subtraktion der Bildtypen (xPOL, Durchlicht, Auflicht) zeigten bezüglich der in dieser Untersuchung zu quantifizierenden Phasen keine Wirkung. Diese Aktionen sind jedoch bei der Porositätsanalyse von nicht blau eingefärbten Präparaten wie sie MIRIELLO (MIRIELLO / CRISCI 2006, p. 189) beschreibt, eine effektive Methode.

Farbwertbereiche eines definierten Farbwertumfangs zu selektieren und als Auswahl-Kanal abzuspeichern. Der Farbwertumfang kann dabei beliebig vergrößert und verkleinert werden, ebenso der Wirkungsradius des Aufnahmewerkzeuges.

Für ein vergleichbares Ergebnis wurde bei der Segmentierung immer nach dem gleichen Schema vorgegangen. Der Porenraum wurde mit dem Zauberstab-Werkzeug aus der optimierten Durchlichtaufnahme¹⁹⁹ selektiert. Feinste Risse konnten dabei nicht erfasst werden. Kreisrunde, weiße Luftblasen im Epoxidharz (Abb. 60) wurden bei der Auswahl korrigiert. Die Zuschläge der Unterputze wurden über zwei Wege gewonnen. Eine invertierte Auswahl des Bindemittels und der Porenräume an der Durchlichtaufnahme erbrachte eine Zuschlagsauswahl, die die inneren Strukturen der Körner und die Körner mit bindemittel-ähnlicher Farbigkeit nicht mit erfasste (Abb. 62). Durch die Addition einer zweiten, invertierten Auswahl von Bindemittel und Porenraum, diesmal an der kontrastreicheren Auflichtaufnahme, konnten die Löcher in den Körnern großteils geschlossen und Partikel mit bindemittel-ähnlicher Farbigkeit teilweise mitselektiert werden (Abb. 63). Bei der Auswahl über die Auflichtaufnahme war ein Effekt des Zusammenwachsens eng aneinandergrenzender Körner jedoch nicht zu vermeiden. Gleichzeitig waren insbesondere helle Körner teilweise nicht oder nicht in ihrem vollem Umfang erfassbar. Deutlich sichtbare, verbliebende Körner (ca. 5 %) wurden in einem letzten Schritt mit dem Pinselwerkzeug händisch der Auswahl hinzugefügt, ebenso die nicht automatisch segmentierbaren Kalkgallen (Abb. 64). Die kleinen Kalkgallen unter 0,3 mm konnten dabei nicht miterfasst werden.²⁰⁰ Der mikroskopisch erfasste Anteil an carbonatischen Zuschlägen wurde manuell in Photoshop kartiert und als separate Auswahl gespeichert.

Die Zuschlagskörner des Oberputzes wurden mittels des Zauberstab-Werkzeuges aus den Durchlichtaufnahmen der Scaneinstellung »negativ« selektiert, da dieser Modus die schärfsten Korngrenzen zeigte. Aufgrund der strukturellen Homogenität des Oberputz-Zuschlages konnte dieser direkt ohne den Umweg über das Bindemittel ausgewählt werden. Dennoch entstand auch hier teilweise der Effekt des Zusammenwachsens nah aneinander grenzender Körner. Zudem konnte der Feinanteil, der sich auf einer unteren Ebene des Dünnschliffes unter einer hauch dünnen Schicht des Bindemittels befindet, nicht mitdetektiert werden (Abb. 130, 131).

Nach der Segmentierung wurden die Kanäle der einzelnen Phasen in separaten, transparenten Ebenen geladen und mit einer definierten Farbe gefüllt – die Poren in Blau, der Zuschlag in Rot.²⁰¹ Die Bindemittelphase wurde als gelbe Fläche angelegt, die unter den anderen Ebenen platziert wurde und somit den freien Raum zwischen den Poren und dem Zuschlag ausfüllt (Abb. 65). Aus dem erhaltenen Ebenenpacken wurden die einzelnen Putzschichten freigestellt und separat abgespeichert. Nicht in die Messung einzubeziehende Bereiche wurden in diesen Einzelschicht-Messbildern mit weißen Flächen abgedeckt.²⁰² Anschließend wurden die erhaltenen Falschfarbenbilder für die Messung der Komponentenverhältnisse in 8-BIT Graustufenbilder umgewandelt (Abb. 66).

Optimierung der Binärbilder

Für die Ermittlung der Korngrößenverteilung war eine weitere Optimierung der Graustufenbilder notwendig. Hierfür wurde die Software ImageJ verwendet. Über einen Schwellenwertregler (Threshold) konnte die Zuschlagphase segmentiert und in ein Binärbild (Schwarz-Weiß) umgewandelt werden (Abb. 67). Zur Füllung von bei der Segmentierung entstandenen Hohlräumen in den Zuschlagskörnern kam der ImageJ Filter »Fill Holes«

199 In der Auflichtaufnahme ist der Porenraum nicht vom Bindemittel differenzierbar.

200 Zur Erfassung der zahlreichen kleinen Kalkgallen der Unterputze, hätten diese bei mikroskopischer Betrachtung kartiert werden müssen. Dies war jedoch aus Zeitgründen im Rahmen dieser Arbeit nicht durchführbar.

201 Aufgrund der Präsenz von auch porösen Zuschlagskörnern muss die Ebene der Poren über der Zuschlag-Ebene platziert werden.

202 Darunter fallen die bei der Dünnschliffherstellung entstandenen Fehlstellen im Präparat, zu dünn geschliffene Bereiche sowie Bereiche einer anderen Putzschicht im Bildfeld.

zum Einsatz.²⁰³ Zur Kantenglättung und zur Trennung über feine Stege zusammengewachsener Körner wurden des Weiteren die morphologischen Filter²⁰⁴ »Erode« und »Dilate« auf die Binärbilder angewendet. Bei der Funktion »Erode« kommt es zu einer Kantenglättung durch Objektverkleinerung. Der Filter »Dilate« führt entgegengesetzt wieder zu einer Objektvergrößerung. In der Kombination beider Filter entsteht dabei nach MAGNUS nur eine »vernachlässigbare Korngrößenveränderung«.²⁰⁵ Durch diese Aktionen konnte jedoch ein nur geringer Anteil der Körner getrennt werden.

Messung der Komponentenverhältnisse

Die Messung der Komponentenverhältnisse wurde in der Bildanalyse Software ImageJ vorgenommen.²⁰⁶ Zur Kalibrierung der Größenverhältnisse diente der mitgescannte Mikrometer als Referenz (Abb. 68).²⁰⁷

Die Messung des Bindemittel-Zuschlagverhältnisses, der Gesamtporosität und des Kalkgallen- und Carbonatanteils wurde an den Graustufenbildern durchgeführt. Dabei wurden die einzelnen Phasen über ein Schwellenwerthistogramm (Threshold) segmentiert und quantifiziert (Abb. 69). Für eine standardisierte Messung wurden die Schwellenwertgrenzen bei jedem Messbild indentisch justiert. Als Meßparameter wurden folgende Werte festgelegt: Gesamtfläche des vermessenen Bereichs/Phase in Quadratmillimeter und Gesamtfläche des vermessenen Bereichs/Phase in Prozent. Die Messergebnisse wurden als Exeldateien abgespeichert.

Die Messung der Korngrößenverteilung wurde an den Binärbildern durchgeführt. Als Messbedingung wurde der zu quantifizierende Korngrößenbereich als Quadratpixel Flächeninhalt festgelegt (Abb. 70). Die Flächenmesswerte können nach MAGNUS »direkt zur Korngrößenbestimmung verwendet werden«.²⁰⁸ Hinsichtlich der Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit den Resultaten der Siebanalyse wurden die Flächeninhalte entsprechend der Flächenwerte der Siebmaschenweiten eingestellt, die für die Methode der Siebanalyse (Kap 3.6.3.3) verwendet wurden (Unterputze: 2 mm Maschenweite entspricht 144305 px², 1 mm entspricht 36076,3 px², 0,8 mm entspricht 23088,8 px², 0,5 mm entspricht 9019,1 px², 0,315 mm entspricht 3579,7 px², 0,250 mm entspricht 2254,8 px², 0,125 mm entspricht 563,7 px², 0,063 mm entspricht 143,2 px²) (Oberputze: 2 mm Maschenweite entspricht 144305 px², 1 mm entspricht 36076,3 px², 0,125 mm entspricht 563,7 px², 0,063 mm entspricht 143,2 px²). Als Meßparameter wurden folgende Werte festgelegt: Anzahl der detektierten Partikel, Gesamtfläche der detektierten Partikel in Quadratpixel, durchschnittliche Größe der detektierten Partikel in Quadratpixel und der Flächenanteil der detektierten Partikel in Prozent. Die Ergebnisse der Messungen wurden als Exeldatei abgespeichert. Zudem erzeugt ImageJ bei der Partikelmessung ein Bild der Messdatei, das die Umrisse der detektierten Körner mit ihrer zugewiesenen Nummer abbildet. Diese Darstellung lässt zu einem Korn verwachsene und als solches vermessene Einzelkörner deutlich erkennen und unterstützt damit die spätere Interpretation der Ergebnisse (Abb. 73).

203 MAGNUS weist in seiner Arbeit zur Bildanalyse auf diesen Filter für die Füllung von Hohlräumen hin (MAGNUS 1998, S. 29).

204 BURGER / BURGE 2006, S. 175, 176.

205 MAGNUS 1998, S. 28.

206 Die Bedienung der Software zur quantitativen Messung wurde aus dem YouTube Tutorial »Bildanalyse-Video-Kurs mit ImageJ und GIMP 1 – 7« erlernt (https://www.youtube.com/watch?v=u2kllG_Jg88) (Juli 2016).

207 Die Messung des mitgescannten Mikrometers in ImageJ ergab ein Größenverhältnis von 189,9375 Pixeln pro Millimeter.

208 MAGNUS 1998, S. 61.

3.6.1.3 Problematiken und Fehlerquellen der digitalen Bildanalyse

Die beschriebene Vorgehensweise bei der Segmentierung resultierte aus erkannten Problematiken erster Versuche. Durch die Kombination gezielter Aktionen konnten diese zwar abgemildert, jedoch nicht verhindert werden. Die daraus resultierenden Effekte wirken ergebnisverfälschend und müssen bei der Interpretation der gewonnenen Daten berücksichtigt werden.

Die Hauptfehlerquelle der Methode liegt in einer unpräzisen Auswahl der zu messenden Phase. Dabei ist die Homogenität in Struktur und Farbigkeit innerhalb dieser Phase und deren Farb- und Kontrastdifferenz zur Umgebung entscheidend. Bezüglich der Segmentierung der Porenräume traten folgende Problematiken auf: bei der Dünnschliffpräparation entstandene Luftblasen im blau eingefärbten Epoxidharz bilden sich als weiße, kreisrunde Artefakte ab. Aufgrund ihrer charakteristischen Form können diese jedoch leicht detektiert und mit ausgewählt werden. Feinste Risse in der Matrix besitzen einen zu geringen Farbkontrast zum Bindemittel und können daher nicht erfasst werden. Hingegen werden die wenigen, verbliebenen blauen Farbsäume (chromatische Aberration) bei der Segmentierung der blauen Poren mit einbezogen.

Bei der Segmentierung der Zuschläge traten folgende Problematiken auf: ein zu geringer Farbkontrast zwischen einigen Zuschlagskörnern oder der Kalkgallen²⁰⁹ und dem Bindemittel ließ deren Segmentierung nicht oder nicht in ihrem vollen Umfang zu, was zu einer Überschätzung des Bindemittelanteils im Mörtel führt. Zur Kontraststeigerung empfehlen CARÒ / GIULIO und CASADIO ET AL. eine Anfärbung des carbonatischen Bindemittels mit Alizarin Red S.²¹⁰ Beide Empfehlungen basieren allerdings auf Untersuchungen an eigens für die Analyse angefertigten, homogenen Mörteln. RIEDL vermerkt in ihrer Arbeit, dass eine Anfärbung mit Alizarin Red S bei inhomogenen, historischen Mörteln zu keiner Verbesserung der Problematik führt.²¹¹ Aufgrunddessen und aufgrund der Präsenz auch roter und rötlicher Zuschläge in den zu untersuchenden Putzen wurde deshalb auf eine derartige Anfärbung verzichtet.

Eine weitere Problematik bei der Segmentierung der Zuschläge resultierte aus deren überwiegend inhomogenem Gefüge und Farbigkeiten (vulkanische Gesteinsfragmente mit porphyrischem Gefüge). Dies verhinderte eine Direktauswahl der Sande. Daher können diese nur über eine invertierte Auswahl von Bindemittel und Poren als Gesamtform erfasst werden.²¹² Diese indirekte Auswahl führt jedoch zu einem neuem Phänomen: im Zwischenraum sehr eng aneinandergrenzender Körner weißt das Bindemittel keinen ausreichenden Kontrast zu vor allem dunklen Zuschlagskörnern auf, was ein Zusammenwachsen dieser Körner nach sich zog (Abb. 71 – 74). Dies sowie die Präsenz aneinanderstoßender Körner führt zu einer Überschätzung der großen Kornklassen und des Zuschlaganteils im Mörtel. CARÒ und GIULIO weisen in ihrem Methodenvergleich zur quantitativen Mörtelanalyse auf die Problematik der Anwendung der Bildanalyse bei einer zu großen Anzahl an zusammenliegenden Körnern hin.²¹³ Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Versuche zur Korntrennung mittels der in ImageJ

209 Der fehlende Farbkontrast zwischen Bindemittel und Kalkgallen infolge ihrer gleichen Chemismus macht deren automatische Segmentierung unmöglich.

210 CARÒ / GIULIO 2004, p. 248; CASADIO / CHIARI / SIMON 2004, p. 682.

211 RIEDL 2007, S. 79.

212 Zuschläge mit inhomogenem Gefüge (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge) stellten das größte Problem bei der Segmentierung dar. An diesen zeigt sich besonders gut die Schwierigkeit der Adaption einer Analysemethoden der Geologie auf die Analyse historischer Mörtel aus vulkanischen Gebieten. Wohingegen die Geologie die Phasen innerhalb des Gesteins qualifizieren möchte, sollen diese nur von der Software als Gesamttaggregat gelesen werden.

213 CARÒ / GIULIO 2004, p. 256.

zur Verfügung stehenden Filter »Watershed«²¹⁴ und »Voronoi« erbrachten keine verwendbaren Ergebnisse. Ein von VAN DEN BERG²¹⁵ entwickelter Algorithmus zur Korntrennung über den Grad des Kontaktwinkels wäre möglicherweise effektiv gewesen. Dieser konnte jedoch nicht erworben werden.²¹⁶ Die von RIEDL²¹⁷ durchgeführte Methode der händischen Kartierung der Korngrößen auf A4-Papier-Ausdrucken der Dünnschliffe, die den Effekts des Zusammenwachsens der Körner nicht aufweist, war hingegen für den Rahmen dieser Arbeit zu zeitintensiv. Neben der Verwachsung größerer Körner führt nach CARÒ und GIULIO auch die Anwesenheit einer großen Anzahl kleiner Zuschläge bei der Bildanalyse zu einer Überbewertung der größeren Kornklassen.²¹⁸ Auch diese Neigen zum Verschmelzen. Zudem sind kleine Partikel generell schlecht erfassbar. Dies zeigte sich auch bei der Segmentierung der untersuchten pompejanischen Putze. Insbesondere im Oberputz findet sich ein Feinanteil, der sich in einer unteren Ebene des 30 µm starken, dreidimensionalen Dünnschliffs befindet, sich nur schemenhaft abbilden und daher nicht mit selektiert werden kann. Dieses spezielle Phänomen wird in der Literatur zur Bildanalyse an Mörtelpräparaten ausschließlich von MERTENS thematisiert.²¹⁹

Die schlechte Erfassbarkeit sehr kleiner Zuschläge stellt ein grundsätzliches Problem der Bildanalyse dar. Dabei stellt sich die Frage nach dem kleinsten, in seinen vollen Ausmaßen zu vermessenden Korn. In der einschlägigen Literatur finden sich hierzu zwar Angaben, jedoch sind diese nicht ohne Weiteres auf die hier durchgeführte Bildanalyse übertragbar. MIRIELLO / CRISCI²²⁰ beschreiben beispielweise sehr vage, sie können bei einer Scanerauflösung von 300 dpi und 3facher Vergrößerung Objekte vermessen, die größer als 0,028 mm sind. CARÒ / GIULIO geben an, dass bei einem digitalen Bild, bei dem ein Pixel 3,7 µm entspricht, Objekte, die kleiner als 0,075 mm sind, vermutlich nicht präzise gemessen werden können.²²¹ Bei den in dieser Arbeit durchgeführten Scans entsprach ein Pixel 5,3 µm. Die bildanalytische Messung eines auf dem mitgescannten Mikrometers enthaltenen Referenzpunktes mit einem Durchmesser von 0,07 mm zeigte, dass bereits Objekte dieser Dimension um 2 % größer eingeschätzt werden. Allerdings ist auch die Aussagekraft dieser Messung nur bedingt nützlich, da die Erfassbarkeit kleiner Objekte auch von ihrer Struktur und ihrem Farbkontrast zur Umgebung abhängt – der vermessene Referenzpunkt besitzt eine graue Farbigkeit und daher keinen sehr hohen Kontrast zur Umgebung. Die Frage nach dem kleinsten präzise vermessbaren Korn kann nicht pauschal beantwortet werden.²²² Mit Sicherheit kann nur gesagt werden, dass sehr kleine Objekte mit geringem Kontrast nicht erfasst werden können, wobei die genaue Grenze nicht zu ermitteln ist.

Eine weitere Fehlerquelle der digitalen Bildanalyse resultiert aus der Anzahl der vermessbaren Partikel einer Phase dar. Je höher die Anzahl der in der Phase enthaltenen Körner (beispielsweise einer Kornfraktion), desto

214 Der Filter Watershed ist nur für sphärische Partikel optimiert und führt daher zu einer Zerteilung einzelner Körner und nicht zur Trennung zusammengewachsener Einzelpartikel.

215 VAN DEN BERG ET AL 2000, p. 179–190.

216 Angesichts der zahlreichen polymorphen Körner in den Unterputzen der Grabbauten wäre bei dem Einsatz eines derartigen Algorithmus allerdings auch mit einer hohen Fehlerwahrscheinlichkeit zu rechnen.

217 RIEDL 2007, S. 79, 80.

218 CARÒ / GIULIO 2004, p. 253.

219 MERTENS / ELSSEN 2006, p. 1455.

220 MIRIELLO / CRISCI 2006, p. 189.

221 CARÒ / GIULIO 2004, p. 256.

222 Der Einsatz eines Partikelanalyse-Kalibrierungsinstrumentes wie sie die Britische FIRMA PYSER-SGI anbietet wäre als Hilfsmittel sicher sinnvoll, obwohl auch dieses, die Unterschiede der Segmentierbarkeit hinsichtlich des Kontrastes nicht berücksichtigt. (<http://www.pyser-sgi.com/graticules/stage-micrometers-calibration-scales-grids/stage-micrometers-grids-s-series/sg7-particle-analysis-test-calibration-slide-detail> (Juli 2016)).

geringer fällt dabei der absolute Messfehler ins Gewicht: »Bei fünfhundert ausgewerteten Bildpunkten beträgt der absolute Fehler für die Gehalte der jeweils betrachteten Mörtelkomponente von 1 Vol. % ebenfalls 1 Vol. %. Je höher der Anteil der Mörtelkomponente, desto geringer fällt der Fehler ins Gewicht. Bei 5 Vol. % sind es noch 2 Vol. % Fehleranteil, bei 10 Vol. % nur noch 3 Vol. % und bei 25 Vol. % nur noch 4 Vol. % Fehleranteil.«²²³

Bei der Auswertung der Ergebnisse einer Bildanalyse sind die genannten Fehlerquellen stets zu bedenken, die Ergebnisse können nicht als absolut gewertet werden. Aufgrund des gleichzeitigen Auftretens von phasenverkleinernden und phasenvergrößernden Effekten ist es jedoch nicht möglich, eine sinnvolle Korrektur der Ergebnisse vorzunehmen. Nach Augenschein halten sich phasenüberbewertende und -unterbewertende Effekte einigermaßen die Waage. Daher wird angenommen, dass die Messungen der Anteile von Bindemittel, Zuschlag, Kalkgallen, Carbonaten und Gesamtporosität zu relativ realistischen Werten führen. Hingegen ist die Verwertbarkeit der Ergebnisse der bildanalytischen Untersuchung der Korngrößenverteilung aufgrund des Zusammenwachsens der Einzelkörner eher fraglich.

Zur Einschätzung der infolge der verwachsenen Körner zu erwartenden Korngrößenverschiebungen wurde daher eine Referenzmessung angelegt. Dabei wurden die segmentierten Zuschlagskörner eines Dünnschliffes in einem zeitintensiven manuellen Verfahren in Photoshop mittels Ebenenmasken und dem Pinselwerkzeug nachbearbeitet und getrennt (Abb. 75 – 77).²²⁴

3.6.1.4 Auswertung und Berechnung

Die Ergebnisse der Quantifizierung von Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonaten und Gesamtporosität wurden zur Auswertung in Exceltabellen geladen. Die teilweise Aussparung eines Bildbereiches aus der Messung machte eine Umrechnung der Ergebnisse auf 100 % notwendig (Umrechnung 1). Aus dieser Umrechnung konnten der prozentuale Gesamtporenanteil in A.-% direkt abgelesen werden. Zur Berechnung des Bindemittel-Zuschlagverhältnisses wurde nach Abzug der Gesamtporosität erneut auf 100 % umgerechnet (Umrechnung 2). Es wurden dabei die Messungen verwendet, bei welchen die Kalkgallen dem Zuschlag zugeordnet waren, da diese im Mörtelgefüge nach physikalisch-mechanischen Gesichtspunkten nicht die Funktion eines Bindemittels erfüllen.²²⁵ Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Umrechnung 2 aus den Messungen mit und ohne Kalkgallen gewonnen. Der separat gemessene Anteil der carbonatischen Zuschläge wurde auf 100% der Meßfläche und anschließend mit Umrechnung 2 auf 100 % Zuschlag verrechnet. Kalkgallen- und Carbonatanteil wurden auf ganze Zahlen gerundet. Aus den Ergebnissen der Dünnschliffe eines Grabbaus wurde für jede Putzschicht ein Durchschnittswert errechnet. Aufgrund der nicht abschätzbaren Fehlerquote bei der Segmentierung des inhomogenen Materials wurden keine Korrekturen der Werte durchgeführt.

Auch die Ergebnisse der Korngrößenklassierung wurden zur Verrechnung in Exceltabellen geladen. Die teilweise Aussparung eines Bildbereiches aus der Messung machte eine Umrechnung der Ergebnisse auf 100 % notwendig. Die Ergebnisse der Schnellsegmentierung wurden jenen der Referenzmessung gegenübergestellt, um mögliche Verschiebungen aufzuzeigen. Eine Umrechnung der mit der Bildanalyse ermittelten Flächenprozent

223 RIEDL 2007, S. 79.

224 Die Segmentierung über das schnelle Verfahren dauerte etwa 2 bis 3 Stunden pro Dünnschliff, wohingegen bei der manuellen Nachbearbeitung für eine Putzschicht pro Dünnschliff etwa 8 bis 9 Stunden aufgewandt werden müssen.

225 Dies spiegelt nicht das ursprüngliche Bindemittel-Zuschlagverhältnis wieder.

in Volumenprozent über stereologische Kalkulationen wie sie MERTENS / ELSÉN, MARINONI ET AL. und CASADIO ET AL. empfehlen wurde nicht durchgeführt.²²⁶ Aufgrund der Inhomogenität der Kornformen (Sphärizitäten von 0,3 – 0,9 sowie polymorphe, amöbenartige Formen) hätte dies zu keinem realistischen Ergebnis geführt.

Alle Ergebnisse und Messbilder der digitalen Bildanalyse wurden pro untersuchtem Fragment in ein Untersuchungsdatenblatt eingetragen (Anhang III).

3.6.1.5 Auswahl der Proben

Für die bildanalytische Untersuchung des Bindemittel-Zuschlagverhältnisses, der Gesamtporosität und des Kalkgallenanteils wurden je vier Dünnschliffe pro Grabbau herangezogen.²²⁷ Für das Grabmonument EN 4 wurden die blau gefärbten Dünnschliffe der Fragmente 3_1, 3_6, 8_3 und 8_4, für das Grabmonument EN 6 die Dünnschliffe der Fragmente 3_7, 7_3, 9_2 und 9_5 gewählt, da diese alle Putzschichten ab der ersten Unterputzlage aufweisen.²²⁸ Besonderes Augenmerk lag auf den Präparaten der Fragmente 8_4 und 9_5, da an diesen die parallelen Untersuchungen des Säureaufschlusses durchgeführt wurden. Entsprechend wurde auch der Carbonatanteil an den Dünnschliffen dieser Fragmente bestimmt.²²⁹

Aufgrund der sich bei der Phasensegmentierung abzeichnenden Problematiken hinsichtlich der Ergebnisqualität der Messung der Korngrößenverteilung mittels Bildanalyse wurden diese Werte für die Unterputze nur an einem Dünnschliff des Grabbaus EN 4 durchgeführt.²³⁰ Dafür wurde der Dünnschliff des Fragments 8_4²³¹ gewählt, da dieses auch für die Methode der Siebanalyse herangezogen wurde. Ziel der Messung war die Gewinnung von Referenzdaten für den Methodenvergleich. Als direkt aus der Bildanalyse gewonnene Referenz wurde an diesem Präparat zudem die Referenzmessung der Korngrößenverteilung vorgenommen, deren Daten aus den zeitintensiv manuell in Photoshop nachbearbeiteten Messbildern generiert wurden. Die Ermittlung der Korngrößenverteilung der Oberputze wurde nur an einem Dünnschliff pro Grabbau durchgeführt.²³² Für den Grabbau EN 4 wurde erneut das Präparat des Fragments 8_4 herangezogen, für EN 6 das Präparat des Fragments 9_5.²³³ Die Wahl dieser Fragmente resultiert aus deren paralleler Untersuchung mittels Siebanalyse.

226 CASADIO / CHIARI / SIMON 2005, p. 685; MERTENS / ELSÉN 2006, p. 1456; MARINONI ET AL. 2005, p. 1618.

227 Probennummer EN 4: 3_1_2, 3_6_1, 8_3_1, 8_4_2; EN 6 3_7_2, 7_3_2, 9_2_1, 9_5_2.

228 Dünnschliffe EN 4: 3_1_2, 3_6_1, 8_3_1, 8_4_2; EN 6: 3_7_2, 7_3_2, 9_2_1, 9_5_2.

229 Im zeitlichen Rahmen dieser Arbeit war es nicht möglich den Carbonatgehalt aller Dünnschliffe zu bestimmen.

230 Die Wahl eines Präparates des Grabmonuments EN 4 resultierte aus dem bereits makroskopisch erkennbaren Unterschied in der Korngrößenverteilung der zwei Unterputzschichten, wobei die Korngrößenverteilung der ersten Unterputzschicht nach makroskopischer Untersuchung in etwa jener der drei Unterputzschichten des Grabbaus EN 6 entspricht.

231 Dünnschliff 8_4_2.

232 Da die Korngrößenverteilungen nur aus einem Dünnschliff pro Grabbau gewonnen wurden, war die Anzahl der untersuchten Zuschlagskörner pro Putzschicht und Maschenweite teilweise sehr gering. Dies hat einen erhöhten absoluten Fehler der Messung zur Folge.

233 Dünnschliff EN 4: 8_4_2; Dünnschliff EN 6: 9_5_2.

3.6.2 Bestimmung des carbonatischen Anteils mittels Scheibler-Apparat

Ziel und Kurzbeschreibung

Die CO₂-Analyse ermöglicht eine Einschätzung des Gesamtcarbonatgehaltes²³⁴ über geringe Probenmengen. Die Bestimmung des Gesamtcarbonatgehaltes erfolgte über die gasometrische CO₂-Analyse mittels Scheibler-Apparat²³⁵. Das Verfahren ist formuliert als Kalkgehaltsbestimmung von Bodenproben in DIN 18129:2011²³⁶. Es basiert auf dem Prinzip, dass bei Reaktion von Salzsäure mit Carbonaten (vorherrschend Calcit und Dolomit)²³⁷ gasförmiges Kohlendioxid freigesetzt wird.²³⁸ Die Umrechnung auf den Gesamtcarbonatgehalt erfolgt über die molare Masse von Calcit nach folgender Reaktionsgleichung:



Beschreibung der Apparatur und des Verfahrens

Die volumetrische Bestimmung des freigesetzten CO₂ kann durch verschiedene Ausführungen von Gasometern erfolgen.²⁴⁰ Die in dieser Arbeit verwendete Ausführung der Scheibler-Apparatur (Abb. 79) entspricht im Wesentlichen der in DIN 18129:2011 aufgeführten schematischen Darstellung eines Gasometers, zurückgehend auf die Beschreibung des Apparates bei FRESSENIUS²⁴¹ (Abb. 78). Er besteht aus dem Gasentwicklungsgefäß, verbunden über Stopfen und Schlauch mit dem Gasaufnahmegefäß, der u-förmigen Gasbürette, bestehend aus einem offenen Zylinder und einem Messzylinder, sowie einem Wassergefäß mit Mundstück.

Die Ausführung der Messung erfolgte in Anlehnung an DIN 18129:2011 mit Ausnahme der verwendeten Probenmengen. Die zu prüfende Probenmenge richtet sich nach der Größe der Apparatur bzw. der verwendeten Gasbürette und dem Carbonatgehalt der Probe. Das hier verwendete Gerät des Fachlabors für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege ist auf eine Probenmenge von ca 0,1 g beschränkt, bei rein carbonatischen Proben ca. 0,05 g.²⁴² Von den getrockneten, für die Ermittlung des säureunlöslichen Zuschlags bestimmten Putzproben wurden jeweils ca. 1 g Probenmaterial (Bindemittel und Zuschlag) entnommen und mittels Mörser fein zermahlen. Die Probenmenge je zu prüfender Schicht sollte Mehrfachbestimmungen erlauben und annähernd das Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis repräsentieren.²⁴³ Zur Messung des Carbonatgehaltes wird die Probe (m_p) auf den Boden des Gasentwicklungsgefäß gegeben zusammen mit einem offenen, mit Salzsäure (c = 1 mol/L) gefüllten Gläschen.²⁴⁴ Die Salzsäure ist im Verhältnis zur Probenmenge mit einem Volumen von 5 ml im Überschuss

234 Die Bezeichnung "Gesamtcarbonatgehalt" ist in Bezug auf die Messung korrekt, nicht aber in Bezug auf die Umrechnung (s. Fehlerquellen).

235 Der Apparat ist benannt nach Dr. C. SCHEIBLER, welcher die Apparatverwendung formulierte in: SCHEIBLER: *Anleitung zum Gebrauch des Apparates zur Bestimmung der kohlensauren Kalkerde in der Knochenkohle*, Berlin 1862, siehe: FRESSENIUS 1875, S. 452.

236 DIN 18129:2011: *Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Kalkgehaltsbestimmung*.

237 DIN 18129:2011.

238 Vgl. JEDRZEJEWSKA 1960, p. 132.

239 DIN 18129:2011.

240 Vgl. FRESSENIUS 1875, S. 452 – 456; LUNGE / BERL 1993, S. 178 – 184.

241 Eine ausführliche Beschreibung des Apparates findet sich bei FRESSENIUS 1875, S. 452 – 456.

242 Mit den in der Bodenkunde üblichen Scheibler-Apparaten werden Probenmengen von ca. 2 – 10 g geprüft. Vgl. SCHLICHTING / BLUME / STAHR 1995, S. 145; DIN 18129:2011 gibt Probenmengen von 0,3 bis 5 g an.

243 Zur Repräsentativität der Probenmenge siehe Kap. 4.4.2.

244 Vorgangsbeschreibung vgl. DIN 18129:2011.

vorhanden.²⁴⁵ Zu Beginn der Messung wird die Wassersäule in den Zylindern durch Luftzufuhr über das Mundstück in das Wassergefäß auf die Nullmarke der Messskala gebracht (Abb. 80 (a)). Vor dem Auslösen der Reaktion werden alle Ventile sowie der Stopfen des Gasentwicklungsgerätes geschlossen (Dichtigkeit). Die dadurch entstehende Druckveränderung verändert den Wassersäulenstand (Abb. 80 (b)), welcher durch anschließenden Druckausgleich (Luftzufuhr durch kurzes Öffnen des Ventils an der Gasauffangflasche) wieder auf die Nullmarke nivelliert wird (Abb. 80 (c)). Die Reaktion wird durch Umkippen des Säureglases im Gasentwicklungsgefäß ausgelöst. Die Vollständigkeit der Reaktion wird durch wiederholtes Schütteln des Glases in kreisender Bewegung garantiert. Zu Vermeidung des Einflusses von Handwärme ist das Gasentwicklungsgefäß mit Polystyrol umhüllt. Der entstehende Druck durch Freisetzung des CO₂-Gases verschiebt den Stand der Wassersäule in Richtung der Zylinderöffnung (Abb. 80 (d)). Das Volumen des Gases ist nach Nivellierung der Wassersäulen durch Luftzufuhr und Ablassen von Wasser an der Messskala abzulesen (Abb. 80 (e)).

Der Skalenwert wurde nach 10 min sowie bei den ersten Messungen zusätzlich nach 20 min Reaktionszeit abgelesen.²⁴⁶ Da bei nahezu allen Proben nach ca. 2 min keine weitere Volumenveränderung abzulesen war,²⁴⁷ wurde die Messzeit für alle Proben auf 10 min reduziert. Die Messungen wurden bei Raumtemperatur von (25 ± 2) °C durchgeführt.

Auswertung und Darstellung der Ergebnisse

Die Berechnung des Gesamtcarbonatgehaltes erfolgte auf drei verschiedene Weisen je nach Berücksichtigung der Umgebungsbedingungen. Die erste Variante erfolgt über das Molvolumen des idealen Gases. Sie stellt eine vereinfachte Form der Berechnung dar ohne Berücksichtigung von Temperatur und Luftdruck (1) .

Die zweite Variante nach der von SCHLICHTING ET AL. aufgestellten Gleichung (2), in welcher vergleichend zu DIN 18129 der zur Messzeit vorherrschende Luftdruck und die Raumtemperatur bei vom Normzustand (0 °C und 1,01325 bar) abweichenden Umgebungsbedingungen einkalkuliert wird.²⁴⁸ Da der Luftdruck zum Zeitpunkt der Messung nicht bekannt war, wurde Normluftdruck angenommen. Die Raumtemperatur zum Messzeitpunkt betrug 25 °C.

Bei Variante drei wurde ein Korrekturfaktor eingesetzt (3). Der Faktor (0,7715) stellt die Differenz zwischen Istwert (129,6 %) und Sollwert (100 %) der Referenz Ulmer Weiß (reines CaCO₃) dar. Der Korrekturfaktor wurde auf die Ergebnisse von Gleichung (2) angewandt.

$$(1) m_{\text{Calcit}} [\text{mg}] = V / 22,4 \times 100$$

$$\text{CaCO}_3\text{-Gehalt} [\%] = m_{\text{Calcit}} / (m_0 \times 10)$$

$$(2) \text{CaCO}_3\text{-Gehalt} [\%] = (V \times p \times 0,1204) / [(273 + T) \times m_0] \times 1,66$$

$$(3) \text{CaCO}_3\text{-Gehalt} [\%] = (V \times p \times 0,1204) / [(273 + T) \times m_0] \times 1,66 \times 0,7715$$

245 Stoffmengenkonzentration und Volumen der Salzsäure sind abweichend von DIN 18129:2011 (2 mol/l und 10 ml). Die benötigte Konzentration und das Volumen richten sich nach der Probenmenge. SCHLICHTING / BLUME / STAHR geben für 2 – 10 g Probe 20 ml HCl (10 %ig) an. SCHLICHTING / BLUME / STAHR 1995, S. 145.

246 Bei größeren Probenmengen erhöht sich die Reaktionszeit. SCHLICHTING / BLUME / STAHR geben den Zeitpunkt der Ablesung mit Abschluss der CO₂-Entwicklung mit zwischen 10 – 40 min an. SCHLICHTING / BLUME / STAHR 1995, S. 145.

247 Die Reaktionszeit ist abhängig von der vorhandenen Carbonatphase (Dolomit wird langsamer gelöst) und von der Probenmenge. Probenmengen von über 0,1 g zeigten auch nach 10 min leichte Volumenveränderungen. Vgl. DIN 18129:2011. Nach DIN 18129 ist die Höchstdauer der Messung nach 30 min erreicht; Aufgrund der unterschiedlichen Löslichkeiten bzw. Reaktionsdauern ist es theoretisch möglich, durch Messung in Zeitintervallen auf Gehalte an Dolomit zu schließen. Die Messung erlaubt jedoch nur eine grobe Differenzierung. SCHLICHTING / BLUME / STAHR 1995, S. 145.

248 SCHLICHTING / BLUME / STAHR 1995, S. 145.

mit $V = \text{CO}_2$ in ml, $T = \text{Raumtemperatur}$ in K, $p = \text{Luftdruck}$ in mm Hg und $m_0 = \text{Einwaage}$ in g.

Die Ergebnisse sind tabellarisch sowie grafisch mittels Säulendiagrammen dargestellt (Abb. 212, 213).

Fehlerquellen

Die Fehlerquellen der CO_2 -Analyse können in drei Kategorien unterteilt werden:

- Messfehler während der Durchführung
- Messfehler verursacht durch Umgebungsbedingungen
- Auswerte- bzw. Interpretationsfehler durch Berechnung

Messfehler während der Durchführung beginnen bereits mit der Probenauswahl und -aufbereitung. Aufgrund der geringen Probenmengen können die Proben je nach Homogenität des Mörtels nicht das statistische Komponentenverhältnis des Gesamtputzes repräsentieren.²⁴⁹ Dies steht zudem in Abhängigkeit von der Korngröße, da von Mörteln größeren Zuschlags (Grab EN 4, Schicht 2) größere Proben entnommen werden müssten.²⁵⁰ Repräsentative Proben wären fein aufgemahlene Zuschlag-Bindemittel-Mehle von mindestens 10 g, was in keinem Verhältnis steht zu den benötigten Messmengen von ca. 0,1 g. Fehler während des Messvorgangs beziehen sich auf einzelne Schritte. Berücksichtigt werden muss, dass Teile des Probenmehls beim Einfüllen in das Gasentwicklungsgefäß am Flaschenrand haften bleiben können und nicht in Kontakt mit Salzsäure geraten. Des Weiteren verbirgt das Nivellieren der Flüssigkeitssäulen vor dem Ablesen des Messwerts einen gewissen Spielraum.²⁵¹ Wichtig ist die Überprüfung der Dichtigkeit des Geräts vor den Messungen. Das Sinken des Flüssigkeitsstandes während der Messung wegen undichter Stellen (Schläuche, Anschlüsse, Ventile) führt zu erhöhten Messwerten.²⁵²

Gewichtig und vermutlich Hauptfehlerquelle ist der Einfluss der Umgebungsbedingungen.²⁵³ Luftdruckschwankungen und geringe, plötzliche Temperaturveränderungen (Luftzug, Handwärme etc.) können bei aufeinanderfolgenden Prüfungen des gleichen Probenmaterials zu sich erheblich unterscheidenden Messwerten führen (vgl. 9_5_7_1).²⁵⁴ Voraussetzung für die präzise Gasanalyse nach DIN 18129:2011 ist die Einstellung von Normaldruck (1,01325 bar) und -temperatur (273 K) in der Prüfumgebung.²⁵⁵ Alternativ empfehlen FRESENIUS sowie SCHLICHTING ET AL. das Dokumentieren von Druck und Temperatur während der Messung.²⁵⁶

249 Vgl. JEDRZEJEWSKA 1960, p. 135.

250 JEDRZEJEWSKA schildert das Problem bei groben Mörteln, stellt aber keine Zahlen-Abhängigkeit zwischen Korngröße und Probenmenge her. JEDRZEJEWSKA 1960, p. 136.

251 Bei der JEDRZEJEWSKA-Methode liegt der Fehler bei +/- 0,5 ml CO_2 . JEDRZEJEWSKA 1960, p. 135.

252 ZSIGMONDY / JANDER 1920, S. 9.

253 Bereits FRESENIUS empfahl, den Scheibler-Apparat in »einen Raum von möglichst constant bleibender Temperatur« zu stellen und darauf zu achten, dass er nicht von direkter Sonnenstrahlung oder sonstiger Wärmestrahlung beeinflusst wird, da »plötzliche Temperaturveränderungen während der Versuche« die Genauigkeit beeinflussen. Des Weiteren machte er darauf aufmerksam, die Gasentwicklungsflasche zur Vermeidung potenzieller Erwärmung am Flaschenhals zu greifen, um die Reaktion auszulösen. FRESENIUS 1875, S. 454. Vgl. hierzu SCHLICHTING / BLUME / STAHR 1995, S. 145.

254 Der Einfluss von Temperatur und Druck auf das Volumen eines Gases ist mit der idealen Gasgleichung beschrieben: $p \times V = n \times R \times T$, mit $P = \text{Druck}$, $V = \text{Volumen}$, $n = \text{Stoffmenge}$, $R = \text{Gaskonstante}$, $T = \text{Temperatur}$.

255 Vgl. hierzu die Empfehlungen von: ZSIGMONDY / JANDER 1920, S. 5.

256 FRESENIUS 1875, S. 454; SCHLICHTING / BLUME / STAHR 1995, S. 145.

Auswerte- und Interpretationsfehler basierend auf der Berechnung ergeben sich nur bei Anwesenheit unterschiedlicher Carbonate. Bei der Messung werden alle in der Probe vorkommenden Carbonate erfasst (Volumen der Summe des freigesetzten CO_2 aller Carbonate). Dahingegen wird der Gesamtcarbonatgehalt vereinfacht auf Calciumcarbonat umgerechnet, in der Annahme, dass diese Verbindung zumindest gesteinsbildend am häufigsten vorkommt.²⁵⁷ JEDRZEJEWSKA schätzt den dadurch entstehenden Fehler als verhältnismäßig gering ein, DIN 18129:2011 als vernachlässigbar.²⁵⁸ Demgegenüber warnen SCHLICHTING ET AL. unter dem Aspekt der unterschiedlichen Massenverhältnisse ($\text{CaCO}_3 : \text{MgCO}_3 : \text{FeCO}_3 = 1 : 0,84 : 1,16$) vor qualitativen und quantitativen Fehlinterpretationen.²⁵⁹ Gleichwie müssten Art und Anteil der Carbonate, insbesondere Dolomit, mit anderen Methoden bestimmt werden.

Probenauswahl

Geprüft wurden die zwei zur Bestimmung des säurelöslichen Rückstands vorgesehenen Proben des Grabes EN 4 (8_4) und EN 6 (9_5). Von beiden Fragmenten wurden Proben aller Schichten von ca. 1 g entnommen. Die CO_2 -Bestimmung erfolgte mit insgesamt 22 Messgängen jeweils mindestens drei mal pro Probe. Als Referenz wurden zwei reine calcitische Pulver geprüft.

3.6.3 Selektive Trennungsgänge

Auswahl der Proben

Nasschemischer Säureaufschluss, elektrodynamische Fragmentierung sowie anschließendes Siebverfahren wurden an zwei großen Fragmenten von Grab EN 4 (8_4) und EN 6 (9_5) durchgeführt (Tab. 6). Beide Fragmente wurden bereits hinsichtlich mehrerer Eigenschaften untersucht (Anhang IV). Kriterium war insbesondere die parallele Bestimmung der Komponentenverhältnisse durch digitale Bildanalyse.

Grab	Fragmentnr.	Gesamtmasse lufttrocken [g]	Probennr.	Schicht	Trockenmasse [g]	Massenanteil an Gesamtmasse [%]
EN 4	8_4	341,8	8_4_6_1	Unterputz, Schicht 1	94,7	28
			8_4_6_2	Unterputz, Schicht 2	194,7	57
			8_4_6_3	Oberputz, Schicht 3	47,2 (27,3) ^{*)}	14
EN 6	9_5	275,3	9_5_6_1	Unterputz, Schicht 1	39,9	15
			9_5_6_2	Unterputz, Schicht 2	86,0	31
			9_5_6_3	Unterputz, Schicht 3	39,8	15
			9_5_6_4	Oberputz, Schicht 4	100,0 (69,8) ^{*)}	36

Tab. 6: Auswahl der Proben für Säureaufschluss und elektrodynamische Fragmentierung. Für das Siebverfahren wurden die selben Probennummern verwendet. *) tatsächlich fragmentierte Masse.

257 Nach SCHLICHTING / BLUME / STAHR kommen gesteinsbildende Carbonate meist als Calcit, (CaCO_3), seltener Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) und in geringen Mengen als Verbindungen mit anderen Metallen vor wie etwa Siderit (FeCO_3). SCHLICHTING / BLUME / STAHR 1995, S. 144.

258 JEDRZEJEWSKA 1960, p. 136; DIN 18129:2011.

259 Auch Sulfide können das Ergebnis beeinträchtigen, da durch freigesetztes H_2S der Gasdruck erhöht wird. SCHLICHTING / BLUME / STAHR 1995, S. 146.

3.6.3.1 Nasschemischer Säureaufschluss

Kurzbeschreibung und Ziel

Der nasschemische Säureaufschluss ermöglicht die Bestimmung des Verhältnisses zwischen säureunlöslichem Rückstand und dem säurelöslichen, überwiegend carbonatischen Anteil²⁶⁰ des Mörtels. Das Verfahren basiert auf der vollständigen Auflösung der säurelöslichen Mörtelanteile durch Salzsäure (Reaktion für den calcitischen Anteil s. Reaktionsschema Kap. 3.6.2). Der verbleibende Rückstand besteht größtenteils aus nicht löslichem Zuschlagsanteil und einem möglichen Anteil an Reaktionsprodukten des Bindemittels mit dem Feinanteil des Zuschlags (säurebeständige Calciumsilikate und C-S-H-Phasen). Säurelösliche, nicht carbonatische Phasen sowie das zu Calciumsilikat(hydraten) reagierte $\text{Ca}(\text{OH})_2$ können durch das hier angewandte Verfahren nicht unterschieden werden (vgl. Kap. 3.2). Die resultierenden Massenanteile liefern eine Einschätzung des Bindemittel-Zuschlag-Verhältnisses des Festmörtels sowie durch Rückrechnung des ursprünglichen Frischmörtels (Kap. 4.4.3). Ferner kann der verbleibenden Rückstand auf Kornform, Korngrößenverteilung und Sieblinie untersucht werden.

Verfahrensbeschreibung

Zur Bestimmung des säureunlöslichen Rückstands wurden die Schichten der Fragmente mechanisch durch schrittweisen Abtrag getrennt (Abb. 81 – 86). Anschließend erfolgte die einwöchige Trocknung bis zur Massenkonstanz bei 40 °C. Die getrockneten Proben wurden in geschlossenen Behältern mit Silikagel zur Abkühlung auf Raumtemperatur bis zur Bestimmung der Trockenmasse durch Wägung ($m_{\text{dAusgangsmasse}}$) gelagert. Für den Aufschluss²⁶¹ wurden die Proben in Kunststoff-Erlenmeyerkolben gegeben. Je nach Probenmasse wurde schrittweise unterschiedlich verdünnte Salzsäure (1 mol/l und 6 mol/l) verschiedenen Volumens zugegeben, um ein Überlaufen durch zu heftige Reaktion zu vermeiden. Das zugegebene Gesamtvolumen je nach Konzentration der Säure wurde notiert (Anhang III).²⁶² Nach etwa 24-stündiger Überdeckung mit Säure und Lagerung auf einem Schüttler wurden die Lösungen über Papierfilter und Filternutsche mittels Wasserstrahlpumpe abgesaugt (Abb. 87, 88).²⁶³ Der Rückstand wurde mehrmals mit entionisiertem Wasser gewaschen und anschließend eine weitere Woche bis zur Massenkonstanz getrocknet ($m_{\text{dRückstand}}$).²⁶⁴ Die Durchführung erfolgte im Fachlabor – DR. WENDLER – für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege sowie im Lehrstuhl für Restaurierung, Kunsttechnologie und Konservierungswissenschaft der Technischen Universität München.

Auswertung und Darstellung

Die Berechnung des Verhältnisses zwischen säurelöslichem und -unlöslichem Anteil bezogen auf die Ausgangstrockenmasse erfolgte nach folgenden Gleichungen:

260 Der säurelösliche Anteil kann nicht carbonatische Verbindungen enthalten (s. folgende Kap.).

261 Der Säureaufschluss ist bisher nicht standardisiert und ist im Hinblick auf Temperatur, Einwirkdauer und Säurekonzentration unterschiedlichst veröffentlicht. SIMON 2003, S. 180; Das hier angewendete Verfahren basiert auf den Erfahrungen des Fachlabors für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege.

262 Das Verfahren ist nicht standardisiert und es finden sich unterschiedliche Angaben zu Säure-Konzentration und -Volumen. MEHLMANN schlägt 100 ml verdünnte Salzsäure (1 VT konzentrierte HCl + 3 VT ention. Wasser) auf 10 g Probe vor. MEHLMANN 1993, S. 43.

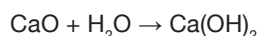
263 Vgl. WISSER / KNÖFEL 1987, S. 125.

264 Das Wasser wurde nach der Segmentation mittels Pipette abgesaugt (Abb. 89).

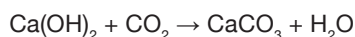
$$\text{HCl-unlöslicher Rückstand [m-\%]} = m_{\text{dRückstand}} / m_{\text{dAusgangsmasse}} \times 100$$

$$\text{Säurelöslicher Anteil [m-\%]} = 100 \% - \text{HCl-unlöslicher Rückstand}$$

Die Rückrechnung auf Calciumoxid erfolgte über die molaren Massen nach folgenden Reaktionsschemata. Dabei wird vereinfacht davon ausgegangen, dass es sich bei dem säurelöslichen Anteil vollständig um Calciumcarbonat handelt.



wobei: CaO entspricht ca. 75,7 % von Ca(OH)_2



wobei: Ca(OH)_2 entspricht ca. 74 % von CaCO_3

Die ermittelten Verhältnisse werden in Massenprozent mittels Säulendiagramm dargestellt (Abb. 214, vgl. 215). Die mittels der digitalen Bildanalyse berechneten Anteile an carbonatischem Zuschlag und Kalkgallen werden in die Berechnung einbezogen und tabellarisch aufgelistet (Tab. 11).

3.6.3.2 Elektrodynamische Fragmentierung

Kurzbeschreibung Funktionsprinzip

Bei der elektrodynamischen Fragmentierung handelt es sich um ein Hochleistungsimpulsverfahren. Sie ermöglicht die selektive Trennung von heterogenen Festkörpern in seine Bestandteile.²⁶⁵ Das Prinzip basiert auf der Erzeugung einer elektrischen Impulsentladung in einen dielektrischen Festkörper mit einer Energie von 10 – 100 J/cm innerhalb nur weniger Mikrosekunden. Eingesetzt werden kapazitive Energiespeicher, welche einen schnell ansteigenden Spannungsimpuls von einigen hundert Kilovolt liefern. Dabei werden im Zündkanal eine Temperatur von über 10^4 K und Druck von 1 – 10 GPa erreicht, wodurch eine Druckwelle ausgestoßen wird, welche den Festkörper, der sich zwischen der Stabelektrode und Plattenelektrode befindet, zersetzen kann. Voraussetzung für die Effektivität der Entladung ist, dass sich der Festkörper in einer dielektrischen Flüssigkeit mit größerer Durchschlagsfestigkeit und hoher Dielektrizitätskonstante, z. B. Wasser, befindet. Durch Reduktion der Anstiegszeit des Spannungsimpulses unter ca. 500 ns ist die Durchschlagsfestigkeit von Wasser höher als die des Festkörpers und die elektrischen Feldlinien werden in den Festkörper gelenkt.²⁶⁶

Prinzipiell kann durch elektrodynamische Fragmentierung Material zerstört, zu kleineren Korngrößen zermahlen oder im Falle von Verbundmaterialien entlang von Grenzflächen unter Beibehaltung der Unversehrtheit bestimmter Komponenten zerteilt werden. Letzteres wird durch drei Phänomene erzielt: Wenn sich die dielektrischen Eigenschaften der Partikel bzw. Einschlüsse von der umgebenden Matrix unterscheiden, kann die erhöhte elektrische Feldstärke die Entladungsbahn in Richtung Partikel anziehen, wo sie sich entlang der Phasengrenzen fortsetzt. Desweiteren können sich von der Entladungsbahn ausgehende Risse um die Korngren-

265 Fraunhofer-Institut für Bauphysik 2016: *Informationsblatt zur Elektrodynamischen Fragmentierung*.

266 BLUHM 2006, S. 281 ff; Fraunhofer-Institut für Bauphysik 2016: *Informationsblatt zur Elektrodynamischen Fragmentierung*.

zen eines Partikels verzweigen, abhängig vom Einfallswinkel. Dies setzt unterschiedliche mechanische Eigenschaften von Partikel und Matrix voraus. Das dritte Phänomen ist die Separation durch Druckwellen, welche am Partikel gebrochen und rückgestrahlt werden. Dabei entstehende Druck- und Zugspannungen können das Korn von der Matrix trennen.²⁶⁷

Ziel und allgemeine Anwendung

Grundsätzlich setzt die elektrodynamische Fragmentierung entlang von Korngrenzen die Heterogenität eines Materials voraus. Ihre Einsatzgebiete liegen deshalb in der Auftrennung von Verbundwerkstoffen wie Beton, Schlacken oder elektronischem Gerät, deren Bestandteile nahezu vollständig recycelt werden können. In Anbetracht des Vorteils der abriebslosen Zerteilung könnte die elektrodynamische Fragmentierung als alternatives Verfahren zu mechanisch-manuellen Methoden zur Komponentenerlegung von Mörteln mit carbonatischem Zuschlag von Bedeutung sein. In Verbindung mit einer anschließenden Siebanalyse kann die Korngrößenverteilung des Mörtels bestimmt werden. Rückschlüsse auf ein Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis sind begrenzt möglich, da im Unterschied zum Säureaufschluss das Bindemittel erhalten bleibt oder nur teilweise in Lösung²⁶⁸ geht und nicht über die Massendifferenz zum Zuschlag berechnet werden kann. Eine Abschätzung des B/Z-Verhältnisses ist bei erfolgreicher Trennung möglich, insofern das Bindemittel ausschließlich in den Feinfraktionen²⁶⁹ vorhanden ist.

Vorgehensweise

Die Vorgehensweise bezieht sich auf die experimentellen Erfahrungen mit verschiedenen Verbundwerkstoffen (Beton, Schlacke etc.) und der Fragmentierung von nachgestellten römischen Putzen²⁷⁰ im Fraunhofer Institut für Bauphysik.

Die elektrodynamische Fragmentierung wurde mit der im Fraunhofer Institut für Bauphysik Holzkirchen befindlichen Anlage durchgeführt (Abb. 90, 91). Die Oberputzproben²⁷¹ wurden auf der unteren Elektrode im Behälter platziert (Abb. 92), welcher anschließend mit Wasser gefüllt wurde. Als Grundeinstellungen²⁷² für die Zerlegung wurden die Pulsfrequenz f von 5 Hz²⁷³ und die Pulsspannung U von 150 kV²⁷⁴ gewählt. Die Fragmentie-

267 BLUHM 2006, S. 286 – 288; Fraunhofer-Institut für Bauphysik 2016: *Informationsblatt zur Elektrodynamischen Fragmentierung*.

268 Wasserlösliche Bestandteile des Bindemittels sind nicht auszuschließen.

269 Bei rein mechanischen Trennverfahren werden Korngrößen unter 150, 60 oder 35 μm dem Bindemittel zugeschrieben. SIMON 2003, S. 180, 181.

270 Die Putze wurden im Rahmen der Workshops "Experimentelle Archäologie – Zur Glättung antiker römischer Putze und Rekonstruktion" (Nov. 2010 und Okt 2011) hergestellt. Vgl. THIEMANN ET AL. 2014, S. 201 – 224.

271 Nicht berücksichtigt wurde, dass die Oberputze eventuell aus mehreren Schichten bestehen. Die mikroskopischen Verfahren lieferten über das Schichtensystem des Oberputzes uneindeutige Ergebnisse. Hinsichtlich der starken Verzahnung im Falle mehrere Schichten wäre eine Schichtentrennung kaum möglich gewesen.

272 Vorteilhaft ist, dass die Energie-Parameter des Impulsgenerators variiert werden können und an die physikalisch-mechanischen Eigenschaften des Probenmaterials angepasst werden können. Wegen der Komplexität von Verbundmaterialien müssen die geeigneten Parameter experimentell für jedes Material bestimmt werden, um garantieren zu können, dass Partikel unversehrt von der Matrix getrennt werden. BLUHM 2006, S. 286 – 288.

273 Nach BLUHM sollte die Frequenz wegen störender Gasblasenbildung während der Hochspannungsentladung nicht höher als 10 Hz betragen. BLUHM 2006, S. 288.

274 Je nach zu trennendem Material werden Pulsspannungen von ein paar hundert Kilovolt erfordert. BLUHM 2006, S. 288. Die hier angelegte Spannung von 150 kV ist vergleichsweise niedrig gewählt. Pulsspannung und -zahl für die Auftrennung von ca. 500 g Müllverbrennungsschlacke mit der im Fraunhofer IBP befindlichen Anlage liegen in der Regel um $U = 160 - 180 \text{ kV}$ und $PZ = 50$.

zung einer Probe erfolgte in mehreren Durchgängen. Bei der Probe der geringeren Masse und Stärke (8_4_6_3) fanden drei Durchgänge der Pulszahl von 1 statt (entspricht insgesamt 3 Impulsen), bei Probe 9_5_6_3 zwei Durchgänge der Pulszahl von 5 (10 Impulse). Nach dem jeweils ersten Fragmentierungsdurchgang wurde die Fraktion unter 2 mm nass ausgesiebt und der Rückstand nach freigelegten Körnern und größeren, unzerlegten Bindemittel-Zuschlag-Agglomeraten sortiert. Letztere wurden für den zweiten Durchgang zurück in den Behälter gegeben. Die fragmentierten Proben wurden anschließend zur Ermittlung der Korngrößenverteilung gesiebt (Kap. 3.6.3.3)

Darstellung und Auswertung

Zur Darstellung und Auswertung der Ergebnisse s. Kap. 3.6.3.3.

Fehlerquellen

Die Fehlerquellen liegen insbesondere in der Einstellung der Energie-Parameter. Werden Spannung und Pulszahl ungeeignet gewählt, findet entweder keine ausreichende Fragmentierung statt oder die Separierung findet vermehrt nicht entlang der Korn-Matrix-Grenzen, sondern entlang innerhalb der Körner liegenden Rissen, Grenz- und Spaltflächen statt. Bei der Fragmentierung kann es aufgrund des hohen Wassereinsatzes in Relation zur geringen Probenmenge zu größeren Massenverlusten kommen.

3.6.3.3 Siebverfahren

Ziel und Kurzbeschreibung

Das Siebverfahren ermöglicht die Erstellung von Sieblinien und Korngrößenverteilungen. Anhand von Sieben standardisierter Maschenweiten (DIN 3310-1) werden die einzelnen Kornfraktionen getrennt. Die Siebverfahren sind unter anderem in DIN EN 933-1:2012, DIN EN 933-2:1995, DIN 66165-1:1987, DIN 66165-2:1987 geregelt.²⁷⁵

Vorgehensweise Unterputz

Die in Kap. 3.6.3.1 getrockneten und gewogenen Rückstandsproben (9_5_6_1, -2, -3 und 8_4_6_1, -2) entsprechen der Ausgangsmasse für die Korngrößenverteilung. Aufgrund langer Trocknungszeiten im Falle einer Nasssiebung wurde das Trockensiebverfahren nach DIN 66165-2:1987 angewandt. Verwendet wurden nach DIN 3310-1²⁷⁶ standardisierte Analysensiebe mit Metalldrahtgewebe mit quadratischen Maschenweiten entsprechend der in DIN EN 933-2:1995 angegebenen Nennöffnungsweiten (4 mm; 2 mm; 1 mm; 0,800 mm; 0,500 mm; 0,315 mm; 0,250 mm; 0,125 mm; 0,063 mm).²⁷⁷ Die Proben wurden mittels Handsiebung in Kombination von Satz- und Einzelsiebung gesiebt.²⁷⁸ Der Feinanteil erschwerte die Siebung, da dieser durch die Trocknung

²⁷⁵ DIN EN 933-1:2012: *Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 1: Bestimmung der Korngrößenverteilung – Siebverfahren*; DIN EN 933-2:1995: *Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 2: Bestimmung der Korngrößenverteilung – Analysensiebe, Nennmaße der Sieböffnungen*; DIN 66165-1:1987: *Partikelgrößenanalyse – Siebanalyse – Grundlagen*; DIN 66165-2:1987: *Partikelgrößenanalyse – Siebanalyse – Durchführung*.

²⁷⁶ DIN ISO 3310-1: *Analysensiebe – Anforderungen und Prüfung – Teil 1: Analysensiebe mit Metalldrahtgewebe*.

²⁷⁷ Die Maschenweiten 0,315 mm und 0,800 mm fehlen in der Angabe der Norm, jedoch mit Verweis auf die Möglichkeit, weitere Maschenweiten miteinzubeziehen. Da die Korngrößen der Proben überwiegend unterhalb 4 mm liegen, sind statt darüberliegenden Maschenweiten die beiden genannten zusätzlich verwendet. DIN EN 933-2:1995.

²⁷⁸ Vgl. DIN 66165-2:1987: *Partikelgrößenanalyse – Siebanalyse – Durchführung*.

der mit Wasser gesättigten Proben verklumpt war. DIN 66165-1:1987 weist auf die Agglomeratbildung von feinen Partikeln hin und nennt neben dem Zusatz oberflächenaktiver Stoffe und der Nasssiebung empfehlend das vorherige Entfernen des Feinbestandes. Eine Nasssiebung und das nasse Entschlännen des Feinbestandteils wurde zu diesem Zeitpunkt nicht mehr in Betracht gezogen.²⁷⁹ Anstattdessen wurde der Siebrückstand jeder Fraktion überprüft und die Verklumpungen manuell gelöst. Der Feinanteil wurde klopfend und anhand von Pinseln in die jeweils nächst kleinere Fraktion überführt.²⁸⁰ Die Beendigung der jeweiligen Einzelsiebung erfolgte durch die in DIN 66165-1:1987 formulierte „*augenscheinliche [...] Betrachtung des Rückstandes während der Siebung [...] durch deutliches Rieselig-werden oder durch Farbtonänderung*“. Die Siebdauern für die einzelnen Fraktionen variierten zwischen ca. 5 und 30 min, die Gesamtsiebzeiten betragen max. drei Stunden für eine Probe. Die Bestimmung der Sieblinie und Korngrößenverteilung in Massenprozent erfolgte nach Trocknung der Fraktionen bei 40 °C bis zur Massenkonstanz²⁸¹ nach DIN EN 933-1:2012.

Vorgehensweise Oberputz

An den Oberputzen (9_5_6_4 und 8_4_6_3) wurde das Nasssiebverfahren mit Kombination von Satz- und Einzelsiebung nach DIN 66165-2:1987 angewandt (Abb. 95), da die Proben nach der elektrodynamischen Fragmentierung bereits nass waren und nicht für die Bestimmung des B/Z-Verhältnis getrocknet werden mussten. Aufgrund der geringen Probenmengen und des Vorhandenseins noch ungetrennter Bindemittel-Zuschlag-Agglomerate (Abb. 93) wurde der Siebsatz auf die Öffnungsweiten von 2 mm, 1 mm, 0,125 mm und 0,063 mm reduziert. Makroskopisch sichtbare Bindemittel-Zuschlag-Agglomerate der Rückstände wurden während der Siebung weitgehend manuell getrennt. Die Auftrennung war bei Probe 9_5_6_4 erfolgreicher als bei Probe 8_4_6_3, deren Agglomerate wesentlich härter waren. Die wässrige Suspension des Feinanteils unter 0,063 mm wurde in einem Behälter aufgefangen und das klare Wasser nach der Sedimentation der Partikel mittels Pipette abgesaugt (Abb. 94). Nach Trocknung der Fraktionen bei 40 °C wurden Sieblinie und Korngrößenverteilung bestimmt. Zusätzlich erfolgte die stereomikroskopische Begutachtung, Kartierung sowie Auszählung der Bindemittel-Zuschlag-Aggregate und nahezu freigelegten Körner zur Beurteilung des Trennungserfolges.

Auswertung und Darstellung der Ergebnisse

Aus den Massen der Siebrückstände wurden Sieblinien und Korngrößenverteilungen berechnet (Tab. 7). Die Sieblinie wurde als Siebdurchgangskurve dargestellt (Abb. 216, 219), berechnet aus dem prozentualen Summenanteil der Durchgänge bezogen auf die Ausgangstrockenmasse m_o . Die Korngrößenverteilungen wurden in Säulendiagrammen dargestellt (Abb. 216 – 219). Die Berechnung erfolgte über den prozentualen Anteil der Rückstandsmassen jeder Fraktion bezogen auf die Summe der Fraktionen m_s (Ausgangstrockenmasse abzügl. Verlust).²⁸² Zu jeder Siebung wurde der Siebverlust in Massenprozent angegeben, welcher nach DIN EN 933-1:2012 nicht mehr als 1 % bezogen auf die Ausgangstrockenmasse betragen darf.

Die Auszählung der Bindemittel-Zuschlag-Aggregate und nahezu freigelegten Körner der Oberputzfraktionen erfolgte an mikroskopischen Aufnahmen. Mittels digitaler Bildanalyse wurden Flächen- und Stückzahlverhältnisse berechnet (Abb. 96 – 101).

279 Vgl. DIN EN 933-1:2012.

280 Vgl. DIN 66165-2:1987.

281 Die Massenkonstanz ist erreicht bei einer Massendifferenz von < 0,1 % bei aufeinanderfolgenden Wägungen von mind. 1 h. DIN EN 933-1:2012.

282 Vgl. DIN EN 933-1:2012; DIN 66165-2:1987.

Korngrößen [mm]	Siebrückstand [g]	Summe der Fraktionen	Korngrößenverteilung [m-%]	Öffnungsweiten Siebdurchgang [mm]	Siebdurchgang [m-%]
> 4,0	R ₁	$\sum R = m_s$	$R_1 / m_s \times 100$	8	$m_s / m_0 \times 100$
2,0 – 4,0	R ₂	.....	$R_2 / m_s \times 100$	4	.....
1,0 – 2,0	R ₃	.....	$R_3 / m_s \times 100$	2	.....
0,800 – 1,0	R ₄	.....	$R_4 / m_s \times 100$	1	.....
0,500 – 0,800	R ₅	.....	$R_5 / m_s \times 100$	0,8	.....
0,315 – 0,500	R ₆	.....	$R_6 / m_s \times 100$	0,5	.....
0,250 – 0,315	R ₇	.....	$R_7 / m_s \times 100$	0,315	.....
0,125 – 0,250	R ₈	R ₁₀ + R ₉ + R ₈	$R_8 / m_s \times 100$	0,25	$(R_{10} + R_9 + R_8) / m_0 \times 100$
0,063 – 0,125	R ₉	R ₁₀ + R ₉	$R_9 / m_s \times 100$	0,125	$(R_{10} + R_9) / m_0 \times 100$
< 0,063	R ₁₀	R ₁₀	$R_{10} / m_s \times 100$	0,063	$R_{10} / m_0 \times 100$

Tab. 7: Berechnungsschema der Sieblinien und Korngrößenverteilungen.

Fehlerquellen

Mit Artefakten muss bereits bei der Aufbereitung der Proben gerechnet werden. Je nach Trennbarkeit der Schichten können durch mechanische Belastung Körner beschädigt werden. Damit verbunden ist auch der Staubverlust, welcher durch Anfeuchten der Proben minimiert werden kann.

Aufgrund der Agglomeratbildung von Feinstpartikeln (ca. < 0,063 mm) der Proben des säureunlöslichen Rückstands ist eine Verschiebung der Massenanteile entweder in Richtung Grobfractionen oder Feinfraktionen möglich. In den gröberen Fraktionen (> 0,5 mm) ließ sich der Feinanteil makroskopisch von Körnern unterscheiden und zerkleinern. Unterhalb von 0,5 mm wurden die Feinpartikel reibend voneinander gelöst. Dadurch sind Verfälschung durch ungetrennte Feinpartikelagglomerate und Abrieb möglich.

Allgemeine Einflussgrößen und Fehlerquellen der Siebanalyse beschreibt DIN 66165-1:1987.²⁸³ Darunter fallen Siebbewegung und -dauer, mit welchen Kornabrieb und -durchgang unmittelbar in Zusammenhang stehen. Werden kurze Siebzeiten und gering kreisende Bewegungen gewählt, ist die Wahrscheinlichkeit des Kornabriebs gering, jedoch auch gleichzeitig die Wahrscheinlichkeit des Durchgangs. Längere Siebzeiten verursachen generell eine Verschiebung der Massenanteile in Richtung Feinkorn. Einen ähnlichen Einfluss haben Masse und Schüttvolumen des Siebguts. Sind jene proportional zum Siebdurchmesser zu hoch, ist die Wahrscheinlichkeit des Durchgangs geringer und die Blockierung der Sieböffnungen durch verklemmte Partikel höher. Ausgleichend müssen längere Siebzeiten gewählt werden, welche wiederum zu erhöhtem Kornabrieb, Formverfälschung und Erhöhung der Feinfraktionanteile führen. Staubverlust bei Trockensiebung und Masseverlust durch verklemmte Partikel können generell nicht verhindert werden. Insbesondere Feinsiebe mit Öffnungsweiten 500 µm können nur vorsichtig mechanisch gereinigt werden, da eine Beschädigung der Maschen wahrscheinlich ist. Bei der Trockensiebung des Unterputzzuschlages ist die Problematik in erster Linie auf das Materialgemisch zurückzuführen. Zum einen ist die Festigkeit der Körner sehr unterschiedlich. Die geeignete Einstellung von Siebdauer und -bewegung nach DIN 66165-1:1987 setzt im Idealfall Monomineralsande bekannter Zusammensetzung voraus. Die vorliegenden Zuschlagsproben sind mehrphasige Materialgemische aus Partikeln mit sehr hohem (z.b. Quarz) und sehr niedrigem Abriebswiderstand (tonige, ziegelige Körner). Zum Anderen befinden

283 DIN 66165-2:1987: *Partikelgrößenanalyse – Siebanalyse – Durchführung.*

sich im Materialgemisch unterschiedliche Kornformen (vgl. mikroskopische Verfahren). Stängelige, nadelige oder schichtige Minerale (hier vorkommend als Ketten-, Schicht-, Band- oder Ringsilikate) werden nach DIN 66165-1:1987 als „*Extremformen*“ bezeichnet. Aufgrund ihrer Form ist die Fraktionszugehörigkeit unklar und gleichgroße Partikel können sich in unterschiedlichen Fraktionen befinden. DIN verweist in diesem Fall auf andere Verfahren, wie etwa Bildanalyse. Aber auch hier besteht das Problem, da die Zuordnung zu einer Fraktion abhängig ist von Lage und Schnittwinkel des Kornes im Schliff.

4 Ergebniss und Auswertung

4.1 Stratigrafie und Gefüge

4.1.1 Grabmonument EN 4²⁸⁴

Die makroskopische Untersuchung der ausgewählten Fragmente zeigte, dass an diesen ein vollständiger Putzaufbau erhalten ist. Dies war am Relief der wandseitigen Unterseite, welche die Unregelmäßigkeiten des Mauerwerks (Fugenbild und Mauersteine) abzeichnen, zu erkennen. Die Fragmente sind teilweise angewittert und weisen an der Unterseite und an den Kanten mehr oder weniger stark ausgeprägten biogenen Bewuchs auf. Die Oberfläche der Fragmente zeigt partiell Unregelmäßigkeiten in Form von Fehlstellen.

Stratigrafie, Schichtenverlauf und Schichtgrenzen

Mittels der makroskopischen und mikroskopischen Untersuchung der Fragmente und Präparate konnte für den Grabbau EN 4 ein mehrschichtiger, dreilagigen Putzaufbau nachgewiesen werden, wobei auf zwei dunklere Unterputzschichten eine helle Oberputzschicht folgt. Schichtstärken und Schichtenverlauf der drei Putzlagen sind unterschiedlich. Der zweite Unterputz ist tendenziell in einer stärkeren Schicht als die erste aufgetragen. Der Oberputz besitzt die dünnste Schichtstärke. Die maximale Gesamtstärke der Putzfragmente beträgt 3,5 cm, davon fallen 0,3 – 1,7 cm der ersten Unterputzlage, 0,2 – 1,8 cm der zweiten Unterputzlage und 0,25 – 0,4 cm dem Oberputz zu. Beide Unterputzschichten weisen in Korrelation zueinander deutlich unregelmäßige Schichtstärken mit Schwankungen bis zu 1,6 cm auf. Die Grenze zwischen den Unterputzen verläuft unregelmäßig, zeigt jedoch eine relativ glatte Grenzlinie, wohingegen die Zuschlagskörner des zweiten Unterputzes eher mit dem Oberputz »verzahnt« sind. Die Obergrenze des Oberputzes ist regelmäßig und geradlinig. Zwischen allen Putzlagen konnte eine deutliche Sinterhaut nachgewiesen werden (Abb. 112, 113). Die makroskopische Untersuchung zeigte bei den Fragmenten 8_3, 8_4 und 3_6 leichte bis deutliche Ablösungsrisse zur zweiten Putzlage. Diese konnten bei mikroskopischer Betrachtung der Präparate nicht nachgewiesen werden. Hier zeigte sich eine gute Adhäsion der Unterputze, wohingegen mikroskopisch sichtbare Ablösungsrisse zwischen dem Unter- und Oberputz auf eine schlechte Adhäsion dieser hindeuten.

Gefügespezifische Merkmale

Schicht 1 / Unterputz: Das Bindemittel-Zuschlagverhältnis der ersten Unterputzschicht wurde durchschnittlich auf 30/70 geschätzt, wobei zwischen den untersuchten Sektoren Schwankungen um diesen Mittelwert auftreten. Der Anteil an sichtbaren Poren beträgt etwa 15 – 20 %. Die Porenverteilung in der Putzschicht ist homogen, wobei überwiegend polymorphe und weniger runde Poren ausgebildet sind. Die polymorphen Poren erreichen dabei Durchmesser von bis zu 2 mm. Saumporen finden sich sehr selten, daher ist der Bindemittel-Zuschlagkontakt überwiegend sehr gut. Einige Poren, insbesondere in den Präparatrandbereichen, weisen einen biogenen Bewuchs auf (Abb. 114). In der Bindemittelmatrix lassen sich nur wenige, kurze Risse mit überwiegend vertikaler und schiefer Ausrichtung erkennen. Das Bindemittel zeigt eine homogene, feinkörnige, mikrokristalline Struktur

bei weißlich-beiger Farbigkeit (Tageslicht) (Abb. 116). Breits makroskopisch lassen sich vereinzelt Kalkgallen mit einem Durchmesser bis zu 5 mm erkennen, wobei sich diese am Fragment als weiße, pudrige Einschlüsse geringer Dichte äußern. Die Korngrößenverteilung zeigt einen auffällig hohen Anteil im Korngrößenbereich von 0,5 – 1 mm mit vereinzelt Größtkorn über 2 mm. Die Sortierung ist gut bis mäßig bei polymodaler Verteilung. Der Zuschlagsbestand ist inhomogen und setzt sich überwiegend aus Gesteinsfragmenten unterschiedlicher Farbigkeiten zusammen, wobei diese zwischen Rot-, Rotbraun-, Braun-, Beige-, Grautönen, Weiß und Schwarz changieren. Die Gesteinsfragmente weisen dabei unterschiedliche Gefügestrukturen auf, so sind überwiegend Körner mit auffällig inhomogener Struktur, poröse Gesteinsfragmente und wenige Zuschläge mit homogener Struktur zu erkennen. Der dominante Anteil an Kornformen der Gesteinsfragmente liegt im mittelmäßig bis gut gerundeten Bereich, wobei insbesondere die schwarzen Zuschläge mit durch Einschlüsse hervorgerufener inhomogener Struktur auffällig polymorphe (amöbenartige) Formen mit abgerundeten Ecken und Kanten ausbilden. Neben den Gesteinsfragmenten enthält der Putz einen geringen Anteil an transparent farblosen, grünen und braunen Einzelmineralen. Die Einzelminerale sind durch überwiegend scharfkantige bis kantengerundete Formen charakterisiert.

Schicht 2 / Unterputz: Das Bindemittel-Zuschlagverhältnis der zweiten Unterputzschicht wurde durchschnittlich auf 30/70 geschätzt, wobei auch hier zwischen den untersuchten Sektoren Schwankungen um diesen Mittelwert auftreten. Der Anteil an sichtbaren Poren beträgt etwa 10 – 15 %. Die Porenverteilung zeigt sich homogen, wobei polymorphe Poren bis zu einem Durchmesser von bis zu 2 mm den größten Flächenanteil ausmachen. Die runden Poren sind im Größenbereich von unter 0,2 mm stärker vertreten. Saumporen finden sich selten, daher ist der Bindemittel-Zuschlagkontakt überwiegend sehr gut. Einige Poren weisen einen biogenen Bewuchs auf, der teilweise auf die Bindemittelmatrix übergreift (Abb. 115). Die Bindemittelmatrix zeigt wenige, kurze Risse mit überwiegend vertikaler und schiefer Ausrichtung. Das Bindemittel zeigt eine leicht inhomogenere, feinkörnige, mikrokristalline Struktur bei hell bräunlicher Farbigkeit (Tageslicht) (Abb. 117 – 119). Bis zu 7 mm große Kalkgallen lassen sich bereits makroskopisch erkennen, wobei sich diese am Fragment als weiße, pudrige Einschlüsse geringer Dichte äußern. Die Korngrößenverteilung zeigt einen auffällig hohen Anteil im Korngrößenbereich von 1 – 2 mm und unter 0,5 mm, mit vereinzelt Größtkorn bis 4 mm. Der Feinanteil ist insgesamt höher als bei Unterputz 1 (Abb. 118). Die Sortierung ist mäßig bis schlecht bei polymodaler bis teilweise eher bimodaler Verteilung. Der Zuschlagsbestand gleicht hinsichtlich der Zusammensetzung und Farbigkeiten dem der ersten Putzschicht. Auch hier liegen die Kornformen im Schnitt – neben den polymorphen – im mittelmäßig bis gut gerundeten Bereich, wobei die größeren Körner tendenziell einen höheren Rundungsgrad aufweisen.

Schicht 3 / Oberputz: Das Bindemittel-Zuschlagverhältnis des Oberputzes wurde auf 50/50, der Anteil an sichtbaren Poren auf etwa 3 % geschätzt. Es zeigen sich sowohl runde als auch polymorphe Poren bei maximalem Durchmesser von 1 mm. Die Porenverteilung ist inhomogen, die Anzahl nimmt zur Schichtoberseite hin ab. Saumporen finden sich sehr selten, daher ist der Bindemittel-Zuschlagkontakt überwiegend sehr gut. Im Gefüge sind zahlreiche, meist vertikale und schiefe Risse zu erkennen. Diese gehen überwiegend von der Putzobergrenze (Abb. 121, 122) und von der Grenze zum Unterputz aus. An der Putzobergrenze sind zudem stellenweise Fehlstellen in der Oberfläche zu erkennen. Vereinzelt zeigen sich auch Risse zwischen den Zuschlägen, vor allem in bindemittelreichen Abschnitten. Das Bindemittel zeigt eine homogene, feinkörnige, mikrokristalline Struktur bei weißlich-beiger Farbigkeit (Tageslicht). An der Grenze zur Oberfläche ist die Farbigkeit des Bindemittels leicht eingetrübt. Unter UV-Beleuchtung zeigte sich in diesem Bereich (bis etwa 200 µm Tiefe) eine vom übrigen Bindemittel abweichende, gelbliche Fluoreszenz (Abb. 131 – 138). Die obersten 40 µm (in etwa) sind braun verfärbt und zeigen eine orange-braune Farbigkeit. Bereits bei der Probenpräparation war dieser Bereich

der Oberputze von EN 4 auffällig – die Blaufärbung des Epoxidharzes wurde hier nicht angenommen (Kap. 3.3.2.5). Kalkgallen ließen sich makroskopisch nicht, mikroskopisch nur vereinzelt nachweisen. Die Korngrößenverteilung zeigt einen auffällig hohen Anteil im Korngrößenbereich zwischen 1 – 2 mm und unter 0,5 mm mit vereinzelt Größtkorn bis 3 mm. Die Sortierung ist schlecht bei eher bimodaler Verteilung. Der Zuschlagsbestand ist homogen und monomineralisch. Die Farbigkeiten changieren zwischen farblos transparent und leicht gelblich. Der dominante Anteil an Kornformen liegt im scharfkantigen bis schlecht gerundeten Bereich.

Kurzzusammenfassung

Im Schichtenverlauf des Putzpaketes zeigt sich eine Abnahme der Porosität von der Mauerwerkseite zu Putzaußengrenze hin. Die Unterputze unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Korngrößenverteilung, Porosität und Bindemittelfarbigkeit, wobei der zweite Unterputz durch größere Kornklassen, einen höheren Feinanteil im Zuschlag, einer bräunlicheren Bindemittelfarbigkeit und einer geringeren Porosität als die erste Unterputzlage charakterisiert ist. Der Oberputz unterscheidet sich von den Unterputzschichten durch eine geringere Porosität, einer verstärkten Rissbildung sowie durch einen homogeneren, helleren, überwiegend scharfkantigen Zuschlag.

4.1.2 Grabmonument EN 6²⁸⁵

Die makroskopische Untersuchung der ausgewählten Fragmente zeigte, dass auch an diesen ein vollständiger Putzaufbau erhalten ist, was an dem Relief der wandseitigen Unterseite erkennbar ist, welches die Unregelmäßigkeiten des Mauerwerks abzeichnet. Die Fragmente sind teilweise angewittert und weisen an der Unterseite und an den Kanten mehr oder weniger stark ausgeprägten biogenen Bewuchs auf. Die Oberfläche der Fragmente ist weitestgehend intakt.

Stratigrafie, Schichtenverlauf und Schichtgrenzen

Für den Grabbau EN 6 wurde ein mehrschichtiger, vierlagiger Putzaufbau nachgewiesen, wobei auf drei dunklere Unterputzschichten eine helle Oberputzschicht folgt. Die Schichtstärken der drei Unterputze sind annähernd gleich, wobei der dritte Unterputz tendenziell in einer etwas dünneren Schicht aufgetragen wurde. Im Verhältnis von Unter- und Oberputz macht der Oberputz den geringsten Anteil am Schichtpaket aus. Die maximale Gesamtstärke der Putzfragmente beträgt 3,4 cm, davon fallen etwa 0,2 – 1,1 cm der ersten Unterputzlage, 0,2 – 1,5 cm der zweiten Unterputzlage, 0,2–1,3 cm der dritten Unterputzlage und 0,8 – 0,9 cm dem Oberputz zu. Bei Fragment 9_2 betrug die Schichtstärke des Oberputzes nur 0,5 mm.²⁸⁶ Die Unterputze weisen in Korrelation zueinander deutlich unregelmäßige Schichtstärken mit Schwankungen bis zu 1,1 cm auf. Die Grenze zwischen den Unterputzen verläuft unregelmäßig, zeigt jedoch eine relativ glatte Grenzlinie ohne Verzahnung der Schichten. Die Grenze zwischen Unterputz und Oberputz verläuft hingegen gerade und gleichmäßig. Der Übergang zwischen den ersten beiden Unterputzschichten ist mikroskopisch nicht erfassbar. Die Grenzen können nur am Fragment und am Anschliff über dezente Änderungen des Gefüges der Schichten nachvollzogen werden. Die zweite und dritte Unterputzlage können aufgrund unterschiedlicher Gefügemerkmale differenziert werden. Zwischen den drei Unterputzschichten konnte keine Sinterhaut nachgewiesen werden. Die Grenze zwischen Unter- und Oberputz ist durch das Vorhandensein einer leichten Sinterhaut (Abb. 123), sowie über Differenzen

²⁸⁵ Anhang IV: Untersuchungsdatenblätter.

²⁸⁶ In den Tiefen der Stuckierung zwischen den Bossen ist die Oberputzstärke bei dem Grabbau EN 6 reduziert (Abb. 194, 195).

der gefügespezifischen Merkmale nachvollziehbar. Die Oberfläche des Oberputzes ist glatt und geradlinig. Die makroskopische Untersuchung der Fragmente zeigte partiell Ablösungsspalten zwischen den Unterputzschichten und zwischen Unter- und Oberputz, dabei konnten die Ablösungen zwischen den Unterputzschichten an den Präparaten nicht nachgewiesen werden. Die Ablösungserscheinungen des Unterputzes zum Oberputz waren hingegen partiell auch an den Präparaten zu erkennen (Abb. 127).

Gefügespezifische Merkmale und Farbigkeiten

Aufgrund der identischen Erscheinung der ersten und zweiten Putzlage, werden diese im Folgenden gemeinsam beschrieben.

Schicht 1 und 2 / Unterputz: Das Bindemittel-Zuschlagverhältnis der ersten beiden Unterputzschichten wurde durchschnittlich auf 30/70 geschätzt, wobei zwischen den untersuchten Sektoren Schwankungen um diesen Mittelwert auftreten. Der Anteil an sichtbaren Poren beträgt etwa 15 – 20 %. Die Porenverteilung in der Putzschicht ist homogen, wobei überwiegend polymorphe und weniger runde Poren ausgebildet sind. Insgesamt zeigen sich Porengrößen von 0,1 – 3 mm, wobei nur die polymorphen Durchmesser bis zu 3 mm erreichen. Saumporen finden sich sehr selten, der Bindemittel-Zuschlagkontakt ist überwiegend sehr gut. Einige Poren, insbesondere in den Präparatrandbereichen, weisen einen biogenen Bewuchs auf. In der Bindemittelmatrix lassen sich nur wenige, feine Risse mit überwiegend vertikaler und schiefer Ausrichtung erkennen. Das Bindemittel zeigt eine homogene, feinkörnige, mikrokristalline Struktur bei weißlich-beiger Farbigkeit (Tageslicht) (Abb. 124). Vereinzelt sind Kalkgallen mit einem Durchmesser bis zu 5 mm zu erkennen. Diese äußern sich am Fragment als weiße, pudrige Einschlüsse geringer Dichte. Die Korngrößenverteilung zeigt einen auffällig hohen Anteil im Korngrößenbereich von 0,5 – 1 mm mit vereinzelt Größtkorn von 2 mm. Die Sortierung ist gut bis mäßig, bei polymodaler Verteilung. Der Zuschlagsbestand zeigt sich sehr inhomogen. Es finden sich überwiegend Gesteinsfragmente unterschiedlicher Gefügestruktur und Farbigkeiten. Das Farbspektrum bewegt sich zwischen Rot-, Rotbraun-, Braun-, Beige-, Grau-, Weiß- und Schwarztönen. Es finden sich überwiegend Körner mit auffällig inhomogener Struktur, poröse Gesteinsfragmente und wenige Zuschläge mit homogenem Gefüge. Der dominante Anteil an Kornformen der Gesteinsfragmente liegt im mittelmäßig bis gut gerundeten Bereich. Des Weiteren zeigen sich insbesondere an den schwarzen Zuschlägen mit inhomogenem Gefüge polymorphe (amöbenartige) Kornformen mit angerundeten Ecken und Kanten. Neben den Gesteinsfragmenten enthält der Putz einen geringen Anteil an transparent farblosen, grünen und braunen Einzelmineralen. Die Einzelminerale sind durch überwiegend scharfkantige bis kantengerundete Formen charakterisiert.

Schicht 3 / Unterputz: Das Bindemittel-Zuschlagverhältnis der dritten Unterputzschicht wurde durchschnittlich auf 30/70 geschätzt, wobei zwischen den untersuchten Sektoren Schwankungen um diesen Mittelwert auftreten. Der Anteil an sichtbaren Poren beträgt etwa 5 – 10 %. Die Putzschicht wirkt insgesamt dichter, die Poren sind durchschnittlich kleiner als bei Putzschicht 1 und 2. Die Porenverteilung ist überwiegend homogen, die Porenformen zeigen sowohl polymorphe als auch runde Gestalt, wobei erstere den dominanten Anteil ausmachen. Das Gefüge weist nur wenige, feine Risse mit überwiegend vertikaler und schiefer Ausrichtung auf. Diese sind vermehrt an der Grenze zum Oberputz zu verorten. Biogener Bewuchs ist nur an den Präparatkanten zu erkennen. Das Bindemittel zeigt eine leicht inhomogene, feinkörnige, mikrokristalline Struktur. Die Bindemittelfarbe ist beige, leicht bräunlich (Abb. 125). Vereinzelt sind Kalkgallen mit einem Durchmesser bis zu maximal 6 mm im Putz enthalten. Die Korngrößenverteilung zeigt einen auffällig hohen Anteil im Korngrößenbereich von 0,5 – 1 mm und in der Feinkornfraktion. Vereinzelt sind Größtkörner von über 2 mm enthalten. Die Sortierung ist mäßig, bei polymodaler Verteilung. Der Zuschlagsbestand entspricht dem der ersten und zweiten Unterputzlage.

Schicht 4 / Oberputz: Das Bindemittel-Zuschlagverhältnis des Oberputzes wurde auf etwa 50/50, der Anteil an sichtbaren Poren auf durchschnittlich 1 % geschätzt. Es zeigen sich sowohl runde als auch polymorphe Poren bei maximalem Durchmesser von 1,5 mm. Die Porenverteilung ist inhomogen, die Anzahl nimmt zur Schichtoberseite hin deutlich ab. Saumporen finden sich sehr selten, der Bindemittel-Zuschlagkontakt ist überwiegend sehr gut. Im Gefüge sind mehr Risse zu erkennen, als in den Unterputzschichten. Dennoch ist ihre Anzahl im Vergleich zum Oberputz von EN 4 deutlich geringer. Die Risse verlaufen sowohl vertikal, schief als auch horizontal, wobei die horizontalen und der dominante Anzahl der vertikalen nahe der Grenze zum Unterputz positioniert sind. Das Bindemittel zeigt eine homogene, feinkörnige, mikrokristalline Struktur bei weißlich-beiger Farbigkeit (Tageslicht) (Abb. 126). Kalkgallen ließen sich makroskopisch nicht, mikroskopisch nur vereinzelt nachweisen. Die Korngrößenverteilung zeigt einen auffällig hohen Anteil im Korngrößenbereich zwischen 1 – 2 mm und in der Fein- und Feinstkornfraktion mit vereinzelt Größtkorn bis 3 mm. Der Feinanteil ist etwas höher als bei EN 4 und äußert sich im Dünnschliff auch über zahlreiche, unter einer hauchdünnen Bindemittelschicht liegender Körner (Abb. 128 – 132). Die Sortierung ist schlecht bei eher bimodaler Verteilung. Der Zuschlagsbestand zeigt sich homogen und setzt sich überwiegend aus Einzelkristallen und polykristallinen Komplexen zusammen. Die Farbigkeiten changieren zwischen farblos transparent und leicht gelblich. Der dominante Anteil an Kornformen liegt im scharfkantigen bis schlecht gerundeten Bereich.

Kurzzusammenfassung

Im Schichtenverlauf des Putzpaketes zeigt sich eine Abnahme der Porosität von der Mauerwerkseite zu Putzaußengrenze hin. Von Unterputz zu Oberputz ist eine Zunahme der Korngrößen zu verzeichnen. Die beiden ersten Unterputzlagen sind nach gefügespezifischen Aspekten annähernd gleich. Die dritte Unterputzlage weist jedoch im Unterschied zu Putz 1 und 2 eine geringere Porosität, eine bräunlichere Bindemittelfarbe sowie einen höheren Feinkornanteil auf. Der Oberputz unterscheidet sich von den Unterputzschichten durch eine geringere Porosität und einen homogeneren, helleren, überwiegend scharfkantigen Zuschlag.

4.2 Chemisch-mineralogisch / petrografische Zusammensetzung

4.2.1 Charakterisierung der Zuschläge und Zusätze

4.2.1.1 Grabmonument EN 4²⁸⁷

Schicht 1 und 2 / Unterputz: Bei der Untersuchung der Zuschläge der Unterputzschichten konnte kein Unterschied hinsichtlich ihrer mineralogischen-petrografischen Zusammensetzung erkannt werden. In der zweiten Unterputzschicht war jedoch ein signifikanter Anteil an inhomogenen und homogenen, braun bis schwarzen und transparent farblosen Zuschlägen von unter 200 µm Durchmesser vorhanden. Diese konnten aufgrund der geringen Größe nicht näher bestimmt werden.

Der dominante Anteil der Zuschläge in den Unterputzen setzt sich aus vulkanischen Sanden unterschiedlicher Farbigkeit zusammen. Diese bestehen chemisch (mit Ausnahme der ultrabasischen) zu 45 bis über 63 % aus

Siliziumdioxid.²⁸⁸ Das größte Kontingent machen dabei Sande mit glasiger bis feinkörniger, homogener Grundmasse aus, deren Kristalle mit bloßem Auge nicht aufzulösen sind. In der Matrix dieser Gesteinsfragmente sind unterschiedlichste, größere Einzelkristalle (Einsprenglinge) in eingeregelter oder regelloser Art eingeschlossen (Abb. 139, 140). Ein derartiges Gefüge wird als porphyrisch²⁸⁹ bezeichnet,²⁹⁰ wobei nach VINX die feinkörnige Grundmasse als explizit charakteristisch für Vulkanite gilt, da sie aus der schnellen Abkühlrate der Schmelze resultiert.²⁹¹ Des Weiteren finden sich im Unterputz Gesteinsfragmente mit einer meist schwarzen, homogenen Matrix, in der verwachsene oder zusammenliegende Einsprenglinge eingeschlossen sind. VINX spricht hier von einem glomerophyrischen Gefüge (Abb. 141, 142), welches ebenfalls nur bei Vulkaniten, Subvulkaniten oder vulkanischen Ganggesteinen auftritt.²⁹² Als eine weitere, nach VINX²⁹³ typisch vulkanische Gesteinsart findet sich ein geringer Anteil an transparenten, gelblichen, glasigen Gesteinsfragmenten mit Einschlüssen von Gasblasen (Abb. 143 – 145). Neben den eher kompakt wirkenden Zuschlägen sind in den Unterputzen auch poröse Gesteinsfragmente mit überwiegend gräulicher, feinkörniger Matrix enthalten, welche teilweise ebenfalls Einschlüsse aufweisen. Im Rahmen dieser Arbeit konnte nicht geklärt werden, ob es sich dabei um Bims – ein durch Gasentmischung in der Schmelze entstandenes vulkanisches Glas – um poröse vulkanische Wurfeschlacke oder um eine poröse Pyroklastenart handelt.²⁹⁴ Des Weiteren sind zu einem geringen Anteil ziegelrote Zuschlagskörner mit Einschlüssen und mittel bis gut gerundeter Kornform enthalten (Abb. 146). Dabei war mikroskopisch nicht zu klären, ob es sich um Ziegel oder um rote Vulkanite handelt. In jedem Fall ist deren Anzahl so gering, dass sie für die Zuschlagskomposition keinerlei Rolle spielt. Auf eine nähere Bestimmung der Vulkanite musste im Rahmen dieser Arbeit aus Zeitgründen und mangelnden Fachkenntnissen verzichtet werden. Nach SHELLEY ist eine Bestimmung der Vulkanite ohnehin problematisch und eigentlich nur auf chemischem Wege sicher durchführbar.²⁹⁵ Neben den Gesteinsfragmenten vulkanischen Ursprungs enthalten die Unterputze einen geringen Anteil an Carbonaten (Abb. 147, 148), wobei über mikroskopische Methoden nicht zwischen Kalkstein und Dolomit differenziert werden konnte.²⁹⁶ Je nach Kristallinität (mikritisch, sphäritisch) der Carbonate konnten diese anhand ihrer Eigenfarbe, der hohen Interferenzfarbe des Calcit / Dolomits und/oder über charakteristische Spaltflächen und Gefügemerkmale erfasst werden, wobei Eigen- und Interferenzfarbe der des Bindemittels im Putz sehr ähnlich bis gleich war. Als letzte Zuschlagskomponenten seien noch die Einzelminerale genannt. Hierbei wurden Quarz (Abb. 149 – 152) und Feldspäte (Abb. 153, 154) bestimmt. Der Bestand an Einzelmineralen ist jedoch sehr vielseitig und konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht ausreichend charakterisiert werden. Organische Zusätze wie beispielsweise Holzkohle oder Stroh (bzw. Abdrücke von Stroh) konnten mikroskopisch nicht gefunden werden.

288 VINX 2015, S. 127.

289 Auch Plutonite können ein porphyrisches Gefüge aufweisen, hierbei sind die Einsprenglinge jedoch in einer homogenen Matrix eingebettet, deren Kristalle mit dem bloßen Auge sichtbar sind. (VINX 2015, S. 131, 147).

290 VINX 2015, S. 131.

291 VINX 2015, S. 131.

292 VINX 2015, S. 149, 158.

293 VINX 2015, S. 221.

294 Vgl. VINX 2015, S. 229, 249, 256.

295 SHELLEY 1993, p. 39.

296 Für eine Differenzierung von Calcit und Dolomit sind spezielle Anfärbemethoden mit Alizarinrot S oder Kalium-Ferricyanid notwendig. (ADAMS / MACKANZIE / GUILFORD 1986, S. 34).

Schicht 3 / Oberputz: Im Oberputz finden sich ausschließlich transparente, farblos bis gelbliche, meist scharfkantige Zuschläge mit ausgeprägten Spaltflächen, dabei kommen sowohl ideomorph ausgeprägte Rhomboeder als auch xenomorphe und verzwilligte Formen vor. Aus dem typischen, optischen Verhalten und Charakter kann man schließen, dass es sich aller Wahrscheinlichkeit nach um Calcit handelt (Abb. 155 – 161).

4.2.1.2 Grabmonument EN 6²⁹⁷

Schicht 1, 2, 3 / Unterputz: In den Unterputzen konnte kein Unterschied in der mineralogischen und geologischen Zusammensetzung der Zuschläge erkannt werden.²⁹⁸ Wie bei Grabbau EN 4 handelt es sich überwiegend um vulkanische Sande, die den Gefügemerkmalen jenen an EN 4 entsprechen (Kap. 4.2.1.1), wobei ein geringerer Anteil an vulkanischen Gläsern und möglichen Ziegeln aufzufinden war. Des Weiteren konnte ein geringer Anteil an Carbonaten bestimmt werden, sowie die Einzelminerale Quarz und Feldspat.

Organische Zusätze wie beispielsweise Holzkohle oder Stroh (bzw. Abdrücke von Stroh) konnten mikroskopisch nicht gefunden werden.

Schicht 4 / Oberputz: Der Zuschlagsbestand im Oberputz besteht überwiegend aus Calcit, wobei die Formvarianzen jenen bei Grabbau EN 4 gleichen (Kap. 4.2.1.1). Des Weiteren sind auch polykristalline Carbonate (Abb. 162) enthalten, deren Einzelkristalle die gleichen optischen Eigenschaften aufweisen wie Calcit. Die Einzelkristalle sind dabei überwiegend polygonal ohne spezifische Formausdehnung. Die Kristallgrenzen zeigen sich deutlich und sind leicht verzahnt. Dies entspricht dem nach VINX für metamorphes Carbonatgestein typischem granoblastischem Gefüge.²⁹⁹ Daher wird vermutet, dass es sich bei diesen Gesteinsfragmenten um Marmor handelt. Zu einem sehr geringen Anteil sind auch sedimentäre Carbonate aus mikritischem Calcit enthalten.

4.2.2 Charakterisierung des Bindemittels

4.2.2.1 Grabmonument EN 4³⁰⁰

Schicht 1 / Unterputz: Das Bindemittel der ersten Unterputzschicht zeigt eine homogene, mikrokristalline Struktur (Abb. 163). Die Farbigkeit ist bei linear polarisiertem Licht und zwischen gekreuzten Polarisatoren grünlich-beige. Die Interferenzfarbe Grau-hoher-Ordnung ist typisch für carbonatische Kristalle bei einer Dicke von 30 µm.³⁰¹ Daher ist davon auszugehen, dass es sich um einen Kalkmörtel handelt. Auch BLÄUER beschreibt ein Kalkbindemittel wie folgt: »*Mikroskopisch ist das Kalkbindemittel meist sehr feinkörnig, beige bis bräunlich und porös, mit einer hohen Doppelbrechung*«. ³⁰² Hinweise auf die Verarbeitung von dolomitischem oder Dolomitkalk

297 Anhang IV: Untersuchungsdatenblätter.

298 Im Rahmen dieser Arbeit war es nicht möglich den gesamten Mineralbestand der Mörtel zu bestimmen, ebensowenig die genaue Art der Vulkanite. Daher kann keine Aussage über mögliche Differenzen der genauen Zuschlagszusammensetzung der beiden Grabbauten getroffen werden. Des Weiteren waren mit dem Polarisationsmikroskop sehr kleine Partikel zwar erfass-, jedoch nicht analysierbar.

299 VINX 2015, S. 364, 368, 422.

300 Anhang IV: Untersuchungsdatenblätter.

301 Quelle: <https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/MineralData?mineral=Calcit> (August 2016).

302 BLÄUER 2016, S. 39.

in Form von radialstrahligen Hydromagnesitkristallen oder -schatten, wie sie PECCHIONI ET AL.³⁰³ und ähnlich auch BLÄUER³⁰⁴ beschreiben, sind nicht zu erkennen.³⁰⁵

In der insgesamt homogenen Bindemittelmatrix finden sich vereinzelt bis zu 5 mm große, gut gerundete Kalkgallen aus carbonatisiertem Kalk, die sich durch ihre bindemittelgleiche Struktur und Interferenzfarben auszeichnen. Neben diesen sind zahlreiche kleine Kalkgallen unter 300 µm Durchmesser zu erkennen. Oft zeigen diese sich erst zwischen gekreuzten Polarisatoren an einer etwas vom Bindemittel abweichenden Interferenzfarbe (Abb. 164).

Neben der Erscheinung von Kalkgallen finden sich in dem Unterputz auch diese ähnlichen Aggregate, die sich jedoch neben bindemittelähnlichen Strukturen insbesondere durch Reststrukturen von Carbonatgestein auszeichnen (Abb. 165). Nach WISSER handelt es sich dabei um Aggregate, die bei »nicht ausreichender Brenntemperatur oder Brenndauer im Kernbereich von Branntkalkbrocken zurückbeiben und nach dem Löschen, falls nicht gesiebt wird, in den Mörtel gelangen können«.³⁰⁶ Auch PECCHIONI ET AL. betrachten diese Aggregate als Hinweis auf inhomogene Brenntemperaturen und schlechtes Sieben.³⁰⁷ Hingegen weisen MIRIELLO ET AL. darauf hin, dass diese bei pompejianischen Mörteln auch aus dem Zuschlag stammen können.³⁰⁸

Hinweise auf hydraulische Reaktionen zwischen Bindemittel und Zuschlag in Form von Säumen um die Zuschläge, wie sie von PECCHIONI ET AL.³⁰⁹ und BLÄUER³¹⁰ geschildert werden, zeigen sich nur ganz vereinzelt in Form schwacher, orange-brauner Säume meist um die vulkanischen Gläser (Abb. 166, 167). Puzzolanisches³¹¹ Material konnte nicht aufgefunden werden. Ein Zusatz von Puzzolan kann jedoch nicht definitiv ausgeschlossen werden, da diese nach PECCHIONI ET AL. auch in sehr feinen, mikroskopisch nicht erfassbaren Korngrößen zugesetzt worden sein können. Zudem besteht die Möglichkeit, dass bereits über tonige oder silikatische Verunreinigungen im Kalkrohstoff gewisse Hydraulefaktoren in den Mörtel eingebracht wurden.³¹² Diese natürlich hydraulischen Kalkbindemittel sind polarisationsmikroskopisch meist schwer oder gar nicht von Luftkalkmörteln zu unterscheiden, da oft keine Hinweise auf deren hydraulischen Eigenschaft erkennbar sind.^{313/314}

Sogenannte »Ausheilende Umlagerungsprozesse« in Form Rekristallisationen in Rissen und Poren, wie sie WISSER³¹⁵ für historische Mörtel beschreibt, konnten nicht nachgewiesen werden. Jedoch ist es möglich, dass diese feinen Kristalle bei der Präparation zerstört wurden.

303 PECCHIONI / FRATINTI / CANTISANI 2014, p. 29–31.

304 BLÄUER 2016, S. 39.

305 BLÄUER weist zudem darauf hin, das dolomitische Kalkbindemittel in der Regel eine dunkelbraune Farbigekeit und eine niedrigere Doppelbrechung im Dünnschliff aufweisen. (BLÄUER 2016, S. 39).

306 WISSER 1988, S. 30, 31.

307 PECCHIONI / FRATINTI / CANTISANI 2014, p. 13.

308 MIRIELLO ET AL. 2010, p. 2214.

309 PECCHIONI / FRATINTI / CANTISANI 2014, p. 12.

310 BLÄUER 2016, S. 39.

311 Puzzolan: »Puzzolane sind kieselsäurehaltige sowie kieseläure- und tonerdehaltige natürliche oder künstliche anorganische Stoffe, die mit gelöstem Calciumhydroxid bei normaler Temperatur chemisch reagieren und in technisch nutzbarer Zeit erhärtungsfähige Verbindungen ausbilden können.« (WISSER 1988, S. 46).

312 PECCHIONI / FRATINTI / CANTISANI 2014, p. 10, 12.

313 ELSER 2006, p. 1419.

314 Mittels der Polarisationmikroskopie war es nicht möglich die genaue chemische Zusammensetzung des Bindemittels oder gar »Mischphasen« zu bestimmen (Vgl. BLÄUER 2016, S. 36). Hierfür war die Kombination mit der REM-EDX und XRD Analyse angedacht.

315 WISSER 1988, S. 27, 29.

Schicht 2 / Unterputz: Das Bindemittel der zweiten Unterputzschicht besitzt eine mikrokristalline Struktur. Die Farbigekeit zeigt sich bei linear polarisiertem Licht und zwischen gekreuzten Polarisatoren gräulich-beige, leicht bräunlich. Bei Betrachtung im Auflicht Dunkelfeld ist die Farbdifferenz zur ersten Unterputzschicht deutlicher zu erkennen, hier zeigt sie sich leicht bräunlich im Gegensatz zum Weiß der ersten Lage (Abb. 117). Trotz des Farbunterschiedes wird auch hier aufgrund der Interferenzfarbe und der feinkristallinen Struktur von einem Kalkbindemittel ausgegangen, das nach BLÄUER³¹⁶ auch bräunlich in Erscheinung treten kann. Hinweise auf die Verarbeitung eines Dolomitmörtels konnten auch hier nicht ausgemacht werden. In der Bindemittelmatrix sind jedoch schwachbraune punktförmige, relativ homogen verteilte Flecken zu erkennen (Abb. 168, 169). Diese könnten die leichte Färbung verursacht haben und auf unterschiedliche Phasen im Bindemittel und mögliche hydraulische Reaktionen im Mörtel hindeuten – es könnte sich beispielsweise um Relikte von Puzzolanen handeln, die vollständig mit dem Bindemittel zu hydraulischen Phasen abreagiert sind.³¹⁷ Es zeigen sich auch vermehrt leicht bräunliche Säume mit orange-brauner Interferenzfarbe um die homogen verteilten, feinen Zuschläge (unter 100 µm) in dieser Putzlage – Schicht 1 und 2 enthalten diese nicht. Bei diesen Feinzuschlägen könnte es sich teilweise um Puzzolane handeln, die nur im unmittelbaren Kontaktbereich mit dem Bindemittel reagiert haben. Es könnte sich somit um einen puzzolanischen Mörtel handeln. Die genannten feinen Zuschläge zeigen unterschiedliche Farbigekeiten (transparent farblos, leicht bräunlich, schwarz), wobei sehr dunkle Partikel den dominanten Anteil ausmachen und überwiegend in Korngrößen von 100 bis unter 5 µm auftreten. Diese weisen am häufigsten Randsäume auf (Abb. 169 – 171). Es wäre daher auch ein natürlich hydraulisches Bindemittel denkbar, das durch das Brennen von ton- und silikathaltigem Carbonatgestein Hydratfaktoren (Calciumsilikate, Calciumaluminat) in den Mörtel mit einbrachte.³¹⁸ PECCHIONI ET AL. beschreiben eine mikritische Struktur, braune Farbe und das Vorhandensein von zahlreichen kleinen dunklen Einschlüssen (nicht hydratisierte Calcium-/Aluminiumsilikate) als charakteristisch für diesen Mörteltyp.³¹⁹

Auch in der zweiten Unterputzschicht sind zahlreiche kleine und bis zu 7 mm große Kalkgallen, sowie kalkgallenähnliche Aggregate mit Kalksteinreststrukturen (Abb. 172, 173) enthalten. Die großen Kalkgallen weisen oft eine deutliche Zonierung in klar abgegrenzte dunklere und hellere Bereiche auf und enthalten zudem vereinzelt dunkle, bräunliche Einschüsse (Abb. 174, 175). Auch diese können ein Hinweis auf Unreinheiten im Kalkrohstoff sein, die zu hydraulischen Reaktionen in den Kalkgallen geführt haben könnten.³²⁰ Im Rahmen dieser Arbeit war es mit Hilfe der Polarisationsmikroskopie nicht möglich, die Fragestellung nach der Hydraulizität der Mörtel zu klären.

Schicht 3 / Oberputz: Das Bindemittel des Oberputzes zeigt eine sehr homogene, dichte, mikrokristalline Struktur (Abb. 176, 177). Die Farbigekeit zeigt sich bei linear polarisiertem Licht beige und zwischen gekreuzten Polarisatoren gräulich-beige. Aller Wahrscheinlichkeit nach handelt es sich um einen Luftkalkmörtel. Kalkgallen finden sich selten, meist sind sie sehr klein, können aber auch Maße von bis zu 2 - 3 mm erreichen. Kalkgallenähnliche Partikel mit Reststrukturen von Kalkstein, Reaktionen des Bindemittels mit dem Zuschlag oder Einschlüsse und Umwandlungsphasen konnten keine ermittelt werden.

316 BLÄUER 2016, S. 39.

317 Nach WANG können in antiken Mörteln meist keine hydraulischen Phasen mehr nachgewiesen werden, da diese aufgrund von veränderten Umgebungsbedingungen meist umgewandelt sind. (WANG 1995, S. 70, 71).

318 PECCHIONI / FRATINTI / CANTISANI 2014, p. 10, 12.

319 PECCHIONI / FRATINTI / CANTISANI 2014, p. 10, 38.

320 ELSEN ET AL. konnten anhand einer EDS-Analyse einer zonierten Kalkgalle nachweisen, dass die innere, dunkle Zone einen SiO₂ Gehalt von 33 – 39 M.-% aufweist. Daher nimmt er an, dass diese C-S-H-Phasen enthält. (ELSEN ET AL. 2004, p. 293).

4.2.2.2 Grabmonument EN 6³²¹

Schicht 1, 2 / Unterputz: Das Bindemittel der ersten beiden Unterputzschichten ist mikroskopisch nicht zu unterscheiden und gleicht jenem der ersten Unterputzschicht von EN 4 (Kap. 4.2.2.1) Die Struktur ist homogen und mikritisch. Die Farbigekeit zeigt sich bei linear polarisiertem Licht und zwischen gekreuzten Polarisatoren grünlich-beige (Abb. 178). Es handelt sich aller Wahrscheinlichkeit nach um einen Kalkmörtel. Radialstrahlige Strukturen, die auf einen Dolomitmalkmörtel hindeuten, sind nicht vorhanden. In der Bindemittelmatrix sind vereinzelt kleine und bis zu 5 mm große Kalkgallen aus karbonatisiertem Kalk eingeschlossen (Abb. 179, 180). Diese weisen keine Sinterhäute auf. Neben den Kalkgallen, ist auch ein geringer Anteil an kalkgallenähnlichen Aggregaten enthalten, die noch Reststrukturen von Carbonatgestein aufweisen (Abb. 181, 182).

Hinweise auf hydraulische Reaktionen zwischen Bindemittel und Zuschlag in Form von Säumen um die Zuschläge finden sich nur ganz vereinzelt. Diese äußern sich in Form schwacher, orange-brauner Säume meist um die vulkanischen Gläser (Abb. 183). Ein Zusatz von Puzzolanen konnte nicht nachgewiesen, jedoch auch nicht vollkommen ausgeschlossen werden, da dieses auf in mikroskopisch nicht erfassbaren Korngrößen zugesetzt worden sein kann. Ebenso konnte die Möglichkeit, dass bereits über tonige oder silikatische Verunreinigungen im Kalkrohstoff gewisse Hydraulefaktoren in den Mörtel eingebracht wurden, weder nachgewiesen noch ausgeschlossen werden. Umlagerungsprozesse in Form von beispielsweise Rekristallisationen fanden sich in den Putzschichten nicht.

Schicht 3 / Unterputz: Das Bindemittel der dritten Unterputzschicht besitzt eine mikrokristalline Struktur bei grünlich-beiger, leicht bräunlicher Farbigekeit (IIPol und xPOL). Trotz des Farbunterschiedes wird auch hier aufgrund der Interferenzfarbe und der feinkristallinen Struktur von einem Kalkbindemittel ausgegangen. Hinweise auf die Verarbeitung eines Dolomitmalkmörtels waren keine auffindbar. Wie bei der zweiten Unterputzschicht von EN 4 sind auch hier im Bindemittel relativ homogen verteilte, bräunliche, punkartige Flecken und feine Zuschläge (bis unter 100 µm) mit teilweise Randsäumen enthalten (Abb. 185 – 188) – Schicht 1 und 2 zeigen diese nicht. Daher sind wie bei EN 4 (Kap. 4.2.2.1) sowohl Luftkalk, Luftkalk, der durch Verunreinigungen im Rohstoff gewisse Hydraulefaktoren mit einbrachte, als auch puzzolanisches oder natürlich hydraulisches Bindemittel denkbar.

Wie in den ersten beiden Unterputzschichten bei EN 6 sind auch im dritten Unterputz zahlreiche Kalkgallen unterschiedlicher Größen (bis 6 mm), teilweise mit Zonierungen (Abb. 189), sowie kalkgallenähnliche Aggregate mit Kalksteinreststrukturen (Abb. 190) enthalten.

Schicht 4 / Oberputz: Das Bindemittel des Oberputzes zeigt eine sehr homogene, auffällig dichte, mikrokristalline Struktur. Die Farbigekeit zeigt sich bei linear polarisiertem Licht beige und zwischen gekreuzten Polarisatoren grünlich-beige. Aller Wahrscheinlichkeit nach handelt es sich um einen Luftkalkmörtel. Kalkgallen finden sich selten und wenn dann überwiegend in Größenordnungen bis etwa 2 mm (Abb. 193). Kalkgallenähnliche Partikel mit Reststrukturen von Kalkstein, Reaktionen des Bindemittels mit dem Zuschlag oder Einschlüsse und Umwandlungsphasen konnten keine ermittelt werden.

4.3 Physikalisch-mechanische Kennwerte

4.3.1 Wassertropfeneindringtests

Oberputz

Zur Abschätzung und Beurteilung des kapillaren Saug- und Wassereindringverhaltens wurden an insgesamt 13 Proben Wassertropfeneindringtests durchgeführt. Das Streudiagramm zeigt die generelle Beziehung zwischen Randwinkel und Tropfeneindringzeit: je niedriger die Eindringdauer, desto kleiner der Randwinkel. Bei höheren Randwinkeln (90 °C) steigt die Eindringzeit nahezu exponentiell an. Einige Werte weichen von der Trendlinie ab. In der grafischen Darstellung der Randwinkel-Zeit[s]-Beziehung (Abb. 201, 202) fallen Werte mit hohen Randwinkeln (90 °) bei kurzen Eindringzeiten (ca. 1 min) und kleinen Winkeln (30 °) mit über 6 min Tropfenstandzeit auf. Diese Wertschwankungen sind sicherlich auf Verunreinigungen, Mikrorisse und Oberflächenschäden zurückzuführen.

Die Wassertropfeneindringzeiten in die Oberputzoberflächen variieren zwischen 10 s und 26 min 35 s, die Randwinkelbildungen zwischen 0 und 90 °. Die Werte unterscheiden sich teilweise erheblich innerhalb eines Putzfragmentes (vgl. 9_2: Eindringzeiten zwischen 14 und 124 s) und in Gegenüberstellung der Fragmente je Grab (Abb. 196, 197). Dennoch sind eindeutige Tendenzen ablesbar. Betrachtet man die Ergebnisse der Wassertropfeneindringtests grabweise, zeigen die Oberputzoberflächen der Proben des Grabes EN 4 mit einer durchschnittlichen Randwinkelbildung von 51° beträchtlich höhere Wasserabweisung verglichen zu den Proben des Grabes EN 6 mit einer durchschnittlichen Randwinkelbildung von 30 ° (Abb. 198, 199). Insbesondere einzelne Höchstwerte der Tropfeneindringzeit um ca. 25 min mit 90°-Randwinkel – Kennzeichen für Oberflächenhydrophobie³²² (Proben 3_1, 3_6: Anhang III) – lassen auf die Beeinflussung der Wasseraufnahme durch Oberflächenmodifizierung (z. B. biogener Bewuchs, Rekristallisation, frühere Konservierungsmaßnahmen) des Grabes EN 4 schließen. Anhand der angefärbten Dünnschliffe der Proben des Grabes EN 4 (insbesondere 3_1 und 8_4, Kap. 3.3.2.5) ist deutlich eine ca. 1 mm breite Zone unter der Oberputzoberfläche zu erkennen, welche nicht durch den Farbstoff benetzt bzw. eingefärbt wurde und unter UV-Strahlung fluoresziert (Abb. 47, 133 – 136). Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass die Oberflächen durch ein gering tief eindringendes, beschichtendes System modifiziert wurden.

Unterputz

Die Wassertropfeneindringfähigkeit in den Unterputz wurde an drei Proben getestet. Die Eindringzeiten von 1 bis 6 s unterscheiden sich bei den Unterputzrückseiten und leicht versinterten Unterputzoberflächen nur minimal. Randwinkel konnten wegen der nur kurzen Eindringzeiten meist nicht festgestellt werden. Auch die Erhöhung des Tropfenvolumens auf 50 µl hatte keine Auswirkung auf Zeit und Randwinkel (18_6). Wegen der geringen Unterschiede zwischen den Gräbern und den Unterputzschichten sowie der hohen Fehlerwahrscheinlichkeit als Folge der kurzen Eindringzeit wurden nur drei Fragmente getestet. Diese Werte können stellvertretend für den Unterputz den Werten der Oberputzschichten unabhängig von Schicht, Fragment und Grab gegenübergestellt werden (Abb. 200).

322 BLÖCHL-WIRTS stuft Eindringzeiten von ca. 30 min als wasserabweisend ein und Eindringzeiten in Sekundenbereichen als Indiz für starke Kapillarität. BLÖCHL-WIRTS 2001, S. 76.

4.3.2 Kapillare Wasseraufnahme und Wasseraufnahmekoeffizient in Anlehnung an DIN EN 15801

Die Wasseraufnahmemessung wurde an Proben durchgeführt, welche den durchschnittlichen Wassertropfeneindringkoeffizienten des jeweiligen Grabes vertreten (u. a. EN 4: 3_6, EN 6: 9_5), sowie an jeweils zwei vom Durchschnitt abweichenden Fragmenten mit vergleichsweise besonders niedrigem (EN 6: 8_2) und hohem Eindringkoeffizienten (EN 4: 8_3). Da bei den ausgewählten Proben kontrastierende Wassertropfeneindringkoeffizienten festgestellt wurden, ist schlüssig, dass die berechneten w-Werte einen breiten Bereich zwischen ca. 0,3 und 22 kg/(m²√h) abdecken (Abb. 203). Diese unterschiedlichen Werte verdeutlichen Trends, die mit den Ergebnissen der Wassertropfeneindringtests sowie mit Putzgefüge und -aufbau vereinbar sind.

Oberputz

Die w-Werte der Oberputze liegen im Bereich zwischen 0,3 und 11,4 kg/(m²√h).³²³ Die beiden niedrigen w-Werte des Grabes EN 4 (2,8 kg/(m²√h) und EN 6 (0,3 kg/(m²√h) korrelieren mit den niedrigen Tropfeneindringkoeffizienten der Proben, die höheren Werte (EN 4: 11,4 kg/(m²√h; EN 6: 5,6 und 6,0 kg/(m²√h) decken sich mit den kurzen Eindringzeiten der Wassertropfen.

Wird von der Annahme ausgegangen, die Proben 3_6 und 8_2 seien aufgrund des niedrigen Wassertropfeneindringkoeffizienten oder hohen Randwinkels vermutlich konservatorisch behandelt, scheiden sie als stellvertretende Proben der Grabbauten aus. Der w-Wert der Probe 8_2 liegt trotz hohem Grad an Beschädigung (Risse, Fehlstellen) bei einer Oberputzstärke von ca. 4 mm unter dem Grenzwert von 0,5 kg/(m²√h) für die Bewertung einer Oberflächenhydrophobie.³²⁴ In Gegenüberstellung der Proben 8_3 (EN 4), 9_5 und 18_8 (EN 6) weisen die Proben des Grabes EN 6 geringere Wasseraufnahmekoeffizienten auf. Der w-Wert-Unterschied liegt vermutlich in der Oberputzstärke und dessen Beschaffenheit begründet. Der Oberputz der Proben 9_5 und 18_8 ist ca. 10 mm stark, der der Probe 8_3 ca. 2 – 3 mm. Die Querschliffe zu den Proben zeigen, dass Oberputz mit einer höheren Schichtstärke (EN 6) zum derzeitigen Erhaltungszustand grundsätzlich weniger Risse aufweist und dichter ist als ein zwei Millimeter starker Oberputz (EN 4) (vgl. Kap. 4.1.1 und 4.1.2). Zudem zeigen die stereomikroskopischen Aufnahmen im Streiflicht die vergleichsweise dichte und geschlossene Oberfläche der Probe 9_5 (Anhang III). Dagegen sind bei Probe 8_3 Fehlstellen sowie oberflächige Mikroabschalungen sichtbar (Anhang III). Die Oberflächenbeschaffenheit kann allerdings nicht als absolute Begründung für den höheren w-Wert gesehen werden. Bei der Messung der Wasseraufnahme befindet sich die Probe ca. 1 – 2 mm im Wasser. Zudem kann der Wasserpegel bei hoher Saugkraft durch Nachgießen³²⁵ nur bedingt konstant gehalten werden. Aufgrund der geringen Oberputzstärke von 2 – 3 mm ist deshalb von einer Beeinflussung des kapillaren Saugverhaltens durch den Unterputz über die Probenseiten auszugehen.³²⁶

Des Weiteren zeigen zwei Proben einen für die kapillare Wasseraufnahme ungewöhnlichen Kurvenanstieg (3_6,

³²³ Vergleichend sei hier Böttger genannt, welcher für historische Kalkputze w-Werte um 2,5 – 12,5 kg/(m²√h) erhält. BÖTTGER 1997, S. 84.

³²⁴ Vgl. MEINHARDT 2011, S. 121.

³²⁵ KNÖFEL / SCHUBERT schlagen zur Optimierung eine Gerätekombination mit Wasserstrahlpumpe und Membranpumpe für konstanten Wasserpegel und automatischer Messwerterfassung vor. KNÖFEL / SCHUBERT 1993, S. 62, 64.

³²⁶ Nach DIN EN ISO 15148:2002 ist dieses Phänomen bei der Wasseraufnahme von beschichteten Probekörpern als »Umgehung der Beschichtung« beschrieben und wird durch seitliche Abdichtung vermieden. Dieses Vorgehen wurde in dieser Arbeit wegen Beeinträchtigung weiterer Analysen nicht in Erwägung gezogen.

8_2; s. Anhang). Ursache hierfür könnte eben beschriebenes Artefakt (Erhöhung des Wasserpegels)³²⁷ sein oder der Einfluss der Schichtung, da der Übergang des Wassers von Ober- zu Unterputz mit dem Kurvenanstieg zusammenfällt. Ebenso könnten lösliche Salze das Saugverhalten beeinflussen.³²⁸ Eine Beeinflussung durch die kapillare Saugkraft des Unterputzes oder die Erhöhung der Kapillarität durch in Lösung gehende Salze werden als Ursachen in Betracht gezogen.

Unterputz

Charakteristisch ist der große Unterschied der Wasseraufnahme zwischen Unter- und Oberputz (Tab. 8). Die ausgewählten Proben stehen hierbei exemplarisch für drei Phänomene, welche am Grabmonument Schäden herbeiführen können: das starke Saugverhalten von unversinterter bzw. abgewitterter Unterputzoberfläche (4_1)³²⁹ im Vergleich zum mittleren Saugverhalten von versintertem Unterputz (7_1) und viel geringeren (9_5) bis wassersperrenden (8_2) Saugverhalten der Oberputzschichten. Die ähnlichen w-Werte der Proben 7_1 und 8_3 lassen sich aus den oben genannten Gründen erklären.

	Unterputz		Oberputz					
Grab:	EN 6	EN 4	EN 4			EN 6		
Probennummer:	7_1	4_1	3_6	8_3		8_2	9_5	18_8
w [kg/(m²·h)]	11,5	21,8	2,8	11,4		0,3	5,6	6,0

Tab. 8: Zahlenwerte der berechneten Wasseraufnahmekoeffizienten.

4.3.3 Wasseraufnahme und Wasseraufnahmekoeffizient nach Karsten

Die Wasseraufnahme nach Karsten bestätigt die Tendenzen der Ergebnisse des vorangegangenen Kapitels. Den Unterschied zwischen Unter- und Oberputz zeigt die Gegenüberstellung der Wasseraufnahmekurven in Abb. 205 (oben). Die Kurven der annähernd hydrophoben und stärker saugenden Oberputze sind in Abb. 205 (unten) dargestellt. Die Wasseraufnahme der Putze von zusammengefasst beiden Gräbern lässt sich wie oben in vier Bereiche einteilen: Unterputzrückseiten mit starkem Saugverhalten von etwa 2,5 ml unter 1 min, das vergleichsweise hierzu geringere Saugen der versinterten Unterputzoberfläche mit ca. 2,5 ml in 3:30 min, Oberputze mit einer Wasseraufnahme von 2,5 ml in etwa 7 min sowie mit geringem Saugverhalten bei einer Aufnahme von weniger als 0,5 ml in 30 min. Die Fragmente 3_6, 8_4 und 8_2 können als stark wasserabweisend eingestuft werden.

Die über Calcarow berechneten w-Werte sind in den Proportionen mit jenen des Kapitels 4.3.2 nahezu identisch (Abb. 203, 204). Auffälliger Unterschied ist die Größenordnung der Werte, welche mit der Methode nach Karsten sehr viel geringer sind (zwischen ca. 0,03 und 1,4 kg/(m²·h). Die w-Werte aus Kap 4.3.2 betragen etwa das

³²⁷ Insbesondere das Ergebnis der Wasseraufnahme der Probe 3_6 könnte von dem Artefakt beeinflusst sein. Die Probe zeigt bei niedrigerem Wassertropfeneindringkoeffizienten einen höheren w-Wert als Probe 8_2.

³²⁸ Bestimmte Salze können die kapillare Wasseraufnahme senken. Vgl. BLÖCHL-WIRTS 2001, S. 77.

³²⁹ Da das hier angewendete Verfahren bezüglich der Wasseraufnahme der Unterputzrückseiten nur bei Probe 4_1 anwendbar war, ist hier kein statistischer Vergleich möglich sowie auch nur ein Quervergleich zwischen den Proben beider Gräber.

10-fache. Bezüglich des Unterschieds kommen mehrere Ursachen in Frage:³³⁰ die in Kap 4.3.2 durchgeführte Methode kann bei geringen Oberputzstärken zu höheren w-Werten führen (s. o.). Die niedrigen Karsten-Werte liegen wahrscheinlich in der Prüffläche und Schichtung der Proben begründet. Im Unterschied zur Methode nach DIN 15801 ist die Wasseraufnahme nicht auf die Prüffläche (Fragmentkanten) begrenzt. Dadurch kann Wasser nur in eine Richtung aufsteigen. Bei der Karsten'schen Methode kann sich das Wasser seitlich der Prüffläche im Prüfkörper ausbreiten. Die seitliche Spreitung kann bei geschichteten Systemen verstärkt auftreten. Die Berechnung des Wasseraufnahmekoeffizienten mittels Calcarow geht von der idealisierten, zylinderförmigen Ausbreitungsrichtung des Wassers aus und führt bei seitlicher und flächenparalleler Wasserausbreitung zu verfälschten Ergebnissen. Einen Hinweis auf die Wasserausbreitung gibt die grafische Darstellung der Wasseraufnahme in ml in Abhängigkeit von der Zeit, welche im Idealfall einer Wurzelfunktion gleicht. Im Falle der hier vorliegenden Ergebnisse ist der lineare Verlauf der Wasseraufnahme ein Hinweis auf die abweichende Ausbreitungsrichtung des Wassers, vermutlich verursacht durch die Putzschichtung (Anhang III). Aufgrunddessen geben die in Kap. 4.3.2 ermittelten w-Werte realistischere Werte ab.³³¹ Die über Calcarow berechneten w-Werte werden als Zahlenwerte im Anhang, aufgrund der möglichen Verfälschung jedoch nicht in Säulendiagrammen aufgeführt.

4.3.4 Bohrwiderstand

Die Bohrwiderstandsprofile der Fragmente beider Grabbauten veranschaulichen schichtabhängige Festigkeitsunterschiede insbesondere zwischen Oberputz und Unterputz (Abb. 206). Diesen Unterschied zeigen die Profile des Grabes EN 6 aufgrund der größeren Oberputzstärke (zwischen 4 und 10 mm) prägnanter als jene des Grabes EN 4 (Oberputzstärke ca. 2 – 3 mm).

EN 6

Bei den Profilen des Grabes EN 6 zeichnet sich die höhere Festigkeit des Oberputzes teilweise inklusive dritter Unterputzschicht (ca. 3 – 4 atn) im Vergleich zu den ersten beiden Unterputzschichten (ca. 2 atn) deutlich ab. Bei 7_3-BW-1 ist im Bereich zwischen 0 und 10 mm entsprechend der Oberputzstärke ein erhöhter Widerstand im Gegensatz zum konstanten Widerstand des Unterputzes ab 10 mm Bohrtiefe sichtbar. 7_3-BW-2 zeigt einen kontinuierlichen Festigkeitsabstieg mit zunehmender Bohrtiefe. Der höchste Widerstand ist mit etwa 4 atn im oberflächennahen Bereich des Oberputzes in den ersten 5 mm gegeben, in der Tiefe fällt er zwischen ca. 10 – 15 mm (dritte Unterputzschicht) auf etwa 3 atn ab, dahinter zeichnen sich erste und zweite Unterputzschicht mit einem Widerstand von etwa 2 atn ab. Fragment 9_2 besitzt mit ca. 4 – 5 mm einen geringeren Oberputz als 7_3. Auch hier ist bei allen Profilen im Bereich von 0 bis etwa 8 bzw. 10 mm ein erhöhter Widerstand von 3 – 4 atn gegeben, welcher sich über die Oberputzschicht und die darunter liegende dritte Unterputzschicht erstreckt. Des Weiteren ist bei vier Profilen innerhalb des Oberputzes eine zunehmende Bohrhärte in Richtung Oberputzoberfläche zu erkennen. Dies könnte ein Hinweis auf die zunehmende Verdichtung in Richtung Oberfläche sein.

330 In Absprache mit Dr. E. WENDLER (08/2016).

331 Nach D'HAM ET AL. gäben Labormessungen im Allgemeinen exaktere Werte ab, die berechneten Karsten-w-Werte seien diesen gegenüber nur Näherungswerte. Hauptursachen wären die "Unsicherheit hinsichtlich der Ausbreitungsrichtung der Messflüssigkeit und damit der tatsächlichen Geometrie des durchfeuchteten" Volumens. D'HAM / MEINHARDT / NIEMEYER 2011, S. 92.

EN 4

Bei den Profilen des Grabes EN 4 ist nur im Einzelfall ein Unterschied zwischen Ober- und Unterputz erkennbar. Die Profile des Fragments 3_1 zeigen einen leichten Festigkeitsanstieg mit zunehmender Bohrtiefe, die des Fragments 3_6 einen sich über die Gesamttiefe erstreckenden, annähernd konstanten Widerstand von etwa 3 – 4 atn. Der Oberputz lässt sich nur bei Fragment 3_1 als etwa 2 – 3 mm breiter Peak erahnen, welcher jedoch mit ca. 3 atn im gleichen Widerstandsbereich liegt wie die Unterputzschichten.

Einfluss der Materialheterogenität auf das Bohrprofil

Bei der Beschreibung der Bohrwiderstandsprofile werden einzelne Festigkeitssprünge und -abfälle von ca. 1 – 2 mm nicht berücksichtigt. Zum einen liegt dies in der Auflösungsgrenze von etwa 1 mm begründet, zum anderen sind Sprünge auf die Materialheterogenität zurückzuführen. Nach NOGUEIRA ET AL. ist ein Mörtel ein heterogenes drei-Phasen-Material aus Bindemittel, Zuschlag und Grenzflächenbereich zwischen Bindemittel und Zuschlag. Insbesondere bei weichen Kalkmörteln ist der Festigkeitsunterschied zwischen den Phasen groß und äußert sich in unruhigen Bohrwiderstandsprofilen.³³² Inhomogenitäten wie Zuschlagskörner höherer Härte zeichnen sich als einzelne Peaks ab. Diese sind insbesondere bei den Profilen des Grabes EN 4 im Bereich der zweiten Unterputzschicht sichtbar, bei welchen sich bis zu 4 mm breite Peaks mit erhöhtem Widerstand als hartes Grobkorn – ein charakteristisches Merkmal der Schicht – identifizieren lassen. Entscheidend ist hierbei nicht unbedingt die Härte des Kornes, sondern vor allem der Zusammenhang zwischen Bohrerdurchmesser und Größe des Kornes. Körner von etwa 1 mm werden von einem drei-Millimeter-Bohrer nicht als Störung erfasst.³³³ Die tendentiell unruhigeren Bohrprofile des Grabes EN 4 lassen sich somit aus dem höheren Anteil an Grobkorn erklären und die Festigkeitssprünge wären als Artefakte des zu geringen Bohrerdurchmessers zu betrachten.

4.3.5 Rohdichte und offene Porosität

Von jeweils zwei Proben des Grabes EN 4 und EN 6 wurden die Rohdichte und offene Porosität je Putzschicht bestimmt. Die ermittelten Rohdichten liegen zwischen ca. 1590 und 2080 kg/m³, die zugehörigen offenen Porositäten zwischen 41 und 22 % (Tab. 9). Das Streudiagramm (Abb. 208) zeigt die grundsätzliche, lineare Beziehung zwischen Rohdichte und offener Porosität der geprüften Schichten: je geringer der Anteil der Poren in Volumenprozent, desto größer ist die Rohdichte.

Das Säulendiagramm (Abb. 207) gibt die einzelnen Werte der Schichten wieder. Bemerkenswert ist dabei erstens der Unterschied zwischen Unter- und Oberputz bei beiden Grabmonumenten, zweitens die Gemeinsamkeit der Unterputze beider Gräber und drittens die unterschiedliche Beschaffenheit der Oberputze im Grabvergleich.

Der Unterschied zwischen Unter- und Oberputz ist durch folgende Werte gegeben: Die Rohdichten der 1. und 2. Unterputzschicht beider Grabbauten befinden sich im Bereich um 1600 kg/m³ mit offenen Porositäten um 40 Vol.-%. Die Rohdichten der Oberputzschichten liegen mit Werten um 1900 – 2000 kg/m³ deutlich höher, die offenen Porositäten mit Werten zwischen 22 und 30 % deutlich niedriger als jene der Unterputzschichten. Im

332 NOGUEIRA / FERREIRA PINTO / GOMES 2014, p. 758.

333 Über den Zusammenhang von Bohrerdurchmesser und Größtkorn (als Gefügestörstelle): PFEFFERKORN schätzt die »theoretische Auflösungsgrenze von Materialinhomogenitäten« laut Gesetzmäßigkeit der RVE (Repräsentative Volumeneinheiten) bei einem 3-mm-Durchmesser-Bohrer bei etwa 1 mm ein. Damit ein 3 mm Korn keinen Festigkeitssprung verursacht, müsste der Bohrerdurchmesser größer sein. PFEFFERKORN 1998, S. 103.

Vergleich der Grabbauten zeigt sich, dass die Oberputze der geringeren Stärke (ca. 2 – 3 mm, EN 4) von einer geringeren Dichte (ca. 1900 kg/m³) sind als jene mit 4 – 10 mm Stärke (über. 2000 kg/m³, EN 6). Auffällig ist zudem der nahezu kontinuierliche Dichteanstieg insbesondere bei den Schichten der Fragmente des Grabes EN 6 in Richtung Oberputz. Die dritte, bei EN 4 fehlende Unterputzschicht stellt in Dichte und Porosität (um 1750 kg/m³ und unter 35 %) den Übergang zwischen ersten beiden Unterputzschichten und Oberputz dar.³³⁴ Eine ähnliche Tendenz ist bei der zweiten Unterputzschicht des Grabes EN 4 zu sehen, welche etwas geringer porös ist als die erste Schicht. Dies verdeutlichen vor allem die bildanalytisch gemessenen Porositäten (Abb. 210).

Vergleich mit digitaler Bildanalyse

Die über digitale Bildanalyse gemessenen Porositäten in Flächenprozent liegen deutlich niedriger als die über das Tauchverfahren bestimmten Porenvolumina (Tab. 9, Abb. 210). Der Begriff „Gesamtporosität“ für die bildanalytisch berechnete Porosität ist zwar technisch richtig, da mittels Dünnschliffen nicht zwischen offenen und geschlossenen Poren unterschieden werden kann, aber irritierend, da die Gesamtporosität eigentlich höhere Werte ergeben müsste als die offene Porosität. Dies zeigt, dass für die Interpretation der Ergebnisse die Information über das angewandte Verfahren unerlässlich ist. Mittels digitaler Bildanalyse können aufgrund der Auflösungsgrenze nur Poren ab ca. 70 µm (Groporen > 100 µm) im Makroporenbereich (IUPAC: > 0,025 µm)³³⁵ sicher gemessen werden (Kap. 3.6.1.3). Kapillarporen (ca. 0,1 bis 100 µm)³³⁶, welche Wasseraufnahme und -transport bedingen, werden nur teilweise, kleinere Poren werden nicht erfasst. Trotz der Größenordnungsunterschiede zeigt die grafische Gegenüberstellung der berechneten Porositäten, dass beide Analyseverfahren aufgrund Proportionalgleichheit (gleichmäßige Differenz von ca. 25%) die selben Trends im Schichtenvergleich veranschaulichen. Die Beziehung zwischen Porenanteil in Flächenprozent und über Tauchverfahren berechneter Rohdichte (Abb. 209) zeigt eine größere Streubreite der Wertpaare, aber dennoch die gleiche lineare Relation zwischen Dichteanstieg und Porositätsabnahme wie Abb. 208.

Größenordnung der ermittelten Werte

Grundsätzlich sei anzumerken, dass die ermittelten Werte nicht als Absolutwerte betrachtet und nicht mit frisch hergestellten Kalkmörteln verglichen werden können. THOMSON ET AL. geben Werte der Gesamtporositäten hergestellter Mörtel in Abhängigkeit vom Bindemitteltyp an.³³⁷ Die durchschnittliche Gesamtporosität von hydraulischem Kalk wird als ca. 20 % angegeben, von Luftkalkmörtel zwischen 20 und 30 %. Diese Werte sind grobe Vergleichswerte für die Beurteilung der Größenordnung und lassen die Aussage zu, dass hydraulische Mörtel generell geringere Gesamtporosität aufweisen können als Luftkalkmörtel ohne Berücksichtigung der porositätsbeeinflussenden Herstellungsbedingungen (w/z-Wert, Trocknungsverhalten, Partikelgrößen, etc.). Generell ist der Vergleich zu in anderen Arbeiten ermittelten Porenvolumina schwierig, da die Werte abhängig sind von den angewandten Verfahren.³³⁸ WENS erhält Werte für Gesamtporositäten von Kalkmörteln bestimmt über Quecksilberdruckporosimetrie von zwischen 25 – 30 Vol.-%.³³⁹ Die offene Porosität der in dieser Arbeit geprüften Unter-

334 Nach THOMSON ET AL. können geringere Porositätswerte Hinweise sein auf hydraulisch abgebandenen Mörtel. THOMSON ET AL. 2004, p. 101 – 102.

335 BORELLI 1999, S. 4.

336 THOMSON ET AL. 2004, p. 77.

337 THOMSON ET AL. 2004, p. 81.

338 THOMSON ET AL. 2004.

339 WENS 1998, S. 51 – 53.

putzschichten (ca. 40 %) liegt deutlich höher als die eben genannten Vergleichswerte der Gesamtporositäten. Hier muss des Weiteren berücksichtigt werden, dass die Werte von Alterungs- und Verwitterungsprozessen, einhergehend mit der Vergrößerung der Poren, beeinflusst sein können.³⁴⁰ Aufgrund dessen ist für die Charakterisierung der vorliegenden Putze der Vergleich der Rohdichten und Porenvolumina untereinander und mit den Ergebnissen der weiteren Analysemethoden bedeutend.

	Probennummer	Schicht	ρ_b [kg/m ³]	p_o [V-%]	p_g [A-%] (Durchschnittswert mehrerer Proben)
EN 4	8_4_5_1	Unterputz, Schicht 1	1593	41	13
	8_4_5_2	Unterputz, Schicht 2	1658	38	8
	8_4_5_3	Oberputz, Schicht 3	1874	30	4
	3_6_6_1	Unterputz, Schicht 1	1671	38	13
	3_6_6_2	Unterputz, Schicht 2	1651	38	8
	3_6_6_3	Oberputz, Schicht 3	1926	27	4
EN 6	9_5_5_1	Unterputz, Schicht 1	1590	41	16
	9_5_5_1+2	Unterputz, Schicht 1 und 2	1634	39	17 (16 und 18)
	9_5_5_3	Unterputz, Schicht 3	1752	33	9
	9_5_5_1+2+3	Unterputz, Schicht 1, 2 und 3	1719	35	
	9_5_5_4	Oberputz, Schicht 4	2081	22	2
	9_2_3_1+2+3	Unterputz, Schicht 1, 2 und 3	1623	40	
	9_2_3_3	Unterputz, Schicht 3	1749	35	9
	9_2_3_4	Oberputz, Schicht 4	2059	23	2

Tab. 9: Werte der Rohdichte, offenen Porosität (Vakuum-Tauchverfahren) und Gesamtporosität in Flächenprozent (digitale Bildanalyse)

4.3.6 Kurzzusammenfassung

Die ermittelten Werte der Rohdichte und Porosität korrelieren direkt mit den Ergebnissen der Wasseraufnahme und des Bohrwiderstandes. Den Bezug, je höher die Porosität, desto höher die Wasseraufnahme,³⁴¹ zeigt die Gegenüberstellung der mittleren w-Werte der Unterputzschicht 1 und Oberputzschicht beider Gräber mit den entsprechenden Durchschnittswerten der Porosität (Abb. 211). Da es sich bei der ermittelten Porosität um das Volumen der mit Wasser gesättigten Poren handelt, ist der Volumenanteil der offenen Poren direkt gleichzusetzen mit der maximal möglichen Wasseraufnahme in Vol.-%.

Die Beziehung, je dichter der Putz, desto höher der Bohrwiderstand, wird insbesondere bei den Proben des

340 THOMSON ET AL. 2004, p. 101 – 102.

341 BORELLI 1999, S. 6.

Grabes EN 6 deutlich.³⁴² Der grundsätzlich höhere Widerstand des Oberputzes im Vergleich zum Unterputz mit einer Differenz von etwa 1 – 2 atn wird durch die hohen Rohdichten bestätigt. Auch zeichnet sich die Dichte der dritten Unterputzschicht als erhöhter Widerstand in den Profilen ab. Der teilweise sichtbare kontinuierliche Festigkeitsanstieg in Richtung Oberputz bei den Profilen des Grabes EN 6 spiegelt sich in dem dreistufigen Dichteanstieg von erster bis vierter Putzschicht wieder.

Charakteristisch ist der Unterschied zwischen den Oberputzen im Grabvergleich. Die Oberputzschichten des Grabes EN 6 liegen mit über 2000 kg/m³ höher als jene des Grabes EN 4. Diese Tendenz deckt sich mit den Ergebnissen der Wasseraufnahme und des Bohrwiderstandes mit folgender Beziehung: die stärkeren Oberputze des Grabes EN 6 sind dichter, fester, geringer porös und kapillar saugfähig als die Putze des Grabes EN 4.

4.4 Komponentenverhältnisse

4.4.1 Komponentenverhältnisse mittels digitaler Bildanalyse

4.4.1.1 Gesamtporosität, Bindemittel-Zuschlagverhältnis, Kalkgallen- und carbonatischer Zuschlagsanteil

Grabmonument EN 4³⁴³

Die Messung der **Gesamtporosität** zeigte sowohl in der Betrachtung jedes Einzelpräparates, als auch im Durchschnitt einen Abfall von der mauerwerksseitigen, ersten Unterputzschicht hin zur Oberputzlage (Abb. 210). Dabei weist die erste Unterputzschicht im Durchschnitt eine Porosität von 13 %, die zweite Unterputzschicht eine Porosität von 8 % und die Oberputzschicht eine Porosität von 4 % auf. Dieser Porositätsabfall von innen nach außen wurde auch bei der mikroskopischen Untersuchung zu Stratigrafie und Gefüge ermittelt (Kap.4.1.1). Hierbei wurden die Porositäten der Unterputze jedoch leicht höher, die der Oberputzes etwas geringer eingeschätzt. Die ermittelten **Bindemittel-Zuschlagsverhältnisse** sind sowohl im Vergleich der Einzelpräparate, als auch im Durchschnitt für die Unterputzschichten des Grabbaus EN 4 nahezu identisch (Abb. 215). So beträgt das B/Z-Verhältnis der ersten Unterputzschicht 32/68, das der zweiten 33/67. Für die Oberputzschicht wurde hingegen ein Verhältnis von durchschnittlich 52 /48 ermittelt. Diese Werte sind den Schätzwerten anhand von Vergleichsbildern sehr ähnlich – dabei wurde das Bindemittel-Zuschlagverhältnis der Unterputze auf 30/70, der Oberputzes auf 50/50 abgeschätzt (Kap. 4.1.1). Bei dem für die zweite und dritte Putzschicht ermittelten B/Z-Verhältnis ist anzumerken, dass bei der Segmentierung der in diesen Schichten mikroskopisch ermittelte höhere Feinanteil nicht erfasst werden konnte. Daher ist anzunehmen, dass der Bindemittelanteil auf Kosten des Zuschlages etwas zu hoch bewertet wurde. Die Größenordnung dieser Verschiebung kann jedoch nicht genau bestimmt werden.³⁴⁴

Der bildanalytisch ermittelte **Kalkgallenanteil** beträgt in der ersten Unterputzschicht 3 %, in der zweiten Un-

342 Die Porosität hat einen direkten Einfluss auf die Druck- und Zugfestigkeit. Die Druckfestigkeit sinkt mit steigender Porosität. THOMSON ET AL. 2004, p. 80 – 81.

343 Anhang III: Untersuchungsdatenblätter.

344 Jedoch können im Vergleich der Ergebnisse des Säureaufschlußverfahrens und der Siebanalyse möglicherweise Rückschlüsse auf die Größe der Verschiebung gezogen werden (Kap. 4.4.2, Kap. 4.4.3).

terputz- und in der Oberputzschicht 1 %. Hierbei ist anzumerken, dass in der Oberputzschicht nur an einem Dünnschliff Kalkgallen gefunden wurden. Aufgrund der nicht miterfassten kleinen Kalkgallen unter etwa 0,3 mm ist davon auszugehen, dass der reale Kalkgallenanteil leicht über den ermittelten Werten liegt.

Der Anteil an **carbonatischem Zuschlag** in den Unterputzen wurde nur an einem Dünnschliff des Grabbaus ermittelt (8_4_2). Das Ergebnis stellt somit keinen Durchschnittswert dar. Für die erste Unterputzschicht konnte ein Anteil von 1 %, für die zweite Unterputzschicht ein Anteil von 2 % Carbonaten im Zuschlag ermittelt werden.

Grabmonument EN 6³⁴⁵

Die Messung der **Gesamtporositäten** der Putze des Grabes EN 6 zeigte mit 16 % und 18 % annähernd gleiche Werte für die beiden ersten Unterputzschichten. Die dritte Putzlage weist hingegen mit 9 % eine geringere Porosität auf. Der Oberputz zeigt mit 2 % den niedrigsten Wert. Damit kann auch hier von einer Abnahme der Porosität von der Wand- zur Außenseite des Putzpaketes gesprochen werden (Abb. 210), die bereits bei der mikroskopischen Untersuchung zu Stratigrafie und Gefüge festgestellt wurde (Kap. 4.1.2).

Als **Bindemittel-Zuschlagverhältnis** konnte für alle drei Unterputzschichten annähernd die gleichen Werte ermittelt werden: 1. Unterputz 31/69, 2. Unterputz 28/72 3. Unterputz 30/70 (Abb. 215). Der Oberputz zeigt mit einem durchschnittlichen B/Z-Verhältnis von 49/51 einen deutlich höheren Bindemittelgehalt. Auch hier ergab die bildanalytische Messung den Schätzwerten aus Kap. 4.1.2 ähnliche Ergebnisse – hierbei wurde für die Unterputzschichten ein B/Z-Verhältnis von 30 /70 und für den Oberputz ein B/Z-Verhältnis von 50/50 abgeschätzt. Für das ermittelte Verhältnis des Oberputzes des Grabbaus EN 6 ist die gleiche Problematik zu bedenken wie bei der zweiten Unterputz- und der Oberputzlage von EN 4. Auch hier konnte der Feinanteil nicht in seiner Gänze erfasst werden, was zu einer leichten Überschätzung des Bindemittelanteils führt.

Die bildanalytischen Messungen des **Kalkgallenanteils** der Unterputze von EN 6 ergab für den Unterputz einen Gehalt von 2 %, für den zweiten und dritten Unterputz einen Gehalt von 1 % und für den Oberputz 0,5 %. Der Anteil an **carbonatischem Zuschlag** wurde auch bei EN 6 nur an einem Dünnschliff (9_5_2) ermittelt. Das Ergebnis von etwa 1 % Anteil an carbonatischem Zuschlag stellt somit keinen Durchschnittswert dar.

4.4.1.2 Korngrößenverteilung³⁴⁶

Ergebnisse aus der Referenzmessung bei Grabmonument EN 4 (in A.-%)

Die Ergebnisse der Korngrößenverteilung der Putzschichten von EN 4 wurden nur aus einem Dünnschliff (8_4_2) bezogen und stellen daher keinen Durchschnittswert dar. Die in diesem Abschnitt behandelten Werte entstammen der Referenzmessung aus den manuell in Photoshop nachbearbeiteten Messbilder.

Für den **ersten Unterputz** (Abb. 220) des Grabes EN 4 ergab sich mit knapp 60 % ein dominanter Anteil der Kornfraktionen von 0,315 – 0,8 mm. Die Kornklasse von 0,8 – 2 mm ist mit etwa 20 % vertreten, bei vereinzelt Größtkorn über 2 mm (2 %). Die Fraktion von 0,25 – 0,315 mm macht etwa 8 % der Sandmischung aus. Der Feinanteil unter 0,25 mm liegt bei knappen 8 %.

In der Korngrößenverteilung der **zweiten Unterputzschicht** (Abb. 221) zeigt sich hingegen ein dominanter Anteil von etwas über 45 % im Grobkornbereich von 1 bis 2 mm, bei vereinzelt Größtkorn über 2 mm (etwa 6 %).

345 Anhang III: Untersuchungsdatenblätter.

346 Anhang III: Untersuchungsdatenblätter.

Die Kornklassen von 0,8 – 1 mm machen etwa 12 %, die Klasse von 0,5 – 0,8 mm knappe 20 %, die Fraktion von 0,315 – 0,5 mm 10 % und die Fraktion von 0,25 – 0,315 mm etwa 3 % der Sandmischung aus. Die Feinfraktion unter 0,25 mm ist nur mit etwa 4 % vertreten.

Die Messung des **Oberputzes** (Abb. 222) ergab wie bei dem zweiten Unterputz mit etwa 40 % einen dominanten Anteil der Kornklasse von 1 – 2 mm. Ein Größtkorn über 2 mm konnte nicht ermittelt werden. Die Kornklassen von 0,125 – 1 mm machen gemeinsam einen Anteil von etwa 55 % der Sandmischung aus. Fein- und Feinstanteil unter 0,125 mm ist mit nur etwa 5,5 % kaum enthalten.

Die bildanalytisch ermittelten dominanten Anteile der drei Putzlagen im Bereich der größeren Fraktionen spiegeln in etwa die Abschätzungen der makro- und mikroskopischen Untersuchung wieder (Kap. 4.1.1). So wurde für die erste Unterputzlage ein auffällig hoher Anteil an Kornklassen von 0,5 bis 1 mm, für die zweite Unterputzlage und den Oberputz ein dominanter Anteil der Kornklassen von 1 bis 2 mm geschätzt. Der mikroskopisch ermittelte höhere Feinstanteil beim zweiten Unterputz und Oberputz im Vergleich zur ersten Unterputzlage konnte durch die bildanalytische Messung nicht erkannt werden. Dies resultiert aus der nicht oder nicht vollständigen Erfassbarkeit feiner Partikel bei der Segmentierung. Daher können die Ergebnisse nicht als absolut betrachtet werden.

Vergleich der Ergebnisse aus der schnellen Segmentierung und der Referenzmessung bei Grabmonument EN 4 (in A.-%)

Der Vergleich der Messergebnisse aus der manuell nachbearbeiteten (Referenzmessung) und der schnellen Segmentierung der Zuschläge des Dünnschliffes 8_4_2 zeigte bei letzterer für die **erste Unterputzschicht** eine deutliche Verschiebung zu den größeren Kornklassen (Abb. 220). Der Anteil an Größtkorn (über 2 mm) wird mit über 50 % im Vergleich zu knapp 3 % der Referenzmessung stark, der Anteil der Kornklassen von 1 – 2 mm mit einer Differenz von 10 % etwas geringer überschätzt. Alle darunter liegenden Kornklassen werden bei der schnellen Segmentierung entsprechend deutlich unterschätzt, wobei insbesondere der Anteil der Fraktion von 0,315 – 0,8 mm mit knappen 15 % zur Referenzmessung mit knappen 60 % deutlich geringer ausfällt.

Bei der **zweiten Unterputzschicht** zeigte sich ebenfalls eine deutliche Verschiebung hin zu den größeren Kornklassen bei der schnellen Segmentierung (Abb. 221). So ergab die Referenzmessung einen Anteil von etwas über 5 % der Kornklasse über 2 mm, die schnelle Segmentierung hingegen einen Anteil von über 25 %. Bei diesem Unterputz wurde jedoch bereits die Fraktion zwischen 1 bis 2 mm mit der Schnellsegmentierung stark unterschätzt: Die Referenzmessung ergab hierbei einen Wert von etwa 45 %, die Schnellsegmentierung einen Wert von nur etwa 27 %. Bei allen Kornklassen von 0,315 – 1 mm kam es bei der schnellen Segmentierung mit etwa 2,5 % Differenz zur Referenzmessung nur noch zu einer geringen Unterschätzung des Flächenanteils. Die Fraktion von 0,125 bis 0,25 mm wurde hingegen mit einer Differenz von etwa 1 % leicht überschätzt. Bei allen Fraktionen unter 1 mm zeigt sich bei der zweiten Unterputzschicht zumindest im Verlauf (Steigen und Fallen der Anteile) eine annähernd gleiche Proportion zur Referenzmessung.

Auch beim **Oberputz** trat eine Verschiebung zu größeren Kornklassen bei der Schnellsegmentierung ein (Abb. 222). Davon betroffen sind die Fraktionen von über 2 mm und von 1 – 2 mm, wobei die Differenz von jeweils etwa 10 % nicht so stark ausgeprägt ist wie bei den Unterputzen. Da jedoch bei der Referenzmessung der Anteil an der Kornklasse über 2 mm 0 % betrug, im Vergleich zu etwa 10 % bei der Schnellsegmentierung, ist auch hier das Ergebnis der schnellen Methode verfälschend. Alle Kornfraktionen des Oberputzes unter 1 mm werden bei der Schnellsegmentierung unterbewertet, wobei die Flächenprozentanteile der Klassen von 0,125 – 1 mm mit etwa 20 % Differenz zur Referenzmessung deutlich, die darunter liegenden Fraktionen mit einer Differenz von etwa 1 % nur noch sehr gering ausfallen.

Die generelle Überschätzung der gröberen Kornfraktionen bei der Schnellsegmentierung resultiert aus dem Effekt des Zusammenwachsens der Einzelkörner zu nicht mehr differenzierbaren, großen Agglomeraten. Die deutliche Abweichung der Fraktionen von 0,315 – 0,8 mm bei der ersten Unterputzschicht entspricht der Feststellung von CARÒ / GIULIO³⁴⁷ das ein hoher Anteil an kleineren Kornklassen in Kombination mit einer mangelnden Detektierbarkeit der Korngrenzen zu einer stärkeren Verzerrung der Ergebnisse der Bildanalyse im Sinne einer Unterschätzung dieses Anteils führt. Dies erklärt auch die etwas bessere Übereinstimmung der Ergebnisse der zweiten Unterputzschicht, da deren dominanter Anteil bei der gröberen Fraktion von 1 – 2 mm liegt. Die etwas geringeren Abweichungen der Werte des Oberputzes sind vermutlich auf den höheren Bindemittelanteil dieses Mörtels zurückzuführen: etwa 50 % im Vergleich zu etwa 30 % der Unterputze. Aufgrund dessen kommt es seltener zu direkten Kornkontakten, der Effekt des Zusammenwachsens der Einzelkörner ist weniger stark ausgeprägt. Zudem ist der Zuschlag des Oberputzes deutlich homogener als der des Unterputzes und konnte daher mit einer Direktauswahl selektiert werden.

Aus den Ergebnissen des Vergleiches kann geschlossen werden, dass die Ermittlung der Korngrößenverteilung anhand der digitalen Bildanalyse, mit angemessenem Zeitaufwand, nur an Mörteln mit relativ homogenem Zuschlag und höheren Bindemittelanteil zu einigermaßen verwertbaren Ergebnissen führt. Dies zeigte sich ja bereits bei der Segmentierung. Es ist anzumerken, dass weder mit der manuell nachbearbeiteten, noch mit der schnellen Segmentierung der Feinstanteil der Putzes in seiner Gänze und seinem vollem Umfang erfasst werden konnte. Daher können auch die Ergebnisse der Referenzmessung nicht als absolut betrachtet werden.

Messergebnisse der Oberputzes von Grabbau EN 4 und EN 6 aus der Schnellsegmentierung

Da für den Grabbau EN 6 keine Ergebnisse aus einer Referenzmessung ermittelt wurden, werden im Folgenden die Resutate der Korngrößenverteilungen aus der Schnellsegmentierung gegenübergestellt.

Für den **Oberputz des Grabbaus EN 4** (Abb. 219) wurde mit etwa 50 % ein dominanter Anteil der Kornklasse von 1 – 2 mm ermittelt. Größtkorn von über 2 mm war mit etwa 10 % vertreten. Der Anteil der Fraktionen von 0,125 – 1 mm macht zusammen etwa 35 %, der Feinanteil unter 0,063 mm etwa 3 % der Zuschläge aus.

Bei dem **Oberputz von EN 6** zeigt sich eine ähnlich Verteilung, jedoch mit leichten Verschiebungen. Auch hier liegt der dominante Anteil mit ca. 36 % bei der Fraktion von 1 – 2 mm. Größtkorn über 2 mm war mit etwa 9 % vertreten. Der Anteil der Fraktionen von 0,125 – 1 mm beträgt etwa 48 %, die Feinfraktion unter 0,125 etwa 7 %.

Trotz der Problematiken der Schnellsegmentierung spiegelt das Ergebnis der Messungen zumindest teilweise die Einschätzungen bei der mikroskopischen Untersuchung wieder (Kap. 4.1.1, Kap. 4.1.2). So wurde auch hierbei ein dominanter Anteil der Fraktion von 1 – 2 mm abgeschätzt. Zudem ergab die bildanalytische Messung einen etwas höheren Feinanteil bei EN 6. Auch dies war nach mikroskopischer Einschätzung zu erwarten. Aufgrund der schlechten Erfassbarkeit der Feinzuschläge mittels Bildanalyse ist dieses Messergebnis jedoch nur bedingt verwertbar.

347 CARÒ / GIULIO 2004, p. 252, 253.

4.4.2 Gesamtcarbonatgehalt mittels CO₂-Analyse nach Scheibler

Ergebnisse und Qualitative Aussage

Die gasvolumetrische CO₂-Analyse liefert eine vage Einschätzung des Gesamtcarbonatgehaltes. Die Ergebnisse der verschiedenen Schichten sind in Tab. 10 und Abb. 212, 213 dargestellt. Die Werte der Unterputzschichten liegen je nach Art der Berechnung und Messschwankung zwischen ca. 13 und 40 m-%. Die Oberputzschichten beider Gräber geben Werte zwischen ca. 85 und 150 m-%. Insbesondere bei letzteren fallen die Messungenauigkeiten der Methode auf (s. nächster Abschnitt). Werden die Schwankungen relativ zu den getesteten Referenzproben betrachtet, deren Werte ebenfalls über 100 % liegen, geht aus den Ergebnissen eindeutig die qualitative Aussage hervor, dass es sich bei den Oberputzen im Vergleich zu den Unterputzen um nahezu rein carbonatische Verbindungen in Zuschlag und Bindemittel handeln muss.³⁴⁸ Dies stimmt überein mit den Ergebnissen der mikroskopischen Verfahren.

Wertschwankungen und Quantitative Aussage

Quantitativ ist lediglich eine grobe Aussage mit einem Toleranzbereich von $\pm 20\%$ ³⁴⁹ möglich (bei Anwendung von Gleichung (1) und (3), Tab. 10), welche nur durch Mehrfachbestimmungen und Mittelwertbildung gefestigt werden kann. Die Ergebnisse zeigen, dass selbst drei Messungen pro Probe zu vage Ergebnisse liefern, da meist ein Wert stark abweicht. Auffällig sind die Wertschwankungen innerhalb der Proben einer Schicht mit Differenzen mit bis zu 30 % (vgl. 9_5_7_4). Betrachtet man die Werte der Referenzproben, fallen die theoretischen hohen Carbonatgehalte auf, welche nicht über 100 % liegen dürften.³⁵⁰

348 Die Proben lösten sich mit Salzsäure rückstandsfrei auf.

349 Nach WISSER liegt die Messungenauigkeit des Scheibler-Verfahrens bei 0,5 %. Diese Messabweichung ist jedoch ohne Bezug auf die Messbedingungen angegeben (Vgl. WISSER 1989, S. 8). Dagegen geben BLÄUER-BÖHM / JÄGERS den relativen Fehler mit 5 % an. BLÄUER-BÖHM / JÄGERS 1997, p. 229. Die hier abgeschätzte Toleranz von 20 % gründet vermutlich in Temperaturschwankungen.

350 Vermutlich zurückzuführen auf Temperaturschwankungen während der Messung. Die Proben reinen Kalkes dienen als Referenz, um den Unterschied zum Sollwert festzustellen. FRESENIUS empfiehlt den Vergleich mit Referenzproben bei Schwankungen. FRESENIUS 1875, S. 454.

Grab	Probennummer	Schicht	CaCO ₃ -Gehalt nach Gleichung (1)	CaCO ₃ -Gehalt nach Gleichung (2)	CaCO ₃ -Gehalt nach Gleichung (3)	Säurelöslicher Gehalt nach Kap. 4.4.3		
	Ref. Ulmer Weiß		113,5	129,6	100			
	Ref. Calcit (Merck)		110,2	125,8	97,1			
EN 6	9_5_7_1	Unterputz Schicht 1	41,3	47,2	36,4	23,6 (Ø)	27,36	
			19,0	21,6	16,7			
			15,5	17,6	13,6			
			29,0	36,1	27,8			
	9_5_7_2	Unterputz Schicht 2	21,3	24,3	18,7	17 (Ø)	26,74	
			20,4	23,3	17,9			
			16,3	18,6	14,4			
	9_5_7_3	Unterputz Schicht 3	34,6	39,5	30,5	27,8 (Ø)	37,64	
			33,0	37,6	29,0			
			27,0	30,9	23,8			
	9_5_7_4	Oberputz, Schicht 4	113,1	129,1	99,6	102,9 (Ø)		
			102,0	116,5	89,9			
			135,3	154,5	119,2			
	EN 4	8_4_7_1	Unterputz Schicht 1	18,3	20,9	16,1	18,0 (Ø)	29,23
				17,9	20,5	15,8		
				25,0	28,5	22,0		
8_4_7_2		Unterputz Schicht 2	16,7	19,0	14,7	17,5 (Ø)	30,35	
			25,8	29,4	22,7			
			17,3	19,7	15,2			
8_4_7_3		Oberputz, Schicht 3	97,1	110,9	85,5	89,3 (Ø)		
			97,8	111,7	86,1			
				124,7	96,2			

Tab. 10: Vergleich zwischen den berechneten CaCO₃-Gehalten aus den Scheibler-Messungen mit den Ergebnissen des Säureaufschlusses. Die Ergebnisse der Gleichung (1) gleichen bei Anwendung eines Korrekturfaktors abgestimmt auf die Referenzprobe Ulmer Weiß den in (3) berechneten Werten.

4.4.3 Säureunlöslicher Rückstand

Ergebnisse

Die Verhältnisse zwischen säurelöslichem Mörtelbestandteil und unlöslichem Rückstand der Unterputzschichten unterscheiden sich bei beiden Gräbern nur gering (Abb. 214). Die Massenverhältnisse zwischen Löslichem und Unlöslichem der ersten beiden Schichten des Grabes EN 4 (8_4) sind mit 29 / 71 und 30 / 70 gegeben, des Grabes EN 6 (9_5) mit jeweils 27 / 73 für die ersten beiden Schichten und 38 / 62 für die dritte

Unterputzschicht³⁵¹. Mit Ausnahme der dritten Unterputzschicht entsprechen die Verhältnisse in Annahme der Verwendung von frisch oder trocken gelöschtem Branntkalk bei der Herstellung in etwa Volumenverhältnissen von 1 : 3,5 bis 1 : 4 (Tab. 12).

Unterputzschicht 3, Grab EN 6

Wie bereits aus vorigen Untersuchung ersichtlich, unterscheidet sich die dritte Schicht des Grabes EN 6 in ihren Eigenschaften von den anderen Unterputzschichten. Sie ist in der Regel von geringerer Schichtstärke, dichter, geringer porös und stellenweise im Bohrwiderstandsprofil von höherer Festigkeit. Makro- und mikroskopisch ist sie durch ihre leichte Braunfärbung (Feintanteil?) erkennbar. Auch zeigte sich beim Separieren der Schichten deren unklar verlaufende Schichtgrenze zur Unterputzschicht 2 (vgl. Mikroskopische Verfahren) und starke Anbindung zur benachbarten Schicht 2 und 3. Das Verhältnis von Säurelöslichem und Unlöslichem lässt auf einen höheren Bindemittelanteil in einem Volumenverhältnis von ca. 1 : 2,4 schließen.

Verfälschung des Verhältnisses

Das Verhältnis zwischen Säurelöslichem und -unlöslichem entspricht in etwa dem Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis des Festmörtels. Säurelösliche Bestandteile des Zuschlags³⁵² sowie mehr oder weniger lösliche Reaktionsprodukte des Bindemittels mit dem Feinanteil des Zuschlags (z. B. Calciumsilikate)³⁵³ wirken ergebnisverfälschend.³⁵⁴ Nach WISSER / KNÖFEL werde der eigentlich etwas höher liegende Zuschlagsanteil durch einen gewissen säureunlöslichen Bindemittelrückstand ausgeglichen. In Anbetracht der Resultate der digitalen Bildanalyse sind die carbonatischen Zuschlagsanteile mit ca. 1,0 – 1,7 Flächenprozent bezogen auf den Gesamtmörtel und somit deren Einfluss auf die Berechnung des B/Z-Verhältnisses durch Säureaufschluss verhältnismäßig gering (vgl. Tab. 11).

Theoretische Zurückrechnung auf Frischmörtelverhältnisse

Der Säureaufschluss legt zunächst das Massenverhältnis von Säurelöslichem und Unlöslichem bezogen auf den Festmörtel dar. Durch Zurückrechnung auf Volumenverhältnisse ist eine grobe Einschätzung der baustellenüblichen Frischmörtelmischungen möglich. BLÄUER weist zurecht darauf hin, dass sich ein Festmörtel in seiner chemisch-mineralogischen Verbindung von seinen Ausgangsmaterialien unterscheidet.³⁵⁵ Bei der Rückrechnung auf Frischmörtelverhältnisse ist der abgebundene, gealterte Mörtel das Ausgangsprodukt, dessen Gefüge und Zusammensetzung sich von dem Mörtel des Herstellungszeitpunkts stark unterscheiden können (Verwitterung, Rekristallisationen, Reaktionsprodukte des Bindemittels, Bindemittelauslaugung, etc.)³⁵⁶. Diesbezüglich muss bedacht sein, dass von einer idealisierten chemischen Zusammensetzung des Bindemittels

351 Die Schichten des Fragments 8_4 ließen sich einfacher mechanisch trennen als jene des Fragments 9_5. Insbesondere bei Schicht 3 von Fragment 9_5 fiel die gute Anbindung zu den benachbarten Schichten 2 und 4 auf. Auch waren Schichtenverlauf und -grenze uneindeutig und nur an einer leichten Braunfärbung von Schicht 3 festzumachen. Deshalb ist möglich, dass geringe Teile von Schicht 2 in der Probe der Schicht 3 enthalten sind.

352 Außer carbonatischen Zuschlägen können auch andere Bestandteile säurelöslich sein. WISSER / KNÖFEL machen darauf aufmerksam, dass beispielsweise Normsand nach DIN 1164 einen säurelöslichen Anteil von etwa 2 m-% hat. WISSER / KNÖFEL 1987, S. 125.

353 JEDRZEJEWSKA 1960, p. 132.

354 MEHLMANN macht auf die Problematik beim Vorhandensein puzzolanischer Zusätze aufmerksam. Diese können mit dem Bindemittel ganz oder nur teilweise reagiert haben. Der lösliche Kieselsäureanteil muss nicht dem hydraulisch reagiertem Anteil entsprechen, da unreaktierte Zuschlagsanteile amorpher löslicher Kieselsäure den Anteil erhöhen können. Mehlmann 1993, S. 42, 43.

355 BLÄUER 2016, S. 31.

356 vgl. Mehlmann 1993, S. 42, 43.

bzw. der säurelöslichen Bestandteile von reinem Calciumcarbonat ausgegangen wird. Auch muss die Art des zur Herstellung verwendeten Bindemittels bekannt sein (Calciumhydroxid, Branntkalk).³⁵⁷ Abhängig von der Art des Bindemittels und der Bindemittelaufbereitung (Löschverfahren) ist dessen Schüttdichte, für welche nur ein abgeschätzter Wert angenommen werden kann (Tab. 12). Gleichmaßen wurde bei der Zurückrechnung auf Volumenverhältnisse bei der Schüttdichte des Zuschlags von einem allgemein üblichen Wert ausgegangen. Die spezifische Schüttdichte konnte wegen zu geringer Sandmengen und Verklumpung des Feinanteils nicht gemessen werden.

Vergleich und Kombination mit den Scheibler-Messungen

Die Werte des Säureaufschlusses stimmen mit den Ergebnissen aus den volumetrischen CO₂-Messungen mittels Scheibler-Apparat nur vereinzelt überein. Durchschnittlich ist der gasometrisch bestimmte CaCO₃-Gehalt niedriger. Als Ursache werden die in Kap. 3.6.2 beschriebenen Fehlerquellen, insbesondere die geringen Probenmengen und Temperatureinflüsse, gesehen. Möglich ist auch eine Erhöhung der Werte des Säureaufschlusses aufgrund nicht carbonatischer, säurelöslicher Mörtelbestandteile. Betrachtet man die Differenz zwischen den Durchschnittswerte der korrigierten Scheibler-Messungen und dem säurelöslichen Anteil (Tab. 10), wären säurelösliche, nicht carbonatische Anteile von bis zu etwa 10 m-% enthalten. Nach JEDRZEJEWSKA³⁵⁸ wäre dies ein Hinweis auf mehr oder weniger lösliche, silikatische Reaktionsprodukte des Bindemittels mit den reaktiven Oxiden wie etwa Puzzolanen, wobei hier nicht die löslichen Zuschlagsbestandteile berücksichtigt werden.³⁵⁹ Da vulkanische Sande zur Herstellung der Unterputzschichten verwendet wurden, ist dies denkbar, aufgrund der Schwankungen der Scheibler-Messungen allerdings nicht quantitativ fundiert und deshalb spekulativ.

Vergleich mit digitaler Bildanalyse

Im Unterschied zum Säureaufschluss werden durch die digitale Bildanalyse Bindemittelgehalt und Zuschlagsanteil durch petrografische und gefügebetrachtende Untersuchung direkt bestimmt. Ferner ist möglich, Bindemittelagglomerate wie Kalkgallen ihrer Funktion während der Mörtel-Aushärtung entsprechend dem Zuschlag zuzurechnen.³⁶⁰ Nicht erfassbar ist der Partikel-Feinanteil unterhalb der Auflösungsgrenze von ca. 70 µm, dessen säureunlösliche Bestandteile zumindest durch den nasschemischen Aufschluss sichtbar gemacht und freigelegt werden.

Obwohl die B/Z-Verhältnisse der digitalen Bildanalyse Flächenverhältnisse wiedergeben, gleichen sie in der Größenordnung den durch Säureaufschluss ermittelten Massenverhältnissen (Abb. 215). Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, das Massenverhältnis durch bildanalytisch berechnete Anteile (carbonatischer Zuschlagsanteil) zu korrigieren und somit die Ergebnisse miteinander zu kombinieren: in Tab. 11 sind die Massenverhältnisse den errechneten Flächenverhältnissen gegenübergestellt. Durch Abzug des carbonatischen Zuschlagsanteils vom säurelöslichen Mörtelbestandteil ergibt sich ein höherer Gehalt an säureunlöslichem Rückstand. Die Werte zeigen, dass Korrekturen grundsätzlich denkbar sind, in Anbetracht des geringen carbonatischen Zuschlagsanteils

357 Menge, Größe und Art der Kalkgallen in den Unterputzschichten beider Gräber sprechen für die Verwendung von Branntkalk zur Mörtelherstellung, welcher möglicherweise trocken gelöscht wurde. Vgl. SIMON 2003, S. 181.

358 Die Kombination aus Scheibler-Messung und HCl-Aufschluss ist der JEDRZEJEWSKA-Methode ähnlich. Die Unterschiede liegen lediglich in der verwendeten Gasbürette und der im selben Analysegang durchgeführten Bestimmung des säureunlöslichen Rückstandes, der jedoch über eine viel kleinere Menge bestimmt ist (0,4 – 0,8 g). JEDRZEJEWSKA 1960, p. 132 – 138.

359 JEDRZEJEWSKA 1960, p. 132.

360 SIMON weist darauf hin, dass "Kalkspatzen [...] nicht als Bindemittel im Mörtel wirken", sondern "als Kalkreservoir und als Zuschlag" und somit das B/Z-Verhältnis verringern. SIMON 2003, S. 181. Für die Berechnung der Herstellungsmischung ist es dennoch notwendig, Kalkgallen und/oder -spatzen dem Bindemittel zuzurechnen.

und der Änderung des Verhältnisses um etwa 1 – 2 % jedoch vernachlässigt werden können.

Die über Bildanalyse ermittelten Bindemittelanteile der Unterputzschichten 1 und 2 beider Gräber sind mit Werten zwischen 28 – 35 % geringfügig höher als die säurelöslichen Anteile (26 – 30 %). Da die Auflösungs- und Messgrenze in etwa mit der Kornfraktion unter 63 µm zusammenfällt ist die kleinste Siebkornfraktion nicht mehr detektierbar und wird dem Bindemittel zugerechnet (Kap. 3.6.3.3). Die Differenz zwischen den Flächen (30 / 70)- und Massenverhältnissen (38 / 62) der 3. Unterputzschicht des Grabes EN 6 liegt vermutlich in der geringen Schichtstärke und der unklar verlaufenden Schichtgrenze begründet: aufgrund der zu kleinen Messfläche könnte das Ergebnis der digitalen Bildanalyse beeinträchtigt sein (Kornstatistik).

Grab:	EN 4		EN 6		
	8_4		9_5		
	1	2	1	2	3
Fragment:					
Schicht:					
Carbonatischer Zuschlag [A-%]:	1,099	1,725	1,251	1,044	1,215
Kalkgallen [A-%] (Grab-Ø):	2,626	1,387	1,663	0,595	0,732
Säurelöslich / Säureunlöslich [m-%]:	29 / 71	30 / 70	27 / 73	27 / 73	38 / 62
Korrektur (abzügl. carbonatischen Zuschlagsanteils):	28 / 72	29 / 71	26 / 74	26 / 74	36 / 64
Massenverhältnis (Korrektur):	1 : 2,6	1 : 2,4	1 : 2,8	1 : 2,8	1 : 1,8
Bindemittel / Zuschlag [A-%] (Kalkgallen dem Bindemittel zugerechnet):	33 / 67	31 / 69	33 / 67	28 / 72	31 / 69
B/Z-Verhältnis (Grab- Ø) [A-%] (Kalkgallen dem BM zugerechnet):	35 / 65	35 / 65	32 / 68	29 / 71	31 / 69
Flächenverhältnis:	1 : 1,9	1 : 1,9	1 : 2,1	1 : 2,4	1 : 2,2

Tab. 11: Über Säureaufschluss (Massenanteile in m-%) und digitale Bildanalyse (Flächenanteile in A-%) berechnete Verhältnisse bezogen auf den Festmörtel.

Grab:	EN 4		EN 6		
	8_4		9_5		
	1	2	1	2	3
Fragment:					
Schicht:					
Gesamtmasse Mörtel [g]:	94,703	194,72	39,928	85,957	39,829
Masse "Zuschlag" (zuzügl. durchschnittlichem Carbonatanteil aus Bildanalyse) [g]:	68,062	138,984	29,503	63,869	25,321
Masse "CaCO ₃ " [g]:	26,641	55,736	10,425	22,088	14,508
Masse Ca(OH) ₂ [g]:	19,7143	41,2446	7,7145	16,3451	10,7359
Anteil Ca(OH) ₂ [%]:	20,82	21,18	19,32	19,01	26,95
Masse CaO [g]:	14,9237	31,2221	5,8399	12,3732	8,1271
Anteil CaO [%]:	15,76	16,03	14,63	14,39	20,40
Massenverhältnis CaO : Zuschlag [%]:	1 : 4,6	1 : 4,5	1 : 5,1	1 : 5,2	1 : 3,1
Volumenverhältnis CaO : Zuschlag [%]:	1 : 3,5	1 : 3,4	1 : 3,9	1 : 4	1 : 2,4

Tab. 12: B/Z-Verhältnisse bezogen auf den Frischmörtel. Säureunlöslicher Rückstand wird als Zuschlag, säurelöslicher Bestandteil als Calciumcarbonat angenommen. Die Zurückrechnung erfolgte über die Molmassenanteile (s. Kap...) Für die Umrechnung auf Volumenverhältnisse wird die Schüttdichte des Zuschlags mit 1,43 g/cm³ und des Branntkalks mit 1,1 g/cm³ angenommen.

4.4.4 Sieblinie und Korngrößenverteilung über Siebverfahren und elektrodynamische Fragmentierung

4.4.4.1 Unterputz

Ergebnisse

Sieblinie und Korngrößenverteilung verdeutlichen die Unterschiede und Gemeinsamkeiten der geprüften Schichten. Die Unterputzschichten des Grabes EN 6 (9_5) besitzen eine ähnliche Korngrößenverteilung mit Gewichtung der Korngrößen zwischen 0,315 und 2,0 mm und Hauptbestandteil von ca. 45 % zwischen 0,5 und 0,8 mm (Abb. 216). Insbesondere die Korngrößenübereinstimmung der ersten beiden Unterputzschichten bestätigt, dass sie mit großer Wahrscheinlichkeit derselben Mörtelmischung entstammen. Auch sprechen hierfür die sehr ähnlichen Dichtewerte (um 1600 kg/m^3), nahezu identischen B/Z-Verhältnisse (1 : 2,8) und die Ergebnisse der makro- und mikroskopischen Untersuchung (Kap. 4.1.2). Im Unterschied hierzu wurde Schicht 3 möglicherweise mit dem selben Sand hergestellt, jedoch in etwas anderer Verteilung mit höherem Bindemittelgehalt (1 : 1,8) und Feinstanteil kleiner 0,063 mm von über 5 %, welcher die leichte Braunfärbung des Mörtels verursachen könnte (Kap. 4.1.2). Der Vergleich der drei Schichten spricht für eine beabsichtigte Modifizierung der Mörtel durch gezielte Mischung der Bestandteile. Insbesondere bei Unterputzschicht 3 könnten B/Z-Verhältnis und Korngrößenverteilung, möglicherweise durch vorherige Fraktionierung und Zugabe von Feinstanteilen, zugunsten einer höheren Dichte (um 1750 kg/m^3 , $p_0 = \text{ca. } 34 \text{ V-\%}$) und Festigkeit bestimmt worden sein. Dadurch fungiert die Schicht als eine Art Übergangsschicht zwischen porösem Unterputz ($p_0 = \text{ca. } 40 \text{ V-\%}$) und wesentlich dichterem, festeren Oberputz (um 2050 kg/m^3 , $p_0 = \text{ca. } 22 \text{ V-\%}$).

Die Korngrößenverteilungen der zwei Schichten des Grabes EN 4 unterscheiden sich wesentlich voneinander. Schicht 1 ähnelt den ersten beiden Unterputzschichten von EN 6 (vgl. auch makroskopische Untersuchung) mit etwas breiterer Verteilung der Fraktionen und höheren Korngrößenanteilen zwischen 0,063 und 0,315 mm (vgl. Abb. 16). Im Gegensatz zu den anderen Unterputzschichten ist in Schicht 2 ein Anteil an Grobkorn über 4,0 mm (ca. 2 m-%) vorhanden. Insgesamt ist eine Verschiebung in Richtung größere Korngrößen zwischen 0,315 und 4,0 mm gegeben. Der Kornhauptbestandteil liegt mit über 35 m-% zwischen 1,0 und 2,0 mm. Ähnlich der Schicht 3 der Grabes EN 6 beinhaltet die zweite Unterputzschicht des Grabes EN 4 einen höheren Feinstanteil von über 5 m-% unter 0,063 mm, welcher auch hier die leichte Braunfärbung verursachen könnte.

Vergleich mit den Ergebnissen der digitalen Bildanalyse

Der Vergleich mit den durch digitale Bildanalyse gemessenen Korngrößenverteilungen (Abb. 216, 217) zeigt, dass ausschließlich die berechneten Korngrößenverteilungen aus den manuell segmentierten Bildvorlagen (Referenz) vergleichende Werte darstellen, die gut mit den gesiebten Fraktionen übereinstimmen. Die Korngrößenverteilungen der schnellsegmentierten Vorlagen unterscheiden sich gänzlich von den gesiebten Korngrößen (Kornverwachsungen, Kap. 3.6.3.3). Mittels digitaler Bildanalyse nicht erfasst wird der Feinstanteil unter 0,063 mm.

4.4.4.2 Oberputz

Die Korngrößenverteilungen der elektrodynamisch fragmentierten Oberputzschichten sind bei beiden Grabmonumenten ähnlich. Der Kornanteil zwischen 0,125 und 1,0 mm liegt um 35 %, zwischen 1,0 und 2 mm um 25 %. Der Anteil an feineren Körnungen unter 0,125 mm beträgt bei beiden Grabbauten ca. 10 – 15 %. Unterschiede zwischen den Gräbern finden sich in der Kornfraktion unterhalb 0,063 mm und über 2,0 mm.

Stereomikroskopische Untersuchung der Fraktionen

Die stereomikroskopischen Aufnahmen der Fraktionen (Abb. 96 – 101) zeigen, dass die elektrodynamische Fragmentierung nur bedingt erfolgreich war.³⁶¹ In allen Fraktionen befinden sich neben annähernd bindemittelfreien Zuschlagskörnern unseparierte Agglomerate aus Bindemittel und Zuschlag. Der Anteil an unzertrenntem Material und freiliegenden Körnern wurde bei einer Auswahl³⁶² von Fraktionen kartiert und mittels bildanalytischer Flächenberechnung sowie Auszählverfahren quantifiziert. Beim Oberputz des Grabes EN 6 wurde insgesamt eine bessere Komponentenerlegung und Freilegung der Calcitkristalle erzielt. Dies ist sichtbar an den Körnungen über 1,0 mm, deren freigelegter Anteil (in Stück-% und A-%) bei Probe 9_5_6_4 etwa 70 – 75 % beträgt (Anhang III). In der Fraktion über 2,0 mm der Probe 8_4_6_3 finden sich zahlreiche Agglomerate, der Anteil an bindemittelarmen³⁶³ Körnern beträgt etwa 35 %. In diesem Zusammenhang ist auffällig, dass die ungetrennten Stücke größtenteils Oberflächenbereiche sind. Schon bei der manuellen Nachzerkleinerung während des Siebens fiel auf, dass sich diese Stücke insbesondere bei Fragment 8_4 nicht oder nur selten trennen ließen (Rückschlüsse auf Oberflächenkonservierung?). Anhand der Kartierung und Berechnung der Anteile freigelegter Körner erschließt sich der fälschlicherweise hohe Korngrößengehalt von etwa 30 % über 2 mm.³⁶⁴

Über die Korngrößenverteilung ist keine Aussage über das Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis möglich. Üblich bei manuell-mechanischen Trennungen ohne Auflösung des Bindemittels ist, die Fraktionen unterhalb etwa 125 µm als Bindemittel zu zählen.³⁶⁵ Betrachtet man die Partikel der Probe 8_4_6_3 zwischen 0,063 und 0,125 mm, wäre nur eine grobe Vorstellung des Verhältnisses möglich, da noch mindestens 15 % möglicher Zuschlag (kristalliner Kalk) in der Fraktion vorhanden ist. Im Falle der hier fragmentierten Proben ist diese Vorgehensweise aufgrund der hohen Anzahl ungetrennter Stücke in den gröberen Fraktionen hinfällig.

Vergleich zur digitalen Bildanalyse

In Anbetracht der stereomikroskopischen Untersuchung sind die Korngrößenverteilungen des Siebverfahrens überraschend übereinstimmend mit jenen der digitalen Bildanalyse (Abb. 219). Sowohl die manuell segmentierte als auch die schnellsegmentierte Variante sind mit den Ergebnissen des Siebverfahrens vereinbar. Auffällige Unterschiede zeichnen sich lediglich in den Fraktionen über 2 mm und unter 0,063 mm ab. Letzteres liegt wieder in der Auflösungsgrenze des mikroskopischen Verfahrens begründet. Die Abweichungen bezüglich der Fraktion über 2 mm (Abb. 219) sind vermutlich auf die Ausschnitthaftigkeit zurückzuführen: Grobkorn ist im

361 Dies auch im Vergleich zu den nachgestellten pompejianischen Putzen.

362 Die Fraktionen der Probe 9_5_6_4 unter 1,0 mm sowie die Feinfraktion der Probe 8_4_6_3 unter 0,063 mm befanden sich zu dem Zeitpunkt noch im Trocknungsvorgang.

363 Die Partikel mit geringen Bindemittelanhaftungen werden als freigelegte Körner gezählt. Vollständig freigelegte Körner, wie sie in den fragmentierten nachgestellten Putzen zu finden sind (Abb. 102 – 109), sind selten.

364 Daraus ergibt sich die Verfälschung der Sieblinie (Abb. 219).

365 SIMON 2003, S. 180, 181.

Putzgefüge mit vergleichsweise hohen Massenanteilen bei geringer Stückzahl vorhanden (vgl. Kap. 3.6.3.3). Die Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins im Schliff ist diesbezüglich gering.

Im Unterschied zur Analyse der Unterputzschichten, bei welcher sich Werte der manuellen und Schnellsegmentierung stark unterscheiden, liefert die Bildanalyse bei den Oberputzen aufgrund der klareren Abgrenzung der Körner mit beiden Varianten zuverlässigere Ergebnisse. Die gute Übereinstimmung mit den elektrodynamisch fragmentierten Korngrößenverteilungen legt die Vermutung einer gleichmäßigen Verteilung der Anteile freigelegter Körner und Agglomerate in den Fraktionen³⁶⁶ sowie innerhalb der Agglomerate zwischen Bindemittel und Zuschlag nahe, welche die tatsächliche Korngrößenverteilung prozentual nicht verändert. Diese Vermutung müsste durch eine statistische Auswertung der Fraktionen gestützt werden.

5 Methodendiskussion

Die Ergänzung von Methoden – ausgerichtet auf unterschiedliche Untersuchungsziele – ist erstens notwendig für das allgemeine Verständnis der Mörtel Eigenschaften und dessen umfassende Charakterisierung sowie zweitens für die Auswahl geeigneter Methoden, da eine sinnvolle Methodenwahl auf den Erkenntnissen vorangegangener Untersuchungen basiert (z. B. Trennungsgänge). Ferner ist für die Interpretation und Hinterfragung der Resultate eine Kombination von Analysen entscheidend, welche auf das gleiche Untersuchungsziel ausgerichtet sind. Im Folgenden wird die Kombination der Analysemethoden je Untersuchungsziel diskutiert, welche zumeist aus der Verbindung und Gegenüberstellung direkter, optischer Verfahren und indirekter Prüfmethode basieren. Auf die Notwendigkeit einer parallelen Untersuchung an Dünnschliffen und an der Gesamtprobe hinsichtlich chemisch-mineralogischer Zusammensetzung und physikalischer Kennwerte wies SIMON hin.³⁶⁷ Für eine umfassende Mörtelanalyse und die Präzision der Ergebnisinterpretation ist die Kombination aus direkten, optischen Verfahren und indirekten Messverfahren wesentlich.³⁶⁸

5.1 Untersuchung zu Stratigrafie und Gefüge

Zur Untersuchung von Stratigrafie und Gefüge überwiegen die optischen Verfahren. Insbesondere die vor-Ort-Begutachtung von Putzaufbau, Einzelschichten und deren Strukturunterschiede ist unerlässlich für das Verständnis und die Interpretation der Laboruntersuchungen. In Kombination mit der makroskopischen Untersuchung der Fragmente ermöglicht sie Zurordnungen und liefert bereits eine präzise Einschätzung³⁶⁹ von Gefüge und Komponentenverhältnissen, welche im weiteren Analysenverlauf durch Messungen fundiert werden können. Die makroskopische Klärung des Schichtenaufbaus in situ sowie an den Fragmenten ist notwendig für die

366 Eine Verteilung von 50 % Agglomeraten und 50 % freigelegtem Zuschlag ist bei Probe 8_5_6_3 in den Fraktionen 0,125 – 1,0 mm und 1,0 – 2,0 mm zu finden (s. Anhang III).

367 SIMON 2003, S. 178.

368 Auf die Problematiken bei der Durchführung der einzelnen Methoden wird in den folgenden Kapiteln nicht mehr eingegangen. Diese sind bereits in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben. Im Folgenden wird der Schwerpunkt auf die Methodenkombination gelegt.

369 Der Vorteil der makroskopischen Untersuchung liegt in der meist präzisen und verhältnismäßig schnellen Einschätzung, der Nachteil darin, dass die Ergebnisse nicht durch qualitative/quantitative Messungen belegt sind.

Auswahl der Proben hinsichtlich der Laboruntersuchungen, welche ausschließlich in Erfassung des Gesamtschichtensystems einträgliche Ergebnisse liefern. SIMON weist diesbezüglich auf die Wichtigkeit der stratigrafischen Untersuchung insbesondere in Bezug auf die Zuordnung der Analysen zu den Schichten hin.³⁷⁰ Aufgrund des größeren Blickfeldes ist über geringe Farbveränderungen und anhand von Bruchkanten (Sollbruchstellen entlang von Schichtgrenzen) makroskopisch ein umfassender Eindruck der Stratigrafie möglich. Die Bestätigung der makroskopisch begutachteten Gefügeerscheinungen erfordert die weitere Untersuchung von An- und Dünnschliffen, wobei insbesondere mittels letzteren Schichtgrenzen und Sinterhäute präzise bestimm- und messbar sind. Die mikroskopische Untersuchung von Putzstruktur und -gefüge bewährt sich durch kombinierte Betrachtung im Durchlicht, Auflicht, Hellfeld und Dunkelfeld. Die Unterscheidung schichtenabhängiger Gefügemerkmale ist nur möglich, wenn entsprechend der Gesamtputzstärke und der Korngrößen ausreichend große Proben zur Verfügung stehen und diese im Gesamtverbund präpariert werden.

Nicht alle gefügespezifischen Eigenschaften der Putze werden allein über die optische Begutachtung in Erfahrung gebracht. Im Laufe der Untersuchungen zeigte sich, dass insbesondere Probenaufbereitungen (Sägen, Schichtenzerlegung) Aufschlüsse zur Trennbarkeit der Schichten und deren Verlauf und somit in Kombination mit Mikroskopie Rückschlüsse auf Sinterhautbildung sowie herstellungsbedingte und verarbeitungstechnische Phänomene erbrachten. Des Weiteren wurden erst durch mechanische Schichtentrennung charakteristische, vereinzelt vorkommende Mörtelbestandteile entdeckt (z. B. holzkohleähnliche Partikel). Hinsichtlich der Bestimmung von Kornformen und Kornarten schaffen die mikroskopischen Verfahren eine zuverlässige und notwendige Grundlage, aber erst Trennungsgänge ermöglichen durch Freilegung der Körner eine Begutachtung der tatsächlichen Kornformen ohne Beschränkung auf eine zweidimensionale Schnittfläche.

5.2 Bestimmung der chemisch-mineralogischen / petrografischen Zusammensetzung

Für die Bestimmung der chemisch-mineralogischen bzw. petrografischen Zusammensetzung bildet die durchlichtmikroskopische und polarisationsoptische Untersuchung den Grundstock. Ihr Vorteil liegt in der punktuellen und direkten Phasenbestimmung in Verbindung mit gezielten Fragestellungen und Untersuchungszielen (z. B. Bestimmung carbonatischer Zuschlagsphasen). Die zielgerichtete Untersuchung vorbereitend auf die Messung bestimmter Phasenanteile mittels digitaler Bildanalyse waren in dieser Arbeit Schwerpunkt des Themenblocks und unverzichtbar für den weiteren Analysenverlauf. In Kombination mit REM-EDX kann der Chemismus einzelner Phasen qualitativ und semi-quantitativ bestimmt werden. Dies kann insbesondere hilfreich und von Bedeutung sein, wenn Rückschlüsse auf das Ausgangsmaterial des Bindemittels gezogen werden sollen. Eine umfassende Gesamtbestimmung aller zumindest kristallinen Mörtelphasen kann in Kombination mit Röntgendiffraktometrie stattfinden. Da dies im Rahmen der Arbeit nicht erfolgte, kann die Methoden-Kombination hier nicht diskutiert werden.

5.3 Ermittlung der physikalisch-mechanischen Kennwerte

Zur Bestimmung der physikalisch-mechanischen Kennwerte ist in erster Linie die Kombination von Methoden, welche auf unterschiedliche Untersuchungsziele ausgerichtet sind, sinnvoll. Dichte, Bohrwiderstand, Wasseraufnahme und Porosität liefern korrelierende Ergebnisse über die Zusammenhänge des Schichtensystems.

370 SIMON 2003, S. 178.

Die Ergebnisse der Wasseraufnahme unterscheiden sich je angewandter Methode qualitativ in Bezug auf den errechneten w -Wert. Insbesondere bei der Interpretation der über die Karsten'sche Methode berechneten w -Werte ist die genaue Kenntnis von Schichtaufbau und Mörtelgefüge durch vorangegangene makro- und mikroskopische Untersuchung unerlässlich. Da die Wasseraufnahme generell von Gefüge und Stratigrafie beeinflusst wird und die Berechnung des w -Wertes bei der Karsten-Messung auf der Annahme einer idealisierten Ausbreitrichtung basiert, geben die w -Werte über die Methode anlehnend an DIN 15801 realistischere Werte ab.³⁷¹ Dennoch ermöglicht die Wasseraufnahme nach Karsten – wenn auch nicht zur Berechnung des w -Wertes eingesetzt – die vergleichende Beurteilung der schichtspezifischen Wasseraufnahme. Ihr Vorteil gegenüber der Wasseraufnahme in Anlehnung an DIN 15801 liegt in der Mobilität als in situ durchführbare Prüfmethode sowie in der Anwendungsmöglichkeit bei unregelmäßigen und unebenen Flächen. Eine Kombination der Wasseraufnahme-Prüfmethoden ist aufgrund der ähnlichen Resultate im Vergleich der Putzschichten und der Fehlerwahrscheinlichkeit bei Berechnung des w -Wertes im Falle von messergebnis-beeinflussenden Gefügephänomenen nicht relevant. Eine der beiden Methoden konsequent und vor allem quantitativ angewandt verdeutlicht bereits entscheidende Unterschiede zwischen den Schichten, welche mit den Kennwerten der Bohrhärte, Rohdichte und Porosität kombiniert werden können.

Die berechneten Porositäten sind ähnlich der Wasseraufnahme in ihrer Wertegrößenordnung stark abhängig von dem angewandten Verfahren. Nach THOMSON ET AL. sei die Wertedifferenz nicht ungewöhnlich, entscheidend sei vielmehr, den Wert und seinen Einfluss richtig zu interpretieren.³⁷² Über die mikroskopische Methode in Kombination mit digitaler Bildanalyse sowie über die indirekte Messung des Vakuum-Tauchverfahrens werden zwei unterschiedliche Arten von Porosität bestimmt. Die indirekte Methode ermöglicht insofern eine realitätsbezogene Aussage, als da über die Wassersättigung der offen zugänglichen Poren eine Korrelation zur Wasseraufnahme hergestellt werden kann und das „effektive“ Porenvolumen aufgezeigt wird.³⁷³ Im Gegensatz hierzu werden mittels Mikroskopie zum einen geschlossene und offene Poren nicht unterschieden, zum anderen ist die Erfassung der Poren durch die optische Auflösung abhängig von den Auflösungsparametern der Bildanalyse begrenzt. Poren, welche bedeutend sind für die hygrischen Eigenschaften eines Mörtels (u. a. Kapillarporen), liegen größtenteils außerhalb des Messbereichs. Entscheidend ist jedoch, dass die niedrigeren³⁷⁴ Werte der bildanalytisch gemessenen Porositäten proportional zu jenen der offenen Porositäten in umgekehrter Beziehung zur Dichte stehen und somit schichtspezifische Unterschiede festgestellt werden können. Über die mikroskopischen Verfahren in Kombination mit Bildanalyse ist deshalb weniger eine qualitative, sondern vielmehr eine relative Unterscheidung und Abstufung der einzelnen Putzschichten möglich und somit die Schlussfolgerung auf deren Dichte und Festigkeit, insbesondere in Kombination mit Ergebnissen aus den Bohrwiderstandsmessungen. Die wesentlichen Vorteile des Vakuum-Tauchverfahrens liegen in der parallelen Bestimmung von Porosität und Roh-

371 Dies liegt unter anderem darin begründet, dass sich der Mörtel hinsichtlich der Wasseraufnahme unter Druckbedingungen und entgegen der Schwerkraft unterschiedlich verhält. Auch ist der Bezug zur Prüffläche entscheidend, da sich das Wasser bei der Karsten'schen Messung parallel zur Schichtung seitwärts ausbreiten kann und somit der w -Wert vermutlich überwiegend von der Kapillarität des Oberputzes beeinflusst wird. Im Gegensatz hierzu ist bei der Messung entgegen der Schwerkraft die Wasseraufnahme auf die gesamte Prüffläche bezogen und durch diese seitlich begrenzt. Die Saugfähigkeit kann mit zunehmender Steighöhe von den Unterputzschichten beeinflusst werden.

372 THOMSON ET AL. 2004, p. 77, 87.

373 THOMSON ET AL. 2004, p. 78. Vgl.: WENS beschreibt die offene Porosität als eine "wichtige Kenngröße für die Dauerhaftigkeit eines mineralischen Baustoffs", da über die offenen Poren Feuchtigkeit und Schadstoffe eindringen können. WENS 1998, S. 51.

374 Nach MAGNUS sei die Vergleichbarkeit zwischen bildanalytisch gemessenen Porositäten sowie "mit den herkömmlichen Messwerten" ohne weiteres möglich. Die höheren Werte der letzteren würden in erster Linie aus Bestimmungsfehlern resultieren. MAGNUS 1998, S. 81.

dichte in einem verhältnismäßig zeitunaufwendigem Analysengang³⁷⁵ anhand von unregelmäßig gebrochenen Bruchstücken. Im Gegensatz zur Bildanalyse erfordert dies die Trennung der Schichten und ausreichend stabile sowie große Proben – eine Voraussetzung, die gealterte Mörtel nicht immer erfüllen.

Die Bohrwiderstandsmessung ermöglicht die Messung der Festigkeitsübergänge im Schichtenverbund und setzt somit eine Klammer um die Ergebnisse der Wasseraufnahme, Dichte und Porosität. Als zerstörungsarmes und in situ durchführbares Verfahren kann es zur Prüfung schichtenabhängiger Festigkeitsunterschiede und Gefügeschwachstellen direkt am Bauwerk eingesetzt werden. Die Messung ist insbesondere im Vergleich zu standardisierten Druckfestigkeitsmessungen zerstörungsarm, kann aber nur in einer gewissen Anzahl angewandt zu verständlichen Ergebnissen führen. Auch hierfür muss die makroskopische Untersuchung vorausgesetzt sein, da Einzelprofile leicht fehlinterpretiert werden können.

5.4 Bestimmung der Komponentenverhältnisse

Die Methoden zur Bestimmung der Komponentenverhältnisse stehen vielfach in Wechselbeziehung. Es zeigte sich, dass mit nur einer Methode keine zuverlässigen Ergebnisse erzielt werden, sondern die Auswertung auf die Ergebnisse des anderen Verfahrens angewiesen ist.

Unterputz

Im Bezug auf die Ermittlung des Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis der Unterputzschichten ergänzen sich nasschemischer Säureaufschluss und digitale Bildanalyse optimal. Der Vergleich der Werte zeigt, dass Flächen- und Massenprozent Ergebnisse der selben Größenordnung liefern und deshalb ineinander umrechenbar sind. Die Verfahren ergänzen sich dort, wo deren Grenzen liegen: die Werte des säurelöslichen Bestandteils liegen nur etwa 5 % niedriger als der berechnete Bindemittelgehalt der Bildanalyse und legen einen maximal möglichen Gehalt an carbonatischen Mörtelbestandteilen fest, der ohne mikroskopische Phasenbestimmung nicht mit dem Bindemittelanteil gleichgesetzt werden kann. Sind carbonatische Zuschlagsphasen in verhältnisverfälschenden Anteilen vorhanden, kann die Annäherung an ein Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis des Festmörtels über die Kombination mit deren bildanalytischer Auszählung und prozentualen Einberechnung in das Verhältnis säurelöslich zu säureunlöslich erfolgen. Im Falle eines geringen Anteils carbonatischer Zuschläge und Kalkgallen ist diese Korrektur im Größenordnungsvergleich jedoch marginal. Im Gegensatz zum Säureaufschluss ermöglicht die Dünnschliffmikroskopie gekoppelt mit Bildanalyse eine direkte Differenzierung von Bindemittel- und Zuschlagsphasen. Jedoch liegen die Grenzen des Verfahrens je nach Qualität der Optik und der Bildvorlage für die Bildanalyse in der Auflösung. Im Falle der hier durchgeführten Analyse wird der Zuschlag-Feinstanteil unterhalb 63 µm größtenteils dem Bindemittelgehalt zugerechnet. Dabei ist die Festlegung der tatsächlichen Messgrenze schwierig, da diese von kornspezifischen und deren optischen Eigenschaften (Farbe, Umrisse, Kontrast) abhängig ist. Erst über den nasschemischen Säureaufschluss wird der Feinstanteil freigelegt und mittels Siebverfahren prozentual bestimmt. Dieser liegt bei allen geprüften Proben bei etwa 5 % und stellt somit eine Ursache für die Differenz zwischen bildanalytisch und nasschemisch ermitteltem B/Z-Verhältnis dar. Nicht berücksichtigt in der Kombination von Säureaufschluss und Bildanalyse werden lösliche und säurebeständige

³⁷⁵ THOMSON ET AL. empfehlen deshalb das Vakuum-Tauchverfahren als einfache Methode in Kombination mit digitaler Bildanalyse. THOMSON ET AL. 2004, p. 98.

Reaktionsprodukte des Bindemittels sowie weitere aufschließbare, nichtcarbonatische Mörtelbestandteile. Für deren Identifizierung müssen komplexe Analysengänge (vgl. Kap. 3.1.5) in Kombination mit qualitativ-quantitativer Phasenbestimmung zum Einsatz kommen (z. B. XRD, REM-EDX).

Die CO₂-Analyse nach Scheibler ermöglicht nur vage Einschätzungen des Carbonat-Gehalts. Eine Verbesserung der Ergebnisse würde die Einstellung der Prüfumgebung auf Normaldruck und -temperatur bewirken. Vorteil und Stärke der Messung liegen in den benötigten geringen Probenmengen, der schnellen Durchführbarkeit und somit in der Quantität begründet. Als Schnellbestimmung ermöglicht das Verfahren zahlreiche Mehrfachbestimmungen. Wenn für Säureaufschlüsse unzureichende Probenmengen vorhanden sind, kann das Verfahren ergänzend zur digitalen Bildanalyse für die Bestimmung von Bindemittel-Zuschlag-Verhältnissen hilfreich sein.

Die Präzision der Bestimmung von Korngrößenverteilungen ist sowohl beim Siebverfahren als auch bei der digitalen Bildanalyse stark abhängig vom Zeitaufwand. Im Falle von Feinanteil-Verklumpungen im säureunlöslichen Rückstand ist entweder das Nasssiebverfahren mit längeren Trocknungszeiten anzuwenden oder das Trockenverfahren mit manueller Agglomerat-Zerkleinerung unter Einbußen der Genauigkeit. Der benötigte Zeitaufwand der Korngrößenverteilungsmessung mittels digitaler Bildanalyse ist ferner abhängig von gefügetechnischen Merkmalen des Mörtels: Kornformen, -größen und insbesondere Bindemittelgehalt beeinflussen die Genauigkeit der Bildanalyse.³⁷⁶ Bei inhomogenen Zuschläge mit unklaren Umrissen sowie niedrigen Bindemittelgehalten wie im Falle der Unterputzschichten sind Kornverwachsungen wahrscheinlich, die bei einer Schnellsegmentierung zu stark verfälschten Grobkorngehalten und unbrauchbaren Resultaten führen. Die digitale Bildanalyse liefert ausschließlich bei manueller Segmentierung der Korngrößen zuverlässige Ergebnisse – ein Vorgang, der bei Mehrfachbestimmungen anhand verschiedener Dünnschliffe mit großem Zeitaufwand verbunden ist. Der Vergleich mit den gesiebten Korngrößenverteilungen bestätigt jedoch, dass statistische Mehrfachbestimmungen und die Berechnung von Durchschnittswerten nicht unbedingt nötig sind. Werden ausreichend große Dünnschliffe erstellt und der Ausschnitt der Probe basierend auf der vorangegangenen makroskopischen Untersuchung durchdacht gewählt, erlaubt bereits ein Dünnschliff bei manueller Segmentierung ausreichend präzise Ergebnisse.³⁷⁷ Einzig der Anteil an Grobkorn kann unterschätzt werden, der aufgrund der hohen Masse bei gleichzeitig geringer Stückzahl mittels Siebverfahren absolut erfasst wird, im Ausschnitt des Dünnschliffes jedoch nur mit geringer Wahrscheinlichkeit vorkommt. Auch hier beruht die Ergebnispräzision auf der ergänzenden Kombination von Siebverfahren und Bildanalyse.

Oberputz

Die rein carbonatische Zusammensetzung des Oberputzes erfordert die Anwendung der digitalen Bildanalyse zur Bestimmung des B/Z-Verhältnisses und der Korngrößenverteilung. Alternative mechanische Trennverfahren mit und ohne Einsatz von Lösemitteln liefern zu unsichere Ergebnisse und sind bisher nicht ausreichend erforscht.³⁷⁸ CASADIO ET AL. machten darauf aufmerksam, dass es bei carbonatischen Zuschlägen keine zuverlässigen Methoden zur B/Z-Verhältnis-Berechnung gibt.³⁷⁹ Aufgrund der oben diskutierten Grenzen der digitalen Bildanalyse ist der Wunsch nach einer Trennmethode gegeben, welche orientierende Vergleichswerte liefern

376 Dies ist zudem in Zusammenhang mit der Ausschnitthaftigkeit problematisch. CARÒ / GIULIO machen auf das Problem der Zweidimensionalität und der Abhängigkeit der sichtbaren Kornformen von deren Orientierung im Schnitt aufmerksam. CARÒ / GIULIO 2004, S. 244.

377 vgl. CASADIO / CHIARI / SIMON 2005, p. 687.

378 vgl. CASADIO / CHIARI / SIMON 2005, p. 671 – 689.

379 CASADIO / CHIARI / SIMON 2005, p. 687.

kann. Die Trenngenauigkeit von Bindemittel und Zuschlag der hier elektrodynamisch fragmentierten Oberputzproben ist im Gesamtergebnis mit jenen von mechanisch-manuellen Trennverfahren vergleichbar und erfordert die mikroskopische Begutachtung der getrennten und gesiebten Fraktionen. Allerdings verbirgt das Verfahren mit der Möglichkeit der Abstimmung auf materialspezifische Eigenschaften durch Veränderung der Energieparameter ein Potenzial,³⁸⁰ das durch weitere Versuchsreihen³⁸¹ gefestigt werden muss. Im Unterschied zu den Ergebnissen der Korngrößenverteilung der Unterputze liefern sowohl die schnellsegmentierte Variante als auch die manuelle Segmentierung ähnliche Ergebnisse. Der Einfluss der gefügespezifischen Merkmale des Mörtels werden hier im Vergleich zu den Unterputzen am deutlichsten, da der bindemittelreiche Oberputz und die regelmäßigeren, klar umrissenen Kornformen die bildanalytische Messung begünstigen.

5.5 Zusammenfassung

Der unübertroffene Vorteil der mikroskopischen Verfahren liegt in deren umfassenden Analyse­möglichkeiten begründet, welche einen Mörtel hinsichtlich vieler Eigenschaften charakterisieren können. Dies beinhaltet in Kombination mit digitaler Bildanalyse sowohl qualitative als auch quantitative Bestimmungen hinsichtlich gefügetechnischer, physikalisch-mechanischer, chemisch-mineralogischer und kompositorischer Eigenschaften. Als optisches Verfahren ermöglicht die Mikroskopie die gezielte Untersuchung punktueller Phänomene in unterschiedlichen Auflösungen. Dennoch muss bedacht werden, dass auch die Mikroskopie ein Verfahrensbereich ist, der verschiedene Methoden (Auflicht, Durchlicht, Polarisationsmikroskopie, Rasterelektronenmikroskopie) ins sich birgt, welche unterschiedliche Geräte, Probenarten und -größen (Anschliffe, un- und eingefärbte Dünnschliffe, Bruchpräparate, etc.) und damit einen entsprechend hohen Aufwand erfordern. Begrenzt sind die mikroskopischen Verfahren im Allgemeinen durch die Ausflösung und Ausschnitthaftigkeit. Präzise, umfassende Untersuchungen erfordern daher größere Probenmengen und zeitaufwendige Mehrfachbestimmungen. Aus diesen Gründen ist die Kombination mit indirekten Verfahren bedeutend, welche Vergleichswerte zur Ergebnisfestigung bereitstellen und Grenzen der mikroskopischen Verfahren abdecken. Obwohl gleichfalls indirekte Analyse- und Prüfverfahren in der Regel größere Proben erfordern, erhöht sich nicht zwingend die Gesamtprobenmenge, sondern wird aufgrund der geringeren Menge benötigter Präparate relativiert. Im Bereich der indirekten Verfahren sind insbesondere Bestimmungen der physikalisch-mechanischen Kennwerte aufschlussreich, welche auf Messwerten basierende, bedeutende Informationen zum Putzsystem liefern. Die Kombination aus Bohrwiderstandsmessung und Wasseraufnahme gibt aufschlussreiche Informationen über schichtenabhängige Festigkeitsunterschiede und ermöglicht Rückschlüsse auf Porosität und Dichte des Mörtels. Beide Verfahren sind zerstörungsarm in situ durchführbar und können in Kombination mit einer umfassenden makroskopischen Untersuchung, welche bereits präzise Ergebnisse über Gefüge und Komponentenverhältnisse liefert, Mörtel insbesondere hinsichtlich konservatorischer Fragestellungen vielseitig charakterisieren, ohne dass eine Probenentnahme erforderlich ist.

380 Nach BLUHM sei dies der große Vorteil der elektrodynamischen Fragmentierung. Die Parameter können über einen großen Bereich variiert und somit an die physikalisch-mechanischen Eigenschaften des Verbundmaterials angepasst werden, um Körner unversehrt von der Matrix separieren zu können. Die Parameter müssen für jedes Material experimentell bestimmt werden. BLUHM 2006, S. 268 – 288.

381 Bei rein carbonatischen Putzen mit calcitischen Zuschlagskörnern müssten Versuchsreihen insbesondere auf folgende Fehlerquellen ausgerichtet sein: die Zerstörung der Körner entlang von Netzebenen/Spaltflächen/Rissen innerhalb des Korns, Vermeidung von Teiltrennungen (Bindemittel-Zuschlag-Agglomerate und separierte Körner, benötigte Probengrößen, hohe Verlustrate).

6 Vergleich der Mörtel Eigenschaften von Grabmonument EN 4 und EN 6

Die Grabmonumente EN 4 und EN 6 weisen beide eine Konstruktion aus Lava-Bruchsteinmauerwerk auf, das an den Ecken und um die Gewölbenischen mit Ziegelmauerwerk verstärkt wurde. An den Wandflächen beider Gräber sind Reste einer hellen, weißlichen Stuckierung vorhanden. Diese stellt Marmorquader, Pilaster und Lisenen vor und sollten die Mauerwerke einst optisch veredelt.³⁸²

6.1 Stratigrafie

Der Stuck beider Grabbauten zeichnet sich durch ein, für pompejanische Verputze charakteristisches, mehrschichtiges Putzsystem aus, das nach ADAM seit 300 v. Chr. in Kampagnen nachweisbar ist und meist aus vier Lagen besteht.³⁸³ Die beiden Grabmonumente unterscheiden sich hinsichtlich der Anzahl der aufgetragenen Schichten, so umfasst der Putzaufbau bei EN 4 nur drei, bei EN 6 vier Putzlagen. Um die Unebenheiten des Mauerwerkes auszugleichen, wurde vermutlich eine erste Schicht als Ausgleichsschicht (Pietra Rasa) aufgetragen.³⁸⁴ Diese ist an beiden Grabbauten nur noch schwer nachvollziehbar und an den untersuchten Putzfragmenten nicht erhalten. Über der Pietra Rasa wurde bei beiden Grabbauten ein grauer, mehrschichtiger Unterputz aufgetragen, wobei dieser bei Grabbau EN 4 zwei Schichten, an Grabbau EN 6 drei Schichten umfasst. Darauf folgt ein weißer Oberputz, für den bei beiden Gräbern kein mehrschichtiger Aufbau nachgewiesen werden konnte. Das Putzsystem ist bei beiden Grabbauten insgesamt ca. 3,5 cm stark, wobei die Stärken der Unterputzschichten in Korrelation zueinander deutliche Schwankungen aufweisen, wohingegen der Oberputz bei EN 6 sehr gleichmäßig, bei EN 4 leicht unregelmäßig bemessen ist. Aufgrund der starken Schwankungen der Unterputzstärken von teilweise bis über ein Zentimeter Differenz an ein und demselben Fragment kann innerhalb des Unterputzes nicht von einer generellen Abnahme der Schichtstärken von der wandseitigen Lage hin Richtung Oberputz gesprochen werden. Eine kontinuierliche Abnahme der Schichtdicken wäre zwar der Regel entsprechend, KLINKERT weist jedoch explizit darauf hin, dass man »diese Ordnung im allgemeinen bei den Unterputzen« in Pompeji recht »locker gehandhabt« findet.³⁸⁵ Bei Grabbau EN 4 ist die Unterputzlage, auf der der Oberputz zum Liegen kommt, jedoch tendenziell etwas stärker als die wandseitige Schicht ausgeprägt. Bei EN 6 ist diese tendenziell die dünnste Schicht. Der Oberputz macht im Verhältnis zum Unterputz bei beiden Grabbauten den geringeren Anteil am Schichtpaket aus, wobei er bei Grabbau EN 4 mit bis zu 0,4 mm deutlich dünner dimensioniert ist als bei Grabbau EN 6. Hier beträgt die Oberputzlage 0,9 cm, wobei diese in den Tiefen der Stuckierung, zwischen den Bossen, auf 0,5 cm reduziert ist (Abb. 194, 195).³⁸⁶

6.2 Verarbeitungstechnik / Schichtauftrag

Hinsichtlich der Verputztechnik konnten im Vergleich der Grabmonumente Unterschiede im Mörtelauftrag der Unterputze festgestellt werden. So wurden die Mörtel der drei Unterputzlagen des Grabes EN 6 nass in nass

382 ADAM 1994, p. 224 – 226.

383 ADAM 1994, pS. 216.

384 EMMENEGGER 2016, S. 93.

385 KLINKERT 1957, S. 125.

386 Das Verhältnis von Unter- und Oberputz bei Grabbau EN 4 beträgt im Schnitt 7,5:1, bei Grabbau EN 6 2,8:1.

appliziert – eine Sinterhaut konnte sich dabei nicht ausbilden. Bei EN 4 zeigt sich hingegen eine deutlich ausgeprägte Sinterhaut an der Grenze der beiden Unterputzschichten – hier wurde erst nach einem etwas längerem Anzug der darunterliegenden Schicht die nächste Mörtellage aufgetragen. An der Grenze des Unterputzes zum Oberputz ist hingegen bei beiden Grabbauten eine Sinterhaut zu erkennen.

Sowohl bei Grabmument EN 4 als auch bei EN 6 ist eine unterschiedliche Bearbeitung der Unter- und Oberputzmörtel anhand des Gefüges und der mechanisch-physikalischen Kennwerte abzulesen. Die mauerwerkseitigen Unterputzlagen (Schicht 1 bei EN 4 und Schicht 1, 2 bei EN 6) wurden nach dem Auftrag nur abgezogen und nicht verdichtet. Dies spiegelt sich in ihrer hohen Porosität – bei homogener Porenverteilung –, geringen Dichte und Festigkeit sowie in ihrem unregelmäßigem Schichtenverlauf wieder. Die an den Oberputz grenzende Unterputzschicht (Schicht 3) des Grabbaus EN 6 ist hingegen deutlich weniger porös, bei höherer Dichte und Festigkeit, was auf eine stärkere Verdichtung dieser Putzlage hindeuten kann. Dies ist auch an der geradlinigeren Putzgrenze zum Oberputz abzulesen. Die entsprechende Unterputzlage von EN 4 (Schicht 2) weist keine derart deutlichen Differenzen bezüglich Dichte und Porosität zur darunter liegenden Schicht auf, daher ist davon auszugehen, dass diese nur glatt abgezogen wurde. Die Oberputze der Grabbauten zeigen hingegen wieder Parallelen hinsichtlich des Mörtelauftrages. Sie wurden stark verdichtet, was aus ihrem kompakten Gefüge, der deutlich geringeren Porosität³⁸⁷, höheren Dichte und Festigkeit sowie aus der extrem ebenmäßigen Oberfläche abgelesen werden kann.³⁸⁸ Die sichtbare Abnahme der Porenanzahl zu deren Schichtobergrenze ist nach THOMSON ET AL.³⁸⁹ ein weiteres Indiz für eine starke Verdichtung.

6.3 Werkstoffe der Putze

Sande

Unterputze: Die Sande der Unterputze der Grabbauten EN 4 und EN 6 zeigen hinsichtlich ihrer mineralischen und petrografischen Charakteristika, der Farbigkeiten und des Rundungsgrades große Ähnlichkeit. So finden sich in beiden Grabmonumenten im Unterputz, neben Einzelmineralen (Quarz, Feldspäten etc.) und wenigen Carbonaten, überwiegend mittelmäßig bis gut gerundete sowie polymorphe vulkanische Sande (Vulkanite). Untersuchungen antiker Mörtel in und im Umkreis von Pompeji von MIRIELLO ET AL.³⁹⁰, PIOVESAN ET AL.³⁹¹, AMADORI ET AL.³⁹² und IZZO ET AL.³⁹³ belegen die Verwendung vulkanischer Sande als Zuschlag – diese verweisen auf regionale Bezugsquellen aus dem Umkreis des Vesuv. Der hohe Verundungsgrad der Unterputzzuschläge der beiden Grabbauten deutet auf eine längere fluviatile oder marine Transportabnutzung hin.³⁹⁴ Es kommen daher sowohl

387 Die Porosität hängt neben der Bearbeitung des Mörtels jedoch auch von der Art der Rohstoffe, dem Wassergehalt im Bindemittel (aus einem höheren Wassergehalt resultiert eine höhere Porosität), der Art des Mischens von Bindemittel und Zuschlag, vom Bindemittel-Zuschlagverhältnis und von Veränderungen durch Umwelteinflüsse ab. (THOMSON et al. 2004, S. 2–3).

388 Untersuchungen des Zusammenhangs der Bearbeitungstechnik und des Putzgefüges von BALKSTEN und KLASÉN zeigten, dass stark verdichtete Mörtel ein kompakteres Gefüge aufweisen. (BALKSTEN / KLASÉN 2005, S. 6).

389 THOMSON ET AL. 2004, p. 3.

390 MIRIELLO ET AL. 2010, p. 2221.

391 PIOVESAN ET AL. 2009, p. 76.

392 AMADORI ET AL. 2015, p. 190.

393 IZZO ET AL. 2016, p. 138.

394 FÜCHTBAUER 1977, S. 61.

Fluss-, als auch (Küsten- oder) Strandsande der Region als Ausgangsmaterial in Frage.³⁹⁵ PIOVESAN ET AL. konnten im Rahmen einer Untersuchung der Wandmalereien am Venustempel in Pompeji eine Übereinstimmung der mineralogischen Zusammensetzung der vulkanischen Zuschlagssande für Unterputze mit Sanden der neapolitanischen Küste nachweisen. Daher vermuteten sie, dass die Zuschläge aus angeschwemmten Ablagerungen oder von Stränden der Region bezogen wurden.^{396/397} Letztlich kann die Provenienz der Sande jedoch nicht geklärt werden. Auch die vergleichenden, chemisch-mineralogischen Analysen von Sanden der Region lassen nur Vermutungen zu, da sich die Geologie des Landstriches mit der Vesuverruption 79 n. Chr. verändert hat und das eigentliche Baumaterial der antiken Pompejaner verschüttet wurde.

Oberputz: Der Bestand der Zuschläge in den Oberputzen beider Grabbauten besteht überwiegend aus dem nach ADAM³⁹⁸ für pompejanischen Stuck charakteristischen Mineral Calcit.³⁹⁹ Zwischen den Grabbauten besteht jedoch eine Differenz im Reinheitsgrad des Zuschlags. So wurde bei EN 4 nur Calcit verarbeitet, wohingegen bei EN 6 auch ein geringer Anteil an metamorphem und sedimentärem carbonatischen Gestein enthalten ist.

Hydraulisch wirksame Zusätze

Bei beiden Grabmonumenten konnte kein eindeutiger Nachweis eines Zusatzes von puzzolanischem Material in den Unterputzen erbracht werden. Bei den an den Oberputz grenzenden Unterputzlagen beider Gräber besteht allerdings ein Verdachtsmoment. Diese enthalten einen auffällig hohen Anteil an feinen Partikeln, die stellenweise Anzeichen auf hydraulische Reaktionen mit dem Bindemittel, in Form von Randsäumen aufweisen. Dieser Fein- und Feinstanteil könnte zum Teil aus Puzzolanen bestehen. Des Weiteren zeigten sich im Bindemittel dieser Putzschichten punktförmige, bräunliche Flecken. Diese könnten Relikte vollständig mit dem Bindemittel abregiierten puzzolanischen Materials darstellen. Ein Zusatz von Puzzolan ist daher denkbar. Daraus kann jedoch nicht geschlossen werden, dass dieser mit der Absicht einer Modifizierung der mechanisch-physikalischen Eigenschaften des Mörtels durch veränderte Abbindevorgänge und -produkte eingebracht wurde.⁴⁰⁰ Es kann sich nach WANG⁴⁰¹ ebensogut um eine im Zuschlag enthaltene Feinstfraktion handeln. Insbesondere die darin enthaltenen vulkanischen Gläser können aufgrund ihrer amorphen, silikatischen Natur in diesen Korngrößen hydraulische Reaktionen mit dem Bindemittel eingehen.

Ein Anteil von Ziegel im Zuschlag wird bei beiden Grabbauten vermutet. Es konnte mikroskopisch jedoch nicht genau geklärt werden, ob es sich dabei tatsächlich um Ziegel oder um rote vulkanische Sande handelt. Anhand der mittels Siebanalyse getrennten Zuschläge könnte dies eventuell überprüft werden. Hinweise auf Reaktionen mit dem Bindemittel dieser Partikel konnten nicht festgestellt werden. Sollte es sich um Ziegel handeln, wären

395 FÜCHTBAUER 1977, S. 59.

396 PIOVESAN ET AL. 2009, p. 67, 70, 71, 76, 77.

397 Die Präsenz polymorpher Körner mit porphyrischen Gefüges im Zuschlag könnte ebenfalls ein Hinweis auf die Herkunft zumindest eines Teil des Sandes von Stränden sein. VINX vermerkt, dass durch die andauernde mechanische Beanspruchung durch die Brandung an Stränden, Einschlüsse aus ihrem »ursprünglichen Gesteinsverband« freigesetzt werden. (VINX 2015, S. 279)

Der Verlust größerer Einschlüsse könnte bei den polymorphen Körnern zu ihrer charakteristisch amöbenartigen Form geführt haben.

398 ADAM 1994, p. 226.

399 Die Bestimmung des Carbonatanteils mittels des Schieblerapparates bestätigte, dass die Oberputze beider Grabbauten nahezu zu 100 % aus Carbonat bestehen.

400 Die Bildung von Calciumsilikathydraten durch die Reaktion der in den Puzzolanen enthaltenen amorphen Kieselsäure mit Kalk und Wasser führt zu einer Festigkeitssteigerung des Mörtels in abgebundenen Zustand. (RIEDL 2007, S. 113).

401 WANG 1995, S. 71.

diese aufgrund ihrer Korngröße ohnehin nicht hydraulisch wirksam. Zudem war deren Anzahl bei beiden Grabbauten derart gering (bei EN 4 fand sich allerdings ein leicht höherer Anteil als bei EN 6), dass man nicht von einem beabsichtigten Zusatz sprechen kann.

Organische Zusätze

Organisches Material wurde nur in der zweiten Unterputzschicht des Grabbaus EN 4 ermittelt. Hier fanden sich im Zuge der Schichtentrennung vereinzelt schwarze, holzkohleähnliche Fragmente, die nicht näher bestimmt wurden (Abb. 110, 111). Ob diese bewußt eingebracht, oder als Verunreinigung in den Mörtel gelangten, kann nicht gesagt werden.

Bindemittel

Im Vergleich der Grabbauten EN 4 und EN 6 konnte bezüglich der Bindemittelart und -form kein Unterschied ausgemacht werden. Sowohl bei Grabmonument EN 4 als auch bei EN 6 wurden für die Putze, Kalkmörtel verwendet. Ob es sich dabei um Weißkalk-, Dolomitkalkmörtel oder um eine Mischung beider handelt, konnte nicht geklärt werden. Aufgrund des Fehlens von für Dolomitkalk charakteristischen Strukturen im Bindemittel wird jedoch vermutet, dass es sich um Weißkalkmörtel handelt.⁴⁰² Bezüglich der mauerwerksseitigen Unterputze (Schicht 2 von EN 4, Schicht 1, 2 von EN 6) beider Gräber konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht geklärt werden, ob es sich bei dem Bindemittel um reinen Luftkalk, um Luftkalk, der durch Verunreinigungen des Kalkrohstoffes geringe Anteile an Hydraulefaktoren mit einbrachte, oder um natürlich hydraulischen Kalk handelt. Aufgrund der grünlich-beigen Farbigkeit (IIPol und xPol), der homogenen Struktur des Bindemittels und der hohen Porosität wird jedoch von einer eher niedrigen Hydraulizität ausgegangen.⁴⁰³ Bei den an die Oberputze grenzenden Unterputzen (Schicht 2 von EN 4, Schicht 3 von EN 6) kommen des Weiteren aufgrund der bräunlichen Farbigkeit und der Inhomogenitäten im Bindemittel in Form von bräunlichen, punkartigen Flecken und dem höheren Fein- und Feinstanteil auch puzzolanische Mörtel infrage. Für die Oberputze ist aufgrund der hohen Homogenität und der weißlich-beigen Farbigkeit des Bindemittels ein Luftkalkmörtel am wahrscheinlichsten.⁴⁰⁴

Bei beiden Grabbauten wird für die Unterputze als Bindemittelform ein trocken gelöschter Kalk vermutet. Diese Annahme beruht einerseits auf der auffälligen Präsenz von Kalkgallen (durchschnittlich etwa 2 %), andererseits auf der geringen Rissbildung in den Mörteln beider Gräber. Nach WISSER⁴⁰⁵ und KARKANAS⁴⁰⁶ ist die Präsenz zahlreicher Kalkgallen im Mörtel ein Hinweis auf ein Trockenlöschverfahren des Branntkalks.^{407/408} Das grobe

402 Es ist dabei jedoch aufgrund der Geologie der Vesuvregion nicht auszuschließen, dass gewisse Anteile an Dolomitkalk im Kalkrohstoff enthalten waren.

403 Nach BALKSTEN / MAGNUSSON weisen hoch-hydraulische Mörtel eine niedrige Porosität und eine hohe Dichte auf. (BALKSTEN / MAGNUSSON 2004, Cap. 3.1).

404 Gips konnte mikroskopisch nicht nachgewiesen werden.

405 WISSER 1988, S. 22.

406 KARKANAS 2007, p. 781.

407 Nach WISSER sind zwei Arten des Trockenlöschverfahrens überliefert. 1. Schichtungen aus Sand und Brandkalbrocken werden »mit einer definierten Wassermenge« übergossen. 2. Der Branntkalk wird mit Körben in Wasser getaucht »bis keine Blasen mehr aufsteigen«. (WISSER 1988, S. 22).

408 Die Ursache der Entstehung von Kalkgallen wird in der Fachwelt kontrovers diskutiert. So sehen PECCHIONI ET AL. im Gegensatz zu WISSER, die Ursache in einer frühen Carboantisierung von Sumpfkalk oder in ungleichen Hydratationszeiten bei inhomogenem Ausgangsgestein (PECCHIONI / FRATINTI / CANTISANI 2014, S. 13). WISSER konnte jedoch an Mörtelprüfkörpern nachweisen, dass Kalkgallen ein charakteristisches Merkmal des Trockenlöschverfahrens darstellen (WISSER 1988, S. 30, 31).

Vermischen von Sand und Branntkalkbrocken bei Zugabe einer geringen Wassermenge begünstigt dabei deren Bildung.⁴⁰⁹ Aufgrund der geringen Menge an in den Mörtel eingebrachtem Wasser bei diesem Lösungsverfahren – im Gegensatz zu eingesumpftem Kalk – schwinden diese bei Abbinden weniger und weisen daher weniger Trocknungsrisse auf.⁴¹⁰ Da auch bei beiden Gräbern Kalkgallen in den Oberputzen gefunden wurden, wenn auch in geringerer Anzahl und Größe (durchschnittlich etwa 1 %), ist auch hier die Verarbeitung von trocken gelöschtem Kalk anstatt von Sumpfkalk nicht auszuschließen. Insbesondere der Oberputz des Grabbaus EN 6 zeigt sich trotz des hohen Bindemittelanteils von etwa 50 % annähernd rissfrei, was ebenfalls für ein Trockenlöschverfahren sprechen könnte.^{411/412}

6.4 Komponentenverhältnisse

In den Komponentenverhältnissen beider Grabbauten sind zwei grundlegende Parallelen zu verzeichnen: Von der Mauerwerksseite zur Außengrenze hin kommt es in der Korngrößenverteilung zu einer Verschiebung in Richtung größerer Zuschläge bei gleichzeitiger Zunahme des Fein- und Feinstanteils.⁴¹³ Ebenso nimmt von Innen nach Außen der Bindemittelgehalt zu bei entsprechender Abnahme des Zuschlaganteils. Neben dieser parallelen Tendenz zeigen sich im Detail dennoch klare Unterschiede zwischen den Grabbauten. Diese äußern sich zweifach: zum einen zeigen sich teilweise Differenzen in der Sprunghaftigkeit dieser Verschiebungen, zum anderen an der Position im Putzpaket, an der sie auftreten.

Die mauerwerksseitige Unterputzschicht von **EN 4** zeichnet sich durch ein Bindemittel-Zuschlagverhältnis von etwa 30/70, eine mäßige Sortierung und einen Hauptanteil der Kornklassen zwischen 0,315 und 2 mm aus, wobei die Fraktion von 0,5 – 0,8 mm besonders stark vertreten ist. Die zweite und letzte Unterputzschicht des Grabbaus zeigt hingegen bei annähernd gleichem B/Z- Verhältnis und gleichen Sanden eine deutliche Verschiebung in Richtung größerer Kornklassen - der dominante Anteil liegt hier bei 1 – 2 mm – mit vereinzelt Korn bis über 4 mm – bei gleichzeitiger Zunahme des Fein- und Feinstanteils. Der hohe Rundungsgrad und die Gleichartigkeit der vulkanischen Sande der Unterputze lässt vermuten, dass es sich um die gleiche natürliche Sandmischung handelt, die jedoch durch Sieben modifiziert wurde. So wurde der Feinanteil der zweiten Unterputzlage aller Wahrscheinlichkeit nach fraktioniert und dieser Schicht gezielt zugesetzt.

Auch im Oberputz sind die größeren Kornklassen der Fraktion von 1 – 2 mm das dominante Erscheinungsmerkmal, die Mittelkornfraktion ist mit etwa 35 % vertreten bei gleichzeitig relativ hohem Fein- und Feinstanteils von etwa 20 %. Es zeigt sich jedoch ein deutlicher Unterschied zur zweiten Unterputzlage bezüglich der

409 KARKANAS 2007, p. 781.

410 WISSER 1988, S. 22, 160, 161.

411 Nach WISSER zeigen auch Mörtel mit einem hohen Bindemittelanteil, wenn der Branntkalk trocken gelöscht wurde, weniger Trocknungsrisse durch Schwinden. (WISSER 1988, S. 21, 22).

412 Inwieweit die Mörtel Eigenschaften mit organischen Zusätze, wie beispielweise Casein, modifiziert wurden, konnte mit den in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungsmethoden nicht geklärt werden.

413 Die Zunahme der Korngrößen von der Wandseite nach Außen ist charakteristisch für beide Grabbauten. KLINKERT beschreibt eine derartige Ordnung als typisch für antike, pompejanische Putze. Er führt dabei ein Beispiel aus der Domus Vetti Sirici Reg. VII, Ins. 1 auf, das eine Wanddekoration des 1. pompejanischen Stils aufweist. (KLINKERT 1957, S. 121, 128) Trotz der zeitlichen Differenz sind die Ästhetik und die Technik dieser Wanddekorationen jenen der Grabbauten sehr ähnlich. Auch sie imitierten über ein Oberflächenrelief im Stuck ein Quadermauerwerk. (COARELLI / LA ROCCA / DE VOS 1999, S. 70, 71).

Zuschlagsart und des Bindemittelanteils. Dieser steigt im Oberputz auf etwa 50 % bei entsprechend nur noch 50 % Zuschlagsanteil.

Bei Grabbau **EN 6** tritt die Kornvergrößerung noch nicht in den Unterputzschichten auf. Die mauerwerksseitigen Unterputzschichten (Schicht 1, 2) weisen ein Bindemittel-Zuschlagverhältnis von etwa 25/75 auf. Der Hauptanteil der Kornklassen liegt wie bei der ersten Unterputzschicht von EN 4 zwischen 0,315 und 2 mm. Auch hier ist Fraktion von 0,5 – 0,8 mm besonders stark vertreten. Die Untersuchungsergebnisse der Komponentenverhältnisse dieser beiden Unteputze waren nahezu identisch, auch mikroskopisch können keine Unterschiede festgestellt werden. Daher wird vermutet, dass es sich um exakt die gleiche Mörtelmischung handelte, die in zwei Lagen aufgetragen wurde. Die Korngrößenverteilung der dritten Unterputzlage, die an den Oberputz grenzt, ist jener der darunterliegenden Schichten sehr ähnlich. Es wurde jedoch ein etwas höherer Fein- und Feinstanteil ermittelt. Da es sich ansonsten um die gleichen Sande handelt, wurde dieser Feinanteil aller Wahrscheinlichkeit nach – wie bei der entsprechenden Schicht von EN 4 – fraktioniert und dem Mörtel gezielt zugesetzt. Auch der Bindemittelanteil liegt mit etwa 35 % (zu 65 % Zuschlaganteil) etwas höher als in den darunterliegenden Schichten. Im Oberputz sind die Korngrößen in Richtung gröbere Zuschläge verschoben. Der dominante Anteil liegt hier bei der Fraktion von 1 – 2 mm, die Mittelkornfraktion ist mit etwa 35 % vertreten bei gleichzeitig relativ hohem Feinanteil von etwa 20 % – die Verschiebung zu höheren Kornklassen tritt bei EN 6 somit erst im Oberputz auf. Wie bei Grabbau EN 4 wurde auch im Oberputz von EN 6 mit etwa 50 % (bei 50 % Zuschlag) der höchste Bindemittelgehalt in den Putzschichten ermittelt.

Die Korngrößenverteilung der Oberputze beider Gräber ist nahezu gleich. Mikroskopisch war allerdings ein etwas höherer Feinanteil bei EN 6 zu erkennen.⁴¹⁴ Die überwiegend kantigen Formen der Calcite der Oberputzzuschläge beider Gräber lassen auf deren künstliche Zerkleinerung schließen. Vermutlich wurde den grob gebrochenen Anteilen ein weiterer zermahlener, fraktionierter Feinanteil zugesetzt.

6.5 Physikalisch-mechanische Eigenschaften

Der Putzaufbau beider Grabbauten beruht auf einem System, bei dem die Dichte von der Mauerseite ausgehend hin zur Außengrenze ab-, die Festigkeit zunimmt. Dies ist anhand der korrelierenden Messwerte der physikalisch-mechanischen Eigenschaften abzulesen. So zeigen die Unterputzschichten beider Grabbauten im Verhältnis zum stark verdichteten Oberputz eine höhere Porosität, ein entsprechend höheres Wasseraufnahmevermögen bei einer geringeren Dichte und Festigkeit, wobei die Differenzen der Werte von Unter- und Oberputz bei Grabmonument EN 6 deutlich höher ausfallen als bei EN 4.

Entsprechend dem Dichte- und Festigkeitsverlauf von Innen nach Außen weisen auch die Unterputzschichten des Grabbaus **EN 6** in gegenseitigen Vergleich, differierende Eigenschaften auf, wobei die beiden mauerwerksnahen Putzschichten hinsichtlich ihrer Charakteristika nahezu gleich sind. Im Vergleich zur dritten, am Oberputz grenzenden und vermutlich leicht verdichteten Schicht sind hingegen sehr deutliche Unterschiede auszumachen. So ist diese Unterputzschicht weniger porös bei entsprechend höherer Dichte und Festigkeit als die darunterliegenden. Bezüglich der physikalisch-mechanischen Eigenschaften stellt die 3. Unterputzschicht von

414 Keine der Untersuchungsmethoden zur Korngrößenverteilung (Bildanalyse, elektrodynamische Fragmentierung) eignete sich bezüglich der Erfassung des Feinanteils. Daher kann hier nur aus der mikroskopischen Betrachtung auf einen höheren Feinanteil im Oberputz von EN 6 geschlossen werden.

EN 6 somit eine Art Übergangsschicht von den hochporösen Unterputzschichten zu dem stark verdichteten Oberputzen dar. Die höhere Festigkeit und geringere Porosität dieser Putzlage ist vermutlich (unter anderem) auf den höheren Feinanteil zurückzuführen, der dem Mörtel gezielt zur Festigkeitssteigerung zugesetzt worden sein könnte. Die feinen Sande füllen dabei die Hohlräume zwischen den gröberen Fraktionen aus, wodurch nach BALKSTEN⁴¹⁵ im Mörtel weniger Poren entstehen, was zu einer erhöhten Festigkeit führt. Zudem weist das Bindemittel dieses Putzes andere Charakteristika als die der darunter liegenden Schicht auf: bräunliche Farbigekeit, Inhomogenitäten, bräunliche, punktförmige Flecken und teilweise Säume um die feineren Sande. Wie bereits erwähnt, könnten diese Erscheinungen auf hydraulische Reaktionen unterschiedlicher Ursache (Puzzolane, Verunreinigungen des Rohstoffes, natürlich hydraulischer Mörtel) hindeuten. Nach BALKSTEN / MAGNUSSON⁴¹⁶ weisen hydraulische Mörtel eine geringere Porosität und höhere Dichte auf. Es ist daher auch denkbar, dass zur Festigkeitssteigerung dieser Putzlage gezielt ein puzzolanischer oder natürlich hydraulischer Mörtel eingesetzt wurde.

An Grabbau **EN 4** konnten hingegen keine derart deutlichen Differenzen zwischen den Unterputzlagen ermittelt werden: Die Ergebnisse der Dichte- und Porositätsmessung mittels Vakuum-Tauchverfahren zeigten keinen eindeutigen Trend, wohingegen mittels Bildanalyse eine etwas niedrigere Gesamtporosität der an den Oberputz grenzenden Schicht gemessen wurde. Auch diesem Mörtel wurde ein höherer Feinanteil zugesetzt, das Bindemittel weist die gleichen Charakteristika wie das der entsprechenden Putzlage bei EN 6 (Schicht 3) auf. Beides könnte die Porosität leicht herabgesetzt haben.

Die Oberputze beider Grabbauten weisen im Schichtenpaket die niedrigsten Porositäten und Wasseraufnahmefähigkeiten sowie die höchsten Dichten und Festigkeiten auf. Dies resultiert sicherlich aus der starken Verdichtung dieser Putze. Aufgrund der guten Spaltbarkeiten des Calcits besitzt ein Großteil der Zuschläge der Oberputze relativ glatte Oberflächen, was zu der guten Verdichtbarkeit der damit hergestellten Mörtel beitrug.^{417/418}

Die Grabbauten unterscheiden sich jedoch im Grad der Dichte der Oberputze. So zeigte der Oberputz von EN 6 eine höhere Dichte als von EN 4. Dies hängt zum einen mit der verstärkten Rissbildung im Oberputz von EN 4, andererseits möglicherweise mit dessen geringeren Schichtstärke (bis zu 0,4 mm im Vergleich zu 0,9 mm bei EN 6) zusammen. Das günstigere Verhältnis von Schichtdicke zum groben Zuschlag bei EN 6 könnte eine bessere Verdichtbarkeit dieses Mörtels bedingt haben. Zudem zeigte die mikroskopische Untersuchung einen etwas höheren Feinanteil im Oberputzzuschlag von EN 6. Auch dies könnte zu einer dichteren Mörtelpackung beigetragen haben.

Eine auffällige Differenz zwischen den Oberputzen der Gräber konnte auch bei der Untersuchung zur kapillaren Wasseraufnahme und beim Wassertropfeneindringtest ausgemacht werden. Die Oberfläche des Oberputzes von EN 4 zeigte tendenziell eine deutlich geringere kapillare Saugfähigkeit und eine schlechtere Benetzbarkeit. Als Ursache wird hier ein oberflächlich aufgebracht Konservierungsmittel oder ein biogener Bewuchs vermutet, der die Wasseraufnahmefähigkeit blockiert.⁴¹⁹ Mikroskopisch war hier im Bereich der oberen 40 µm eine Braunfärbung zu beobachten. Unter UV Bestrahlung zeigte diese eine braun-oranger Fluoreszenz. Bis zu einer Tiefe von etwa 200 µm wich die Fluoreszenz mit einer gelben Farbigekeit deutlich vom darunter liegenden Bindemittel (grüne Fluoreszenzfarbe) ab. Die tatsächliche Ursache dieses Phänomens konnte mit den in dieser

415 Vgl. BALKSTEN 2007, p. 28.

416 BALKSTEN / MAGNUSSON 2004, Cap. 3.1.

417 WENDEHORST weist auf die sehr gute »Verdichtungswilligkeit« von Zuschlägen mit glatten Oberflächen hin. (WENDEHORST 2004, S. 185).

418 Auch in experimentellen Rekonstruktionsversuchen pompejanischer Putze zeigte sich, dass die Morphologie des Calcit eine gute Verdichtbarkeit begünstigt. (THIEMANN ET AL. 2014, S. 207).

419 Andere Ursachen können jedoch nicht ausgeschlossen werden.

Arbeit angewandten Untersuchungsmethoden nicht bestimmt werden. Möglicherweise besteht jedoch ein Zusammenhang mit der verstärkten, oberflächennahen Rissbildung und den zahlreichen kleinen Abschalungen in der Oberfläche des Oberputzes von EN 4.

6.6 Putzsystem

Das mehrschichtige Putzsystem beruht bei beiden Grabbauten gleichermaßen auf einer Abnahme der Porosität und Wasseraufnahmefähigkeit, bei gleichzeitiger Zunahme der Dichte und Festigkeit von der Mauerwerkseite in Richtung Außengrenze. Dies widerspricht der heutzutage üblichen Forderung, nach welcher der Oberputz in keinem Fall eine höhere Festigkeit als der Unterputz aufweisen darf.⁴²⁰ Dennoch scheint es sich um ein durchdachtes System zu handeln, das ästhetische Gesichtspunkte mit Funktionalität kombiniert. Die hochporösen, wandseitigen Unterputze sind dabei auf das ebenfalls poröse Mauerwerk aus Lavabuchstein abgestimmt, was der Bildung eines Feuchtigkeitstaus im Grenzbereich entgegenwirkt.⁴²¹ Die hochverdichteten, sehr festen Oberputze erfüllen hingegen aufgrund ihrer niedrigen Wasseraufnahmefähigkeit eine bis zu einem gewissen Grad wasserhemmende Funktion an den der Witterung ausgesetzten Oberflächen der Grabbauten. Ihre helle Farbigkeit besitzt abgesehen von der ästhetischen Wirkung den Nebeneffekt, dass die Putze bei starker Sonneneinstrahlung weniger stark thermisch beansprucht werden.⁴²² Die Funktion des Putzsystems der Grabbauten setzt jedoch dessen Geschlossenheit voraus. Liegen die extrem saugfähigen Unterputze vollständig oder teilweise frei, wie es an den Grabbauten der Fall ist, kann darüber eine große Wassermenge in die Putze aufgenommen werden, die in Folge zu diversen Schadensbildern wie beispielsweise Absanden und Ablösungen der Putzschichten führt.

KLINKERT sieht in der Anwendung eines derartigen Putzsystemes bereits eine gezielte Steuerung des Wasserhaushaltes beim Mörtelauftrag und den anschließenden Abbindeprozessen in diesem. Er bezieht hier des Weiteren auch die bei den untersuchten Putzpaketen ermittelte Tendenz der Verschiebung der Kornklassen zu größeren Zuschlägen in Richtung Außenseite mit ein. KLINKERT beschreibt, dass beim Mörtelauftrag die frisch aufgetragene Schicht immer einen höheren Feuchtegehalt als die darunter liegende besitzt. Die »Saugfähigkeit der feinen Sandschichten« bewirkt über Kapillarkräfte einen Feuchtigkeitsog von außen nach innen. Sinkt der Feuchtegehalt der oberen Lagen durch Verdunstung unter das Niveau der darunter liegenden, so kehrt sich der Feuchtigkeitstransport um. Durch die Verdichtung des Oberputzes wird dieser Prozess hinausgezögert, die Putzlagen trocknen gleichmäßiger und langsamer, wodurch eine gleichmäßige und gute Carbonatisierung des Kalkes ermöglicht wird.⁴²³

420 WENDEHORST 2004, S- 385.

421 Vgl. WENDEHORST 2004, S. 377.

422 Vgl. WENDEHORST 2004, S. 377.

423 KLINKERT 1957, S. 123, 124.

7 Schlusswort

In der vorliegenden Arbeit wurden ausgewählte Analysemethoden ergänzend angewandt, um die Putze zweier Grabbauten der Nekropole vor der Porta Nocera hinsichtlich deren Eigenschaften zu charakterisieren und vergleichen zu können. Die zur Verfügung stehende Probenmenge- und art ermöglichte die zielgerichtete Selektion geeigneter Methoden mit Fokus auf Methodenkombination und die vergleichende Mörtelbetrachtung. In diesem Zusammenhang erwies sich die Kombination aus mikroskopischer und bildanalytischer Untersuchung sowie der Anwendung indirekter Prüfmetho­den als äußerst zweckdienlich. Es konnten charakteristische Merkmale und grabspezifische Eigenschaften der Putzsysteme ermittelt werden, beruhend auf deren gefügetechnischen, chemisch-mineralogischen, physikalischen und kompositorischen Charakterisierung. In diesem Kontext sei insbesondere auf den Vorteil von in-situ anwendbaren physikalischen Verfahren hingewiesen, welche in Zusammenhang mit makroskopischer Untersuchung zur Klärung konservatorischer Fragestellungen vor Ort beitragen können.

8 Literaturverzeichnis

- ADAM, JEAN-PIERRE: *Roman building: Materials and Techniques*, London 1994
- AMTHAUER, GEORG / PAVIČEVIĆ, MIODRAG: *Physikalisch-chemische Untersuchungsmethoden in den Geowissenschaften*, Bd. 2, Stuttgart 2001
- APRIN, TRINA L. / MALLOL, CAROLINA / GOLDBERG, PAUL: *Short Contribution: A New Method of Analysing and Documenting Micromorphological Thin sections Using Flatbed Scanners: Applications in Geoarchaeological Studies*, in: *Geoarchaeology: An International Journal*, Vol 17, No. 3 2002, p. 305–313
- ADAMS, ANTHONY E. / MACKANZIE, W. S. / GUILFORD, C.: *Atlas der Sedimentgesteine in Dünnschliffen*, Stuttgart 1986
- AMADORI, M. L. / BARCELLI, S. / POLDI, G. / FERRUCCI, F. / ANDREOTTI, A. / BARALDI, P. / COLOMBINI, M. P.: *Invasive and non-invasive analyses for knowledge and conservation of Roman wall paintings of the Villa of the Papyri in Herculaneum*, in: *Microchemical Journal*, Vol 118 2015, p. 183–192
- BAKOLAS, ASTERIOS / ZENDRI, ELISABETTA / MOROPOULOU, A. / ZENDRI, E.: *Characterization of the lumps in the mortars of historic masonry*, in: *Thermochimica Acta* 269/270 1995, p. 809–816
- BALKSTEN, KRISTIN: *Traditional Lime Mortar and Plaster. Reconstruction with Emphasis on Durability*, Göteborg 2007
- BALKSTEN, KRISTIN / KLÄSEN, KENTH: *The influence of craftsmanship on the inner structures of lime plasters*, in: BALKSTEN, KRISTIN: *Traditional Lime Mortar and Plaster. Reconstruction with Emphasis on Durability*, Göteborg 2007, Paper III
- BALKSTEN, KRISTIN / MAGNUSSON, SOPHIA: *The pore structure in lime plaster as a key to understanding moisture transport properties and frost damages*, in: BALKSTEN, KRISTIN: *Traditional Lime Mortar and Plaster. Reconstruction with Emphasis on Durability*, Göteborg 2007, Paper I
- BLÄUER, CHRISTINE: *Möglichkeiten und Grenzen von naturwissenschaftlichen Verputz- und Mörteluntersuchungen*, in *Historische Putztechniken – Von der Architektur- zur Oberflächengestaltung*, Hrsg, EMMENEGGER, OSKAR, Zürich 2016, S. 31–44
- BLÄUER-BÖHM, CHRISTINE / JÄGERS, ELISABETH: *Analysis and recognition of dolomitic lime mortars*, in: *Roman Wall Painting. Materials, Techniques, Analysis and Conservation*, Proceedings of the International Workshop, Fribourg 7-9 March 1996, Freiburg 1997, p. 223 – 235
- BLÖCHL-WIRTS, BARBARA: *Kalkbeschichtungen in der Denkmalpflege. Untersuchungen zur Substratabhängigkeit feuchtetechnischer Eigenschaften von Anstrichen und Schlämmen in Mehrschichtsystemen*, Universität Hannover, Dissertation 2001
- BLUHM, HANSJOACHIM: *Pulsed Power Systems – Principles and Applications*, Heidelberg 2006
- BÖTTGER, KARL GEORG: *Mörtel für die Erhaltung historischer Kalkputze: Haftmörtel, Hinterfüllmörtel und Kalkputze*, Dissertation Bauhaus-Universität Weimar, Weimar 1997

- BORELLI, ERNESTO: *Porosity*, ICCROM Arc Laboratory Handbook, Vol. 2, 1999
- BURGER, WILHELM / BURGE, MARK JAMES: *Digitale Bildverarbeitung: Eine Einführung mit Java und ImageJ*, Heidelberg 2006
- CARÒ, FEDERICO / DI GIULIO, ANDREA: *Reliability of textural analysis of ancient plasters and mortars through automated image analysis*, in: *Materials Characterization*, Vol. 53, 2004, p. 243–257
- CARRAN, DORN / HUGHES, JOHN / LESLIE, ALICK / KENNEDY, CRAIG: *Lime Lump Development and Textural Alteration during the Production of Mortar*, in: 2nd Historic Mortars Conference HMC2010 and RILEM TC 203-RHM Final Workshop 22-24 September 2010, Prague, Czech Republic, p. 437 – 445
- CASADIO, F. / CHIARI, G. / SIMON, S.: *Evaluation of binder / aggregate ratios in archaeological lime mortars with Carbonate aggregate: A comparative assessment of chemical, mechanical and microscopic approaches*, in: *Archeometry*, Vol. 47, 2005, p. 671–689
- COARELLI, FILIPPO / LA ROCCA, EUGENIO / DE VOS, ARNOLD: *Pompeji – Archäologischer Führer*, deutsche Ausgabe, 2. Auf., Bergisch Gladbach 1999
- D'AMBROSIO, ANTONIO / DE CARO, STEFANO: *Fotopiano e Documentazione della Necropoli di Porta Nocera*, Milano 1983
- D'HAM, GERHARD / MEINHARDT, JEANNINE / NIEMEYER, ROLF: *Bestimmung der kapillaren Wasseraufnahme mit Messröhrchen nach Karsten und Mirowski*, in: AURAS, MICHAEL / MEINHARDT, JEANNINE / SNETHLAGE, ROLF: *Leitfaden Naturstein-Monitoring. Nachkontrolle und Wartung als zukunftsweisende Erhaltungsstrategien*, Stuttgart 2011, S. 82 – 92
- DE LUCA, RAFFAELLA / MIRIELLO, DOMENICO / PECCI, ALESSANDRA / DOMÍNGUEZ-BELLA, SALVADOR / BERNAL-CASASOLA, DARIÑO / COTTICA, DANIELA / BLOISE, ANDREA / CRISCI, GINO MIROCLE: *Archaeometric Study of Mortars from the Garum Shop at Pompeii, Campania, Italy*, in: *Geoarchaeology*, July 2015, Vol. 37, 2010, p. 2207 – 2223
- DIN 18129:2011: *Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Kalkgehaltsbestimmung*
- DIN 18555-3:1982: *Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln – Festmörtel – Bestimmung der Biegezugfestigkeit, Druckfestigkeit und Rohdichte*
- DIN 66137-1:2003: *Bestimmung der Dichte fester Stoffe – Teil 1: Grundlagen*
- DIN 66165-1:1987: *Partikelgrößenanalyse – Siebanalyse – Grundlagen*
- DIN 66165-2:1987: *Partikelgrößenanalyse – Siebanalyse – Durchführung*
- DIN EN 459-2:2010: *Baukalk – Teil 2: Prüfverfahren*
- DIN EN 993-1: *Prüfverfahren für dichte geformte feuerfeste Erzeugnisse – Teil 1: Bestimmung der Rohdichte, offenen Porosität und Gesamtporosität*
- DIN EN 933-1:2012: *Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 1: Bestimmung der Korngrößenverteilung – Siebverfahren*
- DIN EN 933-2:1995: *Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 2: Bestimmung der Korngrößenverteilung – Analysensiebe, Nennmaße der Sieböffnungen*
- DIN EN 15801:2009: *Erhaltung des kulturellen Erbes – Prüfverfahren – Bestimmung der Wasserabsorption durch Kapillarität*

- DIN EN 16302:2013: *Erhaltung des kulturellen Erbes – Prüfverfahren – Messung der Wasseraufnahme mit Prüfrohr*
- DIN EN 1925:1999: *Prüfverfahren für Naturstein – Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten infolge Kapillarwirkung*
- DIN EN 1936:2006: *Prüfverfahren für Naturstein – Bestimmung der Reindichte, der Rohdichte, der offenen Porosität und der Gesamtporosität*
- DIN EN ISO 15148: 2002: *Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen*
- DIN ISO 3310-1: *Analysensiebe – Anforderungen und Prüfung – Teil 1: Analysensiebe mit Metalldrahtgewebe*
- ELSSEN, JAN: *Microscopy of historic mortars – a review*, in *Cement and Concrete Research*, Vol. 36, 2006, p.p. 1416–1424
- ELSSEN, JAN / BRUTSAERT, ANNE / DECKERS, MARIANNE / BRULET, RAYMOND: *Microscopical study of ancient mortars from Tournai (Belgium)*, in: *Materials Characterization*, Vol. 53, 2004, p. 289–294
- ELSSEN, JAN / BRUTSAERT, ANNE / DECKERS, MARIANNE / BRULET, RAYMOND: *Microscopical study of ancient mortars from Tournai (Belgium)*, in: *Materials Characterization*, Vol. 53, 2004, p. 289–294
- EMMENEGGER, OSKAR: *Historische Putztechniken – Von der Architektur- zur Oberflächengestaltung*, Zürich 2016
- EMMERLING, ERWIN / CORELL, STEFANIE / GRÜNER, ANDREAS / KILIAN, RALF (Hrsg.): *Firmitas et Splendor. Vitruv und die Techniken des Wanddekors*, München 2014
- FRESENIUS, REMIGIUS: *Anleitung zur quantitativen chemischen Analyse oder die Lehre von der Gewichtsbestimmung und Scheidung der in der Pharmacie, den Künsten, Gewerben und der Landwirthschaft häufiger vorkommenden Körper in einfachen und zusammengesetzten Verbindungen, für Anfänger und Geübte*, Braunschweig 1875
- FÜRCHTBAUER, HANS / MÜLLER, GERMAN: *Sediment-Petrologie Teil II, Sedimente und Sedimentgesteine*, 3. Aufl., Stuttgart 1977
- GEHRINGER, ANDREAS: *Grundlagen für das Gipser- und Verputzhandwerk – Materialkunde, Verputzarbeiten, Wandkonstruktionen, Deckenkonstruktionen, Isolierarbeiten, Zugarbeiten*, Zürich 1977
- GÖDICKE-DETTMERING, TANJA: *Mineralogische und technologische Eigenschaften von hydraulischem Kalk als Bindemittel von Restauriermörteln für Baudenkmäler aus Naturstein*, Dissertation Justus-Liebig-Universität Gießen, Gießen 1996
- FLÜGEL, ERIK.: *Mikrofaziale Untersuchungsverfahren von Kalken*, Berlin Heidelberg New York 1978
- GATTUSO, CATERINA / GAZINEO, FLAVIA / MAURO F., LA RUSSA: *Characterisation of archaeological mortars from Pompeii (Campania, Italy) and identification of construction phases by compositional data analysis*, in: *Journal of Archaeological Science*, Vol. 37, 2010, p. 2207 – 2223
- HUGHES, J.J. / LESLIE, A.B. / CALLEBAUT, K.: *The petrography of lime inclusions in historic lime based mortars*, in: *Annales Geologiques des pays Helleniques*, Edition Speciale, Volume XXXIX, ISSN: 1105-004, 2001 p. 359-364.

- IZZO, FRANCESCO / ANNA, ARIZZI / CAPPELLETTI, PIERGIULIO / CULTRONE, GIUSEPPE / DE BONIS, ALBERTO / GERMINARIO, CHIARA / GRAZIANO, SOSSIO FABIO / GRIFA, CELESTINO / GUARINO, VINCENZA / MERCURIO, MARIANO / MORRA, VINCENZO / LANGELLA, ALESSIO: *The art of building in the Roman period (89 B.C. – 79 A.D.): Mortars, plasters and mosaic floors from ancient Stabiae*, in: *Construction and Building Materials*, Vol. 117, 2016, p 129–143
- JEDRZEJEWSKA, HANNA: *Old Mortars in Poland: A New Method of Investigation*, in: *Studies in Conservation*, Vol. 5, No. 4, 1960, p. 132 – 138
- JONES, P. MEURIG: *Methoden der Mineralogie*, Stuttgart 1997
- JORNET, ALBERT: *Historische Mörtel*, in *Historische Putztechniken – Von der Architektur- zur Oberflächengestaltung*, Hrsg, EMMENEGGER, OSKAR, Zürich 2016, S. 45–59
- KARKANAS, PANAGIOTIS: *Identification of Lime Plaster in Prehistory Using Petrographic Methods: A Review and Reconsideration of the Data on the Basis of Experimental and Case Studies*, in *Geoarchaeology: An International Journal*, Vol. 22, No. 7, 2007, p. 775 – 796
- KLINKERT, WALTER.: *Bemerkungen zur Technik der pompejanischen Wanddekoration*, in *Mitteilungen des Deutschen Archäologischen Instituts, Römische Abteilung*, Bd. 64, Heidelberg 1957, S. 111 – 131
- KNÖFEL, DIETBERT / SCHUBERT, PETER: *Mörtel und Steinerfüllungsstoffe in der Denkmalpflege*, Berlin 1993
- KOENSLER, WINFRIED: *Sand und Kies. Mineralogie, Vorkommen, Eigenschaften, Einsatzmöglichkeiten*, Stuttgart 1989
- KÖNIG, MARIUS: *Photoshop-Trainer*, Augsburg 2010
- KRAUS, KARIN: *Die naturwissenschaftliche Mörtelanalyse und ihre praktische Anwendung für die Nachstellung von Mörteln*, in: *Inhalte – Projekte – Dokumentationen*, Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, Nr. 4: Kalk in der Denkmalpflege, München 2011, S. 40 – 43
- KRINSLEY, DAVID H. / PYE, KENNETH / BOGGS, SAM / TOVEY, KEITH N.: *Backscattered Scanning Electron Microscopy and Image Analysis of Sediments and Sedimentary Rocks*, Cambridge 1998
- LINDQVIST, J. E. / SANDSTRÖM, M.: *Quantitative analysis of historical mortars using optical microscopy*, in: *Materials and Structures*, Vol. 33, 2000, p. 612–617
- LUNGE, GEORG / BERL, ERNST: *Chemisch-technische Untersuchungsmethoden*, Berlin 1910
- MACKANZIE, W. S. / DONALDSON, C. H. / GUILFORD, C.: *Atlas der magmatischen Gesteine in Dünnschliffen*, Stuttgart 1989
- MACKANZIE, W. S. / GUILFORD, C.: *Atlas gesteinsbildender Minerale in Dünnschliffen*, Stuttgart 1981
- MAGNUS, MICHAEL: *Mikroskopische Phasen- und Kornformanalyse klastischer Sedimente mittels Bildanalyse am Beispiel des Unterturons der Elbezone*, Freiberg 1998
- MARINONI, NICOLETTA / PAVESE, ALESSANDRO / FOI, MARCO / TROMBINO, LUCA: *Characterisation of mortar morphology in thin sections by digital Image processing*, in: *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, 2005, p. 1613–1619
- MEHLMANN, MICHAEL: *Bestimmung von chemisch-mineralogischen Kennwerten sowie Untersuchungsmethoden*, in: Knöfel, Dietbert / Schubert, Peter: *Mörtel und Steinerfüllungsstoffe in der Denkmalpflege*, Berlin 1993, S. 39 – 53

- MEINHARDT, JEANNINE: *Natursteinerhaltung durch Hydrophobierung? – Erkenntnisse zur Beständigkeit*, in: Auras, Michael / Meinhardt, Jeannine / Snethlage, Rolf: Leitfaden Naturstein-Monitoring. Nachkontrolle und Wartung als zukunftsweisende Erhaltungsstrategien, Stuttgart 2011, S. 119 – 130
- MEINHARDT, JEANNINE / PFEFFERKORN, STEPHAN: *Bohrwiderstand-Prüfverfahren*, in: Auras, Michael / Meinhardt, Jeannine / Snethlage, Rolf: Leitfaden Naturstein-Monitoring. Nachkontrolle und Wartung als zukunftsweisende Erhaltungsstrategien, Stuttgart 2011, S. 65 – 73
- MERTENS, GILLES / ELSSEN, JAN: *Use of computer assisted Image Analysis for the determination of the grain-size distribution of Sands used in mortars*, in: Cement and Concrete Research, Vol. 36, 2006, p. 1453–1459
- MIDDENDORF, B. / HUGHES, J. J. / CALLEBAUT, K. / BARONIO, G. / PAPAYIANNI, I.: *Investigative methods for the characterisation of historic mortars – Part 2: chemical characterisation* (RILEM TC 167-COM: Characterisation of Old Mortars with Respect to their Repair), in: Materials and Structures 38, Oct. 2005, p. 771 – 780
- MIDDENDORF, B. / KNÖFEL, D.: *Characterization of Historic Mortars from Buildings in Germany and The Netherlands*, in: Baer et al.: Conservation of Historic Brick Structures, Donhead St. Mary 1998, p. 179 – 196
- MIRIELLO, DOMENICO / BARCA, DONATELLA / BLOISE, ANDREA / CIARALLO, ANNAMARI / CRISCI GINO M. / DE ROSE, TERESA /
- MIRIELLO, D / CRISCI, G. M.: *Image Analysis and flatbed scanners. A visual procedure in order to study the macro-porosity of the archeological and historical mortars*, in: Journal of Cultural Heritage, Vol. 7, 2006, p. 186–192
- NOGUEIRA, RITA / FERREIRA PINTO, ANA PAULA / GOMES, AUGUSTO: *Assessing mechanical behavior and heterogeneity of low-strength mortars by the drilling resistance method*, in: Construction and Building Materials 68, 2014, p. 757–768
- PAVIČEVIĆ, MIODRAG K. / AMTHAUER, GEORG: *Physikalisch-chemische Untersuchungsmethoden in den Geowissenschaften*, Band 1, Mikroskopische, analytische und massenspektrometrische Methoden, Stuttgart 2000
- PECCIONI, ELENA / FRATINI, FABIO / CANTISANI, EMMA: *Atlas of the ancient mortars*, Florenz 2014
- PFEFFERKORN, S.: *Auswertung von Untersuchungen mit dem Bohrhärte-Prüfgerät an Gesteinen mit makroskopisch inhomogenem Gefüge*, in SNETHLAGE: Jahresberichte Steinzerfall – Steinkonservierung, Band 6, 1994 - 1996, 1998, S. 103 – 122.
- PICHLER, HANS / SCHMITT-RIEGRAF, CORNELIA: *Gesteinsbildende Minerale im Dünnschliff*, 2. Aufl., Stuttgart 1993
- PIOVESAN, REBECCA / CURTI, EMMANUELE / GRIFA, CELESTINO / MARITAN, LARA / MAZZOLI, CLAUDIO.: *Petrographic and microstratigraphic analysis of mortar-based building materials from the Temple of Venus, Pompeii*, in: QUINN, PARTICK S.: Interpreting silent artefacts: petrographic approaches to archaeological ceramics, Oxford 2009
- RAIH, MICHAEL / RAASE, PETER / REINHARDT, JÜGEN: *Leitfaden zur Dünnschliffmikroskopie*, 2011
- RIEDL, NICOLE: *Provinzialrömische Wandmalerei in Deutschland. Geschichte – Historische Werkstoffe – Technologie – Restaurierungsgeschichte im Kontext der Denkmalpflege*, Bamberg 2007
- SCHLICHTING, ERNST / BLUME, HANS-PETER / STAHR, KARL: *Bodenkundliches Praktikum – Eine Einführung in pedologisches Arbeiten für Ökologen, insbesondere Land- und Forstwirte, und für Geowissenschaftler*, Berlin/Wien 1995
- SCHLÜTTER, F. / JULING, H. / HILBERT, G.: *Mikroskopische Untersuchungsmethoden in der Analytik historischer Putze und Mörtel*, Bremen 2000

- SCHLÜTTER, FRANK / JULING, HERBERT / HILBERT, GEORG: *Mikroskopische Untersuchungsmethoden in der Analytik historischer Putze und Mörtel*, in: Boué, Andreas: Historische Fassadenputze – Erhaltung und Rekonstruktion, 3. workshop des Institut für Bauchemie Leipzig e. V., Kloster Nimbschen 16. und 17. Juni 2000, Stuttgart 2001, S. 45 – 68
- SHELLEY, DAVID.: *Ingenous and Metamorphic Rocks under the Mircroscope – Classification, Textures, Microstructures and Mineral Preferred Orientations*, London 1993
- SIMON, STEFAN: *Techniken der Untersuchung von Putz und Farbe. Naturwissenschaft und Denkmalpflege / Historische Mörtel und Putze. Möglichkeiten und Grenzen der wissenschaftlichen Analytik*, in: PURSCHE, JÜRGEN (Hrsg): Historische Architekturoberflächen. Kalk – Putz – Farbe, ICOMOS, Hefte des Deutschen Nationalkomitees 39, München 2003, 178 – 182
- TARQUINI, SIMONE / ARMIENTI, PIETRO: *Quick Determination of crystal size Distributions of rocks by means of a colour scanner*, in: JImage Anal Stereol, Vol. 22, 2003, p. 27–34
- THOMSON, M. L. / LINDQVIST, J. E. / ELSÉN, J. / GROOT, C. J. W. P.: *Porosity of historic Mortars*, in: 13th International Brick and Block Masonry Conference Amsterdam, July 4-7, 2004
- THOMSON, M. / LINDQVIST, J.-E. / ELSÉN, J. / GROOT, C.J.W.P: *Porosity of Mortars*, RILEM TC 167-COM: Characterisation of Old Mortars with Respect to their Repair, 2004, S. 77 – 106
- THIEMANN, LAURA / KNECHTEL, MIRIAM / ELSÄSSER, CHRISTINA / KRAUTENBACHER, BRIGITTE / WILHELM, KATRIN / KILIAN, RALF: *Zur Glättung antiker römischer Putze und Rekonstruktion. Workshops zur Experimentellen Archäologie*, in: EMMERLING, ERWIN / CORELL, STEFANIE / GRÜNER, ANDREAS / KILIAN, RALF (Hrsg.): Firmitas et Splendor. Vitruv und die Techniken des Wanddekors, München 2014, S. 201 – 224
- TUCKER, MAURICE: *Einführung in die Sedimentologie*, Stuttgart 1996
- VAN DEN BERG, E. H. / MEESTERS, A. G. C. A. / KENTER, J. A. M. / SCHLAGER, W.: *Automated separation of touching grains in digital images of thin sections*, in: Computers&Geosciences, Vol. 28, 2002, p. 179–190
- VINX, ROLAND: *Gesteinsbestimmung im Gelände*, 4. Aufl., Berlin Heidelberg 2015
- WANG, SITONG: *Römische Kalkmörtel aus der Colonia Traiana bei Xanten: Mineralogische und chemische Eigenschaften*, Karlsruhe 1995
- WEBER, JOHANNES / PROCHASKA, WALTER / ZIMMERMANN, NORBERT: *Microscopic techniques to study Roman renders and mural paintings from various sites*, in *Materials Characterization*, Vol. 58, Numbers 11–12, 2007, p. 586–593
- WEBER / PINTÉR / KÖBERLE: *Microscopic techniques to study mineral materials in cultural heritage: A workshop for the optimal use of polarized light microscopy and SEM to better understand building materials and their defects*, Wien 2016
- WENDEHORST, REINHARD: *Baustoffkunde*, 26. Aufl., Hannover 2004
- WENDLER, EBERHARD / SATTLER, LUDWIG: *Bohrwiderstandsmessung als zerstörungsarmes Prüfverfahren*, Proc. 4. Internationales Kolloquium Werkstoffwissenschaften und Bauinstandsetzen, Technische Akademie Esslingen, 17. – 19. Dez. 1996, S. 145 – 159
- WENDLER, EBERHARD / SNETHLAGE, ROLF: *Der Wassereindringprüfer nach Karsten – Anwendung und Interpretation*, in: Bautenschutz und Bausanierung 5, 12. Jahrgang, 1989, S. 110 – 115

- WENS, ROLF: *Naturwissenschaftliche Untersuchungen an historischen Mörteln und Putzen (Analytik und Porosität)*, in: *Mittelalterliche Putze und Mörtel im Land Brandenburg*, Arbeitshefte des Brandenburgischen Landesamt für Denkmalpflege Nr. 9, 1998, S. 44 – 55
- WINGENDER, JÖRG: *Darstellung und Charakterisierung von mineralischen Bindemitteln – Synthese, Rasterkraftmikroskopie, Rasterelektronenmikroskopie*, München 2002
- WINNEFELD, FRANK / KNÖFEL, DIETBERT: *Chemische Analysentechniken historischer Mörtel*, in: BOUÉ, ANDREAS: *Historische Fassadenputze – Erhaltung und Rekonstruktion*, 3. workshop des Institut für Bauchemie Leipzig e. V., Kloster Nimbschen 16. und 17. Juni 2000, Stuttgart 2001, S. 27 – 44
- WISSER, STEFAN: *Historische und moderne Mörtel im Verbund mit Naturstein – Chemisch-mineralogische und Mörteltechnische Eigenschaften*, Freiburg 1989
- WISSER, STEFAN / KNÖFEL, DIETBERT: *Untersuchungen an historischen Putz- und Mauermörteln – Teil 1: Analysegang*, in: *Bautenschutz und Bausanierung* 3, 10. Jahrgang, 1987, S. 124 – 126
- YARDLEY, B. W. D. / MACKANZIE, W. S. / GUILFORD, C.: *Atlas metamorpher Gesteine und ihrer Gefüge in Dünnschliffen*, Stuttgart 1992
- ZSIGMONDY, R. / JANDER, G.: *Kurzer Leitfaden der Technischen Gasanalyse*, Braunschweig 1920

Internetquellen

- ESTÉVÃO CANDEIAS / NOGUEIRA / MIRÃO / SANTOS SILVA / VEIGA / GIL CASAL / RIBEIRO / SERUYA: *Characterization of ancient mortars: present methodology and future perspectives*, , *Internacional Workshop Chemistry for the Conservation of Cultural Heritage: Present and Future Perspectives*, EU-ARTECH, Perugia 2006, http://www.eu-artech.org/files/Ext_ab/candeias.pdf (2016)
- Fraunhofer-Institut für Bauphysik: *Informationsblatt zur Elektrodynamischen Fragmentierung*, http://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/de/documents/Informationsmaterial/Abteilungen/BBH/Produktblaetter/IBP_087_PB_Bauchemie_Fragmentierung_03_web_de.pdf (2016)
- PESCE, GIOVANNI L.A. / BALL, RICHARD J.: *Dating of Old Lime Based Mixtures with the “Pure Lime Lumps” Technique*, 2012, <http://www.intechopen.com/books/radiometric-dating/dating-of-old-lime-based-mixtures-with-the-pure-lime-lumps-technique> (2016)
- RÖMPP online: *Atomabsorptionsspektrometrie* (2016)
- RÖMPP online: *Infrarotspektroskopie* (2016)
- RÖMPP online: *Ionenchromatographie* (2016)
- RÖMPP online: *Raman-spektroskopie* (2016)
- Phenom-World Produkt Information, http://www.phenom-world.com/downloads/specification_sheets/Product-SpecSheet_PROX_LR.pdf (2016)
- JPOR User Guide, <http://www.geoanalysis.org/jPOR.html> (2016)
- *Bildanalyse-Video-Kurs mit ImageJ und GIMP 1–7*, https://www.youtube.com/watch?v=u2kIIG_Jg88 (2016)
- *Mineralienatlas*, <https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/MineralData?mineral=Calcit> (2016)

9 Abbildungsverzeichnis

- Abb.1: http://www.landschaftsfotos.at/Neapel%202013/2013_03_27/Pompeji%20Luftbild.JPG (Dezember 2015)
- Abb. 30: www.geoberg.de/2009/03/18/hilfreiches-kaertchen-fuer-gelaendearbeiten/ (Juli 2012)
- Abb. 31, 32: TUCKER, MAURICE: *Einführung in die Sedimentologie*, Stuttgart 1996
- Abb. 33: Vergleichsbilder nach KRUMBEIN UND SLOSS, 1963, aus: KOENSLER, WINFRIED: *Sand und Kies. Mineralogie, Vorkommen, Eigenschaften, Einsatzmöglichkeiten*, Stuttgart 1989, Abb. 15, S. 46.
- Abb. 34: Vergleichsbilder nach BACELLE UND BOSELLINI 1965, aus: FLÜGEL, ERIK.: *Mikrofazielle Untersuchungsmethoden von Kalken*, Berlin Heidelberg New York 1978, Abb. 26b, c, f, g, S. 156, 157, 160, 162.
- Abb. 49: Geologische Karte der Vesuvregion; Kartierung des geologischen Bestandes. (Quelle: IZZO ET AL. 2016, p. 130, Fig. 1), aus: IZZO, FRANCESCO / ANNA, ARIZZI / CAPPELLETTI, PIERGIULIO / CULTRONE, GIUSEPPE / DE BONIS, ALBERTO / GERMINARIO, CHIARA / GRAZIANO, SOSSIO FABIO / GRIFA, CELESTINO / GUARINO, VINCENZA / MERCURIO, MARIANO / MORRA, VINCENZO / LANGELLA, ALESSIO: *The art of building in the Roman period (89 B.C. – 79 A.D.): Mortars, plasters and mosaic floors from ancient Stabiae*, in *Construction and Building Materials*, Vol. 117, 2016, p. 129 – 143
- Abb. 78: Scheibler-Apparatur, aus: FRESENIUS, REMIGIUS: *Anleitung zur quantitativen chemischen Analyse oder die Lehre von der Gewichtsbestimmung und Scheidung der in der Pharmacie, den Künsten, Gewerben und der Landwirthschaft häufiger vorkommenden Körper in einfachen und zusammengesetzten Verbindungen, für Anfänger und Geübte*, Braunschweig 1875, S. 453
- Alle weiteren Abbildungen: Aichinger, E. / Friedl, C. (2016)



STUDIENGANG RESTAURIERUNG, KUNSTTECHNOLOGIE UND KONSERVIERUNGSWISSENSCHAFT

Die Wanddekorationen der Grabbauten EN 4 und EN 6
der Nekropole vor der Porta Nocera in Pompeji:
Kombination von ausgewählten Mörtelanalysemethoden
und Vergleich der Mörtel Eigenschaften

Anhang

Bachelor's Thesis

SS 2016

Edith Aichinger, Clara Friedl

Vorgelegt am: 07.09.2016

Prüfer: Prof. Erwin Emmerling

Dr. Ralf Kilian

Anhang

I Abbildungen

II Diagramme

III Listen

IV Untersuchungsdatenblätter

I Abbildungen



Abb. 1: Luftbildaufnahme des archäologischen Stätte Pompeji; Porta Nocera Nekropole außerhalb der Stadtmauern (rot markierter Bereich).

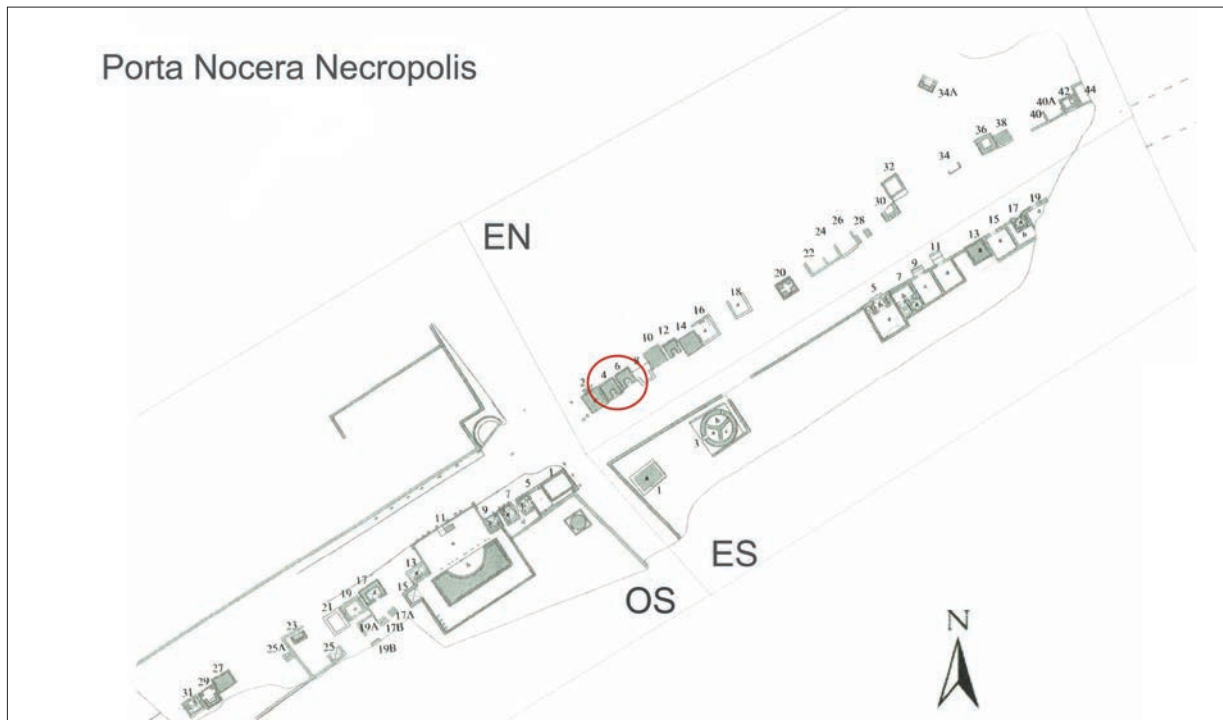


Abb. 2: Grundriss der Porta Nocera Nekropole. Rot markierter Bereich: Grabbauten EN 4 und EN 6.



Abb. 3: Grabmonument EN 4, Südseite.



Abb. 4: Grabmonument EN 6, Südseite.



Abb. 5: Ablösung der Putzschichten vom Mauerwerk und Schichten-trennung bei Grabbau EN 6. Es ist ein vierschichtiger Putzaufbau zu erkennen, wobei auf drei Unterputzschichten eine Oberputzschicht folgt.



Abb. 6: Oberflächenschäden am Stuck des Grabbaus EN 4.



Abb. 7: Eine der zahlreichen Boxen mit geborgenen Putzfragmenten.



Abb. 8: Putzfragmente im Zwischenraum von Grabmonument EN 4 und EN 6 vor deren Bergung.



Abb. 9: Dreischichtiger Putzaufbau der Ostseite von Grab EN 4 mit auffällig hohem Großkornanteil in der zweiten Unterputzschicht.



Abb. 10: Vierschichtiger Putzaufbau der Westseite von Grab EN 6.



Abb. 11: Grabbau EN 4: Zweite Unterputzschicht mit Kalkgallen und auffälligem Anteil an Grobkorn.



Abb. 12: Grabbau EN 6: Unterputz mit Kalkgallen und einem geringeren Anteil an Grobkorn als EN 4.



Abb. 13: Grabbau EN 4: Erste Unterputzschicht mit Kalkgalle und einem auffälligem Anteil an Kornklassen zwischen 0,5 und 1 mm, bei vereinzelt Größtkorn bis etwa 7 mm. Die Farbigkeit der Matrix ist heller als bei Schicht 2 (Abb. 15).



Abb. 14: Grabbau EN 6: Unterputz mit auffällig hohem Anteil an Kornklassen von 0,5 bis 1 mit vereinzelt Größtkorn über 2 mm. Das Bindemittel zeigt eine weißlich-beige Farbigkeit.



Abb. 15: Grabbau EN 4: Zweite Unterputzschicht mit deutlich größeren Zuschlägen im Bereich von 1 bis 2 mm, mit vermehrt Größtkorn über 2 mm und bräunlicher Matrixfarbigkeit.



Abb. 16: Grabbau EN 4: Oberputz mit sparitischem Calcit im Kornklassenbereich von überwiegend 1 bis 2 mm, vereinzelt bis 3 mm. Die Oberfläche zeigt ein auffälliges Schadensbild mit Bindemittelfehlstellen und Abschalungen.



Abb. 17: Grabbau EN 6: Heller Oberputz. Der Oberputz wirkt trotz des Schadensbildes deutlich kompakter als bei EN 4.



Abb. 20: Fotografische Dokumentation der Probenselektion in Pompeji.



Abb. 21: Fotografische Dokumentation der Probenselektion in Pompeji.



Abb. 22: Fotografische Dokumentation der Probenselektion in Pompeji.

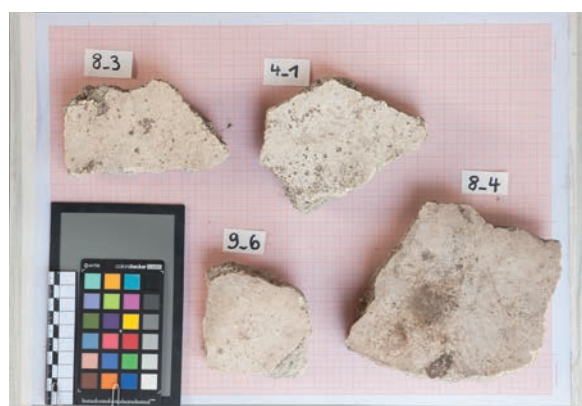


Abb. 23: Fotografische Dokumentation der Probenselektion in Pompeji.



Abb. 24: Fotografische Dokumentation der Probenselektion in Pompeji.



Abb. 25: Fotografische Dokumentation der Probenselektion in Pompeji.



Abb. 26: Fotografische Dokumentation der Probenselektion in Pompeji.

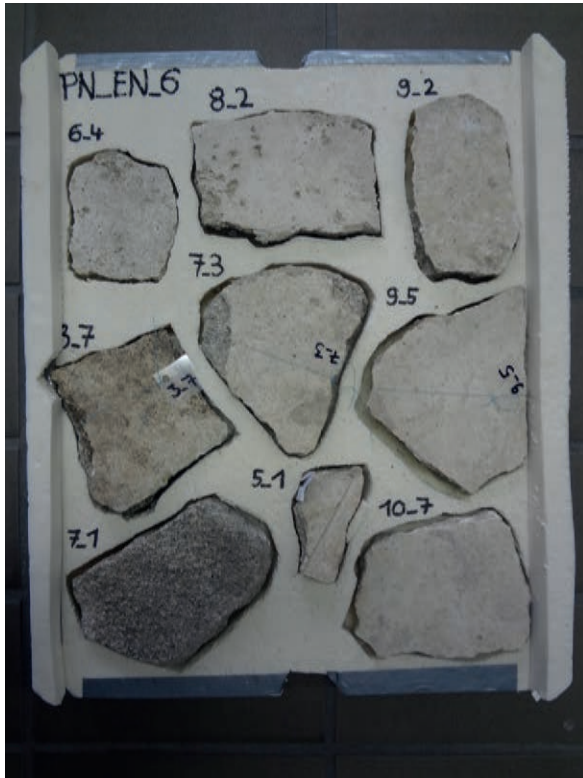


Abb. 27: Verpackung der Fragmente für den Transport nach Deutschland.

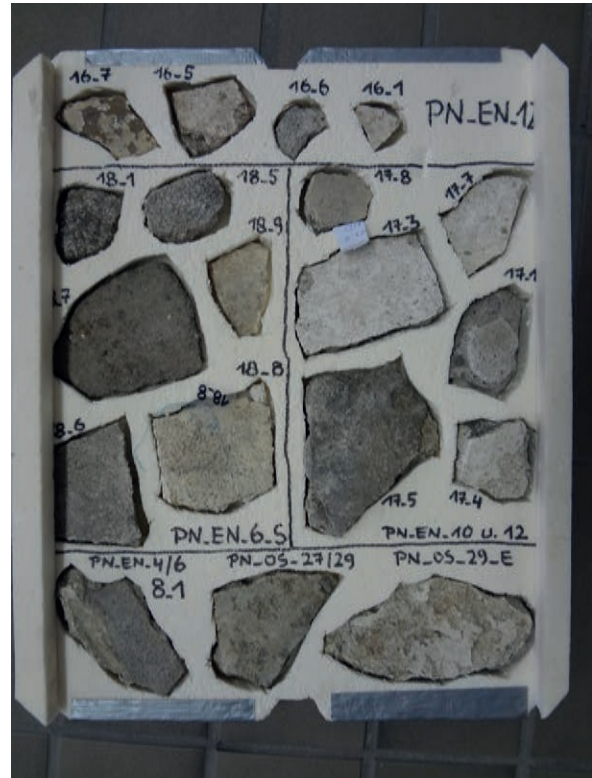


Abb. 28: Verpackung der Fragmente für den Transport nach Deutschland.

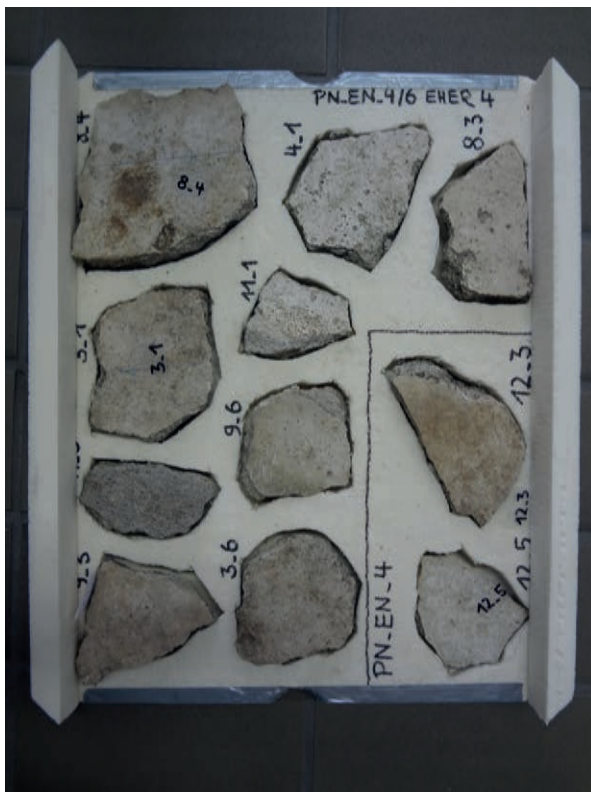


Abb. 29: Verpackung der Fragmente für den Transport nach Deutschland.

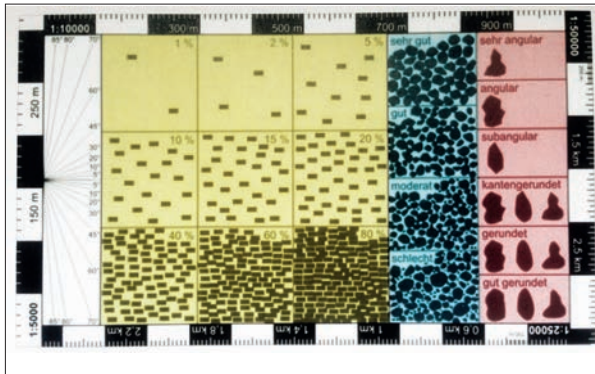


Abb. 30: Vergleichskärtchen zur Abschätzung der Mörtelkomponentenverhältnisse von GEOBERG.

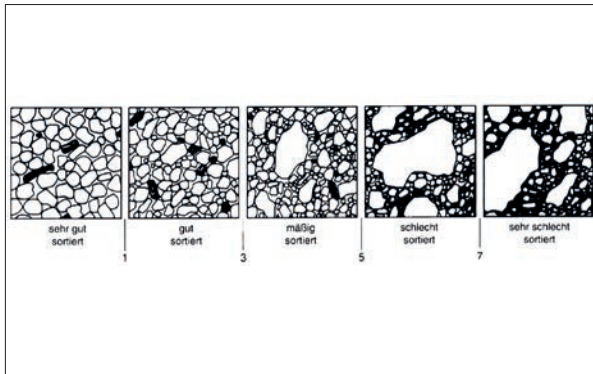


Abb. 31: Vergleichsbilder zur Abschätzung der Sortierung von TUCKER.

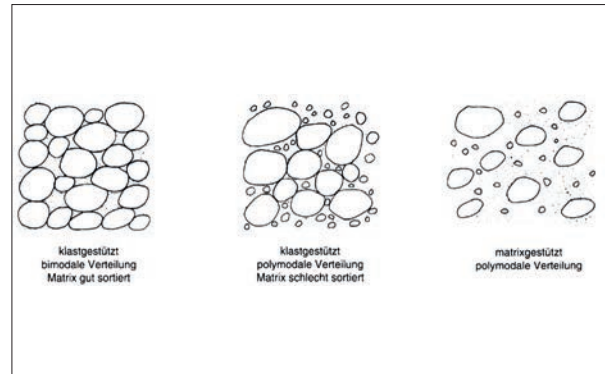


Abb. 32: Vergleichsbilder zur Abschätzung der Korngrößenverteilung von TUCKER.

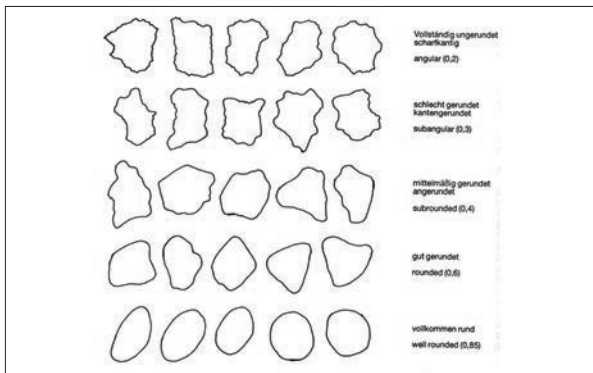


Abb. 33: Vergleichsbilder zur Abschätzung der Kornformen von KRUMBEN und SLOSS.

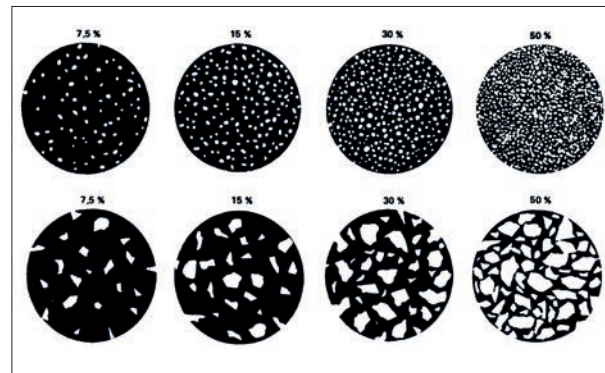


Abb. 34: Vergleichsbilder zur Abschätzung der Porosität von BACELLE und BOSELLINI.



Abb. 35: Einbettung der Proben in Aluformen.

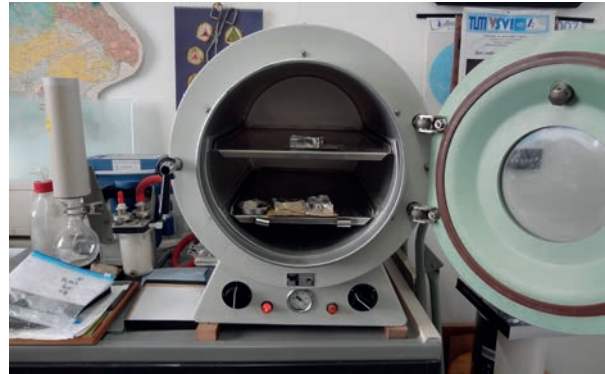


Abb. 36: Vakuumkammer zur Evakuierung der mit Epoxidharz imprägnierten Proben.



Abb. 37: Formatieren der eingebetteten Proben.

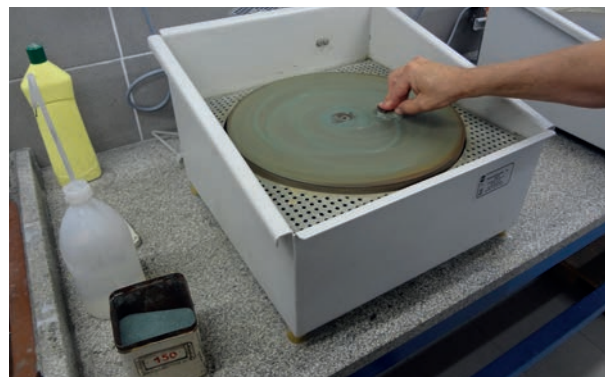


Abb. 38: Schleifen der Proben mit einer Siliziumcarbid-Wasser Suspension



Abb. 39: Einseitig angeschliffener Objektträger und imprägnierte, geschliffene Probe.

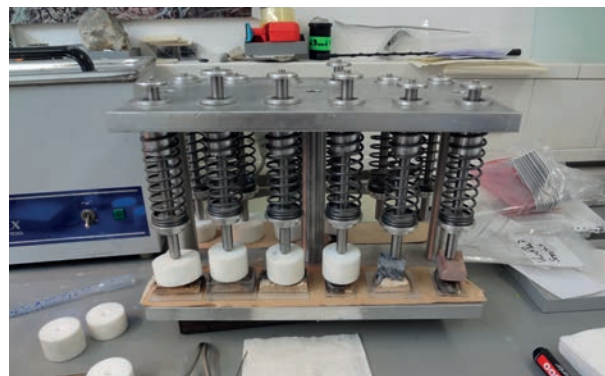


Abb. 40: Presseinrichtung zur Reduktion der Schichtdicke des zum Aufkleben der Probe auf dem Objektträger aufgetragenen Epoxidharzes.



Abb. 41: Abtrennen des Dünnschliffes vom Anschliff.



Abb. 42: Reduktion der Dünnschliffdicke auf etwa 100 µm per Handschliff auf einer rotierenden Schleifscheibe.



Abb. 43: Endpolitur der Dünnschliffe mit Ceroxid-alpha weiß.

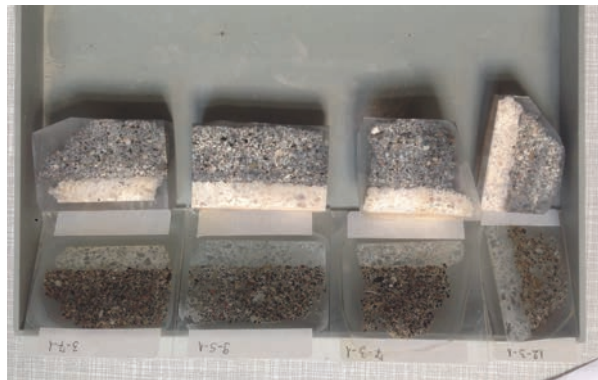


Abb. 44: Fertige An- und Dünnschliffe von vier Fragmenten.



Abb. 45: Bei Schnitt zerbrochene Probe des Fragments 8_4.



Abb. 46: Rekonstruktion der zerbrochenen Probe des Fragments 8_4.



Abb. 47: Anschliff 8_4_2 des Grabbaus EN 4: Der obere halbe Millimeter des Oberputzes zeigt keine Blaufärbung.

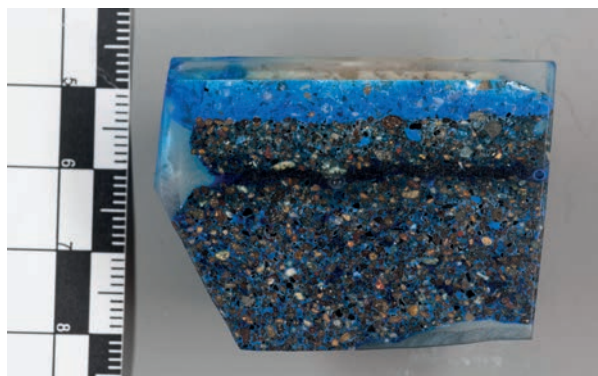


Abb. 48: Anschliff 9_2_1 des Grabbaus EN 6: Der Oberputz ist vollständig blau eingefärbt.

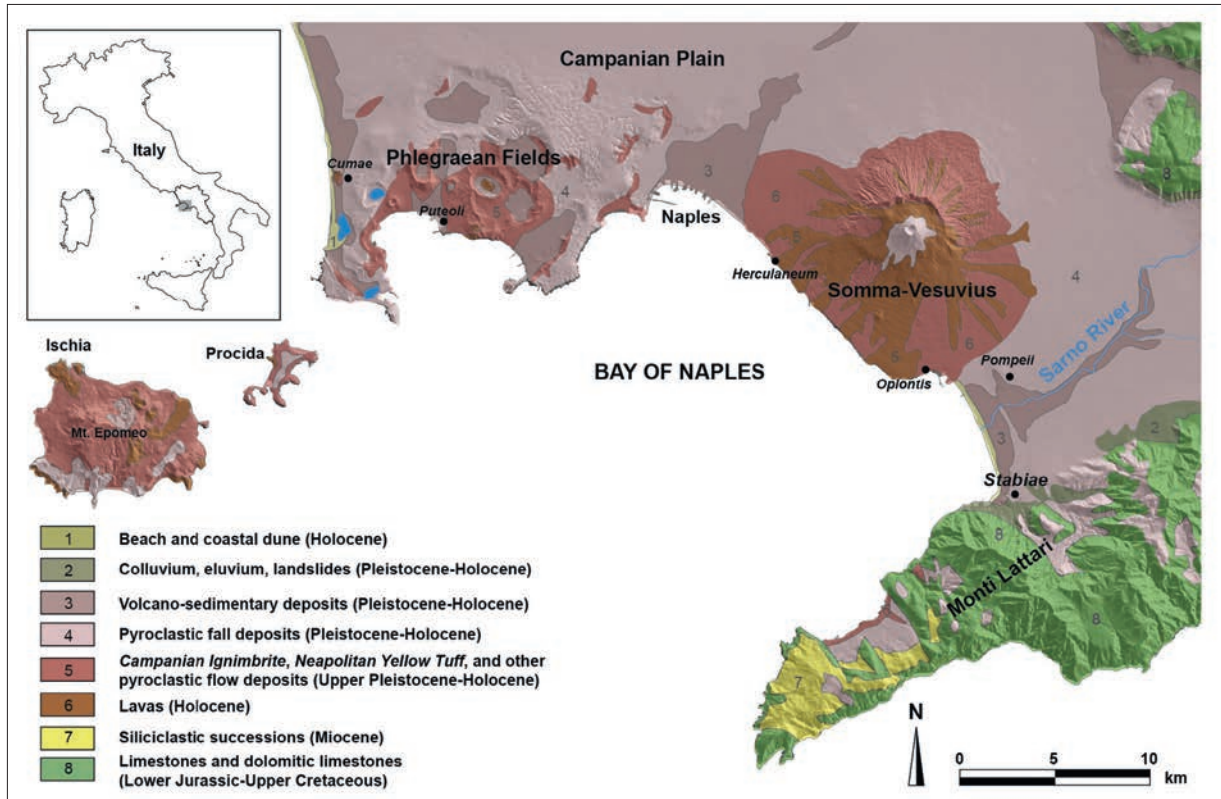


Abb. 49: Geologische Karte der Vesuvregion; Kartierung des geologischen Bestandes.



Abb. 50: Bohrwiderstandsprüfgerät DURABO des Fachlabors – Dr. Wendler – für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege

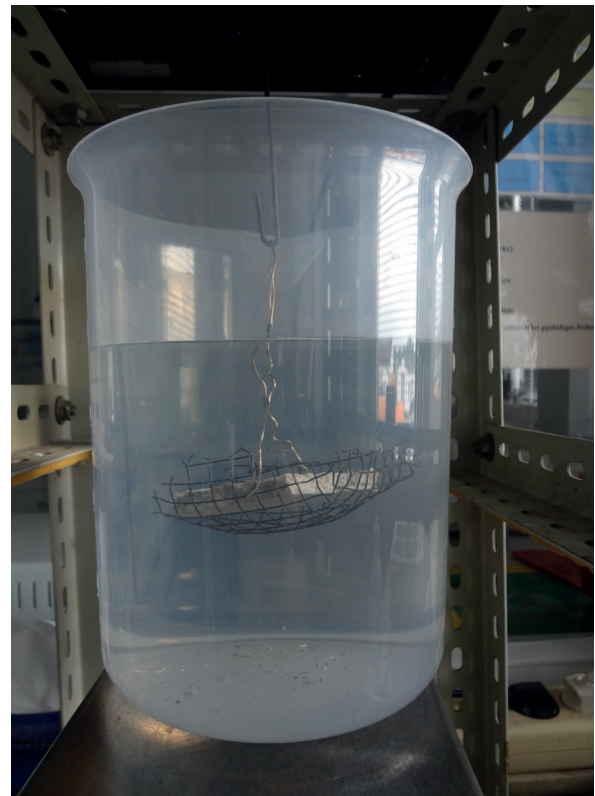
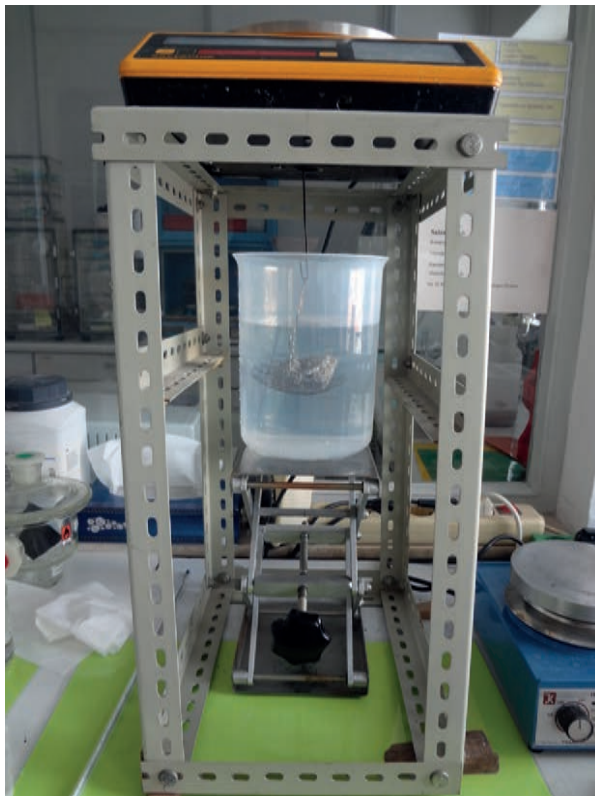


Abb. 51: Prüfvorrichtung für die Wägung unter Wasser (Tauchverfahren), bestehend aus Waage, Gestell, Labor-Hebebühne, Drahtkorb und mit entionisiertem Wasser gefülltem Messbecher.



Abb. 52: Partikelrückstand im Messbecher nach der Wägung von acht Proben.

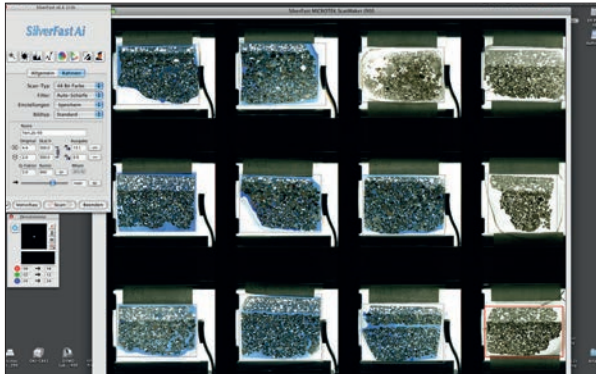


Abb. 53: Screenshot der Dünnschliffe im Slide-Holder des Flachbett-Diascanners.

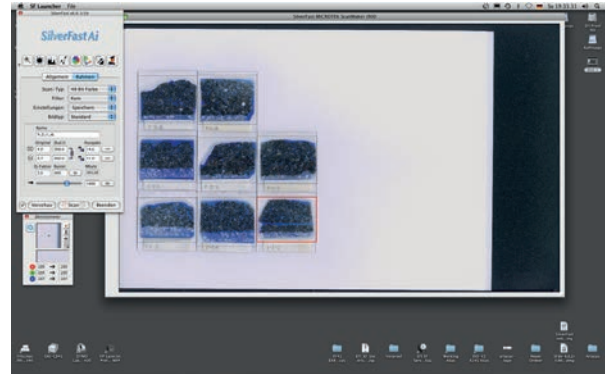


Abb. 54: Screenshot der Dünnschliffe auf der Aufsicht-Auflagefläche des Scanner. Der rechte, untere Dünnschliff ist in der Scannersoftware mit einem Rahmen ausgewählt.

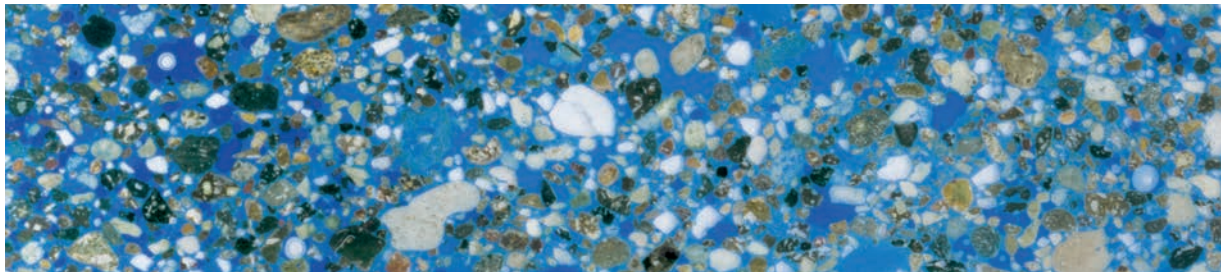


Abb. 55: Detail der Aufsichtaufnahme des Dünnschliffes 8_4_2 (Unterputz).

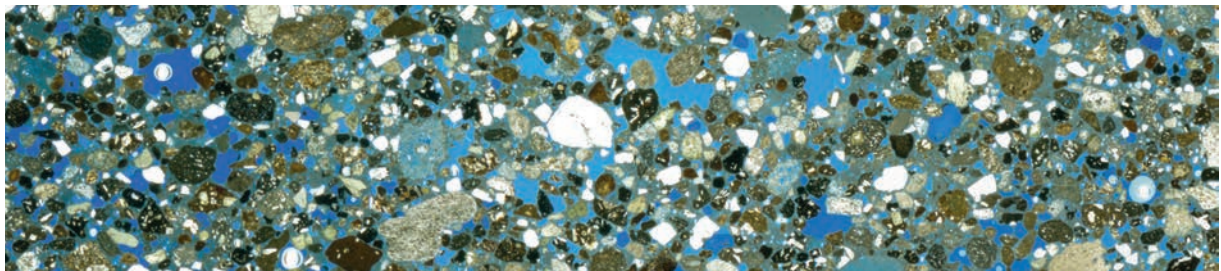


Abb. 56: Detail der Durchlichtaufnahme des Dünnschliffes 8_4_2 Unterputz.

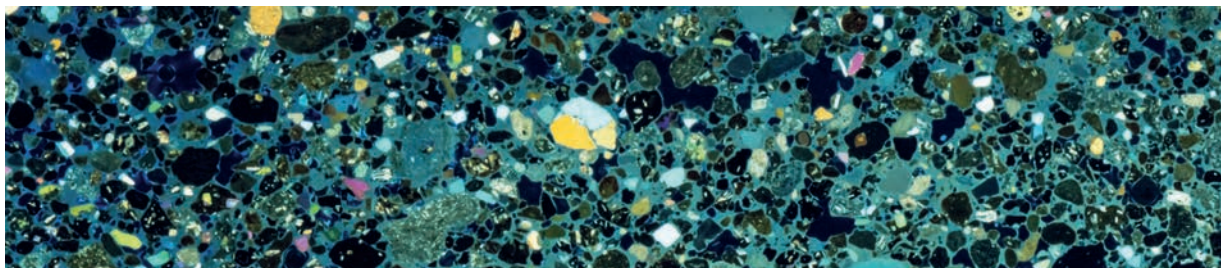


Abb. 57: Detail der Durchlichtaufnahme zwischen gekreuzten Polarisatoren des Dünnschliffes 8_4_2 (Unterputz)

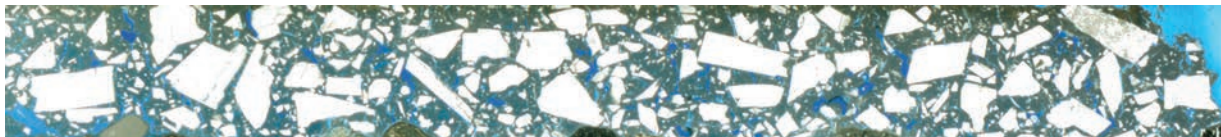


Abb. 58: Detail der Durchlichtaufnahme des Dünnschliffes 8_4_2 (Oberputz).



Abb. 59: Detail der Durchlichtaufnahme im Modus »negativ« des Dünnschliffes 8_4_2 (Oberputz)

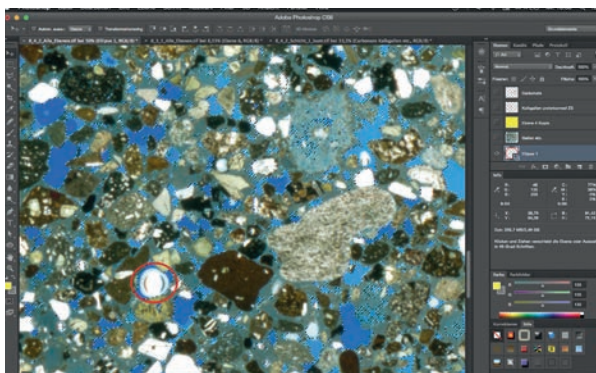


Abb. 60: Screenshot der Segmentierung im Photoshop. Detail aus einer Durchlichtaufnahme mit ausgewähltem Porenraum; auffällige Luftblase im rot markierten Bereich.

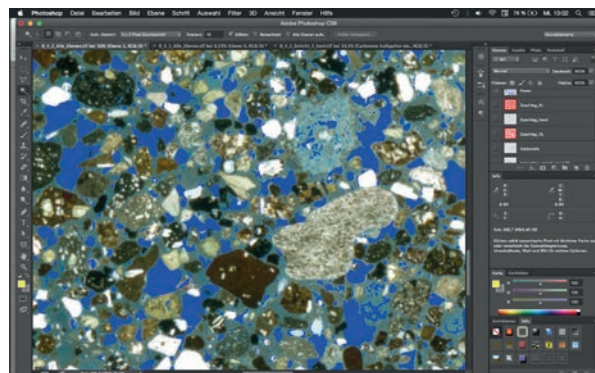


Abb. 61: Detail aus einer Durchlichtaufnahme mit Blau gefüllter Porenraum.



Abb. 62: Mit Rot gefüllte Auswahl des Zuschlages über die Durchlichtaufnahme.

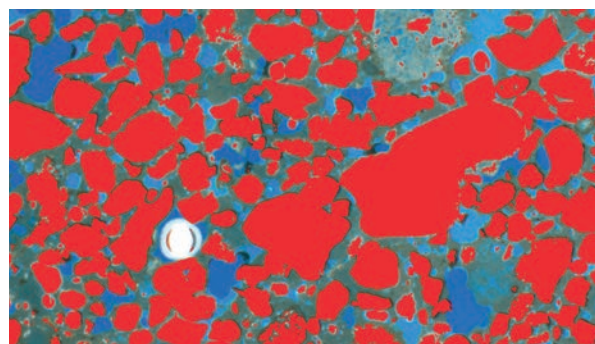


Abb. 63: Mit Rot gefüllte Auswahl des Zuschlages über die Addition der Auflichtaufnahme- und die Durchlichtaufnahmeauswahl. Das Zusammenwachsen der Einzelkörner ist zu erkennen.

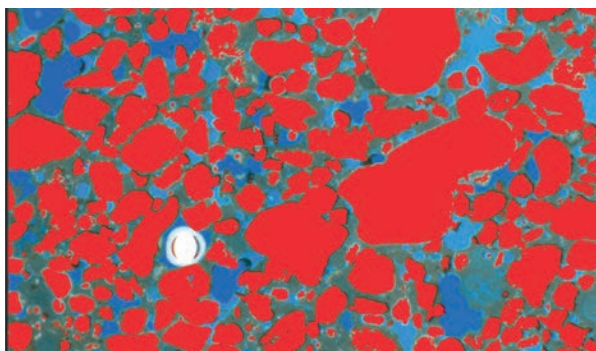


Abb. 64: Mit Rot gefüllte Auswahl des Zuschlages aus der Addition von Durchlicht-, Auflicht-, und manueller Auswahl.

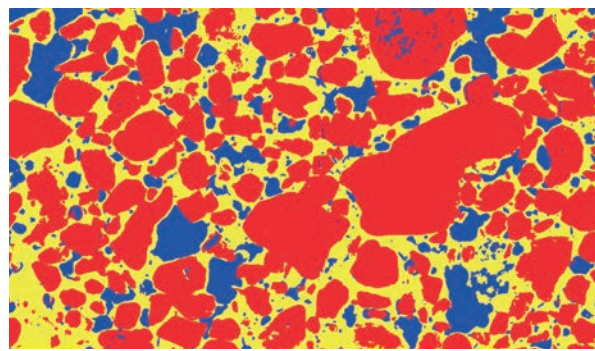


Abb. 65: Detail aus dem Falschfarbenbild von Dünnschliff 8_4_2: Zuschläge in Rot, Bindemittel in Gelb, Poren in Blau.

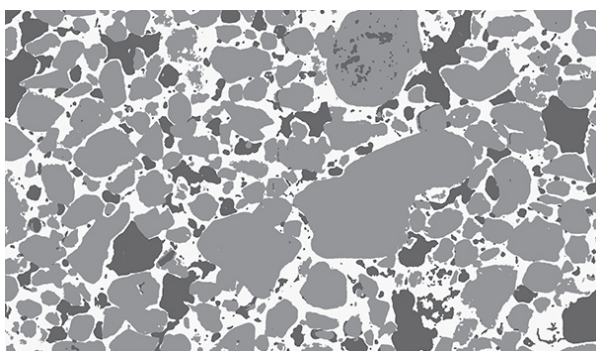


Abb. 66: Detail aus dem Graustufen-Messbild von Dünnschliff 8_4_2 zur Messung des B/Z-Verhältnisses, der Gesamtporosität, des Kalkgallen- und Carbonate Anteils.

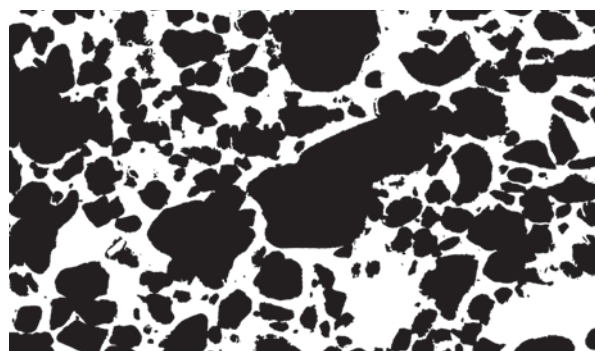


Abb. 67: Detail aus dem Binärbild von Dünnschliff 8_4_2 zur Messung der Korngrößenverteilung.

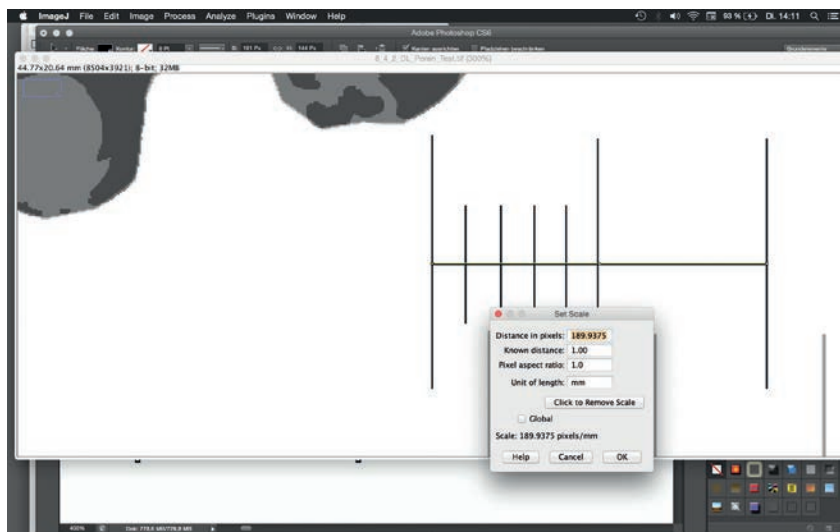


Abb. 68: Justierung der Software anhand der Skala des Mikrometers.

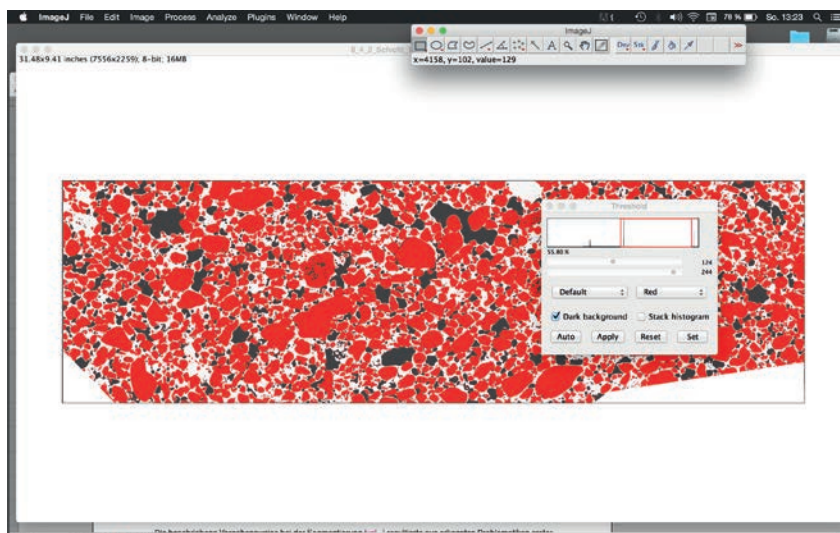


Abb. 69: Schwellenwertoperation in ImageJ zur Messung des Zuschlaganteils (Zuschlag in Rot)

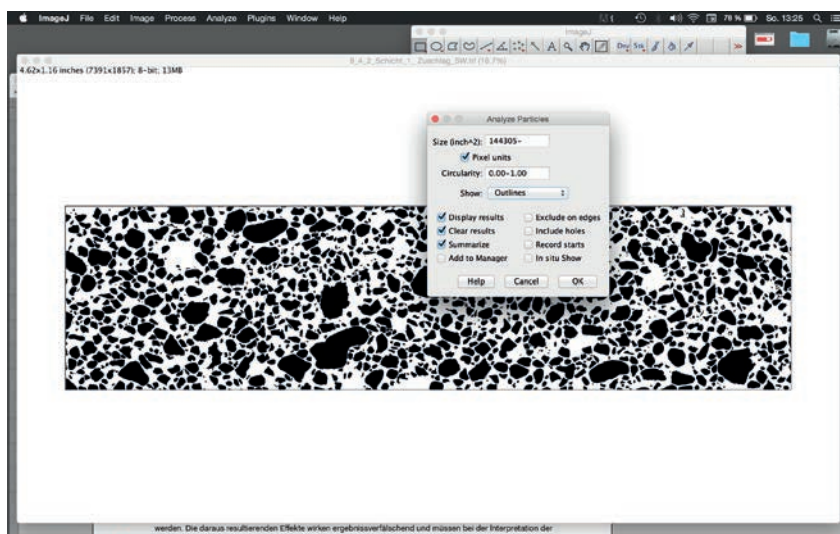


Abb. 70: Festlegung der Messbedingungen in ImageJ zur Quantifizierung einer Kornklasse.

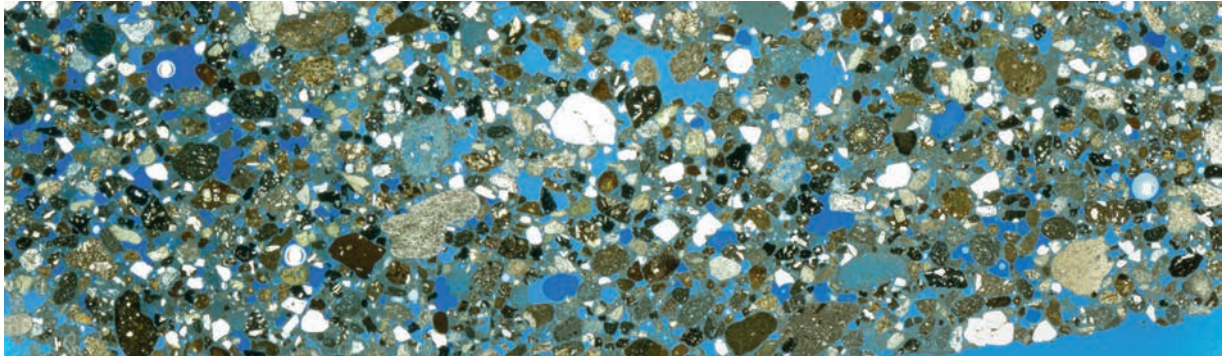


Abb. 71: Durchlichtaufnahme der ersten Unterputzschicht des Dünnschliffes 8_4_1

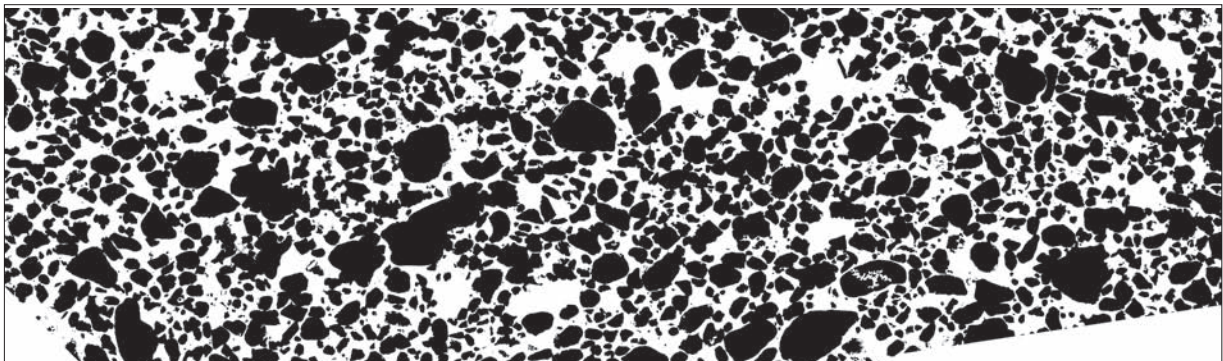


Abb. 72: Binärbild des Dünnschliffes 8_4_2 aus der Schnellsegmentierung zur Korngrößenbestimmung in ImageJ. Bereits an dem Messbild ist das Zusammenwachsen der Einzelkörner zu großen Agglomeraten zu erkennen.

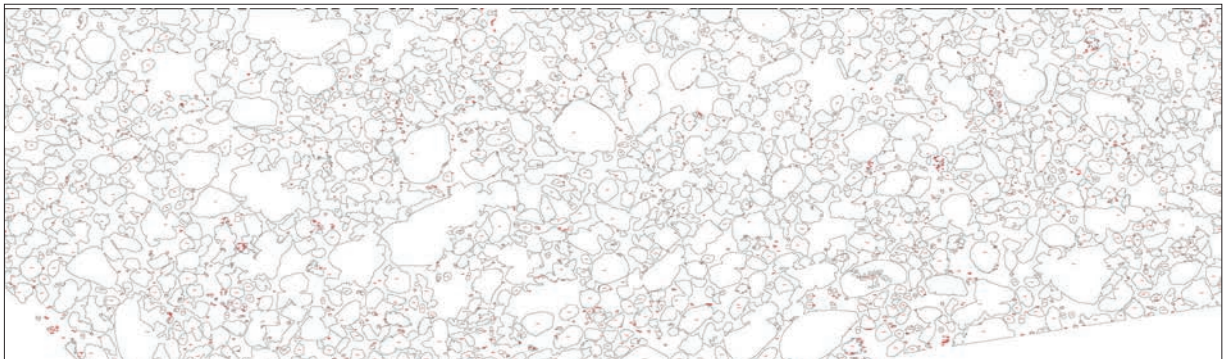


Abb. 73: Von ImageJ generiertes Bild der detektierten Einzelkörner in der ersten Unterputzschicht des Dünnschliffes 8_4_2. Hier ist zu erkennen, dass die Software die zusammengewachsenen Körner als ein Großkorn klassifiziert.

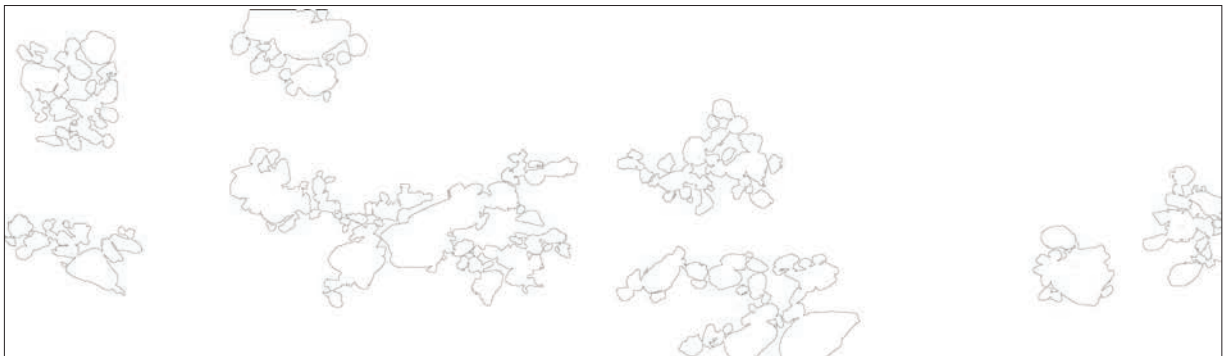


Abb. 74: Darstellung der erfassten Zuschlagskörner der Klasse über 2 mm. An der Darstellung sind die Agglomerate der Einzelkörner zu erkennen, die aufgrund des Zusammenwachsens fälschlicherweise in die Kornklasse über 2 mm verschoben wurden.

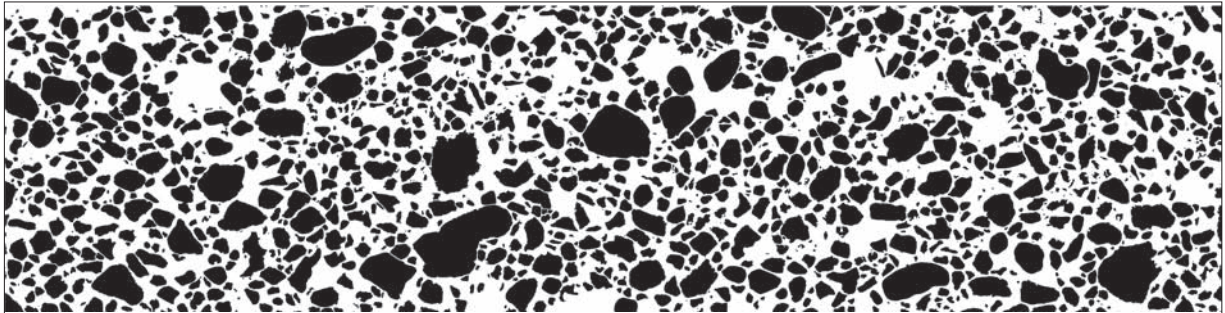


Abb. 75: Binärbild des Dünnschliffes 8_4_2 aus der manuell nachbearbeiteten Segmentierung zur Korngrößenbestimmung in ImageJ. Hier tritt der Effekt des Zusammenwachsens der Körner nicht mehr auf.

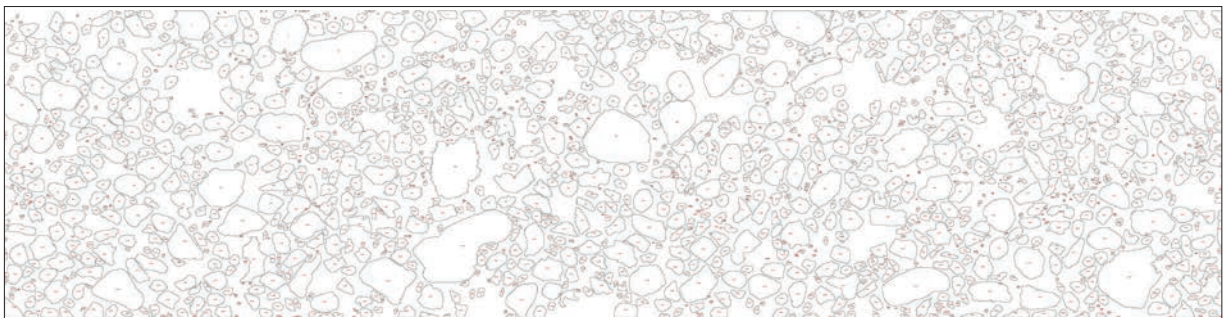


Abb. 76: Von ImageJ generiertes Bild der detektierten Einzelkörner in der ersten Unterputzschicht des Dünnschliffes 8_4_2 bei der manuell nachbearbeiteten Segmentierung (Referenzmessung). Durch das manuelle Trennen der Körner erkannte ImageJ den Großteil der Zuschläge als Einzelobjekte.



Abb. 77: Darstellung der Erfassten Zuschlagskörner der Klasse über 2 mm. Der prozentuale Anteil der detektierten Körner dieser Klasse hat sich durch die manuelle Nachbearbeitung deutlich reduziert. Es sind keine verwachsenen Agglomerate mehr zu erkennen.

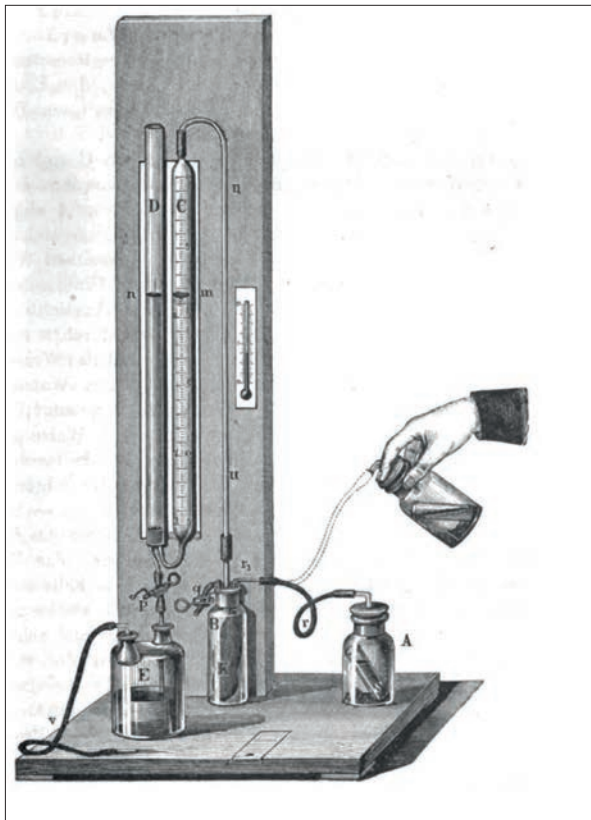


Abb. 78: Scheibler-Apparatur nach FRESSENIUS

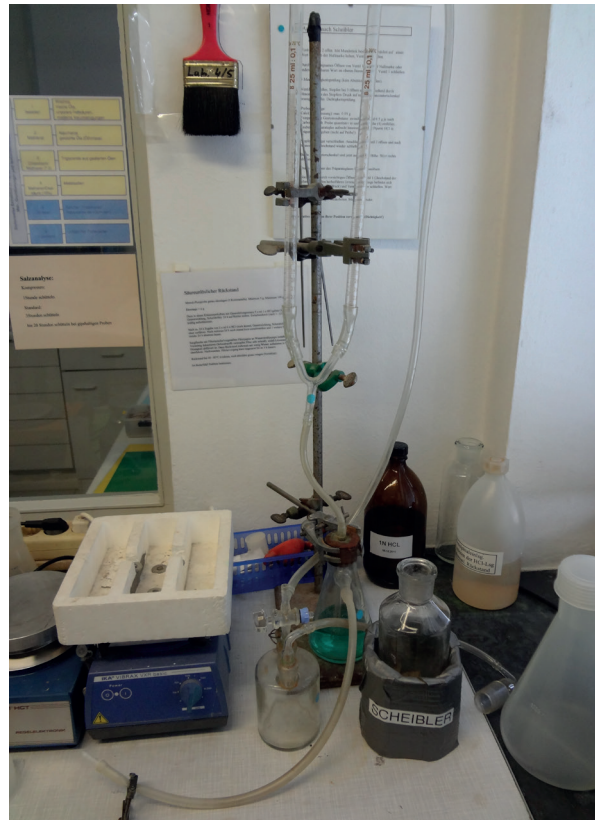


Abb. 79: Scheibler-Apparatur im Fachlabor – DR. WENDLER – für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Abb. 80: Scheibler-Apparatur im Fachlabor – DR. WENDLER – für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege. Veränderung des Stands der Wassersäule während des Messvorgangs

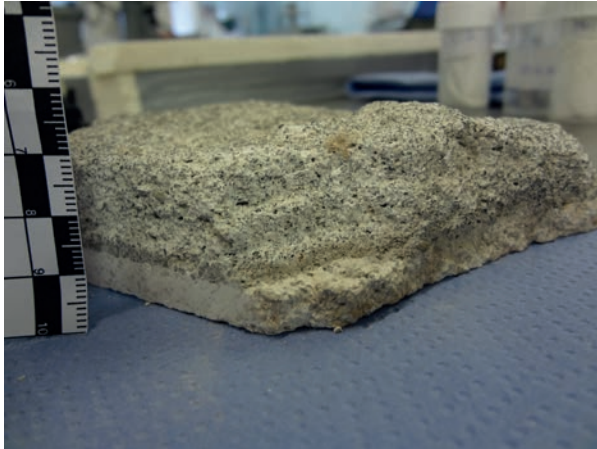


Abb. 81: Fragment 9_5 (EN 6), an den freigelegten Abstufungen sind die vier Putzschichten erkennbar.

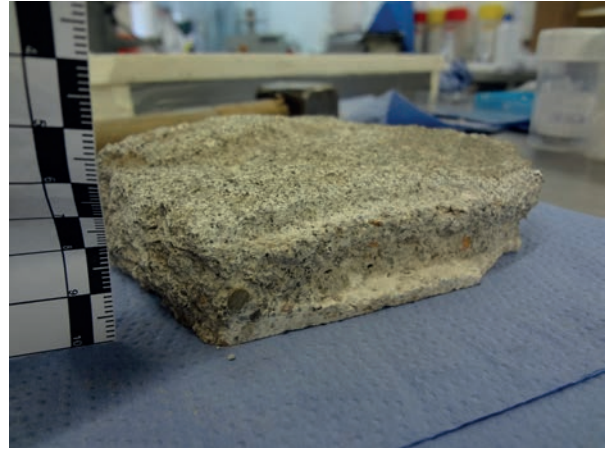


Abb. 82: Fragment 8_4 (EN 4), an den freigelegten Abstufungen sind die drei Putzschichten erkennbar.



Abb. 83: Fragment 9_5 (EN 6), Schichtentrennung für Säureaufschluss, Freilegung von Schicht 2.



Abb. 84: Fragment 8_4 (EN 4), Schichtentrennung für Säureaufschluss, Freilegung von Schicht 2.



Abb. 85: Fragment 9_5 (EN 6), Schichttrennung für Säureaufschluss, Freilegung von Schicht 3. Die Grenze zwischen Schicht 2 und 3 verläuft unklar und ist nur an der Braunfärbung der dritten Schicht erkennbar.



Abb. 86: Für den Säureaufschluss getrennte Schichten des Fragments 9_5 (EN 6) und 8_4 (EN 4).



Abb. 87: Absaugung der Lösung nach dem Säureaufschluss mittels Wasserstrahlpumpe und Filternutsche (hier Probe 9_5_6_1).



Abb. 88: Rückstand in der Filternutsche. Deutlich zu sehen ist der schlammige Feinanteil (hier Probe 9_5_6_1).



Abb. 89: Nach dem Absetzen des Feinanteils wurde das klare Wasser für die anschließende Trocknung des Rückstands abgesaugt.



Abb. 90: Elektrodynamischen Fragmentierung: Gesamtansicht des Geräts im Fraunhofer Institut für Bauphysik Holzkirchen.



Abb. 91: Elektrodynamischen Fragmentierung: Stabelektrode und mit Wasser gefüllter Probenbehälter.



Abb. 92: Probe 8_4_6_3 vor der elektrodynamischen Fragmentierung. Die Probe befindet sich im Probenbehälter unter Wasser auf der Plattenelektrode.



Abb. 93: Proben 9_5_6_4 (links) und 8_4_6_3 (rechts) unmittelbar nach der elektrodynamischen Fragmentierung: Aussiebung der Fraktion über 2 mm. Bei Probe 8_4_6_3 sind vermehrt Bindemittel-Zuschlag-Agglomerate vorhanden.



Abb. 94: Proben 9_5_6_4 (links) und 8_4_6_3 (rechts) nach der Siebung (hier: Korngrößen unter 1,0 mm). Anhand der Suspensionen der Fraktion unter 0,063 mm sind Farbunterschiede zwischen den Proben erkennbar. Nach dem Absetzen der Partikel wurde das klare Wasser abgesaugt und die Rückstände getrocknet.



Abb. 95: Nasssiebverfahren

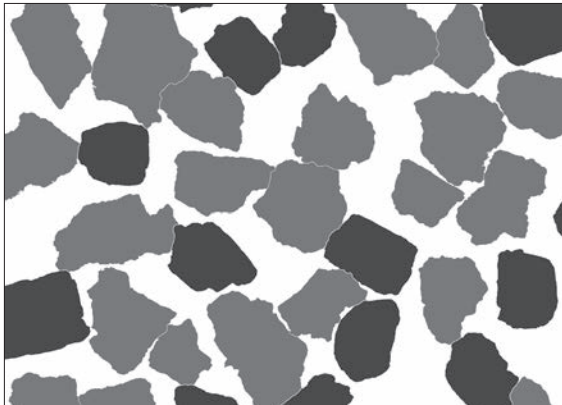
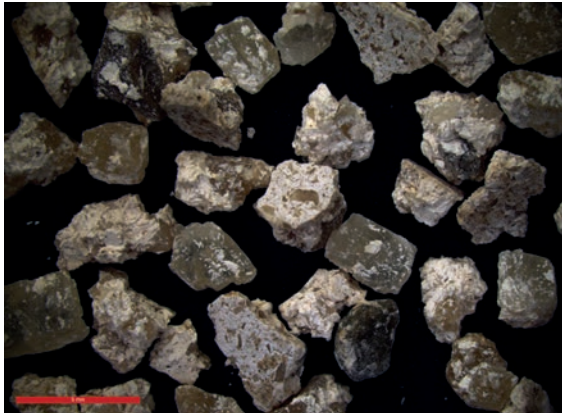


Abb. 96: 8_4_6_3, > 2 mm (dunkelgrau: freigelegtes Korn, ca. 35 %)

Abb. 97: 9_5_6_4, > 2 mm (dunkelgrau: freigelegtes Korn, ca. 70 %)

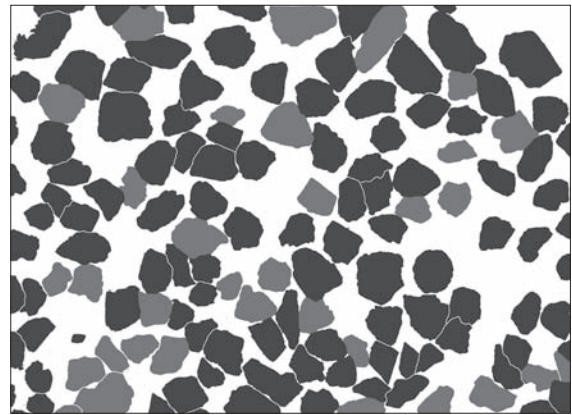
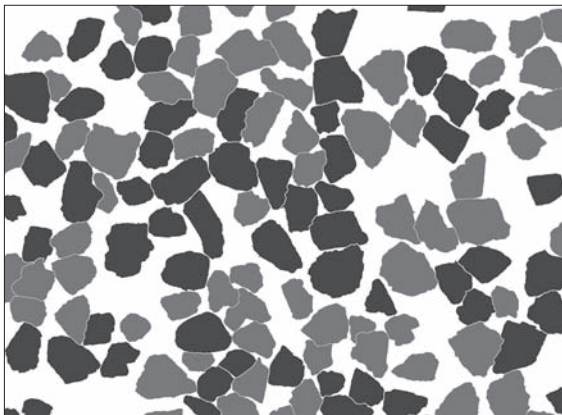
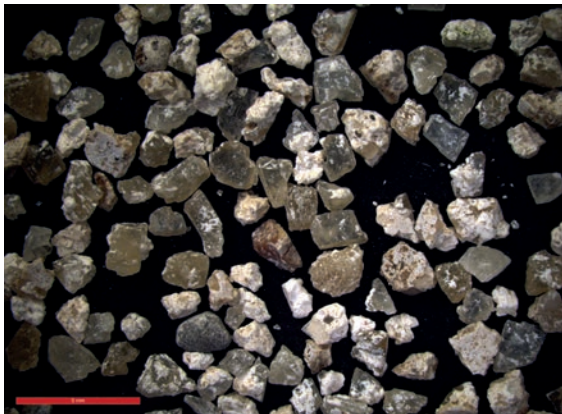


Abb. 98: 8_4_6_3, 1 – 2 mm (dunkelgrau: freigelegtes Korn, ca. 50 %)

Abb. 99: 9_5_6_4, 1 – 2 mm (dunkelgrau: freigelegtes Korn, ca. 75 %)

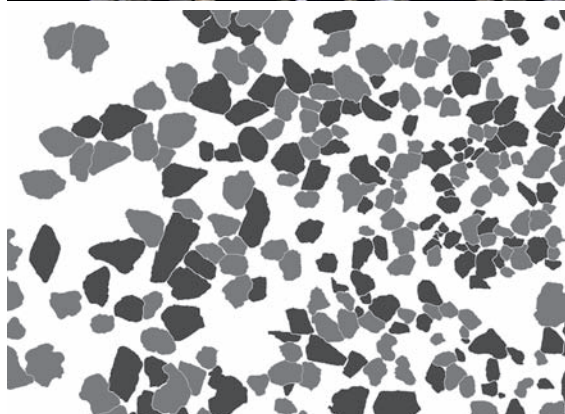
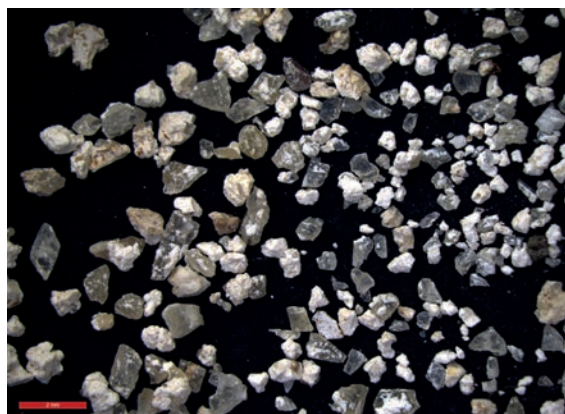


Abb. 100: 8_4_6_3, 0,125 – 1,0 mm (dunkelgrau: freigelegtes Korn, ca. 50 %)

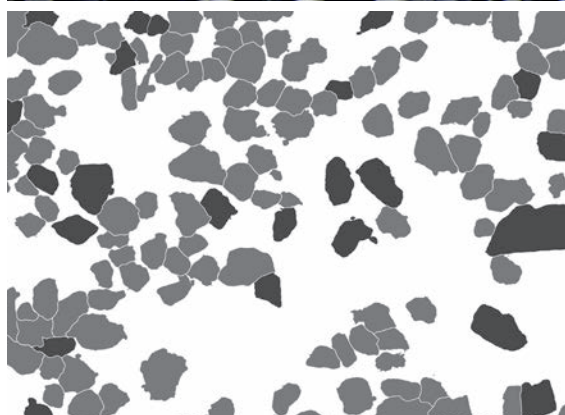
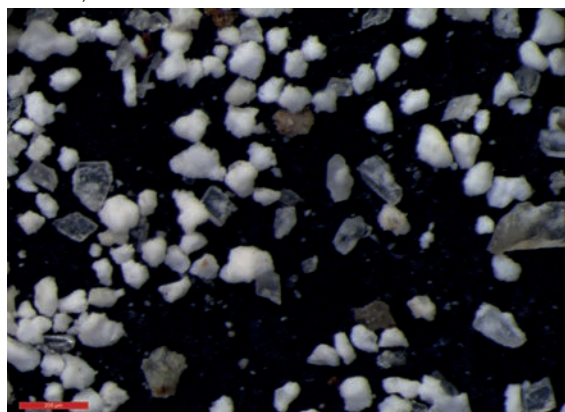


Abb. 101: 8_4_6_3, 0,063 – 1,125 mm (dunkelgrau: freigelegtes Korn, ca. 15 %)



Abb. 102: elektrodynamisch fragmentierter, nachgestellter Oberputz > 1 mm (roter Balken: 2 mm)

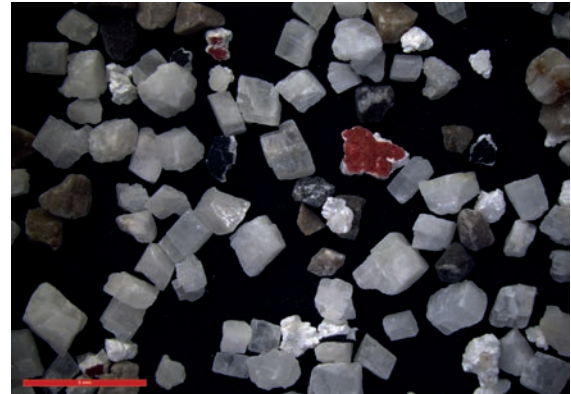


Abb. 103: elektrodynamisch fragmentierter, nachgestellter Oberputz > 1 mm (roter Balken: 5 mm)

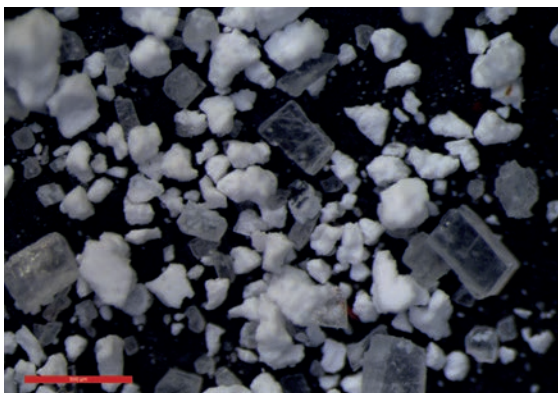


Abb. 104: elektrodynamisch fragmentierter, nachgestellter Oberputz < 1 mm (roter Balken: 500 µm)

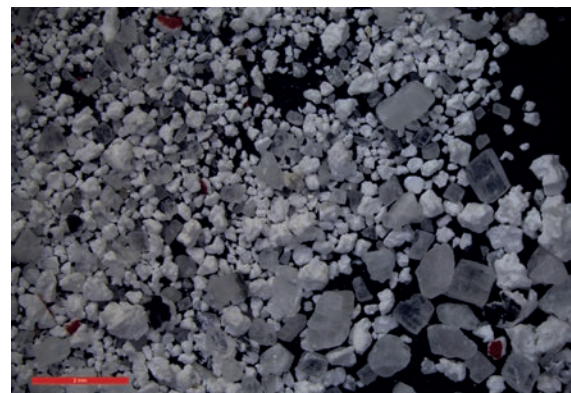


Abb. 105: elektrodynamisch fragmentierter, nachgestellter Oberputz < 1 mm (roter Balken: 2 mm)



Abb. 106: elektrodynamisch fragmentierter, nachgestellter Unterputz 250 – 500 µm (roter Balken: 1,0 mm)

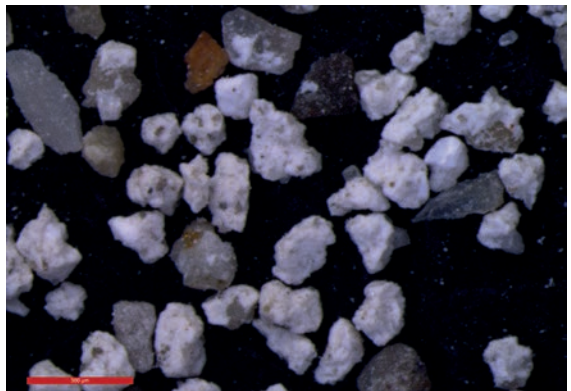


Abb. 107: elektrodynamisch fragmentierter, nachgestellter Unterputz 125 – 250 µm (roter Balken: 500 µm)

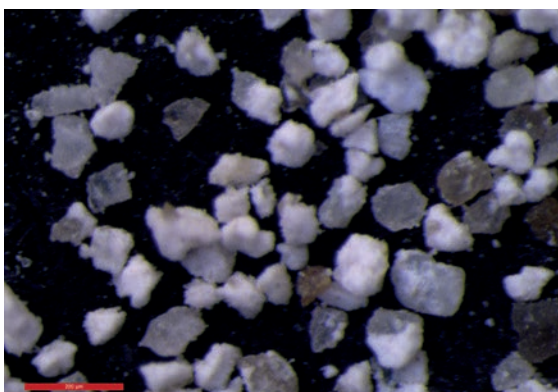


Abb. 108: elektrodynamisch fragmentierter, nachgestellter 63 – 125 µm (roter Balken: 200 µm)

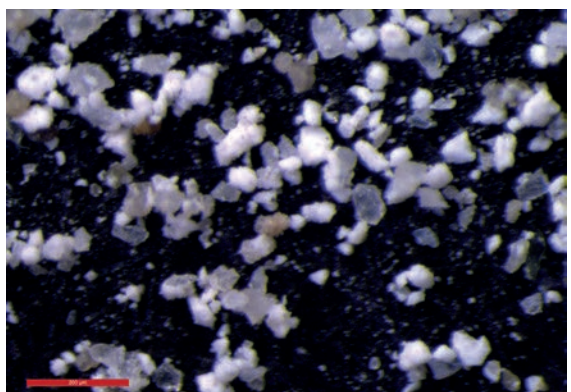


Abb. 109: elektrodynamisch fragmentierter, nachgestellter Unterputz < 63 µm (roter Balken: 200 µm)



Abb. 110: Fragment 8_4 während der Schichtentrennung: bei dem braunen Partikel in der zweiten Unterputzschicht handelt es sich vermutlich um Holzkohle.



Abb. 111: Probe 3_6_6_2: bei dem braunen Partikel in der zweiten Unterputzschicht handelt es sich vermutlich um Holzkohle.

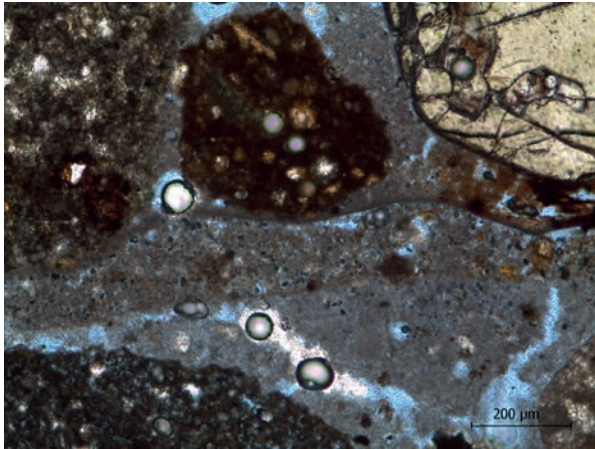


Abb. 112: Grabbau EN 4: Sinterhaut zwischen der ersten (oberer Bildabschnitt) und der zweiten Unterputzschicht (Durchlicht IIPol, Dünnschliff 8_4_2).

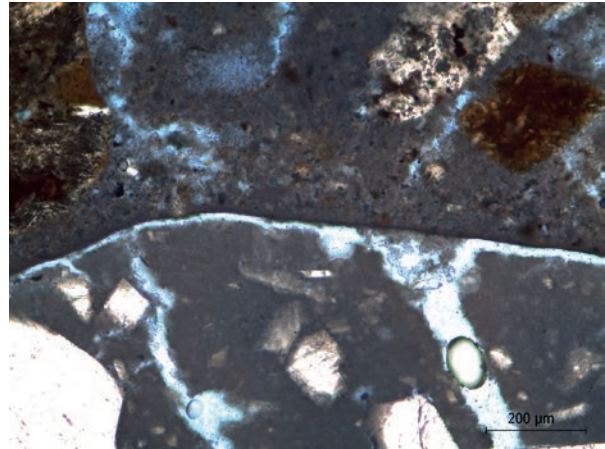


Abb. 113: Grabbau EN 4: Sinterhaut zwischen dem zweiten Unterputz (oberer Bildabschnitt) und dem Oberputz (Durchlicht IIPol, Dünnschliff 8_4_2).

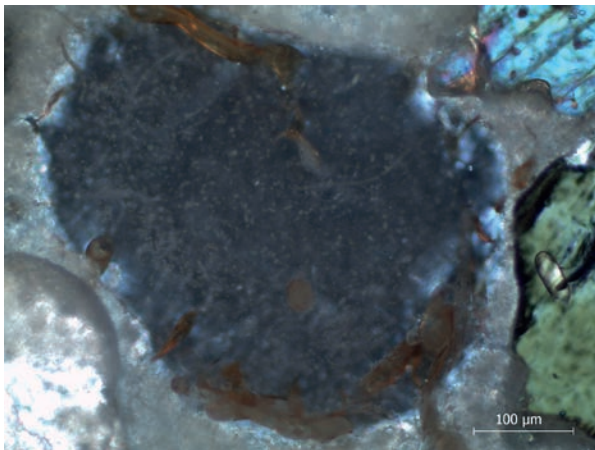


Abb. 114: Grabbau EN 4: Biogene Strukturen in einer Pore der ersten Unterputzschicht (Durchlicht xPol, Dünnschliff 3_1_1).

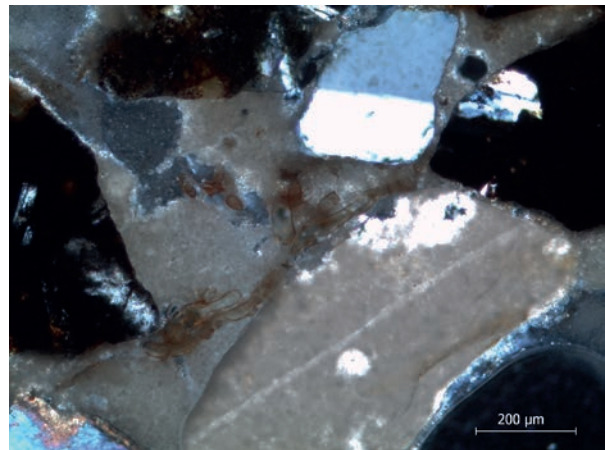


Abb. 115: Grabbau EN 4: Biogene Strukturen in der Bindemittelmatrix der zweiten Unterputzschicht (Durchlicht xPol, Dünnschliff 3_1_1).

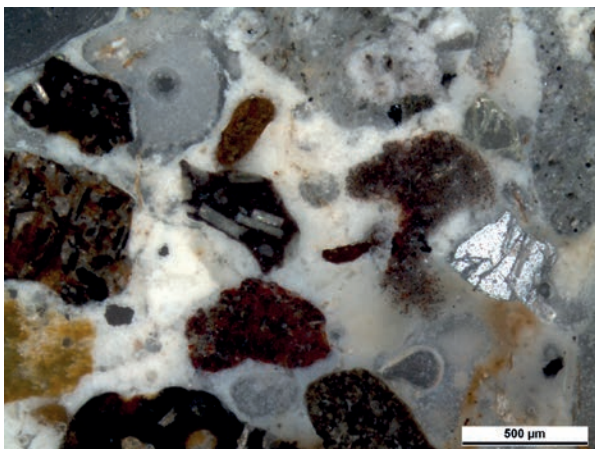


Abb. 116: Grabbau EN 4: Homogene Struktur und weiß-beige Farbigkeit des Bindemittels der ersten Unterputzschicht. Ein auffälliger Feinanteil im Zuschlag ist nicht zu erkennen (Auflicht Dunkelfeld, Dünnschliff 3_1_1).

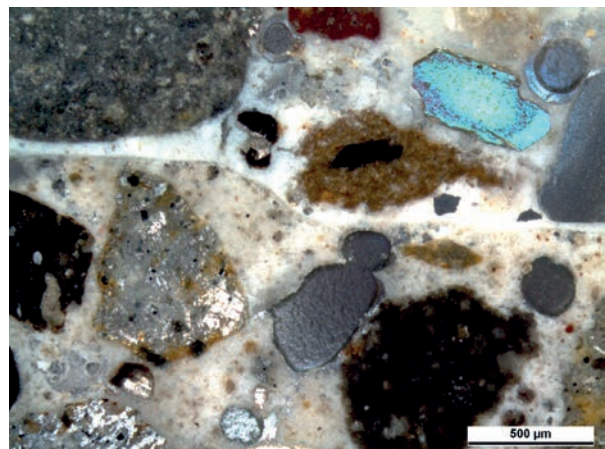


Abb. 117: Grabbau EN 4: Grenze zwischen erstem und zweitem Unterputz: Die Differenzen zwischen der ersten (oberer Bildabschnitt) und der zweiten Unterputzschicht in Bindemittelfarbe und Feinanteil im Zuschlag tritt in der Auflicht Dunkelfeldaufnahme deutlich in Erscheinung (Dünnschliff 3_1_1).

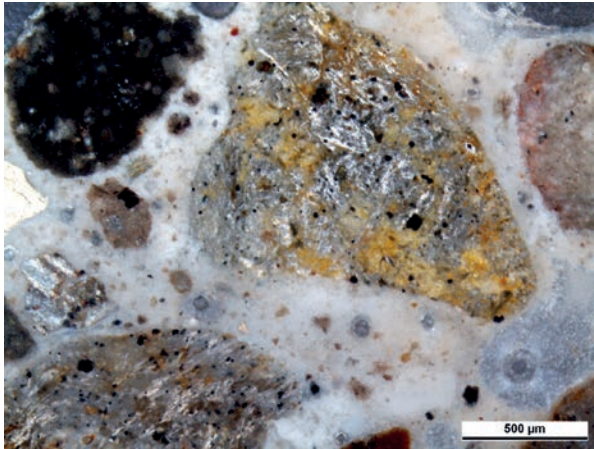


Abb. 118: Grabbau EN 4: In der zweiten Unterputzschicht ist der deutlich höherer Feinanteil unter 0,2 mm als punktartige und homogen verteilte Einschlüsse im Bindemittel zu erkennen (Auflicht Dunkelfeld, Dünnschliff 3_1_1).

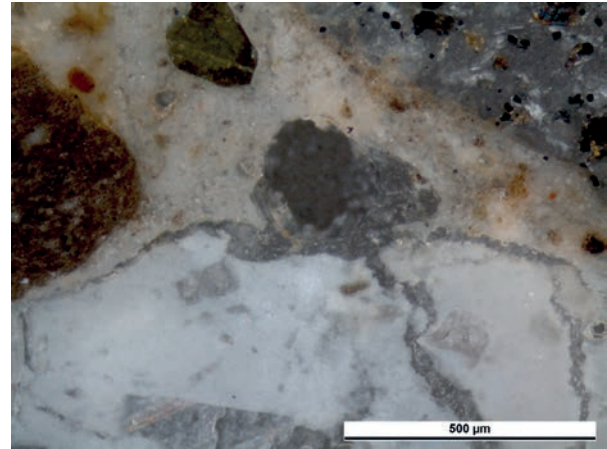


Abb. 119: Grabbau EN 4, Grenze zwischen zweitem Unterputz und Oberputz: Im Vergleich zum bräunlichen 2. Unterputz erscheint das Bindemittel des Oberputzes fast weiß. An der Grenze der Putzlagen ist ein leichter Ablösungsriss zu erkennen (Auflicht Dunkelfeld, Dünnschliff 3_1_1).

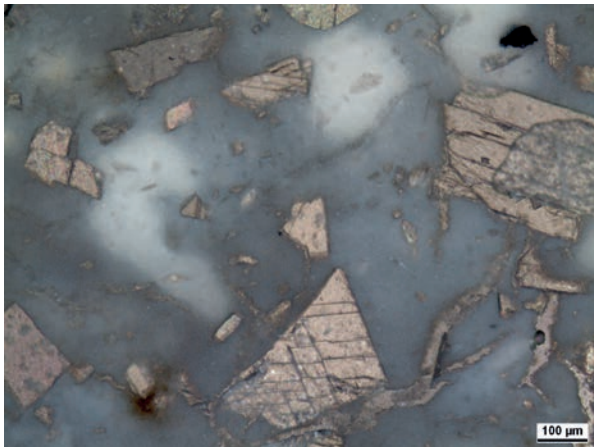


Abb. 120: Grabbau EN 4: Dichte, homogene Struktur und weiß-beige Farbigkeit des Bindemittels des Oberputzes (Auflicht Dunkelfeld, Dünnschliff 3_1_1).

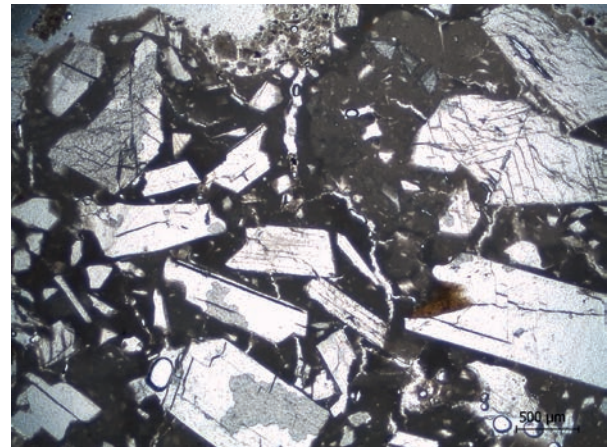


Abb. 121: Grabbau EN 4: Grobe Zuschläge und zahlreiche vertikale Risse im Oberputz (Durchlicht IIPol, Dünnschliff 8_4_1).

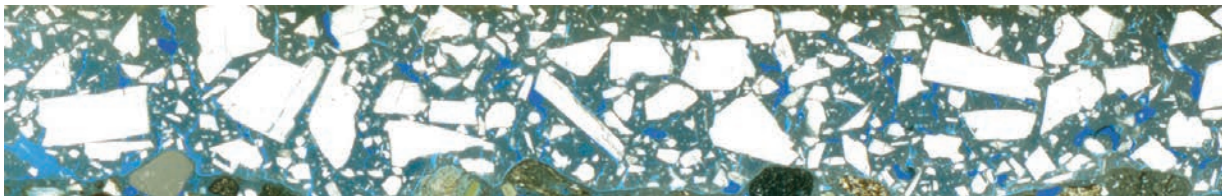


Abb. 122: Grabbau EN 4: Zahlreiche, vertikale Risse im Oberputz. Diese gehen überwiegend von der Grenze zum Unterputz aus (Scan-
aufnahme im Durchlicht, Dünnschliff 8_4_2).

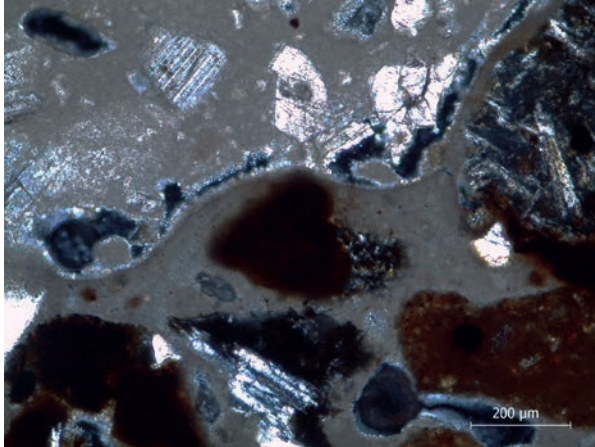


Abb. 123: Grabbau EN 6: Sinterhaut zwischen der dritten Unterputzschicht (unterer Bildabschnitt) und dem Oberputz (Durchlicht xPol, Dünnschliff 9_5_1).

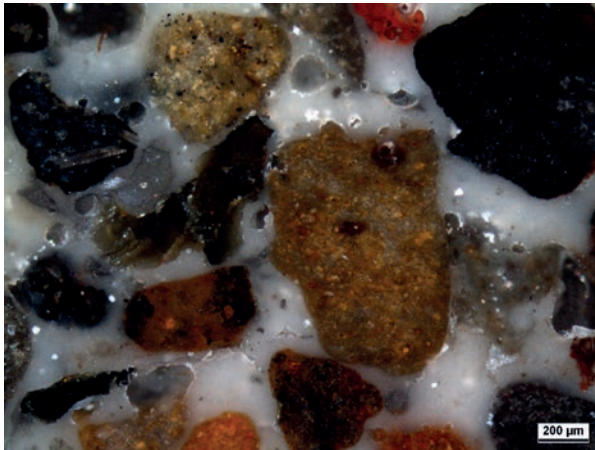


Abb. 124.: Grabbau EN 6: Weiß-beige Farbigkeit und homogene Struktur der ersten Unterputzschicht (Auflicht Dunkelfeld, Dünnschliff 3_7_1).

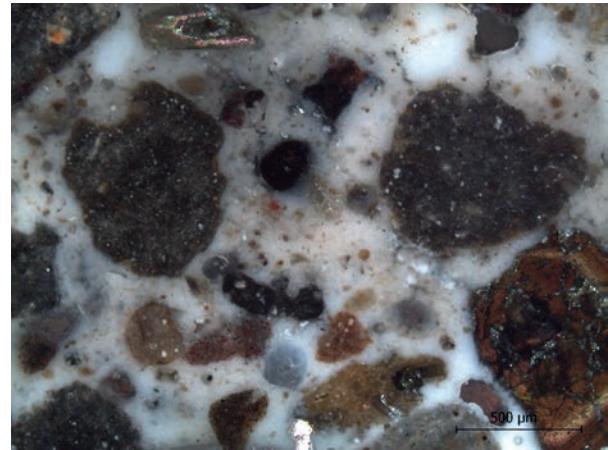


Abb. 125: Grabbau EN 6: Leicht bräunliche Farbigkeit des Bindemittels der dritten Unterputzschicht. Zudem ist ein deutlich höherer Anteil an feinen Partikeln in der Matrix zu erkennen als bei Unterputz 1 und 2 (Auflicht Dunkelfeld, Dünnschliff 3_7_1).



Abb. 126: Grabbau EN 6: Weiß-beige Farbigkeit und homogene Struktur des Bindemittels des Oberputzes (Auflicht Dunkelfeld, Dünnschliff 7_3_1).

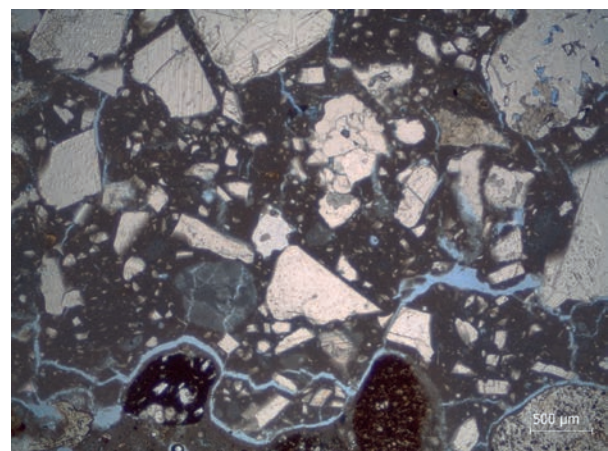


Abb. 127: Grabbau EN 6: Ablösungsspalt zwischen der dritten Unterputzschicht (unterer Bildabschnitt) und dem Oberputz. Im unteren, linken Bereich des Oberputzes ist zudem eine fast kreisrunde Kalkgalle zu erkennen (Durchlicht IIPol, Dünnschliff 9_2_1).

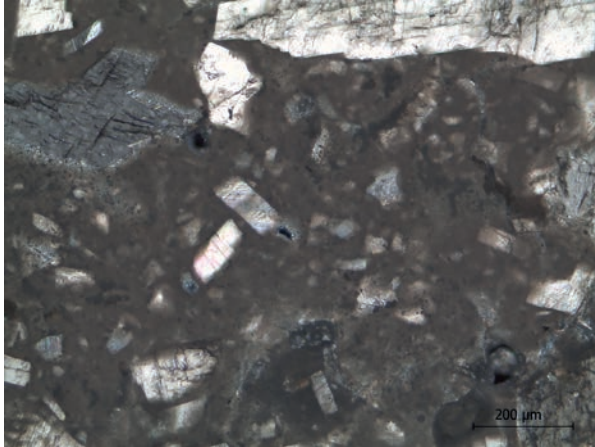


Abb. 128: Grabbau EN 6: Im Oberputz ist ein Feinanteil im Zuschlag zu erkennen der teilweise unter einer dünnen Schicht Bindemittel liegt (Durchlicht xPol, Dünnschliff 9_5_1).

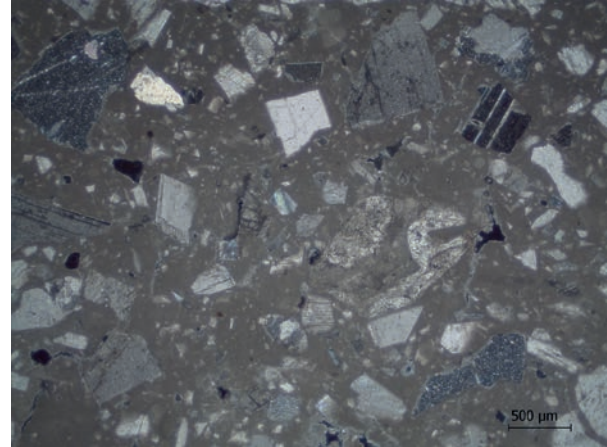


Abb. 129: Grabbau EN 6: Hoher Feinanteil im Oberputz von EN 6 (Durchlicht xPol, Dünnschliff 9_5_1).

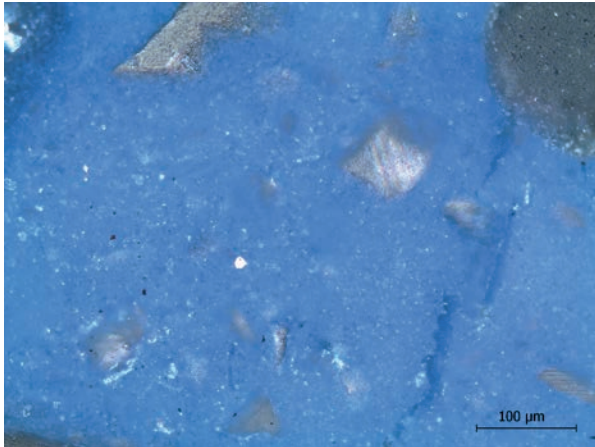


Abb. 130: Grabbau EN 6: Der unter einer dünnen Schicht Bindemittel liegende Feinanteil im Oberputz ist bei der Auflicht Dunkelfeldaufnahme kaum zu erkennen (Auflicht Dunkelfeld, blaugefärbter Dünnschliff 9_5_2).

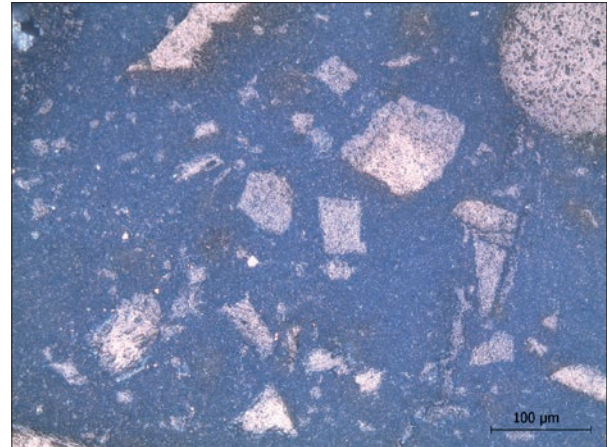


Abb. 131: Grabbau EN 6: In der Betrachtung im Auflicht Hellfeld zeichnen sich deutlich mehr Kornflächen ab, die sonst nicht erkannt werden können (Auflicht Hellfeld, blaugefärbter Dünnschliff 9_5_2).

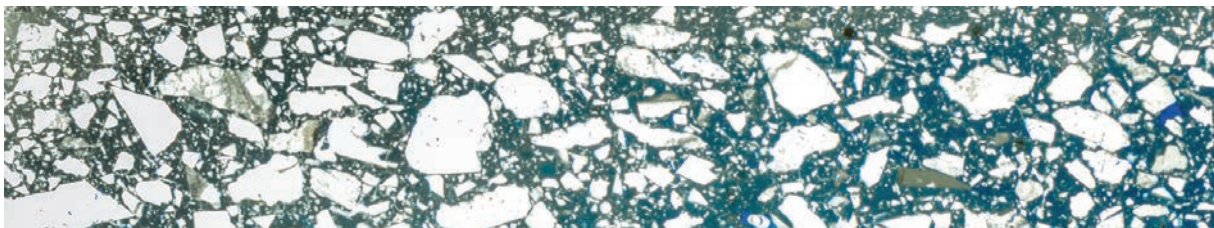


Abb. 132: Grabbau EN 6: In der Scanneraufnahme ist der höhere Feinanteil im Oberputz des Grabbaus EN 6 sehr deutlich zu erkennen. Vergleiche hierzu Abb. 122 (Scanneraufnahme im Durchlicht, blaugefärbter Dünnschliff 9_5_2).



Abb. 133: Grabbau EN 4: In den oberen 0,2 mm des Oberputzes hatte das Präparat keine Blaufärbung angenommen. Zudem ist im Oberflächenbereich eine braune Verfärbung zu erkennen (Auflicht Dunkelfeld, blaugefärbter Dünnschliff 8_4_2).

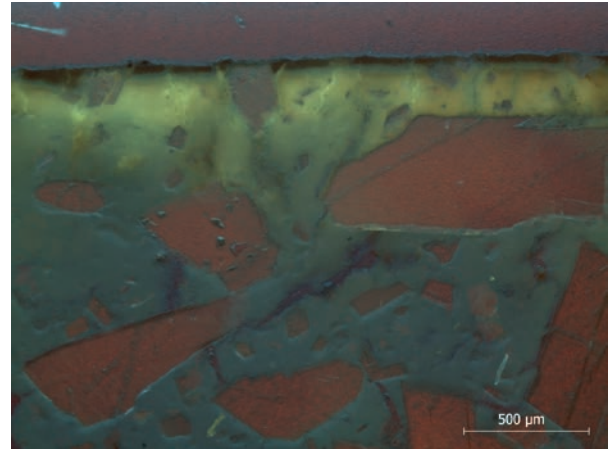


Abb. 134: Grabbau EN 4: In den oberen 0,2 mm des Oberputzes zeigt sich eine gelbe UV Fluoreszenz (Auflicht UV, blaugefärbter Dünnschliff 8_4_2).

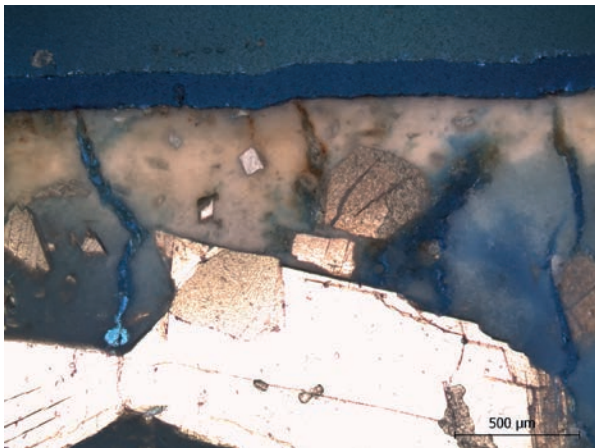


Abb. 135: Grabbau EN 4: In den oberen 0,2 mm des Oberputzes hatte das Präparat keine Blaufärbung angenommen. Zudem ist im Oberflächenbereich eine braune Verfärbung zu erkennen (Auflicht Dunkelfeld, blaugefärbter Dünnschliff 3_6_1).

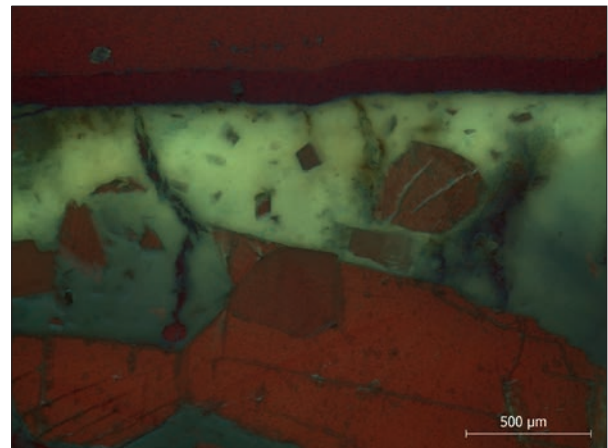


Abb. 136: Grabbau EN 4: In den oberen 0,2 mm des Oberputzes zeigt sich eine gelbe UV Fluoreszenz (Auflicht UV, blaugefärbter Dünnschliff 3_6_1).

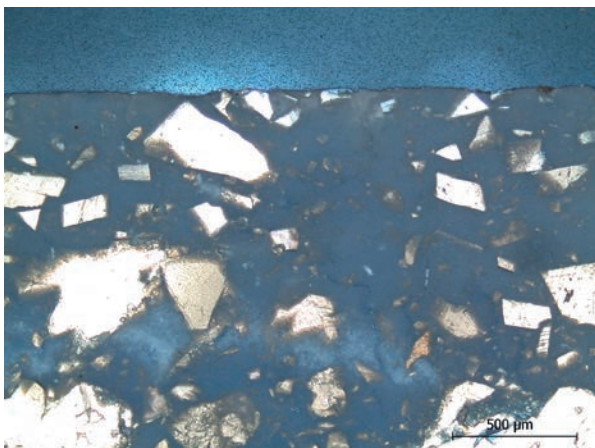


Abb. 137: Grabbau EN 6: Das Präparat ist bei EN 6 im Oberputz vollständig durchgefärbt (Auflicht Dunkelfeld, blaugefärbter Dünnschliff 9_5_2).

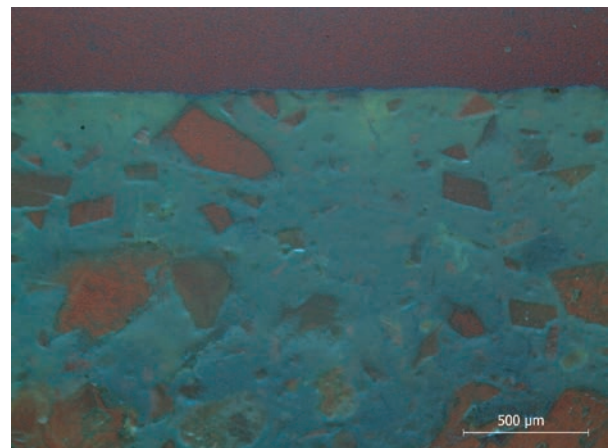


Abb. 138: Grabbau EN 6: Im Oberputz von EN 6 ist keine gelbe UV Fluoreszenz zu erkennen (Auflicht UV, blaugefärbter Dünnschliff 9_5_2).

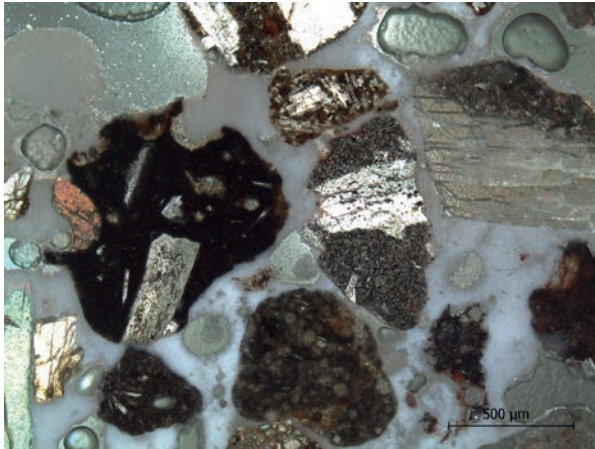


Abb. 139: Vulkanische Sande mit großteils porphyrischem Gefüge (Auflicht Dunkelfeld, Dünnschliff 8_3_1).

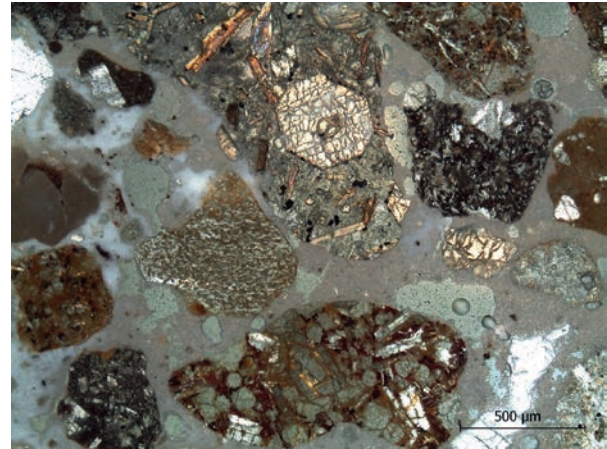


Abb. 140: Vulkanische Sande mit großteils porphyrischem Gefüge (Auflicht Dunkelfeld, Dünnschliff 8_3_1).

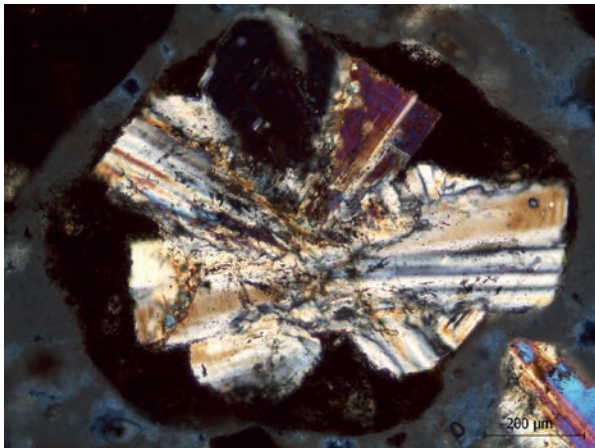


Abb. 141: Zuschlagskorn mit feinkörniger, schwarzer Matrix und glomerophyrischem Gefüge (Auflicht Dunkelfeld, Dünnschliff 8_3_1).

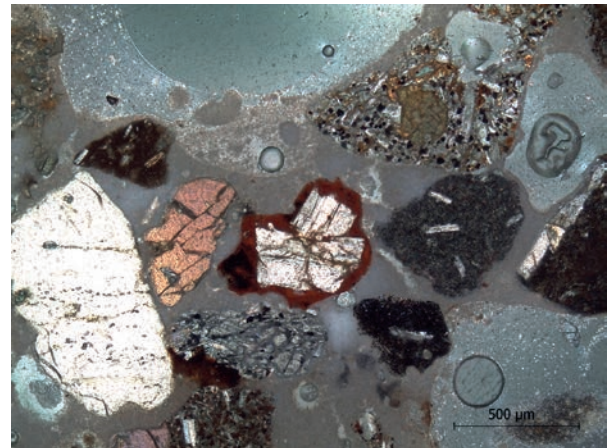


Abb. 142: Im Zentrum ist ein rotes Zuschlagskorn mit glomerophyrischem Gefüge zu erkennen (Auflicht Dunkelfeld, Dünnschliff 8_3_1).

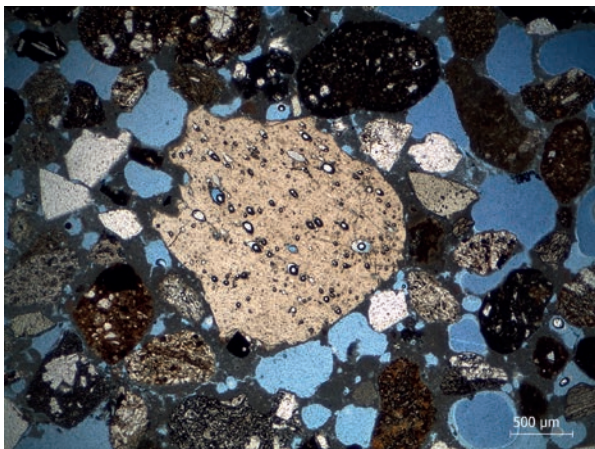


Abb. 143: Vulkanisches Glas mit blasigen Strukturen (Durchlicht IIPol, Dünnschliff 8_4_2).

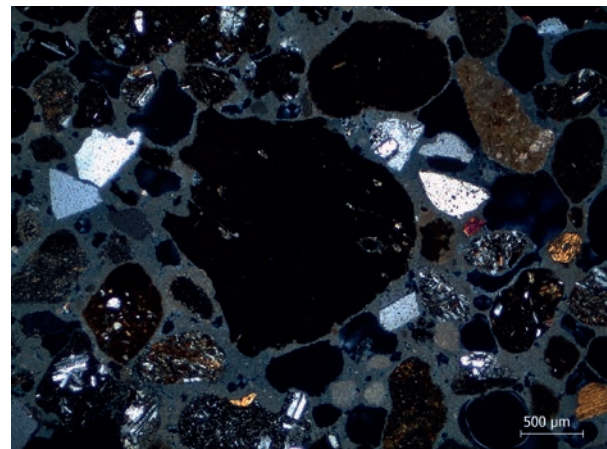


Abb. 144: Zwischen gekreuzten Polarisatoren erscheint das amorphe, isotrope Glas ausgelöscht (Durchlicht xPol, Dünnschliff 8_4_2).

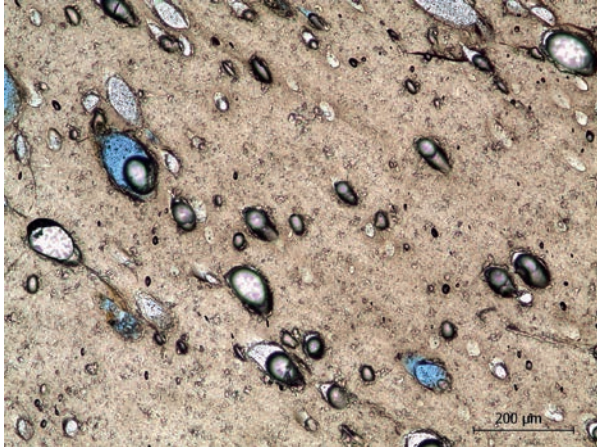


Abb. 145: Detail des vulkanisches Glas mit blasigen Strukturen (Durchlicht IIPol, Dünnschliff 8_4_2).

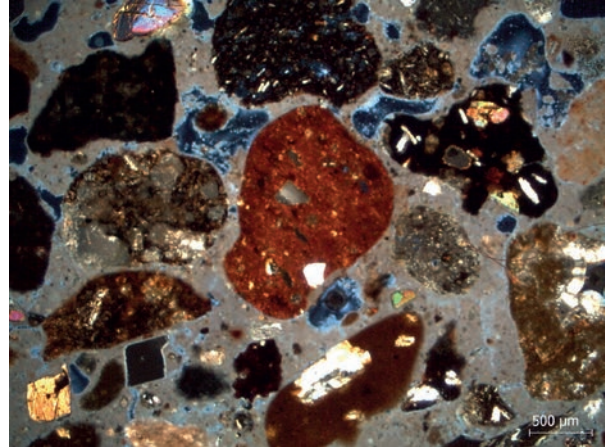


Abb. 146: Mögliches Ziegelkorn mit feinkörniger Matrix und Einschlüssen (Durchlicht xPol, Dünnschliff 8_3_1).

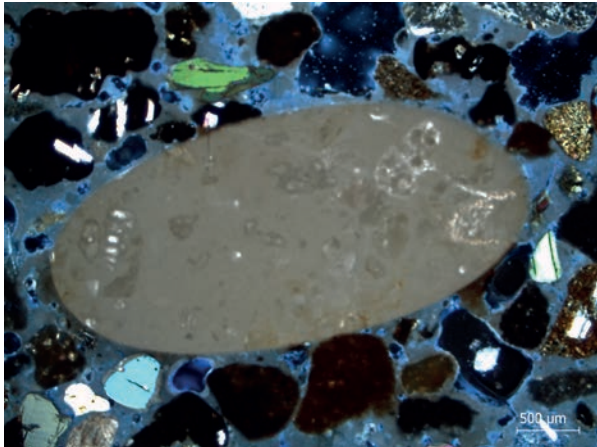


Abb. 147: Sedimentäres Carbonatgestein (Durchlicht xPol, Dünnschliff 3_1_2).

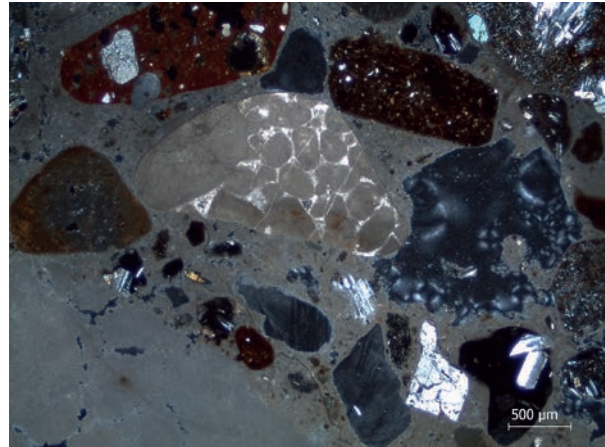


Abb. 148: Sedimentäres Carbonatgestein (Durchlicht xPol, Dünnschliff 3_1_1).

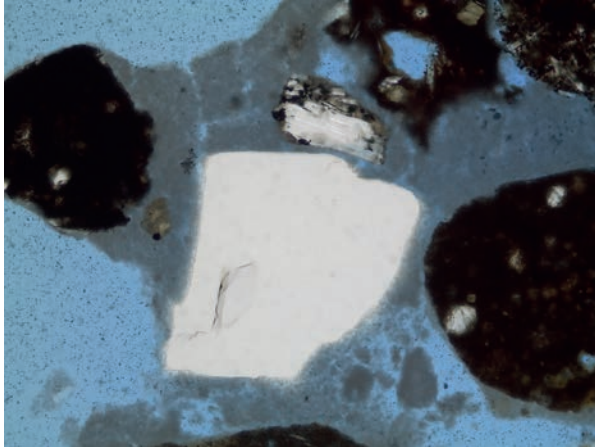


Abb. 149: Transparent, farbloser Quarz (Durchlicht IIPol).

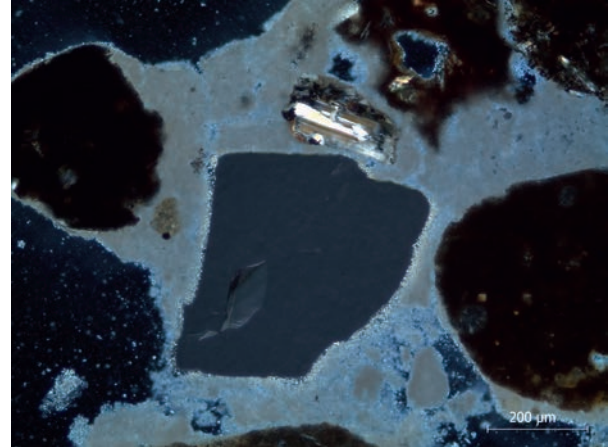


Abb. 150: Quarz in Auslöschungsstellung (Durchlicht xPol).

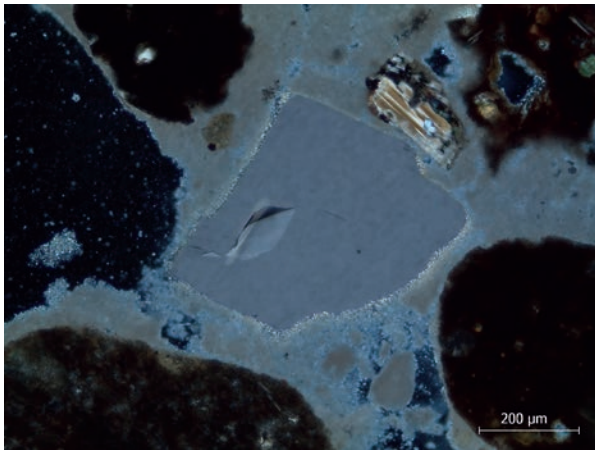


Abb. 151: Quarz: Charakteristische Interferenzfarbe von Gauß-1st-Ordnung bei einer Dicke von 30 µm (Durchlicht xPol).

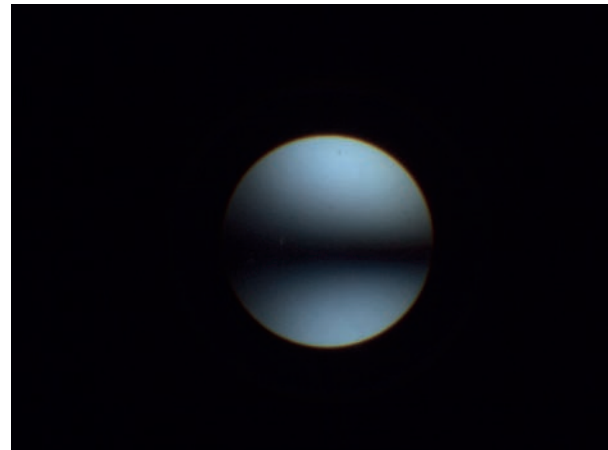


Abb. 152: Quarz: für optisch einachsige Minerale typisches Interferenzbild (Durchlicht xPol + Amici Bertrand Linse).

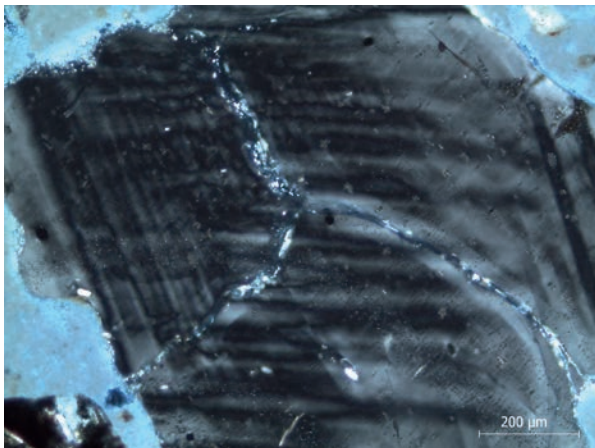


Abb. 153: Feldspat: Charakteristische Interferenzfarbe von Gauß-1st-Ordnung bei einer Dicke von 30 µm (Durchlicht xPol).

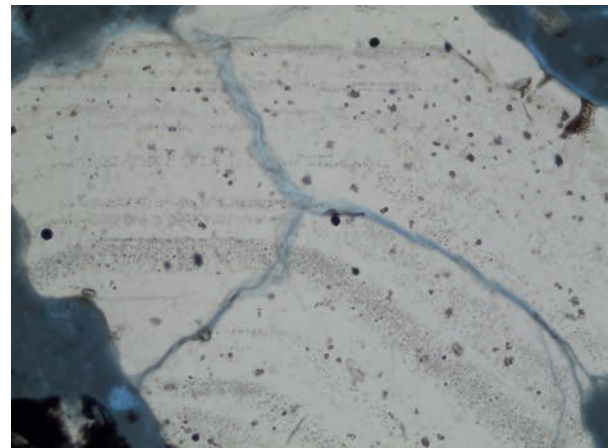


Abb. 154: Feldspat mit feinen Einschlüssen (Durchlicht IIPol).

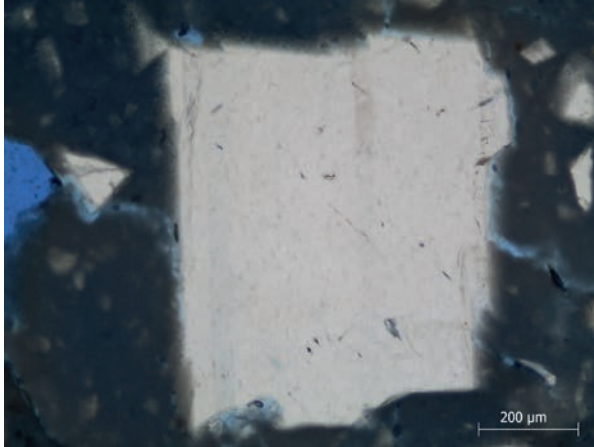


Abb. 155: Transparent farbloser Calcitkristall (Durchlicht IIPol).



Abb. 156: Calcit mit charakteristischer Interferenzfarbe von Grau-hoher-Ordnung (Durchlicht xPol).

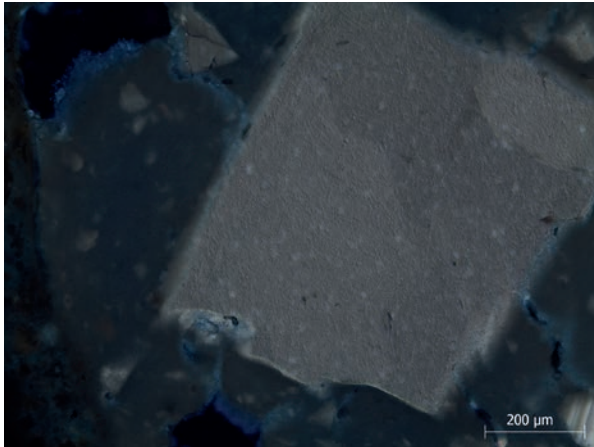


Abb. 157: Calcit mit charakteristischer Interferenzfarbe von Grau-hoher-Ordnung bei einer Dicke von 30 μm (Durchlicht xPol).

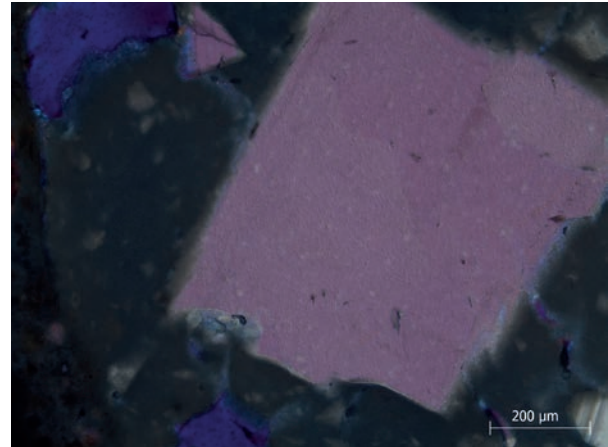


Abb. 158: Calcit: Charakteristische Verschiebung zu Magenta-hoher-Ordnung bei Einsatz der Lambda Platte (Durchlicht xPol + Lambda).

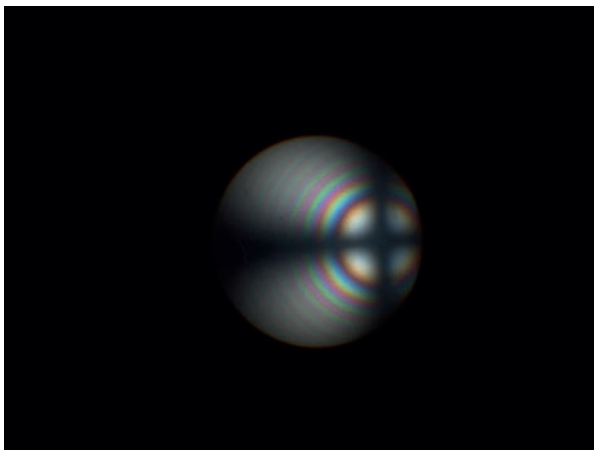


Abb. 159: Calcit: Charakteristisches Interferenzbild (Isogyrenkreuz) für hoch doppelbrechende, optisch einachsige Minerale. An den regenbogenfarbigen Kreisen können die Ordnungen der Michel Levy Tafel abgelesen werden (Durchlicht xPol + Amici Bertrand Linse).

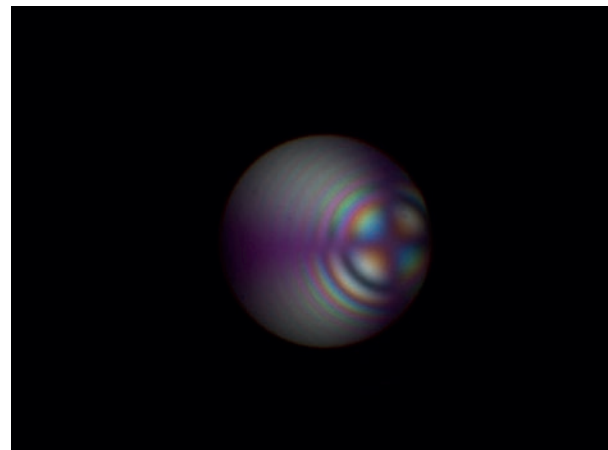


Abb. 160: Calcit: Typisches Interferenzbild von Calcit mit optisch einachsigen negativen Charakter – Additionserscheinung Blau im II Quadranten (Durchlicht xPol + Amici Bertrand Linse + Lambda).

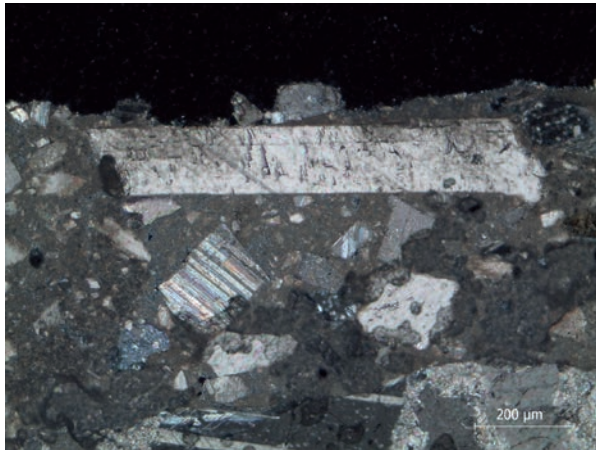


Abb. 161: Calcit-rhomboeder, die sich durch die Verdichtung des Oberputzes oberflächenparallel ausgerichtet haben (Durchlicht xPol).

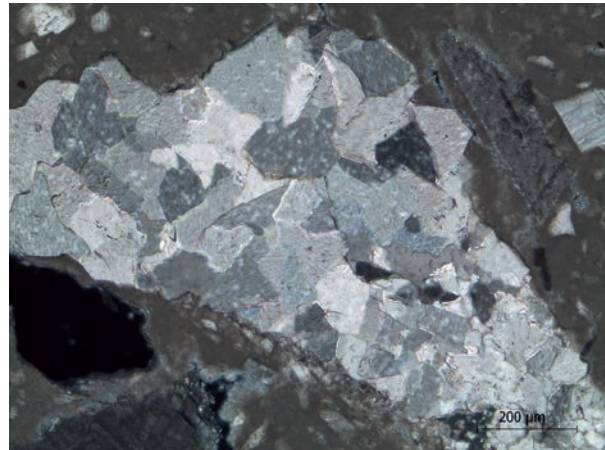


Abb. 162: Grabbau EN 6: Metarmorphes Carbonatgestein mit granoblastischem Gefüge im Zuschlag des Oberputzes von EN 6 (Durchlicht xPol).

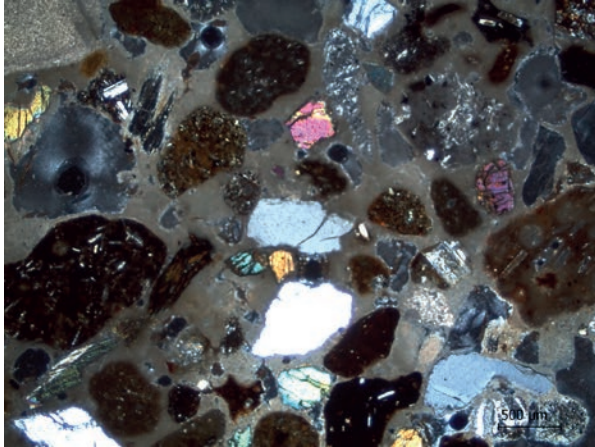


Abb. 163: Grabbau EN 4: Homogene, feinkörnige Struktur des Bindemittels der ersten Unterputzschicht (Durchlicht xPol, Dünnschliff 3_1_1).

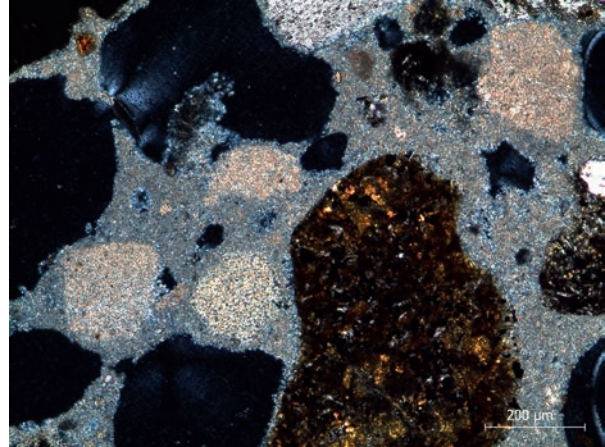


Abb. 164: Grabbau EN 4: Nest aus kleinen Kalkgallen in der ersten Unterputzschicht (Durchlicht xPol, Dünnschliff 3_1_1).

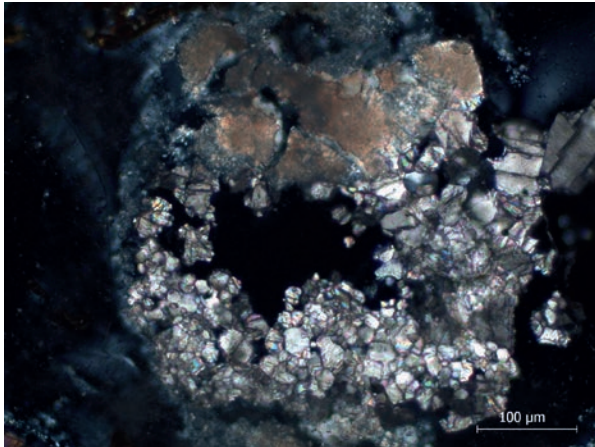


Abb. 165: Grabbau EN 4: Partikel mit bindemittelähnlichen Bereichen und Reststrukturen von Carbonatgestein aus sparitischem Calcit (Durchlicht xPol, Dünnschliff 3_1_1).

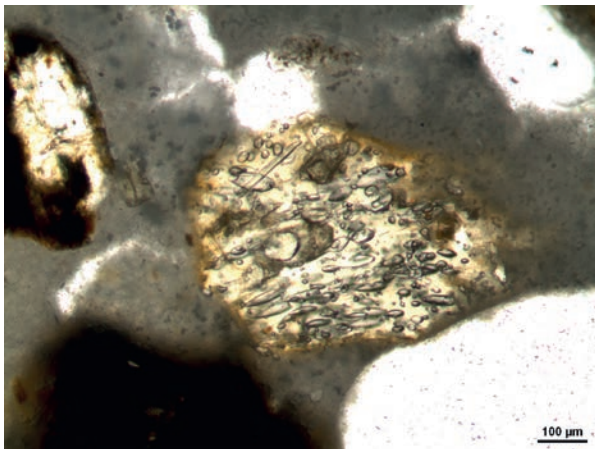


Abb. 166: Grabbau EN 4: Vulkanisches Glas mit braunem Saum in der ersten Unterputzschicht (Durchlicht IIPol, Dünnschliff 3_1_1).

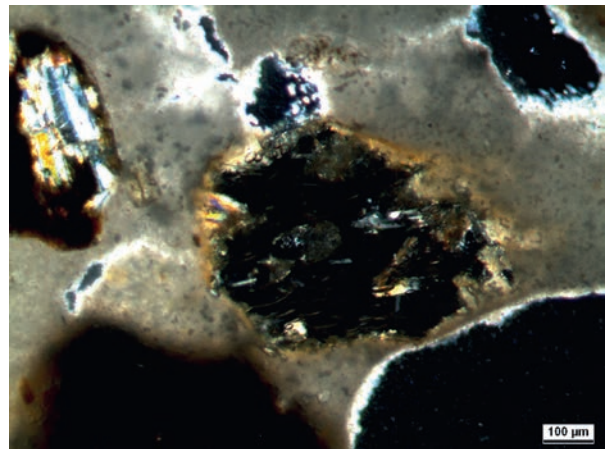


Abb. 167: Grabbau EN 4: Zwischen gekreuzten Polarisatoren erscheint das amorphe Glas ausgelöscht. (Durchlicht xPol, Dünnschliff 3_1_1).

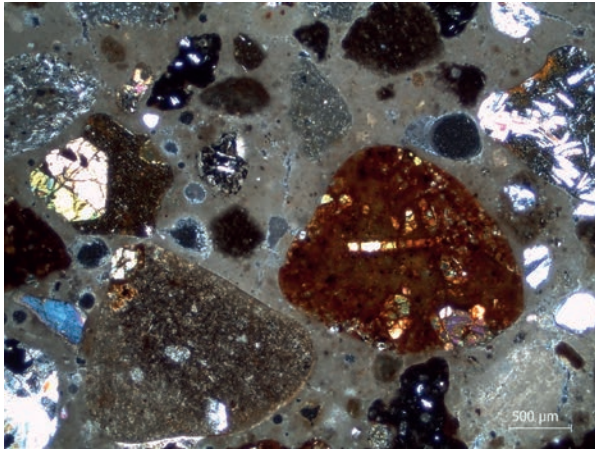


Abb. 168: Grabbau EN 4: Bräunliches Bindemittel der zweiten Unterputzschicht mit homogen verteilten braunen Flecken und feinen Partikeln (Durchlicht xPol, Dünnschliff 3_1_1).

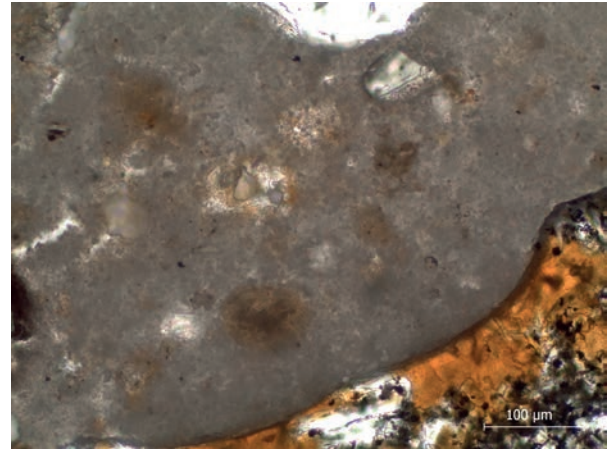


Abb. 169: Grabbau EN 4: Bräunliche Flecken und feine Partikel mit teilweise leichten Randsäumen in der zweiten Unterputzschicht (Durchlicht xPol, Dünnschliff 3_1_1).

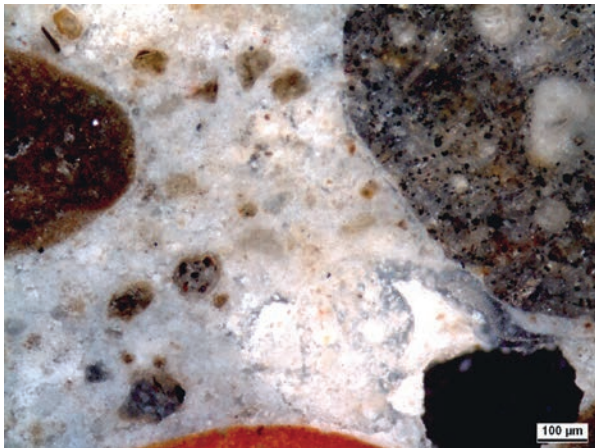


Abb. 170: Grabbau EN 4: Bräunliche Flecken und dunkle Körner und Einschlüsse im Bindemittel der zweiten Unterputzschicht. Um die feinen Körner sind teilweise Randsäume zu erkennen (Auflicht Dunkel-feld, Dünnschliff 3_1_1).

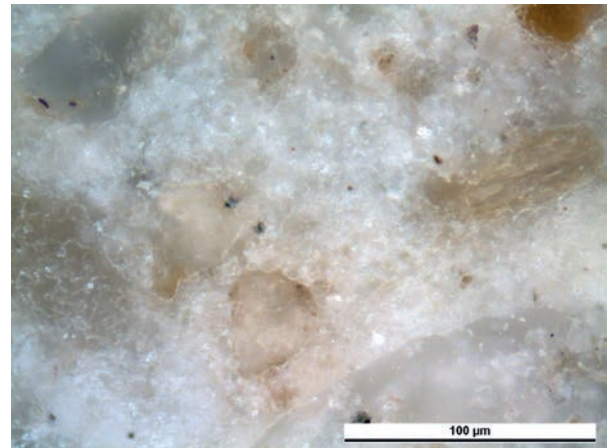


Abb. 171: Grabbau EN 4: Feine dunkle, punktartige Einschlüsse und transparente Partikel im Bindemittel von Putz 2. Das Bindemittel erscheint im Kontaktbereich bräunlich bei veränderter Kristallinität (Auflicht Dunkel-feld, Dünnschliff 3_1_1).

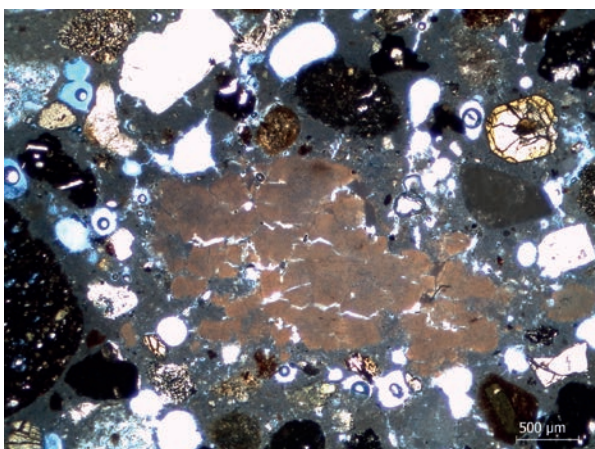


Abb. 172: Grabbau EN 4: Kalkgallenähnlicher Partikel mit Reststrukturen von Carbonatgestein in der zweiten Unterputzschicht. (Durchlicht IIPol, Dünnschliff 8_4_2).

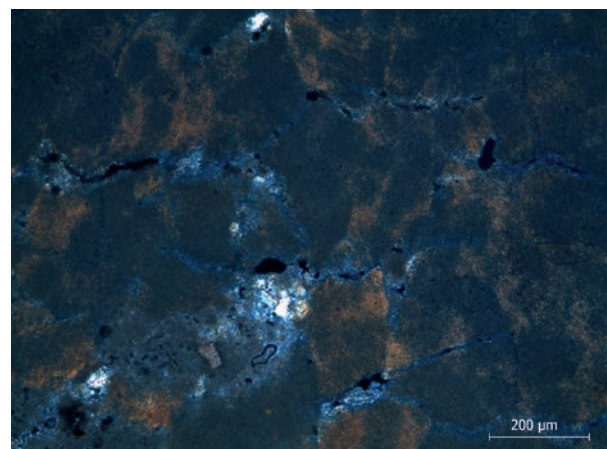


Abb. 173: Grabbau EN 4: Detail aus Abb. 172 (Durchlicht xPol, Dünnschliff 8_4_2).

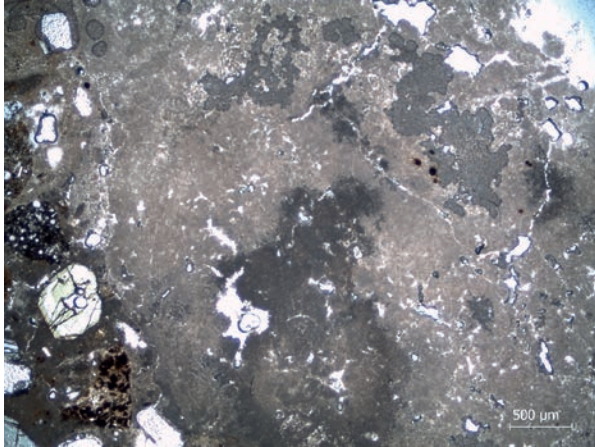


Abb. 174: Grabbau EN 4: Große Kalkgalle mit deutlicher Zonierung in der zweiten Unterputzschicht. (Durchlicht IIPol, Dünnschliff 3_1_1).

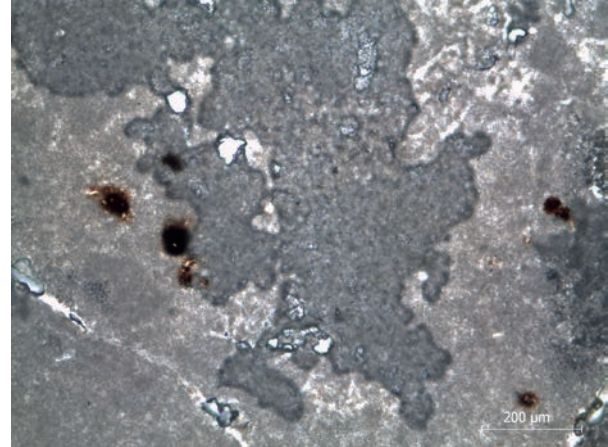


Abb. 175: Grabbau EN 4: Detail aus Abb 174: in der Kalkgalle sind dunkle, bräunliche Einschlüsse zu erkennen (Durchlicht IIPol, Dünnschliff 3_1_1).

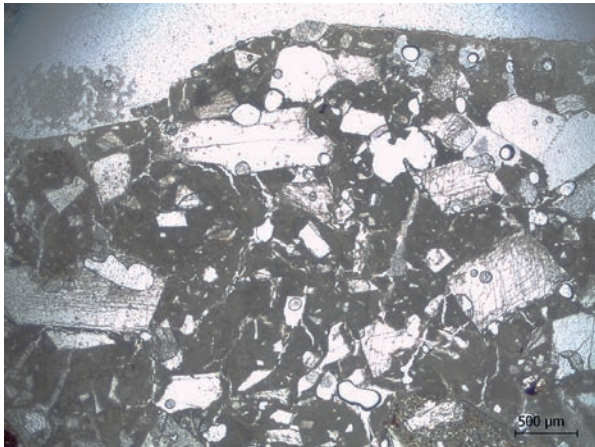


Abb. 176: Grabbau EN 4: Homogenes, feinkörniges Bindemittel mit grau-beiger Farbigkeit des Oberputzes. Zudem sind zahlreiche vertikale und schiefe Risse zu erkennen (Durchlicht IIPol, Dünnschliff 3_1_1).

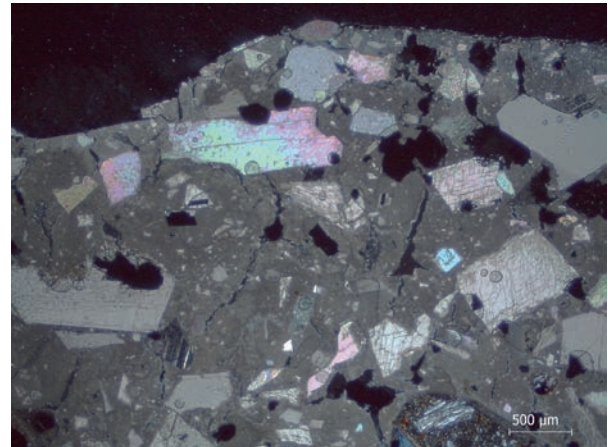


Abb. 177: Grabbau EN 4: Oberputz mit Kalkmörtel und calcitischem Zuschlag (Durchlicht xPol, Dünnschliff 3_1_1).

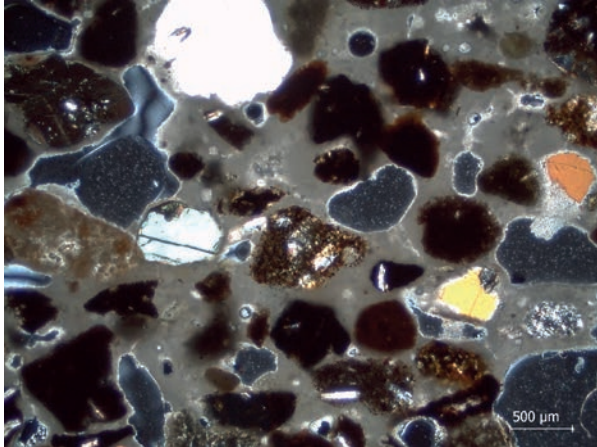


Abb. 178: Grabbau EN 6: Homogenes, feinkörniges Bindemittel mit grau-beiger Farbigeit des ersten Unterputzes (Durchlicht xPol, Dünnschliff 3_7_1).

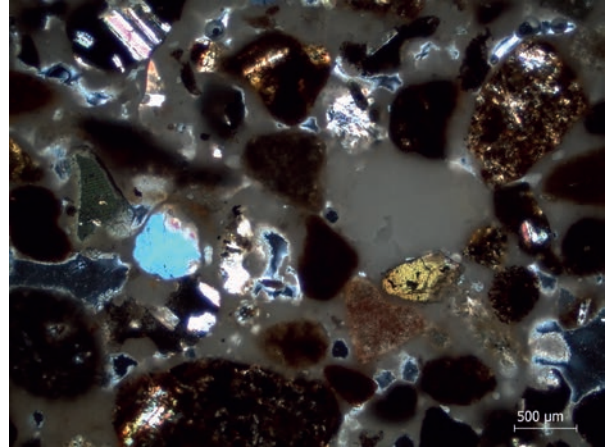


Abb. 179: Grabbau EN 6: Homogene Kalkgalle in der ersten Unterputzschicht (Durchlicht xPol, Dünnschliff 3_7_1).

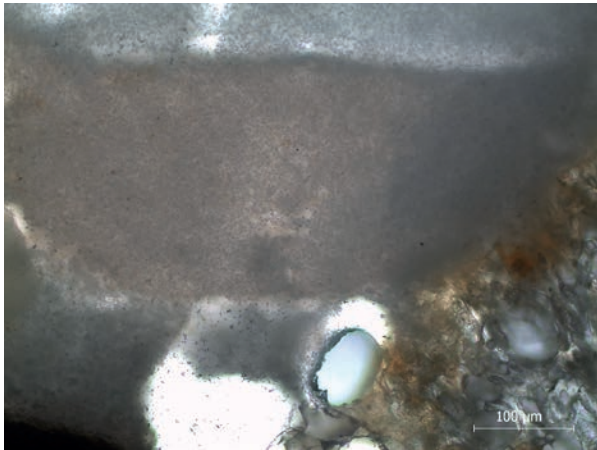


Abb. 180: Grabbau EN 6: Kleine Kalkgalle in der ersten Unterputzschicht (Durchlicht IIPol, Dünnschliff 9_5_1)

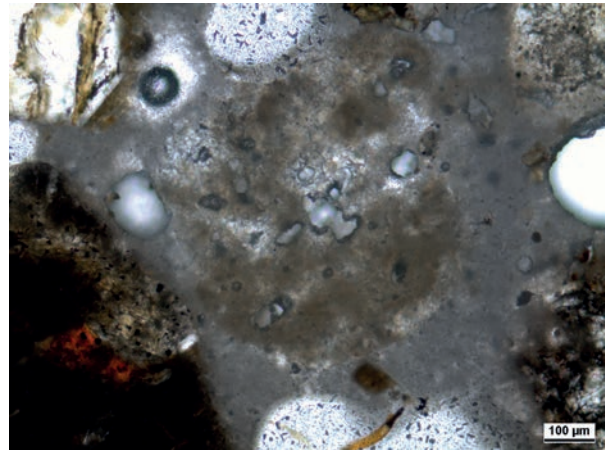


Abb. 181: Grabbau EN 6: Kalkgallenähnlicher Partikel mit Reststrukturen von Carbonatgestein in der ersten Unterputzschicht (Durchlicht xPol, Dünnschliff 3_7_1).

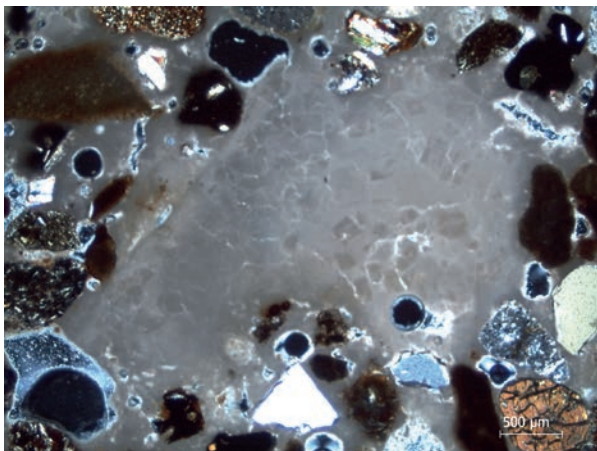


Abb. 182: Grabbau EN 6: Kalkgallenähnlicher Partikel mit Reststrukturen von Carbonatgestein in der ersten Unterputzschicht (Durchlicht xPol, Dünnschliff 9_5_1)

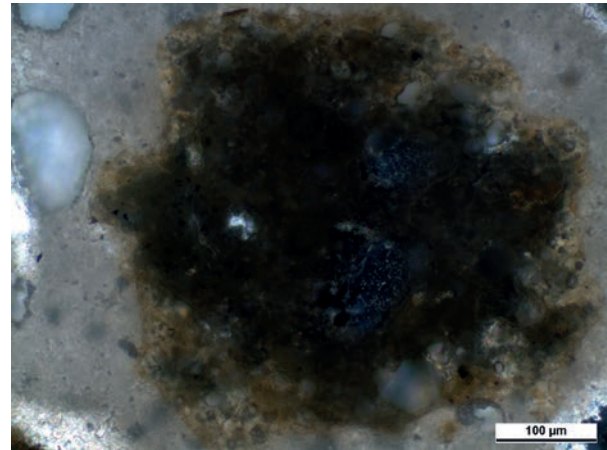
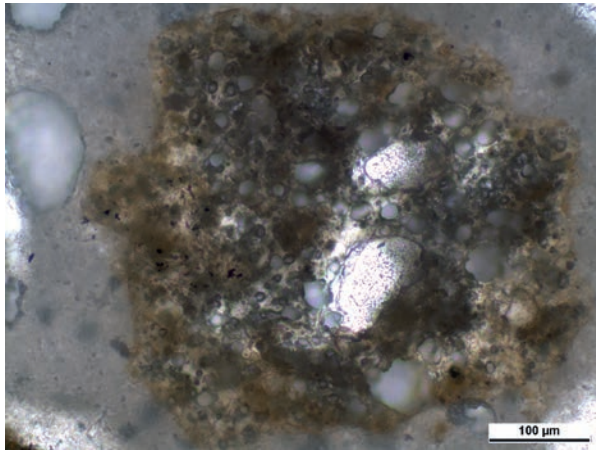


Abb. 183: Grabbau EN 6: Rechts: vulkanisches Glas mit bräunlichem Randsaum bei IIPol; Links: zwischen gekreuzten Polarisatoren erscheint das amorphe Glas ausgelöscht. Der Saum zeigt eine bräunliche Interferenzfarbe (Durchlicht, Dünnschliff 9_5_1)

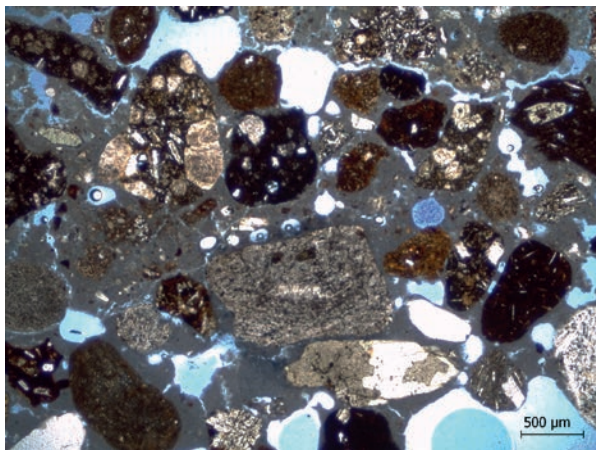


Abb. 185: Grabbau EN 6: Oberer Bereich: bräunliches, mikritisches Bindemittel der dritten Unterputzschicht. (Durchlicht IIPol, Dünnschliff 9_2_1)

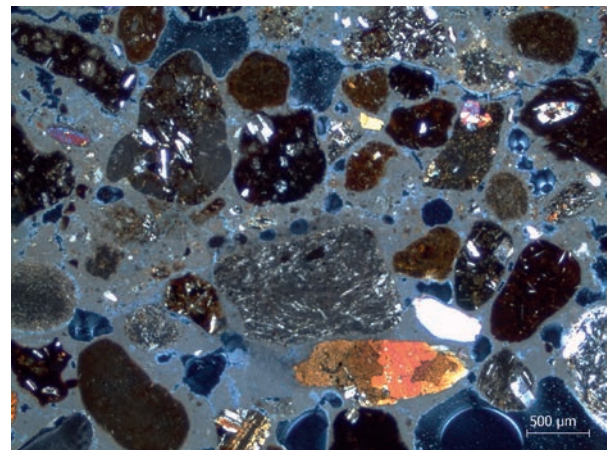


Abb. 186: Grabbau EN 6: Oberer Bereich: Feine Partikel zeichnen sich durch kleine, punkartige Flecken im Bindemittel der dritten Unterputzschicht ab. (Durchlicht xPol, Dünnschliff 9_2_1)

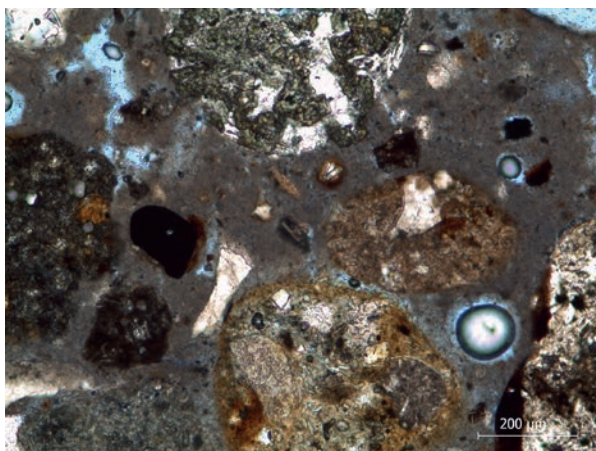


Abb. 187: Grabbau EN 6: Feine Zuschläge oder Zusätze zwischen den größeren Zuschlägen in der dritten Unterputzschicht mit bräunlichem Bindemittel. (Durchlicht IIPol, Dünnschliff 9_2_1)

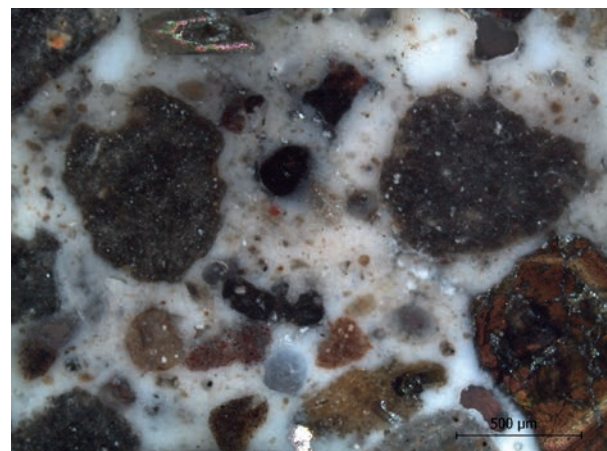


Abb. 188: Grabbau EN 6: Bräunliche, homogene verteilte, punkartige Flecken und feine Partikel mit teilweise Randsäumen in der dritten Unterputzschicht. (Auflicht Dunkelfeld, Dünnschliff 7_3_1)

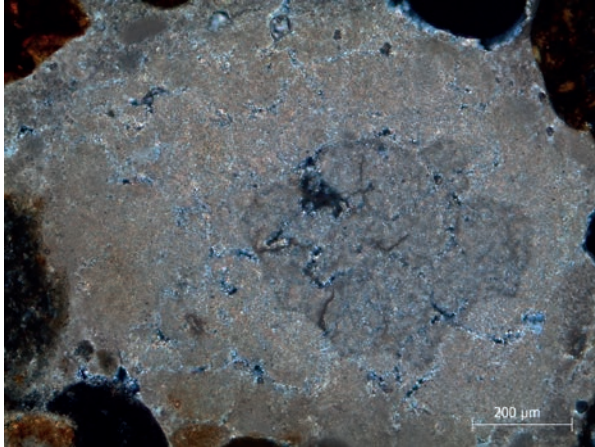


Abb. 189: Grabbau EN 6: Kalkgalle mit Zonierung und Rissbildung in der dritten Unterputzschicht (Durchlicht xPol, Dünnschliff 9_5_1)

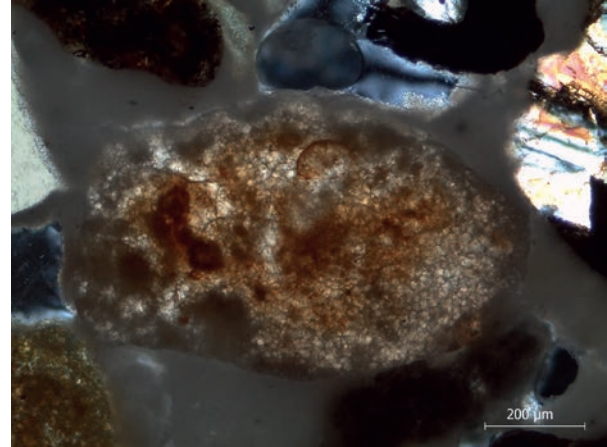


Abb. 190: Grabbau EN 6: Kalkgallenähnlicher Partikel mit Reststrukturen von Carbonatgestein in der dritten Unterputzschicht (Durchlicht xPol, Dünnschliff 9_5_1)

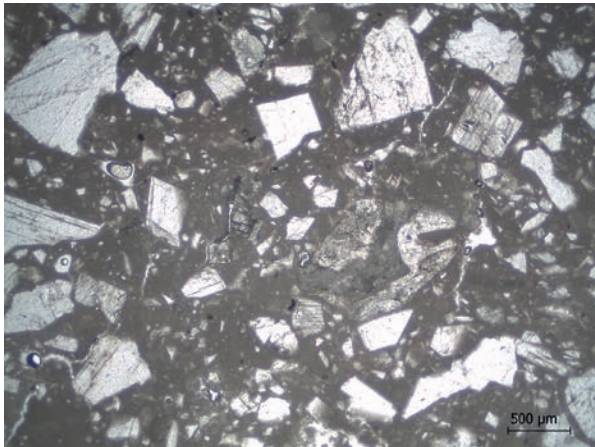


Abb. 191: Grabbau EN 6: Homogenes, feinkörniges Bindemittel mit grau-beiger Farbigkeit des Oberputzes. Es ist ein hoher Feinanteil zu erkennen. (Durchlicht IIPol, Dünnschliff 9_5_1)

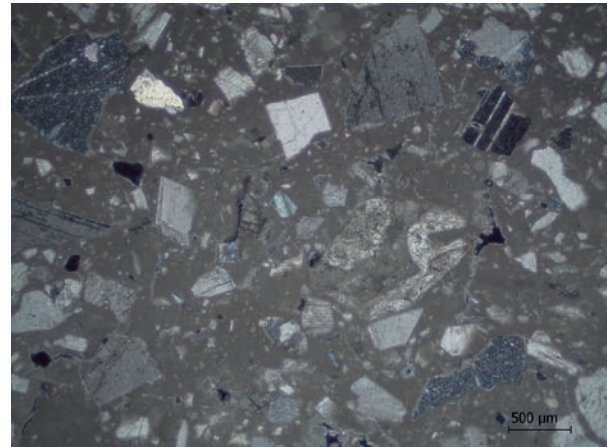


Abb. 192: Grabbau EN 6: Sparitischer Calcit als Zuschlag im Oberputz. (Durchlicht xPol, Dünnschliff 9_5_1)

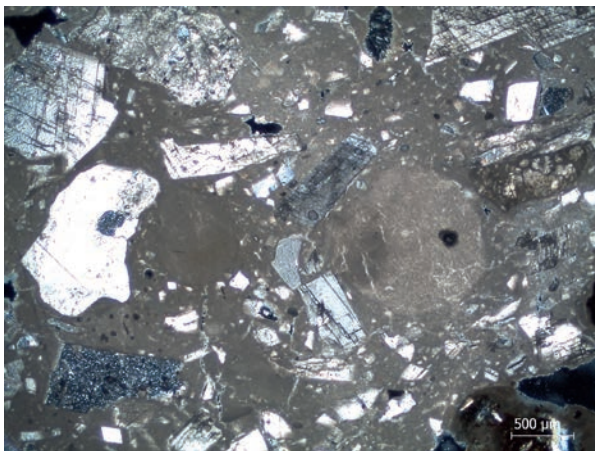


Abb. 193: Grabbau EN 6: Zwei Kalkgallen im Oberputz. Rechts eine fast kreisrunde Kalkgalle mit etwa 1 mm Durchmesser, links eine dunklere, etwas kleinere (Durchlicht xPol, Dünnschliff 9_5_1)



Abb. 194: Stuckfragment von Grabbau EN 6 mit Stuckrelief. Zu erkennen ist die Ecke eines Spiegelquaders. Das Fragment wurde aus der Selektion ausgeschlossen und in Pompeji belassen.



Abb. 195: Stuckfragment von Grabbau EN 6: An dem abgebrochenen Eck ist zu erkennen, dass der Oberputz in den Vertiefungen zwischen den Bossen eine geringere Stärke aufweist.

II Diagramme

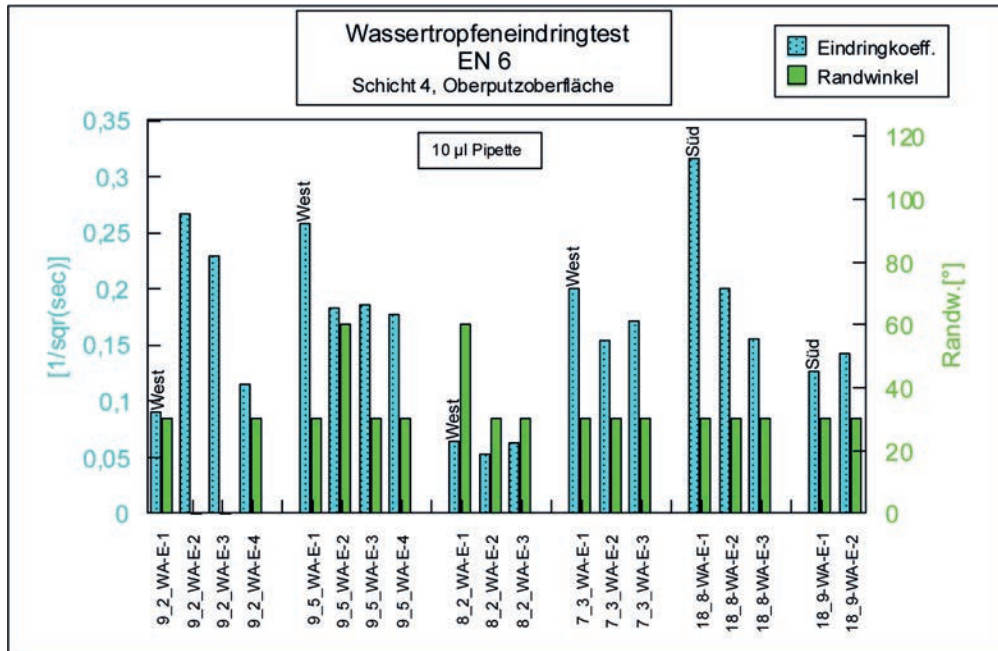


Abb. 196: Ergebnisse der Wassertropfeneindringtests (Einzelmessungen je Fragment) an den Fragmenten des Grabes EN 6 (Oberputzoberfläche, Schicht 4). Die blauen Säulen geben die Werte der Eindringkoeffizienten [1/√s] wieder, die grünen die des zugehörigen Randwinkels. West und Süd beziehen sich auf die Fundorte (Grabseiten).

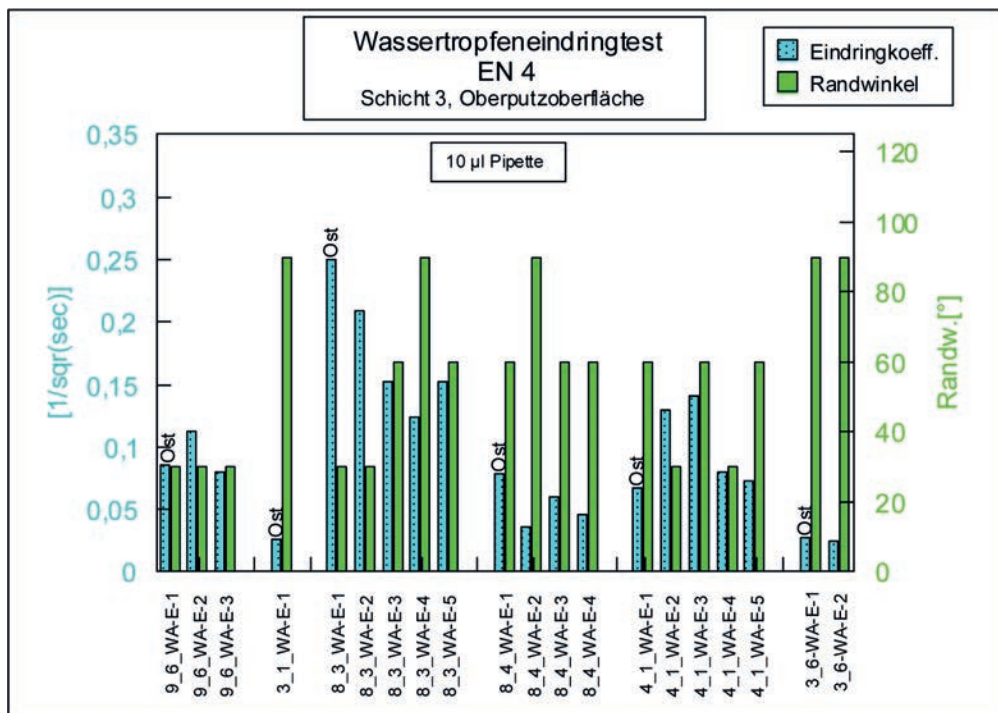


Abb. 197: Ergebnisse der Wassertropfeneindringtests (Einzelmessungen je Fragment) an den Fragmenten des Grabes EN 4 (Oberputzoberfläche, Schicht 3). Die blauen Säulen geben die Werte der Eindringkoeffizienten [1/√s] wieder, die grünen die des zugehörigen Randwinkels. Ost bezieht sich auf den Fundort (Grabseite).

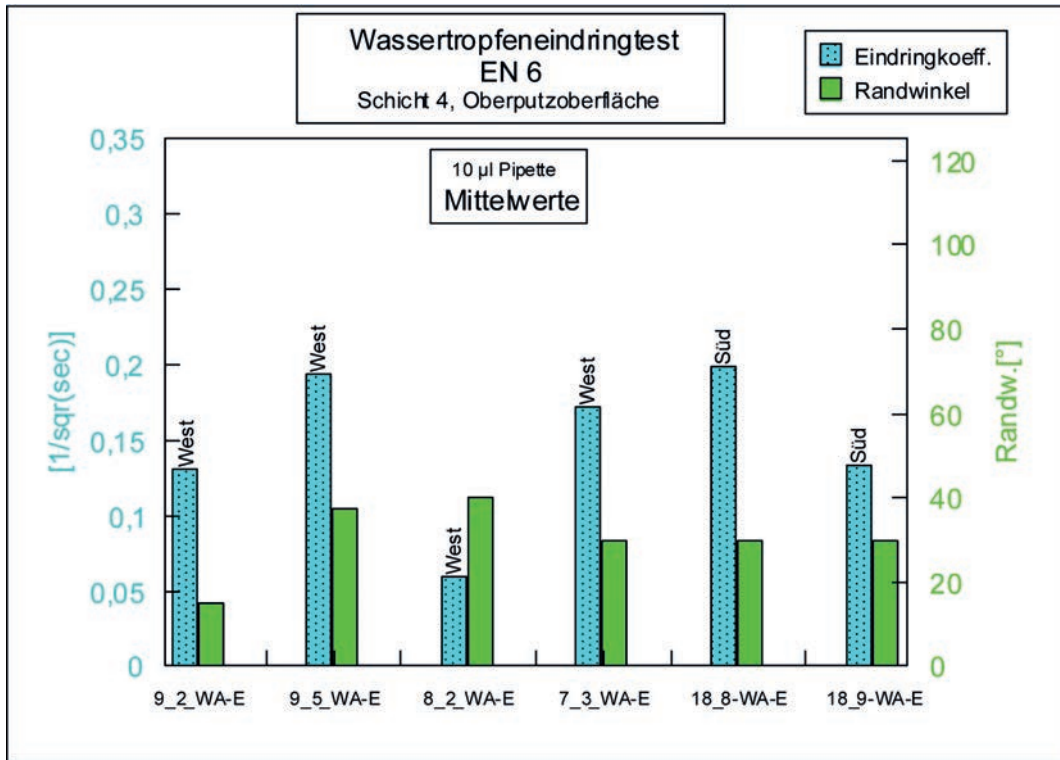


Abb. 198: Ergebnisse der Wassertropfeneindringtests (Mittelwerte der Einzelmessungen je Fragment) an den Fragmenten des Grabes EN 6 (Oberputzoberfläche, Schicht 4). Die blauen Säulen geben die Werte der Eindringkoeffizienten $[1/\sqrt{s}]$ wieder, die grünen die des zugehörigen Randwinkels. West und Süd beziehen sich auf die Fundorte (Grabseiten).

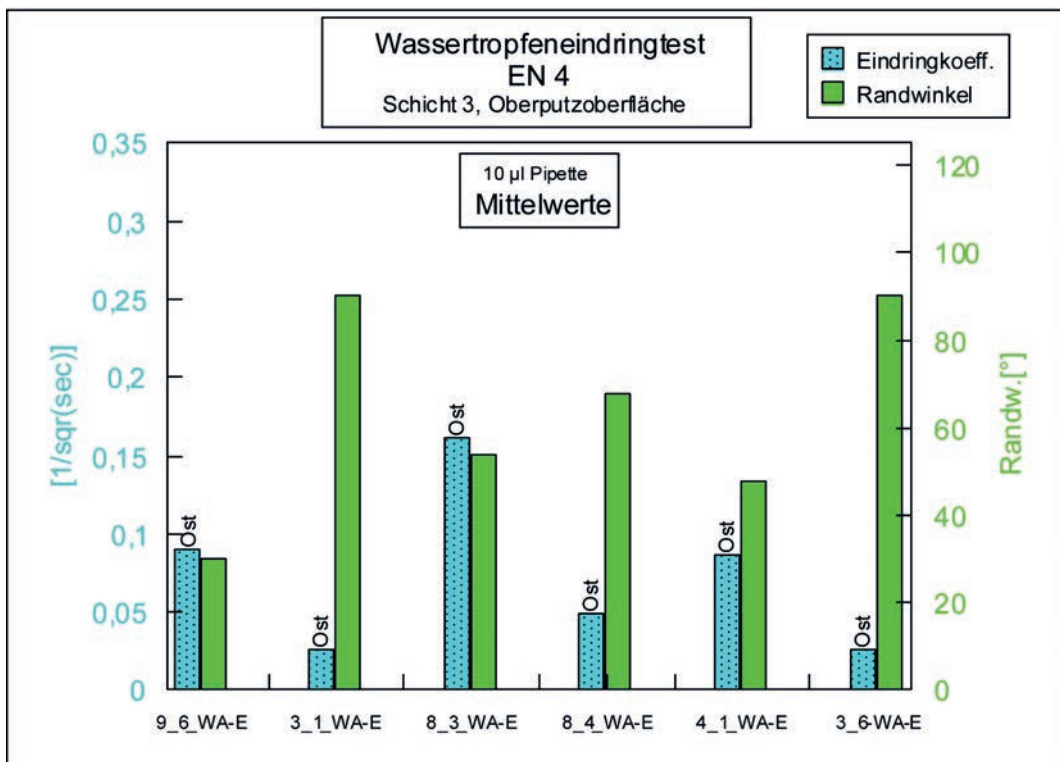


Abb. 199: Ergebnisse der Wassertropfeneindringtests (Mittelwerte der Einzelmessungen je Fragment) an den Fragmenten des Grabes EN 4 (Oberputzoberfläche, Schicht 3). Die blauen Säulen geben die Werte der Eindringkoeffizienten $[1/\sqrt{s}]$ wieder, die grünen die des zugehörigen Randwinkels. Ost bezieht sich auf den Fundort (Grabseite).

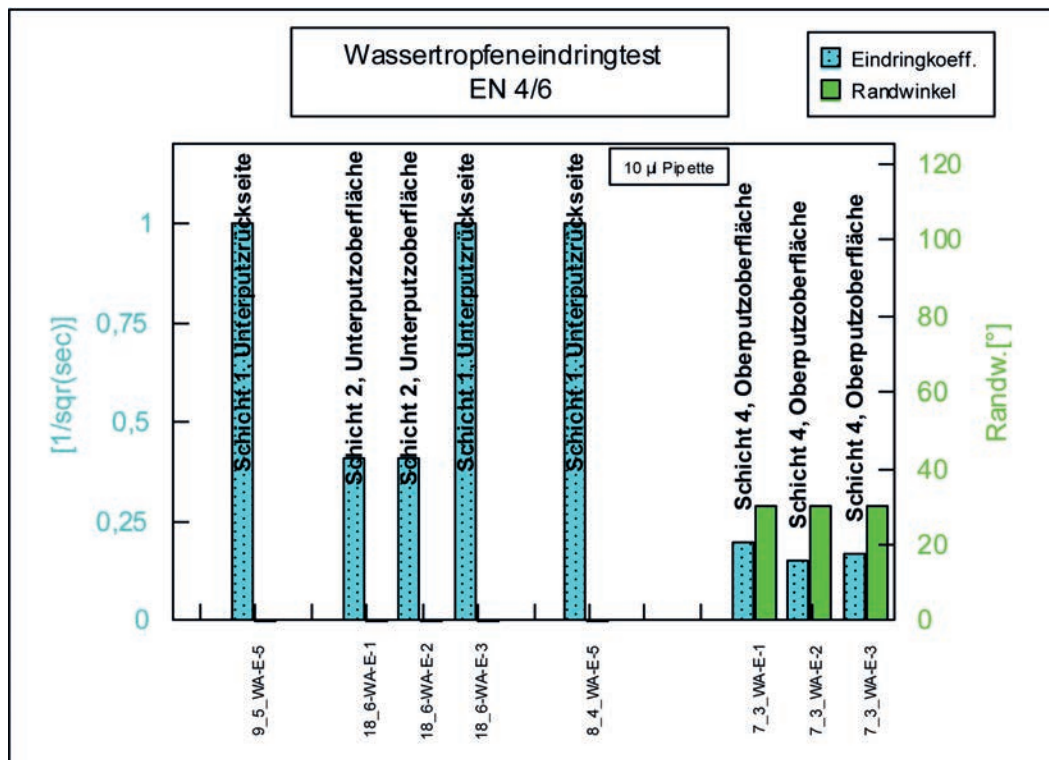


Abb. 200: Ergebnisse der Wassertropfeneindringtests (Einzelmessungen je Fragment) an den Unterputzschichten (links) von Fragmenten der Gräber EN 4 (8_4) und EN 6 (9_5, 18_6) im Größenvergleich zu den Werten der Oberputzschicht von Fragment EN 6 7_3 (rechts). Die blauen Säulen geben die Werte der Eindringkoeffizienten $[1/\sqrt{s}]$ wieder, die grünen die des zugehörigen Randwinkels.

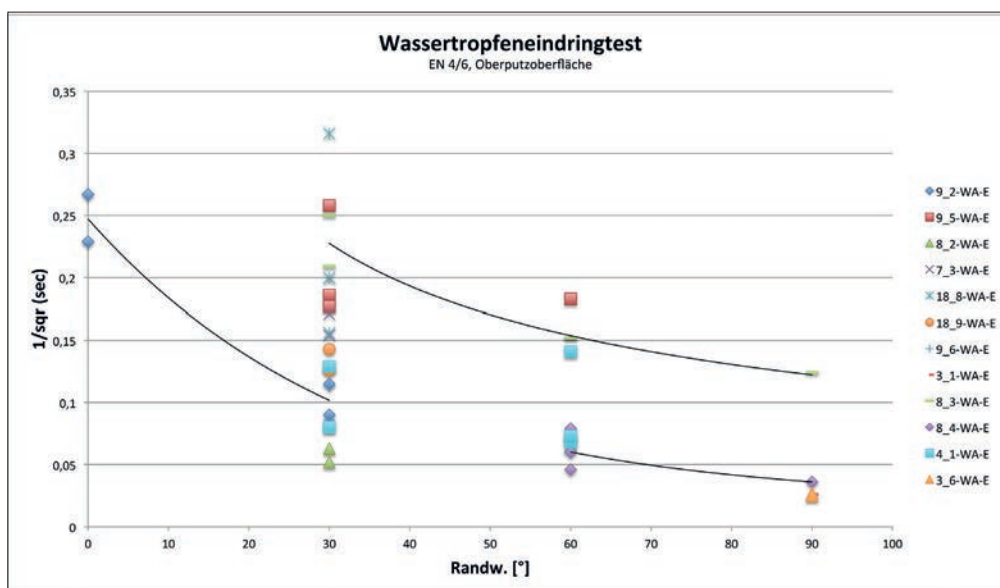


Abb. 201: Wassertropfeneindringkoeffizienten in Relation zu den Randwinkeln (Einzelmessungen an den Oberputzschichten beider Gräber). Innerhalb des markierten Bereiches ist in Grundtendenzen folgende Beziehung gegeben:: mit steigendem Eindringkoeffizienten geht der Randwinkel gegen 0 °. Einige Einzelmessungen ergeben von dieser Tendenz abweichende Werte (z. B. 30 ° trotz niedrigem Eindringkoeffizienten (8_2) und Randwinkelbildung trotz raschem Eindringen (18_8)).

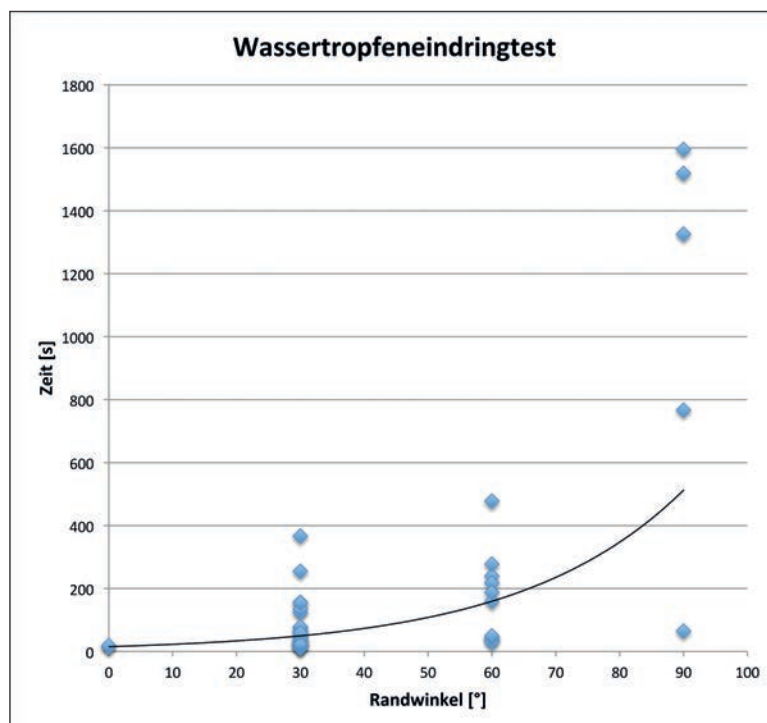


Abb. 202: Wassertropfeneindringzeiten in Relation zu den Randwinkeln (Einzelmessungen an den Oberputzschichten beider Gräber). Die entstehende Kurve beschreibt in den Grundtendenzen folgende Beziehung: je länger die Eindringzeit des Wassertropfens, desto größer der Randwinkel. Einige Einzelmessungen ergeben von dieser Tendenz abweichende Werte (z. B. 90 ° trotz kurzer Eindringzeit und geringe Randwinkelbildung trotz längerer Eindringzeit).

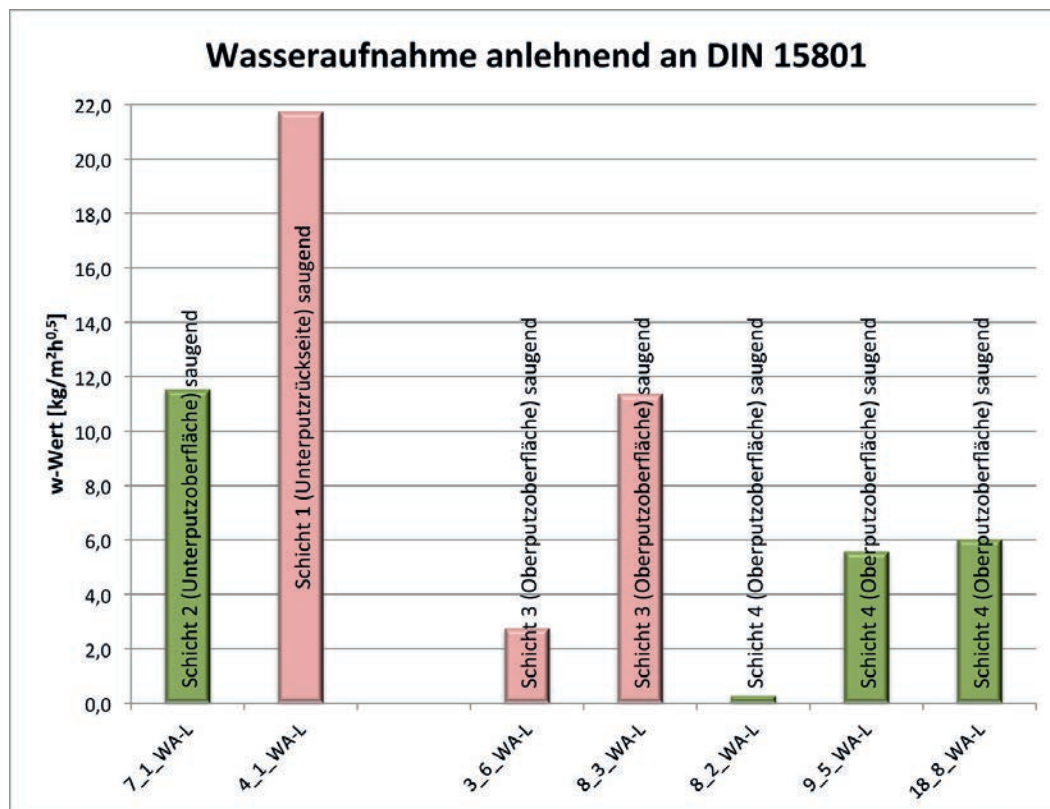


Abb. 203: In Anlehnung an DIN 15801 berechnete Wasseraufnahmekoeffizienten. Links sind die Werte der Unterputzschichten (7_1 und 4_1), rechts die Werte der Oberputzschichten. Grün steht für das Grab EN 6, rot für das Grab EN 4.

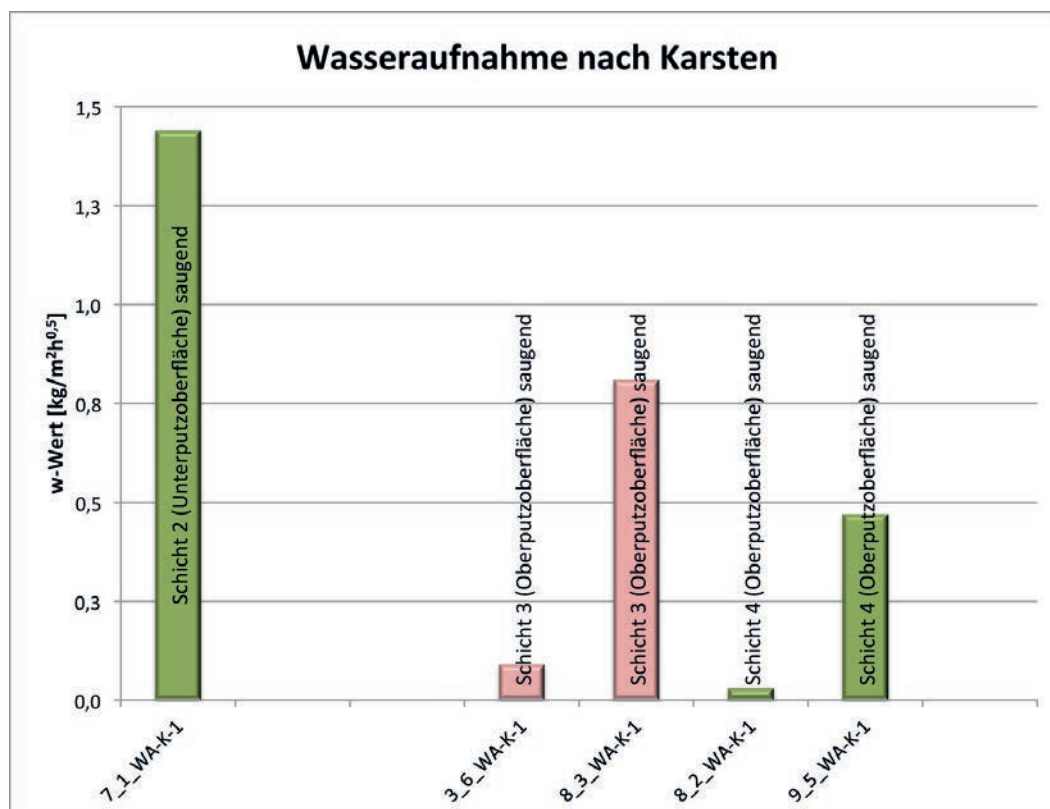


Abb. 204: Über die Methode nach Karsten ermittelte Wasseraufnahmekoeffizienten. Die Werte gleicher Proben sind dem oberen Diagramm entsprechend angeordnet.

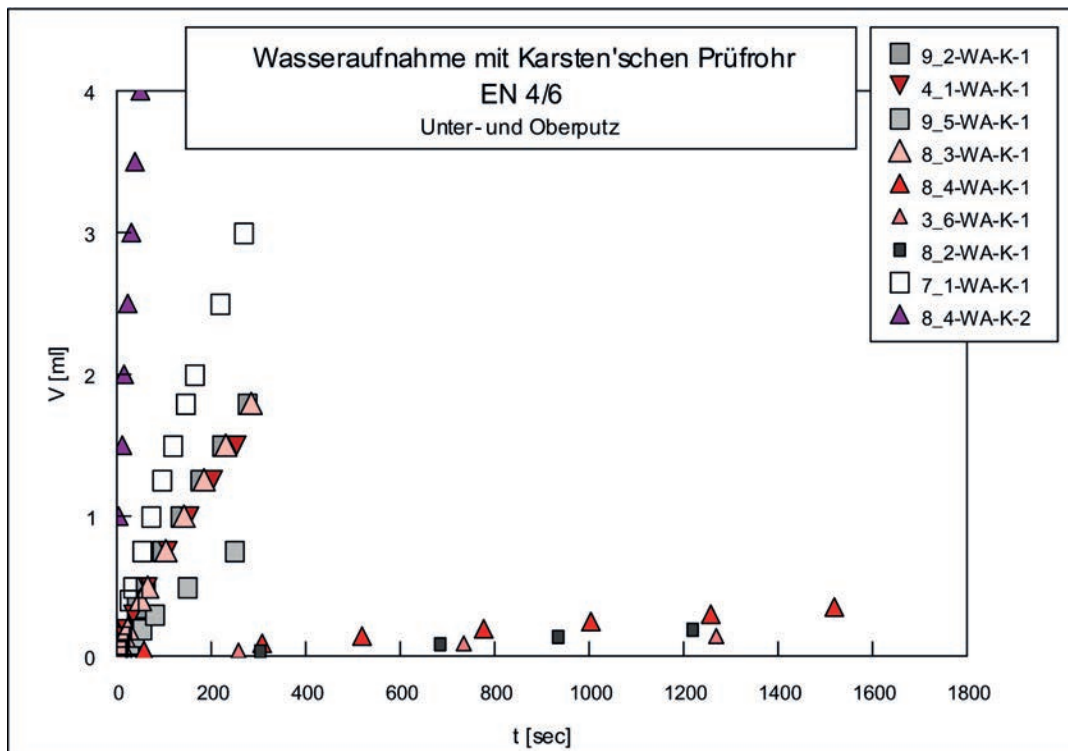
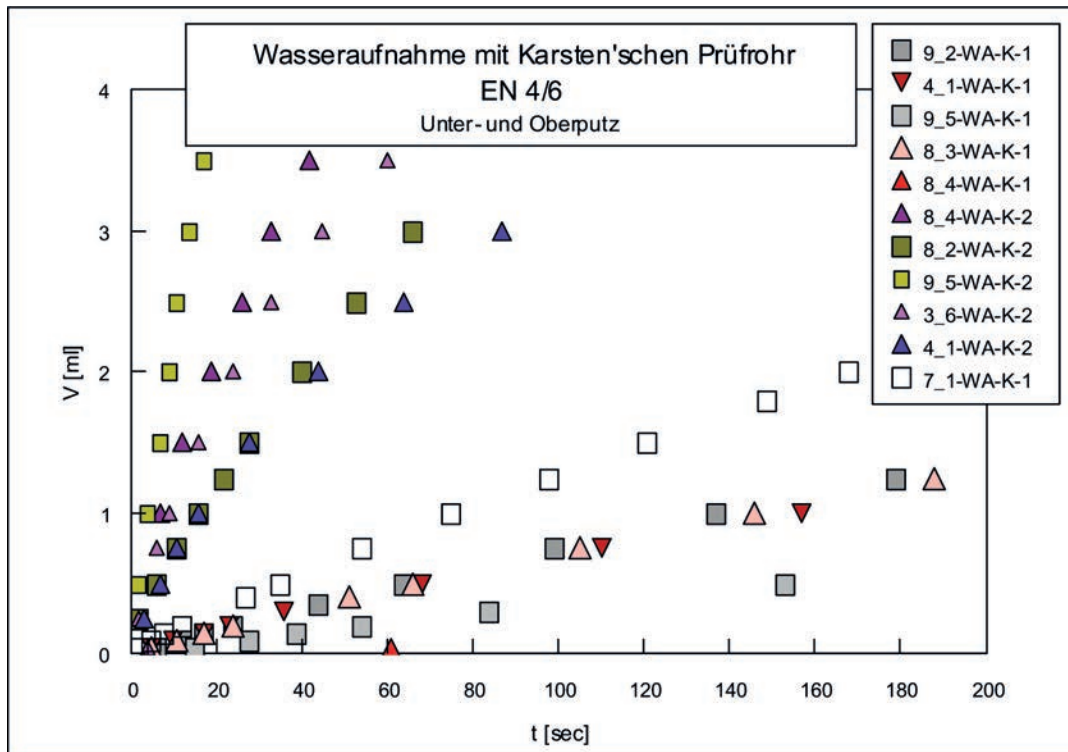


Abb. 205: Wasseraufnahmekurven der Unter- und Oberputze. Die Diagramme unterscheiden sich in den Skalenwerten der Zeit. Das obere Diagramm unterscheidet vorrangig zwischen Unter- und Oberputzen, das untere Diagramm zwischen den Oberputzen mit zwei Unterputz-Vergleichswerten. Unterputze: 8_4-WA-K-2, 8_2-WA-K-2, 9_5-WA-K-2, 3_6-WA-K-2, 4_1-WA-K-2, 7_1-WA-K-1, Oberputze: 9_2-WA-K-1, 4_1-WA-K-1, 9_5-WA-K-1, 8_3-WA-K-1, 8_4-WA-K-1, 3_6-WA-K-1, 8_2-WA-K-1. Die Symbole und Farben unterscheiden die Proben nach Grabbauten. EN 4: Dreieck (rot-violett) und EN 6: Quadrat (grün-weiß-grau).

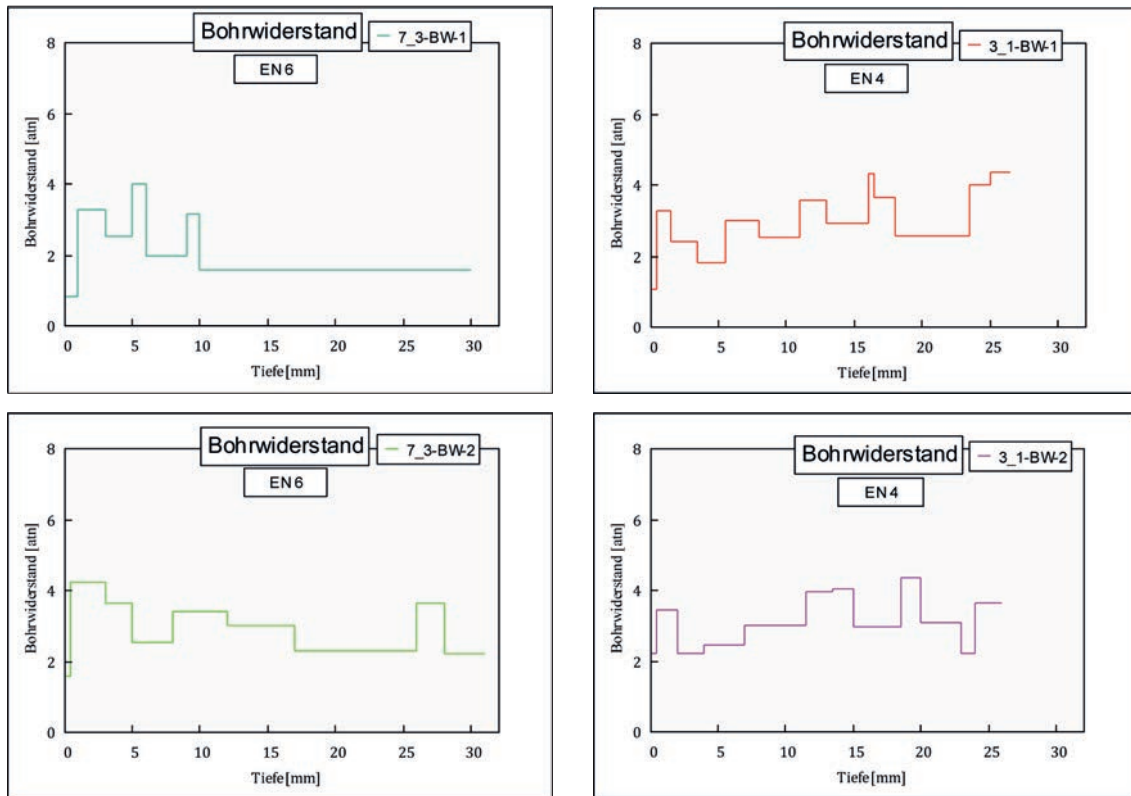


Abb. 206 a): Bohrwiderstandsprofile des Grabes EN 6 (links, Fragment 7_3, Tiefenprofile in Grüntönen) und des Grabes EN 4 (rechts, Fragmente 3_1, Tiefenprofile in Rottönen).

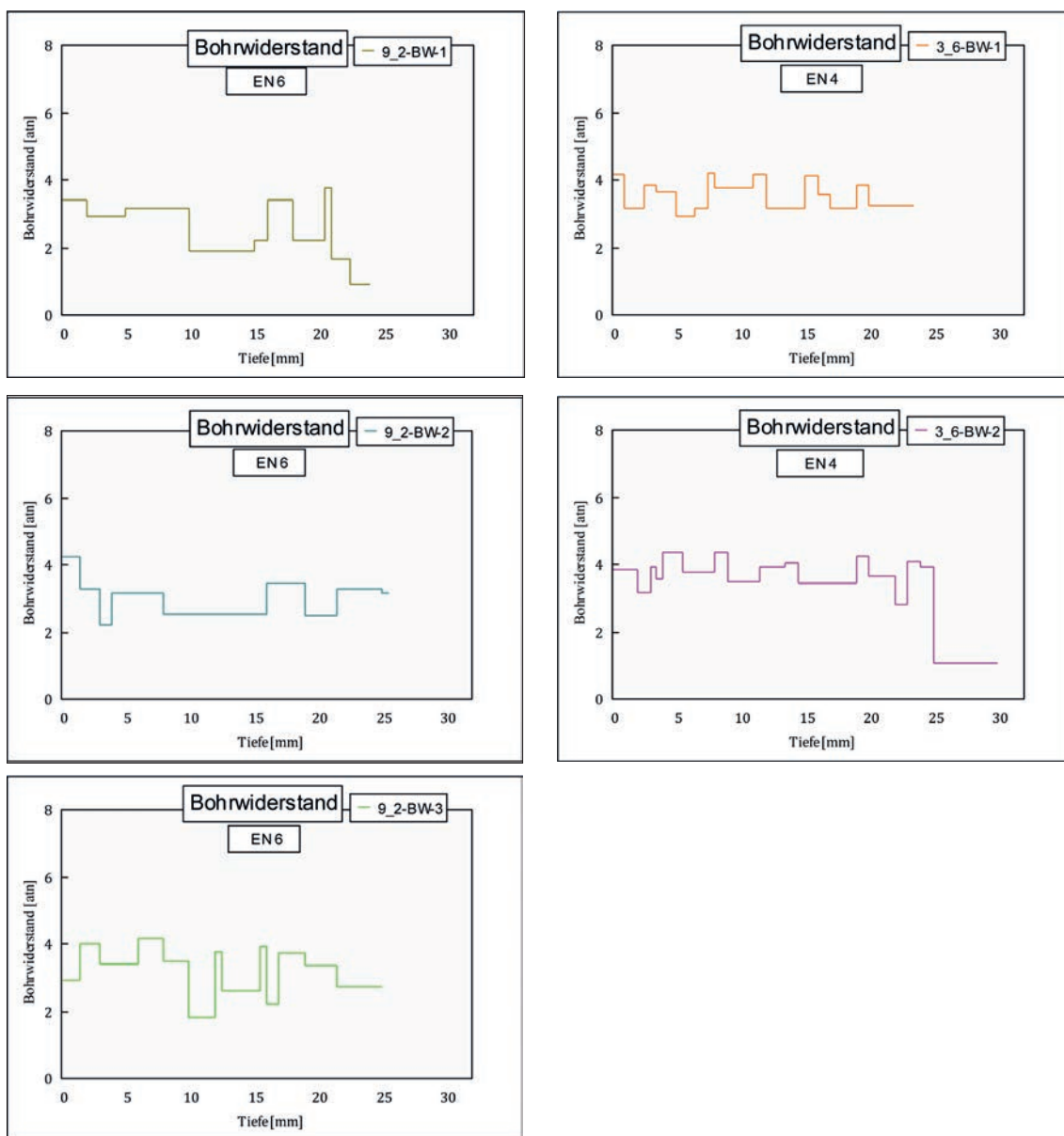


Abb. 206 b): Bohrwiderstandsprofile des Grabes EN 6 (links, Fragment 9_2, Tiefenprofile in Grüntönen) und des Grabes EN 4 (rechts, Fragment 3_6, Tiefenprofile in Rottönen).

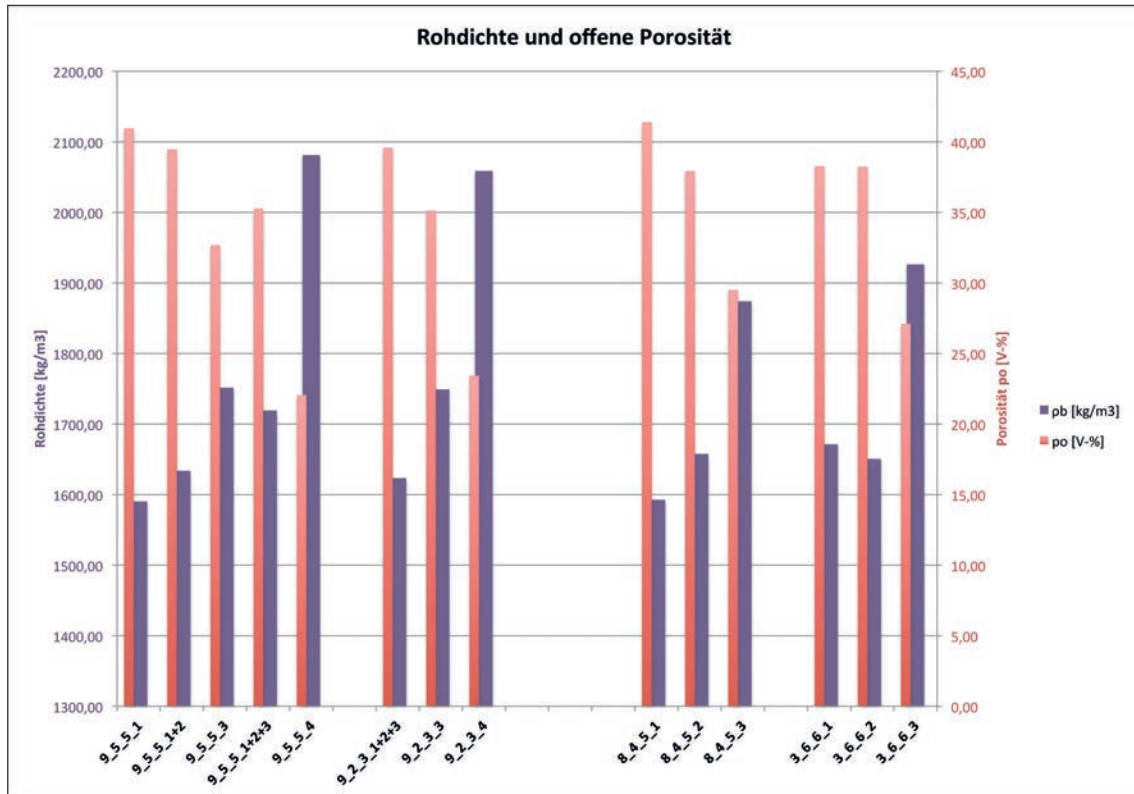


Abb. 207: Rohdichte (violett) und offene Porosität (rot), ermittelt über das Tauchverfahren. Im Vergleich stehen links die Werte des Grabes EN 6 (Fragment 9_5 und 9_2, Schichten 1, 2, 3, 4) mit jenen des Grabes EN 4 (rechts) (Fragment 8_4 und 3_6, Schichten 1, 2, 3).

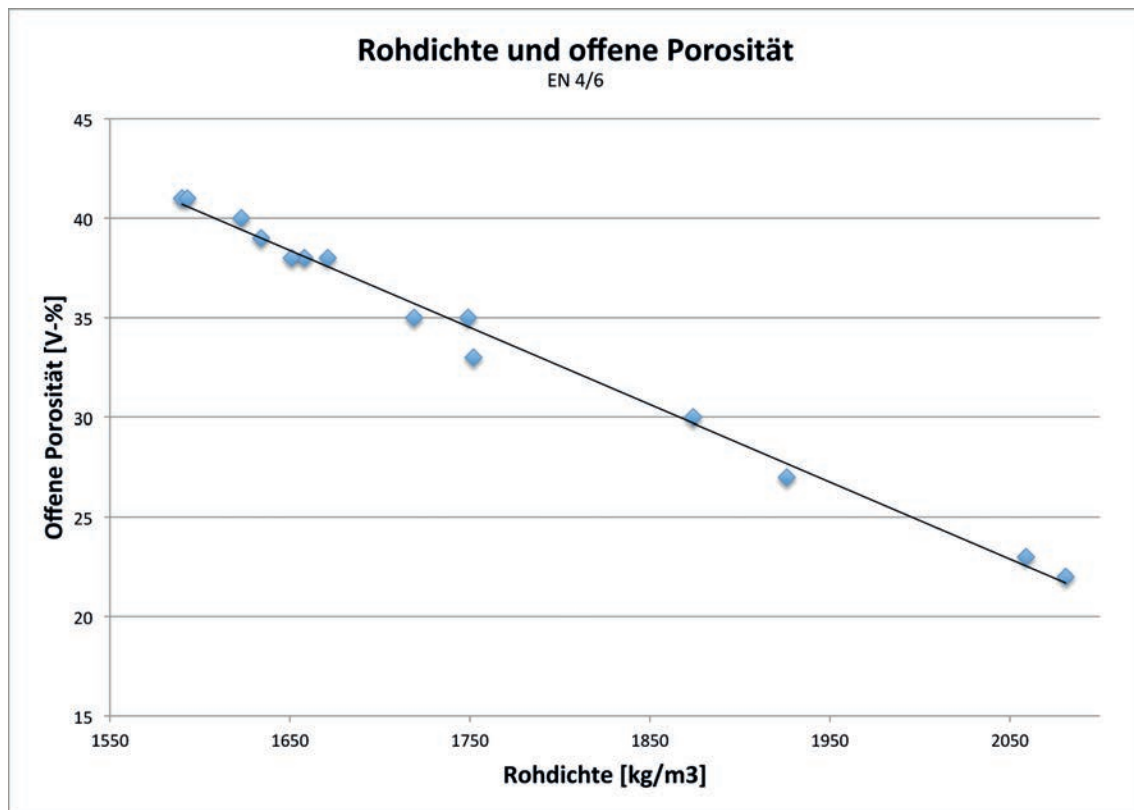


Abb. 208: Lineare Beziehung zwischen Rohdichten und den offenen Porositäten, ermittelt über das Tauchverfahren. Je höher die Rohdichte desto geringer die offene Porosität.

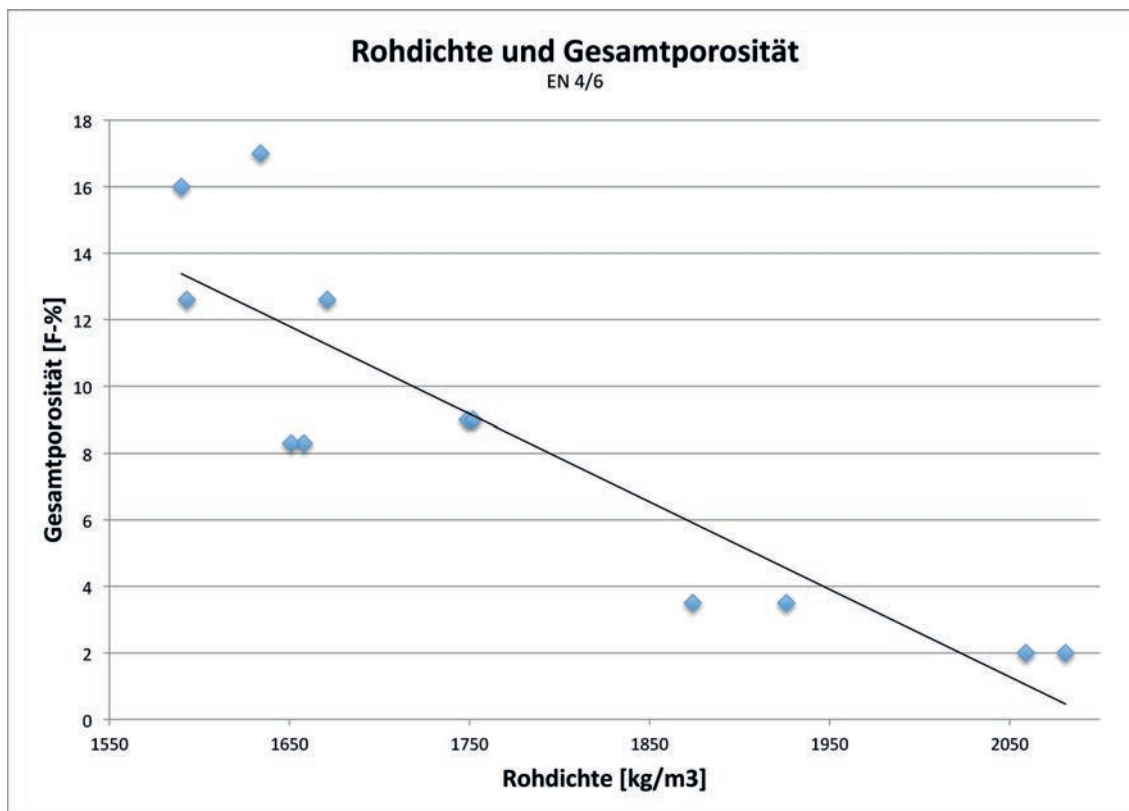


Abb. 209: Lineare Beziehung zwischen über das Tauchverfahren ermittelte Rohdichten und den Gesamtporositäten in A-%, berechnet über digitale Bildanalyse. Je höher die Rohdichte desto geringer die Gesamtporosität. Die Streuung der Werte ist im Vergleich zu Abb. 208 höher, die lineare Beziehung ist dennoch ersichtlich.

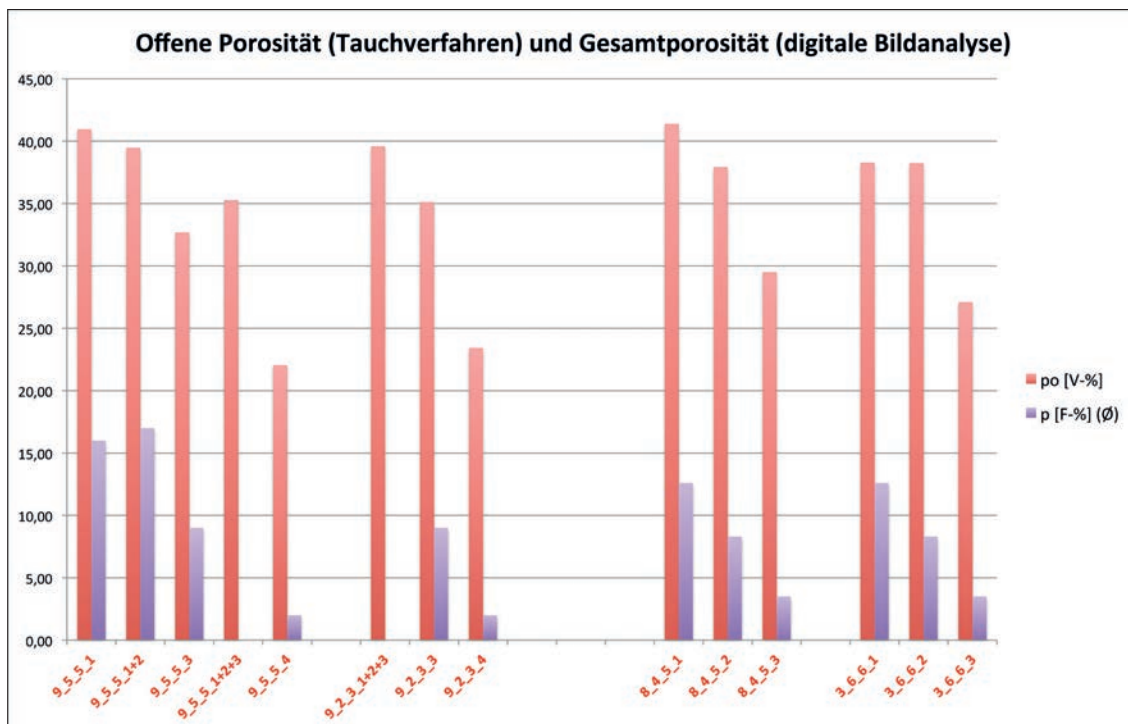


Abb. 210: Werte der offenen Porosität in V-% (rote Säulen) in Gegenüberstellung zu den Werten der Gesamtporosität in A-% (violette Säulen), ermittelt durch digitale Bildanalyse. Die Gesamtporositäten sind bei gleichen Proportionen um etwa 25 % niedriger als die über das Tauchverfahren ermittelten offenen Porositäten.

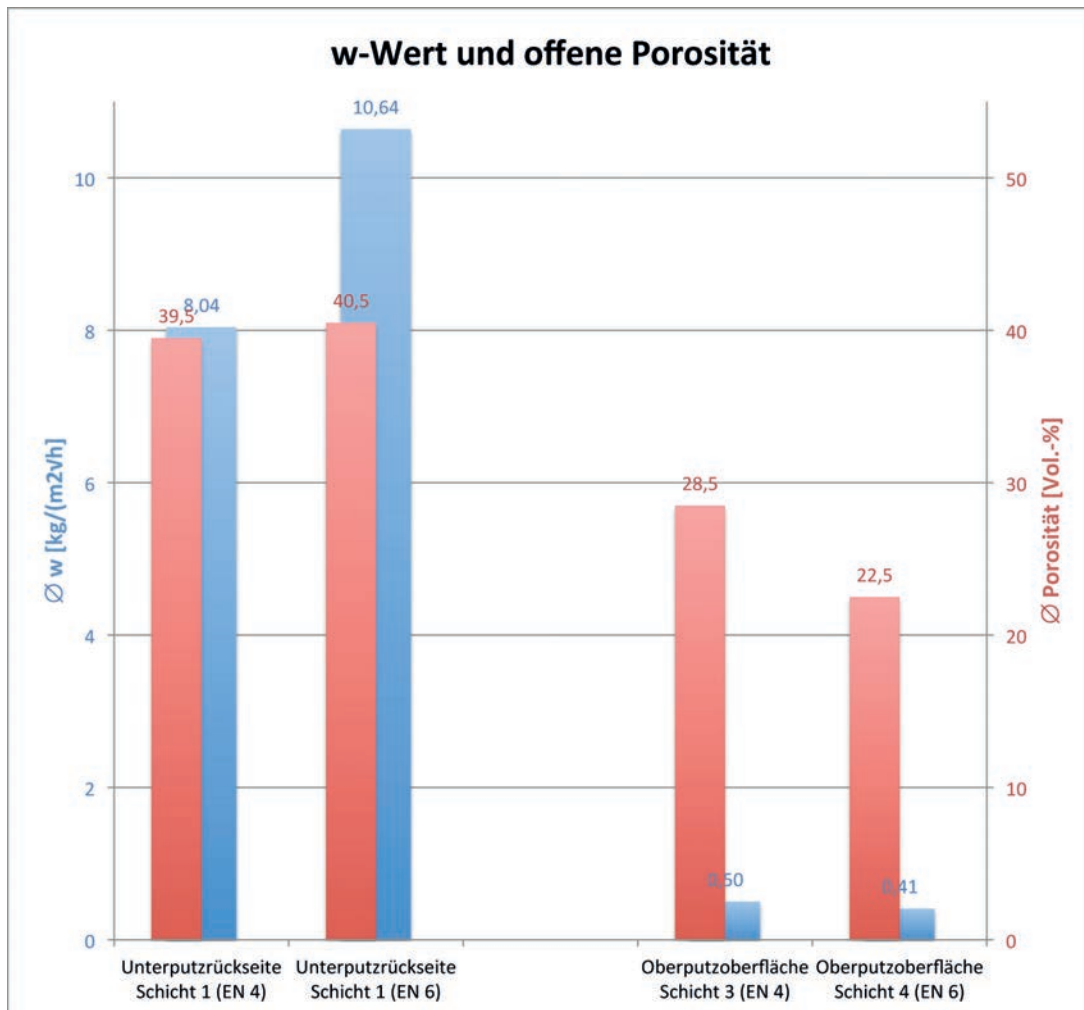


Abb. 211: Gegenüberstellung der mittleren w-Werte (Karsten) und mittleren offenen Porositäten der Unterputzschicht 1 und des Oberputzes beider Gräber. Das Diagramm gibt die Beziehung zwischen kapillarem Saugverhalten und offener Porosität wieder. Eine hohe offene Porosität bedeutet hohe Saugfähigkeit, niedrige Porosität geringe Saugfähigkeit.

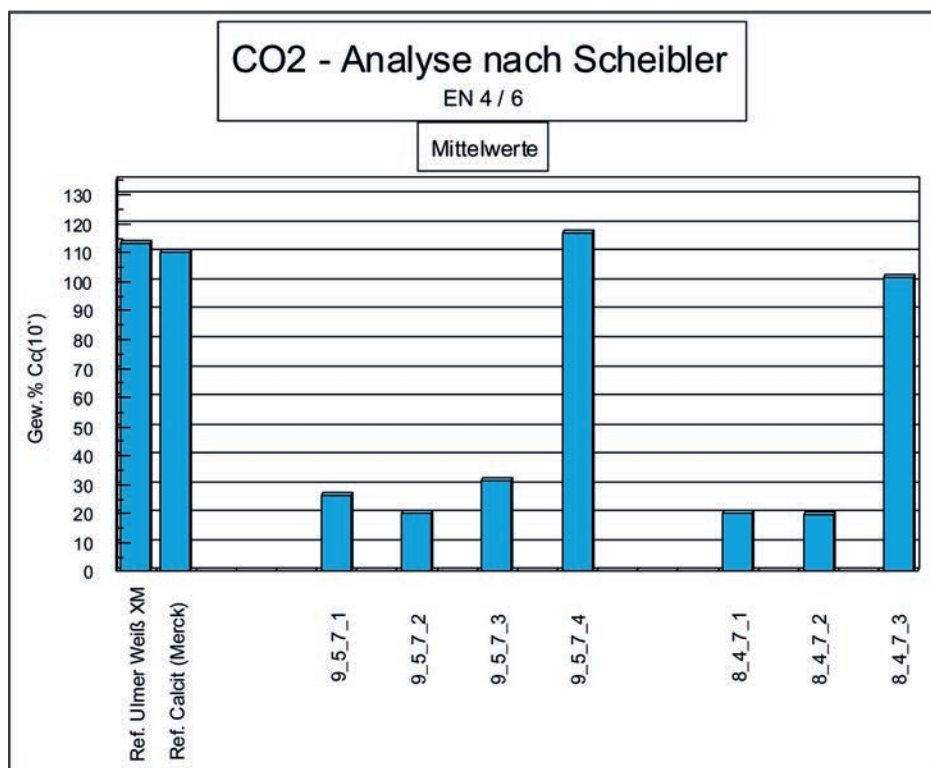
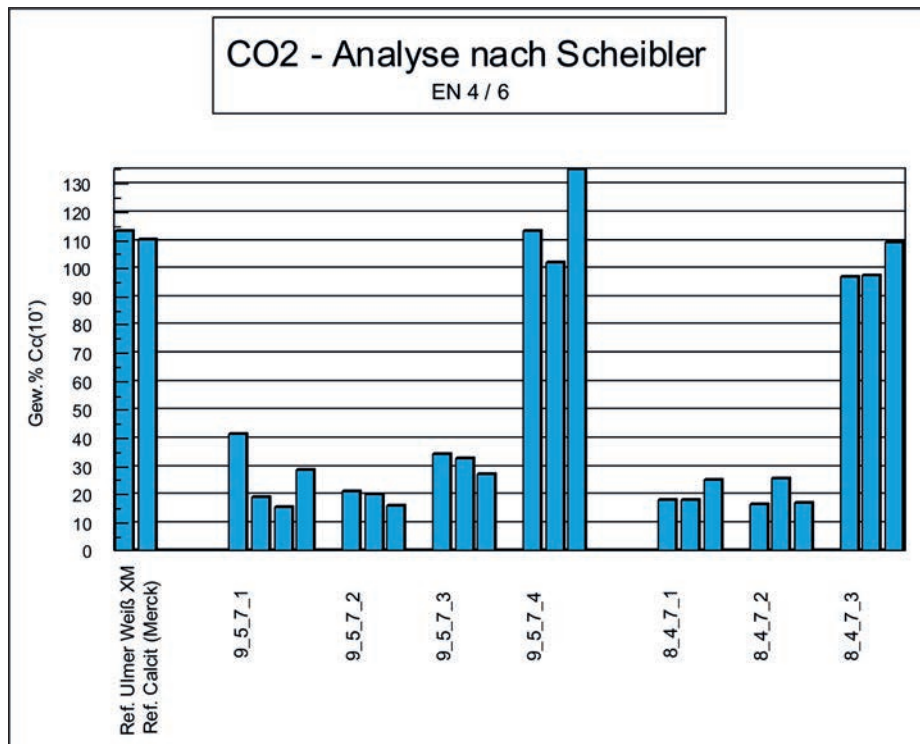


Abb. 212: Gasometrisch bestimmte Gehalte an CaCO₃ mittels Scheibler-Apparat von Proben der Fragmente 9_5 EN 6 (Mitte) und 8_4 EN 4 (rechts) vergleichend zu zwei Referenzproben (links). Das obere Diagramm zeigt die einzelnen Messwerte je Schicht, das untere die entsprechenden Mittelwerte. Die Werte sind berechnet nach Gleichung (1).

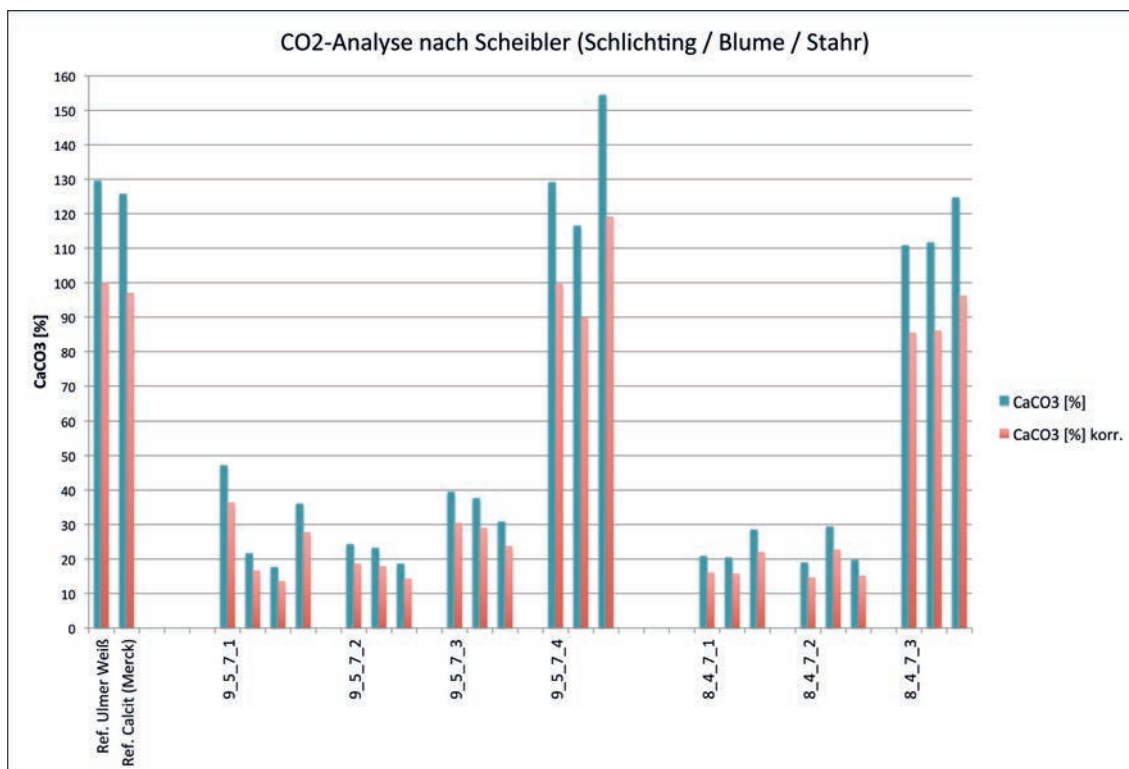


Abb. 213: Gasometrisch bestimmte Gehalte an CaCO₃ mittels Scheibler-Apparat von Proben der Fragmente 9_5 EN 6 (Mitte) und 8_4 EN 4 (rechts) vergleichend zu zwei Referenzproben (links). Die blauen Säulen entsprechen den Werten berechnet nach der Gleichung (2). Die roten Säulen beschreiben die gleichen Werte korrigiert um den Faktor 0,7715 (Differenz der Referenz Ulmer Weiß zu 100 %) nach Gleichung (3).

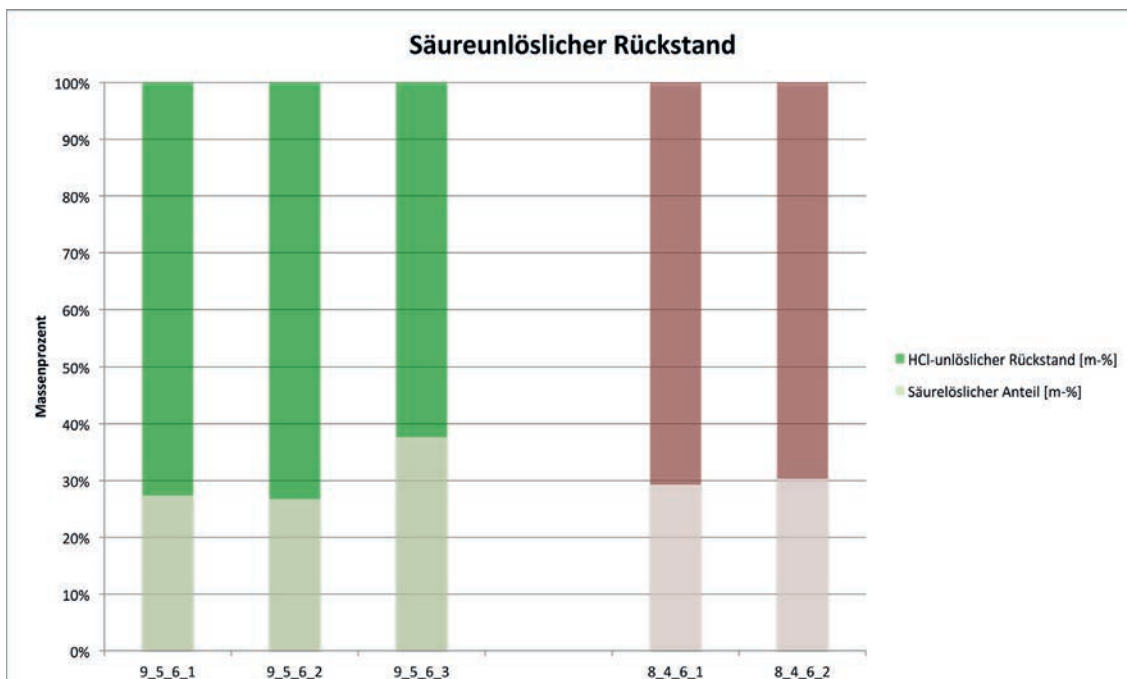


Abb. 214: Massenverhältnisse zwischen säureunlöslichem Rückstand (dunkel) und säurelöslichen Bestandteilen (hell). Links (grün) die Ergebnisse der drei Unterputzschichten des Fragments 9_5 (EN 6), rechts (rot) der zwei Unterputzschichten des Fragments 8_4 (EN 4).

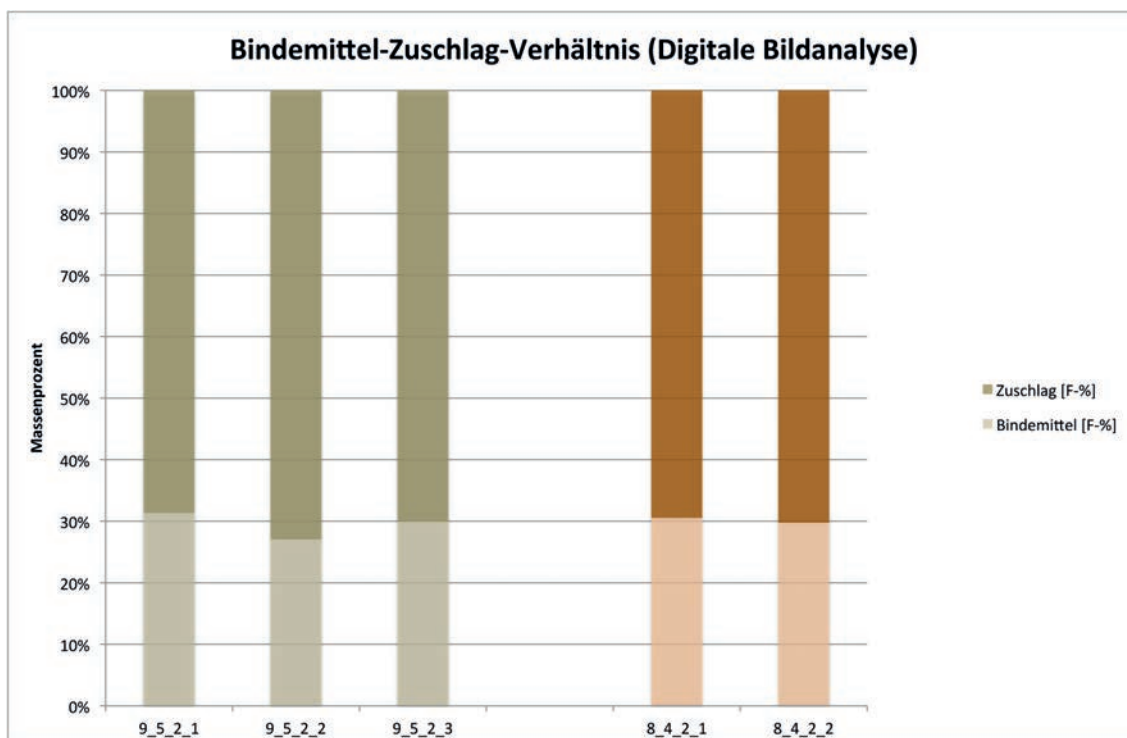


Abb. 215: Aus digitaler Bildanalyse errechnetes Bindemittel (hell) -Zuschlag (dunkel) -Verhältnis der drei Unterputzschichten des Fragments 9_5 (EN 6) (links) und der zwei Unterputzschichten des Fragments 8_4 (EN 4) (rechts). "Kalkgallen" und "Kalkspatzen" sind dem Zuschlag zugerechnet.

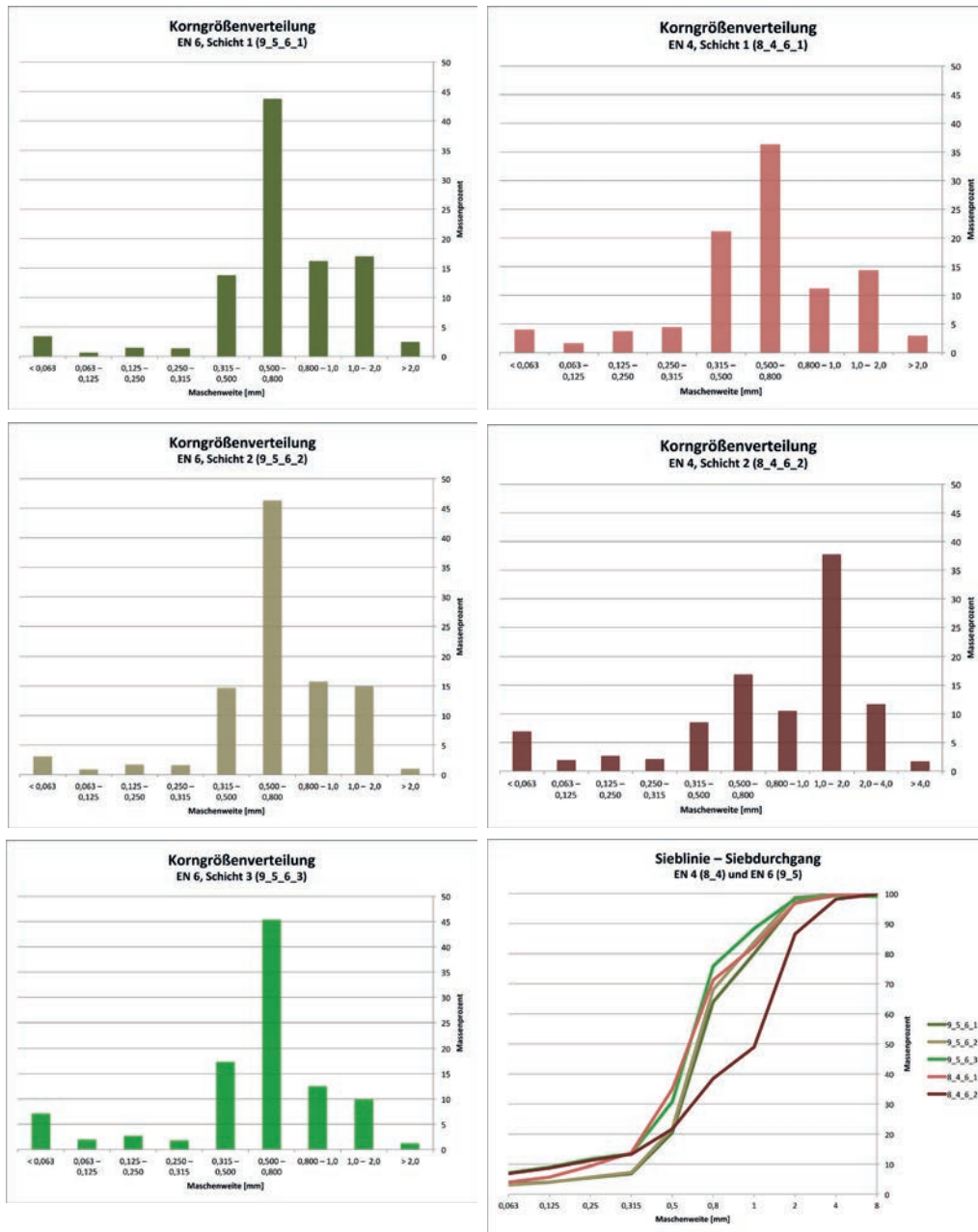


Abb. 216: Korngrößenverteilungen (m-%) der Unterputzschichten aus dem Siebverfahren mit entsprechenden Siebli-
nien (Siebdurchgang in m-%). Links (grün) Unterputzschicht 1, 2 und 3 des Fragments 9_5 (EN 6), rechts (rot)
Unterputzschicht 1 und 2 des Fragments 8_4 (EN 4).

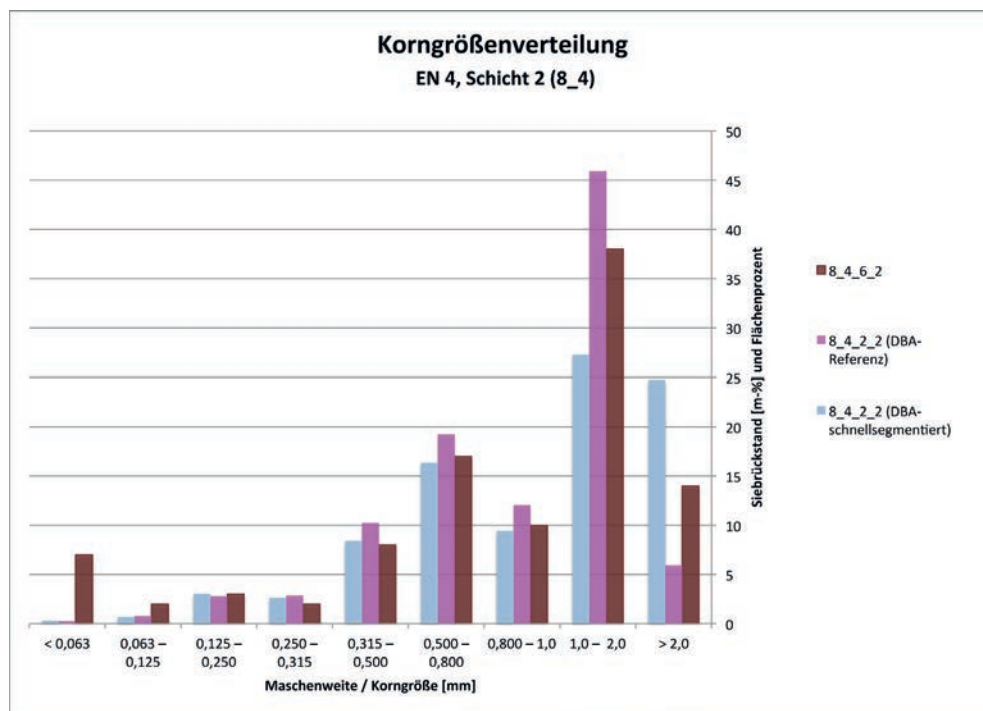
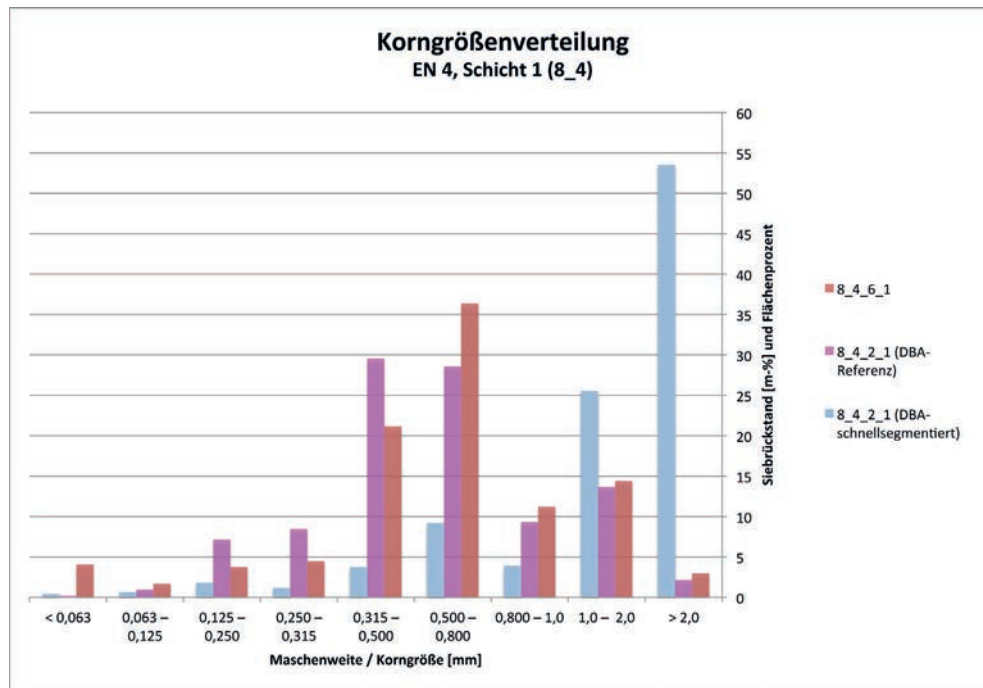


Abb. 217: Korngrößenverteilungen der Unterputzschichten 1 (oben) und 2 (unten) des Grabes EN 4, Fragment 8_4. Vergleichend sind hier die Werte aus dem Siebverfahren in m-% (rot-braun) und aus der digitalen Bildanalyse in A-% mit manueller Segmentierung und Schnellsegmentierung (violett) gegenübergestellt.

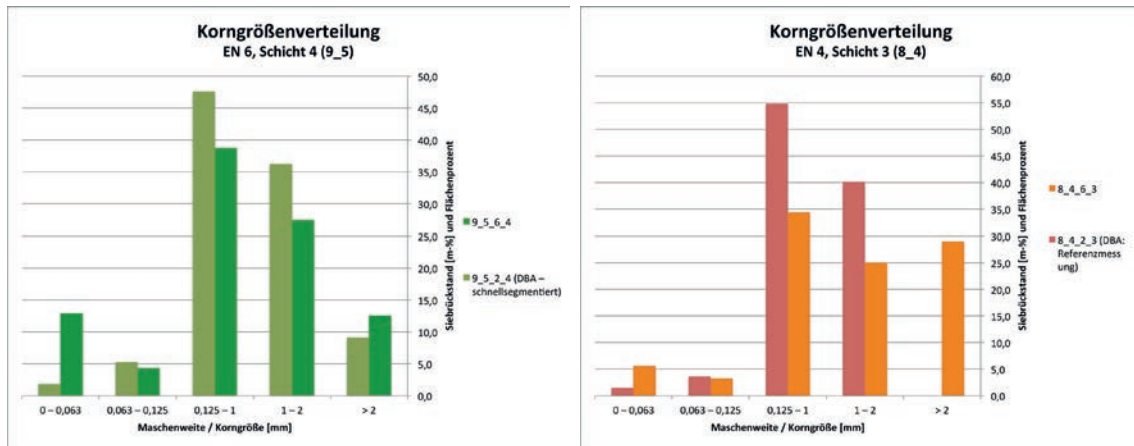


Abb. 218: Korngrößenverteilungen der Oberputze aus Siebverfahren [m-%] und digitaler Bildanalyse [A-%]. Links (grün) Oberputz 9_5 (EN 6), rechts (orange-rot) Oberputz 8_4 (EN 4). Die Korngrößen (8_4) der Bildanalyse sind manuell segmentiert, die Korngrößen (9_5) schnellsegmentiert.

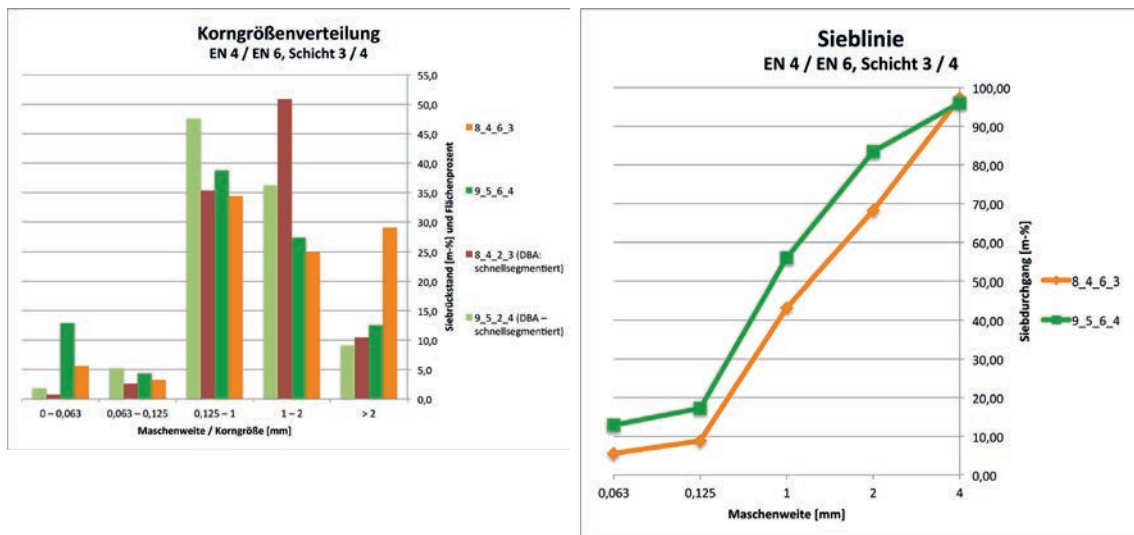


Abb. 219: Links: Korngrößenverteilungen der Oberputze (9_5, EN 6, grün und 8_4, EN 4, orange-rot) aus Siebverfahren [m-%] im Vergleich zu den schnellsegmentierten Korngrößenverteilungen beider Gräber aus digitaler Bildanalyse [A-%]. Rechts: den Korngrößenverteilungen entsprechende Sieblinien aus dem Siebverfahren (Siebdurchgang in m-%).

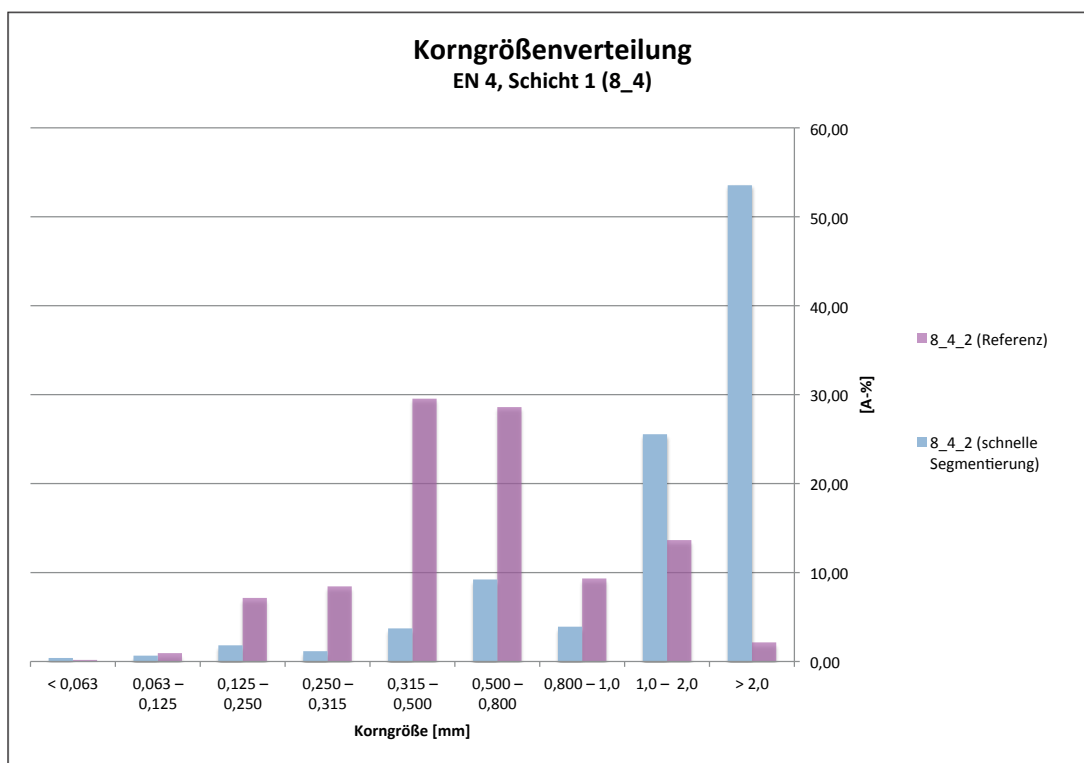


Abb. 220: Balkendiagramm der Ergebnisse der Korngrößenverteilung aus der digitalen Bildanalyse an der Probe 8_4_2 des Grabbaus EN 4. Vergleich der Resultate für die erste Unterputzschicht aus der Schnellsegmentierung (blau) und der Referenzmessung (Lila).

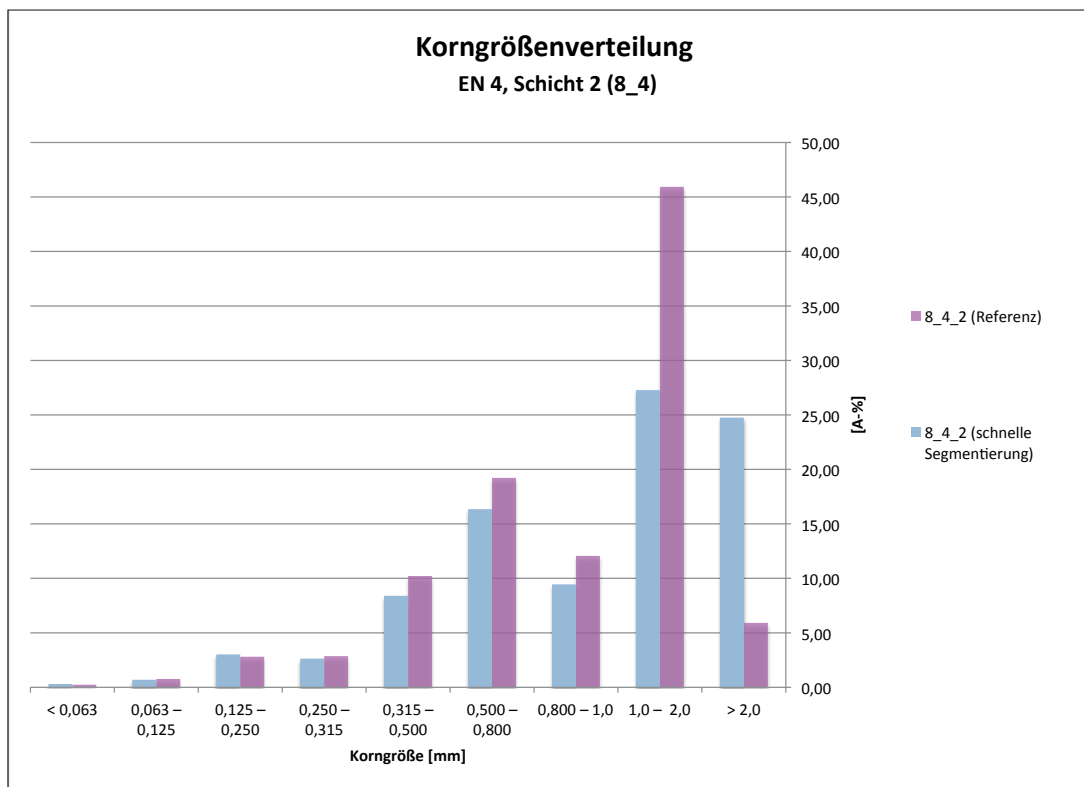


Abb. 221: Balkendiagramm der Ergebnisse der Korngrößenverteilung aus der digitalen Bildanalyse an der Probe 8_4_2 des Grabbaus EN 4. Vergleich der Resultate für die zweite Unterputzschicht aus der Schnellsegmentierung (blau) und der Referenzmessung (Lila).

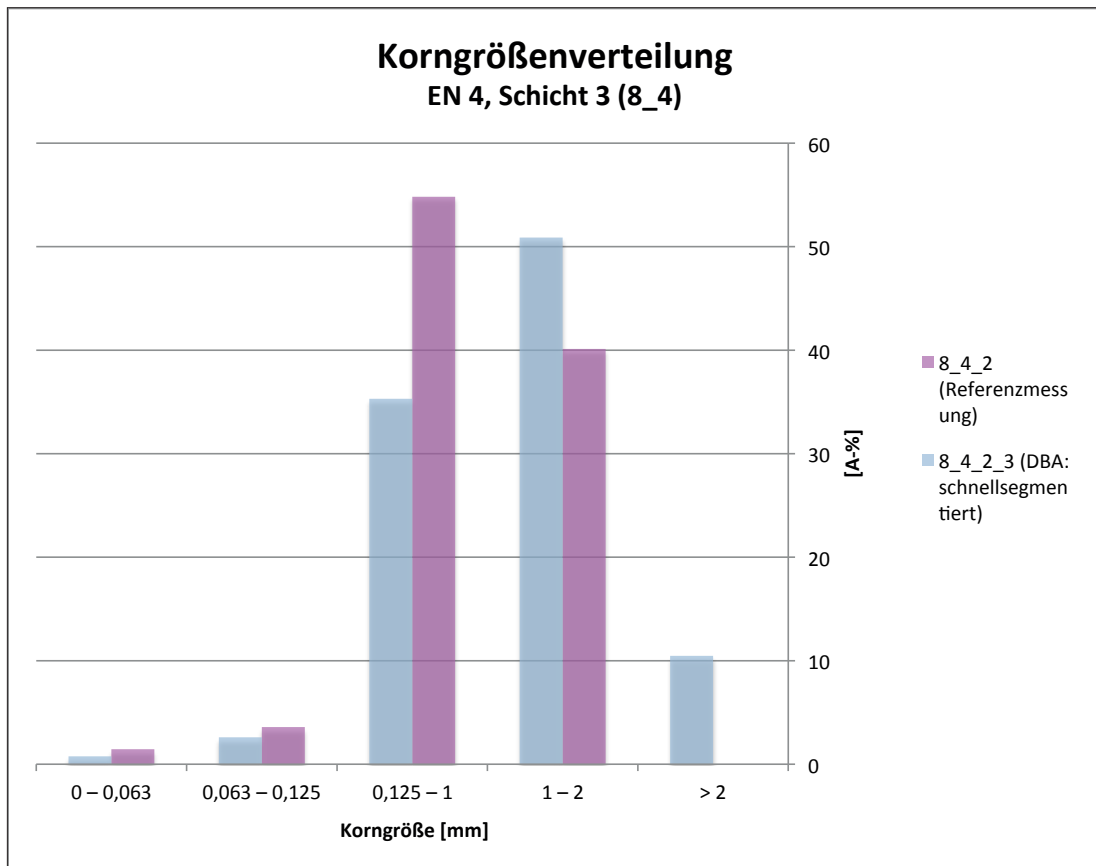


Abb. 222: Balkendiagramm der Ergebnisse der Korngrößenverteilung aus der digitalen Bildanalyse an der Probe 8_4_2 des Grabbaus EN 4. Vergleich der Resultate für den Oberputz aus der Schnellsegmentierung (blau) und der Referenzmessung (Lila).

III Listen

Liste der Untersuchungsergebnisse pro Fragment

Grabmonument	Fragmentnummer	Schicht	Wassertropfeneindringzeit [s] / Randwinkel [°] [Ø]	w-Wert (DIN) [kg/(m ² h)]	w-Wert (Karsten) [kg/(m ² h)]	Rohdichte [kg/m ³]	Offene Porosität (Tauchverfahren) [V-%]	Gesamtporosität (Bildanalyse) [A-%]	Carbonatanteil (CO ₂ -Analyse) [Ø m-%]	Säurelösliches/Säureunlöslicher Rückstand [m-%]	B/Z-Verhältnis inkl. Kalkgallen (Bildanalyse) [A-%]
EN 4	3_1	Oberputz, Schicht 3	1519/90					3,4			54/46
		Unterputz, Schicht 2						9,8			33/67
		Unterputz, Schicht 1						12,9			32/68
	3_6	Oberputz, Schicht 3	1461/90	2,76	0,09	1926,27	27,1		4,7		54/46
		Unterputz, Schicht 2				1650,52	38,24		7,8		29/71
	4_1	Unterputz, Schicht 1			7,86	1671,33	38,28		12,7		30/70
		Oberputz, Schicht 3	134/48		0,99						
		Unterputz, Schicht 2									
	8_3	Unterputz, Schicht 1									
		Oberputz, Schicht 1	38/54	21,75	6,67						
		Unterputz, Schicht 2		11,38	11,4			2,3			40/60
	8_4	Unterputz, Schicht 1							10,5		36/64
		Oberputz, Schicht 3	421/68		0,47	1873,93	29,51		3,6	97,5	
		Unterputz, Schicht 2				1657,71	37,93		8,3	19,9	30 / 70
	9_6	Unterputz, Schicht 1	2/15		9,59	1592,69	41,39		14,5	20,4	29 / 71
Oberputz, Schicht 3		124/30								31 / 69	
Unterputz, Schicht 2											
EN 6	3_7	Unterputz, Schicht 1									
		Oberputz, Schicht 4						1,9			53/47
		Unterputz, Schicht 3						9,8			31/69
	7_1	Unterputz, Schicht 2							18,6		29/71
		Unterputz, Schicht 1							16,9		32/68
		Oberputz, Schicht 2		11,53	1,44						
	7_3	Unterputz, Schicht 1									
		Oberputz, Schicht 4	34/30						3,1		46/54
		Unterputz, Schicht 3							14		26/74
	8_2	Unterputz, Schicht 2							17,4		27/73
		Oberputz, Schicht 1							16,4		29/71
		Unterputz, Schicht 4	287/40	0,27	0,03						
	9_2	Unterputz, Schicht 3									
		Oberputz, Schicht 3									
		Unterputz, Schicht 2	58/38		5,02						
9_5	Oberputz, Schicht 4	27/38		0,72	2058,64	23,43		2,8			
	Unterputz, Schicht 3				1749,07	35,12		8,7		34/66	
	Unterputz, Schicht 2							20,1		30/70	
18_6	Oberputz, Schicht 1	1/0						17		30/70	
	Unterputz, Schicht 2	6/0									
	Oberputz, Schicht 4	27/38	5,58	0,47	2081,12	22,05		1	116,8	45/55	
18_8	Unterputz, Schicht 3				1751,52	32,68		4,2	31,5	38 / 62	
	Oberputz, Schicht 2							15,3		27 / 73	
	Unterputz, Schicht 1	1/0		16,24	1590,13	40,96		14,4	26,2	27 / 73	
18_9	Oberputz, Schicht 2	6/0									
	Unterputz, Schicht 1	1/0									
	Oberputz, Schicht 4	25/10	6,03								
		Oberputz, Schicht 4	37/20								

IV Untersuchungsdatenblätter

Fragment 3_1

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Untersuchungsdatenblatt	
Daten der untersuchten Probe	
Ort	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument	PN_EN_4
Datierung (D'AMBROSIO/DE CARO 1983)	Julisch-claudische Zeit ca. 14–54 n. Chr.
Probennummer Fragment	3_1
Art der Entnahme der Gesamtprobe	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probennahme	23.05. – 27.05.2016
Funktionskontext des Fragments	Wanddekoration, Stuck
Anzahl und Art der Schichten	2 Unterputzschichten, 1 Oberputzschicht
Vollständigkeit des Schichtenpackets	Scheint vollständig, wandseitige Unterseite ist uneben und zeichnet die unregelmäßige Ausgleichsschicht am Mauerwerk ab.
Größe (maximal)	13,2 x 10,3 cm
Gesamtgewicht bei Ausgleichsfeuchte (15.06.2016)	352,4 g (Waage: Sartorius BL31000 / Lehrstuhl RKK)
Anmerkungen	Leichter biogener Bewuchs auf wandseitiger Unterseite Oberputzoberfläche ist weitestgehend intakt
Daten der Einzelproben	
Probennummer Einzelprobe	A 3_1_1, D 3_1_1, A 3_1_2, D 3_1_2
Untersuchte Probenart	Dünnschliff (D) poliert, nicht abgedeckt (4,8 x 4,8 cm) Anschliff (A) poliert
Einbettungsmedium	Epoxidharz GP 20 A 3_1_2, D 3_1_2: blau eingefärbt mit Bluedye von Logitech
Datum der Probennahme	16.06.2016, 11.07.2016
Daten der Untersuchung	
Untersuchungen	Stratigraphie und Gefüge Mineralogisch-petrographische Untersuchung
Untersuchte Aspekte	Stratigraphie, Gefüge, Bindemittel, Zuschlag, Organische Zusätze, Verwitterung
Untersuchungsmethoden	Makroskopische Untersuchung, Stereomikroskopie, Auflichtmikroskopie, Durchlichtmikroskopie / Polarisationsmikroskopie
Verwendete Technik	Lupe 10x, Stereomikroskop Stemi 2000 C (Zeiss), Auflichtmikroskop Leica DMLM, Polarisationsmikroskop Leica DMLP
Durchführende Personen	Edith Aichinger
Labor / Betreuung	Lehrstuhl für Restaurierung (TUM)
Datum	25.06. – 30.07.2016



Gesamtansicht des Putz- / Stuckfragments

Fragment 3_1

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Abkürzungen: O: Oberputz; U: Unterputz; P: Untersuchung in Pompeiji; M: Untersuchung in München; D: Dünnsschliff; A: Anschliff

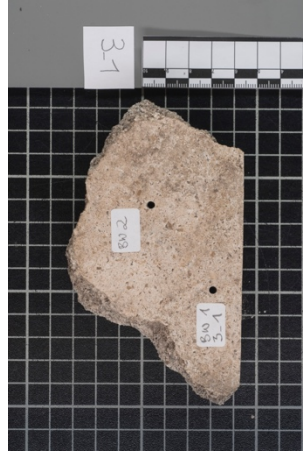
Probenentnahme



Fragment nach Schnitt für Probe 3_1_1



Fragmentunterseite



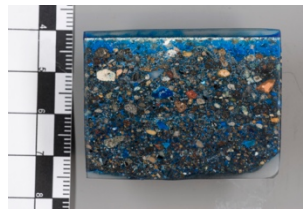
Fragment nach Schnitt für Probe 3_1_2



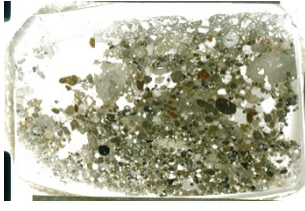
Fragmentunterseite



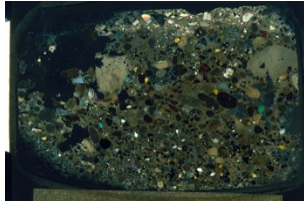
Anschliff 3_1_1



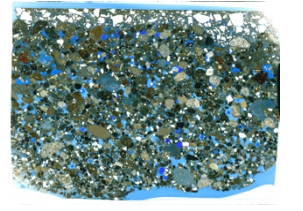
Anschliff 3_1_2



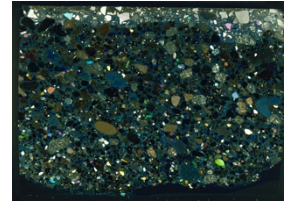
Dünnsschliff 3_1_1



Dünnsschliff 3_1_1 (XPol)



Dünnsschliff 3_1_2



Dünnsschliff 3_1_2 (XPol)

Stratigraphie



Stratigraphie Anschliff 3_1_1



Stratigraphie Anschliff 3_1_2

Probe	Schichtenanzahl	Lagenart	Gesamtstärke	Stärke Schicht 1 (U)	Stärke Schicht 2 (U)	Stärke Schicht 3 (F)
Fragment (P)	3	2 U, 1 O	3 cm	1,2 cm	1,5 cm	0,3 cm
Fragment (M)	3	2 U, 1 O	3 cm	1,2 cm	1,5 cm	0,3 cm
Anschliff 3_1_1	3	2 U, 1 O	2,9 cm	0,6 – 1,1 cm	1,5 cm	0,3 (–0,5) cm
Anschliff 3_1_2	3	2 U, 1 O	3,1 cm	1,1 cm	1,8 cm	0,2 – 0,35 cm (sehr unregelmäßig)

Fragment 3_1

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Untersuchung der Einzelschichten			
Schicht 1 / Unterputz			
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	30 : 70 (in %)
		F (M)	30 : 70 (in %)
		A 3_1_1	30 : 70 (in %) Schwankungen je nach untersuchtem Sektor
		A 3_1_2	30 : 70 (in %) Schwankungen je nach untersuchtem Sektor
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 3_1_1	Überwiegend sehr gut
		D 3_1_1	Überwiegend sehr gut
		A 3_1_2	Überwiegend sehr gut
		D 3_1_2	Überwiegend sehr gut
	Sichtbare Poren %	F (M)	Porosität auch makroskopisch gut zu erkennen
		A 3_1_1	15–20 % (sehr große Ausbrüche von Präparation im Anschliff)
		A 3_1_2	15–20 %
	Porenform	A 3_1_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
		D 3_1_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
		A 3_1_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
		D 3_1_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
			Anmerkungen: Saumpore nur an einem einzigen Zuschlagskorn; Porenform ist überwiegend polymorph
	Porengößen	A 3_1_1	keine Beurteilung möglich aufgrund der Ausbrüche durch den Schnitt
		D 3_1_1	keine Beurteilung möglich aufgrund der Ausbrüche durch den Schnitt
		A 3_1_2	maximal bis 2 mm
		D 3_1_2	maximal bis 2 mm
	Porenverteilung	A 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern
		D 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern
		A 3_1_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern
		D 3_1_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern
			Anmerkungen:
	Risse	A 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel
		D 3_1_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel
		A 3_1_2	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel
D 3_1_2		<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
		Anmerkungen: in den Dünnschliffen sind etwas mehr Risse zu erkennen, allerdings sind diese sehr fein	
Grenze zu nächster Putzschicht	F (M)	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung	
	A 3_1_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung	
	D 3_1_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input checked="" type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung	
	A 3_1_2	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung	
	D 3_1_2	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input checked="" type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung	
	Anmerkungen: Grenze zu Schicht 2 deutlich sichtbar über andere Farbigkeit und Struktur der Matrix sowie über die Sinterhaut		

Fragment 3_1

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – beige
		A 3_1_1	weißlich – beige
		D 3_1_1	Ipol: gräulich-beige mit leichtem Gelbstich Xpol: gräulich-beige, Farbton wird etwas kühler und dunkler
		A 3_1_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung, aber heller als Schicht 2
		D 3_1_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung
	Struktur / Erscheinung	A 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig
		D 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin
		A 3_1_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig
		D 3_1_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin
		Anmerkungen:	
	Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen
		A 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut
		D 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut
		A 3_1_2	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut
		D 3_1_2	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut
		Anmerkung:	
		F (M)	Bis 5 mm
		A 3_1_1	Bis 3 mm
		D 3_1_1	bis 2 mm, zahlreiche sehr kleine Kalkgallen unter 0,2 mm
A 3_1_2	bis 3 mm		
D 3_1_2	bis 2 mm, zahlreiche sehr kleine Kalkgallen unter 0,2 mm		
Anmerkung: Kalkgallen zeigen zum Teil unterschiedliche Zonen			
Vermutete Bindemittelart	D 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk	
	D 3_1_2	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk	
	Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar		
Vermutete Bindemittelform	D 3_1_1	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten	
	D 3_1_2	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten	
	Anmerkung: es finden sich nur ganz vereinzelt Säume um Zuschläge (meist Gläser) die auf hydraulische Reaktionen hindeuten könnten		
Zuschlag	Sortierung	F (P)	<input type="checkbox"/> sehr gut <input checked="" type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut <input checked="" type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht
		A 3_1_1	<input type="checkbox"/> sehr gut <input checked="" type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht
		A 3_1_2	<input type="checkbox"/> sehr gut <input checked="" type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht
		Anmerkung:	
		Anmerkung:	
Korngrößenverteilung	Korngrößenverteilung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Vereinzelt Größtkorn: 5–6 mm; viel 1–2 mm
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal viel 0,5 – 2 mm
		A 3_1_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Dominanter Anteil von 0,5 bis 1 mm, vereinzelt Größtkorn über 2 mm
		A 3_1_2	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Dominanter Anteil von 0,5 bis 1 mm, vereinzelt Größtkorn über 2 mm
		Anmerkung:	
		Anmerkung:	

Fragment 3_1

Makro- und mikroskopische Untersuchung

	Rundungsgrad	F (P)	Alle Kornformen Tendenziell gut gerundet
		F (M)	Mittelmäßig gerundet, angerundet, subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6)
		A 3_1_1	Alle Kornformen Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind
		A 3_1_2	Alle Kornformen Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind
			Anmerkung: Polymorphe haben porphyrisches Gefüge
	Mischungsverteilung	A 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich <input type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
		A 3_1_2	<input checked="" type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich <input type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
			Anmerkung:
		F (P)	eher bunt
		F (M)	bunt aber viel schwarz-gräulich
		A 3_1_1	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün, braun, braunrot, rot, gelb
		A 3_1_2	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün, braun, braunrot, rot, gelb
			Anmerkung:
	Mineralogisch-petrographischer Bestand	D 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente <input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Quarz, Feldspäte Carbonate
		D 3_1_2	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente <input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Quarz, Feldspäte Carbonate
			Anmerkung:
	Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel	D 3_1_1	Vereinzel Säume um Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser
		D 3_1_2	Vereinzel Säume um Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser
			Anmerkung:
	Organische Zusätze	F (M)	Keine erkennbar
		A 3_1_1	Keine erkennbar
		D 3_1_1	Keine erkennbar
		A 3_1_2	Keine erkennbar
		D 3_1_2	Keine erkennbar
	Verwitterung	D 3_1_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
		D 3_1_2	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
			Anmerkung: keine zu erkennen
	Biogener Bewuchs / Einlagerungen	F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Biogener Bewuchs v. a. an Fragmenträndern
		A 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Biogener Bewuchs in Poren, BM Fehlstellen Biogener Bewuchs v. a. an Fragmenträndern
		D 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Biogener Bewuchs in Poren
		A 3_1_2	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Beschreibung: großer Anteil an biogenen Strukturen in Porenräumen vor allem gegen Schichtunterseite
		D 3_1_2	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Beschreibung: großer Anteil an biogenen Strukturen in Porenräumen vor allem gegen Schichtunterseite
			Anmerkung: Ursache des biogenen Bewuchses liegt vermutlich daran, das das Fragment lange auf dem Erdreich lag.

Fragment 3_1

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Schicht 2 / Unterputz				
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis	
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	30 : 70 (in %)	
		F (M)	30 : 70 (in %)	
		A 3_1_1	30 : 70 (in %) insgesamt sehr inhomogen, je nach untersuchtem Sektor anderer Eindruck	
		A 3_1_2	30 : 70 (in %)	
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 3_1_1	Überwiegend sehr gut	
		D 3_1_1	Überwiegend sehr gut	
		A 3_1_2	Überwiegend sehr gut	
		D 3_1_2	Überwiegend sehr gut	
	Sichtbare Poren %	F (M)	Porosität gut zu erkennen	
		A 3_1_1	Nicht zu bestimmen wegen Ausbrüche im Anschliff	
		A 3_1_2	etwa 10-15 %	
	Porenform	A 3_1_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		D 3_1_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		A 3_1_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		D 3_1_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
				Anmerkungen: Saumporen extrem selten, fanden sich nur an zwei kleinen Körnern; Porenform ist überwiegend polymorph
	Porengrößen	A 3_1_1	keine Beurteilung möglich aufgrund der Ausbrüche durch Präparation	
		D 3_1_1	keine Beurteilung möglich aufgrund der Ausbrüche durch Präparation	
		A 3_1_2	maximal bis 2 mm	
		D 3_1_2	maximal bis 2 mm	
	Porenverteilung	A 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		D 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		A 3_1_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		D 3_1_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
				Anmerkungen:
	Risse	A 3_1_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
		D 3_1_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
		A 3_1_2	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
D 3_1_2		<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
			Anmerkungen: in den Dünnschliffen sind etwas mehr Risse zu erkennen, allerdings sind diese sehr fein	
Grenze zu nächster Putzschicht	F (M)		<input checked="" type="checkbox"/> Ablösung	
	A 3_1_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input checked="" type="checkbox"/> Ablösung		
	D 3_1_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input checked="" type="checkbox"/> Sinterhaut <input checked="" type="checkbox"/> Ablösung		
	A 3_1_2	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input checked="" type="checkbox"/> Ablösung		
	D 3_1_2	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input checked="" type="checkbox"/> Sinterhaut <input checked="" type="checkbox"/> Ablösung		
			Anmerkungen: Übergang zu Schicht 3 ist sehr unregelmäßig, nicht gerade; teilweise sind die großen Körner in Schicht 3 verzahnt Ablösungspalt zu Schicht 3 teilweise durchgängig, teilweise nur partiell sichtbar.	

Fragment 3_1

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Bindemittel	Farbe	F (M)	Leicht bräunlich			
		A 3_1_1	Hell bräunlich			
		D 3_1_1	Ipol: gräulich-beige, leicht bräunlich Xpol: gräulich-beige, leicht bräunlich			
		A 3_1_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung aber dunkler als Schicht 1			
		D 3_1_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung			
		Struktur / Erscheinung	A 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen	<input type="checkbox"/> inhomogen	<input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig	☐ grobkörnig
	D 3_1_1		<input type="checkbox"/> homogen	<input checked="" type="checkbox"/> inhomogen	<input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig	<input type="checkbox"/> grobkörnig
			<input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin	<input type="checkbox"/> kryptokristallin		
	A 3_1_2		<input checked="" type="checkbox"/> homogen	<input type="checkbox"/> inhomogen	<input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig	<input type="checkbox"/> grobkörnig
	D 3_1_2		<input type="checkbox"/> homogen	<input checked="" type="checkbox"/> inhomogen	<input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig	<input type="checkbox"/> grobkörnig
			<input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin	<input type="checkbox"/> kryptokristallin		
		Anmerkungen: Inhomogenität äußert sich in bräunlichen, punkartigen Flecken und durch bräunliche Säume um Feinstzuschlag				
	Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen			
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen			
		A 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen	<input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein		
			<input type="checkbox"/> Kalkspatzen	<input type="checkbox"/> mit Sinterhaut		
		D 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen	<input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein		
			<input type="checkbox"/> Kalkspatzen	<input type="checkbox"/> mit Sinterhaut		
		A 3_1_2	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen	<input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein		
			<input type="checkbox"/> Kalkspatzen	<input type="checkbox"/> mit Sinterhaut		
D 3_1_2		<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen	<input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein			
		<input type="checkbox"/> Kalkspatzen	<input type="checkbox"/> mit Sinterhaut			
	Anmerkung:					
Bindemittelähnliche Partikel: Größe	F (M)	Bis 5 mm				
	A 3_1_1	Bis 7 mm				
	D 3_1_1	bis 7 mm				
	A 3_1_2	bis 3 mm				
	D 3_1_2	bis 3 mm				
		Anmerkung: Kalkgallen zeigen zum Teil unterschiedliche Zonen, teilweise mit leichten Verunreinigungen				
Vermutete Bindemittelart	D 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk	<input type="checkbox"/> Dolomitkalk	<input type="checkbox"/> Sonstiges		
		<input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk				
	D 3_1_2	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk	<input type="checkbox"/> Dolomitkalk	<input type="checkbox"/> Sonstiges		
		<input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk				
	Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar					
Vermutete Bindemittelform	D 3_1_1	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk	<input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk			
		<input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten				
	D 3_1_2	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk	<input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk			
		<input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten				
	Anmerkung: möglicherweise handelt es sich bei dem Feinstzuschlag teilweise um Puzzolan, auch ein natürlich hydraulischer Mörtel kann nicht ausgeschlossen werden					
Zuschlag	Sortierung	F (P)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input checked="" type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> mäßig	
			<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht		
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input checked="" type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> mäßig	
			<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht		
		A 3_1_1	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig	
			<input checked="" type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht		
A 3_1_2	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig			
	<input checked="" type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht				
	Anmerkung:					
Korngrößenverteilung		F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt	
			<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal		
			Vereinzel Größtkorn: 5–6 mm; viel 1–2 mm			
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt	
			<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal		
			viel 0,5 – 2 mm			
		A 3_1_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt	
	<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input checked="" type="checkbox"/> bimodal				
	Dominanter Anteil von 1 bis 2 mm, vereinzel Größtkorn über 2 mm					
A 3_1_2	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt			
	<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input checked="" type="checkbox"/> bimodal				
	Dominanter Anteil von 1 bis 2 mm, vereinzel Größtkorn bis 4 mm					
	Anmerkung: Es ist ein deutlich höherer Anteil an Feinstzuschlag zu erkennen als bei Schicht 1, im Dünnschliff viel unter 0,2 mm zu erkennen					

Fragment 3_1

Makro- und mikroskopische Untersuchung

	Rundungsgrad	F (P)	Alle Kornformen Tendenziell gut gerundet	
		F (M)	Mittelmäßig gerundet, angerundet, subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6)	
		A 3_1_1	Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind	
		A 3_1_2	Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind	
			Anmerkung:	
	Mischungsverteilung	A 3_1_1	<input type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich <input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich	
		A 3_1_2	<input type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich <input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich	
			Anmerkung: der Feinstanteil könnte Fraktioniert und extra zugesetzt sein	
		F (P)	eher bunt	
		F (M)	bunt aber viel schwarz-gräulich	
		A 3_1_1	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün. braun, braunrot, rot, gelb	
		A 3_1_2	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün. braun, braunrot, rot, gelb	
			Anmerkung:	
	Mineralogisch-petrographischer Bestand	D 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Carbonate	<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Quarz, Feldspäte und unterschiedlichste Weitere
		D 3_1_2	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Carbonate	<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Quarz, Feldspäte und unterschiedlichste Weitere
			Anmerkung: Es sind vereinzelt auch Ziegel, oder ziegelähnliche Körner zu erkennen	
	Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel	D 3_1_1	Häufig sind bräunliche Säume um die Feinskörner zu erkennen Vereinzelt Säume um größere Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser	
		D 3_1_2	Häufig sind bräunliche Säume um die Feinskörner zu erkennen Vereinzelt Säume um größere Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser	
			Anmerkung:	
Organische Zusätze		F (M)	Keine erkennbar	
		A 3_1_1	Keine erkennbar	
		D 3_1_1	Keine erkennbar	
		A 3_1_2	Keine erkennbar	
		D 3_1_2	Keine erkennbar	
Verwitterung	Sekundäre Phasenbildung	D 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> Rekristallisation	<input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
		D 3_1_2	<input type="checkbox"/> Rekristallisation	<input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
			Anmerkung: Rekristallisation nur an einer einzigen Stelle zu erkennen, in einem Riss zwischen zwei Zuschlagskörner	
	Biogene Einlagerungen	F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	Wenig biogener Bewuchs an den Kanten
		A 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	biogener Bewuchs in Poren und Matrix
		D 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	Biogener Bewuchs in Poren
		A 3_1_2	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	geringer Anteil an biogenen Strukturen in Porenräumen
		D 3_1_2	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	geringer Anteil an biogenen Strukturen in Porenräumen
			Anmerkung: Fragment lag lange auf dem Erdreich	

Fragment 3_1

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Schicht 3 / Oberputz				
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis	
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	40 : 60 (in %)	
		F (M)	40 : 60 (in %)	
		A 3_1_1	50 : 50 (in %)	
		A 3_1_2	50 : 50 (in %)	
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 3_1_1	Überwiegend sehr gut	
		D 3_1_1	Überwiegend sehr gut	
		A 3_1_2	Überwiegend sehr gut	
		D 3_1_2	Überwiegend sehr gut	
	Sichtbare Poren %	F (M)	Poren nicht zu erkennen, wirkt kompakt	
		A 3_1_1	1–3% (inklusive der Risse)	
		D 3_1_1	3% (inklusive der Risse)	
		A 3_1_2	1–3% (inklusive der Risse)	
	Porenform	A 3_1_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	<input checked="" type="checkbox"/> polymorph
		D 3_1_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> Saumporen	<input checked="" type="checkbox"/> polymorph
		A 3_1_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	<input checked="" type="checkbox"/> polymorph
		D 3_1_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	<input checked="" type="checkbox"/> polymorph
			Anmerkungen: Überwiegend polymorphe Poren, die wenigen runden sind sehr klein	
	Porengrößen	A 3_1_1	keine Beurteilung möglich aufgrund der Ausbrüche durch den Schnitt	
		D 3_1_1	keine Beurteilung möglich aufgrund der Ausbrüche durch den Schnitt	
		A 3_1_2	maximal bis 0,5 mm	
		D 3_1_2	maximal bis 0,5 mm	
	Porenverteilung	A 3_1_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		D 3_1_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		A 3_1_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		D 3_1_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
			Anmerkungen: hierbei wurden nur die Poren und nicht die Risse betrachtet	
	Risse	A 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> horizontal <input type="checkbox"/> wenige <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> zahlreich <input checked="" type="checkbox"/> schief <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
D 3_1_1		<input checked="" type="checkbox"/> horizontal <input type="checkbox"/> wenige <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> zahlreich <input checked="" type="checkbox"/> schief <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
A 3_1_2		<input type="checkbox"/> horizontal <input type="checkbox"/> wenige <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> zahlreich <input checked="" type="checkbox"/> schief <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
D 3_1_2		<input type="checkbox"/> horizontal <input type="checkbox"/> wenige <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> zahlreich <input checked="" type="checkbox"/> schief <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
		Anmerkungen: Risse sind überwiegend vertikal (zickzack-Risse) und gehen meist von der Oberfläche oder von der Grenze zu Schicht 2 aus. Teilweise auch Risse zwischen den Zuschlägen		
Oberfläche	F (M)	<input type="checkbox"/> Ablösung		
	A 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	D 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	A 3_1_2	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	D 3_1_2	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
		Anmerkungen:		

Fragment 3_1

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – Beige				
		A 3_1_1	weißlich – Beige				
		D 3_1_1	Ipol: Beige Xpol: gräulich-Beige				
		A 3_1_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung				
		D 3_1_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung				
	Struktur / Erscheinung	A 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen	<input type="checkbox"/> inhomogen	<input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig	<input type="checkbox"/> grobkörnig	
		D 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen	<input type="checkbox"/> inhomogen	<input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig	<input type="checkbox"/> grobkörnig	
		A 3_1_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen	<input type="checkbox"/> inhomogen	<input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig	<input type="checkbox"/> grobkörnig	
		D 3_1_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen	<input type="checkbox"/> inhomogen	<input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig	<input type="checkbox"/> grobkörnig	
			<input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin	<input type="checkbox"/> kryptokristallin			
		Anmerkungen:					
	Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input type="checkbox"/> Kalkgallen				
		F (M)	<input type="checkbox"/> Kalkgallen				
		A 3_1_1	<input type="checkbox"/> Kalkspatzen	<input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	<input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein		
		D 3_1_1	<input type="checkbox"/> Kalkspatzen	<input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	<input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein		
		A 3_1_2	<input type="checkbox"/> Kalkspatzen	<input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	<input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein		
		D 3_1_2	<input type="checkbox"/> Kalkspatzen	<input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	<input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein		
			Anmerkung:				
		Bindemittelähnliche Partikel: Größe	F (M)	-----			
			A 3_1_1	-----			
D 3_1_1			-----				
A 3_1_2	-----						
D 3_1_2	-----						
	Anmerkung:						
Vermutete Bindemittelart	D 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk	<input type="checkbox"/> Dolomitkalk	<input type="checkbox"/> Sonstiges			
	D 3_1_2	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk	<input type="checkbox"/> Dolomitkalk	<input type="checkbox"/> Sonstiges			
		<input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk					
	Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar						
Vermutete Bindemittelform	D 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> Sumpfkalk	<input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten	<input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk			
	D 3_1_2	<input checked="" type="checkbox"/> Sumpfkalk	<input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten	<input type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk			
	Anmerkung:						
Zuschlag	Sortierung	F (P)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input checked="" type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> mäßig		
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input checked="" type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> mäßig		
		A 3_1_1	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> mäßig		
		A 3_1_2	<input checked="" type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht			
			<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht			
			<input checked="" type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht			
	Anmerkung:						
	Korngrößenverteilung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt		
		F (M)	<input type="checkbox"/> klastgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt		
		A 3_1_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> matrixgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt		
		A 3_1_2	<input type="checkbox"/> klastgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> matrixgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt		
			<input type="checkbox"/> polymodal	<input checked="" type="checkbox"/> bimodal			
	auffällig hoher Anteil an 1–2 mm						
	Dominanter Anteil von 1 bis 2 mm und unter 0,5 mm, vereinzelt Größtkorn bis 3 mm						
	auffälliger Anteil von 1 bis 2 mm und unter 0,5 mm, vereinzelt Größtkorn bis 3 mm						
	Anmerkung: Im Dünnschliff auch Feinskorn zu erkennen						

Fragment 3_1

Makro- und mikroskopische Untersuchung

	Rundungsgrad	F (P)	Scharfkantig, Spaltflächen
		F (M)	Scharfkantig, Spaltflächen
		A 3_1_1	sehr angular (0,1) bis vollständig ungerundet, scharfkantig, angular (0,2) bis schlecht gerundet, kantengerundet, subangular (0,3)
		A 3_1_2	sehr angular (0,1) bis vollständig ungerundet, scharfkantig, angular (0,2) bis schlecht gerundet, kantengerundet, subangular (0,3)
			Anmerkung: wurde zerkleinert, gebrochen
	Mischungsverteilung	A 3_1_1	<input type="checkbox"/> natürlich <input checked="" type="checkbox"/> künstlich <input type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
		A 3_1_2	<input type="checkbox"/> natürlich <input checked="" type="checkbox"/> künstlich <input type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
			Anmerkung: wurde zerkleinert, gebrochen
		F (P)	Transparent farblos bis leicht gelblich
		F (M)	Transparent farblos bis leicht gelblich
		A 3_1_1	Transparent farblos bis leicht gelblich
		A 3_1_2	Transparent farblos bis leicht gelblich
			Anmerkung:
	Mineralogisch-petrographischer Bestand	D 3_1_1	<input type="checkbox"/> Gesteinsfragmente <input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Calcit
		D 3_1_2	<input type="checkbox"/> Gesteinsfragmente <input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Calcit
			Anmerkung:
	Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel	D 3_1_1	keine
		D 3_1_2	keine
			Anmerkung:
Organische Zusätze		F (M)	Keine erkennbar
		A 3_1_1	Keine erkennbar
		D 3_1_1	Keine erkennbar
		A 3_1_2	Keine erkennbar
		D 3_1_2	Keine erkennbar
Verwitterung	Sekundäre Phasenbildung	D 3_1_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
		D 3_1_2	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
			Anmerkung: Keine erkennbar
	Biogene Einlagerungen	F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Wenig biogener Bewuchs an den Kanten
		A 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Nur minimaler Biogener Bewuchs
		D 3_1_1	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein minimal
		A 3_1_2	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		D 3_1_2	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
			Anmerkung:

Fragment 3_6

Makro- und Mikroskopische Untersuchung

Untersuchungsdatenblatt	
Daten der untersuchten Probe	
Ort	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument	PN_EN_4
Datierung (D'AMBROSIO/DE CARO 1983)	Julisch-claudische Zeit ca. 14–54 n. Chr.
Probennummer Fragment	3_6
Art der Entnahme der Gesamtprobe	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probennahme	23.05. – 27.05.2016
Funktionskontext des Fragments	Wanddekoration, Stuck
Anzahl und Art der Schichten	2 Unterputzschichten, 1 Oberputzschicht
Vollständigkeit des Schichtenpackets	scheint vollständig, wandseitige Unterseite ist uneben und zeichnet die unregelmäßige Ausgleichsschicht am Mauerwerk ab.
Größe (maximal)	10,7 x 9,4 cm
Gesamtgewicht bei Ausgleichsfeuchte (15.06.2016)	281,7 g (Waage: Sartorius BL31000 / Lehrstuhl RKK)
Anmerkungen	Putzaufbau scheint vollständig, wandseitige Unterseite ist uneben und zeichnet die unregelmäßige Ausgleichsschicht am Mauerwerk ab. Leichter biogener Bewuchs auf wandseitiger Unterseite der Schicht 1. Feinputzoberfläche ist weitestgehend intakt
Daten der Einzelproben	
Probennummer Einzelprobe	A 3_6_1, D 3_6_1
Untersuchte Probenart	Dünnschliff (D) poliert, nicht abgedeckt (4,8 x 4,8 cm) Anschliff (A) poliert
Einbettungsmedium	Epoxidharz GP 20, blau eingefärbt mit Bluedye von Logitech
Datum der Probennahme	11.07.2016
Daten der Untersuchung	
Untersuchungen	Stratigraphie und Gefüge Mineralogisch-petrographische Untersuchung
Untersuchte Aspekte	Stratigraphie, Gefüge, Bindemittel, Zuschlag, Organische Zusätze, Verwitterung
Untersuchungsmethoden	Makroskopische Untersuchung, Stereomikroskopie, Auflichtmikroskopie, Durchlichtmikroskopie / Polarisationsmikroskopie
Verwendete Technik	Lupe 10x, Stereomikroskop Stemi 2000 C (Zeiss), Auflichtmikroskop Leica DMLM, Polarisationsmikroskop Leica DMLP
Durchführende Personen	Edith Aichinger
Labor / Betreuung	Lehrstuhl für Restaurierung (TUM)
Datum	25.06. – 30.07.2016



Gesamtansicht des Putz- / Stuckfragments

Fragment 3_6

Makro- und Mikroskopische Untersuchung

Abkürzungen: O: Oberputz; U: Unterputz; P: Untersuchung in Pompeji; M: Untersuchung in München; D: Dünnschliff; A: Anschliff

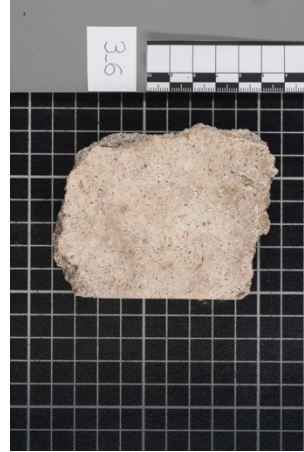
Probenentnahme



Fragment vor der Probenentnahme



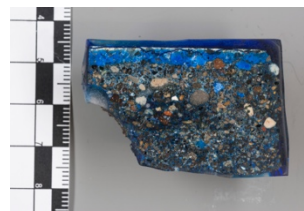
Fragmentunterseite



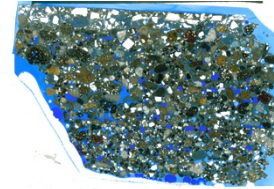
Fragment nach Schnitt für Probe 3_6_1



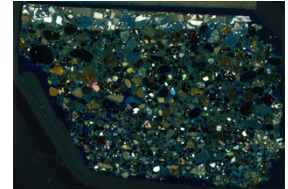
Fragmentunterseite nach Schnitt



Anschliff 3_6_1

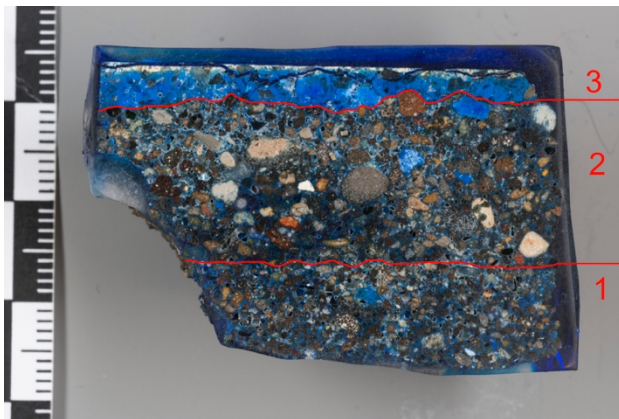


Dünnschliff 3_6_1



Dünnschliff 3_6_1 (XPol)

Stratigraphie



Stratigraphie Anschliff 3_6_1

Stratigraphie Anschliff 3_1_2

Probe	Schichtenanzahl	Lagenart	Gesamtstärke	Stärke Schicht 1 (U)	Stärke Schicht 2 (U)	Stärke Schicht 3 (F)
Fragment (P)	3	2 U, 1 O	2,8 cm	0,8 cm	1,8 cm	0,2 cm
Fragment (M)	3	2 U, 1 O	2,8 cm	0,8 – 1 cm	1,3 – 1,8 cm	0,2 cm
Anschliff 3_6_1	3	2 U, 1 O	2,8 cm	0,6 – 1 cm	1,4	0,25 – 0,4 cm

Fragment 3_6

Makro- und Mikroskopische Untersuchung

Untersuchung der Einzelschichten				
Schicht 1 / Unterputz				
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis	
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	30 : 70 (in %)	
		F (M)	30 : 70 (in %)	
		A 3_6_1	30 : 70 (in %)	
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 3_6_1	Überwiegend sehr gut	
		D 3_6_1	Überwiegend sehr gut	
	Sichtbare Poren %	F (M)	Porosität auch makroskopisch gut zu erkennen	
		A 3_6_1	15–20 %	
		D 3_6_1	15–20 %	
	Porenform	A 3_6_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		D 3_6_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
			Anmerkungen: Porenform ist überwiegend polymorph. Die wenigen runden Poren sind deutlich kleiner als die polymorphen	
	Porengrößen	A 3_6_1	Maximal bis 1,5 mm	
		D 3_6_1	Maximal bis 1 mm	
	Porenverteilung	A 3_6_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
D 3_6_1		<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern		
Risse	A 3_6_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
	D 3_6_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
Grenze zu nächster Putzschicht	F (M)		<input checked="" type="checkbox"/> Ablösung	
	A 3_6_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	D 3_6_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input checked="" type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
		Anmerkungen: Grenze zu Schicht 2 deutlich sichtbar über andere Farbigeit und Struktur der Matrix sowie über die Sinterhaut, Bei Fragment leicht Ablösungsspalten zu Schicht 2 zu erkennen		
Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – beige	
		A 3_6_1	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung	
		D 3_6_1	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung	
	Struktur / Erscheinung	A 3_6_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig	
		D 3_6_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin	
		Anmerkungen:		
	Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen	
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen	
		A 3_6_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		D 3_6_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		Anmerkung: Kalkgallen am Fragment äußern sich durch weiße, puderige Einschlüsse geringer Dichte		
	Bindemittelähnliche Partikel: Größe	F (M)	Bis 3 mm	
		A 3_6_1	Bis 2,5 mm	
		D 3_6_1	bis 2 mm	
		Anmerkung: Kalkgallen zeigen zum Teil Rissbildung		
	Vermutete Bindemittelart	D 3_6_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk	
		Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar		
	Vermutete Bindemittelform	D 3_6_1	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten	
		Anmerkung: es finden sich nur ganz vereinzelt Säume um Zuschläge (meist Gläser) die auf hydraulische Reaktionen hindeuten könnten; Vermutung auf trocken gelöschten Kalk beruht auf der Präsenz von Kalkgallen.		

Fragment 3_6

Makro- und Mikroskopische Untersuchung

Zuschlag	Sortierung	F (P)	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> schlecht	<input checked="" type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> sehr schlecht	<input type="checkbox"/> mäßig
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> schlecht	<input checked="" type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> sehr schlecht	<input type="checkbox"/> mäßig
		A 3_6_1	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> schlecht	<input checked="" type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> sehr schlecht	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig
		Anmerkung:			
Korngrößenverteilung		F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal Vereinzel Größtkorn 5 mm; viel 1–2 mm	<input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> bimodal	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal viel 0,5 – 1 mm	<input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> bimodal	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
		A 3_6_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal Dominanter Anteil von 0,5 bis 1 mm	<input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> bimodal	<input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
		Anmerkung:			
Rundungsgrad		F (P)	Alle Kornformen Tendenziell gut gerundet		
		F (M)	Mittelmäßig gerundet, angerundet, subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6)		
		A 3_6_1	Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind		
		Anmerkung:			
Mischungsverteilung		A 3_6_1	<input type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich	<input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich	
		Anmerkung: Sand vermutlich gesiebt da sehr wenig Größtkorn			
		F (P)	eher bunt		
		F (M)	bunt aber viel schwarz-gräulich und bräunlich		
		A 3_6_1	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün. braun, braunrot, rot, gelb		
		Anmerkung:			
Mineralogisch-petrographischer Bestand		D 3_6_1	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate	<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Quarz, Feldspäte und Weitere	
		Anmerkung:			
Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel		D 3_6_1	Vereinzel Säume um Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser		
		Anmerkung:			
Organische Zusätze		F (M)	Keine erkennbar		
		A 3_6_1	Keine erkennbar		
		D 3_6_1	Keine erkennbar		
Verwitterung	Sekundäre Phasenbildung	D 3_6_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation	<input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen	
		Anmerkung: Keine erkennbar			
Biogene Einlagerungen		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> ja Leichter biogener Bewuchs auf Unterseite und an Kanten	<input type="checkbox"/> nein	
		A 3_6_1	<input checked="" type="checkbox"/> ja zahlreiche biogene Strukturen in Porenräumen vor allem gegen Schichtunterseite	<input type="checkbox"/> nein	
		D 3_6_1	<input checked="" type="checkbox"/> ja zahlreiche biogene Strukturen in Porenräumen vor allem gegen Schichtunterseite	<input type="checkbox"/> nein	
		Anmerkung: Ursache des biogenen Bewuchses liegt vermutlich daran, das das Fragment lange auf dem Erdreich lag.			

Fragment 3_6

Makro- und Mikroskopische Untersuchung

Schicht 2 / Unterputz			
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	30 : 70 (in %)
		F (M)	30 : 70 (in %)
		A 3_6_1	30 : 70 (in %)
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 3_6_1	Überwiegend sehr gut
		D 3_6_1	Überwiegend sehr gut
	Sichtbare Poren %	F (M)	Porosität gut zu erkennen
		A 3_6_1	etwa 10-15 %
		D 3_6_1	etwa 10-15 %
	Porenform	A 3_6_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
		D 3_6_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
			Anmerkungen: Porenform ist überwiegend polymorph, wobei die polymorphen größer sind als die runden
	Porengrößen	A 3_6_1	Maximal 3 mm
D 3_6_1		Maximal 2 mm	
Porenverteilung	A 3_6_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
	D 3_6_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		Anmerkungen:	
Risse	A 3_6_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
	D 3_6_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
		Anmerkungen:	
Grenze zu nächster Putzschicht	F (M)		<input type="checkbox"/> Ablösung
	A 3_6_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input checked="" type="checkbox"/> Ablösung	
	D 3_6_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input checked="" type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung	
		Anmerkungen: Grenze zu Schicht 3 deutlich sichtbar über andere Farbigkeit und Struktur der Matrix sowie über die Sinterhaut; Grenze sehr unregelmäßig; Ablösung nur partiell	
Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – beige, leicht bräunlich
		A 3_6_1	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung
		D 3_6_1	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung
	Struktur / Erscheinung	A 3_6_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig
		D 3_6_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin
			Anmerkungen: Inhomogenität äußert sich in bräunlichen, punkartigen Flecken und durch bräunliche Säume um Feinstzuschlag
	Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen
		F (M)	<input type="checkbox"/> Kalkgallen
		A 3_6_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut
		D 3_6_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut
			Anmerkung:
	Bindemittelähnliche Partikel: Größe	F (M)	-----
		A 3_6_1	Bis 3 mm
		D 3_6_1	bis 2 mm
	Vermutete Bindemittelart	D 3_6_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk
			Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar
	Vermutete Bindemittelform	D 3_6_1	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten
			Anmerkung: möglicherweise handelt es sich bei dem Feinstzuschlag teilweise um Puzzolan, auch ein natürlich hydraulischer Mörtel kann nicht ausgeschlossen werden

Fragment 3_6

Makro- und Mikroskopische Untersuchung

Zuschlag	Sortierung	F (P)	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> schlecht	<input checked="" type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> sehr schlecht	<input type="checkbox"/> mäßig
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut <input checked="" type="checkbox"/> schlecht	<input checked="" type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> sehr schlecht	<input type="checkbox"/> mäßig
		A 3_6_1	<input type="checkbox"/> sehr gut <input checked="" type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> sehr schlecht	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig
		Anmerkung:			
Korngrößenverteilung		F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> bimodal	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> bimodal	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
		A 3_6_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> bimodal	<input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
		Vereinzel Größtkorn: 5–6 mm; viel 1–2 mm viel 0,5 – 2 mm, vereinzel Größtkorn bis 4 mm Dominanter Anteil von 1 bis 2 mm und im Fein- und Feinkornbereich, vereinzel Größtkorn bis 4 mm Anmerkung: Im Dünnschliff ist ein deutlich höherer Anteil an Feinstzuschlag zu erkennen als bei Schicht 1, im Dünnschliff viel unter 0,2 mm zu erkennen			
Rundungsgrad		F (P)	Alle Kornformen Tendenziell gut gerundet		
		F (M)	Mittelmäßig gerundet, angerundet, subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6)		
		A 3_6_1	Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind		
		Anmerkung:			
Mischungsverteilung		A 3_6_1	<input type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich	<input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich	
		Anmerkung: der Feinstanteil könnte fraktioniert und extra zugesetzt sein			
		F (P)	eher bunt		
		F (M)	bunt aber viel schwarz-gräulich, bräunlich		
		A 3_6_1	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün. braun, braunrot, rot, gelb		
		Anmerkung:			
Mineralogisch-petrographischer Bestand		D 3_6_1	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate	<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Quarz, Feldspäte und Weitere	
		Anmerkung: Es sind vereinzelt auch Ziegel, oder ziegelähnliche Körner zu erkennen, jedoch im Mittel- und Grobkornbereich; keine Säume um diese Körner			
Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel		D 3_6_1	Häufig sind bräunliche Säume um die Feinkörner zu erkennen Vereinzel Säume um größere Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser		
		Anmerkung:			
Organische Zusätze		F (M)	Keine erkennbar		
		A 3_6_1	Keine erkennbar		
		D 3_6_1	Keine erkennbar		
Verwitterung	Sekundäre Phasenbildung	D 3_6_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation	<input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen	
		Anmerkung: Keine erkennbar			
Biogene Einlagerungen		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	
		A 3_6_1	<input checked="" type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	
		D 3_6_1	<input checked="" type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	
		Leichter biogener Bewuchs an Kanten Anmerkung:			

Fragment 3_6

Makro- und Mikroskopische Untersuchung

Schicht 3 / Oberputz			
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	40 : 60 (in %)
		F (M)	40 : 60 (in %)
		A 3_6_1	50 : 50 (in %)
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 3_6_1	Überwiegend sehr gut
		D 3_6_1	Überwiegend sehr gut
	Sichtbare Poren %	F (M)	Poren nicht zu erkennen, wirkt kompakt
		A 3_6_1	1-3% (inklusive der Risse)
		D 3_6_1	3% (inklusive der Risse)
	Porenform	A 3_6_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
		D 3_6_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
			Anmerkungen: Überwiegend polymorphe Poren, die wenigen runden sind sehr klein
	Porengrößen	A 3_6_1	Maximal 1 mm
		D 3_6_1	Maximal 1 mm
	Porenverteilung	A 3_6_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern
D 3_6_1		<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		Anmerkungen:	
Risse	A 3_6_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input type="checkbox"/> wenige <input checked="" type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
	D 3_6_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input type="checkbox"/> wenige <input checked="" type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
		Anmerkungen: Risse sind überwiegend vertikal (zickzack-Risse) und gehen meist von der Oberfläche oder von der Grenze zu Schicht 2 aus. Teilweise auch Risse zwischen den Zuschlägen	
Oberfläche	F (M)	<input type="checkbox"/> Ablösung	
	A 3_6_1	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung	
	D 3_6_1	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung	
		Anmerkungen: Obergrenze ist gerade Linie	
Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – beige
		A 3_6_1	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung
		D 3_6_1	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung
	Struktur / Erscheinung	A 3_6_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig
D 3_6_1		<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin	
		Anmerkungen:	
	Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input type="checkbox"/> Kalkgallen
		F (M)	<input type="checkbox"/> Kalkgallen
		A 3_6_1	<input type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut
		D 3_6_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut
			Anmerkung:
	Bindemittelähnliche Partikel: Größe	F (M)	-----
		A 3_6_1	-----
		D 3_6_1	bis 2 mm
		Anmerkung:	
	Vermutete Bindemittelart	D 3_6_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk
			Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar
	Vermutete Bindemittelform	D 3_6_1	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten
			Anmerkung: Vermutung von trocken gelöschten Kalk beruht auf der Präsenz von Kalkgallen

Fragment 3_6

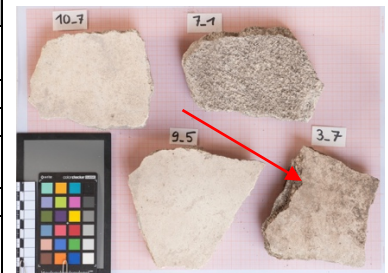
Makro- und Mikroskopische Untersuchung

Zuschlag	Sortierung	F (P)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input checked="" type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> mäßig
			<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> mäßig
			<input checked="" type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		A 3_6_1	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> mäßig
			<input checked="" type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		Anmerkung:			
	Korngrößenverteilung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
			<input type="checkbox"/> polymodal	<input checked="" type="checkbox"/> bimodal	
			Viel 1-2		
		F (M)	<input type="checkbox"/> klastgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
			<input type="checkbox"/> polymodal	<input checked="" type="checkbox"/> bimodal	
			Auffällig hoher Anteil an 1-2 mm, vereinzelt bis 3 mm		
		A 3_6_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
			<input type="checkbox"/> polymodal	<input checked="" type="checkbox"/> bimodal	
			auffälliger Anteil von 1 bis 2 mm und unter 0,5 mm		
		Anmerkung: Im Dünnschliff auch Feinstkorn zu erkennen			
	Rundungsgrad	F (P)	Scharfkantig, Spaltflächen		
		F (M)	Scharfkantig, Spaltflächen		
		A 3_6_1	sehr angular (0,1) bis vollständig ungerundet, scharfkantig, angular (0,2) bis schlecht gerundet, kantengerundet, subangular (0,3)		
		Anmerkung:			
	Mischungsverteilung	A 3_6_1	<input type="checkbox"/> natürlich	<input checked="" type="checkbox"/> künstlich	<input type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
		Anmerkung: wurde zerkleinert, gebrochen			
		F (P)	Transparent farblos bis leicht gelblich		
		F (M)	Transparent farblos bis leicht gelblich		
		A 3_6_1	Transparent farblos bis leicht gelblich		
		Anmerkung:			
	Mineralogisch-petrographischer Bestand	D 3_6_1	<input type="checkbox"/> Gesteinsfragmente	<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale	Calcit
		Anmerkung:			
	Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel	D 3_6_1	keine		
		Anmerkung:			
Organische Zusätze		F (M)	Keine erkennbar		
		A 3_6_1	Keine erkennbar		
		D 3_6_1	Keine erkennbar		
Verwitterung	Sekundäre Phasenbildung	D 3_6_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation	<input type="checkbox"/> entlang von Poren	<input type="checkbox"/> entlang von Rissen
		Anmerkung: Keine erkennbar			
	Biogene Einlagerungen	F (M)	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	
		A 3_6_1	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	
		D 3_6_1	<input checked="" type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	
		Biogene Strukturen verlaufen vertikal von der Oberfläche ausgehend			
		Anmerkung:			

Fragment 3_7

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Untersuchungsdatenblatt	
Daten der untersuchten Probe	
Ort	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument	PN_EN_6
Datierung (D'AMBROSIO/DE CARO 1983)	Augusteische Zeit ca. 27 v. Chr. – 14 n. Chr
Probennummer Fragment	3_7
Art der Entnahme der Gesamtprobe	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probennahme	23.05. – 27.05.2016
Funktionskontext des Fragments	Wanddekoration, Stuck
Anzahl und Art der Schichten	3 Unterputzschichten, 1 Oberputzschicht
Vollständigkeit des Schichtenpackets	scheint vollständig, wandseitige Unterseite ist uneben und zeichnet die unregelmäßige Ausgleichsschicht am Mauerwerk ab.
Größe (maximal)	14 x 14 cm
Gesamtgewicht bei Ausgleichsfeuchte (15.06.2016)	384,4 g (Waage: Sartorius BL31000 / Lehrstuhl RKK)
Anmerkungen	Putzaufbau scheint vollständig, wandseitige Unterseite ist uneben und zeichnet die unregelmäßige Ausgleichsschicht am Mauerwerk ab. Fragment ist verwittert; biogener Bewuchs auf wandseitiger Unterseite der Schicht 1; biogener Bewuchs an den Fragmentkanten; partiell leichte Ablösungserscheinung von Putz 1 zu 2 und von 2 zu 3; Anhaftung feiner, dunkler Partikel auf der Oberputzoberseite (vermutlich Erdreich); Oberputzoberfläche weitestgehend intakt; Oberputz zeigt partiell leichte Ablösung vom Unterputz
Daten der Einzelproben	
Probennummer Einzelprobe	A 3_7_1, D 3_7_1, A 3_7_2, D 3_7_2
Untersuchte Probenart	Dünnschliff (D) poliert, nicht abgedeckt Anschliff (A) poliert
Einbettungsmedium	Epoxidharz GP 20 A 3_7_2, D 3_7_2: blau eingefärbt mit Bluedye von Logitech
Datum der Probennahme	16.06.2016, 11.07.2016
Daten der Untersuchung	
Untersuchungen	Stratigraphie und Gefüge Mineralogisch-petrographische Untersuchung
Untersuchte Aspekte	Stratigraphie, Gefüge, Bindemittel, Zuschlag, Organische Zusätze, Verwitterung
Untersuchungsmethoden	Makroskopische Untersuchung, Stereomikroskopie, Auflichtmikroskopie, Durchlichtmikroskopie / Polarisationsmikroskopie
Verwendete Technik	Lupe 10x, Stereomikroskop Stemi 2000 C (Zeiss), Auflichtmikroskop Leica DMLM, Polarisationsmikroskop Leica DMLP
Durchführende Personen	Edith Aichinger
Labor / Betreuung	Lehrstuhl für Restaurierung (TUM)
Datum	25.06. – 30.07.2016



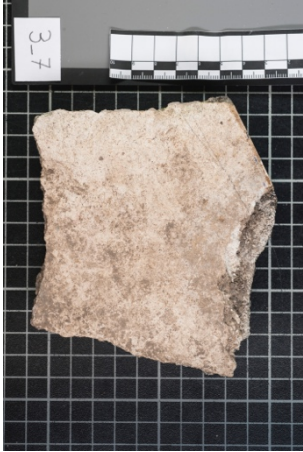
Gesamtansicht des Putz- / Stuckfragments

Fragment 3_7

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Abkürzungen: O: Oberputz; U: Unterputz; P: Untersuchung in Pompeiji; M: Untersuchung in München; D: Dünnschliff; A: Anschliff

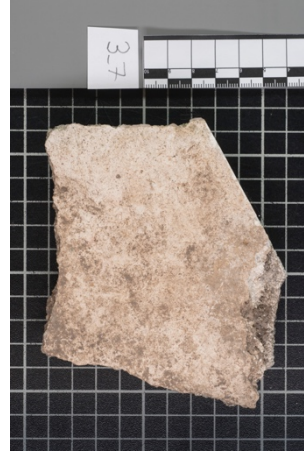
Probenentnahme



Fragment nach Schnitt für Probe 3_7_1



Fragmentunterseite nach Schnitt



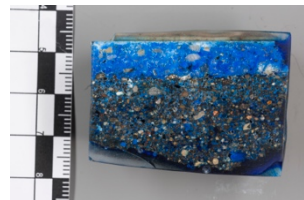
Fragment nach Schnitt für Probe 3_7_2



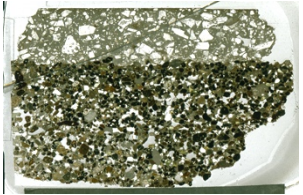
Fragmentunterseite nach Schnitt



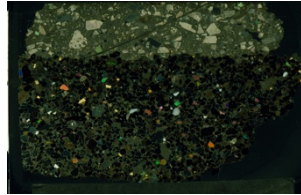
Anchliff 3_7_1



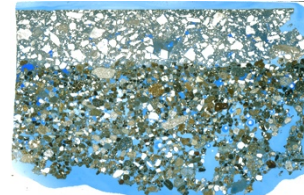
Anchliff 3_7_2



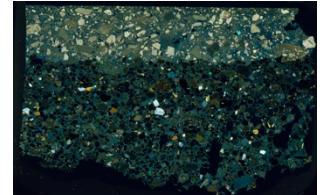
Dünnschliff 3_7_1



Dünnschliff 3_7_1 (XPol)



Dünnschliff 3_7_2

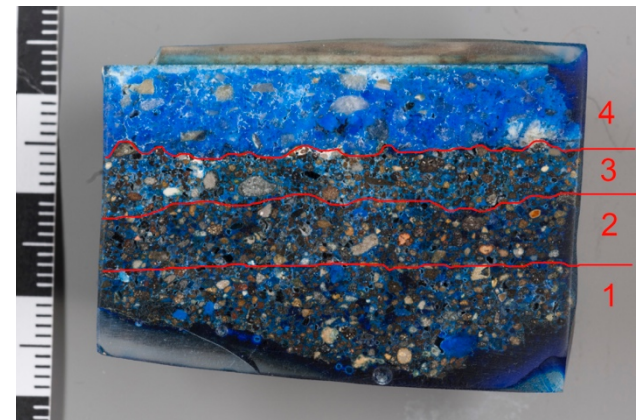


Dünnschliff 3_7_2 (XPol)

Stratigraphie



Stratigraphie Anschliff 3_7_2



Stratigraphie Anschliff 3_7_2

Probe	Schichtanzahl	Lagenart	Gesamtstärke	Stärke Schicht 1 (U)	Stärke Schicht 2 (U)	Stärke Schicht 3 (U)	Stärke Schicht 4 (O)
Fragment (P)	3	2 U, 1 O	3 cm	1,5 cm	0,7 cm	0,8 cm	3
Fragment (M)	4	3 U, 1 O	2,8 cm	0,2 – 1 cm	0,4 – 0,5 cm	0,4 – 0,5 cm	5
Anchliff 3_7_1	4	3 U, 1 O	2,7 cm	0,8 cm	0,5 cm	0,5 cm	5
Anchliff 3_7_2	4	3 U, 1 O	2,9 cm	0,4 – 1 cm	0,3 – 0,5 cm	0,4 – 0,5 cm	0,8 cm

Fragment 3_7

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Untersuchung der Einzelschichten				
Schicht 1 / Unterputz				
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis	
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	30 : 70 (in %)	
		F (M)	30 : 70 (in %)	
		A 3_7_1	30 : 70 (in %) Schwankungen je nach untersuchtem Sektor	
		A 3_7_2	30 : 70 (in %)	
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 3_7_1	Überwiegend sehr gut	
		D 3_7_1	Überwiegend sehr gut	
		A 3_7_2	Überwiegend sehr gut	
		D 3_7_2	Überwiegend sehr gut	
	Sichtbare Poren %	F (M)	Hohe Porosität deutlich zu erkennen	
		A 3_7_1	15–20 %	
		A 3_7_2	15–20 %	
	Porenform	A 3_7_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		D 3_7_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		A 3_7_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		D 3_7_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		Anmerkungen: Es sind überwiegend polymorphe Poren und nur wenige runde Poren zu erkennen, wobei die runden kleiner sind; Saumporen wurden nur um ein einziges Zuschlagkorn gefunden		
	Porengrößen	A 3_7_1	Von 0,1–2mm	
		D 3_7_1	Wenige runde Poren auch unter 0,1 mm	
		A 3_7_2	maximal bis 2 mm	
		D 3_7_2	Wenige runde Poren auch unter 0,1 mm	
	Porenverteilung	A 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		D 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		A 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		D 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		Anmerkungen:		
	Risse	A 3_7_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
		D 3_7_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
A 3_7_2		<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
D 3_7_2		<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
Anmerkungen:				
Grenze zu nächster Putzschicht	F (M)		<input type="checkbox"/> Ablösung	
	A 3_7_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	D 3_7_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	A 3_7_2	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	D 3_7_2	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
Anmerkungen: Grenze zu Schicht 2 mikroskopisch nicht zu erkennen				

Fragment 3_7

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – beige	
		A 3_7_1	weißlich – beige	
		D 3_7_1	lpol: gräulich-beige Xpol: gräulich-beige	
		A 3_7_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung	
		D 3_7_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung	
	Struktur / Erscheinung	A 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig	
		D 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin	
		A 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig	
		D 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin	
		Anmerkungen:		
	Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input type="checkbox"/> keine Angabe	
		F (M)	<input type="checkbox"/> Kalkgallen	
		A 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		D 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		A 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		D 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		Anmerkung:		
		Bindemittelähnliche Partikel: Größe	F (M)	-----
			A 3_7_1	Bis 2,5 mm
			D 3_7_1	Bis 2,5 mm und einige kleine, auch unter 0,3 mm
A 3_7_2	bis 3 mm			
D 3_7_2	bis 2,5 mm und einige kleine, auch unter 0,3 mm			
Anmerkung: Kalkgallen zeigen zum Teil Risse				
Vermutete Bindemittelart	D 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk		
	D 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk		
	Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar			
Vermutete Bindemittelform	D 3_7_1	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten		
	D 3_7_2	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten		
	Anmerkung: keine Puzzolane zu erkennen, keine Hinweise auf natürlich hydraulisches Bindemittel zu erkennen			
Zuschlag	Sortierung	F (P)	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		A 3_7_1	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		A 3_7_2	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		Anmerkung:		
	Korngrößenverteilung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm; vereinzelt Größtkorn: über 2 mm, selten 4 mm	
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm; vereinzelt Größtkorn: über 2 mm, selten 4 mm	
		A 3_7_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm; vereinzelt Größtkorn: über 2 mm	
		A 3_7_2	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm; vereinzelt Größtkorn: über 2 mm	
		Anmerkung: Schwankungen je nach untersuchtem Sektor		

Fragment 3_7

Makro- und mikroskopische Untersuchung

	Rundungsgrad	F (P)	Alle Kornformen Tendenziell gut gerundet
		F (M)	Mittelmäßig gerundet, angerundet, subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6)
		A 3_7_1	Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind; Alle Grade an Sphärizität enthalten
		A 3_7_2	Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind Alle Grade an Sphärizität enthalten
			Anmerkung:
	Mischungsverteilung	A 3_7_1	<input type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich <input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
		A 3_7_2	<input type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich <input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
			Anmerkung: wurde vermutlich gesiebt, da wenig Größtkorn
		F (P)	eher bunt
		F (M)	bunt aber viel schwarz-gräulich
		A 3_7_1	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün, braun, braunrot, rot, gelb
		A 3_7_2	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün, braun, braunrot, rot, gelb
			Anmerkung:
	Mineralogisch-petrographischer Bestand	D 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate
			<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Quarz, Feldspäte und Weitere
		D 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate
			<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Quarz, Feldspäte und Weitere
			Anmerkung:
	Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel	D 3_7_1	Vereinzelt Säume um Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser
		D 3_7_2	Vereinzelt Säume um Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser
			Anmerkung:
	Organische Zusätze	F (M)	Keine erkennbar
		A 3_7_1	Keine erkennbar
		D 3_7_1	Keine erkennbar
		A 3_7_2	Keine erkennbar
		D 3_7_2	Keine erkennbar
	Verwitterung	D 3_7_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
		D 3_7_2	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
			Anmerkung: Keine erkennbar
	Biogene Einlagerungen	F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Biogener Bewuchs an Unterseite und an Kanten
		A 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Biogener Bewuchs in Poren; Biogener Bewuchs v. a. an Präparatkanten
		D 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Wenig biogener Bewuchs in Poren an Präparatkanten
		A 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Wenig biogener Bewuchs in Poren an Präparatkanten
		D 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Biogener Bewuchs in Poren an Präparatkanten
			Anmerkung: Fragment lag lange auf dem Erdreich, könnte sich um Moose oder Flechten handeln.

Fragment 3_7

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Schicht 2 / Unterputz				
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis	
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	30 : 70 (in %)	
		F (M)	30 : 70 (in %)	
		A 3_7_1	30 : 70 (in %) Schwankungen je nach untersuchtem Sektor	
		A 3_7_2	30 : 70 (in %) Schwankungen je nach untersuchtem Sektor	
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 3_7_1	Überwiegend sehr gut	
		D 3_7_1	Überwiegend sehr gut	
		A 3_7_2	Überwiegend sehr gut	
		D 3_7_2	Überwiegend sehr gut	
	Sichtbare Poren %	F (M)	Hohe Porosität deutlich zu erkennen	
		A 3_7_1	15–20 %	
		A 3_7_2	15–20 %	
	Porenform	A 3_7_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	
			<input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		D 3_7_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	
			<input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		A 3_7_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	
		<input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph		
	D 3_7_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> Saumporen		
		<input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph		
		Anmerkungen: Es sind überwiegend polymorphe Poren und nur wenige runde Poren zu erkennen, wobei die runden kleiner sind; Saumporen wurden nur um ein einziges Zuschlagkorn gefunden		
	Porengrößen	A 3_7_1	Von 0,1–3mm	
		D 3_7_1	Wenige runde Poren auch unter 0,1 mm	
		A 3_7_2	maximal bis 3 mm	
		D 3_7_2	Nicht zu Bestimmen wegen Fehlstellen im Dünnschliff	
	Porenverteilung	A 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		D 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		A 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
D 3_7_2		<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern		
Anmerkungen:				
Risse	A 3_7_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief		
		<input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
	D 3_7_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief		
		<input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
	A 3_7_2	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief		
	<input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel			
D 3_7_2	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief			
	<input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel			
Anmerkungen:				
Grenze zu nächster Putzschicht	F (M)		<input type="checkbox"/> Ablösung	
	A 3_7_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	D 3_7_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	A 3_7_2	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	D 3_7_2	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	Anmerkungen: Genauer Übergang zu Schicht 3 mikroskopisch kaum zu erkennen, nur anhand leicht veränderter Bindemittelfarbe und mehr Feistzuschlag			

Fragment 3_7

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – beige	
		A 3_7_1	weißlich – beige	
		D 3_7_1	lpol: gräulich-beige Xpol: gräulich-beige	
		A 3_7_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung	
		D 3_7_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung	
	Struktur / Erscheinung	A 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig	
		D 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin	
		A 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig	
		D 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin	
		Anmerkungen:		
	Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input type="checkbox"/> keine Angabe	
		F (M)	<input type="checkbox"/> Kalkgallen	
		A 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		D 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		A 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		D 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		Anmerkung:		
		Bindemittelähnliche Partikel: Größe	F (M)	-----
			A 3_7_1	Bis 2 mm
			D 3_7_1	Bis 2,5 mm und einige kleine
A 3_7_2	bis 1,5 mm			
D 3_7_2	bis 1,5 mm und einige kleine, auch unter 0,3 mm			
Anmerkung: Kalkgallen zeigen zum Teil Risse				
Vermutete Bindemittelart	D 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk		
	D 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk		
	Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar			
Vermutete Bindemittelform	D 3_7_1	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten		
	D 3_7_2	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten Wegen Kalkgallen		
	Anmerkung: keine Puzzolane zu erkennen, keine Hinweise auf natürlich hydraulisches Bindemittel zu erkennen			
Zuschlag	Sortierung	F (P)	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		A 3_7_1	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		A 3_7_2	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		Anmerkung:		
	Korngrößenverteilung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm; vereinzelt Größtkorn: über 2 mm, selten 4 mm	
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm; vereinzelt Größtkorn: über 2 mm, selten 4 mm	
		A 3_7_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm; vereinzelt Größtkorn: über 2 mm	
		A 3_7_2	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm; vereinzelt Größtkorn: über 2 mm	
		Anmerkung: Schwankungen je nach untersuchtem Sektor		

Fragment 3_7

Makro- und mikroskopische Untersuchung

	Rundungsgrad	F (P)	Alle Kornformen Tendenziell gut gerundet
		F (M)	Mittelmäßig gerundet, angerundet, subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6)
		A 3_7_1	Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind; Alle Grade an Sphärizität enthalten
		A 3_7_2	Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind Alle Grade an Sphärizität enthalten
			Anmerkung:
	Mischungsverteilung	A 3_7_1	<input type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich <input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
		A 3_7_2	<input type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich <input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
			Anmerkung: wurde vermutlich gesiebt, da wenig Größtkorn
		F (P)	eher bunt
		F (M)	bunt aber viel schwarz-gräulich und bräunlich
		A 3_7_1	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün, braun, braunrot, rot, gelb
		A 3_7_2	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün, braun, braunrot, rot, gelb
			Anmerkung:
	Mineralogisch-petrographischer Bestand	D 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate
			<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Quarz, Feldspäte und Weitere
		D 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate
			<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Quarz, Feldspäte und Weitere
			Anmerkung:
	Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel	D 3_7_1	Vereinzelt Säume um Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser
		D 3_7_2	Vereinzelt Säume um Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser
			Anmerkung:
	Organische Zusätze	F (M)	Keine erkennbar
		A 3_7_1	Keine erkennbar
		D 3_7_1	Keine erkennbar
		A 3_7_2	Keine erkennbar
		D 3_7_2	Keine erkennbar
	Verwitterung	D 3_7_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
		D 3_7_2	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
			Anmerkung: Keine erkennbar
	Biogene Einlagerungen	F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Biogener Bewuchs an Kanten
		A 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Biogener Bewuchs in Poren; Biogener Bewuchs v. a. an Präparatkanten
		D 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Wenig biogener Bewuchs in Poren an Präparatkanten
		A 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Wenig biogener Bewuchs in Poren an Präparatkanten
		D 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Biogener Bewuchs in Poren an Präparatkanten
			Anmerkung: Fragment lag lange auf dem Erdreich, könnte sich um Moose oder Flechten handeln.

Fragment 3_7

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Schicht 3 / Unterputz				
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis	
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	30 : 70 (in %)	
		F (M)	30 : 70 (in %)	
		A 3_7_1	30 : 70 (in %)	
		A 3_7_2	30 : 70 (in %)	
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 3_7_1	Überwiegend sehr gut	
		D 3_7_1	Überwiegend sehr gut	
		A 3_7_2	Überwiegend sehr gut	
		D 3_7_2	Überwiegend sehr gut	
	Sichtbare Poren %	F (M)	Porosität zu erkennen	
		A 3_7_1	5_10 %	
		D 3_7_1	5_10 % Schicht 3 wirkt insgesamt dichter als Schicht 1 und 2	
		A 3_7_2	5_10 %	
		D 3_7_2	5_10 % Schicht 3 wirkt insgesamt dichter als Schicht 1 und 2	
	Porenform	A 3_7_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	
			<input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		D 3_7_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	
			<input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		A 3_7_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	
		<input type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph		
	D 3_7_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen		
		<input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph		
		Anmerkungen: Es sind überwiegend polymorphe Poren und nur wenige runde Poren zu erkennen, wobei die runden kleiner sind		
	Porengrößen	A 3_7_1	Bis 3 mm	
		D 3_7_1	Auch wenige runde unter 0,2 mm	
		A 3_7_2	bis 2 mm	
		D 3_7_2	Auch wenige runde unter 0,2 mm	
	Porenverteilung	A 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
D 3_7_1		<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern		
A 3_7_2		<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern		
D 3_7_2		<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern		
		Anmerkungen:		
Risse	A 3_7_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief		
		<input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
	D 3_7_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief		
		<input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
	A 3_7_2	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief		
	<input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel			
D 3_7_2	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief			
	<input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel			
	Anmerkungen: Bei 3_7_1 feine vertikale Risse an Grenze zu Schicht 4.			
Grenze zu nächster Putzschicht	F (M)	<input type="checkbox"/> Ablösung		
	A 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	D 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input checked="" type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	A 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	D 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input checked="" type="checkbox"/> Sinterhaut <input checked="" type="checkbox"/> Ablösung		
		Anmerkungen: Aufgrund der geringeren Porosität und der dichten Erscheinung könnte die Schicht auch leicht verdichtet sein. Bei 3_7_2 sind partiell kurze Ablösungsrisse zu Schicht 4 zu erkennen.		

Fragment 3_7

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – beige, leicht bräunlich			
		A 3_7_1	weißlich – beige, leicht bräunlich			
		D 3_7_1	Ipol: gräulich-beige, leicht bräunlich Xpol: gräulich-beige			
		A 3_7_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung			
		D 3_7_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung			
		Struktur / Erscheinung	A 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen	<input type="checkbox"/> inhomogen	<input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig	☐ grobkörnig
	D 3_7_1		<input checked="" type="checkbox"/> homogen	<input checked="" type="checkbox"/> inhomogen	<input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig	<input type="checkbox"/> grobkörnig
			<input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin	<input type="checkbox"/> kryptokristallin		
	A 3_7_2		<input checked="" type="checkbox"/> homogen	<input type="checkbox"/> inhomogen	<input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig	<input type="checkbox"/> grobkörnig
	D 3_7_2		<input checked="" type="checkbox"/> homogen	<input checked="" type="checkbox"/> inhomogen	<input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig	<input type="checkbox"/> grobkörnig
			<input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin	<input type="checkbox"/> kryptokristallin		
		Anmerkungen: Struktur ist an sich homogen, jedoch sind bräunliche, punkartige Flecken homogen im Bindemittel verteilt, daher inhomogener Eindruck. Um Feinstzuschläge sind vereinzelt bräunliche Säume zu erkennen				
	Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input type="checkbox"/> Kalkgallen			
		F (M)	<input type="checkbox"/> Kalkgallen			
		A 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen	<input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein		
			<input type="checkbox"/> Kalkspatzen	<input type="checkbox"/> mit Sinterhaut		
		D 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen	<input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein		
			<input type="checkbox"/> Kalkspatzen	<input type="checkbox"/> mit Sinterhaut		
		A 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen	<input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein		
			<input type="checkbox"/> Kalkspatzen	<input type="checkbox"/> mit Sinterhaut		
		D 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen	<input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein		
			<input type="checkbox"/> Kalkspatzen	<input type="checkbox"/> mit Sinterhaut		
		Anmerkung:				
	Bindemittelähnliche Partikel: Größe	F (M)	Keine zu erkennen			
A 3_7_1		Bis 2,5 mm				
D 3_7_1		Bis 2,5 mm und vereinzelt kleinere				
A 3_7_2		bis 1 mm				
D 3_7_2		bis 1 mm und vereinzelt kleinere				
		Anmerkung:				
Vermutete Bindemittelart	D 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk	<input type="checkbox"/> Dolomitkalk	<input type="checkbox"/> Sonstiges		
		<input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk				
	D 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk	<input type="checkbox"/> Dolomitkalk	<input type="checkbox"/> Sonstiges		
		<input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk				
	Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar					
Vermutete Bindemittelform	D 3_7_1	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk	<input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk			
		<input checked="" type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten				
	D 3_7_2	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk	<input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk			
		<input checked="" type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten				
	Anmerkung: Bei Feinstzuschlägen könnte es sich teilweise um Puzzolan handeln. Die braunen Flecken könnten auch Relikte von abreagiertem Puzzolan sein.					
Zuschlag	Sortierung	F (P)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig	
			<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht		
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig	
			<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht		
		A 3_7_1	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig	
			<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht		
A 3_7_2	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig			
	<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht				
	Anmerkung:					
	Korngrößenverteilung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt	
			<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal		
		Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm; vereinzelt Größtkorn: über 2 mm, selten 4 mm				
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt	
			<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal		
		Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm; vereinzelt Größtkorn über 2 mm				
		A 3_7_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt	
			<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal		
Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm und höherer Anteil an Fein- und Feinstzuschlägen als bei Schicht 1 und 2; vereinzelt Größtkorn über 2 mm						
A 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt			
	<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal				
Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm und höherer Anteil an Fein- und Feinstzuschlägen als bei Schicht 1 und 2; vereinzelt Größtkorn über 2 mm						
	Anmerkung:					

Fragment 3_7

Makro- und mikroskopische Untersuchung

	Rundungsgrad	F (P)	Alle Kornformen Tendenziell gut gerundet
		F (M)	Mittelmäßig gerundet, angerundet, subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6)
		A 3_7_1	Überwiegend subroundet (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind
		A 3_7_2	Überwiegend subroundet (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind
			Anmerkung:
	Mischungsverteilung	A 3_7_1	<input type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich <input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
		A 3_7_2	<input type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich <input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
			Anmerkung: wurde vermutlich gesiebt wegen geringen Anteil an Größkorn und Zusatz einer Feinstfraktion
		F (P)	eher bunt
		F (M)	bunt aber viel schwarz-gräulich und bräunlich
		A 3_7_1	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün. braun, braunrot, rot, gelb
		A 3_7_2	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün. braun, braunrot, rot, gelb
			Anmerkung:
	Mineralogisch-petrographischer Bestand	D 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate
			<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Quarz, Feldspäte und weitere
		D 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate
			<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Quarz, Feldspäte und weitere
			Anmerkung:
	Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel	D 3_7_1	Braune Flecken in Bindemittelmatrix, vereinzelt Säume um Feinstzuschläge, vereinzelt Säume um größere Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser
		D 3_7_2	Braune Flecken in Bindemittelmatrix, vereinzelt Säume um Feinstzuschläge, vereinzelt Säume um größere Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser
			Anmerkung:
Organische Zusätze		F (M)	Keine erkennbar
		A 3_7_1	Keine erkennbar
		D 3_7_1	Keine erkennbar
		A 3_7_2	Keine erkennbar
		D 3_7_2	Keine erkennbar
Verwitterung	Sekundäre Phasenbildung	D 3_7_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
		D 3_7_2	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
			Anmerkung: Keine erkennbar
	Biogene Einlagerungen	F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Biogener Bewuchs v. a. an Fragmenträndern
		A 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Leichter biogener Bewuchst in Poren an Präparatkanten
		D 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Leichter biogener Bewuchst in Poren an Präparatkanten
		A 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Leichter biogener Bewuchst in Poren an Präparatkanten
		D 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Leichter biogener Bewuchst in Poren an Präparatkanten
			Anmerkung:

Fragment 3_7

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Schicht 4 / Oberputz				
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis	
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	40 : 60 (in %)	
		F (M)	40 : 60 (in %)	
		A 3_7_1	50 : 50 (in %)	
		A 3_7_2	50 : 50 (in %)	
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 3_7_1	Überwiegend sehr gut	
		D 3_7_1	Überwiegend sehr gut	
		A 3_7_2	Überwiegend sehr gut	
		D 3_7_2	Überwiegend sehr gut	
	Sichtbare Poren %	F (M)	Poren nicht zu erkennen, wirkt kompakt	
		A 3_7_1	1 %	
		D 3_7_1	1 %	
		A 3_7_2	1 %	
	Porenform	A 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	<input type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
		D 3_7_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	<input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
		A 3_7_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	<input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
		D 3_7_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> Saumporen	<input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
	Anmerkungen: Porenform überwiegend polymorph; Saumporen sind sehr selten und äußern sich wenn dann auch nur auf einer Seite des Kornes.			
	Porengrößen	A 3_7_1	Bis 1 mm	
		D 3_7_1	Bis 1 mm	
		A 3_7_2	maximal bis 1,5 mm	
		D 3_7_2	maximal bis 1,5 mm	
	Porenverteilung	A 3_7_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		D 3_7_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		A 3_7_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		D 3_7_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
	Anmerkungen:			
	Risse	A 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief	<input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel
		D 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief	<input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel
A 3_7_2		<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief	<input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
D 3_7_2		<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief	<input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
Anmerkungen: Horizontaler Riss bei 3_7_1 verläuft im Bereich der Grenze zu Schicht 3; vereinzelt sind vertikale zickzack-Risse im Bereich der Oberfläche zu erkennen.				
Oberfläche	F (M)	<input type="checkbox"/> Ablösung		
	A 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	D 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	A 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	D 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
Anmerkungen: Obergrenze ist ebenmäßig, gerade Linie; sehr starke Verdichtung				

Fragment 3_7

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – beige	
		A 3_7_1	weißlich – beige	
		D 3_7_1	lpol: gräulich-beige Xpol: gräulich-beige	
		A 3_7_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung	
		D 3_7_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung	
	Struktur / Erscheinung	A 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig	
		D 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin	
		A 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig	
		D 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin	
		Anmerkungen:		
	Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input type="checkbox"/> Kalkgallen	
		F (M)	<input type="checkbox"/> Kalkgallen	
		A 3_7_1	<input type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		D 3_7_1	<input type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		A 3_7_2	<input type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		D 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		Anmerkung: sehr große Kalkgalle bei 3_7_2		
		Bindemittelähnliche Partikel: Größe	F (M)	-----
			A 3_7_1	-----
			D 3_7_1	-----
A 3_7_2	-----			
D 3_7_2	2 mm			
Anmerkung:				
Vermutete Bindemittelart	D 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk		
	D 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk		
	Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar			
Vermutete Bindemittelform	D 3_7_1	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten		
	D 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten		
	Anmerkung: Da bei 3_7_2 eine Kalkgalle gefunden wurde, könnte es sich auch um trocken gelöschten Kalk handeln			
Zuschlag	Sortierung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> sehr gut <input checked="" type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut <input checked="" type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		A 3_7_1	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> mäßig <input checked="" type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		A 3_7_2	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> mäßig <input checked="" type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		Anmerkung: Am Anschliff und Dünnschliff ist ein Feinanteil zu erkennen, der am Fragment so nicht erkannt werden kann.		
	Korngrößenverteilung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input type="checkbox"/> polymodal <input checked="" type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm, vereinzelt bis 3 mm	
		F (M)	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input type="checkbox"/> polymodal <input checked="" type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm, vereinzelt bis 3 mm	
		A 3_7_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input checked="" type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input type="checkbox"/> polymodal <input checked="" type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm und im Fein- und Feinkornbereich, vereinzelt bis 3 mm	
		A 3_7_2	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input checked="" type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input type="checkbox"/> polymodal <input checked="" type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm und im Fein- und Feinkornbereich, vereinzelt bis 3 mm	
		Anmerkung: Im Dünnschliff ist ein sehr hoher Feinanteil zu erkennen. Die Partikel liegen zum Teil auch unter einer hauch dünnen Schicht Bindemittel		

Fragment 3_7

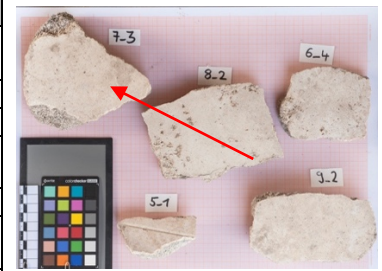
Makro- und mikroskopische Untersuchung

	Rundungsgrad	F (P)	Scharfkantig, Spaltflächen
		F (M)	Scharfkantig, Spaltflächen
		A 3_7_1	Überwiegend sehr angular (0,1) bis vollständig ungerundet, scharfkantig, angular (0,2) bis schlecht gerundet, kantengerundet, subangular (0,3)
		A 3_7_2	Überwiegend sehr angular (0,1) bis vollständig ungerundet, scharfkantig, angular (0,2) bis schlecht gerundet, kantengerundet, subangular (0,3)
			Anmerkung:
	Mischungsverteilung	A 3_7_1	<input type="checkbox"/> natürlich <input checked="" type="checkbox"/> künstlich <input type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
		A 3_7_2	<input type="checkbox"/> natürlich <input checked="" type="checkbox"/> künstlich <input type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
			Anmerkung: wurde zerkleinert, gebrochen
		F (P)	Transparent farblos bis leicht gelblich
		F (M)	Transparent farblos bis leicht gelblich
		A 3_7_1	Transparent farblos bis leicht gelblich
		A 3_7_2	Transparent farblos bis leicht gelblich
			Anmerkung:
	Mineralogisch-petrographischer Bestand	D 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente <input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale wenige metamorphe und sedimentäre Carbonate Calcit
		D 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente <input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale wenige metamorphe und sedimentäre Carbonate Calcit
			Anmerkung:
	Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel	D 3_7_1	keine
		D 3_7_2	keine
			Anmerkung:
Organische Zusätze		F (M)	Keine erkennbar
		A 3_7_1	Keine erkennbar
		D 3_7_1	Keine erkennbar
		A 3_7_2	Keine erkennbar
		D 3_7_2	Keine erkennbar
Verwitterung	Sekundäre Phasenbildung	D 3_7_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
		D 3_7_2	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
			Anmerkung: Calcit
	Biogene Einlagerungen	F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Biogener Bewuchs an Fragmenträndern
		A 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Biogener Bewuchst in Pore an Präparatkanten
		D 3_7_1	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein wenig Biogener Bewuchst in Pore an Präparatkanten
		A 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein wenig Biogener Bewuchst in Pore an Präparatkanten
		D 3_7_2	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein wenig Biogener Bewuchst in Pore an Präparatkanten
			Anmerkung: Fragment lag lange auf dem Erdrreich. Biogener Bewuchs könnten Moose oder Flechten sein

Fragment 7_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Untersuchungsdatenblatt	
Daten der untersuchten Probe	
Ort	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument	PN_EN_6
Datierung (D'AMBROSIO/DE CARO 1983)	Augusteische Zeit ca. 27 v. Chr. – 14 n. Chr
Probennummer Fragment	7_3
Art der Entnahme der Gesamtprobe	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probennahme	23.05. – 27.05.2016
Funktionskontext des Fragments	Wanddekoration, Stuck
Anzahl und Art der Schichten	3 Unterputzschichten, 1 Oberputzschicht
Vollständigkeit des Schichtenpackets	scheint vollständig, wandseitige Unterseite ist uneben und zeichnet die unregelmäßige Ausgleichsschicht am Mauerwerk ab.
Größe (maximal)	13,5 x 11 cm
Gesamtgewicht bei Ausgleichsfeuchte (15.06.2016)	513 g (Waage: Sartorius BL31000 / Lehrstuhl RKK)
Anmerkungen	Putzaufbau scheint vollständig, wandseitige Unterseite ist uneben und zeichnet die unregelmäßige Ausgleichsschicht am Mauerwerk ab. Dunkle Verfärbung auf wandseitiger Unterseite der Schicht 1; Oberputzoberfläche weitestgehend intakt; Oberputz zeigt partiell leichte Ablösung vom Unterputz; Partiiell leichte Ablösungserscheinungen zwischen Schicht 1 zu 2 und 2 zu 3.
Daten der Einzelproben	
Probennummer Einzelprobe	A 7_3_1, D 7_3_1, A 7_3_2, D 7_3_2
Untersuchte Probenart	Dünnschliff (D) poliert, nicht abgedeckt Anschliff (A) poliert
Einbettungsmedium	Epoxidharz GP 20 A 7_3_2, D 7_3_2: blau eingefärbt mit Bluedye von Logitech
Datum der Probennahme	16.06.2016, 11.07.2016
Daten der Untersuchung	
Untersuchungen	Stratigraphie und Gefüge Mineralogisch-petrographische Untersuchung
Untersuchte Aspekte	Stratigraphie, Gefüge, Bindemittel, Zuschlag, Organische Zusätze, Verwitterung
Untersuchungsmethoden	Makroskopische Untersuchung, Stereomikroskopie, Auflichtmikroskopie, Durchlichtmikroskopie / Polarisationsmikroskopie
Verwendete Technik	Lupe 10x, Stereomikroskop Stemi 2000 C (Zeiss), Auflichtmikroskop Leica DMLM, Polarisationsmikroskop Leica DMLP
Durchführende Personen	Edith Aichinger
Labor / Betreuung	Lehrstuhl für Restaurierung (TUM)
Datum	25.06. – 30.07.2016



Gesamtansicht des Putz- / Stuckfragments

Fragment 7_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Abkürzungen: O: Oberputz; U: Unterputz; P: Untersuchung in Pompeiji; M: Untersuchung in München; D: Dünnschliff; A: Anschliff

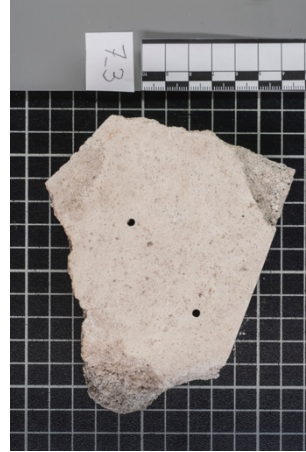
Probenentnahme



Fragment nach Schnitt für Probe 7_3_1



Fragmentunterseite nach Schnitt



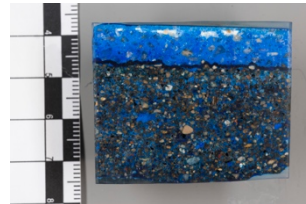
Fragment nach Schnitt für Probe 7_3_2



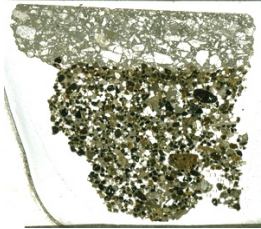
Fragmentunterseite nach Schnitt



Anschliff 7_3_1



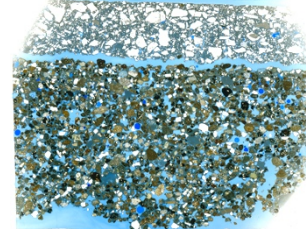
Anschliff 7_3_2



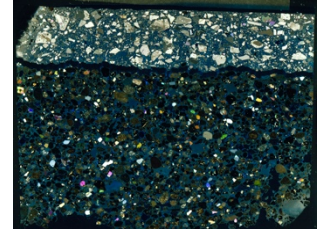
Dünnschliff 7_3_1



Dünnschliff 7_3_1 (XPol)



Dünnschliff 7_3_2

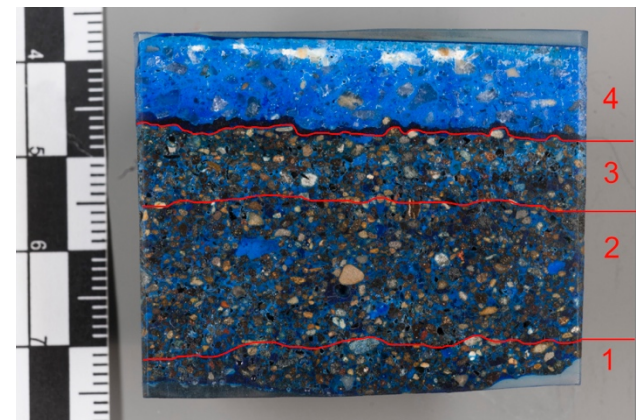


Dünnschliff 7_3_2 (XPol)

Stratigraphie



Stratigraphie Anschliff 7_3_1



Stratigraphie Anschliff 7_3_2 (Oberputz hat sich beim Schnitt während der Präparation abgetrennt)

Probe	Schichtanzahl	Lagenart	Gesamtstärke	Stärke Schicht 1 (U)	Stärke Schicht 2 (U)	Stärke Schicht 3 (U)	Stärke Schicht 4 (O)
Fragment (P)	3	2 U, 1 O	3,3 cm	1 cm	1,4 cm		0,9 cm
Fragment (M)	4	3 U, 1 O	3,4 cm	0,3 – 0,8 cm	0,5 – 1 cm	0,45 – 0,8 cm	0,8 – 0,9 cm
Anschliff 7_3_1	4	3 U, 1 O	3 cm	0,4 cm	1 cm	0,4 – 0,5 cm	0,9 cm
Anschliff 7_3_2	4	3 U, 1 O	3,4 cm	0,2 – 0,4 cm	1,5 – 1,6 cm	0,6 – 0,7 cm	0,8 cm

Fragment 7_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Untersuchung der Einzelschichten				
Schicht 1 / Unterputz				
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis	
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	30 : 70 (in %)	
		F (M)	30 : 70 (in %)	
		A 7_3_1	30 : 70 (in %) Schwankungen je nach untersuchtem Sektor	
		A 7_3_2	30 : 70 (in %) Schwankungen je nach untersuchtem Sektor	
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 7_3_1	Überwiegend sehr gut	
		D 7_3_1	Überwiegend sehr gut	
		A 7_3_2	Überwiegend sehr gut	
		D 7_3_2	Überwiegend sehr gut	
	Sichtbare Poren %	F (M)	Hohe Porosität deutlich zu erkennen	
		A 7_3_1	15–20 %	
		A 7_3_2	15–20 %	
	Porenform	A 7_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		D 7_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		A 7_3_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		D 7_3_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		Anmerkungen: Es sind überwiegend polymorphe Poren und nur wenige runde Poren zu erkennen, wobei die runden kleiner sind		
	Porengrößen	A 7_3_1	Von 0,1–2mm	
		D 7_3_1	Wenige runde Poren auch unter 0,1 mm	
		A 7_3_2	maximal bis 2 mm	
		D 7_3_2	Wenige runde Poren auch unter 0,1 mm	
	Porenverteilung	A 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		D 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		A 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		D 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		Anmerkungen:		
	Risse	A 7_3_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
		D 7_3_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
A 7_3_2		<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
D 7_3_2		<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
Anmerkungen:				
Grenze zu nächster Putzschicht	F (M)		<input type="checkbox"/> Ablösung	
	A 7_3_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input checked="" type="checkbox"/> Ablösung		
	D 7_3_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	A 7_3_2	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	D 7_3_2	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
Anmerkungen: Grenze zu Schicht 2 mikroskopisch nicht zu erkennen				

Fragment 7_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – beige
		A 7_3_1	weißlich – beige
		D 7_3_1	lpol: gräulich-beige Xpol: gräulich-beige
		A 7_3_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung
		D 7_3_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung
	Struktur / Erscheinung	A 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig
		D 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin
		A 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig
		D 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin
		Anmerkungen:	
	Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input type="checkbox"/> keine Angabe
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen
		A 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut
		D 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut
		A 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut
		D 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut
		Anmerkung: Kalkgallen am Fragment äußern sich durch weiße, puderige Einschlüsse geringer Dichte	
		F (M)	Bis 1 mm
		A 7_3_1	Bis 3 mm
		D 7_3_1	Bis 3 mm und einige kleine
A 7_3_2	bis 1 mm		
D 7_3_2	bis 1 mm und einige kleine		
Anmerkung: Kalkgallen zeigen zum Teil Risse			
Vermutete Bindemittelart	D 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk	
	D 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk	
	Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar		
Vermutete Bindemittelform	D 7_3_1	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten	
	D 7_3_2	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten	
	Anmerkung: keine Puzzolane zu erkennen, keine Hinweise auf natürlich hydraulisches Bindemittel zu erkennen; Trocken gelöschter Kalk wird aufgrund der Kalkgallen vermutet		
Zuschlag	Sortierung	F (P)	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht
		A 7_3_1	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht
		A 7_3_2	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht
		Anmerkung:	
	Korngrößenverteilung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm; vereinzelt Größtkorn: über 2 mm, selten 4 mm
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm; vereinzelt Größtkorn: über 2 mm, selten 4 mm
		A 7_3_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm
		A 7_3_2	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm
		Anmerkung:	

Fragment 7_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

	Rundungsgrad	F (P)	Alle Kornformen Tendenziell gut gerundet
		F (M)	Mittelmäßig gerundet, angerundet, subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6)
		A 7_3_1	Überwiegend subroundet (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind; Alle Grade an Sphärizität enthalten
		A 7_3_2	Überwiegend subroundet (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind Alle Grade an Sphärizität enthalten
			Anmerkung:
	Mischungsverteilung	A 7_3_1	<input type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich <input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
		A 7_3_2	<input type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich <input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
			Anmerkung: wurde vermutlich gesiebt, da wenig Größtkorn
		F (P)	eher bunt
		F (M)	bunt aber viel schwarz-gräulich und bräunlich
		A 7_3_1	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün, braun, braunrot, rot, gelb
		A 7_3_2	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün, braun, braunrot, rot, gelb
			Anmerkung:
	Mineralogisch-petrographischer Bestand	D 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate <input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Quarz, Feldspäte und Weitere
		D 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate <input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Quarz, Feldspäte und Weitere
			Anmerkung:
	Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel	D 7_3_1	keine
		D 7_3_2	keine
			Anmerkung:
	Organische Zusätze	F (M)	Keine erkennbar
		A 7_3_1	Keine erkennbar
		D 7_3_1	Keine erkennbar
		A 7_3_2	Keine erkennbar
		D 7_3_2	Keine erkennbar
Verwitterung	Sekundäre Phasenbildung	D 7_3_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
		D 7_3_2	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
			Anmerkung: Keine erkennbar
	Biogene Einlagerungen	F (M)	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		A 7_3_1	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		D 7_3_1	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		A 7_3_2	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		D 7_3_2	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
			Anmerkung:

Fragment 7_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Schicht 2 / Unterputz				
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis	
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	30 : 70 (in %)	
		F (M)	30 : 70 (in %)	
		A 7_3_1	30 : 70 (in %) Schwankungen je nach untersuchtem Sektor	
		A 7_3_2	30 : 70 (in %) Schwankungen je nach untersuchtem Sektor	
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 7_3_1	Überwiegend sehr gut	
		D 7_3_1	Überwiegend sehr gut	
		A 7_3_2	Überwiegend sehr gut	
		D 7_3_2	Überwiegend sehr gut	
	Sichtbare Poren %	F (M)	Hohe Porosität deutlich zu erkennen	
		A 7_3_1	15–20 %	
		A 7_3_2	15–20 %	
	Porenform	A 7_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		D 7_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		A 7_3_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		D 7_3_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
			Anmerkungen: Es sind überwiegend polymorphe Poren und nur wenige runde Poren zu erkennen, wobei die runden kleiner sind; Saumporen wurden nur um ein einziges Zuschlagkorn gefunden	
	Porengrößen	A 7_3_1	Von 0,1–2 mm	
		D 7_3_1	Wenige runde Poren auch unter 0,1 mm	
		A 7_3_2	maximal bis 2 mm	
		D 7_3_2	Die wenigen runden Poren sind unter 0,1 mm	
	Porenverteilung	A 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		D 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		A 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		D 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
			Anmerkungen:	
	Risse	A 7_3_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
		D 7_3_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
		A 7_3_2	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
		D 7_3_2	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
			Anmerkungen:	
Grenze zu nächster Putzschicht	F (M)		<input checked="" type="checkbox"/> Ablösung	
	A 7_3_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	D 7_3_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	A 7_3_2	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	D 7_3_2	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	Anmerkungen: Genauer Übergang zu Schicht 3 mikroskopisch kaum zu erkennen, nur anhand leicht veränderter Bindemittelfarbe und mehr Feisztzuschlag in Schicht 3			

Fragment 7_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – beige	
		A 7_3_1	weißlich – beige	
		D 7_3_1	lpol: gräulich-beige Xpol: gräulich-beige	
		A 7_3_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung	
		D 7_3_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung	
	Struktur / Erscheinung	A 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig	
		D 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin	
		A 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig	
		D 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin	
		Anmerkungen:		
	Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input type="checkbox"/> keine Angabe	
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen	
		A 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		D 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		A 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		D 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		Anmerkung: Kalkgallen am Fragment äußern sich durch weiße, pudrige Einschlüsse geringer Dichte		
		Bindemittelähnliche Partikel: Größe	F (M)	Bis 5 mm
			A 7_3_1	Bis 2 mm
			D 7_3_1	Bis 2 mm und einige kleine
A 7_3_2	bis 4 mm			
D 7_3_2	bis 2 mm und einige kleine, auch unter 0,3 mm			
Anmerkung: Kalkgallen zeigen zum Teil Risse				
Vermutete Bindemittelart	D 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk		
	D 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk		
Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar				
Vermutete Bindemittelform	D 7_3_1	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten		
	D 7_3_2	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten Wegen Kalkgallen		
Anmerkung: keine Puzzolane zu erkennen, keine Hinweise auf natürlich hydraulisches Bindemittel zu erkennen; Trocken gelöschter Kalk wird aufgrund der Kalkgallen vermutet				
Zuschlag	Sortierung	F (P)	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		A 7_3_1	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		A 7_3_2	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		Anmerkung:		
Korngrößenverteilung	Korngrößenverteilung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm; vereinzelt Größtkorn: über 2 mm, selten 4 mm	
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm; vereinzelt Größtkorn: über 2 mm, selten 4 mm	
		A 7_3_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm; vereinzelt Größtkorn mit 2 mm	
		A 7_3_2	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm; vereinzelt Größtkorn mit 2 mm	
		Anmerkung: Schwankungen je nach untersuchtem Sektor		

Fragment 7_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

	Rundungsgrad	F (P)	Alle Kornformen Tendenziell gut gerundet
		F (M)	Mittelmäßig gerundet, angerundet, subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6)
		A 7_3_1	Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind; Alle Grade an Sphärizität enthalten
		A 7_3_2	Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind Alle Grade an Sphärizität enthalten
			Anmerkung:
	Mischungsverteilung	A 7_3_1	<input type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich <input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
		A 7_3_2	<input type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich <input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
			Anmerkung: wurde vermutlich gesiebt, da wenig Größtkorn
		F (P)	eher bunt
		F (M)	bunt aber viel schwarz-gräulich und bräunlich
		A 7_3_1	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün, braun, braunrot, rot, gelb
		A 7_3_2	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün, braun, braunrot, rot, gelb
			Anmerkung:
	Mineralogisch-petrographischer Bestand	D 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate <input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Quarz, Feldspäte und Weitere
		D 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate <input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Quarz, Feldspäte und Weitere
			Anmerkung:
	Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel	D 7_3_1	Vereinzel Säume um Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser
		D 7_3_2	Vereinzel Säume um Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser
			Anmerkung:
	Organische Zusätze	F (M)	Keine erkennbar
		A 7_3_1	Keine erkennbar
		D 7_3_1	Keine erkennbar
		A 7_3_2	Keine erkennbar
		D 7_3_2	Keine erkennbar
	Verwitterung	D 7_3_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
		D 7_3_2	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
			Anmerkung: Keine erkennbar
	Biogene Einlagerungen	F (M)	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		A 7_3_1	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		D 7_3_1	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		A 7_3_2	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		D 7_3_2	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
			Anmerkung:

Fragment 7_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Schicht 3 / Unterputz					
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis		
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	30 : 70 (in %)		
		F (M)	30 : 70 (in %)		
		A 7_3_1	30 : 70 (in %)		
		A 7_3_2	30 : 70 (in %)		
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 7_3_1	Überwiegend sehr gut		
		D 7_3_1	Überwiegend sehr gut		
		A 7_3_2	Überwiegend sehr gut		
		D 7_3_2	Überwiegend sehr gut		
	Sichtbare Poren %	F (M)	Porosität zu erkennen		
		A 7_3_1	5_10 %		
		D 7_3_1	5_10 % Schicht 3 wirkt insgesamt dichter als Schicht 1 und 2		
		A 7_3_2	5_10 %		
	D 7_3_2	5_10 %		Schicht 3 wirkt insgesamt dichter als Schicht 1 und 2	
		Anmerkungen: Es sind überwiegend polymorphe Poren und nur wenige runde Poren zu erkennen, wobei die runden kleiner sind; Saumporen wurden nur an einem Zuschlagkorn gefunden			
		Porenform	A 7_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
			D 7_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
	A 7_3_2		<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph		
	D 7_3_2		<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph		
	Porengrößen	A 7_3_1	Bis 2 mm		
		D 7_3_1	Die wenigen runden sind meist sehr klein (unter 0,3 mm)		
		A 7_3_2	bis 2 mm		
		D 7_3_2	Auch wenige runde unter 0,3 mm		
	Porenverteilung	A 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern		
		D 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern		
		A 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern		
		D 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern		
	Anmerkungen:				
	Risse	A 7_3_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
D 7_3_1		<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel			
A 7_3_2		<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel			
D 7_3_2		<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel			
Anmerkungen: Feine, vertikale Risse vermehrt an Grenze zu Schicht 4.					
Grenze zu nächster Putzschicht	F (M)	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input checked="" type="checkbox"/> Ablösung			
	A 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input checked="" type="checkbox"/> Ablösung			
	D 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input checked="" type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung			
	A 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung			
	D 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input checked="" type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung			
Anmerkungen: Aufgrund der geringeren Porosität und der dichten Erscheinung könnte die Schicht auch leicht verdichtet sein. Bei 7_3_2 hat sich beim Schnitt der Oberputz abgetrennt.					

Fragment 7_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – beige, leicht bräunlich		
		A 7_3_1	weißlich – beige, leicht bräunlich		
		D 7_3_1	Ipol: gräulich-beige, leicht bräunlich Xpol: gräulich-beige		
		A 7_3_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung		
		D 7_3_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung		
		Struktur / Erscheinung	A 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen	<input type="checkbox"/> inhomogen	☒ feinkörnig ☐ grobkörnig
	D 7_3_1		<input checked="" type="checkbox"/> homogen	<input checked="" type="checkbox"/> inhomogen	<input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig
			<input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin	<input type="checkbox"/> kryptokristallin	
	A 7_3_2		<input checked="" type="checkbox"/> homogen	<input type="checkbox"/> inhomogen	<input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig
	D 7_3_2		<input checked="" type="checkbox"/> homogen	<input checked="" type="checkbox"/> inhomogen	<input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig
			<input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin	<input type="checkbox"/> kryptokristallin	
		Anmerkungen: Struktur ist an sich homogen, jedoch sind bräunliche, punkartige Flecken homogen im Bindemittel verteilt, daher inhomogener Eindruck. Um Feinstzuschläge sind vereinzelt bräunliche Säume zu erkennen			
	Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input type="checkbox"/> keine Angabe		
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen		
		A 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen	<input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein	
			<input type="checkbox"/> Kalkspatzen	<input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		D 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen	<input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein	
			<input type="checkbox"/> Kalkspatzen	<input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		A 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen	<input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein	
			<input type="checkbox"/> Kalkspatzen	<input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
D 7_3_2		<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen	<input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein		
		<input type="checkbox"/> Kalkspatzen	<input type="checkbox"/> mit Sinterhaut		
	Anmerkung: Kalkgallen am Fragment äußern sich durch weiße, puderige Einschlüsse geringer Dichte				
Bindemittelähnliche Partikel: Größe	F (M)	Bis 6 mm			
	A 7_3_1	Bis 2 mm			
	D 7_3_1	Bis 2 mm und vereinzelt kleinere			
	A 7_3_2	bis 1 mm			
	D 7_3_2	bis 1,5 mm und vereinzelt kleinere			
		Anmerkung:			
Vermutete Bindemittelart	D 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk	<input type="checkbox"/> Dolomitkalk	<input type="checkbox"/> Sonstiges	
		<input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk			
	D 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk	<input type="checkbox"/> Dolomitkalk	<input type="checkbox"/> Sonstiges	
		<input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk			
	Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar				
Vermutete Bindemittelform	D 7_3_1	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk	<input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk		
		<input checked="" type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten			
	D 7_3_2	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk	<input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk		
		<input checked="" type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten			
	Anmerkung: Bei Feinstzuschlägen könnte es sich teilweise um Puzzolan handeln. Die braunen Flecken könnten auch Relikte von abregiertem Puzzolan sein.				
Zuschlag	Sortierung	F (P)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig
			<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig
			<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		A 7_3_1	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig
			<input checked="" type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht	
A 7_3_2	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig		
	<input checked="" type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht			
	Anmerkung:				
Korngrößenverteilung	Korngrößenverteilung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
			<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal	
		Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm; vereinzelt Größtkorn: über 2 mm, selten 4 mm			
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
			<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal	
		Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm; vereinzelt Größtkorn über 2 mm			
A 7_3_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt		
	<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal			
Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm und höherer Anteil an Fein- und Feinstzuschlägen als bei Schicht 1 und 2					
A 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt		
	<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal			
Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm und höherer Anteil an Fein- und Feinstzuschlägen als bei Schicht 1 und 2					
	Anmerkung:				

Fragment 7_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

	Rundungsgrad	F (P)	Alle Kornformen Tendenziell gut gerundet
		F (M)	Mittelmäßig gerundet, angerundet, subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6)
		A 7_3_1	Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind
		A 7_3_2	Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind
			Anmerkung:
	Mischungsverteilung	A 7_3_1	<input type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich <input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
		A 7_3_2	<input type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich <input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
			Anmerkung: wurde vermutlich gesiebt wegen geringen Anteil an Größkorn und Zusatz einer Feinstfraktion
		F (P)	eher bunt
		F (M)	bunt aber viel schwarz-gräulich und bräunlich
		A 7_3_1	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün, braun, braunrot, rot, gelb
		A 7_3_2	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün, braun, braunrot, rot, gelb
			Anmerkung:
	Mineralogisch-petrographischer Bestand	D 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate
			<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Quarz, Feldspäte und weitere
		D 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate
			<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Quarz, Feldspäte und weitere
			Anmerkung:
	Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel	D 7_3_1	Braune Flecken in Bindemittelmatrix, vereinzelt Säume um Feinstzuschläge, vereinzelt Säume um größere Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser
		D 7_3_2	Braune Flecken in Bindemittelmatrix, vereinzelt Säume um Feinstzuschläge, vereinzelt Säume um größere Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser
			Anmerkung:
	Organische Zusätze	F (M)	Keine erkennbar
		A 7_3_1	Keine erkennbar
		D 7_3_1	Keine erkennbar
		A 7_3_2	Keine erkennbar
		D 7_3_2	Keine erkennbar
	Verwitterung	Sekundäre Phasenbildung	D 7_3_1
			<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
			D 7_3_2
			<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
			Anmerkung: Keine erkennbar
	Biogene Einlagerungen	F (M)	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein Biogener Bewuchs v. a. an Fragmenträndern
		A 7_3_1	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		D 7_3_1	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		A 7_3_2	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		D 7_3_2	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
			Anmerkung:

Fragment 7_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Schicht 4 / Oberputz				
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis	
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	40 : 60 (in %)	
		F (M)	40 : 60 (in %)	
		A 7_3_1	50 : 50 (in %)	
		A 7_3_2	50 : 50 (in %)	
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 7_3_1	Überwiegend sehr gut	
		D 7_3_1	Überwiegend sehr gut	
		A 7_3_2	Überwiegend sehr gut	
		D 7_3_2	Überwiegend sehr gut	
	Sichtbare Poren %	F (M)	Poren nicht zu erkennen, wirkt kompakt	
		A 7_3_1	1 %	
		D 7_3_1	1 %	
		A 7_3_2	2 %	
	Porenform	A 7_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	<input type="checkbox"/> Saumporen
			<input type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		D 7_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	<input type="checkbox"/> Saumporen
			<input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
	Porengrößen	A 7_3_1	Bis 1 mm	
		D 7_3_1	Bis 1 mm	
		A 7_3_2	maximal bis 1,5 mm	
		D 7_3_2	maximal bis 1,5 mm	
	Porenverteilung	A 7_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	<input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern
		D 7_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	<input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern
		A 7_3_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	<input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern
		D 7_3_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	<input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern
	Risse	A 7_3_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	<input type="checkbox"/> oberflächenparallel
		D 7_3_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	<input type="checkbox"/> oberflächenparallel
		A 7_3_2	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	<input type="checkbox"/> oberflächenparallel
		D 7_3_2	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	<input type="checkbox"/> oberflächenparallel
		Anmerkungen: Keine Risse entlang der Oberfläche		
Oberfläche	F (M)	<input type="checkbox"/> Ablösung		
	A 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung	<input type="checkbox"/> Ablösung	
	D 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung	<input type="checkbox"/> Ablösung	
	A 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung	<input type="checkbox"/> Ablösung	
	D 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung	<input type="checkbox"/> Ablösung	
		Anmerkungen: Obergrenze ist ebenmäßig, gerade Linie; sehr starke Verdichtung		

Fragment 7_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – beige	
		A 7_3_1	weißlich – beige	
		D 7_3_1	lpol: gräulich-beige Xpol: gräulich-beige	
		A 7_3_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung	
		D 7_3_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung	
	Struktur / Erscheinung	A 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig	
		D 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin	
		A 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig	
		D 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin	
		Anmerkungen:		
	Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input type="checkbox"/> Kalkgallen	
		F (M)	<input type="checkbox"/> Kalkgallen	
		A 7_3_1	<input type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		D 7_3_1	<input type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		A 7_3_2	<input type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		D 7_3_2	<input type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		Anmerkung:		
		Bindemittelähnliche Partikel: Größe	F (M)	-----
			A 7_3_1	-----
			D 7_3_1	-----
A 7_3_2	-----			
D 7_3_2	-----			
Anmerkung:				
Vermutete Bindemittelart	D 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk		
	D 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk		
	Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar			
Vermutete Bindemittelform	D 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Sumpfkalk <input type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten		
	D 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> Sumpfkalk <input type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten		
	Anmerkung:			
Zuschlag	Sortierung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> sehr gut <input checked="" type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut <input checked="" type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		A 7_3_1	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> mäßig <input checked="" type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		A 7_3_2	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> mäßig <input checked="" type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		Anmerkung: Am Anschliff und Dünnschliff ist ein Feinanteil zu erkennen, der am Fragment so nicht erkannt werden kann.		
		Anmerkung:		
Korngrößenverteilung	Korngrößenverteilung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input type="checkbox"/> polymodal <input checked="" type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm, vereinzelt bis 3 mm	
		F (M)	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input type="checkbox"/> polymodal <input checked="" type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm, vereinzelt bis 3 mm	
		A 7_3_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input checked="" type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input type="checkbox"/> polymodal <input checked="" type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm und im Fein- und Feinkornbereich, vereinzelt bis 3 mm	
		A 7_3_2	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input checked="" type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input type="checkbox"/> polymodal <input checked="" type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm und im Fein- und Feinkornbereich, vereinzelt bis 3 mm	
		Anmerkung: Im Dünnschliff ist ein sehr hoher Feinanteil zu erkennen. Die Partikel liegen zum Teil auch unter einer hauch dünnen Schicht Bindemittel		
		Anmerkung:		

Fragment 7_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

	Rundungsgrad	F (P)	Scharfkantig, Spaltflächen
		F (M)	Scharfkantig, Spaltflächen
		A 7_3_1	Überwiegend sehr angular (0,1) bis vollständig ungerundet, scharfkantig, angular (0,2) bis schlecht gerundet, kantengerundet, subangular (0,3)
		A 7_3_2	Überwiegend sehr angular (0,1) bis vollständig ungerundet, scharfkantig, angular (0,2) bis schlecht gerundet, kantengerundet, subangular (0,3)
			Anmerkung:
	Mischungsverteilung	A 7_3_1	<input type="checkbox"/> natürlich <input checked="" type="checkbox"/> künstlich <input type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
		A 7_3_2	<input type="checkbox"/> natürlich <input checked="" type="checkbox"/> künstlich <input type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
			Anmerkung: wurde zerkleinert, gebrochen
		F (P)	Transparent farblos bis leicht gelblich
		F (M)	Transparent farblos bis leicht gelblich
		A 7_3_1	Transparent farblos bis leicht gelblich
		A 7_3_2	Transparent farblos bis leicht gelblich
			Anmerkung:
	Mineralogisch-petrographischer Bestand	D 7_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente wenige metamorphe und sedimentäre Karbonate <input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Calcit
		D 7_3_2	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente wenige metamorphe und sedimentäre Karbonate <input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Calcit
			Anmerkung:
	Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel	D 7_3_1	keine
		D 7_3_2	keine
			Anmerkung:
Organische Zusätze		F (M)	Keine erkennbar
		A 7_3_1	Keine erkennbar
		D 7_3_1	Keine erkennbar
		A 7_3_2	Keine erkennbar
		D 7_3_2	Keine erkennbar
Verwitterung	Sekundäre Phasenbildung	D 7_3_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
		D 7_3_2	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
			Anmerkung: Calcit
	Biogene Einlagerungen	F (M)	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		A 7_3_1	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		D 7_3_1	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		A 7_3_2	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		D 7_3_2	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
			Anmerkung:

Fragment 8_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Untersuchungsdatenblatt	
Daten der untersuchten Probe	
Ort	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument	PN_EN_4
Datierung (D'AMBROSIO/DE CARO 1983)	Julisch-claudische Zeit ca. 14–54 n. Chr.
Probennummer Fragment	8_3
Art der Entnahme der Gesamtprobe	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probennahme	23.05. – 27.05.2016
Funktionskontext des Fragments	Wanddekoration, Stuck
Anzahl und Art der Schichten	2 Unterputzschichten, 1 Oberputzschicht
Vollständigkeit des Schichtenpackets	scheint vollständig, wandseitige Unterseite ist uneben und zeichnet die unregelmäßige Ausgleichsschicht am Mauerwerk ab.
Größe (maximal)	12,1 x 7,1 cm
Gesamtgewicht bei Ausgleichsfeuchte (15.06.2016)	246,5 g (Waage: Sartorius BL31000 / Lehrstuhl RKK)
Anmerkungen	Putzaufbau scheint vollständig, wandseitige Unterseite ist uneben und zeichnet die unregelmäßige Ausgleichsschicht am Mauerwerk ab. Geringer biogener Bewuchs auf wandseitiger Unterseite der Schicht 1. Fragment nur wenig angewittert. Feinputzoberfläche zeigt vereinzelte Fehlstellen
Daten der Einzelproben	
Probennummer Einzelprobe	A 8_3_1, D 8_3_1,
Untersuchte Probenart	Dünnschliff (D) poliert, nicht abgedeckt (4,8 x 4,8 cm) Anschliff (A) poliert
Einbettungsmedium	Epoxidharz GP 20, blau eingefärbt mit Bluedye von Logitech
Datum der Probennahme	11.07.2016
Daten der Untersuchung	
Untersuchungen	Stratigraphie und Gefüge Mineralogisch-petrographische Untersuchung
Untersuchte Aspekte	Stratigraphie, Gefüge, Bindemittel, Zuschlag, Organische Zusätze, Verwitterung
Untersuchungsmethoden	Makroskopische Untersuchung, Stereomikroskopie, Auflichtmikroskopie, Durchlichtmikroskopie / Polarisationsmikroskopie
Verwendete Technik	Lupe 10x, Stereomikroskop Stemi 2000 C (Zeiss), Auflichtmikroskop Leica DMLM, Polarisationsmikroskop Leica DMLP
Durchführende Personen	Edith Aichinger
Labor / Betreuung	Lehrstuhl für Restaurierung (TUM)
Datum	25.06. – 30.07.2016



Gesamtansicht des Putz- / Stuckfragments

Fragment 8_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Abkürzungen: O: Oberputz; U: Unterputz; P: Untersuchung in Pompeiji; M: Untersuchung in München; D: Dünnschliff; A: Anschliff

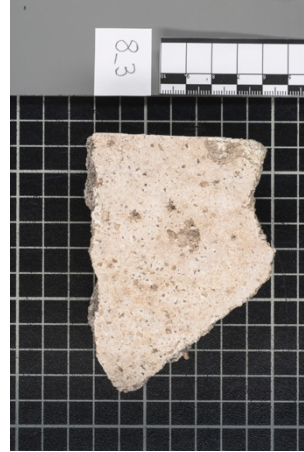
Probenentnahme



Fragment vor der Probenentnahme



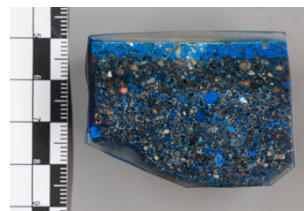
Fragmentunterseite



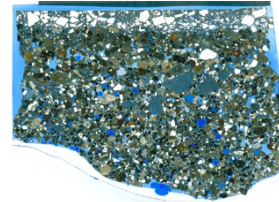
Fragment nach Schnitt für Probe 8_3_1



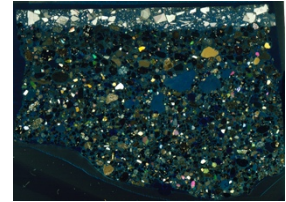
Fragmentunterseite nach Schnitt f



Anschliff 8_3_1

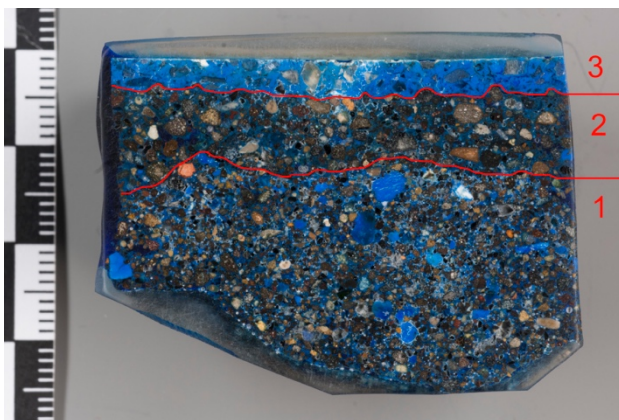


Dünnschliff 8_3_1



Dünnschliff 8_3_1 (XPol)

Stratigraphie



Stratigraphie Anschliff 8_3_1

Probe	Schichtenanzahl	Lagenart	Gesamtstärke	Stärke Schicht 1 (U)	Stärke Schicht 2 (U)	Stärke Schicht 3 (F)
Fragment (P)	3	2 U, 1 O	3 cm	1,7 – 0,3 cm	0,2 – 1,5 cm	0,3 cm
Fragment (M)	3	2 U, 1 O	3 cm	0,5 cm – 2 cm (Schicht ist extrem unregelmäßig)	0,5 – 0,7 cm (Schicht ist extrem unregelmäßig)	0,3 – 0,4 cm
Anschliff 8_3_1	3	2 U, 1 O	3 cm	1,7 – 0,3 cm (Schicht ist extrem unregelmäßig)	0,2 – 1,5 cm (Schicht ist extrem unregelmäßig)	0,3 cm

Fragment 8_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Untersuchung der Einzelschichten			
Schicht 1 / Unterputz			
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	30 : 70 (in %)
		F (M)	30 : 70 (in %)
		A 8_3_1	30 : 70 (in %)
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 8_3_1	Überwiegend sehr gut
		D 8_3_1	Überwiegend sehr gut
	Sichtbare Poren %	F (M)	Porosität auch makroskopisch gut zu erkennen
		A 8_3_1	15–20 %
		D 8_3_1	15–20 %
	Porenform	A 8_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
		D 8_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph Anmerkungen: Porenform ist überwiegend polymorph. Die wenigen runden Poren sind deutlich kleiner als die polymorphen
	Porengrößen	A 8_3_1	Maximal bis 4 mm (Problem Ausbrüche im Präparat)
		D 8_3_1	Maximal bis 2 mm
	Porenverteilung	A 8_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern
		D 8_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern
Risse	A 8_3_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
	D 8_3_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
Grenze zu nächster Putzschicht	F (M)		<input checked="" type="checkbox"/> Ablösung
	A 8_3_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung	
	D 8_3_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input checked="" type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung Anmerkungen: Grenze zu Schicht 2 deutlich sichtbar über andere Farbigeit und Struktur der Matrix sowie über die Sinterhaut, Bei Fragment leicht Ablösungsspalten zu Schicht 2 zu erkennen	
Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – beige
		A 8_3_1	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung
		D 8_3_1	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung
	Struktur / Erscheinung	A 8_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig
		D 8_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin
			Anmerkungen:
	Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen
		A 8_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut
		D 8_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut
			Anmerkung: Kalkgallen am Fragment äußern sich durch weiße, puderige Einschlüsse geringer Dichte
	Bindemittelähnliche Partikel: Größe	F (M)	Bis 4 mm
		A 8_3_1	Bis 3 mm
		D 8_3_1	bis 5 mm Anmerkung: Kalkgallen zeigen zum Teil Rissbildung
	Vermutete Bindemittelart	D 8_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk
			Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar
	Vermutete Bindemittelform	D 8_3_1	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten
			Anmerkung: es finden sich nur ganz vereinzelt Säume um Zuschläge (meist Gläser) die auf hydraulische Reaktionen hindeuten könnten; Vermutung auf trocken gelöschten Kalk beruht auf der Präsenz von Kalkgallen.

Fragment 8_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Zuschlag		F (P)	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> schlecht	<input checked="" type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> sehr schlecht	<input type="checkbox"/> mäßig
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> schlecht	<input checked="" type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> sehr schlecht	<input type="checkbox"/> mäßig
		A 8_3_1	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> schlecht	<input checked="" type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> sehr schlecht	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig
		Anmerkung:			
	Korngrößenverteilung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal Vereinzel Größtkorn 5 mm; viel 1–2 mm	<input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> bimodal	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal viel 0,5 – 1 mm	<input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> bimodal	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
		A 8_3_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal Dominanter Anteil von 0,5 bis 1 mm	<input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> bimodal	<input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
		Anmerkung:			
	Rundungsgrad	F (P)	Alle Kornformen Tendenziell gut gerundet		
		F (M)	Mittelmäßig gerundet, angerundet, subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6)		
		A 8_3_1	Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind		
		Anmerkung:			
	Mischungsverteilung	A 8_3_1	<input type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich	<input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich	
		Anmerkung: Sand vermutlich gesiebt da sehr wenig Größtkorn			
		F (P)	eher bunt		
		F (M)	bunt aber viel schwarz-gräulich und bräunlich		
		A 8_3_1	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün. braun, braunrot, rot, gelb		
		Anmerkung:			
	Mineralogisch-petrographischer Bestand	D 8_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate	<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Quarz, Feldspäte und Weitere	
		Anmerkung:			
	Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel	D 8_3_1	Vereinzel Säume um Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser		
		Anmerkung:			
Organische Zusätze		F (M)	Keine erkennbar		
		A 8_3_1	Keine erkennbar		
		D 8_3_1	Keine erkennbar		
Verwitterung	Sekundäre Phasenbildung	D 8_3_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation	<input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen	
		Anmerkung: Keine erkennbar			
	Biogene Einlagerungen	F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> ja Leichter biogener Bewuchs auf Unterseite	<input type="checkbox"/> nein	
		A 8_3_1	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	
		D 8_3_1	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	
		Anmerkung: Ursache des biogenen Bewuchses liegt vermutlich daran, das das Fragment lange auf dem Erdreich lag.			

Fragment 8_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Schicht 2 / Unterputz			
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	30 : 70 (in %)
		F (M)	30 : 70 (in %)
		A 8_3_1	30 : 70 (in %)
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 8_3_1	Überwiegend sehr gut
		D 8_3_1	Überwiegend sehr gut
	Sichtbare Poren %	F (M)	Porosität gut zu erkennen
		A 8_3_1	etwa 10-15 %
		D 8_3_1	etwa 10-15 %
	Porenform	A 8_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
		D 8_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
			Anmerkungen: Porenform ist überwiegend polymorph, wobei die polymorphen größer sind als die runden
	Porengrößen	A 8_3_1	Maximal 2 mm
D 8_3_1		Maximal 2 mm	
Porenverteilung	A 8_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
	D 8_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		Anmerkungen:	
Risse	A 8_3_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
	D 8_3_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
		Anmerkungen:	
Grenze zu nächster Putzschicht	F (M)		<input type="checkbox"/> Ablösung
	A 8_3_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input checked="" type="checkbox"/> Ablösung	
	D 8_3_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input checked="" type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung	
		Anmerkungen: Grenze zu Schicht 3 deutlich sichtbar über andere Farbigkeit und Struktur der Matrix sowie über die Sinterhaut; Grenze sehr unregelmäßig; Ablösung nur partiell	
Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – beige, leicht bräunlich
		A 8_3_1	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung
		D 8_3_1	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung
	Struktur / Erscheinung	A 8_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig
		D 8_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin
			Anmerkungen: Inhomogenität äußert sich in bräunlichen, punkartigen Flecken und durch bräunliche Säume um Feinstzuschlag
	Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen
		A 8_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut
		D 8_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut
			Anmerkung:
	Bindemittelähnliche Partikel: Größe	F (M)	Bis 6 mm
		A 8_3_1	Bis 1 mm
		D 8_3_1	bis 1 mm
			Anmerkung: Kalkgallen zeigen zum Teil unterschiedliche Zonen
	Vermutete Bindemittelart	D 8_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk
			Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar
	Vermutete Bindemittelform	D 8_3_1	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten
			Anmerkung: möglicherweise handelt es sich bei dem Feinstzuschlag teilweise um Puzzolan, auch ein natürlich hydraulischer Mörtel kann nicht ausgeschlossen werden

Fragment 8_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Zuschlag	Sortierung	F (P)	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> schlecht	<input checked="" type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> sehr schlecht	<input type="checkbox"/> mäßig
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut <input checked="" type="checkbox"/> schlecht	<input checked="" type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> sehr schlecht	<input type="checkbox"/> mäßig
		A 8_3_1	<input type="checkbox"/> sehr gut <input checked="" type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> sehr schlecht	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig
		Anmerkung:			
	Korngrößenverteilung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> bimodal	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> bimodal	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
		A 8_3_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> bimodal	<input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
		Anmerkung: Im Dünnschliff ist ein deutlich höherer Anteil an Feinstzuschlag zu erkennen als bei Schicht 1, im Dünnschliff viel unter 0,2 mm zu erkennen			
	Rundungsgrad	F (P)	Alle Kornformen Tendenziell gut gerundet		
		F (M)	Mittelmäßig gerundet, angerundet, subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6)		
		A 8_3_1	Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind		
		Anmerkung:			
	Mischungsverteilung	A 8_3_1	<input type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich	<input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich	
		Anmerkung: der Feinstanteil könnte fraktioniert und extra zugesetzt sein			
		F (P)	eher bunt		
		F (M)	bunt aber viel schwarz-gräulich, bräunlich		
		A 8_3_1	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün, braun, braunrot, rot, gelb		
		Anmerkung:			
	Mineralogisch-petrographischer Bestand	D 8_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate	<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Quarz, Feldspäte und Weitere	
		Anmerkung: Es sind vereinzelt auch Ziegel, oder ziegelähnliche Körner zu erkennen, jedoch im Mittel- und Grobkornbereich; keine Säume um diese Körner			
	Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel	D 8_3_1	Häufig sind bräunliche Säume um die Feinskörner zu erkennen Vereinzelt Säume um größere Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser		
		Anmerkung:			
Organische Zusätze		F (M)	Keine erkennbar		
		A 8_3_1	Keine erkennbar		
		D 8_3_1	Keine erkennbar		
Verwitterung	Sekundäre Phasenbildung	D 8_3_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation	<input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen	
		Anmerkung: Keine erkennbar			
	Biogene Einlagerungen	F (M)	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/> nein	
		A 8_3_1	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/> nein	
		D 8_3_1	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/> nein	
		Anmerkung:			

Fragment 8_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Schicht 3 / Oberputz			
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	40 : 60 (in %)
		F (M)	40 : 60 (in %)
		A 8_3_1	50 : 50 (in %)
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 8_3_1	Überwiegend sehr gut
		D 8_3_1	Überwiegend sehr gut
	Sichtbare Poren %	F (M)	Poren nicht zu erkennen, wirkt kompakt
		A 8_3_1	3% (inklusive der Risse)
		D 8_3_1	3% (inklusive der Risse)
	Porenform	A 8_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
		D 8_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
			Anmerkungen: Überwiegend polymorphe Poren, die wenigen runden sind sehr klein
	Porengrößen	A 8_3_1	Maximal 1 mm
		D 8_3_1	Maximal 1 mm
	Porenverteilung	A 8_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern
D 8_3_1		<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		Anmerkungen:	
Risse	A 8_3_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
	D 8_3_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
		Anmerkungen: Risse sind überwiegend vertikal (zickzack-Risse) und gehen meist von der Oberfläche oder von der Grenze zu Schicht 2 aus. Teilweise auch Risse zwischen den Zuschlägen; Der Oberputz dieses Präparates zeigt jedoch deutlich weniger Risse als die anderen von EN 4 !!!	
Oberfläche	F (M)	<input type="checkbox"/> Ablösung	
	A 8_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung	
	D 8_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung	
		Anmerkungen: Obergrenze ist gerade Linie	
Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – beige
		A 8_3_1	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung
		D 8_3_1	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung
	Struktur / Erscheinung	A 8_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig
		D 8_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin
			Anmerkungen:
	Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input type="checkbox"/> Kalkgallen
		F (M)	<input type="checkbox"/> Kalkgallen
		A 8_3_1	<input type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut
		D 8_3_1	<input type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut
			Anmerkung:
	Bindemittelähnliche Partikel: Größe	F (M)	-----
		A 8_3_1	-----
		D 8_3_1	-----
		Anmerkung:	
	Vermutete Bindemittelart	D 8_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk
			Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar
	Vermutete Bindemittelform	D 8_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Sumpfkalk <input type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten
			Anmerkung:

Fragment 8_3

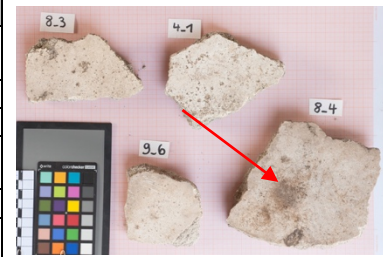
Makro- und mikroskopische Untersuchung

Zuschlag		F (P)	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> schlecht	<input checked="" type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> sehr schlecht	<input type="checkbox"/> mäßig
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut <input checked="" type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> sehr schlecht	<input type="checkbox"/> mäßig
		A 8_3_1	<input type="checkbox"/> sehr gut <input checked="" type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> sehr schlecht	<input type="checkbox"/> mäßig
		Anmerkung:			
	Korngrößenverteilung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> bimodal	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt Viel 1–2
		F (M)	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> polymodal	<input checked="" type="checkbox"/> matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> bimodal	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm, vereinzelt bis 3 mm
		A 8_3_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> polymodal	<input checked="" type="checkbox"/> matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> bimodal	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt auffälliger Anteil von 1 bis 2 mm und unter 0,5 mm
		Anmerkung: Im Dünnschliff auch Feinstkorn zu erkennen			
	Rundungsgrad	F (P)	Scharfkantig, Spaltflächen		
		F (M)	Scharfkantig, Spaltflächen		
		A 8_3_1	sehr angular (0,1) bis vollständig ungerundet, scharfkantig, angular (0,2) bis schlecht gerundet, kantengerundet, subangular (0,3)		
		Anmerkung:			
	Mischungsverteilung	A 8_3_1	<input type="checkbox"/> natürlich	<input checked="" type="checkbox"/> künstlich	<input type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
		Anmerkung: wurde zerkleinert, gebrochen			
		F (P)	Transparent farblos bis leicht gelblich		
		F (M)	Transparent farblos bis leicht gelblich		
	Mineralogisch-petrographischer Bestand	A 8_3_1	<input type="checkbox"/> Gesteinsfragmente	<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale	Calcit
		Anmerkung:			
		D 8_3_1	keine		
		Anmerkung:			
Organische Zusätze		F (M)	Keine erkennbar		
		A 8_3_1	Keine erkennbar		
		D 8_3_1	Keine erkennbar		
		Anmerkung:			
Verwitterung	Sekundäre Phasenbildung	D 8_3_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation	<input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen	
		Anmerkung: Keine erkennbar			
		F (M)	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	
		A 8_3_1	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/> nein	
	Biogene Einlagerungen	D 8_3_1	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/> nein	
		Anmerkung:			
		F (M)	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	
		A 8_3_1	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/> nein	

Fragment 8_4

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Untersuchungsdatenblatt	
Daten der untersuchten Probe	
Ort	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument	PN_EN_4
Datierung (D'AMBROSIO/DE CARO 1983)	Julisch-claudische Zeit ca. 14–54 n. Chr.
Probennummer Fragment	8_4
Art der Entnahme der Gesamtprobe	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probennahme	23.05. – 27.05.2016
Funktionskontext des Fragments	Wanddekoration, Stuck
Anzahl und Art der Schichten	2 Unterputzschichten, 1 Oberputzschicht
Vollständigkeit des Schichtenpackets	scheint vollständig, wandseitige Unterseite ist uneben und zeichnet die unregelmäßige Ausgleichsschicht am Mauerwerk ab.
Größe (maximal)	13,3 x 15,9 cm
Gesamtgewicht bei Ausgleichsfeuchte (15.06.2016)	657,2 g (Waage: Sartorius BL31000 / Lehrstuhl RKK)
Anmerkungen	Putzaufbau scheint vollständig, wandseitige Unterseite ist uneben und zeichnet die unregelmäßige Ausgleichsschicht am Mauerwerk ab. Geringer biogener Bewuchs auf wandseitiger Unterseite der Schicht 1. Leichter biogener Bewuchs an den Fragmentkanten. Dunkle, bräunliche Flecken auf der Feinputzoberseite, sonst Feinputzoberfläche weitestgehend intakt.
Daten der Einzelproben	
Probennummer Einzelprobe	A 8_4_1, D 8_4_1, A 8_4_2, D 8_4_2,
Untersuchte Probenart	Dünnschliff (D) poliert, nicht abgedeckt Anschliff (A) poliert
Einbettungsmedium	Epoxidharz GP 20 A 8_4_2, D 8_4_2: blau eingefärbt mit Bluedye von Logitech
Datum der Probennahme	16.06.2016, 11.07.2016
Daten der Untersuchung	
Untersuchungen	Stratigraphie und Gefüge Mineralogisch-petrographische Untersuchung
Untersuchte Aspekte	Stratigraphie, Gefüge, Bindemittel, Zuschlag, Organische Zusätze, Verwitterung
Untersuchungsmethoden	Makroskopische Untersuchung, Stereomikroskopie, Auflichtmikroskopie, Durchlichtmikroskopie / Polarisationsmikroskopie
Verwendete Technik	Lupe 10x, Stereomikroskop Stemi 2000 C (Zeiss), Auflichtmikroskop Leica DMLM, Polarisationsmikroskop Leica DMLP
Durchführende Personen	Edith Aichinger
Labor / Betreuung	Lehrstuhl für Restaurierung (TUM)
Datum	25.06. – 30.07.2016



Gesamtansicht des Putz- / Stuckfragments

Fragment 8_4

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Abkürzungen: O: Oberputz; U: Unterputz; P: Untersuchung in Pompeiji; M: Untersuchung in München; D: Dünnschliff; A: Anschliff

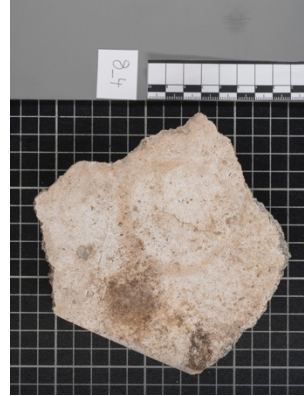
Entnommene Proben



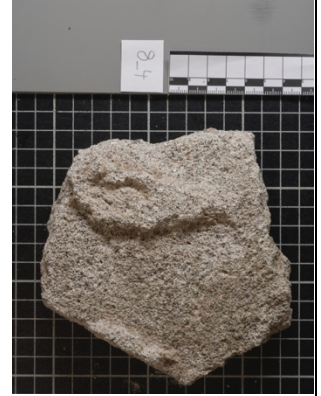
Fragment nach Schnitt für Probe 8_4_1



Fragmentunterseite nach Schnitt



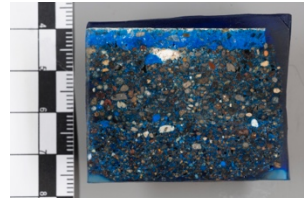
Fragment nach Schnitt für Probe 8_4_2



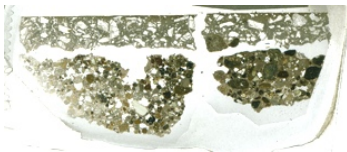
Fragmentunterseite nach Schnitt



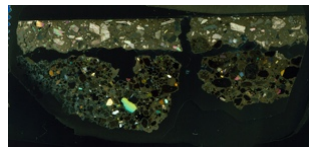
Anschliff 8_4_1



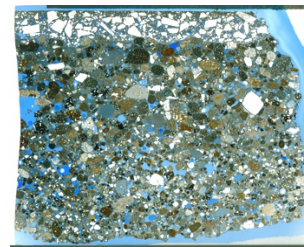
Anschliff 8_4_2



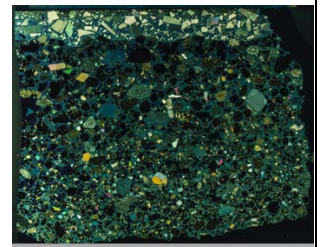
Dünnschliff 8_4_1



Dünnschliff 8_4_1 (XPol)



Dünnschliff 8_4_2

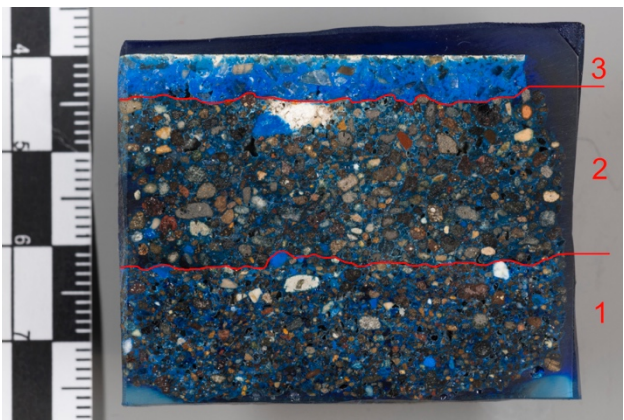


Dünnschliff 8_4_2 (XPol)

Stratigraphie



Stratigraphie Anschliff 8_4_1 (Präparat bei Schnitt gebrochen; Rekonstruktion)



Stratigraphie Anschliff 8_4_2

Probe	Schichtenanzahl	Lagenart	Gesamtstärke	Stärke Schicht 1 (U)	Stärke Schicht 2 (U)	Stärke Schicht 3 (F)
Fragment (P)	3	2 U, 1 O	3,5 cm	1,7 cm	1,3 cm	0,5 cm
Fragment (M)	3	2 U, 1 O	3,5 cm	0,2 – 1,7 (Schicht ist etwas unregelmäßig)	1,1 – 1,8 cm (Schicht ist etwas unregelmäßig)	0,2 – 0,4 cm
Anschliff 8_4_1	3	2 U, 1 O	Nicht bestimmbar, da Präparat bei Schnitt zerbrochen (Rekonstruktio)			
Anschliff 8_4_2	3	2 U, 1 O	3,3 cm	1–1,2 cm	1–1,8 cm	0,4 cm

Fragment 8_4

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Untersuchung der Einzelschichten				
Schicht 1 / Unterputz				
	Untersucher Aspekt	Probe	Ergebnis	
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	30 : 70 (in %)	
		F (M)	30 : 70 (in %)	
		A 8_4_1	30 : 70 (in %)	
		A 8_4_2	30 : 70 (in %)	
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 8_4_1	Überwiegend sehr gut	
		D 8_4_1	Überwiegend sehr gut	
		A 8_4_2	Überwiegend sehr gut	
		D 8_4_2	Überwiegend sehr gut	
	Sichtbare Poren %	F (M)	Porosität auch makroskopisch gut zu erkennen	
		A 8_4_1	15–20 %	
		A 8_4_2	15–20 %	
	Porenform	A 8_4_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		D 8_4_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		A 8_4_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		D 8_4_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		Anmerkungen: Porenform ist überwiegend polymorph. Die wenigen runden Poren sind deutlich kleiner als die polymorphen		
	Porengrößen	A 8_4_1	Maximal 2 mm	
		D 8_4_1	Maximal 2 mm	
		A 8_4_2	maximal bis 2,5 mm	
		D 8_4_2	maximal bis 2,5 mm	
	Porenverteilung	A 8_4_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		D 8_4_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		A 8_4_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		D 8_4_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
Anmerkungen:				
Risse	A 8_4_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
	D 8_4_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
	A 8_4_2	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
	D 8_4_2	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
	Anmerkungen: in den Dünnschliffen sind etwas mehr Risse zu erkennen, allerdings sind diese sehr fein			
Grenze zu nächster Putzschicht	F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> Ablösung		
	A 8_4_1	keine Beurteilung möglich da Präparat eine Rekonstruktion ist.		
	D 8_4_1			
	A 8_4_2	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	D 8_4_2	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input checked="" type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
Anmerkungen: Grenze zu Schicht 2 deutlich sichtbar über andere Farbigkeit und Struktur der Matrix sowie über die Sinterhaut				

Fragment 8_4

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – beige			
		A 8_4_1	weißlich – beige			
		D 8_4_1	Ipol: gräulich-beige mit leichtem Gelbstich Xpol: gräulich-beige, Farbton wird etwas kühler und dunkler			
		A 8_4_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung, aber heller als Schicht 2			
		D 8_4_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung			
	Struktur / Erscheinung	A 8_4_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen	<input type="checkbox"/> inhomogen	<input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig	<input type="checkbox"/> grobkörnig
		D 8_4_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen	<input type="checkbox"/> inhomogen	<input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig	<input type="checkbox"/> grobkörnig
			<input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin	<input type="checkbox"/> kryptokristallin		
		A 8_4_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen	<input type="checkbox"/> inhomogen	<input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig	<input type="checkbox"/> grobkörnig
		D 8_4_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen	<input type="checkbox"/> inhomogen	<input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig	<input type="checkbox"/> grobkörnig
			<input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin	<input type="checkbox"/> kryptokristallin		
		Anmerkungen:				
	Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen			
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen			
		A 8_4_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen	<input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein		
			<input type="checkbox"/> Kalkspatzen	<input type="checkbox"/> mit Sinterhaut		
		D 8_4_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen	<input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein		
			<input type="checkbox"/> Kalkspatzen	<input type="checkbox"/> mit Sinterhaut		
		A 8_4_2	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen	<input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein		
			<input type="checkbox"/> Kalkspatzen	<input type="checkbox"/> mit Sinterhaut		
D 8_4_2		<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen	<input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein			
		<input type="checkbox"/> Kalkspatzen	<input type="checkbox"/> mit Sinterhaut			
	Anmerkung: Kalkgallen am Fragment äußern sich durch weiße, puderige Einschlüsse geringer Dichte					
Bindemittelähnliche Partikel: Größe	F (M)	Bis 4 mm				
	A 8_4_1	Bis 3 mm				
	D 8_4_1	bis 3 mm, zahlreiche sehr kleine Kalkgallen unter 0,2 mm				
	A 8_4_2	bis 2 mm				
	D 8_4_2	bis 2 mm, zahlreiche sehr kleine Kalkgallen unter 0,2 mm				
	Anmerkung: Kalkgallen zeigen zum Teil unterschiedliche Zonen					
Vermutete Bindemittelart	D 8_4_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk	<input type="checkbox"/> Dolomitkalk	<input type="checkbox"/> Sonstiges		
		<input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk				
	D 8_4_2	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk	<input type="checkbox"/> Dolomitkalk	<input type="checkbox"/> Sonstiges		
	<input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk					
	Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar					
Vermutete Bindemittelform	D 8_4_1	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk	<input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk			
		<input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten				
	D 8_4_2	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk	<input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk			
	<input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten					
	Anmerkung: es finden sich nur ganz vereinzelt Säume um Zuschläge (meist Gläser) die auf hydraulische Reaktionen hindeuten könnten; Vermutung auf trocken gelöschten Kalk beruht auf der Präsenz von Kalkgallen.					
Zuschlag	Sortierung	F (P)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input checked="" type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> mäßig	
			<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht		
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input checked="" type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> mäßig	
			<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht		
		A 8_4_1	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input checked="" type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig	
	<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht				
A 8_4_2	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input checked="" type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig			
	<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht				
	Anmerkung:					
Korngrößenverteilung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt		
		<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal			
		Vereinzelt Größtkorn 5 mm; viel 1–2 mm				
	F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt		
		<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal			
		viel 0,5 – 1 mm, vereinzelt Größtkorn bis 7 mm				
A 8_4_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt			
	<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal				
	Dominanter Anteil von 0,5 bis 1 mm, vereinzelt bis 2 mm					
A 8_4_2	<input type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt			
	<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal				
	Dominanter Anteil von 0,5 bis 1 mm, vereinzelt Größtkorn bis 3 mm					
	Anmerkung:					

Fragment 8_4

Makro- und mikroskopische Untersuchung

	Rundungsgrad	F (P)	Alle Kornformen Tendenziell gut gerundet
		F (M)	Mittelmäßig gerundet, angerundet, subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6)
		A 8_4_1	Alle Kornformen Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind
		A 8_4_2	Alle Kornformen Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind
			Anmerkung: Polymorphe haben porphyrisches Gefüge
	Mischungsverteilung	A 8_4_1	<input type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich <input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
		A 8_4_2	<input type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich <input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
			Anmerkung: Sand vermutlich gesiebt da sehr wenig Größtkorn
		F (P)	eher bunt
		F (M)	bunt aber viel schwarz-gräulich und bräunlich
		A 8_4_1	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün, braun, braunrot, rot, gelb
		A 8_4_2	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün, braun, braunrot, rot, gelb
			Anmerkung:
	Mineralogisch-petrographischer Bestand	D 8_4_1	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Carbonate
			<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Quarz, Feldspäte und Weiter
		D 8_4_2	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Carbonate
			<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Quarz, Feldspäte und Weitere
			Anmerkung:
	Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel	D 8_4_1	Vereinzel Säume um Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser
		D 8_4_2	Vereinzel Säume um Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser
			Anmerkung:
	Organische Zusätze	F (M)	Keine erkennbar
		A 8_4_1	Keine erkennbar
		D 8_4_1	Keine erkennbar
		A 8_4_2	Keine erkennbar
		D 8_4_2	Keine erkennbar
	Verwitterung	D 8_4_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
		D 8_4_2	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
			Anmerkung: keine zu erkennen
	Biogener Bewuchs / Einlagerungen	F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Beschreibung: leichter biogener Bewuchs auf der Unterseite
		A 8_4_1	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Leichter biogener Bewuchs in Poren Richtung Unterseite
		D 8_4_1	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Leichter biogener Bewuchs in Poren Richtung Unterseite
		A 8_4_2	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		D 8_4_2	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
			Anmerkung: Ursache des biogenen Bewuchses liegt vermutlich daran, das das Fragment lange auf dem Erdreich lag.

Fragment 8_4

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Schicht 2 / Unterputz				
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis	
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	30 : 70 (in %)	
		F (M)	30 : 70 (in %)	
		A 8_4_1	30 : 70 (in %)	
		A 8_4_2	30 : 70 (in %)	
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 8_4_1	Überwiegend sehr gut	
		D 8_4_1	Überwiegend sehr gut	
		A 8_4_2	Überwiegend sehr gut	
		D 8_4_2	Überwiegend sehr gut	
	Sichtbare Poren %	F (M)	Porosität gut zu erkennen	
		A 8_4_1	etwa 10-15 %	
		A 8_4_2	etwa 10-15 %	
	Porenform	A 8_4_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	
			<input type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		D 8_4_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	
			<input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		A 8_4_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	
		<input type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph		
		D 8_4_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	
			<input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		Anmerkungen: Porenform ist überwiegend polymorph, wobei die polymorphen größer sind als die runden		
	Porengrößen	A 8_4_1	Maximal bis 1,5 mm	
		D 8_4_1	Auch kleine runde unter 0,2 mm	
		A 8_4_2	maximal bis 1 mm	
		D 8_4_2	Auch zahlreiche kleine runde unter 0,2 mm	
	Porenverteilung	A 8_4_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		D 8_4_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		A 8_4_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		D 8_4_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
Anmerkungen:				
Risse	A 8_4_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief		
		<input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
	D 8_4_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief		
		<input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
	A 8_4_2	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief		
	<input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel			
	D 8_4_2	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief		
		<input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
	Anmerkungen: in den Dünnschliffen sind etwas mehr Risse zu erkennen, allerdings sind diese sehr fein			
Grenze zu nächster Putzschicht	F (M)		<input checked="" type="checkbox"/> Ablösung	
	A 8_4_1	Keine Angabe möglich weil Präparat beim Schnitt zerbrochen		
	D 8_4_1			
	A 8_4_2	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input checked="" type="checkbox"/> Ablösung		
	D 8_4_2	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input checked="" type="checkbox"/> Sinterhaut <input checked="" type="checkbox"/> Ablösung		
	Anmerkungen: Übergang zu Schicht 3 ist sehr unregelmäßig, nicht gerade; teilweise sind die großen Körner in Schicht 3 verzahnt. Ablösungspalt zu Schicht 3 partiell sichtbar.			

Fragment 8_4

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Bindemittel	Farbe	F (M)	Leicht bräunlich			
		A 8_4_1	Hell bräunlich			
		D 8_4_1	Ipol: gräulich-beige, leicht bräunlich Xpol: gräulich-beige, leicht bräunlich			
		A 8_4_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung aber dunkler als Schicht 1			
		D 8_4_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung			
		Struktur / Erscheinung	A 8_4_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen	<input type="checkbox"/> inhomogen	<input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig	☐ grobkörnig
	D 8_4_1		<input type="checkbox"/> homogen	<input checked="" type="checkbox"/> inhomogen	<input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig	<input type="checkbox"/> grobkörnig
			<input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin	<input type="checkbox"/> kryptokristallin		
	A 8_4_2		<input checked="" type="checkbox"/> homogen	<input type="checkbox"/> inhomogen	<input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig	<input type="checkbox"/> grobkörnig
	D 8_4_2		<input type="checkbox"/> homogen	<input checked="" type="checkbox"/> inhomogen	<input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig	<input type="checkbox"/> grobkörnig
			<input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin	<input type="checkbox"/> kryptokristallin		
	Anmerkungen: Inhomogenität äußert sich in bräunlichen, punkartigen Flecken und durch bräunliche Säume um Feinstzuschlag					
	Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen			
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen			
		A 8_4_1	<input type="checkbox"/> Kalkgallen	<input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein		
			<input type="checkbox"/> Kalkspatzen	<input type="checkbox"/> mit Sinterhaut		
		D 8_4_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen	<input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein		
			<input type="checkbox"/> Kalkspatzen	<input type="checkbox"/> mit Sinterhaut		
		A 8_4_2	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen	<input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein		
			<input type="checkbox"/> Kalkspatzen	<input type="checkbox"/> mit Sinterhaut		
D 8_4_2		<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen	<input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein			
		<input type="checkbox"/> Kalkspatzen	<input type="checkbox"/> mit Sinterhaut			
Anmerkung: Kalkgallen am Fragment äußern sich durch weiße, pudrige Einschlüsse geringer Dichte						
Bindemittelähnliche Partikel: Größe	F (M)	Bis 6 mm				
	A 8_4_1	Keine zu erkennen				
	D 8_4_1	Nur kleinere unter 1 mm				
	A 8_4_2	bis 3 mm				
	D 8_4_2	bis 3 mm und zahlreiche kleine unter 0,3 mm				
	Anmerkung: Kalkgallen zeigen zum Teil unterschiedliche Zonen, teilweise mit leichten Verunreinigungen					
Vermutete Bindemittelart	D 8_4_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk	<input type="checkbox"/> Dolomitkalk	<input type="checkbox"/> Sonstiges		
		<input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk				
	D 8_4_2	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk	<input type="checkbox"/> Dolomitkalk	<input type="checkbox"/> Sonstiges		
		<input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk				
Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar						
Vermutete Bindemittelform	D 8_4_1	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk	<input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk			
		<input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten				
	D 8_4_2	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk	<input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk			
		<input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten				
Anmerkung: möglicherweise handelt es sich bei dem Feinstzuschlag teilweise um Puzzolan, auch ein natürlich hydraulischer Mörtel kann nicht ausgeschlossen werden						
Zuschlag	Sortierung	F (P)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input checked="" type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> mäßig	
			<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht		
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input checked="" type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> mäßig	
			<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht		
		A 8_4_1	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig	
			<input checked="" type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht		
A 8_4_2	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig			
	<input checked="" type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht				
Anmerkung:						
	Korngrößenverteilung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt	
			<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal		
		Vereinzelt Größtkorn: 5–6 mm; viel 1–2 mm				
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt	
			<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal		
		viel 0,5 – 2 mm, vereinzelt Größtkorn bis 4 mm				
		A 8_4_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt	
			<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input checked="" type="checkbox"/> bimodal	Dominanter Anteil von 1 bis 2 mm und im Fein- und Feinkornbereich	
A 8_4_2	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt			
	<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input checked="" type="checkbox"/> bimodal	Dominanter Anteil von 1 bis 2 mm und im Fein- und Feinkornbereich			
Anmerkung: Im Dünnschliff ist ein deutlich höherer Anteil an Feinstzuschlag zu erkennen als bei Schicht 1, im Dünnschliff viel unter 0,2 mm zu erkennen						

Fragment 8_4

Makro- und mikroskopische Untersuchung

	Rundungsgrad	F (P)	Alle Kornformen Tendenziell gut gerundet	
		F (M)	Mittelmäßig gerundet, angerundet, subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6)	
		A 8_4_1	Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind	
		A 8_4_2	Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind	
			Anmerkung:	
	Mischungsverteilung	A 8_4_1	<input type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich <input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich	
		A 8_4_2	<input type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich <input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich	
			Anmerkung: der Feinstanteil könnte fraktioniert und extra zugesetzt sein	
		F (P)	eher bunt	
		F (M)	bunt aber viel schwarz-grünlich und bräunlich	
		A 8_4_1	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün. braun, braunrot, rot, gelb	
		A 8_4_2	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün. braun, braunrot, rot, gelb	
			Anmerkung:	
	Mineralogisch-petrographischer Bestand	D 8_4_1	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate	<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Quarz, Feldspäte und unterschiedlichste Weitere
		D 8_4_2	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate	<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Quarz, Feldspäte und unterschiedlichste Weitere
			Anmerkung: Es sind vereinzelt auch Ziegel, oder ziegelähnliche Körner zu erkennen, jedoch im Mittel- und Grobkornbereich; keine Säume um diese Körner	
	Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel	D 8_4_1	Häufig sind bräunliche Säume um die Feinskörner zu erkennen Vereinzelt Säume um größere Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser	
		D 8_4_2	Häufig sind bräunliche Säume um die Feinskörner zu erkennen Vereinzelt Säume um größere Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser	
			Anmerkung:	
Organische Zusätze		F (M)	Keine erkennbar	
		A 8_4_1	Keine erkennbar	
		D 8_4_1	Keine erkennbar	
		A 8_4_2	Keine erkennbar	
		D 8_4_2	Keine erkennbar	
Verwitterung	Sekundäre Phasenbildung	D 8_4_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen	
		D 8_4_2	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen	
			Anmerkung:	
	Biogene Einlagerungen	F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Wenig biogener Bewuchs an den Kanten	
		A 8_4_1	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein biogener Bewuchs in Poren an den Kanten	
		D 8_4_1	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein	
		A 8_4_2	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein geringer Anteil an biogenen Strukturen in Porenräumen	
		D 8_4_2	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein geringer Anteil an biogenen Strukturen in Porenräumen	
			Anmerkung: Fragment lag lange auf dem Erdreich	

Fragment 8_4

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Schicht 3 / Oberputz				
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis	
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	40 : 60 (in %)	
		F (M)	40 : 60 (in %)	
		A 8_4_1	50 : 50 (in %)	
		A 8_4_2	50 : 50 (in %)	
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 8_4_1	Überwiegend sehr gut	
		D 8_4_1	Überwiegend sehr gut	
		A 8_4_2	Überwiegend sehr gut	
		D 8_4_2	Überwiegend sehr gut	
	Sichtbare Poren %	F (M)	Poren nicht zu erkennen, wirkt kompakt	
		A 8_4_1	1–3% (inklusive der Risse)	
		D 8_4_1	3% (inklusive der Risse)	
		A 8_4_2	1–3% (inklusive der Risse)	
	Porenform	A 8_4_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	<input checked="" type="checkbox"/> polymorph
		D 8_4_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	<input checked="" type="checkbox"/> polymorph
		A 8_4_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	<input checked="" type="checkbox"/> polymorph
		D 8_4_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> Saumporen	<input checked="" type="checkbox"/> polymorph
	Anmerkungen: Überwiegend polymorphe Poren, die wenigen runden sind sehr klein; Saumporen zeigen sich nur vereinzelt			
	Porengrößen	A 8_4_1	Maximal 1 mm	
		D 8_4_1	Maximal 1 mm	
		A 8_4_2	maximal bis 2 mm	
		D 8_4_2	maximal bis 2 mm	
	Porenverteilung	A 8_4_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		D 8_4_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		A 8_4_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		D 8_4_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
	Anmerkungen: hierbei wurden nur die Poren und nicht die Risse betrachtet			
	Risse	A 8_4_1	<input checked="" type="checkbox"/> horizontal <input type="checkbox"/> wenige <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> zahlreich <input checked="" type="checkbox"/> schief <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
		D 8_4_1	<input checked="" type="checkbox"/> horizontal <input type="checkbox"/> wenige <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> zahlreich <input checked="" type="checkbox"/> schief <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
A 8_4_2		<input type="checkbox"/> horizontal <input type="checkbox"/> wenige <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> zahlreich <input checked="" type="checkbox"/> schief <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
D 8_4_2		<input type="checkbox"/> horizontal <input type="checkbox"/> wenige <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> zahlreich <input checked="" type="checkbox"/> schief <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
Anmerkungen: Risse sind überwiegend vertikal (zickzack-Risse) und gehen meist von der Oberfläche oder von der Grenze zu Schicht 2 aus. Teilweise auch Risse zwischen den Zuschlägen				
Oberfläche	F (M)	<input type="checkbox"/> Ablösung		
	A 8_4_1	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	D 8_4_1	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	A 8_4_2	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	D 8_4_2	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
Anmerkungen: Am Fragment sind braune Flecken auf der Oberfläche zu erkennen.				

Fragment 8_4

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – Beige			
		A 8_4_1	weißlich – Beige			
		D 8_4_1	Ipol: Beige Xpol: gräulich-Beige			
		A 8_4_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung			
		D 8_4_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung			
		Struktur / Erscheinung	A 8_4_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen	<input type="checkbox"/> inhomogen	<input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig	☐ grobkörnig
	D 8_4_1		<input checked="" type="checkbox"/> homogen	<input type="checkbox"/> inhomogen	<input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig	<input type="checkbox"/> grobkörnig
			<input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin	<input type="checkbox"/> kryptokristallin		
	A 8_4_2		<input checked="" type="checkbox"/> homogen	<input type="checkbox"/> inhomogen	<input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig	<input type="checkbox"/> grobkörnig
	D 8_4_2		<input checked="" type="checkbox"/> homogen	<input type="checkbox"/> inhomogen	<input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig	<input type="checkbox"/> grobkörnig
			<input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin	<input type="checkbox"/> kryptokristallin		
	Bindemittelähnliche Partikel	Anmerkungen:				
		F (P)	<input type="checkbox"/> Kalkgallen			
		F (M)	<input type="checkbox"/> Kalkgallen			
		A 8_4_1	<input type="checkbox"/> Kalkgallen	<input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein		
			<input type="checkbox"/> Kalkspatzen	<input type="checkbox"/> mit Sinterhaut		
		D 8_4_1	<input type="checkbox"/> Kalkgallen	<input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein		
			<input type="checkbox"/> Kalkspatzen	<input type="checkbox"/> mit Sinterhaut		
		A 8_4_2	<input type="checkbox"/> Kalkgallen	<input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein		
			<input type="checkbox"/> Kalkspatzen	<input type="checkbox"/> mit Sinterhaut		
D 8_4_2		<input type="checkbox"/> Kalkgallen	<input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein			
	<input type="checkbox"/> Kalkspatzen	<input type="checkbox"/> mit Sinterhaut				
Bindemittelähnliche Partikel: Größe	Anmerkung:					
	F (M)	-----				
	A 8_4_1	-----				
	D 8_4_1	-----				
	A 8_4_2	-----				
	D 8_4_2	-----				
Vermutete Bindemittelart	Anmerkung:					
	D 8_4_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk	<input type="checkbox"/> Dolomitkalk	<input type="checkbox"/> Sonstiges		
		<input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk				
	D 8_4_2	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk	<input type="checkbox"/> Dolomitkalk	<input type="checkbox"/> Sonstiges		
	<input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk					
Vermutete Bindemittelform	Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar					
	D 8_4_1	<input checked="" type="checkbox"/> Sumpfkalk	<input type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk			
		<input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten				
	D 8_4_2	<input checked="" type="checkbox"/> Sumpfkalk	<input type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk			
	<input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten					
Zuschlag	Sortierung	Anmerkung:				
		F (P)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input checked="" type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> mäßig	
			<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht		
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input checked="" type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> mäßig	
			<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht		
		A 8_4_1	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> mäßig	
			<input checked="" type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht		
		A 8_4_2	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> mäßig	
	<input checked="" type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht				
Korngrößenverteilung	Anmerkung:					
	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt		
		<input type="checkbox"/> polymodal	<input checked="" type="checkbox"/> bimodal			
		Viel 1–2				
	F (M)	<input type="checkbox"/> klastgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt		
		<input type="checkbox"/> polymodal	<input checked="" type="checkbox"/> bimodal			
		Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm, vereinzelt bis 4 mm				
	A 8_4_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> matrixgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt		
	<input type="checkbox"/> polymodal	<input checked="" type="checkbox"/> bimodal				
	Dominanter Anteil von 1 bis 2 mm und unter 0,5 mm, vereinzelt Größtkorn bis 3 mm					
A 8_4_2	<input type="checkbox"/> klastgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> matrixgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt			
	<input type="checkbox"/> polymodal	<input checked="" type="checkbox"/> bimodal				
	auffälliger Anteil von 1 bis 2 mm und unter 0,5 mm, vereinzelt Größtkorn bis 3 mm					
Anmerkung: Im Dünnschliff auch Feinstkorn zu erkennen						

Fragment 8_4

Makro- und mikroskopische Untersuchung

	Rundungsgrad	F (P)	Scharfkantig, Spaltflächen
		F (M)	Scharfkantig, Spaltflächen
		A 8_4_1	sehr angular (0,1) bis vollständig ungerundet, scharfkantig, angular (0,2) bis schlecht gerundet, kantengerundet, subangular (0,3)
		A 8_4_2	sehr angular (0,1) bis vollständig ungerundet, scharfkantig, angular (0,2) bis schlecht gerundet, kantengerundet, subangular (0,3)
			Anmerkung: wurde zerkleinert, gebrochen
	Mischungsverteilung	A 8_4_1	<input type="checkbox"/> natürlich <input checked="" type="checkbox"/> künstlich <input type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
		A 8_4_2	<input type="checkbox"/> natürlich <input checked="" type="checkbox"/> künstlich <input type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
			Anmerkung: wurde zerkleinert, gebrochen
		F (P)	Transparent farblos bis leicht gelblich
		F (M)	Transparent farblos bis leicht gelblich
		A 8_4_1	Transparent farblos bis leicht gelblich
		A 8_4_2	Transparent farblos bis leicht gelblich
			Anmerkung:
	Mineralogisch-petrographischer Bestand	D 8_4_1	<input type="checkbox"/> Gesteinsfragmente <input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Calcit
		D 8_4_2	<input type="checkbox"/> Gesteinsfragmente <input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Calcit
			Anmerkung:
	Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel	D 8_4_1	keine
		D 8_4_2	keine
			Anmerkung:
Organische Zusätze		F (M)	Keine erkennbar
		A 8_4_1	Keine erkennbar
		D 8_4_1	Keine erkennbar
		A 8_4_2	Keine erkennbar
		D 8_4_2	Keine erkennbar
Verwitterung	Sekundäre Phasenbildung	D 8_4_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
		D 8_4_2	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
			Anmerkung: Keine erkennbar
	Biogene Einlagerungen	F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Eventuell auf Oberfläche
		A 8_4_1	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Eventuell auf Oberfläche
		D 8_4_1	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Eventuell auf Oberfläche
		A 8_4_2	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Eventuell auf Oberfläche
		D 8_4_2	<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Eventuell auf Oberfläche
			Anmerkung:

Fragment 9_2

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Untersuchungsdatenblatt	
Daten der untersuchten Probe	
Ort	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument	PN_EN_6
Datierung (D'AMBROSIO/DE CARO 1983)	Augusteische Zeit ca. 27 v. Chr. – 14 n. Chr
Probennummer Fragment	9_2
Art der Entnahme der Gesamtprobe	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probennahme	23.05. – 27.05.2016
Funktionskontext des Fragments	Wanddekoration, Stuck
Anzahl und Art der Schichten	3 Unterputzschichten, 1 Oberputzschicht
Vollständigkeit des Schichtenpackets	scheint vollständig, wandseitige Unterseite ist uneben und zeichnet die unregelmäßige Ausgleichsschicht am Mauerwerk ab.
Größe (maximal)	13,5 x 7,9 cm
Gesamtgewicht bei Ausgleichsfeuchte (15.06.2016)	391,5 g (Waage: Sartorius BL31000 / Lehrstuhl RKK)
Anmerkungen	Putzaufbau scheint vollständig, wandseitige Unterseite ist uneben und zeichnet die unregelmäßige Ausgleichsschicht am Mauerwerk ab. Oberputzoberfläche weitestgehend intakt; Oberputz zeigt partiell leichte Ablösung vom Unterputz; Ablösungserscheinungen zwischen Schicht 2 und 3.
Daten der Einzelproben	
Probennummer Einzelprobe	A 9_2_1, D 9_2_1
Untersuchte Probenart	Dünnschliff (D) poliert, nicht abgedeckt Anschliff (A) poliert
Einbettungsmedium	Epoxidharz GP 20, blau eingefärbt mit Bluedye von Logitech
Datum der Probennahme	11.07.2016
Daten der Untersuchung	
Untersuchungen	Stratigraphie und Gefüge Mineralogisch-petrographische Untersuchung
Untersuchte Aspekte	Stratigraphie, Gefüge, Bindemittel, Zuschlag, Organische Zusätze, Verwitterung
Untersuchungsmethoden	Makroskopische Untersuchung, Stereomikroskopie, Auflichtmikroskopie, Durchlichtmikroskopie / Polarisationsmikroskopie
Verwendete Technik	Lupe 10x, Stereomikroskop Stemi 2000 C (Zeiss), Auflichtmikroskop Leica DMLM, Polarisationsmikroskop Leica DMLP
Durchführende Personen	Edith Aichinger
Labor / Betreuung	Lehrstuhl für Restaurierung (TUM)
Datum	25.06. – 30.07.2016



Gesamtansicht des Putz- / Stuckfragments

Fragment 9_2

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Abkürzungen: O: Oberputz; U: Unterputz; P: Untersuchung in Pompeiji; M: Untersuchung in München; D: Dünnschliff; A: Anschliff

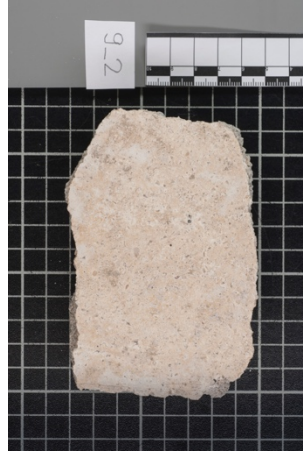
Probenentnahme



Fragment vor der Probenentnahme



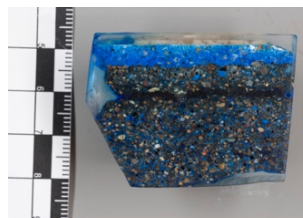
Fragmentunterseite



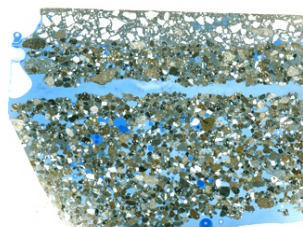
Fragment nach Schnitt für Probe 9_2_1



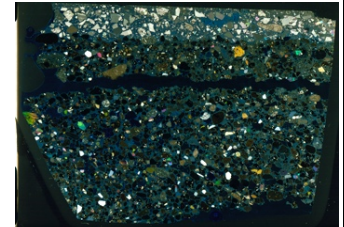
Fragmentunterseite nach Schnitt



Anschliff 9_2_1

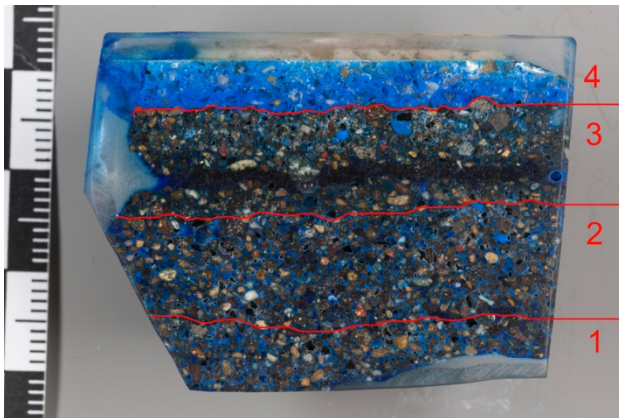


Dünnschliff 9_2_1



Dünnschliff 9_2_1 (XPol)

Stratigraphie



Stratigraphie Anschliff 9_2_1 (Präparat beim Schnitt gebrochen)

Probe	Schichtanzahl	Lagenart	Gesamtstärke	Stärke Schicht 1 (U)	Stärke Schicht 2 (U)	Stärke Schicht 3 (U)	Stärke Schicht 4 (O)
Fragment (P)	3	2 U, 1 O	3 cm	1,7 cm		0,8 cm	0,5 cm
Fragment (M)	4	3 U, 1 O	3,2 cm	0,9 – 0,2 cm	1 cm	0,7 – 0,9 cm	0,4 – 0,5 cm
Anschliff 9_2_1	4	3 U, 1 O	3 cm	0,5 – 1 cm	0,5–0,6 cm	0,6–0,9 cm	0,4–0,5 cm

Fragment 9_2

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Untersuchung der Einzelschichten				
Schicht 1 / Unterputz				
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis	
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	30 : 70 (in %)	
		F (M)	30 : 70 (in %)	
		A 9_2_1	30 : 70 (in %)	
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 9_2_1	Überwiegend sehr gut	
		D 9_2_1	Überwiegend sehr gut	
	Sichtbare Poren %	F (M)	Hohe Porosität deutlich zu erkennen	
	Porenform	A 9_2_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		D 9_2_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
			Anmerkungen: Es sind überwiegend polymorphe Poren und nur wenige runde Poren zu erkennen, wobei die runden kleiner sind	
	Porengrößen	A 9_2_1	Bis 1,5 mm	
D 9_2_1		Wenige runde Poren auch unter 0,1 mm		
Porenverteilung	A 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern		
	D 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern		
		Anmerkungen:		
Risse	A 9_2_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
	D 9_2_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
		Anmerkungen:		
Grenze zu nächster Putzschicht	F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> Ablösung		
	A 9_2_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	D 9_2_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
		Anmerkungen: Bei Fragment leichte Ablösungsspalten zu erkennen; Grenze zu Schicht 2 mikroskopisch nicht zu erkennen		
Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – beige	
		A 9_2_1	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung	
		D 9_2_1	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung	
	Struktur / Erscheinung	A 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin	
		D 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin	
			Anmerkungen:	
	Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input type="checkbox"/> keine Angabe	
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen	
		A 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		D 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
			Anmerkung: Kalkgallen am Fragment äußern sich durch weiße, puderige Einschlüsse geringer Dichte	
	Bindemittelähnliche Partikel: Größe	F (M)	Bis 2 mm	
		A 9_2_1	Bis 1 mm	
		D 9_2_1	Bis 3 mm und einige kleine	
		Anmerkung: Kalkgallen zeigen zum Teil Risse		
	Vermutete Bindemittelart	D 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk	
			Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar	

Fragment 9_2

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Zuschlag	Sortierung	F (P)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig
			<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig
			<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		A 9_2_1	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig
			<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		Anmerkung:			
	Korngrößenverteilung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
			<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal	
			Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm; vereinzelt Größtkorn: über 2 mm, selten 4 mm		
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
			<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal	
			Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm; vereinzelt Größtkorn: über 2 mm, selten 4 mm		
		A 9_2_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
			<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal	
			Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm		
		Anmerkung:			
	Rundungsgrad	F (P)	Alle Kornformen Tendenziell gut gerundet		
		F (M)	Mittelmäßig gerundet, angerundet, subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6)		
		A 9_2_1	Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind; Alle Grade an Sphärizität enthalten		
		Anmerkung:			
	Mischungsverteilung	A 9_2_1	<input type="checkbox"/> natürlich	<input type="checkbox"/> künstlich	<input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
			Anmerkung: wurde vermutlich gesiebt, da wenig Größtkorn		
		F (P)	eher bunt		
		F (M)	bunt aber viel schwarz-gräulich und bräunlich		
		A 9_2_1	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün, braun, braunrot, rot, gelb		
		Anmerkung:			
	Mineralogisch-petrographischer Bestand	D 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente	<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale	
			Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate	Quarz, Feldspäte und Weitere	
		Anmerkung:			
	Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel	D 9_2_1	keine		
			Anmerkung:		
Organische Zusätze		F (M)	Keine erkennbar		
		A 9_2_1	Keine erkennbar		
		D 9_2_1	Keine erkennbar		
Verwitterung	Sekundäre Phasenbildung	D 9_2_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation	<input type="checkbox"/> entlang von Poren	<input type="checkbox"/> entlang von Rissen
			Anmerkung: Keine erkennbar		
	Biogene Einlagerungen	F (M)	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/> nein	
		A 9_2_1	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/> nein	
		D 9_2_1	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/> nein	
			Anmerkung:		

Fragment 9_2

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Schicht 2 / Unterputz			
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	30 : 70 (in %)
		F (M)	30 : 70 (in %)
		A 9_2_1	30 : 70 (in %) Schwankungen je nach untersuchtem Sektor
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 9_2_1	Überwiegend sehr gut
		D 9_2_1	Überwiegend sehr gut
	Sichtbare Poren %	F (M)	Hohe Porosität deutlich zu erkennen
		A 9_2_1	15–20 %
	Porenform	A 9_2_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
		D 9_2_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
			Anmerkungen: Es sind überwiegend polymorphe Poren und nur wenige runde Poren zu erkennen, wobei die runden kleiner sind; Saumporen wurden nur um ein einziges Zuschlagkorn gefunden
	Porengrößen	A 9_2_1	Bis 2 mm
		D 9_2_1	Wenige runde Poren auch unter 0,1 mm
	Porenverteilung	A 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern
		D 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern
		Anmerkungen:	
Risse	A 9_2_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
	D 9_2_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
		Anmerkungen:	
Grenze zu nächster Putzschicht	F (M)		<input checked="" type="checkbox"/> Ablösung
	A 9_2_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung	
	D 9_2_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung	
		Anmerkungen: Genauer Übergang zu Schicht 3 mikroskopisch kaum zu erkennen, nur anhand leicht veränderter Bindemittelfarbe und mehr Feistzuschlag in Schicht 3; Bei Fragment deutliche Ablösungsspalten zu Schicht 3 zu erkennen	
Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – beige
		A 9_2_1	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung
		D 9_2_1	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung
	Struktur / Erscheinung	A 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig
		D 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin
			Anmerkungen:
	Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input type="checkbox"/> keine Angabe
		F (M)	<input type="checkbox"/> Kalkgallen
		A 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut
		D 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut
			Anmerkung:
	Bindemittelähnliche Partikel: Größe	F (M)	-----
		A 9_2_1	Bis 1 mm
		D 9_2_1	Bis 1 mm und einige kleine
		Anmerkung: Kalkgallen zeigen zum Teil Risse	
	Vermutete Bindemittelart	D 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk
			Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar
	Vermutete Bindemittelform	D 9_2_1	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten
			Anmerkung: keine Puzzolane zu erkennen, keine Hinweise auf natürlich hydraulisches Bindemittel zu erkennen; Trocken gelöschter Kalk wird aufgrund der Kalkgallen vermutet

Fragment 9_2

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Zuschlag		F (P)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig
			<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig
			<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht	
	A 9_2_1	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig	
			<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		Anmerkung:			
	Korngrößenverteilung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
			<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal	
			Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm; vereinzelt Größtkorn: über 2 mm, selten 4 mm		
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
		<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal		
		Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm; vereinzelt Größtkorn: über 2 mm, selten 4 mm			
	A 9_2_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt	
		<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal		
		Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm			
		Anmerkung: Schwankungen je nach untersuchtem Sektor			
	Rundungsgrad	F (P)	Alle Kornformen Tendenziell gut gerundet		
		F (M)	Mittelmäßig gerundet, angerundet, subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6)		
		A 9_2_1	Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind; Alle Grade an Sphärität enthalten		
			Anmerkung:		
	Mischungsverteilung	A 9_2_1	<input type="checkbox"/> natürlich	<input type="checkbox"/> künstlich	<input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
		Anmerkung: wurde vermutlich gesiebt, da wenig Größtkorn			
		F (P)	eher bunt		
		F (M)	bunt aber viel schwarz-gräulich und bräunlich		
		A 9_2_1	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün, braun, braunrot, rot, gelb		
			Anmerkung:		
	Mineralogisch-petrographischer Bestand	D 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente	<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale	
			Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate	Quarz, Feldspäte und Weitere	
			Anmerkung:		
	Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel	D 9_2_1	Vereinzelt Säume um Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser		
			Anmerkung:		
Organische Zusätze		F (M)	Keine erkennbar		
		A 9_2_1	Keine erkennbar		
		D 9_2_1	Keine erkennbar		
			Anmerkung:		
Verwitterung	Sekundäre Phasenbildung	D 9_2_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation	<input type="checkbox"/> entlang von Poren	
				<input type="checkbox"/> entlang von Rissen	
		Anmerkung: Keine erkennbar			
	Biogene Einlagerungen	F (M)	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/> nein	
		A 9_2_1	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/> nein	
		D 9_2_1	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/> nein	
			Anmerkung:		

Fragment 9_2

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Schicht 3 / Unterputz			
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	30 : 70 (in %)
		F (M)	30 : 70 (in %)
		A 9_2_1	30 : 70 (in %)
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 9_2_1	Überwiegend sehr gut
		D 9_2_1	Überwiegend sehr gut
	Sichtbare Poren %	F (M)	Porosität zu erkennen
		A 9_2_1	5_10 %
		D 9_2_1	5_10 % Schicht 3 wirkt insgesamt dichter als Schicht 1 und 2
	Porenform	A 9_2_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
		D 9_2_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
			Anmerkungen: Es sind überwiegend polymorphe Poren und nur wenige runde Poren zu erkennen, wobei die runden kleiner sind; Saumporen wurden nur an einem Zuschlagkorn gefunden
	Porengrößen	A 9_2_1	Bis 1,5 mm
	D 9_2_1	Die wenigen runden sind meist sehr klein (unter 0,2 mm)	
Porenverteilung	A 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
	D 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		Anmerkungen:	
Risse	A 9_2_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
	D 9_2_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
		Anmerkungen: Feine, vertikale Risse vermehrt an Grenze zu Schicht 4.	
Grenze zu nächster Putzschicht	F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> Ablösung	
	A 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung	
	D 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input checked="" type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung	
		Anmerkungen: Aufgrund der geringeren Porosität und der dichten Erscheinung könnte die Schicht auch leicht verdichtet sein.	
Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – beige, leicht bräunlich
		A 9_2_1	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung
		D 9_2_1	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung
	Struktur / Erscheinung	A 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig
		D 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin
			Anmerkungen: Struktur ist an sich homogen, jedoch sind bräunliche, punkartige Flecken homogen im Bindemittel verteilt, daher inhomogener Eindruck. Um Feinstzuschläge sind vereinzelt bräunliche Säume zu erkennen
	Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input type="checkbox"/> keine Angabe
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen
		A 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut
		D 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut
			Anmerkung: Kalkgallen am Fragment äußern sich durch weiße, puderige Einschlüsse geringer Dichte
	Bindemittelähnliche Partikel: Größe	F (M)	Bis 2 mm
		A 9_2_1	Bis 1,5 mm
		D 9_2_1	Bis 1 mm und vereinzelt kleinere
			Anmerkung:
	Vermutete Bindemittelart	D 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk
			Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar
	Vermutete Bindemittelform	D 9_2_1	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input checked="" type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten
			Anmerkung: Bei Feinstzuschlägen könnte es sich teilweise um Puzzolan handeln. Die braunen Flecken könnten auch Relikte von abreagiertem Puzzolan sein.

Fragment 9_2

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Zuschlag	Sortierung	F (P)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig
		A 9_2_1	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig
			<input checked="" type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		Anmerkung:			
	Korngrößenverteilung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
		A 9_2_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
			<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal	
		Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm; vereinzelt Größtkorn: über 2 mm, selten 4 mm			
		Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm; vereinzelt Größtkorn über 2 mm			
		Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm und höherer Anteil an Fein- und Feinstzuschlägen als bei Schicht 1 und 2			
		Anmerkung:			
	Rundungsgrad	F (P)	Alle Kornformen Tendenziell gut gerundet		
		F (M)	Mittelmäßig gerundet, angerundet, subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6)		
		A 9_2_1	Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind		
			Anmerkung:		
	Mischungsverteilung	A 9_2_1	<input type="checkbox"/> natürlich	<input type="checkbox"/> künstlich	<input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
			Anmerkung: wurde vermutlich gesiebt wegen geringen Anteil an Größtkorn und Zusatz einer Feinstfraktion		
		F (P)	eher bunt		
		F (M)	bunt aber viel schwarz-gräulich und bräunlich		
		A 9_2_1	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün, braun, braunrot, rot, gelb		
		Anmerkung:			
	Mineralogisch-petrographischer Bestand	D 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente	<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale	
			Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate	Quarz, Feldspäte und weitere	
		Anmerkung:			
	Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel	D 9_2_1	Braune Flecken in Bindemittelmatrix, vereinzelt Säume um Feinstzuschläge, vereinzelt Säume um größere Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser		
			Anmerkung:		
Organische Zusätze		F (M)	Keine erkennbar		
		A 9_2_1	Keine erkennbar		
		D 9_2_1	Keine erkennbar		
Verwitterung	Sekundäre Phasenbildung	D 9_2_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation	<input type="checkbox"/> entlang von Poren	<input type="checkbox"/> entlang von Rissen
			Anmerkung: Keine erkennbar		
	Biogene Einlagerungen	F (M)	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/> nein	
		A 9_2_1	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/> nein	
		D 9_2_1	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/> nein	
			Anmerkung:		

Fragment 9_2

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Schicht 4 / Oberputz				
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis	
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	40 : 60 (in %)	
		F (M)	40 : 60 (in %)	
		A 9_2_1	50 : 50 (in %)	
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 9_2_1	Überwiegend sehr gut	
		D 9_2_1	Überwiegend sehr gut	
	Sichtbare Poren %	F (M)	Poren nicht zu erkennen, wirkt kompakt	
		A 9_2_1	2 %	
		D 9_2_1	2 %	
	Porenform	A 9_2_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		D 9_2_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph Anmerkungen: Porenform überwiegend polymorph, die runden sind selten und deutlich kleiner	
	Porengrößen	A 9_2_1	Bis 0,5 mm	
		D 9_2_1	Bis 0,5 mm	
Porenverteilung	A 9_2_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern		
	D 9_2_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern Anmerkungen:		
Risse	A 9_2_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
	D 9_2_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel Anmerkungen: Keine Risse entlang der Oberfläche		
Oberfläche	F (M)			
	A 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	D 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung Anmerkungen: Obergrenze ist ebenmäßig, gerade Linie; sehr starke Verdichtung		
Bindemittel	Farbe	F (M)	Weißlich Beige	
		A 9_2_1	Keine Angabe möglich wegen Blaufärbung	
		D 9_2_1	Keine Angabe möglich wegen Blaufärbung	
	Struktur / Erscheinung	A 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin	
		D 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin Anmerkungen:	
	Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input type="checkbox"/> Kalkgallen	
		F (M)	<input type="checkbox"/> Kalkgallen	
		A 9_2_1	<input type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		D 9_2_1	<input type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut Anmerkung:	
	Bindemittelähnliche Partikel: Größe	F (M)	-----	
		A 9_2_1	-----	
		D 9_2_1	-----	
	Vermutete Bindemittelart	D 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar	
		D 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> Sumpfkalk <input type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten Anmerkung:	

Fragment 9_2

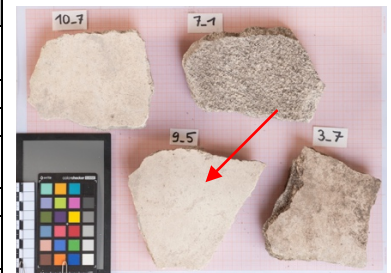
Makro- und mikroskopische Untersuchung

Zuschlag	Sortierung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> sehr gut	<input checked="" type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> mäßig
			<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input checked="" type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig
			<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht	
	A 9_2_1	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> mäßig	
		<input checked="" type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht		
Anmerkung: Am Anschliff und Dünnschliff ist ein Feinanteil zu erkennen, der am Fragment so nicht erkannt werden kann.					
	Korngrößenverteilung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
			<input type="checkbox"/> polymodal	<input checked="" type="checkbox"/> bimodal	
		Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm, vereinzelt bis 3 mm			
		F (M)	<input type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
		<input type="checkbox"/> polymodal	<input checked="" type="checkbox"/> bimodal		
Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm, vereinzelt bis 3 mm					
	A 9_2_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt	
		<input type="checkbox"/> polymodal	<input checked="" type="checkbox"/> bimodal		
Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm und im Fein- und Feinkornbereich, vereinzelt über 2 mm					
Anmerkung: Im Dünnschliff ist ein sehr hoher Feinanteil zu erkennen. Die Partikel liegen zum Teil auch unter einer hauch dünnen Schicht Bindemittel					
	Rundungsgrad	F (P)	Scharfkantig, Spaltflächen		
		F (M)	Scharfkantig, Spaltflächen		
		A 9_2_1	Überwiegend sehr angular (0,1) bis vollständig ungerundet, scharfkantig, angular (0,2) bis schlecht gerundet, kantengerundet, subangular (0,3)		
		Anmerkung:			
	A 9_2_1	<input type="checkbox"/> natürlich	<input checked="" type="checkbox"/> künstlich	<input type="checkbox"/> natürlich u. künstlich	
Anmerkung: wurde zerkleinert, gebrochen					
		F (P)	Transparent farblos bis leicht gelblich		
		F (M)	Transparent farblos bis leicht gelblich		
		A 9_2_1	Transparent farblos bis leicht gelblich		
		Anmerkung:			
	Mineralogisch-petrographischer Bestand	D 9_2_1	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente	<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale	
			wenige metamorphe und sedimentäre Karbonate	Calcit	
Anmerkung:					
	Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel	D 9_2_1	keine		
		Anmerkung:			
Organische Zusätze		F (M)	Keine erkennbar		
		A 9_2_1	Keine erkennbar		
		D 9_2_1	Keine erkennbar		
Verwitterung	Sekundäre Phasenbildung	D 9_2_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation	<input type="checkbox"/> entlang von Poren	<input type="checkbox"/> entlang von Rissen
		Anmerkung: Calcit			
	Biogene Einlagerungen	F (M)	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/> nein	
		A 9_2_1	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/> nein	
		D 9_2_1	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/> nein	
		Anmerkung:			

Fragment 9_5

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Untersuchungsdatenblatt	
Daten der untersuchten Probe	
Ort	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument	PN_EN_6
Datierung (D'AMBROSIO/DE CARO 1983)	Augusteische Zeit ca. 27 v. Chr. – 14 n. Chr
Probennummer Fragment	9_5
Art der Entnahme der Gesamtprobe	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probennahme	23.05. – 27.05.2016
Funktionskontext des Fragments	Wanddekoration, Stuck
Anzahl und Art der Schichten	3 Unterputzschichten, 1 Oberputzschicht
Vollständigkeit des Schichtenpackets	scheint vollständig, wandseitige Unterseite ist uneben und zeichnet die unregelmäßige Ausgleichsschicht am Mauerwerk ab.
Größe (maximal)	15,2 x 11,8 cm
Gesamtgewicht bei Ausgleichsfeuchte (15.06.2016)	529,9 g (Waage: Sartorius BL31000 / Lehrstuhl RKK)
Anmerkungen	Putzaufbau scheint vollständig, wandseitige Unterseite ist uneben und zeichnet die unregelmäßige Ausgleichsschicht am Mauerwerk ab. Feinputzoberfläche weitestgehend intakt. An einer Feinputzkante sind Reste eines Restauriermörtels zu erkennen. Feinputz zeigt partiell leichte Ablösung vom Unterputz. Partiiell leichte Ablösungserscheinungen zwischen Schicht 1 und 2 und zwischen Schicht 2 und 3.
Daten der Einzelproben	
Probennummer Einzelprobe	A 9_5_1, D 9_5_1, A 9_5_2, D 9_5_2
Untersuchte Probenart	Dünnschliff (D) poliert, nicht abgedeckt Anschliff (A) poliert
Einbettungsmedium	Epoxidharz GP 20 A 9_5_2, D 9_5_2: blau eingefärbt mit Bluedye von Logitech
Datum der Probennahme	16.06.2016, 11.07.2016
Daten der Untersuchung	
Untersuchungen	Stratigraphie und Gefüge Mineralogisch-petrographische Untersuchung
Untersuchte Aspekte	Stratigraphie, Gefüge, Bindemittel, Zuschlag, Organische Zusätze, Verwitterung
Untersuchungsmethoden	Makroskopische Untersuchung, Stereomikroskopie, Auflichtmikroskopie, Durchlichtmikroskopie / Polarisationsmikroskopie
Verwendete Technik	Lupe 10x, Stereomikroskop Stemi 2000 C (Zeiss), Auflichtmikroskop Leica DMLM, Polarisationsmikroskop Leica DMLP
Durchführende Personen	Edith Aichinger
Labor / Betreuung	Lehrstuhl für Restaurierung (TUM)
Datum	25.06. – 30.07.2016



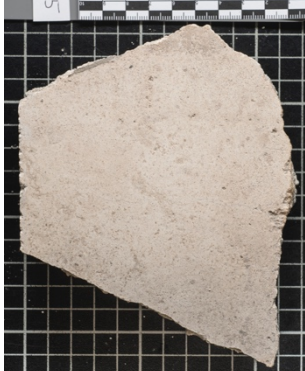
Gesamtansicht des Putz- / Stuckfragments

Fragment 9_5

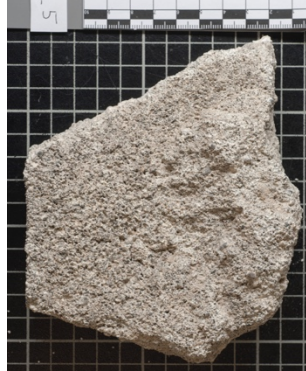
Makro- und mikroskopische Untersuchung

Abkürzungen: O: Oberputz; U: Unterputz; P: Untersuchung in Pompeji; M: Untersuchung in München; D: Dünnschliff; A: Anschliff

Probenentnahme



Fragment nach Schnitt für Probe 9_5_1



Fragmentunterseite nach Schnitt



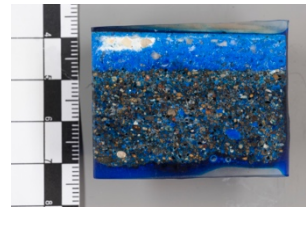
Fragment nach Schnitt für Probe 9_5_2



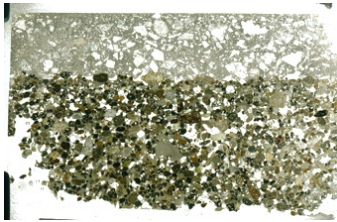
Fragmentunterseite nach Schnitt



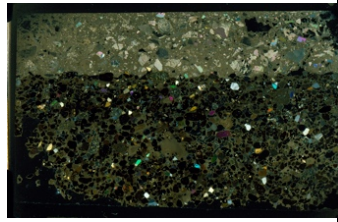
Anschliff 9_5_1



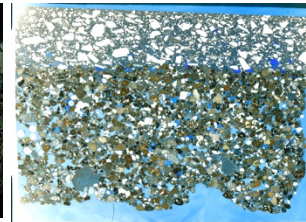
Anschliff 9_5_2



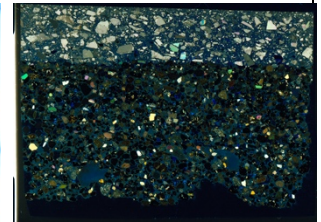
Dünnschliff 9_5_1



Dünnschliff 9_5_1 (XPol)



Dünnschliff 9_5_2

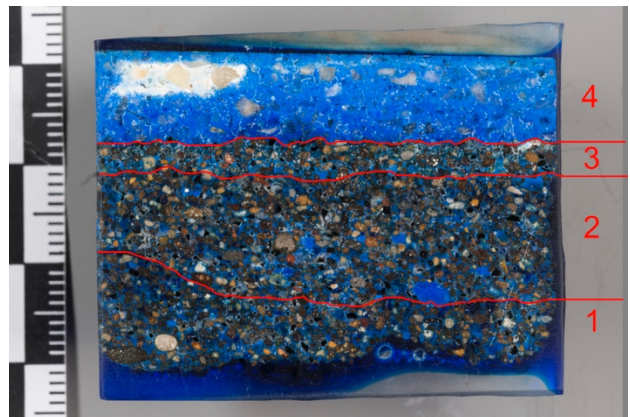


Dünnschliff 9_5_2 (XPol)

Stratigraphie



Stratigraphie Anschliff 9_5_1



Stratigraphie Anschliff 9_5_2

Probe	Schichtanzahl	Lagenart	Gesamtstärke	Stärke Schicht 1 (U)	Stärke Schicht 2 (U)	Stärke Schicht 3 (U)	Stärke Schicht 4 (O)
Fragment (P)	4	3 U, 1 O	3,3 cm	1,1 cm		1,3 cm	0,9 cm
Fragment (M)	4	3 U, 1 O	3,2 cm	0,2 – 0,5 cm (Schicht nicht an ganzem Fragment erhalten)	0,2 – 1 cm (Schicht extrem unregelmäßig)	0,5 – 1 cm (Schicht extrem unregelmäßig)	0,7 – 0,8 cm
Anschliff 9_5_1	4	3 U, 1 O	2,75 cm	Nur noch 1 mm davon erhalten im Anschliff	0,5 – 1,2 cm Scheint sehr unregelmäßig Fällt ab der Mitte ab, Bereich darüber scheint aber mit gleichem Material aufgefüllt	Ca 0,5 mm Grenze zu 2 ab Mitte nicht mehr richtig zu erkennen Schichtverlauf ist nicht genau zu klären	0,8 – 0,9 mm
Anschliff 9_5_2	4	3 U, 1 O	2,9 cm	0,3–1cm	0,7–1,2 cm	0,2–0,3 cm	0,8 cm

Fragment 9_5

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Untersuchung der Einzelschichten			
Schicht 1 / Unterputz			
	Untersucher Aspekt	Probe	Ergebnis
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	30 : 70 (in %)
		F (M)	30 : 70 (in %)
		A 9_5_1	Zu wenig erhalten für Angabe
		A 9_5_2	30 : 70 (in %)
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 9_5_1	Üb Zu wenig erhalten für Angabe
		D 9_5_1	Zu wenig erhalten für Angabe
		A 9_5_2	Überwiegend sehr gut
		D 9_5_2	Überwiegend sehr gut
	Sichtbare Poren %	F (M)	Hohe Porosität deutlich zu erkennen
		A 9_5_1	Zu wenig erhalten für Angabe
		A 9_5_2	15–20 %
	Porenform	A 9_5_1	Zu wenig erhalten für Angabe
		D 9_5_1	
		A 9_5_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
		D 9_5_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
			Anmerkungen: Es sind überwiegend polymorphe Poren und nur wenige runde Poren zu erkennen, wobei die runden kleiner sind; Saumporen wurden nur um ein einziges Zuschlagkorn gefunden
	Porengrößen	A 9_5_1	Zu wenig erhalten für Angabe
		D 9_5_1	Zu wenig erhalten für Angabe
		A 9_5_2	maximal bis 3 mm
		D 9_5_2	Wenige runde Poren auch unter 0,2 mm
	Porenverteilung	A 9_5_1	Zu wenig erhalten für Angabe
		D 9_5_1	
		A 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern
		D 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern
		Anmerkungen:	
Risse	A 9_5_1	Zu wenig erhalten für Angabe	
	D 9_5_1		
	A 9_5_2	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
	D 9_5_2	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
		Anmerkungen:	
Grenze zu nächster Putzschicht	F (M)		<input checked="" type="checkbox"/> Ablösung
	A 9_5_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung	
	D 9_5_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung	
	A 9_5_2	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung	
	D 9_5_2	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung	
		Anmerkungen: Grenze zu Schicht 2 mikroskopisch nicht zu erkennen	

Fragment 9_5

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – beige	
		A 9_5_1	weißlich – beige	
		D 9_5_1	lpol: gräulich-beige Xpol: gräulich-beige	
		A 9_5_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung	
		D 9_5_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung	
	Struktur / Erscheinung	A 9_5_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig	
		D 9_5_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin	
		A 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig	
		D 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin	
		Anmerkungen:		
	Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input type="checkbox"/> keine Angabe	
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen	
		A 9_5_1	<input type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		D 9_5_1	<input type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		A 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		D 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		Anmerkung: Kalkgallen am Fragment äußern sich durch weiße, puderige Einschlüsse geringer Dichte		
		Bindemittelähnliche Partikel: Größe	F (M)	Bis 3 mm
			A 9_5_1	Bis 2,5 mm
			D 9_5_1	-----
A 9_5_2	bis 1 mm			
D 9_5_2	bis 3 mm und einige kleine, auch unter 0,3 mm			
Anmerkung: Kalkgallen zeigen zum Teil Risse				
Vermutete Bindemittelart	D 9_5_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk		
	D 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk		
Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar				
Vermutete Bindemittelform	D 9_5_1	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten		
	D 9_5_2	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten		
Anmerkung: keine Puzzolane zu erkennen, keine Hinweise auf natürlich hydraulisches Bindemittel zu erkennen				
Zuschlag	Sortierung	F (P)	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		A 9_5_1	Zu wenig erhalten für Angabe	
		A 9_5_2	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		Anmerkung:		
	Korngrößenverteilung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm; vereinzelt Größtkorn: über 2 mm, selten 4 mm	
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm; vereinzelt Größtkorn: über 2 mm, selten 4 mm	
		A 9_5_1	Zu wenig erhalten für Angabe	
		A 9_5_2	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm; vereinzelt Größtkorn bis 2 mm	
		Anmerkung: Schwankungen je nach untersuchtem Sektor		

Fragment 9_5

Makro- und mikroskopische Untersuchung

	Rundungsgrad	F (P)	Alle Kornformen Tendenziell gut gerundet
		F (M)	Mittelmäßig gerundet, angerundet, subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6)
		A 9_5_1	Zu wenig erhalten für Angabe
		A 9_5_2	Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind Alle Grade an Sphärizität enthalten
			Anmerkung:
	Mischungsverteilung	A 9_5_1	Zu wenig erhalten für Angabe
		A 9_5_2	<input type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich <input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
			Anmerkung: wurde vermutlich gesiebt, da wenig Größtkorn
		F (P)	eher bunt
		F (M)	bunt aber viel schwarz-gräulich
		A 9_5_1	Zu wenig erhalten für Angabe
		A 9_5_2	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün. braun, braunrot, rot, gelb
			Anmerkung:
	Mineralogisch-petrographischer Bestand	D 9_5_1	Zu wenig erhalten für Angabe
		D 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente <input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate Quarz, Feldspäte und Weitere
			Anmerkung:
	Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel	D 9_5_1	-----
		D 9_5_2	Vereinzelt Säume um Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser
			Anmerkung:
Organische Zusätze		F (M)	Keine erkennbar
		A 9_5_1	Keine erkennbar
		D 9_5_1	Keine erkennbar
		A 9_5_2	Keine erkennbar
		D 9_5_2	Keine erkennbar
Verwitterung	Sekundäre Phasenbildung	D 9_5_1	Zu wenig erhalten für Angabe
		D 9_5_2	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
			Anmerkung: Keine erkennbar
	Biogene Einlagerungen	F (M)	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		A 9_5_1	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		D 9_5_1	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		A 9_5_2	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		D 9_5_2	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
			Anmerkung:

Fragment 9_5

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Schicht 2 / Unterputz				
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis	
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	30 : 70 (in %)	
		F (M)	30 : 70 (in %)	
		A 9_5_1	30 : 70 (in %) Schwankungen je nach untersuchtem Sektor	
		A 9_5_2	30 : 70 (in %) Schwankungen je nach untersuchtem Sektor	
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 9_5_1	Überwiegend sehr gut	
		D 9_5_1	Überwiegend sehr gut	
		A 9_5_2	Überwiegend sehr gut	
		D 9_5_2	Überwiegend sehr gut	
	Sichtbare Poren %	F (M)	Hohe Porosität deutlich zu erkennen	
		A 9_5_1	15–20 %	
		A 9_5_2	15–20 %	
	Porenform	A 9_5_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	<input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
		D 9_5_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	<input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
		A 9_5_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	<input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
		D 9_5_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> Saumporen	<input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
			- Anmerkungen: Es sind überwiegend polymorphe Poren und nur wenige runde Poren zu erkennen, wobei die runden kleiner sind;	
	Porengrößen	A 9_5_1	Porengrößen schlecht zu beurteilen wegen Präparation (Ausbrüche)	
		D 9_5_1	Porengrößen schlecht zu beurteilen wegen Präparation (Ausbrüche)	
		A 9_5_2	maximal bis 2 mm	
		D 9_5_2	maximal bis 2 mm	
	Porenverteilung	A 9_5_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		D 9_5_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		A 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		D 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
			Anmerkungen: bei 9_5_1 Ansammlung großer Poren in einer Linie eher im unteren Bereich der Schicht	
	Risse	A 9_5_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief	<input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel
		D 9_5_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief	<input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel
		A 9_5_2	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief	<input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel
D 9_5_2		<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief	<input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
		Anmerkungen:		
Grenze zu nächster Putzschicht	F (M)		<input checked="" type="checkbox"/> Ablösung	
	A 9_5_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	D 9_5_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	A 9_5_2	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	D 9_5_2	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
		Anmerkungen: Genauer Übergang zu Schicht 3 mikroskopisch kaum zu erkennen, nur anhand leicht veränderter Bindemittelfarbe und mehr Feistzuschlag		

Fragment 9_5

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – beige	
		A 9_5_1	weißlich – beige	
		D 9_5_1	lpol: gräulich-beige Xpol: gräulich-beige	
		A 9_5_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung	
		D 9_5_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung	
	Struktur / Erscheinung	A 9_5_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig	
		D 9_5_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin	
		A 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig	
		D 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin	
		Anmerkungen:		
	Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input type="checkbox"/> keine Angabe	
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen	
		A 9_5_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		D 9_5_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		A 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		D 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		Anmerkung: Kalkgallen am Fragment äußern sich durch weiße, puderige Einschlüsse geringer Dichte		
		Bindemittelähnliche Partikel: Größe	F (M)	Bis 3 mm
			A 9_5_1	Bis 2 mm
			D 9_5_1	Bis 3 mm und einige kleine
A 9_5_2	bis 3 mm			
D 9_5_2	bis mm und einige kleine, auch unter 0,2 mm			
Anmerkung: Kalkgallen zeigen zum Teil Risse				
Vermutete Bindemittelart	D 9_5_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk		
	D 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk		
Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar				
Vermutete Bindemittelform	D 9_5_1	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten		
	D 9_5_2	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten Wegen Kalkgallen		
Anmerkung: keine Puzzolane zu erkennen, keine Hinweise auf natürlich hydraulisches Bindemittel zu erkennen; Vermutung auf trocken gelöschten Kalk beruht auf der Präsenz von Kalkgallen				
Zuschlag	Sortierung	F (P)	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		A 9_5_1	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		A 9_5_2	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		Anmerkung:		
Korngrößenverteilung	Korngrößenverteilung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm; vereinzelt Größtkorn: über 2 mm, selten 4 mm	
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm; vereinzelt Größtkorn: über 2 mm, selten 4 mm	
		A 9_5_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm; vereinzelt Großkorn über 1 mm	
		A 9_5_2	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm; vereinzelt Großkorn über 1 mm	
		Anmerkung: Schwankungen je nach untersuchtem Sektor		

Fragment 9_5

Makro- und mikroskopische Untersuchung

	Rundungsgrad	F (P)	Alle Kornformen Tendenziell gut gerundet
		F (M)	Mittelmäßig gerundet, angerundet, subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6)
		A 9_5_1	Überwiegend subroundet (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind; Alle Grade an Sphärizität enthalten
		A 9_5_2	Überwiegend subroundet (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind Alle Grade an Sphärizität enthalten
			Anmerkung:
	Mischungsverteilung	A 9_5_1	<input type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich <input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
		A 9_5_2	<input type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich <input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
			Anmerkung: wurde vermutlich gesiebt, da wenig Größtkorn
		F (P)	eher bunt
		F (M)	bunt aber viel schwarz-gräulich und bräunlich
		A 9_5_1	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün, braun, braunrot, rot, gelb
		A 9_5_2	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün, braun, braunrot, rot, gelb
			Anmerkung:
	Mineralogisch-petrographischer Bestand	D 9_5_1	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate
			<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Quarz, Feldspäte und Weitere
		D 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate
			<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Quarz, Feldspäte und Weitere
			Anmerkung:
	Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel	D 9_5_1	Vereinzelt Säume um Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser
		D 9_5_2	Vereinzelt Säume um Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser
			Anmerkung:
	Organische Zusätze	F (M)	Keine erkennbar
		A 9_5_1	Keine erkennbar
		D 9_5_1	Keine erkennbar
		A 9_5_2	Keine erkennbar
		D 9_5_2	Keine erkennbar
	Verwitterung	D 9_5_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
		D 9_5_2	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
			Anmerkung: Keine erkennbar
	Biogene Einlagerungen	F (M)	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		A 9_5_1	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		D 9_5_1	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		A 9_5_2	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		D 9_5_2	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
			Anmerkung:

Fragment 9_5

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Schicht 3 / Unterputz				
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis	
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	30 : 70 (in %)	
		F (M)	30 : 70 (in %)	
		A 9_5_1	30 : 70 (in %)	
		A 9_5_2	30 : 70 (in %)	
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 9_5_1	Überwiegend sehr gut	
		D 9_5_1	Überwiegend sehr gut	
		A 9_5_2	Überwiegend sehr gut	
		D 9_5_2	Überwiegend sehr gut	
	Sichtbare Poren %	F (M)	-----	
		A 9_5_1	5_10 %	
		D 9_5_1	5_10 % Schicht 3 wirkt insgesamt dichter als Schicht 1 und 2	
		A 9_5_2	5_10 %	
	D 9_5_2	5_10 % Schicht 3 wirkt insgesamt dichter als Schicht 1 und 2		
		Porenform	A 9_5_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
			D 9_5_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
			A 9_5_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph
	D 9_5_2		<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
				Anmerkungen: Es sind überwiegend polymorphe Poren und nur wenige runde Poren zu erkennen, wobei die runden kleiner sind
	Porengrößen	A 9_5_1	Bis 3 mm	
		D 9_5_1	Poren schlecht zu beurteilen wegen Präparation (nicht klar ob so große Poren oder Ausbrüche vom Schnitt)	
		A 9_5_2	bis 1 mm	
		D 9_5_2	Auch wenige runde unter 0,2 mm	
	Porenverteilung	A 9_5_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		D 9_5_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		A 9_5_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
		D 9_5_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
				Anmerkungen: Etwas weniger Poren zur Schichtoberfläche hin, aber es finden sich auch Poren an der Schichtoberfläche
	Risse	A 9_5_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input checked="" type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel	
D 9_5_1		<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
A 9_5_2		<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
D 9_5_2		<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
			Anmerkungen: Vermehrt feine vertikale Risse an Grenze zu Schicht 4.	
Grenze zu nächster Putzschicht	F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> Ablösung		
	A 9_5_1	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input checked="" type="checkbox"/> Ablösung		
	D 9_5_1	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input checked="" type="checkbox"/> Sinterhaut <input checked="" type="checkbox"/> Ablösung		
	A 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input checked="" type="checkbox"/> Ablösung		
	D 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input checked="" type="checkbox"/> Sinterhaut <input checked="" type="checkbox"/> Ablösung		
			Anmerkungen: Aufgrund der geringeren Porosität und der dichten Erscheinung könnte die Schicht auch leicht verdichtet sein. Es sind partiell kurze Ablösungsrisse zu Schicht 4 zu erkennen.	

Fragment 9_5

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – beige, leicht bräunlich
		A 9_5_1	weißlich – beige, leicht bräunlich
		D 9_5_1	lpol: gräulich-beige, leicht bräunlich Xpol: gräulich-beige
		A 9_5_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung
		D 9_5_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung
		Struktur / Erscheinung	A 9_5_1	☒ homogen ☐ inhomogen ☒ feinkörnig ☐ grobkörnig
	D 9_5_1		<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin
	A 9_5_2		<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig
	D 9_5_2		<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin
	Anmerkungen: Struktur ist an sich homogen, jedoch sind bräunliche, punkartige Flecken homogen im Bindemittel verteilt, daher inhomogener Eindruck. Um Feinstzuschläge sind vereinzelt bräunliche Säume zu erkennen		
	Bindemittelähnliche Partikel		F (P)	☐ Kalkgallen
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen
		A 9_5_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut
		D 9_5_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut
		A 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut
		D 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut
		Anmerkung:	
		F (M)	Bis 3 mm
		A 9_5_1	Bis 1 mm
		D 9_5_1	Bis 1 mm und vereinzelt kleinere
	Bindemittelähnliche Partikel: Größe	A 9_5_2	bis 1 mm
		D 9_5_2	bis 1 mm und vereinzelt kleinere
		Anmerkung:	
		Vermutete Bindemittelart	D 9_5_1	☒ Weißkalk ☐ Dolomitkalk ☐ Sonstiges ☐ natürlich hydraulischer Kalk
D 9_5_2			<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk
Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar			
Vermutete Bindemittelform	D 9_5_1		<input type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input checked="" type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten
	D 9_5_2	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input checked="" type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten	
	Anmerkung: Bei Feinstzuschlägen könnte es sich teilweise um Puzzolan handeln. Die braunen Flecken könnten auch Relikte von abreagiertem Puzzolan sein.		
	Zuschlag	Sortierung	F (P)	☐ sehr gut ☐ gut ☒ mäßig ☐ schlecht ☐ sehr schlecht
F (M)			<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht
A 9_5_1			<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht
A 9_5_2			<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht
Anmerkung:			
Korngrößenverteilung		F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm; vereinzelt Größtkorn: über 2 mm, selten 4 mm
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm; vereinzelt Größtkorn über 2 mm
		A 9_5_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm und höherer Anteil an Fein- und Feinstzuschlägen als bei Schicht 1 und 2; vereinzelt über 1 mm
	A 9_5_2	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> polymodal <input type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm und höherer Anteil an Fein- und Feinstzuschlägen als bei Schicht 1 und 2	
	Anmerkung:		

Fragment 9_5

Makro- und mikroskopische Untersuchung

	Rundungsgrad	F (P)	Alle Kornformen Tendenziell gut gerundet
		F (M)	Mittelmäßig gerundet, angerundet, subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6)
		A 9_5_1	Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind
		A 9_5_2	Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind
			Anmerkung:
	Mischungsverteilung	A 9_5_1	<input type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich <input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
		A 9_5_2	<input type="checkbox"/> natürlich <input type="checkbox"/> künstlich <input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
			Anmerkung: wurde vermutlich gesiebt wegen geringen Anteil an Größkorn und Zusatz einer Feinstfraktion
		F (P)	eher bunt
		F (M)	bunt aber viel schwarz-gräulich und bräunlich
		A 9_5_1	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün. braun, braunrot, rot, gelb
		A 9_5_2	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün. braun, braunrot, rot, gelb
			Anmerkung:
	Mineralogisch-petrographischer Bestand	D 9_5_1	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate
			<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Quarz, Feldspäte und weitere
		D 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate
			<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Quarz, Feldspäte und weitere
			Anmerkung:
	Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel	D 9_5_1	Braune Flecken in Bindemittelmatrix, vereinzelt Säume um Feinstzuschläge, vereinzelt Säume um größere Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser
		D 9_5_2	Braune Flecken in Bindemittelmatrix, vereinzelt Säume um Feinstzuschläge, vereinzelt Säume um größere Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser
			Anmerkung:
Organische Zusätze		F (M)	Keine erkennbar
		A 9_5_1	Keine erkennbar
		D 9_5_1	Keine erkennbar
		A 9_5_2	Keine erkennbar
		D 9_5_2	Keine erkennbar
Verwitterung	Sekundäre Phasenbildung	D 9_5_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
		D 9_5_2	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
			Anmerkung: Keine erkennbar
	Biogene Einlagerungen	F (M)	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		A 9_5_1	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		D 9_5_1	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		A 9_5_2	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		D 9_5_2	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
			Anmerkung:

Fragment 9_5

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Schicht 4 / Oberputz				
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis	
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	40 : 60 (in %)	
		F (M)	40 : 60 (in %)	
		A 9_5_1	50 : 50 (in %)	
		A 9_5_2	50 : 50 (in %)	
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 9_5_1	Überwiegend sehr gut	
		D 9_5_1	Überwiegend sehr gut	
		A 9_5_2	Überwiegend sehr gut	
		D 9_5_2	Überwiegend sehr gut	
	Sichtbare Poren %	F (M)	Poren nicht zu erkennen, wirkt kompakt	
		A 9_5_1	2 %	
		D 9_5_1	2 %	
		A 9_5_2	2 %	
		D 9_5_2	2 %	
	Porenform	A 9_5_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	
			<input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		D 9_5_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	
			<input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		A 9_5_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	
		<input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph		
		D 9_5_2	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	
			<input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		Anmerkungen:		
	Porengrößen	A 9_5_1	Bis 3 mm, aber nur eine so große Pore	
		D 9_5_1	Bis 1 mm	
		A 9_5_2	maximal bis 2 mm	
		D 9_5_2	maximal bis 1,5 mm	
	Porenverteilung	A 9_5_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern	
D 9_5_1		<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern		
A 9_5_2		<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern		
D 9_5_2		<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern		
Anmerkungen:				
Risse	A 9_5_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
	D 9_5_1	<input checked="" type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
	A 9_5_2	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
	D 9_5_2	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
	Anmerkungen: Risser vermehrt an Schichtober- und Unterseite			
Oberfläche	F (M)		<input type="checkbox"/> Ablösung	
	A 9_5_1	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	D 9_5_1	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	A 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	D 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	Anmerkungen: Obergrenze ist ebenmäßig, gerade Linie; sehr starke Verdichtung, ideomorpher Calcit ist nur ganz selten parallel zur Oberfläche ausgerichtet			

Fragment 9_5

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – beige	
		A 9_5_1	weißlich – beige	
		D 9_5_1	lpol: gräulich-beige Xpol: gräulich-beige	
		A 9_5_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung	
		D 9_5_2	keine Angabe möglich wegen Blaufärbung	
	Struktur / Erscheinung	A 9_5_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig	
		D 9_5_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin	
		A 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig	
		D 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin	
		Anmerkungen:		
	Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input type="checkbox"/> Kalkgallen	
		F (M)	<input type="checkbox"/> Kalkgallen	
		A 9_5_1	<input type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		D 9_5_1	<input type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		A 9_5_2	<input type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		D 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		Anmerkung:		
		Bindemittelähnliche Partikel: Größe	F (M)	-----
			A 9_5_1	-----
			D 9_5_1	-----
A 9_5_2	-----			
D 9_5_2	Bis 1 mm			
Anmerkung:				
Vermutete Bindemittelart	D 9_5_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk		
	D 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk		
	Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar			
Vermutete Bindemittelform	D 9_5_1	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input checked="" type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten		
	D 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten		
	Anmerkung: Da bei 9_5_2 Kalkgallen gefunden wurde, könnte es sich auch um trocken gelöschten Kalk handeln			
Zuschlag	Sortierung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> sehr gut <input checked="" type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut <input checked="" type="checkbox"/> gut <input checked="" type="checkbox"/> mäßig <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		A 9_5_1	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> mäßig <input checked="" type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		A 9_5_2	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> mäßig <input checked="" type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		Anmerkung: Am Anschliff und Dünnschliff ist ein Feinanteil zu erkennen, der am Fragment so nicht erkannt werden kann.		
		Korngrößenverteilung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input type="checkbox"/> polymodal <input checked="" type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm, vereinzelt bis 3 mm
F (M)	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input type="checkbox"/> matrixgestützt <input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input type="checkbox"/> polymodal <input checked="" type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm, vereinzelt bis 3 mm			
A 9_5_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input checked="" type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input type="checkbox"/> polymodal <input checked="" type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm und im Fein- und Feinkornbereich, vereinzelt über 2 mm			
A 9_5_2	<input type="checkbox"/> klastgestützt <input checked="" type="checkbox"/> matrixgestützt <input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt <input type="checkbox"/> polymodal <input checked="" type="checkbox"/> bimodal Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm und im Fein- und Feinkornbereich, vereinzelt über 2 mm			
Anmerkung: Im Dünnschliff ist ein sehr hoher Feinanteil zu erkennen. Die Partikel liegen zum Teil auch unter einer hauch dünnen Schicht Bindemittel				

Fragment 9_5

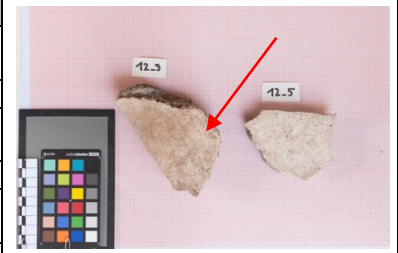
Makro- und mikroskopische Untersuchung

	Rundungsgrad	F (P)	Scharfkantig, Spaltflächen
		F (M)	Scharfkantig, Spaltflächen
		A 9_5_1	Überwiegend sehr angular (0,1) bis vollständig ungerundet, scharfkantig, angular (0,2) bis schlecht gerundet, kantengerundet, subangular (0,3)
		A 9_5_2	Überwiegend sehr angular (0,1) bis vollständig ungerundet, scharfkantig, angular (0,2) bis schlecht gerundet, kantengerundet, subangular (0,3)
			Anmerkung:
	Mischungsverteilung	A 9_5_1	<input type="checkbox"/> natürlich <input checked="" type="checkbox"/> künstlich <input type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
		A 9_5_2	<input type="checkbox"/> natürlich <input checked="" type="checkbox"/> künstlich <input type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
			Anmerkung: wurde zerkleinert, gebrochen
		F (P)	Transparent farblos bis leicht gelblich
		F (M)	Transparent farblos bis leicht gelblich
		A 9_5_1	Transparent farblos bis leicht gelblich
		A 9_5_2	Transparent farblos bis leicht gelblich
			Anmerkung:
	Mineralogisch-petrographischer Bestand	D 9_5_1	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente wenige metamorphe und sedimentäre Carbonate <input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Calcit
		D 9_5_2	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente wenige metamorphe und sedimentäre Carbonate <input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale Calcit
			Anmerkung:
	Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel	D 9_5_1	keine
		D 9_5_2	keine
			Anmerkung:
Organische Zusätze		F (M)	Keine erkennbar
		A 9_5_1	Keine erkennbar
		D 9_5_1	Keine erkennbar
		A 9_5_2	Keine erkennbar
		D 9_5_2	Keine erkennbar
Verwitterung	Sekundäre Phasenbildung	D 9_5_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
		D 9_5_2	<input type="checkbox"/> Rekristallisation <input type="checkbox"/> entlang von Poren <input type="checkbox"/> entlang von Rissen
			Anmerkung: Calcit
	Biogene Einlagerungen	F (M)	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		A 9_5_1	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		D 9_5_1	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		A 9_5_2	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
		D 9_5_2	<input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
			Anmerkung:

Fragment 12_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Untersuchungsdatenblatt	
Daten der untersuchten Probe	
Ort	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument	Eventuell PN_EN_6, aber nicht sicher zugeordnet, geborgen vor EN 4
Probennummer Fragment	12_3
Art der Entnahme der Gesamtprobe	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probennahme	23.05. – 27.05.2016
Funktionskontext des Fragments	Wanddekoration, Stuck
Anzahl und Art der Schichten	3 Unterputzschicht, 2 Oberputzschichten
Vollständigkeit des Schichtenpackets	Schichtenpaket scheint vollständig, wandseitige Unterseite ist uneben und zeichnet leicht die unregelmäßige Ausgleichsschicht am Mauerwerk ab.
Größe (maximal)	
Gesamtgewicht bei Ausgleichsfeuchte (15.06.2016)	(Waage: Sartorius BL31000 / Lehrstuhl RKK)
Anmerkungen	Fragment ist verwittert; biogener Bewuchs auf wandseitiger Unterseite der Schicht 1; biogener Bewuchs an den Fragmentkanten; partiell leichte Ablösungserscheinung von Putz 1 zu 2; Oberputzoberseite zeigt dunkle Verfärbung; Oberputzoberfläche weitestgehend intakt; Oberputz zeigt partiell leichte Ablösung vom Unterputz.
Daten der Einzelproben	
Probennummer Einzelprobe	A 12_3_1, D 12_3_1
Untersuchte Probenart	Dünnschliff (D) poliert, nicht abgedeckt Anschliff (A) poliert
Einbettungsmedium	Epoxidharz GP 20
Datum der Probennahme	16.06.2016
Daten der Untersuchung	
Untersuchungen	Untersuchung zur Klärung der Zuordnung
Untersuchte Aspekte	Stratigraphie, Gefüge, Bindemittel, Zuschlag, Organische Zusätze, Verwitterung
Untersuchungsmethoden	Makroskopische Untersuchung, Stereomikroskopie, Auflichtmikroskopie, Durchlichtmikroskopie / Polarisationsmikroskopie
Verwendete Technik	Lupe 10x, Stereomikroskop Stemi 2000 C (Zeiss), Auflichtmikroskop Leica DMLM, Polarisationsmikroskop Leica DMLP
Durchführende Personen	Edith Aichinger
Labor / Betreuung	Lehrstuhl für Restaurierung (TUM)
Datum	25.06. – 30.07.2016



Gesamtansicht des Putz- / Stuckfragments

Fragment 12_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Abkürzungen: O: Oberputz; U: Unterputz; P: Untersuchung in Pompeji; M: Untersuchung in München; D: Dünnschliff; A: Anschliff

Probenentnahme



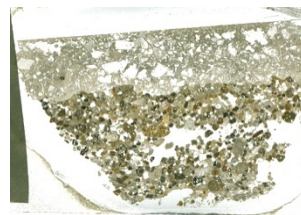
Fragment nach Schnitt für Probe 12_3_1



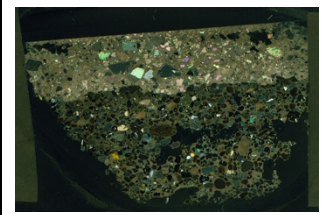
Fragmentunterseite nach Schnitt



Anschliff 12_3_1



Dünnschliff 12_3_1



Dünnschliff 12_3_1 (XPOL)

Stratigraphie



Stratigraphie Anschliff 12_3_1

Probe	Schichtanzahl	Lagenart	Gesamtstärke	Stärke Schicht 1 (U)	Stärke Schicht 2 (U)	Stärke Schicht 3 (U)	Stärke Schicht 4 (O)
Fragment (P)	1-2	1 – 2 U, 1 O	3 cm	2,2cm			0,8 cm
Fragment (M)	4	3 U, 1 O	3,4 cm	0,3 – 1,3 cm	0,7 – 0,8 cm	0,4 – 0,8 cm	0,5 – 0,8 cm
Anschliff 12_3_1	4	3 U, 1 O	2,4 cm	0,2 – 0,6 cm	0,2–0,6 cm	0,4 cm	0,8 cm

Fragment 12_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Untersuchung der Einzelschichten				
Schicht 1 / Unterputz				
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis	
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	30 : 70 (in %)	
		F (M)	30 : 70 (in %)	
		A 12_3_1	30 : 70 (in %)	
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 12_3_1	Überwiegend sehr gut	
		D 12_3_1	Überwiegend sehr gut	
	Sichtbare Poren %	F (M)	Hohe Porosität deutlich zu erkennen	
		A 12_3_1	15–20 %	
	Porenform	A 12_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	
			<input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		D 12_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen	
		<input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph		
		Anmerkungen: Es sind überwiegend polymorphe Poren und nur wenige runde Poren zu erkennen, wobei die runden kleiner sind		
Porengrößen	A 12_3_1			
	D 12_3_1			
Porenverteilung	A 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern		
	D 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern		
		Anmerkungen:		
Risse	A 12_3_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief		
		<input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
	D 12_3_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief		
		<input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
		Anmerkungen:		
Grenze zu nächster Putzschicht	F (M)		<input type="checkbox"/> Ablösung	
	A 12_3_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	D 12_3_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
		Anmerkungen:		
Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – beige	
		A 12_3_1	weißlich – beige	
		D 12_3_1	ltpol: gräulich-beige Xpol: gräulich-beige	
	Struktur / Erscheinung	A 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig	
		D 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig	
			<input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin	
		Anmerkungen:		
	Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input type="checkbox"/> keine Angabe	
		F (M)	<input type="checkbox"/> Kalkgallen	
		A 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein	
			<input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		D 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input checked="" type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein	
		<input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut		
		Anmerkung:		
	Bindemittelähnliche Partikel: Größe	F (M)		
		A 12_3_1		
		D 12_3_1		
		Anmerkung:		
	Vermutete Bindemittelart	D 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges	
			<input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk	
		Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar		

Fragment 12_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Zuschlag	Sortierung	F (P)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig
			<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig
			<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht	
	A 12_3_1	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig	
			<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		Anmerkung:			
	Korngrößenverteilung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
			<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal	
			Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm; vereinzelt Größtkorn: über 2 mm, selten 4 mm		
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
		<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal		
		Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm; vereinzelt Größtkorn: über 2 mm, selten 4 mm			
	A 12_3_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt	
		<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal		
		Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm			
		Anmerkung:			
	Rundungsgrad	F (P)	Alle Kornformen Tendenziell gut gerundet		
		F (M)	Mittelmäßig gerundet, angerundet, subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6)		
		A 12_3_1	Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind; Alle Grade an Sphärizität enthalten		
			Anmerkung:		
	Mischungsverteilung	A 12_3_1	<input type="checkbox"/> natürlich	<input type="checkbox"/> künstlich	<input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
		Anmerkung: wurde vermutlich gesiebt, da wenig Größtkorn			
		F (P)	eher bunt		
		F (M)	bunt aber viel schwarz-gräulich und bräunlich		
		A 12_3_1	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün, braun, braunrot, rot, gelb		
			Anmerkung:		
	Mineralogisch-petrographischer Bestand	D 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente	<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale	
			Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate	Quarz, Feldspäte und Weitere	
		Anmerkung:			
	Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel	D 12_3_1	keine		
		Anmerkung:			
Organische Zusätze		F (M)	Keine erkennbar		
		A 12_3_1	Keine erkennbar		
		D 12_3_1	Keine erkennbar		
Verwitterung	Sekundäre Phasenbildung	D 12_3_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation	<input type="checkbox"/> entlang von Poren	<input type="checkbox"/> entlang von Rissen
			Anmerkung: Keine erkennbar		
	Biogene Einlagerungen	F (M)	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/> nein	
		A 12_3_1	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/> nein	
		D 12_3_1	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/> nein	
			Anmerkung:		

Fragment 12_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Schicht 2 / Unterputz				
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis	
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	30 : 70 (in %)	
		F (M)	30 : 70 (in %)	
		A 12_3_1	30 : 70 (in %) Schwankungen je nach untersuchtem Sektor	
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 12_3_1	Überwiegend sehr gut	
		D 12_3_1	Überwiegend sehr gut	
	Sichtbare Poren %	F (M)	Hohe Porosität deutlich zu erkennen	
		A 12_3_1	15–20 %	
	Porenform	A 12_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		D 12_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
			Anmerkungen: Es sind überwiegend polymorphe Poren und nur wenige runde Poren zu erkennen, wobei die runden kleiner sind; Saumporen wurden nur um ein einziges Zuschlagkorn gefunden	
	Porengrößen	A 12_3_1		
		D 12_3_1		
Porenverteilung	A 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern		
	D 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern		
		Anmerkungen:		
Risse	A 12_3_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
	D 12_3_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
		Anmerkungen:		
Grenze zu nächster Putzschicht	F (M)	<input type="checkbox"/> Ablösung		
	A 12_3_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	D 12_3_1	<input type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
		Anmerkungen: Genauer Übergang zu Schicht 3 mikroskopisch kaum zu erkennen, nur anhand leicht veränderter Bindemittelfarbe und mehr Feitzuschlag in Schicht 3		
Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – beige	
		A 12_3_1	weißlich – beige	
		D 12_3_1	lpol: gräulich-beige Xpol: gräulich-beige	
Struktur / Erscheinung	A 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig		
	D 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin		
		Anmerkungen:		
Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input type="checkbox"/> keine Angabe		
	F (M)	<input type="checkbox"/> Kalkgallen		
	A 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut		
	D 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut		
		Anmerkung:		
Bindemittelähnliche Partikel: Größe	F (M)	-----		
	A 12_3_1			
	D 12_3_1			
		Anmerkung:		
Vermutete Bindemittelart	D 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk		
		Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar		
Vermutete Bindemittelform	D 12_3_1	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten		
		Anmerkung: keine Puzzolane zu erkennen, keine Hinweise auf natürlich hydraulisches Bindemittel zu erkennen; Trocken gelöschter Kalk wird aufgrund der Kalkgallen vermutet		

Fragment 12_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Zuschlag	Sortierung	F (P)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig	
		F (M)	<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht		
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig	
		F (M)	<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht		
	Korngrößenverteilung	A 12_3_1	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig	
		A 12_3_1	<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht		
		Anmerkung:				
		F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt	
	Rundungsgrad	F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal		
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt	
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal		
		F (M)	Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm; vereinzelt Größtkorn: über 2 mm, selten 4 mm			
	Mischungsverteilung	A 12_3_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt	
		A 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal		
		A 12_3_1	Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm			
		Anmerkung: Schwankungen je nach untersuchtem Sektor				
	Mischungsverteilung	F (P)	Alle Kornformen			
		F (P)	Tendenziell gut gerundet			
		F (M)	Mittelmäßig gerundet, angerundet, subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6)			
		F (M)	Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6)			
	Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel	A 12_3_1	<input type="checkbox"/> natürlich	<input type="checkbox"/> künstlich	<input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich	
		Anmerkung: wurde vermutlich gesiebt, da wenig Größtkorn				
		F (P)	eher bunt			
		F (M)	bunt aber viel schwarz-gräulich und bräunlich			
	Mineralogisch-petrographischer Bestand	A 12_3_1	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün, braun, braunrot, rot, gelb			
		Anmerkung:				
		D 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente	<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale		
		D 12_3_1	Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate		Quarz, Feldspäte und Weitere	
	Organische Zusätze	Anmerkung:				
		F (M)	Keine erkennbar			
		A 12_3_1	Keine erkennbar			
		D 12_3_1	Keine erkennbar			
	Verwitterung	D 12_3_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation	<input type="checkbox"/> entlang von Poren		
		D 12_3_1		<input type="checkbox"/> entlang von Rissen		
		Anmerkung: Keine erkennbar				
		F (M)	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/> nein		
	Biogene Einlagerungen	A 12_3_1	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/> nein		
		D 12_3_1	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/> nein		
		Anmerkung:				

Fragment 12_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Schicht 3 / Unterputz				
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis	
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	30 : 70 (in %)	
		F (M)	30 : 70 (in %)	
		A 12_3_1	30 : 70 (in %)	
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 12_3_1	Überwiegend sehr gut	
		D 12_3_1	Überwiegend sehr gut	
	Sichtbare Poren %	F (M)	Porosität zu erkennen	
		A 12_3_1	5_10 %	
		D 12_3_1	5_10 % Schicht 3 wirkt insgesamt dichter als Schicht 1 und 2	
	Porenform	A 12_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		D 12_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		Anmerkungen: Es sind überwiegend polymorphe Poren und nur wenige runde Poren zu erkennen, wobei die runden kleiner sind; Saumporen wurden nur an einem Zuschlagkorn gefunden		
	Porengrößen	A 12_3_1		
Porenverteilung	A 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern		
	D 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern		
			Anmerkungen:	
Risse	A 12_3_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
	D 12_3_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
	Anmerkungen:			
Grenze zu nächster Putzschicht	F (M)	<input type="checkbox"/> Ablösung		
	A 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	D 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input checked="" type="checkbox"/> abgezogen <input checked="" type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
			Anmerkungen: Aufgrund der geringeren Porosität und der dichten Erscheinung könnte die Schicht auch leicht verdichtet sein.	
Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – beige, leicht bräunlich	
		A 12_3_1	weißlich – beige, leicht bräunlich	
		D 12_3_1	lpol: gräulich-beige, leicht bräunlich Xpol: gräulich-beige	
Struktur / Erscheinung	A 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig		
	D 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin		
	Anmerkungen: Struktur ist an sich homogen, jedoch sind bräunliche, punkartige Flecken homogen im Bindemittel verteilt, daher inhomogener Eindruck. Um Feinstzuschläge sind vereinzelt bräunliche Säume zu erkennen			
Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input type="checkbox"/> keine Angabe		
	F (M)	<input type="checkbox"/> Kalkgallen		
	A 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut		
D 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut			
			Anmerkung:	
Bindemittelähnliche Partikel: Größe	F (M)			
	A 12_3_1			
	D 12_3_1			
			Anmerkung:	
Vermutete Bindemittelart	D 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk		
	Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar			
Vermutete Bindemittelform	D 12_3_1	<input type="checkbox"/> Sumpfkalk <input checked="" type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input checked="" type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten		
	Anmerkung: Bei Feinstzuschlägen könnte es sich teilweise um Puzzolan handeln. Die braunen Flecken könnten auch Relikte von abreagiertem Puzzolan sein.			

Fragment 12_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Zuschlag	Sortierung	F (P)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig
		A 12_3_1	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig
			<input checked="" type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht	
Anmerkung:					
Korngrößenverteilung		F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
		F (M)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
		A 12_3_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
			<input checked="" type="checkbox"/> polymodal	<input type="checkbox"/> bimodal	
Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm; vereinzelt Größtkorn: über 2 mm, selten 4 mm					
Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm; vereinzelt Größtkorn über 2 mm					
Auffällig hoher Anteil an 0,5–1 mm und höherer Anteil an Fein- und Feinstzuschlägen als bei Schicht 1 und 2					
Anmerkung:					
Rundungsgrad		F (P)	Alle Kornformen Tendenziell gut gerundet		
		F (M)	Mittelmäßig gerundet, angerundet, subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6)		
		A 12_3_1	Überwiegend subrounded (0,4) bis gut gerundet, rounded (0,6) zahlreiche polymorphe Körner, deren Kanten und Ecken angerundet sind		
			Anmerkung:		
Mischungsverteilung		A 12_3_1	<input type="checkbox"/> natürlich	<input type="checkbox"/> künstlich	<input checked="" type="checkbox"/> natürlich u. künstlich
			Anmerkung: wurde vermutlich gesiebt wegen geringen Anteil an Größtkorn und Zusatz einer Feinstfraktion		
		F (P)	eher bunt		
		F (M)	bunt aber viel schwarz-gräulich und bräunlich		
		A 12_3_1	schwarz, grau, beige, weiß, farblos transparent, grün, braun, braunrot, rot, gelb		
			Anmerkung:		
Mineralogisch-petrographischer Bestand		D 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente	<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale	
			Vulkanite (Vulkanite mit porphyrischem Gefüge, Gesteinsgläser, poröse Vulkanite), Karbonate	Quarz, Feldspäte und weitere	
Anmerkung:					
Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel		D 12_3_1	Braune Flecken in Bindemittelmatrix, vereinzelt Säume um Feinstzuschläge, vereinzelt Säume um größere Zuschläge, v. a. um vulkanische Gläser		
			Anmerkung:		
Organische Zusätze		F (M)	Keine erkennbar		
		A 12_3_1	Keine erkennbar		
		D 12_3_1	Keine erkennbar		
Verwitterung	Sekundäre Phasenbildung	D 12_3_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation	<input type="checkbox"/> entlang von Poren	<input type="checkbox"/> entlang von Rissen
			Anmerkung: Keine erkennbar		
Biogene Einlagerungen		F (M)	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/> nein	
		A 12_3_1	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/> nein	
		D 12_3_1	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/> nein	
			Anmerkung:		
Biogener Bewuchs v. a. an Fragmenträndern					

Fragment 12_3

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Schicht 4 / Oberputz				
	Untersuchter Aspekt	Probe	Ergebnis	
Gefüge	Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis	F (P)	40 : 60 (in %)	
		F (M)	40 : 60 (in %)	
		A 12_3_1	50 : 50 (in %)	
	Bindemittel-Zuschlag-Kontakt	A 12_3_1	Überwiegend sehr gut	
		D 12_3_1	Überwiegend sehr gut	
	Sichtbare Poren %	F (M)	Poren nicht zu erkennen, wirkt kompakt	
		A 12_3_1	2 %	
		D 12_3_1	2 %	
	Porenform	A 12_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		D 12_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input type="checkbox"/> Saumporen <input checked="" type="checkbox"/> rund <input checked="" type="checkbox"/> polymorph	
		Anmerkungen: Porenform überwiegend polymorph, die runden sind selten und deutlich kleiner		
Porengrößen	A 12_3_1			
	D 12_3_1			
Porenverteilung	A 12_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern		
	D 12_3_1	<input type="checkbox"/> homogen <input checked="" type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> weniger an Schichtoberfl. <input type="checkbox"/> mehr an Fragmenträndern		
		Anmerkungen:		
Risse	A 12_3_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
	D 12_3_1	<input type="checkbox"/> horizontal <input checked="" type="checkbox"/> vertikal <input checked="" type="checkbox"/> schief <input checked="" type="checkbox"/> wenige <input type="checkbox"/> zahlreich <input type="checkbox"/> oberflächenparallel		
		Anmerkungen:		
Oberfläche	F (M)			
	A 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
	D 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> verdichtet <input type="checkbox"/> abgezogen <input type="checkbox"/> Sinterhaut <input type="checkbox"/> Ablösung		
		Anmerkungen: Obergrenze ist ebenmäßig, gerade Linie; sehr starke Verdichtung		
Bindemittel	Farbe	F (M)	weißlich – beige	
		A 12_3_1	weißlich – beige	
		D 12_3_1	ltpol: gräulich-beige Xpol: gräulich-beige	
	Struktur / Erscheinung	A 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig	
		D 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> homogen <input type="checkbox"/> inhomogen <input checked="" type="checkbox"/> feinkörnig <input type="checkbox"/> grobkörnig <input checked="" type="checkbox"/> mikrokristallin <input type="checkbox"/> kryptokristallin	
		Anmerkungen:		
	Bindemittelähnliche Partikel	F (P)	<input type="checkbox"/> Kalkgallen	
		F (M)	<input type="checkbox"/> Kalkgallen	
		A 12_3_1	<input type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		D 12_3_1	<input type="checkbox"/> Kalkgallen <input type="checkbox"/> Partikel mit Reststrukturen von Karbonatgestein <input type="checkbox"/> Kalkspatzen <input type="checkbox"/> mit Sinterhaut	
		Anmerkung:		
	Bindemittelähnliche Partikel: Größe	F (M)	-----	
		A 12_3_1	-----	
		D 12_3_1	-----	
		Anmerkung:		
	Vermutete Bindemittelart	D 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Weißkalk <input type="checkbox"/> Dolomitkalk <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> natürlich hydraulischer Kalk	
		Anmerkung: keine typischen Strukturen von dolomitischem BM erkennbar		
	Vermutete Bindemittelform	D 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Sumpfkalk <input type="checkbox"/> trocken gelöschter Kalk <input type="checkbox"/> hydraulische Anteile enthalten	
		Anmerkung:		

Fragment 12_3

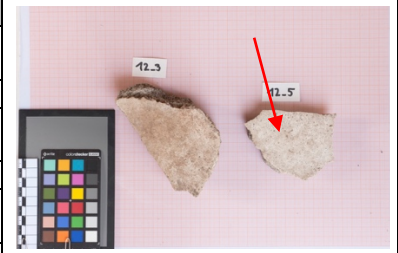
Makro- und mikroskopische Untersuchung

Zuschlag	Sortierung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> sehr gut	<input checked="" type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> mäßig
			<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht	
		F (M)	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input checked="" type="checkbox"/> gut	<input checked="" type="checkbox"/> mäßig
			<input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht	
	A 12_3_1	<input type="checkbox"/> sehr gut	<input type="checkbox"/> gut	<input type="checkbox"/> mäßig	
		<input checked="" type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> sehr schlecht		
Anmerkung: Am Anschliff und Dünnschliff ist ein Feinanteil zu erkennen, der am Fragment so nicht erkannt werden kann.					
	Korngrößenverteilung	F (P)	<input checked="" type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
			<input type="checkbox"/> polymodal	<input checked="" type="checkbox"/> bimodal	
			Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm, vereinzelt bis 3 mm		
		F (M)	<input type="checkbox"/> klastgestützt	<input type="checkbox"/> matrixgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt
	<input type="checkbox"/> polymodal	<input checked="" type="checkbox"/> bimodal			
	A 12_3_1	<input type="checkbox"/> klastgestützt	<input checked="" type="checkbox"/> matrixgestützt	<input type="checkbox"/> zw. klast- und matrixgestützt	
		<input type="checkbox"/> polymodal	<input checked="" type="checkbox"/> bimodal		
Auffällig hoher Anteil an 1–2 mm und im Fein- und Feinkornbereich, vereinzelt über 2 mm					
Anmerkung: Im Dünnschliff ist ein sehr hoher Feinanteil zu erkennen. Die Partikel liegen zum Teil auch unter einer hauch dünnen Schicht Bindemittel					
	Rundungsgrad	F (P)	Scharfkantig, Spaltflächen		
		F (M)	Scharfkantig, Spaltflächen		
		A 12_3_1	Überwiegend sehr angular (0,1) bis vollständig ungerundet, scharfkantig, angular (0,2) bis schlecht gerundet, kantengerundet, subangular (0,3)		
		Anmerkung:			
	A 12_3_1	<input type="checkbox"/> natürlich	<input checked="" type="checkbox"/> künstlich	<input type="checkbox"/> natürlich u. künstlich	
Anmerkung: wurde zerkleinert, gebrochen					
		F (P)	Transparent farblos bis leicht gelblich		
		F (M)	Transparent farblos bis leicht gelblich		
		A 12_3_1	Transparent farblos bis leicht gelblich		
		Anmerkung:			
	D 12_3_1	<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinsfragmente		<input checked="" type="checkbox"/> Einzelminerale	
		wenige metamorphe und sedimentäre		Calcit	
		Karbonate			
Anmerkung:					
	Hinweise auf Reaktionen zw. Zuschlag und Bindemittel	D 12_3_1	keine		
Anmerkung:					
Organische Zusätze		F (M)	Keine erkennbar		
		A 12_3_1	Keine erkennbar		
		D 12_3_1	Keine erkennbar		
		Anmerkung:			
Verwitterung	Sekundäre Phasenbildung	D 12_3_1	<input type="checkbox"/> Rekristallisation	<input type="checkbox"/> entlang von Poren	<input type="checkbox"/> entlang von Rissen
		Anmerkung: Calcit			
	Biogene Einlagerungen	F (M)	<input type="checkbox"/> ja		<input checked="" type="checkbox"/> nein
		A 12_3_1	<input type="checkbox"/> ja		<input checked="" type="checkbox"/> nein
		D 12_3_1	<input type="checkbox"/> ja		<input checked="" type="checkbox"/> nein
		Anmerkung:			

Fragment 12_5

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Untersuchungsdatenblatt	
Daten der untersuchten Probe	
Ort	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument	Eventuell PN_EN_6, aber nicht sicher zugeordnet, geborgen vor EN 4
Probennummer Fragment	12_5
Art der Entnahme der Gesamtprobe	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probennahme	23.05. – 27.05.2016
Funktionskontext des Fragments	Wanddekoration, Stuck
Anzahl und Art der Schichten	1 Unterputzschicht, 1 Oberputzschichten
Vollständigkeit des Schichtenpackets	Schichtenpaket ist nicht vollständig erhalten.
Größe (maximal)	
Gesamtgewicht bei Ausgleichsfeuchte (15.06.2016)	(Waage: Sartorius BL31000 / Lehrstuhl RKK)
Anmerkungen	Oberputzoberfläche weitestgehend intakt.
Daten der Einzelproben	
Probennummer Einzelprobe	A 12_5_1, D 12_5_1
Untersuchte Probenart	Dünnschliff (D) poliert, nicht abgedeckt Anschliff (A) poliert
Einbettungsmedium	Epoxidharz GP 20
Datum der Probennahme	16.06.2016
Daten der Untersuchung	
Untersuchungen	Untersuchung zur Klärung der Zuordnung
Untersuchungsmethoden	Makroskopische Untersuchung, Stereomikroskopie, Auflichtmikroskopie, Durchlichtmikroskopie / Polarisationsmikroskopie
Verwendete Technik	Lupe 10x, Stereomikroskop Stemi 2000 C (Zeiss), Auflichtmikroskop Leica DMLM, Polarisationsmikroskop Leica DMLP
Durchführende Personen	Edith Aichinger
Labor / Betreuung	Lehrstuhl für Restaurierung (TUM)
Datum	25.06. – 30.07.2016



Gesamtansicht des Putz- / Stuckfragments

Fragment 12_5

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Abkürzungen: O: Oberputz; U: Unterputz; P: Untersuchung in Pompeji; M: Untersuchung in München

Probenentnahme



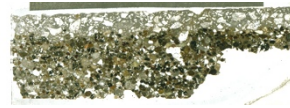
Fragment nach Schnitt für Probe 12_5_1



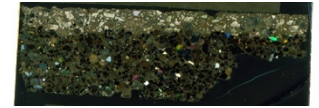
Fragmentunterseite nach Schnitt



Anschliff 12_5_1



Dünnschliff 12_5_1



Dünnschliff 12_5_1 (XPOL)

Stratigraphie



Stratigraphie Anschliff 12_5_1

Probe	Schichtanzahl	Lagenart	Gesamtstärke	Stärke Schicht 1 (U)	Stärke Schicht 2 (O)		
Fragment (P)	2	1 U, 1 O	1,5 cm	1,3 cm	0,2 cm		
Fragment (M)	2	1 U, 1 O	1,6 cm	1,3 cm	0,3cm		
Anschliff 12_5_1	2	1 U, 1 O	1,5 cm	1,2	0,3		

Fragment 18_8

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Untersuchungsdatenblatt	
Daten der untersuchten Probe	
Ort	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument	Eventuell PN_EN_6, aber nicht sicher zugeordnet
Datierung (D'AMBROSIO/DE CARO 1983)	Augusteische Zeit ca. 27 v. Chr. – 14 n. Chr
Probennummer Fragment	18_8
Art der Entnahme der Gesamtprobe	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probennahme	23.05. – 27.05.2016
Funktionskontext des Fragments	Wanddekoration, Stuck
Anzahl und Art der Schichten	1 Unterputzschicht, 2 Oberputzschichten
Vollständigkeit des Schichtenpackets	Schichtenpaket ist nicht vollständig erhalten.
Größe (maximal)	8,7 x 8 cm
Gesamtgewicht bei Ausgleichsfeuchte (15.06.2016)	139,4 g (Waage: Sartorius BL31000 / Lehrstuhl RKK)
Anmerkungen	Oberputzoberfläche zeigt Risse und zahlreiche Fehlstellen; partiell leichte Ablösung vom Unterputz Partiell leichte Ablösungserscheinungen zwischen Schicht 2 und 3.
Daten der Einzelproben	
Probennummer Einzelprobe	A 18_8_1, D 18_8_1
Untersuchte Probenart	Dünnschliff (D) poliert, nicht abgedeckt Anschliff (A) poliert
Einbettungsmedium	Epoxidharz GP 20
Datum der Probennahme	16.06.2016
Daten der Untersuchung	
Untersuchungen	Untersuchung zur Klärung der Zuordnung
Untersuchungsmethoden	Makroskopische Untersuchung, Stereomikroskopie, Auflichtmikroskopie, Durchlichtmikroskopie / Polarisationsmikroskopie
Verwendete Technik	Lupe 10x, Stereomikroskop Stemi 2000 C (Zeiss), Auflichtmikroskop Leica DMLM, Polarisationsmikroskop Leica DMLP
Durchführende Personen	Edith Aichinger
Labor / Betreuung	Lehrstuhl für Restaurierung (TUM)
Datum	25.06. – 30.07.2016



Gesamtansicht des Putz- / Stuckfragments

Fragment 18_8

Makro- und mikroskopische Untersuchung

Abkürzungen: O: Oberputz; U: Unterputz; P: Untersuchung in Pompeji; M: Untersuchung in München; D: Dünnschliff; A: Anschliff

Probenentnahme



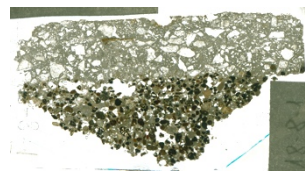
Fragment nach Schnitt für Probe 18_8_1



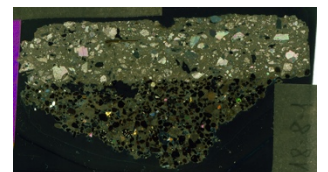
Fragmentunterseite nach Schnitt



Anschliff 18_8_1



Dünnschliff 18_8_1



Dünnschliff 18_8_1 (XPOL)

Stratigraphie






Stratigraphie Anschliff 18_8_1

Probe	Schichtanzahl	Lagenart	Gesamtstärke	Stärke Schicht 1 (U)	Stärke Schicht 2 (O)	Stärke Schicht 3 (O)	
Fragment (P)	3	1 U, 2 O	2,4 cm	1,6 cm	0,3 cm	0,5 cm	
Fragment (M)	3	1 U, 2 O	2,3 cm	0 – 1,4 (nicht überall erhalten)	0,3 – 0,4 cm	0,4 – 0,5 cm	
Anschliff 18_8_1	3	1 U, 2 O	2,2 cm	0,2 – 1,1 cm	0,5 cm	0,4 cm	

Fragment 3_1

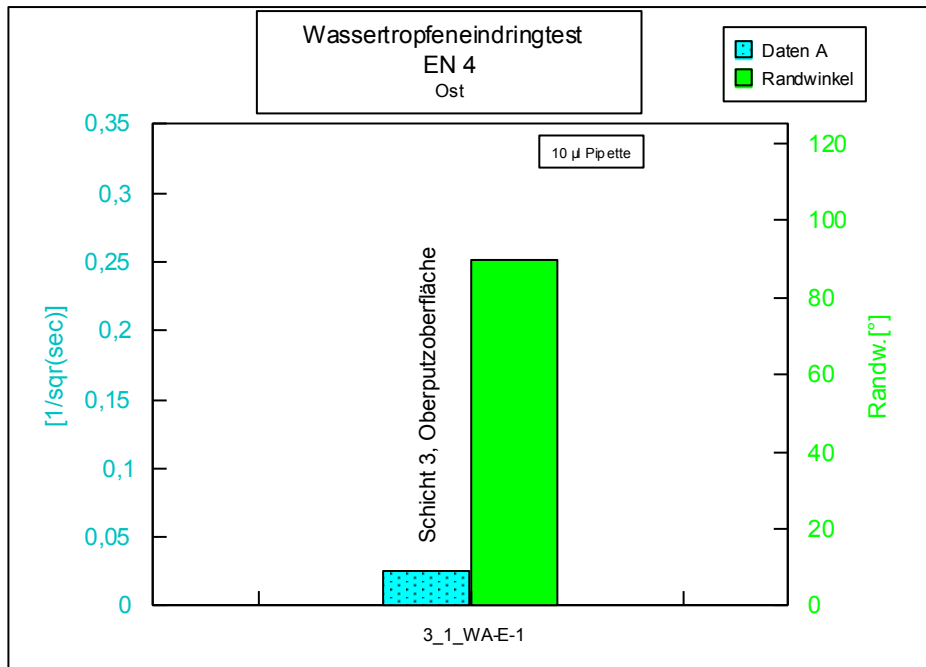
Physikalisch-mechanische Kennwerte

Untersuchungsdatenblatt		 <p>Gesamtansicht Putz- / Stuckfragment</p>
Ort:	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN	
Grabmonument:	PN EN 4	
Datierung:	Julisch-claudische Zeit ca. 14 – 54 n. Chr.	
Art der Entnahme der Gesamtprobe:	Vom Boden geborgenes, loses Fragment	
Datum der Probenentnahme:	09. – 11.2015	
Funktionskontext des Fragments:	Wanddekoration, mehrlagiger Stuck	
Probennummer Fragment:	3_1	
Untersuchungsmethoden:	Wassertropfeneindringtest, Bohr widerstandsmessung	
Durchführende Personen:	C. Friedl	
Labor/Betreuung:	Fachlabor für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege (Dr. E. Wendler, S. Rother)	
Datum der Messungen:	28.06.2016 (BW-1, BW-2), 29.06.2016 (WA-E-1)	

Fragment 3_1

Physikalisch-mechanische Kennwerte

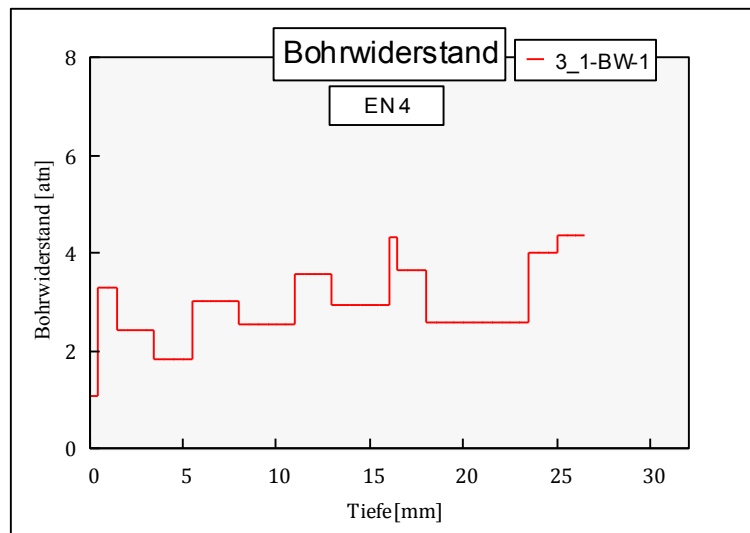
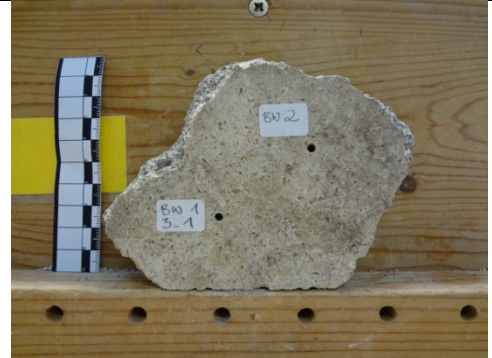
Wassertropfeneindringtest				
Probennummer:	3_6-WA-E-1			
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schicht 3 (Oberputzoberfläche)			
Datum der Messung:	29.06.2016			
Geräte/Material:	Pipette 10 µl, entionisiertes Wasser, Zeitmessuhr			
Messpunkt:	geprüfte Schicht:	t [s]:	Randwinkel [°]:	Spreitung [cm ²] (ca.):
WA-E-1	Schicht 3, Oberputzoberfläche	1519	90	0,25



Fragment 3_1

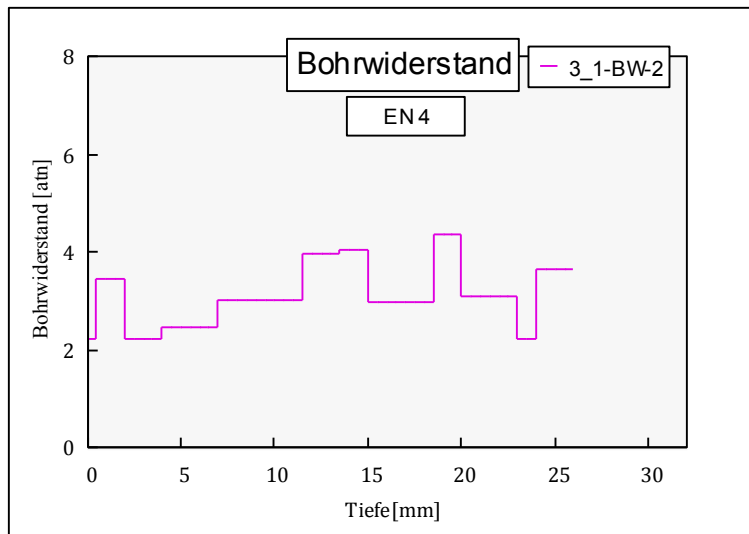
Physikalisch-mechanische Kennwerte

Bohrwiderstand	
Probennummer:	3_1-BW-1, 3_1-BW-2
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schicht 1 – 3
Schichttiefen ab Oberfläche:	Schicht 3: ca. 0 – 3 mm Schicht 2: ca. 3 – 18 mm Schicht 1: ca. 18 – 25 mm
Datum der Messung:	28.06.2016
Gerät:	DURABO Bohrhärtegerät (Lizenz der Fraunhofer-Gesellschaft GS 103/91 IBP)
Leistung	ca. 10 V
Gewicht/Vorschub	1 kg
Bohrerart:	diamantbesetzte (PKD-bestückte) Spezialanfertigungen
Bohrer-Durchmesser:	3 mm
Anzahl der Bohrungen	2



Fragment 3_1

Physikalisch-mechanische Kennwerte



Fragment 3_6

Physikalisch-mechanische Kennwerte

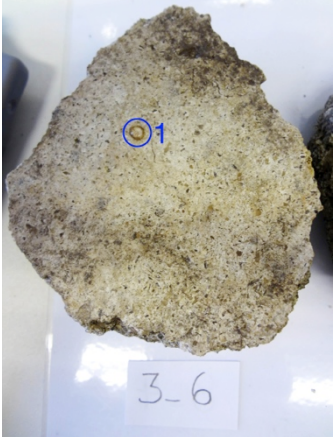

Untersuchungsdatenblatt	
Ort:	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument:	PN EN 4
Datierung:	Julisch-claudische Zeit ca. 14 – 54 n. Chr.
Art der Entnahme der Gesamtprobe:	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probenentnahme:	09. – 11.2015
Funktionskontext des Fragments:	Wanddekoration, mehrlagiger Stuck
Probennummer Fragment:	3_6
Untersuchungsmethoden:	Wassertropfeneindringtest, Kapillare Wasseraufnahme DIN 15801, Wasseraufnahme nach Karsten, Bestimmung der Rohdichte und offenen Porosität, Bohrwiderstandsmessung
Durchführende Personen:	C. Friedl
Labor/Betreuung:	Fachlabor für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege (Dr. E. Wendler, S. Rother)
Datum der Messungen:	29.06.2016 (WA-E-1 bis -2), 30.06.2016 (WA-L), 06.07.2016 (WA-K-1), 07.07.2016 (WA-K-2), 03.08. – 11.08.2016 (3_6_6_1, 3_6_6_2, 3_6_6_3), 09.08.2016 (3_6-BW-1 und -2)

Gesamtansicht Putz- / Stuckfragment

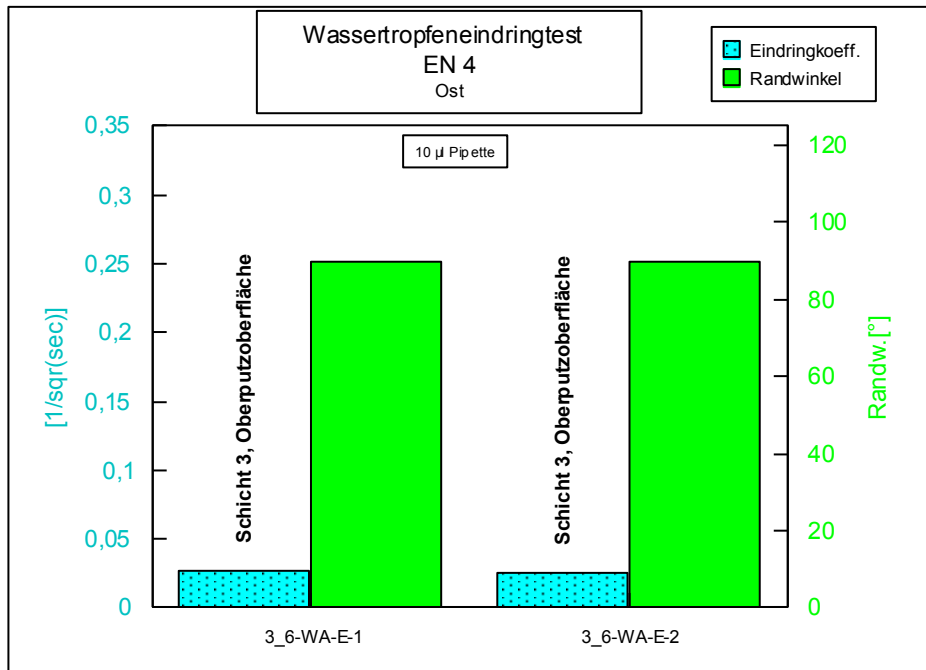
Fragment 3_6

Physikalisch-mechanische Kennwerte

Wassertropfeneindringtest	
Probennummer:	3_6_WA-E-1 und -2
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schicht 3 (Oberputzoberfläche)
Datum der Messung:	29.06.2016
Geräte/Material:	Pipette 10 µl, entionisiertes Wasser, Stoppuhr

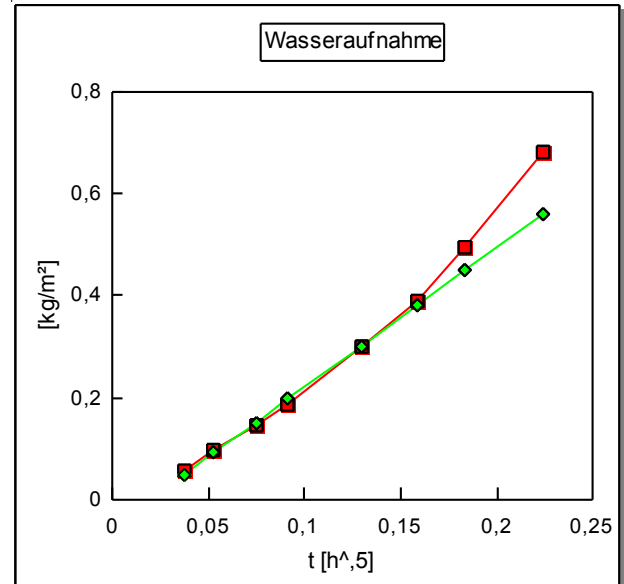
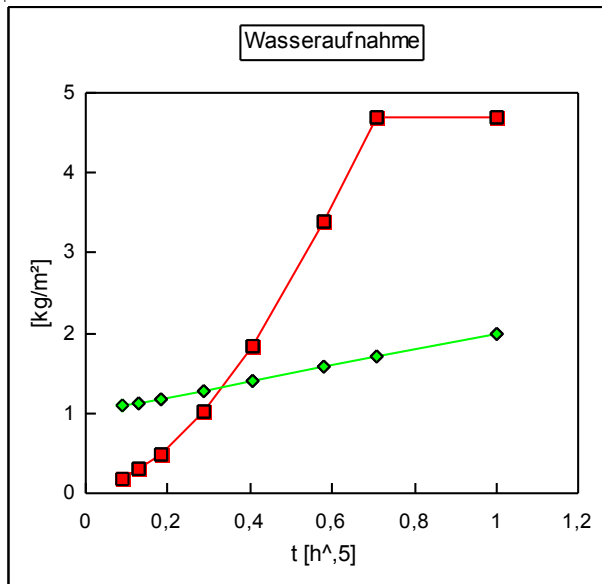
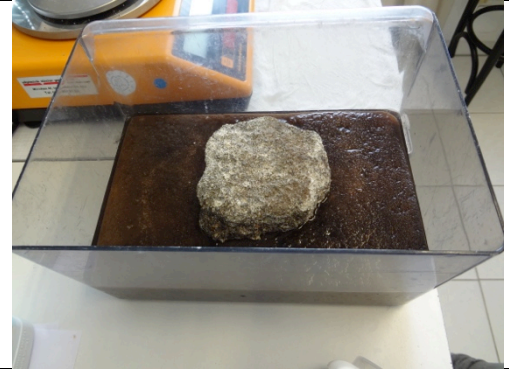
Messpunkt:	geprüfte Schicht:	t [s]:	Randwinkel [°]:	Spreitung [cm ²] (ca.):
WA-E-1	Schicht 3, Oberputzoberfläche	1326	90	0,25
WA-E-2	Schicht 3, Oberputzoberfläche	1595	90	0,25



Fragment 3_6

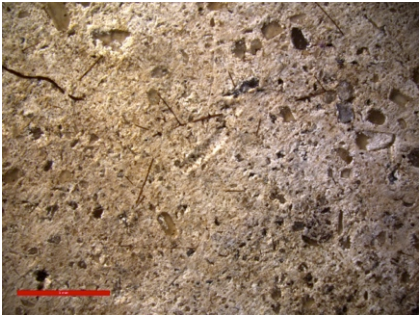

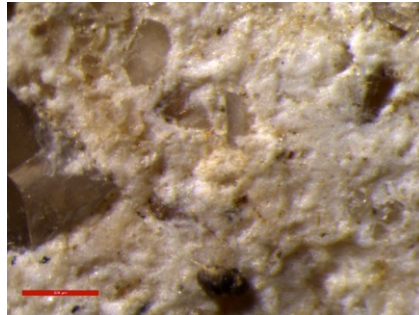
Physikalisch-mechanische Kennwerte

Kapillare Wasseraufnahme DIN 15801								
Probennummer:	3_6_WA-L							
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schicht 1 – 3, Oberputzoberfläche Schicht 3 als saugende Fläche							
Schichttiefen ab Oberfläche:	Schicht 3: ca. 0 – 4 mm Schicht 2: ca. 4 – 18 mm Schicht 1: ca. 18 – 28 mm							
Datum der Messung:	30.06.2016							
Geräte/Materialien:	Analysenwaage, Gefäß mit Schaumstoff, entionisiertes Wasser, Stoppuhr							
Auswerteprogramm:	Rapp (1996)							
m₀ [g]:	281,871							
A [m²]:	0,006039							
Analysengang:								
t [s]:	5	10	15	20	30	45	60	90
m_t [g]:	282,201	282,442	282,587	282,752	282,988	283,330	283,674	284,226
h_t [cm]:	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
t [s]:	120	180	300	600	900	1200	1800	3600
m_t [g]:	284,859	285,989	288,088	293,012	297,754	302,351	310,116	320,258
h_t [cm]:	0,3	0,5	0,6	1,3	1,7	2,3	2,5	optisch vollgesogen
Berechneter w-Wert [kg/(m²√h)]: 2,8								



Fragment 3_6

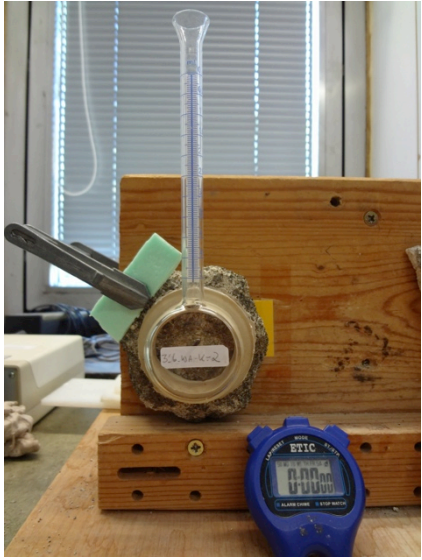
Physikalisch-mechanische Kennwerte

Wasseraufnahme nach Karsten									
									
roter Balken: 5 mm			roter Balken: 1 mm			roter Balken: 200 µm			
Probennummer:			3_6_WA-K-1						
Probenart/geprüfte Schicht:			Gesamtprobe, Schicht 1 – 3, Oberputzoberfläche Schicht 3 als saugende Fläche						
Schichttiefen ab Oberfläche:			Schicht 3: ca. 0 – 4 mm Schicht 2: ca. 4 – 18 mm Schicht 1: ca. 18 – 28 mm						
Datum der Messung:			06.07.2016						
Geräte/Material:			entionisiertes Wasser, Stoppuhr, Karsten'sches Prüfröhrchen						
Programm:			Calcarow						
Prüfröhrchen-Durchmesser [cm]:			4,5						
m ₀ [g]:			281,584 (nach Trocknung bei 40 °C und 24 h Lagerung bei 25 °C / 45 % rF: 0,10 % Unterschied zu m ₀ Wasseraufnahme Labor)						
Kommentar:			Keine Feuchtehof-Bildung						
Messung:									
t [mm:ss]	04:23	12:17	21:14	31:25	41:27	(49:31)	70:20	90:20	111:06
V [ml]	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	(0,30)	0,40	0,50	0,60
Berechneter w-Wert [kg/(m ² ·Vh):			0,1						

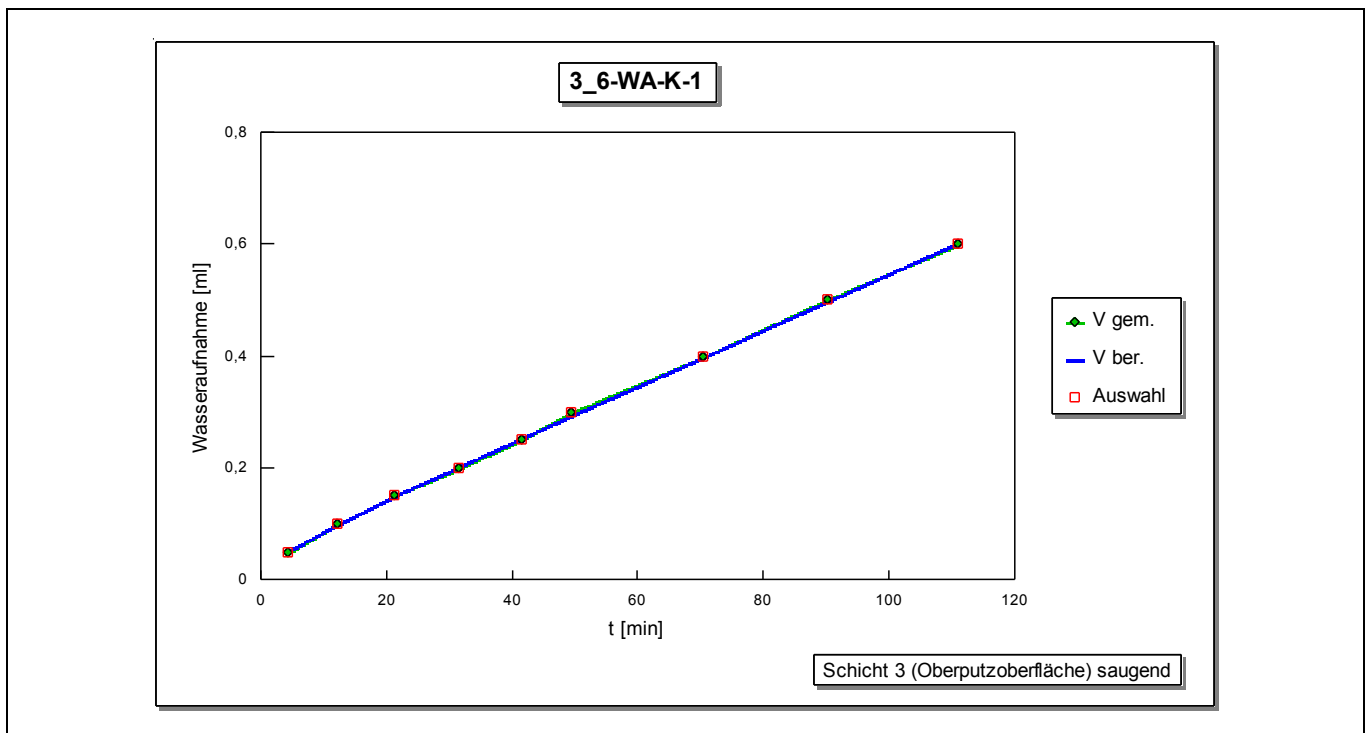


Fragment 3_6

Physikalisch-mechanische Kennwerte

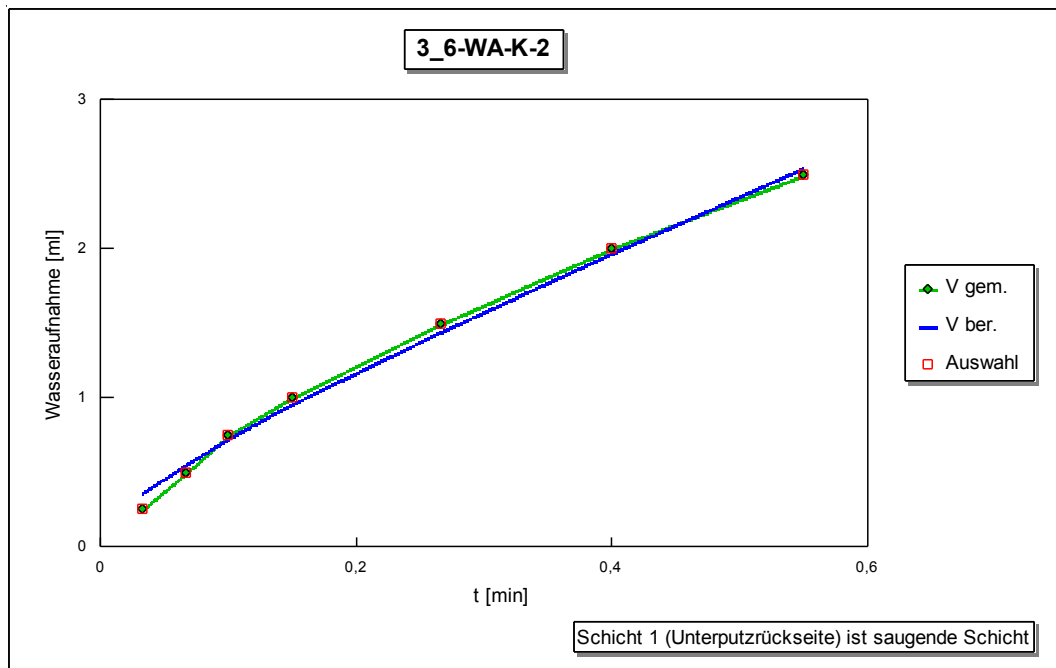
Probennummer:	3_6_WA-K-2	
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamprobe, Schicht 1 – 3, Unterputzrückseite Schicht 1 als saugende Fläche	
Schichttiefen ab Oberfläche:	Schicht 3: ca. 0 – 4 mm Schicht 2: ca. 4 – 18 mm Schicht 1: ca. 18 – 28 mm	
Datum der Messung:	07.07.2016	
Geräte/Material:	entionisiertes Wasser, Stoppuhr, Karsten'sches Prüfröhrchen	
Programm:	Calcarow	
Prüfröhrchen-Durchmesser [cm]:	4,5	
m₀ [g]:	281,285 (nach Trocknung bei 40 °C und 24 h Lagerung bei 25 °C / 45 % rF)	
Kommentar:	Keine Feuchtehof-Bildung	

Messung:										
t [mm:ss]	00:02	00:04	00:06	00:09	00:16	00:24	00:33	00:45	01:00	01:16
V [ml]	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
Berechneter w-Wert [kg/(m²Vh):	7,9									



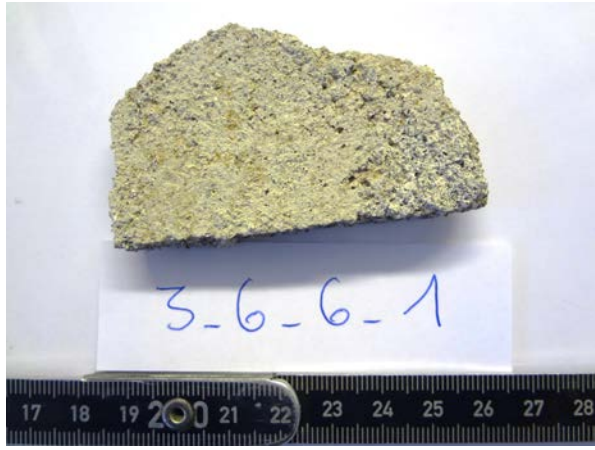


Fragment 3_6

Physikalisch-mechanische Kennwerte



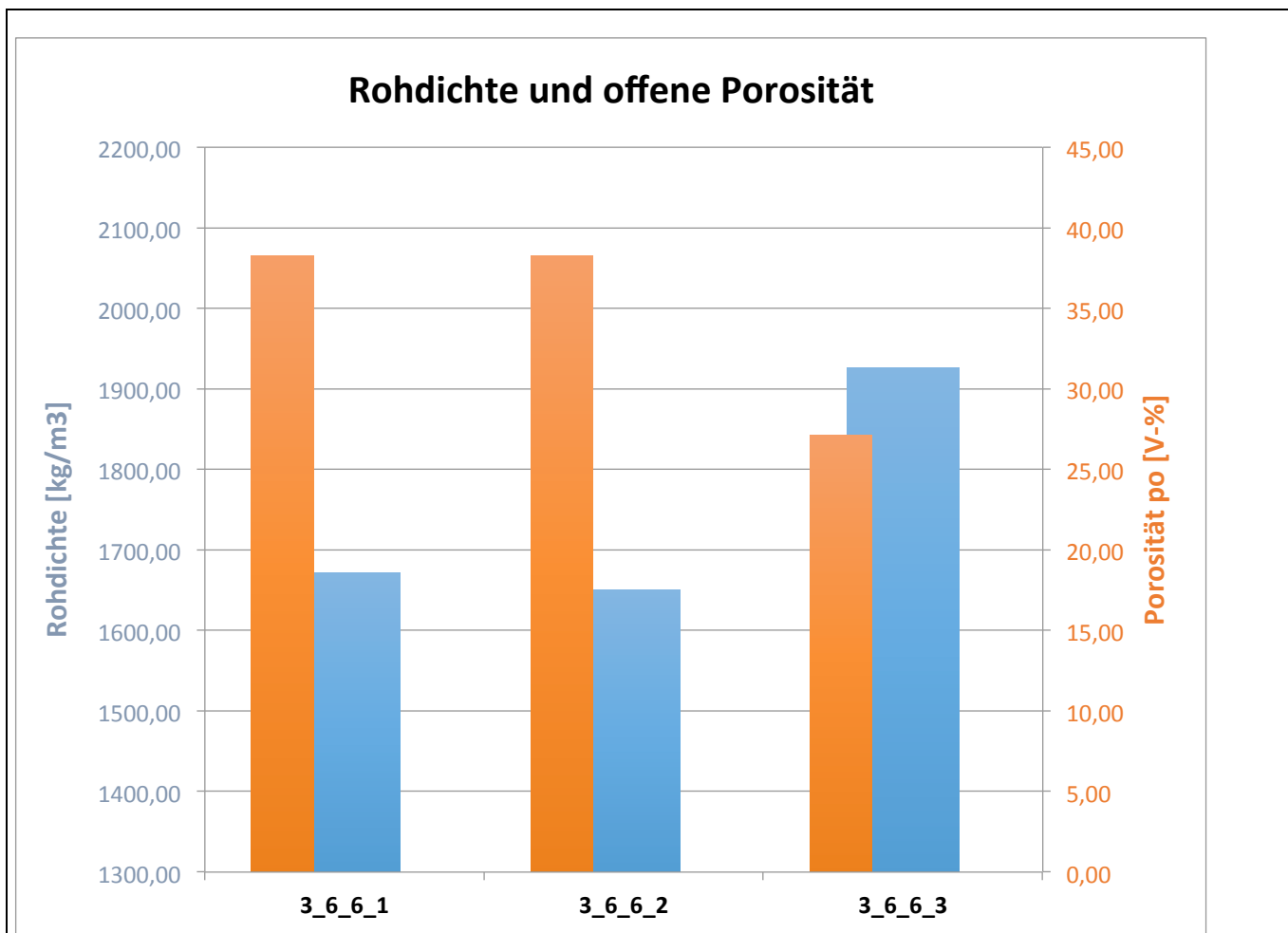
Fragment 3_6

Physikalisch-mechanische Kennwerte

Bestimmung von Rohdichte und offener Porosität durch Vakuum-Tauchverfahren	
Probennummer:	3_6_6_1
Probenart/geprüfte Schicht:	Unterputz, Schicht 1
Datum der Messung:	03.08. – 11.08.2016
Geräte:	Trockenschrank (Heraeus Typ VT 5050 EK), Analysewaage, Exsikkator, Wasserstrahlpumpe, Laborhebebühne
m_d [g]:	37,475
m_{h+Korb} [g]:	23,071
m_{Korb} [g]:	0,595
m_h [g]:	23,666
m_s [g]:	46,039
T_{rh} [°C]:	22
ρ_{rh} [kg/m ³]:	997,8
V_0 [ml]:	8,583
ρ_b [kg/m ³]:	1671,33
p_0 [V-%]:	38,28
	
Probennummer:	3_6_6_2
Probenart/geprüfte Schicht:	Unterputz, Schicht 2
Datum der Messung:	03.08. – 11.08.2016
Geräte:	Trockenschrank (Heraeus Typ VT 5050 EK), Analysewaage, Exsikkator, Wasserstrahlpumpe, Laborhebebühne
m_d [g]:	36,777
m_{h+Korb} [g]:	22,452
m_{Korb} [g]:	0,595
m_h [g]:	23,047
m_s [g]:	45,28
T_{rh} [°C]:	22
ρ_{rh} [kg/m ³]:	997,8
V_0 [ml]:	8,522
ρ_b [kg/m ³]:	1650,52
p_0 [V-%]:	38,24
	
Probennummer:	3_6_6_3
Probenart/geprüfte Schicht:	Oberputz, Schicht 3
Datum der Messung:	03.08. – 11.08.2016
Geräte:	Trockenschrank (Heraeus Typ VT 5050 EK), Analysewaage, Exsikkator, Wasserstrahlpumpe, Laborhebebühne
m_d [g]:	5,029
m_{h+Korb} [g]:	2,535
m_{Korb} [g]:	0,595
m_h [g]:	3,13
m_s [g]:	5,735
T_{rh} [°C]:	22
ρ_{rh} [kg/m ³]:	997,8
V_0 [ml]:	0,708
ρ_b [kg/m ³]:	1926,27
p_0 [V-%]:	27,10
	

Fragment 3_6

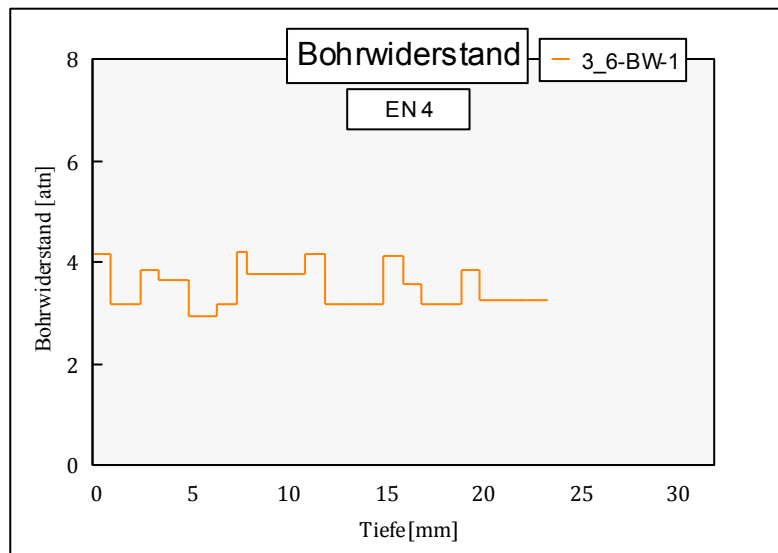
Physikalisch-mechanische Kennwerte



Fragment 3_6

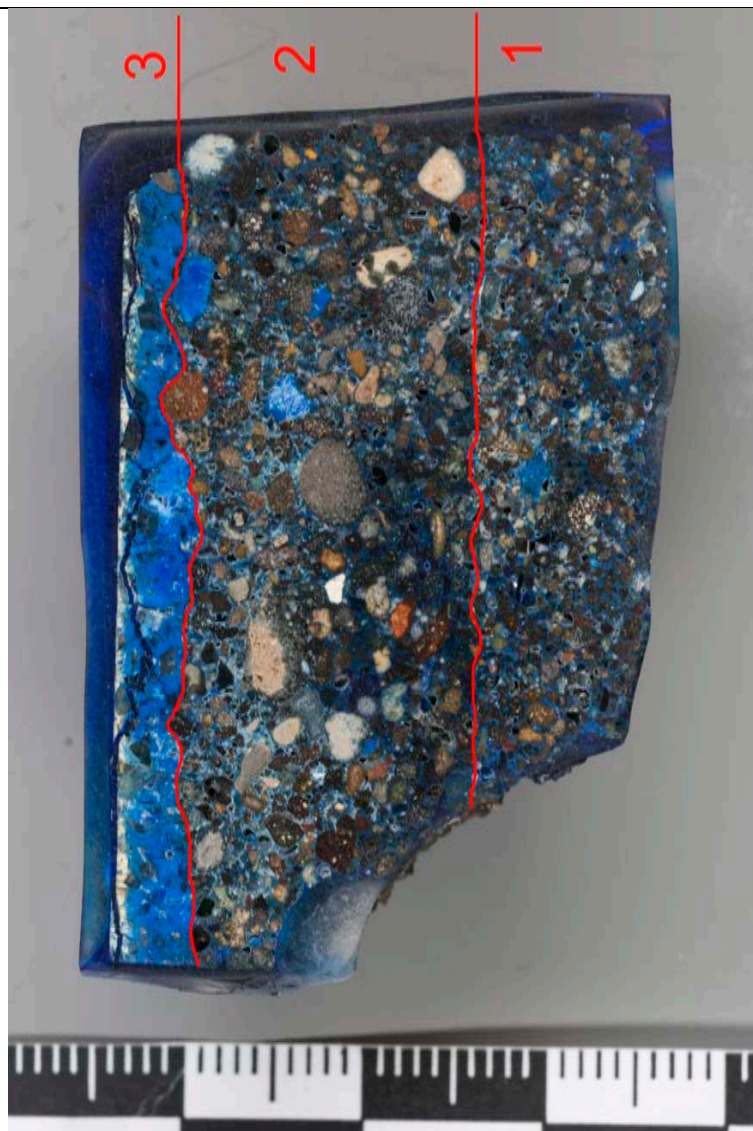
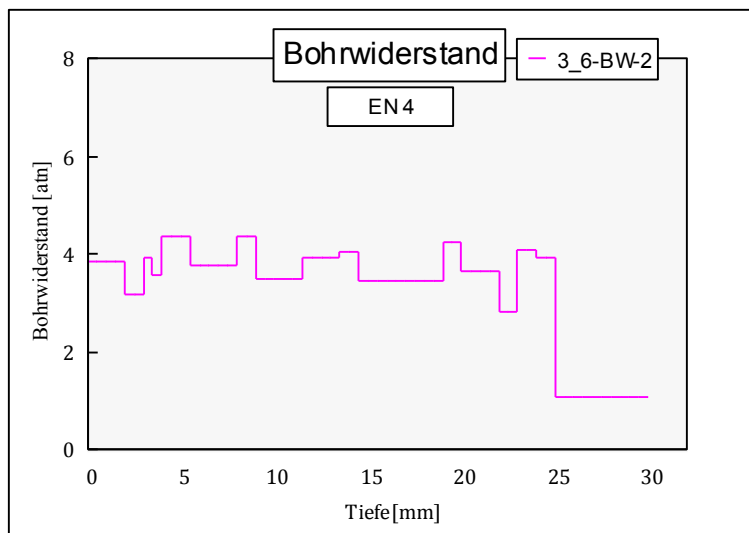
Physikalisch-mechanische Kennwerte

Bohrwiderstand	
Probennummer:	3_6-BW-1, 3_6-BW-2
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schicht 1 – 3
Schichttiefen ab Oberfläche:	Schicht 3: ca. 0 – 4 mm Schicht 2: ca. 4 – 18 mm Schicht 1: ca. 18 – 28 mm
Datum der Messung:	09.08.2016
Gerät:	DURABO Bohrhärtegerät (Lizenz der Fraunhofer-Gesellschaft GS 103/91 IBP)
Leistung:	ca. 10 V
Gewicht/Vorschub:	1 kg
Bohrerart:	diamantbesetzte (PKD-bestückte) Spezialanfertigungen
Bohrer-Durchmesser:	3 mm
Anzahl der Bohrungen:	2



Fragment 3_6

Physikalisch-mechanische Kennwerte



Fragment 4_1

Physikalisch-mechanische Kennwerte

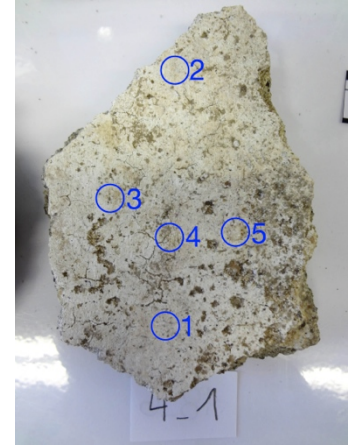
Untersuchungsdatenblatt	
Ort:	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument:	PN EN 4
Datierung:	Julisch-claudische Zeit ca. 14 – 54 n. Chr.
Art der Entnahme der Gesamtprobe:	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probenentnahme:	09. – 11.2015
Funktionskontext des Fragments:	Wanddekoration, mehrlagiger Stuck
Probennummer Fragment:	4_1
Untersuchungsmethoden:	Wassertropfeneindringtest, Kapillare Wasseraufnahme DIN 15801, Wasseraufnahme nach Karsten
Durchführende Personen:	C. Friedl
Labor/Betreuung:	Fachlabor für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege (Dr. E. Wendler, S. Rother)
Datum der Messungen:	29.06.2016 (WA-E-1 bis -5), 30.06.2016 (WA-L), 06.07.2016 (WA-K-1), 07.07.2016 (WA-K-2)

Gesamtansicht Putz- / Stuckfragment

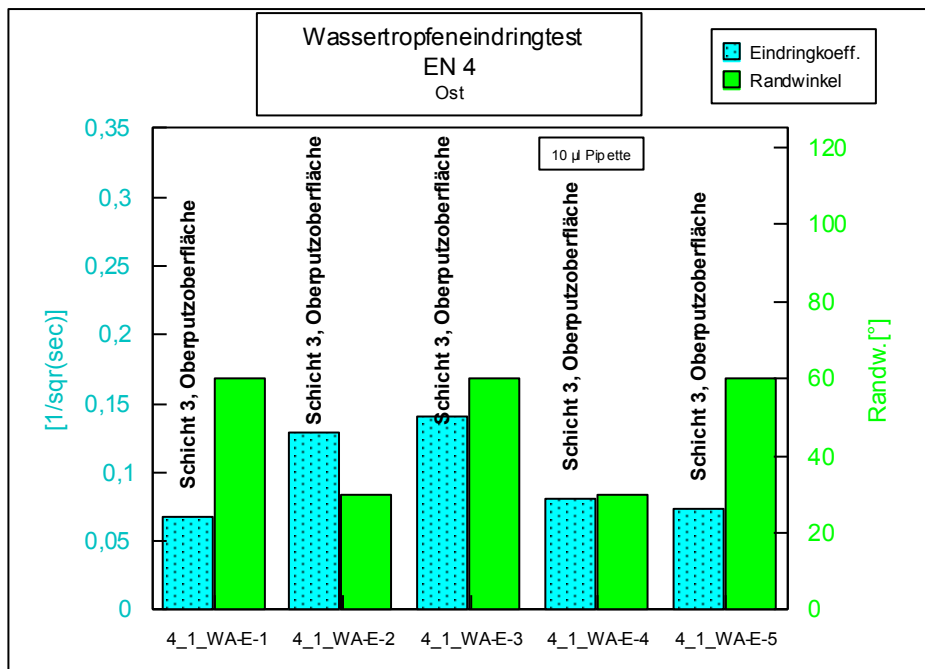
Fragment 4_1

Physikalisch-mechanische Kennwerte

Wassertropfeneindringtest	
Probennummer:	4_1_WA-E-1 bis -5
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schicht 3 (Oberputzoberfläche)
Datum der Messung:	29.06.2016
Geräte/Material:	Pipette 10 µl, entionisiertes Wasser, Stoppuhr



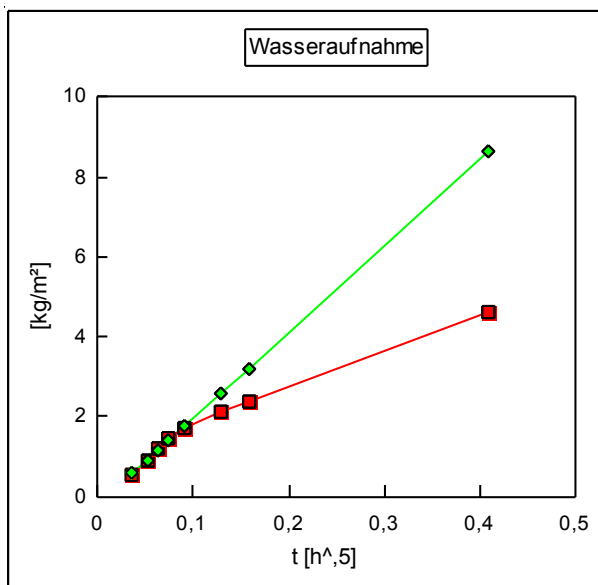
Messpunkt:	geprüfte Schicht:	t [s]:	Randwinkel [°]:	Spreitung [cm ²] (ca.):
WA-E-1	Schicht 3, Oberputzoberfläche	218	60	0,25
WA-E-2	Schicht 3, Oberputzoberfläche	60	30	0,25
WA-E-3	Schicht 3, Oberputzoberfläche	50	60	0,25
WA-E-4	Schicht 3, Oberputzoberfläche	155	30	0,25
WA-E-5	Schicht 3, Oberputzoberfläche	188	60	0,25



Fragment 4_1


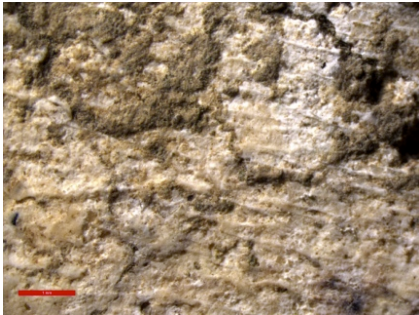
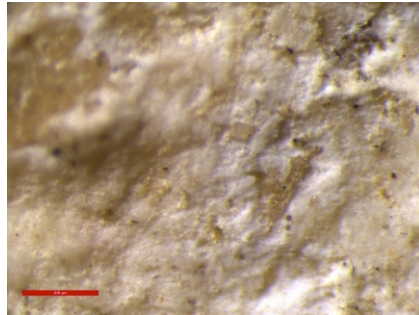
Physikalisch-mechanische Kennwerte

Kapillare Wasseraufnahme DIN 15801								
Probennummer:	4_1_WA-L							
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schicht 1 – 3, Unterputzrückseite Schicht 1 als saugende Fläche							
Datum der Messung:	30.06.2016							
Geräte/Materialien:	Analysenwaage, Gefäß mit Schaumstoff, entionisiertes Wasser, Stoppuhr							
Auswerteprogramm:	Rapp (1996)							
m₀ [g]:	280,525							
A [m²]:	0,006604							
Analysengang:								
t [s]:	5	10	15	20	30	45	60	90
m_t [g]:	284,222	286,535	288,528	290,026	291,840	293,441	294,673	296,146
h_t [cm]:	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
t [s]:	120	180	300	600	900	1200	1800	3600
m_t [g]:	297,821	299,916	303,229	310,906	316,431	319,192		
h_t [cm]:	1,1	1,2	1,4	2,0	optisch fast vollgesogen	optisch vollgesogen		
Berechneter w-Wert [kg/(m²·vh): 21,8								



Fragment 4_1

Physikalisch-mechanische Kennwerte

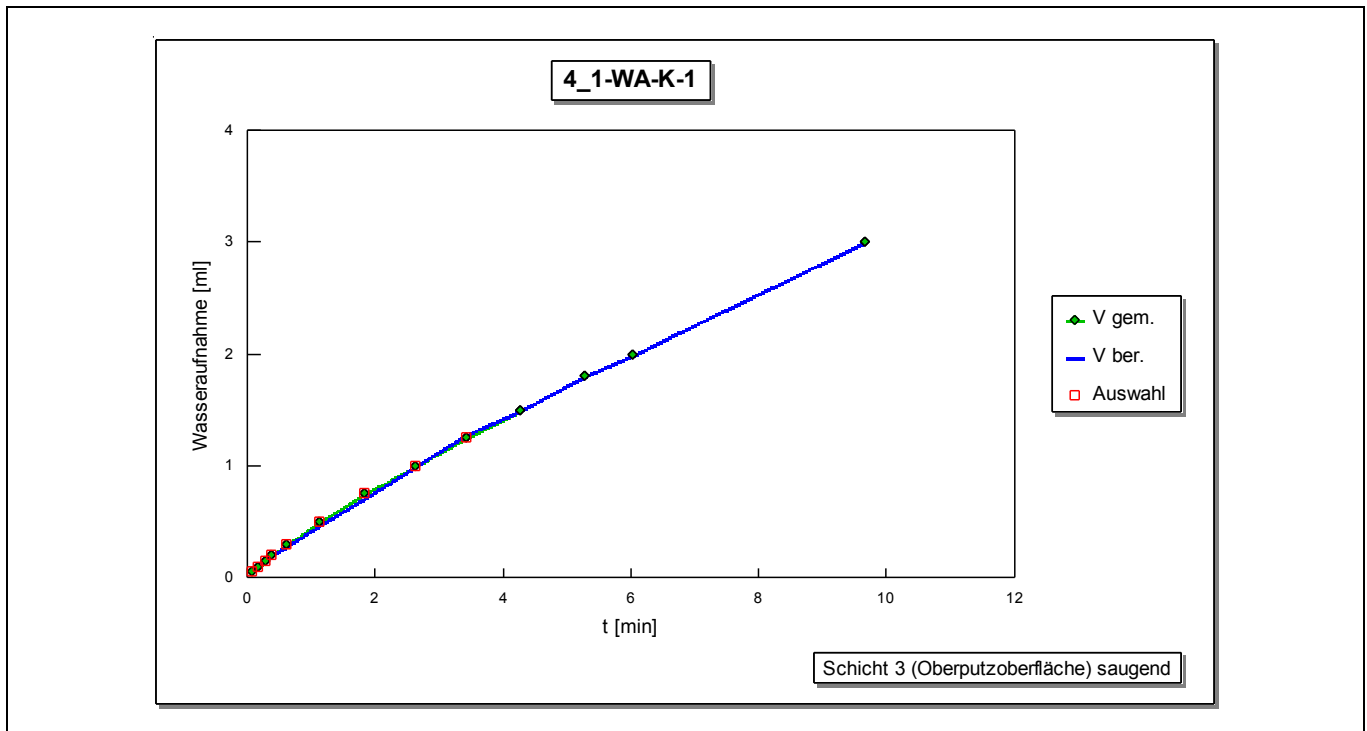
Wasseraufnahme nach Karsten													
													
roter Balken: 5 mm				roter Balken: 1 mm				roter Balken: 200 µm					
Probennummer:				4_1_WA-K-1									
Probenart/geprüfte Schicht:				Gesamtprobe, Schicht 1 – 3, Oberputzoberfläche Schicht 3 als saugende Fläche									
Datum der Messung:				06.07.2016									
Geräte/Material:				entionisiertes Wasser, Stoppuhr, Karsten'sches Prüfröhrchen									
Programm:				Calcarow									
Prüfröhrchen-Durchmesser [cm]:				4,5									
m ₀ [g]:				280,545 (nach Trocknung bei 40 °C und 24 h Lagerung bei 25 °C / 45 % rF: 0,007 % Unterschied zu m ₀ Wasseraufnahme Labor)									
Kommentar:				Keine Feuchtehof-Bildung									
Messung													
t [mm:ss]	00:05	00:10	00:17	00:23	00:36	01:08	01:50	02:37	03:25	04:16	05:17	06:01	09:39
V [ml]	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,80	2,00	3,00
Berechneter w-Wert [kg/(m ² vh):				1,0									



Fragment 4_1

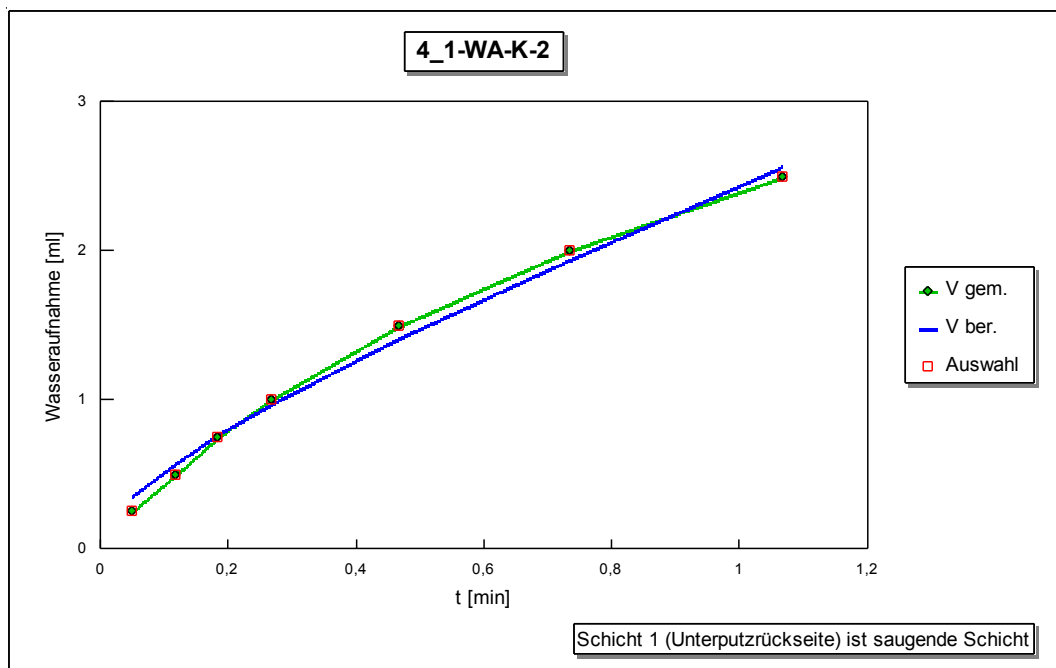
Physikalisch-mechanische Kennwerte

Probennummer:	4_1_WA-K-2								
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schicht 1 – 3, Unterputzrückseite Schicht 1 als saugende Fläche								
Datum der Messung:	07.07.2016								
Geräte/Material:	entionisiertes Wasser, Stoppuhr, Karsten'sches Prüfröhrchen								
Programm:	Calcarow								
Prüfröhrchen-Durchmesser [cm]:	4,5								
m₀ [g]:	280,224 (nach Trocknung bei 40 °C und 24 h Lagerung bei 25 °C / 45 % rF: 0,007 % Unterschied zu m ₀ Wasseraufnahme Labor)								
Kommentar:	Feuchtehof-Bildung nach t = 02:15 und V = 3,80								
Messung:									
t [mm:ss]	00:03	00:07	00:11	00:16	00:28	00:44	01:04	01:27	02:22
V [ml]	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	4,00
Berechneter w-Wert [kg/(m²Vh):	6,7								



Fragment 4_1


Physikalisch-mechanische Kennwerte





Fragment 7_1

Physikalisch-mechanische Kennwerte

Untersuchungsdatenblatt	
Ort:	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument:	PN EN 6
Datierung:	Augusteische Zeit ca. 27 v. Chr. – 14 n. Chr.
Art der Entnahme der Gesamtprobe:	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probenentnahme:	09. – 11.2015
Funktionskontext des Fragments:	Wanddekoration, mehrlagiger Stuck
Probennummer Fragment:	7_1
Untersuchungsmethoden:	Kapillare Wasseraufnahme DIN 15801, Wasseraufnahme nach Karsten
Durchführende Personen:	C. Friedl
Labor/Betreuung:	Fachlabor für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege (Dr. E. Wendler, S. Rother)
Datum der Messungen:	30.06.2016 (WA-L), 06.07.2016 (WA-K-1)



Gesamtansicht Putz- / Stuckfragment

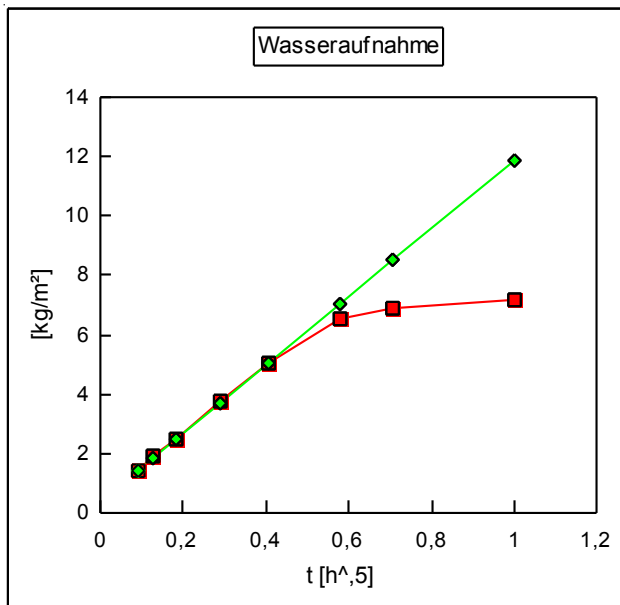
Fragment 7_1

Physikalisch-mechanische Kennwerte

Kapillare Wasseraufnahme DIN 15801	
Probennummer:	7_1_WA-L
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schicht 1 – 2, Unterputzoberfläche Schicht 2 als saugende Fläche
Datum der Messung:	29.06.2016
Geräte/Materialien:	Analysenwaage, Gefäß mit Schaumstoff, entionisiertes Wasser, Stoppuhr
Auswerteprogramm:	Rapp (1996)
m_0 [g]:	465,637
A [m ²]:	0,009752



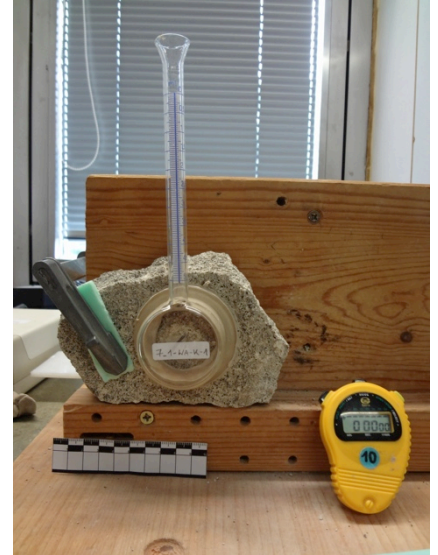
Analysegang:								
t [s]:	5	10	15	20	30	45	60	90
m_t [g]:	470,115	472,541	474,739	476,718	479,186	481,722	483,967	486,904
h_t [cm]:	0,5	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3
t [s]:	120	180	300	600	900	1200	1800	3600
m_t [g]:	489,559	493,463	502,10	514,83	524,22	529,49	532,92	535,95
h_t [cm]:	1,5	1,6	2,0	2,5	3,0	optisch vollgesogen	optisch vollgesogen	optisch vollgesogen
Berechneter w-Wert [kg/(m ² √h):	11,5							



Fragment 7_1

Physikalisch-mechanische Kennwerte

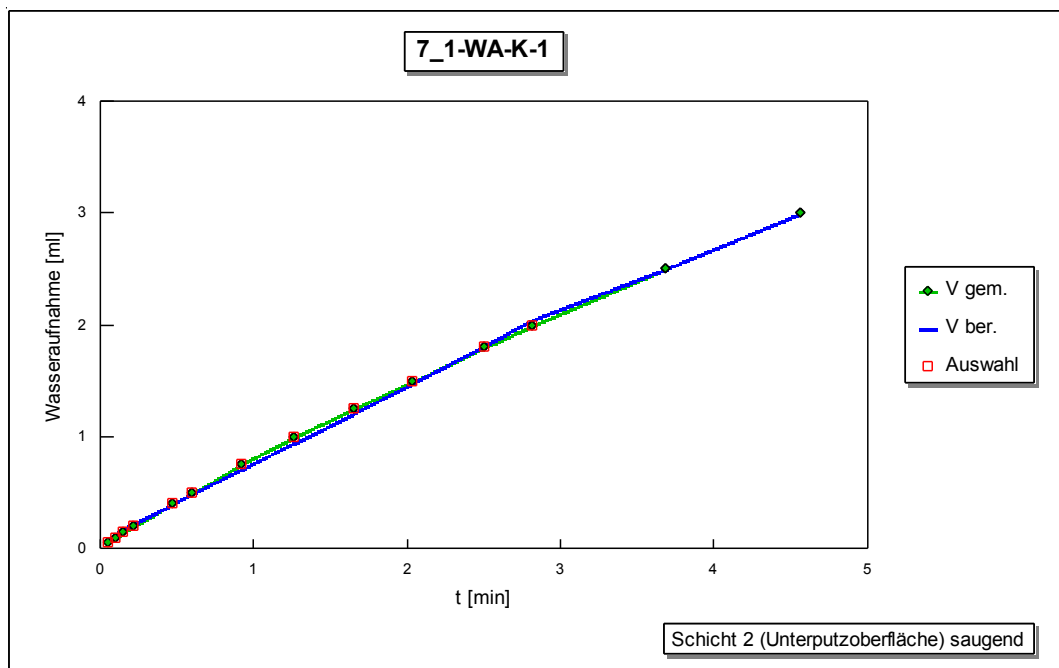
Wasseraufnahme nach Karsten	
Probennummer:	7_1_WA-K-1
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schicht 1 – 2, Unterputzoberfläche Schicht 2 als saugende Fläche
Datum der Messung:	06.07.2016
Geräte/Material:	entionisiertes Wasser, Zeitmessuhr, Karsten'sches Prüfröhrchen
Programm:	Calcarow
Prüfröhrchen-Durchmesser [cm]:	4,5
m_0 [g]:	465,568 (nach Trocknung bei 40 °C und 24 h Lagerung bei 25 °C / 45 % rF: 0,015 % Unterschied zu m_0 Wasseraufnahme Labor)
Kommentar:	Keine Feuchtehof-Bildung



Messung:

t [mm:ss]	00:03	00:06	00:09	00:13	00:28	00:36	00:55	01:16	01:39	02:02	02:30	02:49	03:41	04:34
V [ml]	0,05	0,10	0,15	0,20	0,40	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,80	2,00	2,50	3,00

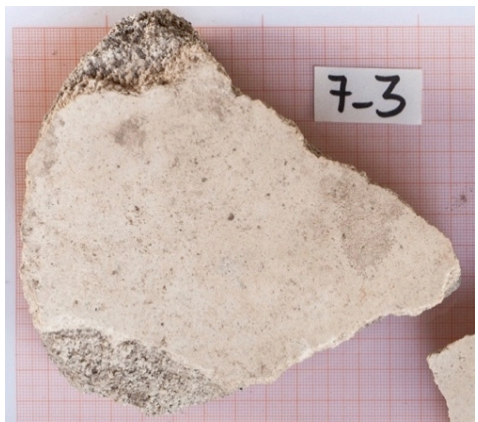
Berechneter w-Wert [$\text{kg}/(\text{m}^2\text{vh})$]: 1,4



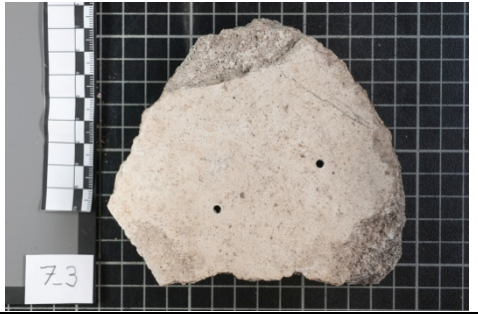
Fragment 7_3


Physikalisch-mechanische Kennwerte

Untersuchungsdatenblatt	
Ort:	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument:	PN EN 6
Datierung:	Augusteische Zeit ca. 27 v. Chr. – 14 n. Chr.
Art der Entnahme der Gesamtprobe:	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probenentnahme:	09. – 11.2015
Funktionskontext des Fragments:	Wanddekoration, mehrlagiger Stuck
Probennummer Fragment:	7_3
Untersuchungsmethoden:	Bohrwiderstandsmessung, Wassertropfeneindringtest
Durchführende Personen:	C. Friedl
Labor/Betreuung:	Fachlabor für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege (Dr. E. Wendler, S. Rother)
Datum der Messungen:	28.06.2016 (BW-1, BW-2), 29.06.2016 (WA-E-1, WA-E-2, WA-E-3)



Gesamtansicht Putz- / Stuckfragment

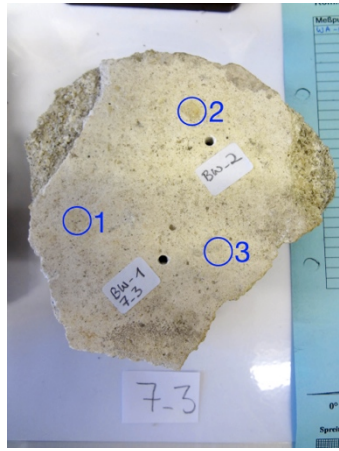




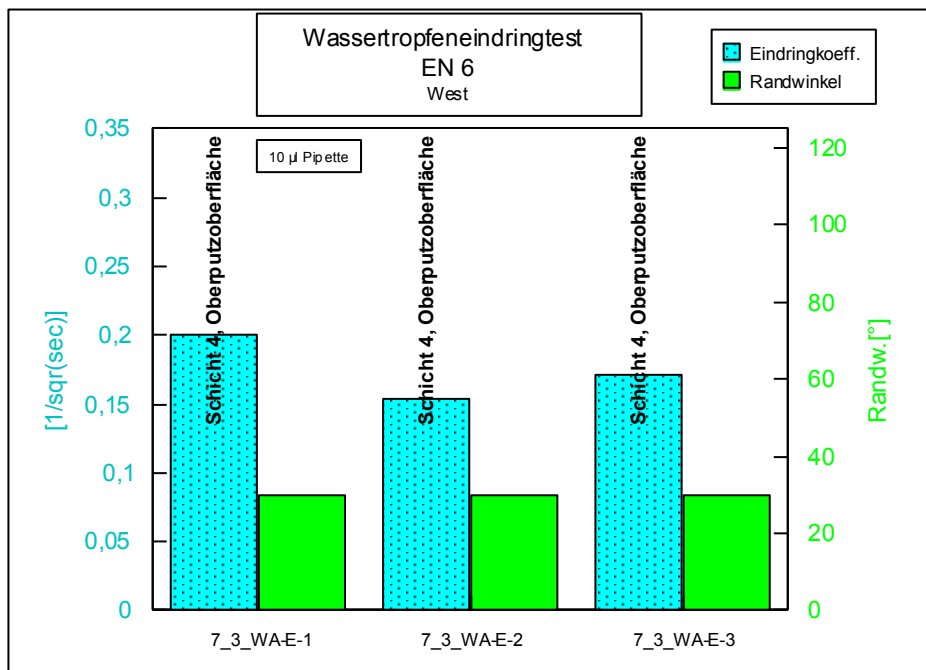
Fragment 7_3

Physikalisch-mechanische Kennwerte

Wassertropfeneindringtest	
Probennummer:	3_6_WA-E-1 und -2
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schicht 4 (Oberputzoberfläche)
Datum der Messung:	29.06.2016
Geräte/Material:	Pipette 10 µl, entionisiertes Wasser, Zeitmessuhr



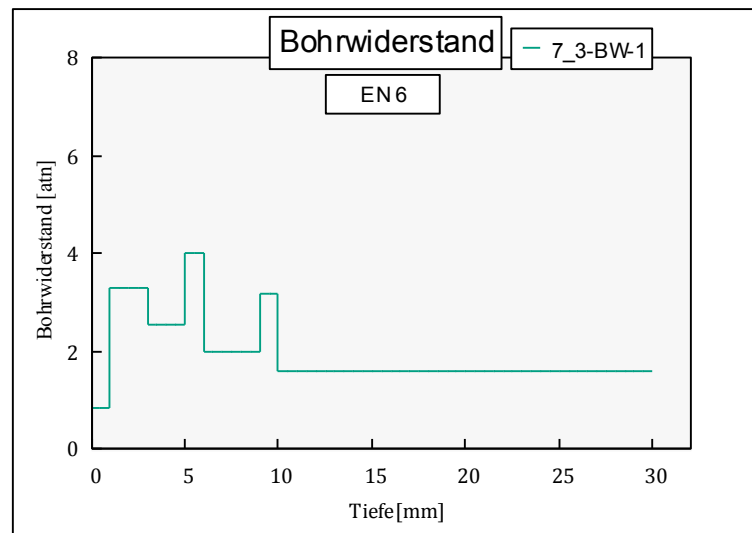
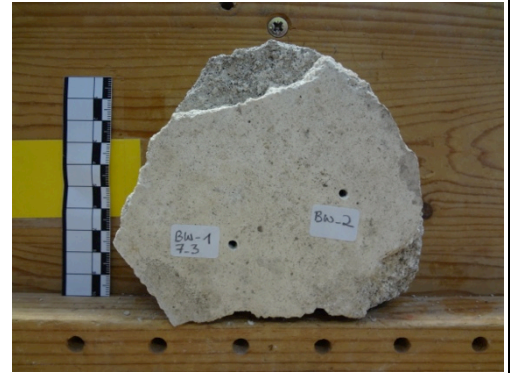
Messpunkt:	geprüfte Schicht:	t [s]:	Randwinkel [°]:	Spreitung [cm ²] (ca.):
WA-E-1	Schicht 4, Oberputzoberfläche	25	30	0,25
WA-E-2	Schicht 4, Oberputzoberfläche	42	30	0,5
WA-E-3	Schicht 4, Oberputzoberfläche	34	30	0,5



Fragment 7_3

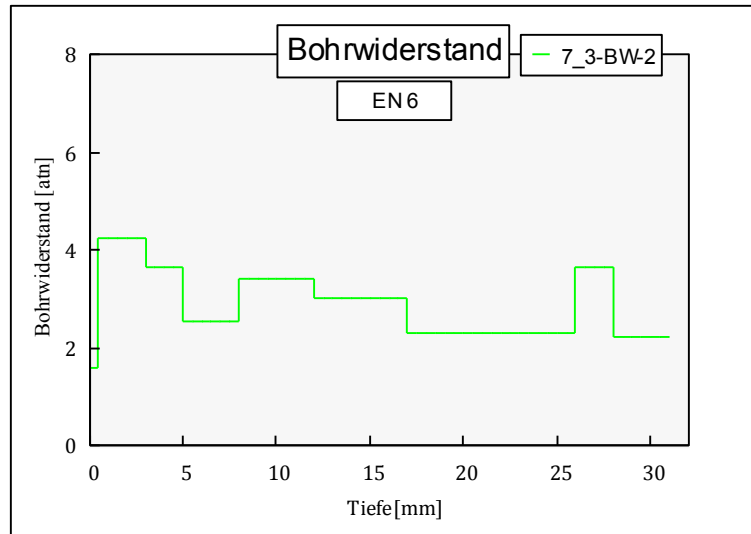
Physikalisch-mechanische Kennwerte

Bohrwiderstand	
Probennummer:	7_3-BW-1, 7_3-BW-2
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schichten 1 – 4
Schichttiefen ab Oberfläche:	Schicht 4: ca. 0 – 9 mm Schicht 3: ca. 9 – 14 mm Schicht 2: ca. 14 – 27 mm Schicht 1: ca. 27 – 32 mm
Datum der Messung:	28.06.2016
Gerät:	DURABO Bohrhärtegerät (Lizenz der Fraunhofer-Gesellschaft GS 103/91 IBP)
Leistung	ca. 10 V
Gewicht/Vorschub	1 kg
Bohrerart:	diamantbesetzte (PKD-bestückte) Spezialanfertigungen
Bohrer-Durchmesser:	3 mm
Anzahl der Bohrungen	2
Kommentar:	bei 7_3-BW-1 Akku frisch geladen, Leistung evtl. etwas höher



Fragment 7_3

Physikalisch-mechanische Kennwerte



Fragment 8_2

Physikalisch-mechanische Kennwerte

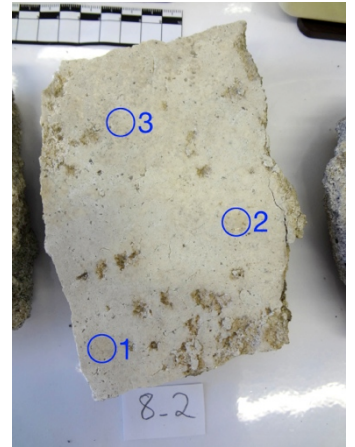
Untersuchungsdatenblatt	
Ort:	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument:	PN EN 6
Datierung:	Augusteische Zeit ca. 27 v. Chr. – 14 n. Chr.
Art der Entnahme der Gesamtprobe:	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probenentnahme:	09. – 11.2015
Funktionskontext des Fragments:	Wanddekoration, mehrlagiger Stuck
Probennummer Fragment:	8_2
Untersuchungsmethoden:	Wassertropfeneindringtest, Kapillare Wasseraufnahme DIN 15801, Wasseraufnahme nach Karsten
Durchführende Personen:	C. Friedl
Labor/Betreuung:	Fachlabor für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege (Dr. E. Wendler, S. Rother)
Datum der Messungen:	29.06.2016 (WA-E-1 bis -3), 30.06.2016 (WA-L), 06.07.2016 (WA-K-1), 07.07.2016 (WA-K-2)

Gesamtansicht Putz- / Stuckfragment

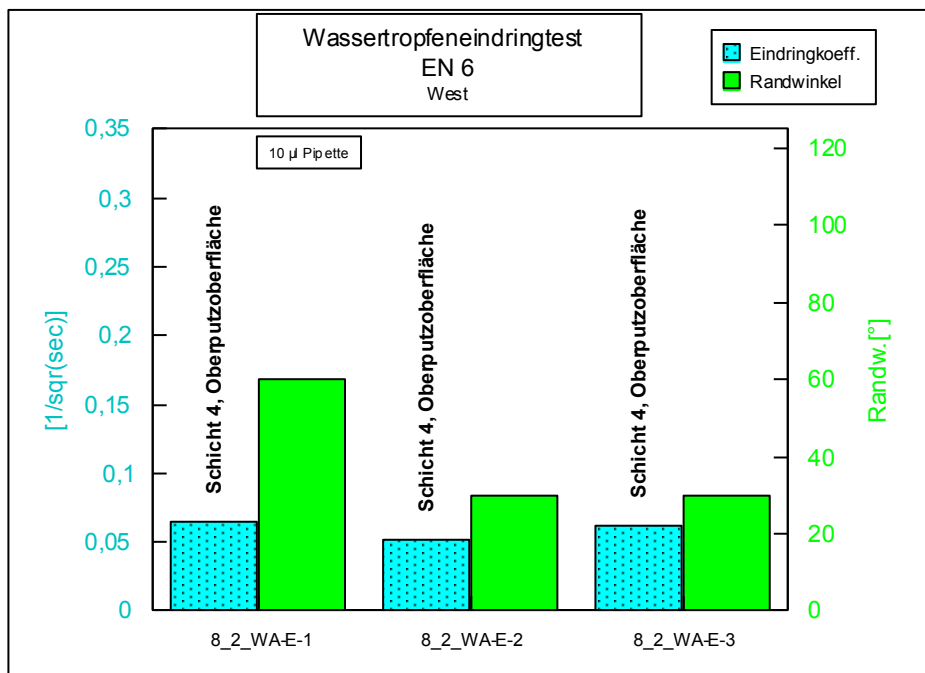
Fragment 8_2

Physikalisch-mechanische Kennwerte

Wassertropfeneindringtest	
Probennummer:	8_2_WA-E-1 bis -3
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schicht 4 (Oberputzoberfläche)
Datum der Messung:	29.06.2016
Geräte/Material:	Pipette 10 µl, entionisiertes Wasser, Stoppuhr



Messpunkt:	geprüfte Schicht:	t [s]:	Randwinkel [°]:	Spreitung [cm ²] (ca.):
WA-E-1	Schicht 4, Oberputzoberfläche	240	60	1
WA-E-2	Schicht 4, Oberputzoberfläche	367	30	1
WA-E-3	Schicht 4, Oberputzoberfläche	255	30	2



Fragment 8_2

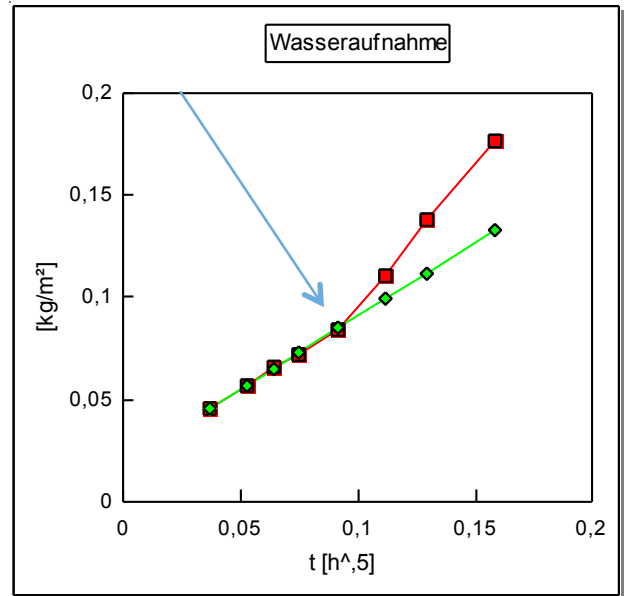
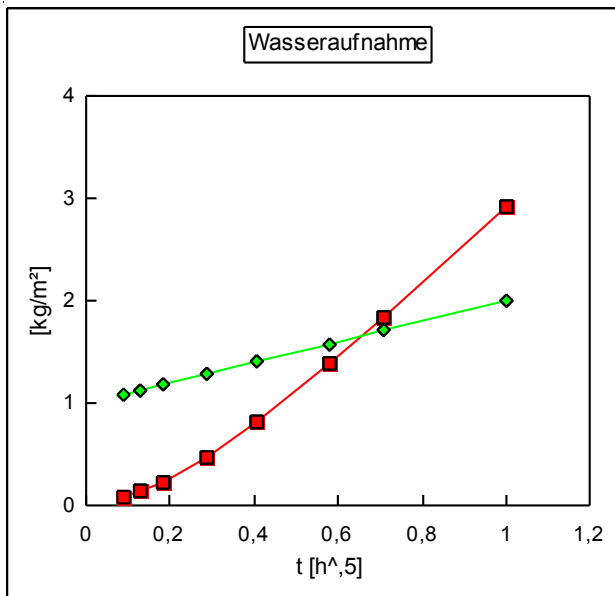
Physikalisch-mechanische Kennwerte

Kapillare Wasseraufnahme DIN 15801	
Probennummer:	8_2_WA-L
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schicht 1 – 4, Oberputzoberfläche Schicht 4 als saugende Fläche
Datum der Messung:	30.06.2016
Geräte/Materialien:	Analysenwaage, Gefäß mit Schaumstoff, entionisiertes Wasser, Stoppuhr
Auswerteprogramm:	Rapp (1996)
m_0 [g]:	438,198
A [m ²]:	0,010919



Analysegang:								
t [s]:	5	10	15	20	30	45	60	90
m_t [g]:	438,69	438,822	438,921	438,987	439,120	439,408	439,701	440,123
h_t [cm]:	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6
t [s]:	120	180	300	600	900	1200	1800	3600
m_t [g]:	440,619	441,619	443,383	447,232	450,530	453,348	458,258	470,060
h_t [cm]:	0,7	0,8	0,9	1,2	1,5	1,7	2,0	nicht ganz vollgesogen

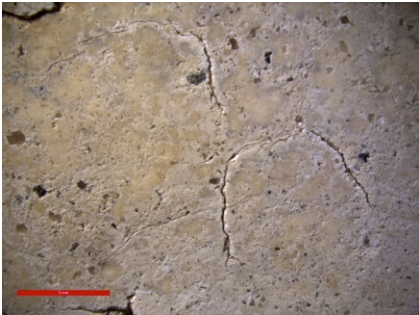
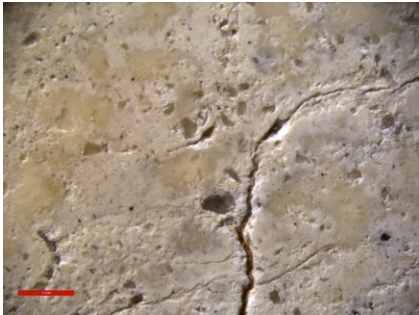
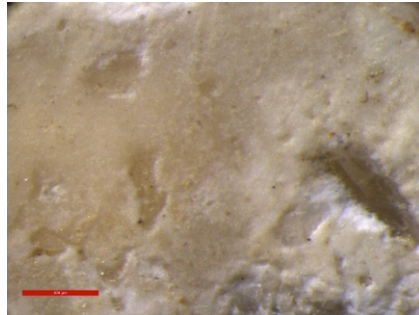
Berechneter w-Wert [kg/(m ² √h)]:	0,3
--	-----



Pfeil: Steighöhenübergang Oberputz zu Unterputz

Fragment 8_2

Physikalisch-mechanische Kennwerte

Wasseraufnahme nach Karsten									
									
roter Balken: 5 mm		roter Balken: 1 mm		roter Balken: 200 µm					
Probennummer:		8_2_WA-K-1							
Probenart/geprüfte Schicht:		Gesamtprobe, Schicht 1 – 4, Oberputzoberfläche Schicht 4 als saugende Fläche							
Datum der Messung:		06.07.2016							
Geräte/Material:		entionisiertes Wasser, Stoppuhr, Karsten'sches Prüfröhrchen							
Programm:		Calcarow							
Prüfröhrchen-Durchmesser [cm]:		4,5							
m ₀ [g]:		437,944 (nach Trocknung bei 40 °C und 24 h Lagerung bei 25 °C / 45 % rF: 0,058 % Unterschied zu m ₀ Wasseraufnahme Labor)							
Kommentar:		Keine Feuchtehof-Bildung							
Messung:									
t [mm:ss]	05:24	11:45	15:58	20:43	33:28	45:35	53:00	63:30	98:15
V [ml]	0,05	0,10	0,15	0,20	0,35	0,50	0,60	0,75	1,15
Berechneter w-Wert [kg/(m ² ·vh):		0,03							



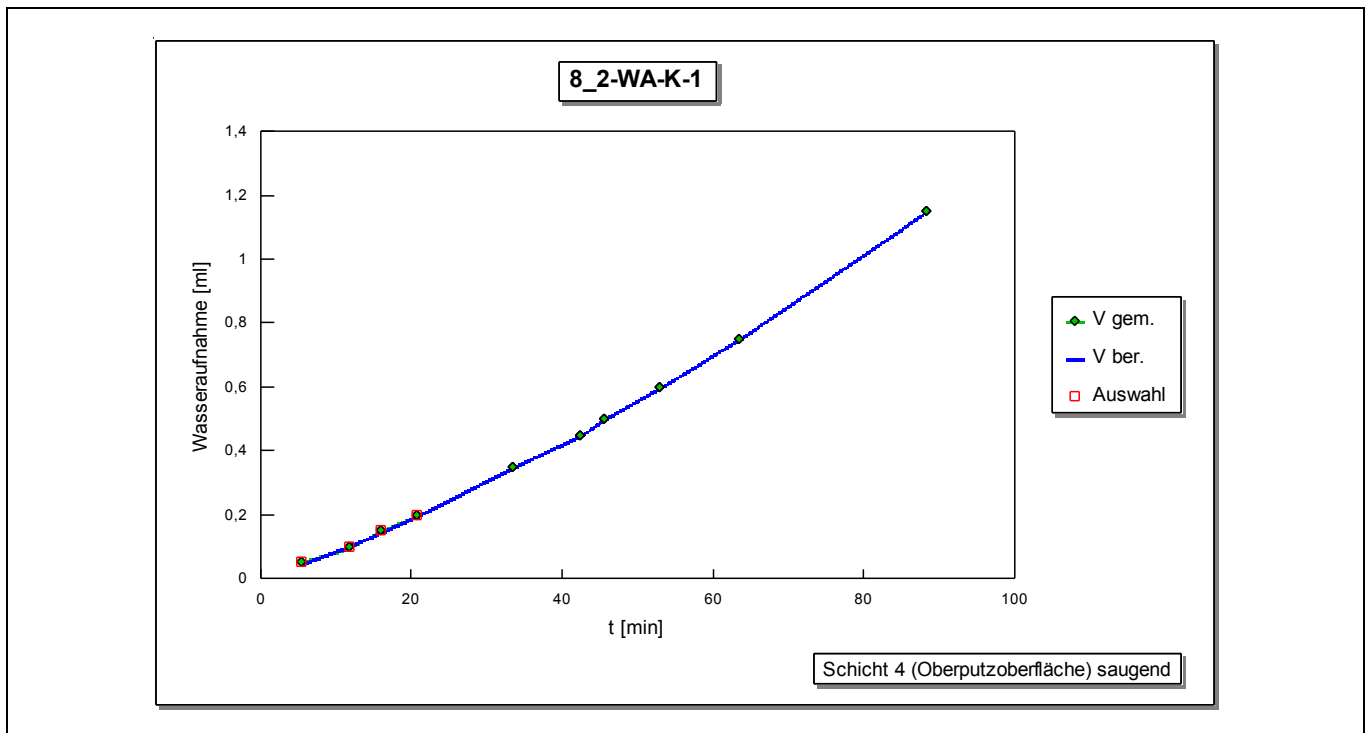
Fragment 8_2

Physikalisch-mechanische Kennwerte

Probennummer:	8_2_WA-K-2	
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schicht 1 – 4, Unterputzrückseite Schicht 1 als saugende Fläche	
Datum der Messung:	07.07.2016	
Geräte/Material:	entionisiertes Wasser, Stoppuhr, Karsten'sches Prüfröhrchen	
Programm:	Calcarow	
Prüfröhrchen-Durchmesser [cm]:	4,5	
m₀ [g]:	438,002 (nach Trocknung bei 40 °C und 24 h Lagerung bei 25 °C / 45 % rF)	
Kommentar:	Keine Feuchtehof-Bildung	

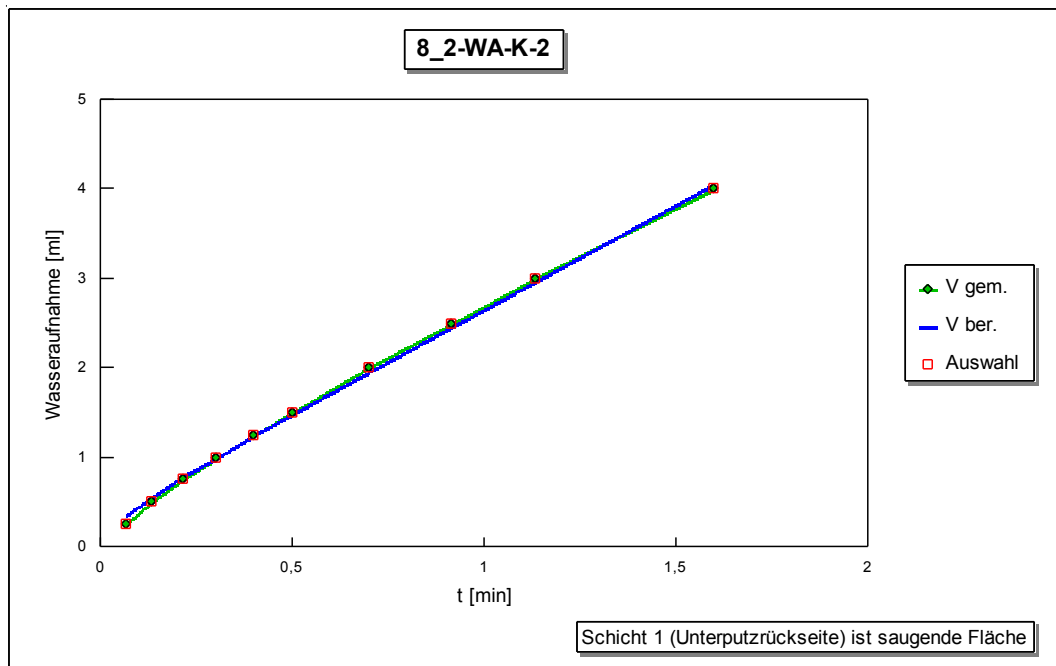
Messung:

t [mm:ss]	00:04	00:08	00:13	00:18	00:24	00:30	00:42	00:55	01:08	01:36
V [ml]	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	2,00	2,50	3,00	4,00
Berechneter w-Wert [kg/(m²Vh):	5,0									



Fragment 8_2

Physikalisch-mechanische Kennwerte



Fragment 8_3

Physikalisch-mechanische Kennwerte

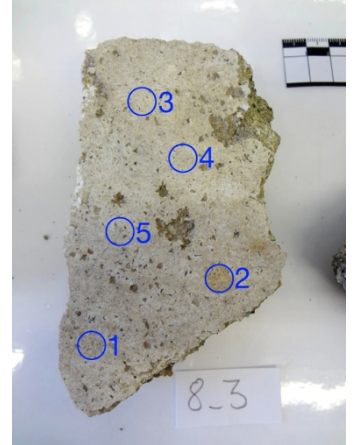
Untersuchungsdatenblatt	
Ort:	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument:	PN EN 4
Datierung:	Julisch-claudische Zeit ca. 14 – 54 n. Chr.
Art der Entnahme der Gesamtprobe:	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probenentnahme:	09. – 11.2015
Funktionskontext des Fragments:	Wanddekoration, mehrlagiger Stuck
Probennummer Fragment:	8_3
Untersuchungsmethoden:	Wassertropfeneindringtest, Kapillare Wasseraufnahme DIN 15801, Wasseraufnahme nach Karsten
Durchführende Personen:	C. Friedl
Labor/Betreuung:	Fachlabor für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege (Dr. E. Wendler, S. Rother)
Datum der Messungen:	29.06.2016 (WA-E-1 bis -5), 30.06.2016 (WA-L), 06.07.2016 (WA-K-1)

Gesamtansicht Putz- / Stuckfragment

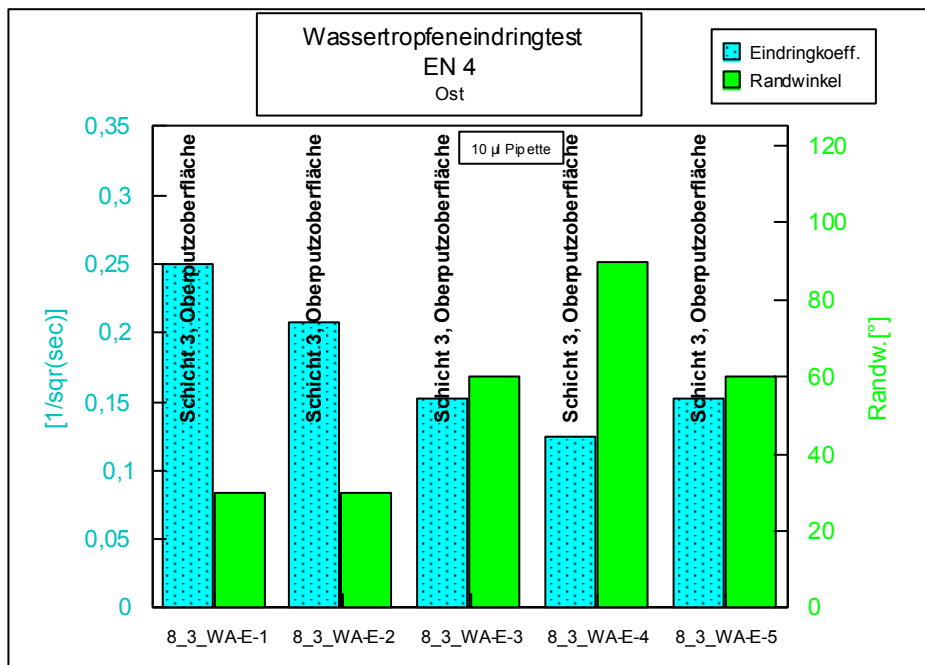
Fragment 8_3

Physikalisch-mechanische Kennwerte

Wassertropfeneindringtest	
Probennummer:	8_3_WA-E-1 bis -5
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schicht 3 (Oberputzoberfläche)
Datum der Messung:	29.06.2016
Geräte/Material:	Pipette 10 µl, entionisiertes Wasser, Stoppuhr



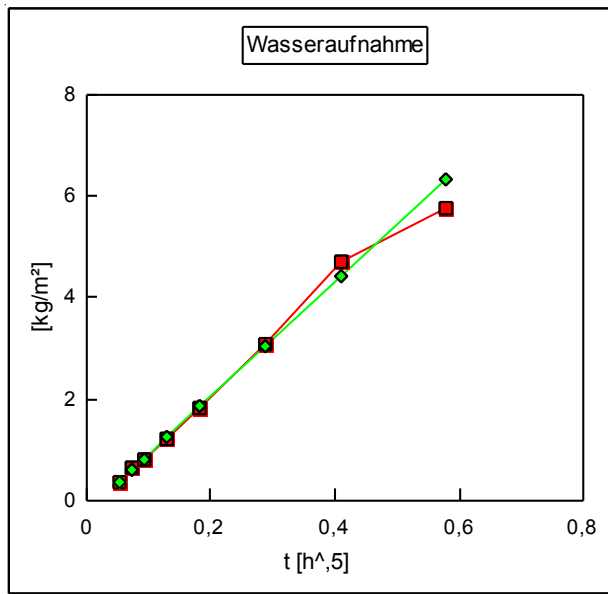
Messpunkt:	geprüfte Schicht:	t [s]:	Randwinkel [°]:	Spreitung [cm ²] (ca.):
WA-E-1	Schicht 3, Oberputzoberfläche	16	30	0,25
WA-E-2	Schicht 3, Oberputzoberfläche	23	30	0,25
WA-E-3	Schicht 3, Oberputzoberfläche	43	60	0,5
WA-E-4	Schicht 3, Oberputzoberfläche	65	90	0,25
WA-E-5	Schicht 3, Oberputzoberfläche	43	60	0,5



Fragment 8_3

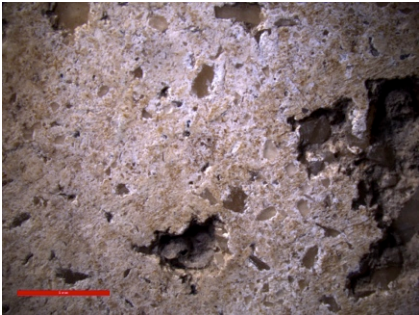
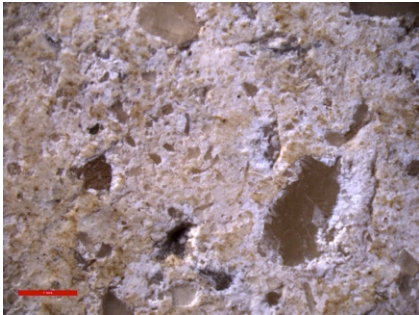
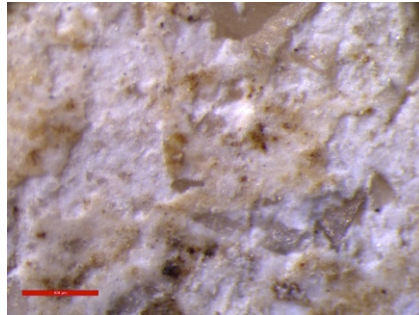
Physikalisch-mechanische Kennwerte

Kapillare Wasseraufnahme DIN 15801								
Probennummer:	8_3_WA-L							
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schicht 1 – 3, Oberputzoberfläche Schicht 3 als saugende Fläche							
Schichttiefen ab Oberfläche:	Schicht 3: ca. 0 – 3 mm Schicht 2: ca. 3 – 11 mm Schicht 1: ca. 11 – 34 mm							
Datum der Messung:	30.06.2016							
Geräte/Materialien:	Analysenwaage, Gefäß mit Schaumstoff, entionisiertes Wasser, Stoppuhr							
Auswerteprogramm:	Rapp (1996)							
m₀ [g]:	246,497							
A [m²]:	0,005785							
Analysengang:								
t [s]:	5	10	15	20	30	45	60	90
m_t [g]:	247,733	248,621	249,385	250,170	251,112	252,360	253,562	255,286
h_t [cm]:	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
t [s]:	120	180	300	600	900	1200	1800	3600
m_t [g]:	257,023	259,707	264,233	273,689	278,967	279,809	280,257	/
h_t [cm]:	1,1	1,2	1,4	2,1	vollgesogen	vollgesogen	vollgesogen	/
Berechneter w-Wert [kg/(m²·vh): 11,4								



Fragment 8_3

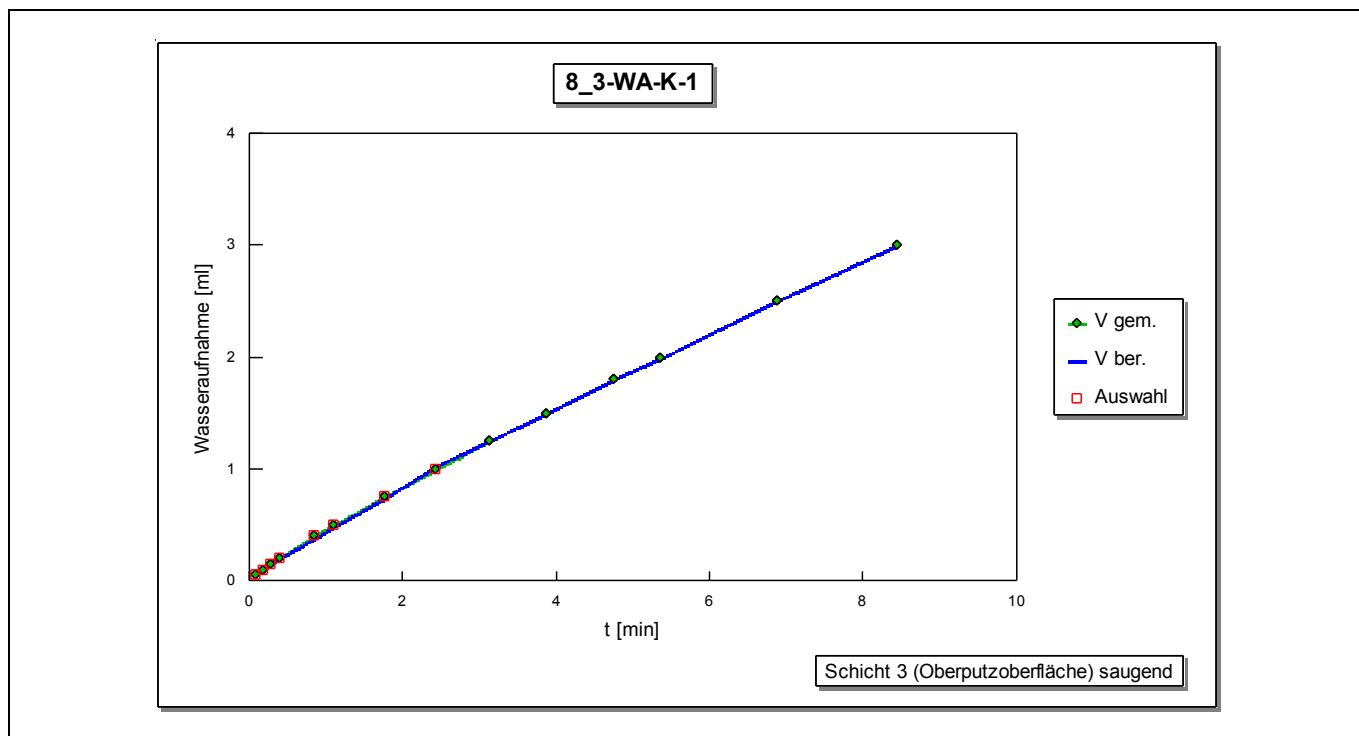
Physikalisch-mechanische Kennwerte

Wasseraufnahme nach Karsten														
														
roter Balken: 5 mm					roter Balken: 1 mm					roter Balken: 200 µm				
Probennummer:					8_3_WA-K-1									
Probenart/geprüfte Schicht:					Gesamtprobe, Schicht 1 – 3, Oberputzoberfläche Schicht 3 als saugende Fläche									
Schichtstärken:					Schicht 3: ca. 0 – 3 mm Schicht 2: ca. 3 – 11 mm Schicht 1: ca. 11 – 34 mm									
Datum der Messung:					06.07.2016									
Geräte/Material:					entionisiertes Wasser, Stoppuhr, Karsten'sches Prüfröhrchen									
Programm:					Calcarow									
Prüfröhrchen-Durchmesser [cm]:					4,5									
m₀ [g]:					246,389 (nach Trocknung bei 40 °C und 24 h Lagerung bei 25 °C / 45 % rF: 0,044 % Unterschied zu m ₀ Wasseraufnahme Labor)									
Kommentar:					Keine Feuchtehof-Bildung									
Messung:														
t [mm:ss]	00:05	00:11	00:17	00:24	00:51	01:06	01:45	02:26	03:08	03:52	04:45	05:21	06:53	08:26
V [ml]	0,05	0,10	0,15	0,20	0,40	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,80	2,00	2,50	3,00
Berechneter w-Wert [kg/(m²·vh):					0,8									



Fragment 8_3


Physikalisch-mechanische Kennwerte





Fragment 8_4

Physikalisch-mechanische Kennwerte

Untersuchungsdatenblatt	
Ort:	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument:	PN EN 4
Datierung:	Julisch-claudische Zeit ca. 14 – 54 n. Chr.
Art der Entnahme der Gesamtprobe:	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probenentnahme:	09. – 11.2015
Funktionskontext des Fragments:	Wanddekoration, mehrlagiger Stuck
Probennummer Fragment:	8_4
Untersuchungsmethoden:	Wassertropfeneindringtest, Wasseraufnahme nach Karsten, Bestimmung der Rohdichte und offenen Porosität
Durchführende Personen:	C. Friedl
Labor/Betreuung:	Fachlabor für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege (Dr. E. Wendler, S. Rother)
Datum der Messungen:	29.06.2016 (WA-E-1 bis -8), 06.07.2016 (WA-K-1), 07.07.2016 (WA-K-2), 18.07. – 28.07.2016 (8_4_5_1, 8_4_5_2, 8_4_5_3)



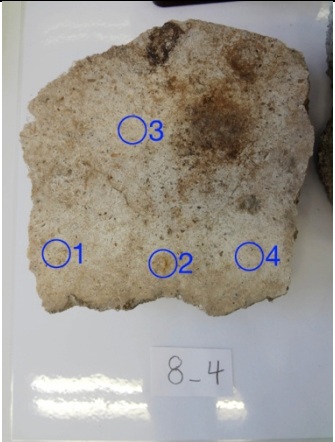
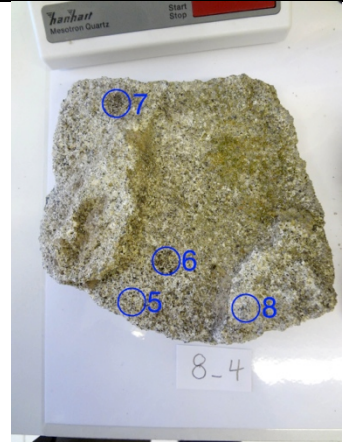
Gesamtansicht Putz- / Stuckfragment

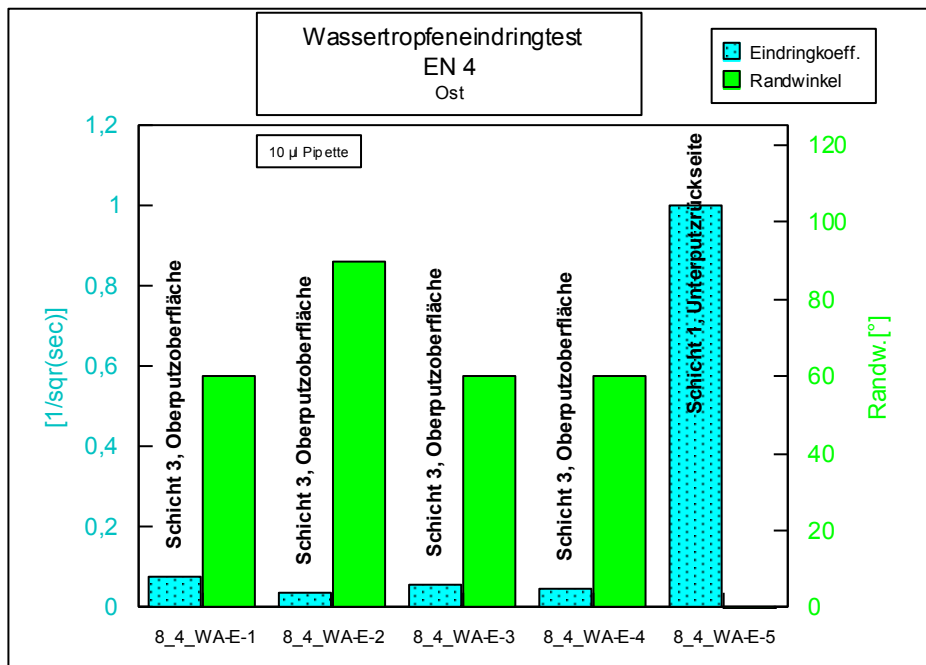
Fragment 8_4

Physikalisch-mechanische Kennwerte

Wassertropfeneindringtest	
Probennummer:	8_4_WA-E-1 bis -8
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schicht 1 (Unterputzrückseite) und Schicht 3 (Oberputzoberfläche)
Datum der Messung:	29.06.2016
Geräte/Material:	Pipette 10 µl (WA-E-1 bis 5), Pipette 50 µl (WA-E-6 bis 8) entionisiertes Wasser, Stoppuhr

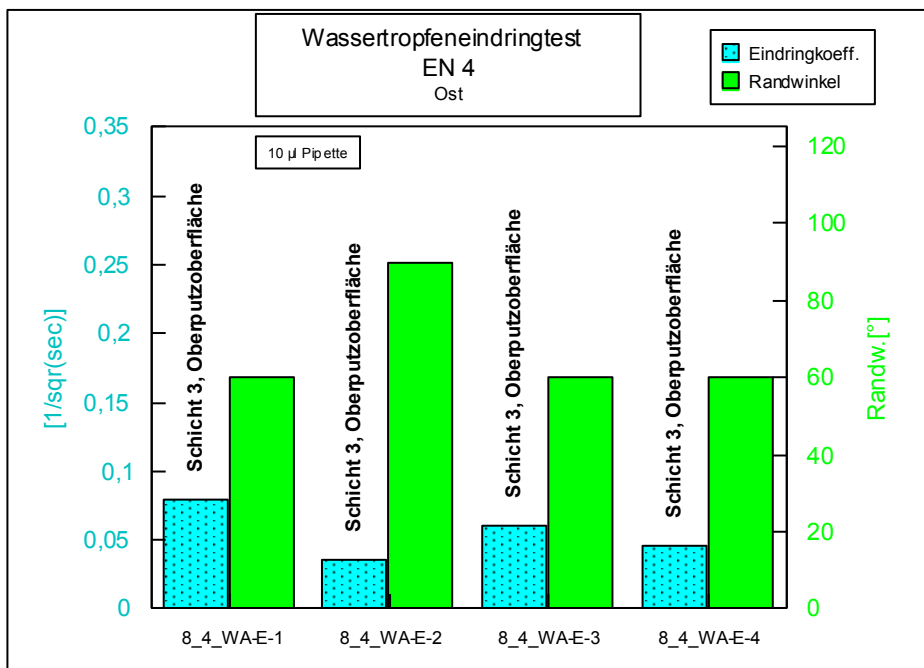



Messpunkt:	geprüfte Schicht:	t [s]:	Randwinkel [°]:	Spreitung [cm ²] (ca.):
WA-E-1	Schicht 3, Oberputzoberfläche	160	60	1
WA-E-2	Schicht 3, Oberputzoberfläche	767	90	1
WA-E-3	Schicht 3, Oberputzoberfläche	278	60	1
WA-E-4	Schicht 3, Oberputzoberfläche	478	60	1
WA-E-5	Schicht 1, Unterputzrückseite	1	0	0,25
WA-E-6	Schicht 1, Unterputzrückseite	6	60	1
WA-E-7	Schicht 1, Unterputzrückseite	1	0	1
WA-E-8	Schicht 1, Unterputzrückseite	1	0	1



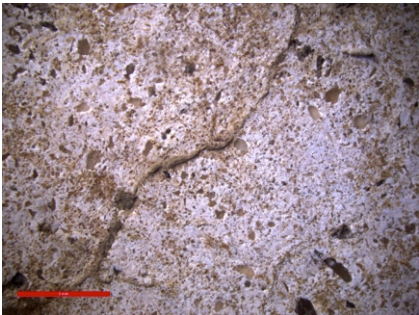
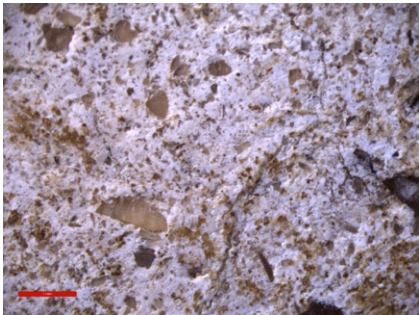
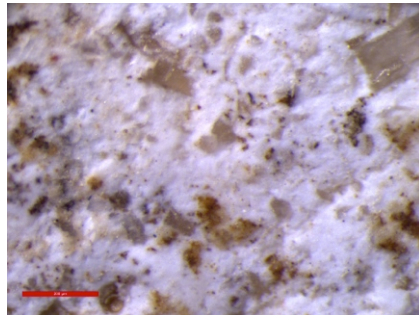
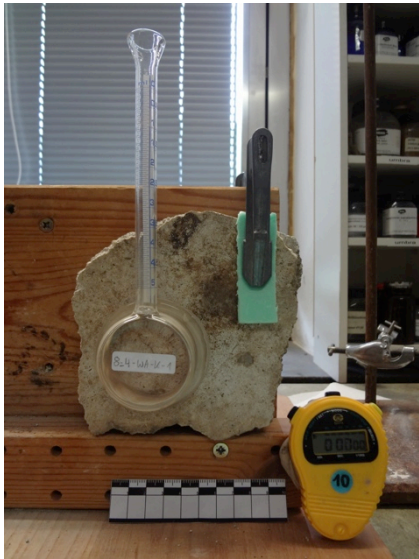
Fragment 8_4

Physikalisch-mechanische Kennwerte



Fragment 8_4

Physikalisch-mechanische Kennwerte

Wasseraufnahme nach Karsten												
												
roter Balken: 5 mm			roter Balken: 1 mm			roter Balken: 500 µm						
Probennummer:			8_4_WA-K-1									
Probenart/geprüfte Schicht:			Gesamtprobe, Schicht 1 – 3, Oberputzoberfläche Schicht 3 als saugende Fläche									
Schichttiefen ab Oberfläche:			Schicht 3: ca. 0 – 4 mm Schicht 2: ca. 4 – 18 mm Schicht 1: ca. 18 – 32 mm									
Datum der Messung:			06.07.2016									
Geräte/Material:			entionisiertes Wasser, Stoppuhr, Karsten'sches Prüfröhrchen									
Programm:			Calcarow									
Prüfröhrchen-Durchmesser [cm]:			4,5									
m ₀ [g]:			634,42									
Kommentar:			Keine Feuchtehof-Bildung									
Messung:												
t [mm:ss]	01:41	05:10	08:41	12:58	16:45	20:58	25:20	37:59	65:37	80:15	85:18	
V [ml]	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,50	0,80	0,95	1,00	
Berechneter w-Wert [kg/(m ² ·vh):			0,5									

Fragment 8_4

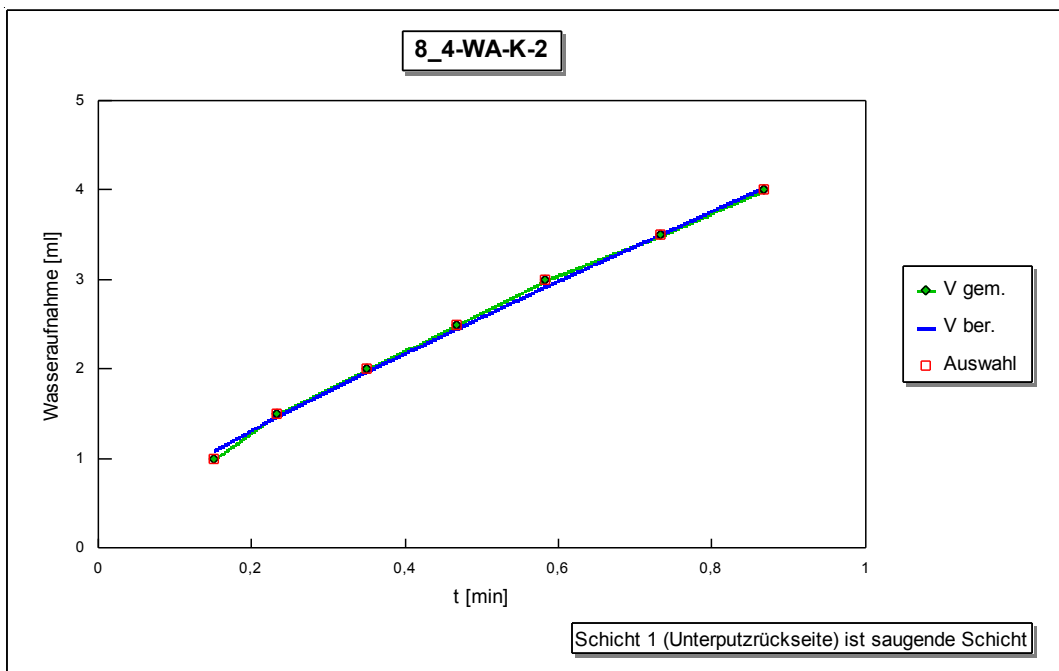
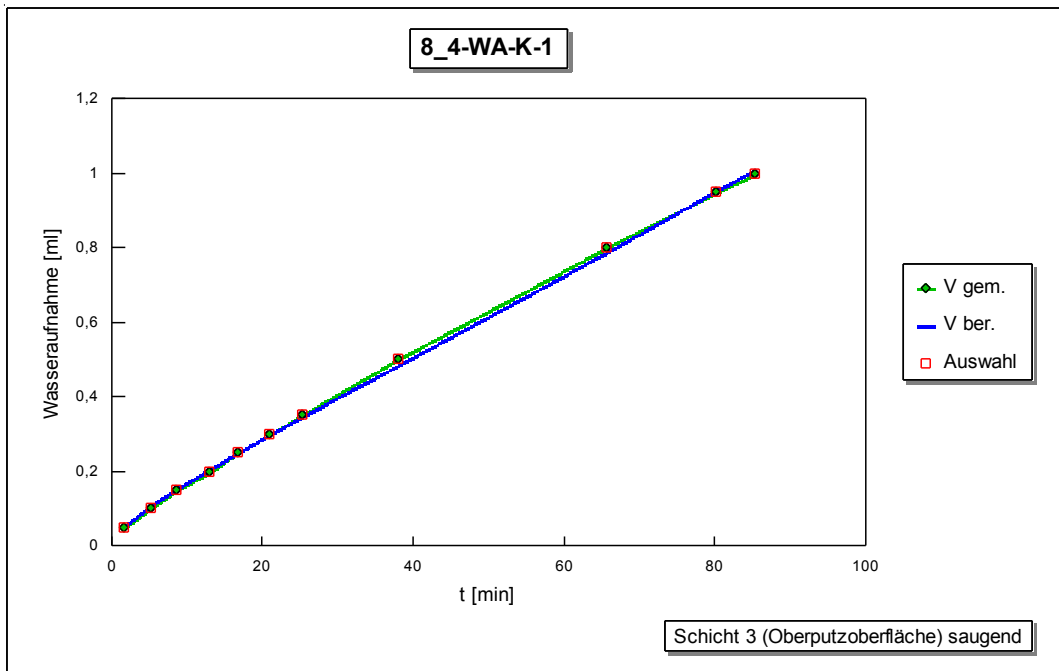
Physikalisch-mechanische Kennwerte

Probennummer:	8_4_WA-K-2						
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schicht 1 – 3, Unterputzrückseite Schicht 1 als saugende Fläche						
Schichttiefen ab Oberfläche:	Schicht 3: ca. 0 – 4 mm Schicht 2: ca. 4 – 18 mm Schicht 1: ca. 18 – 32 mm						
Datum der Messung:	07.07.2016						
Geräte/Material:	entionisiertes Wasser, Stoppuhr, Karsten'sches Prüfröhrchen						
Programm:	Calcarow						
Prüfröhrchen-Durchmesser [cm]:	4,5						
m₀ [g]:	633,79 (nach Trocknung bei 40 °C und 24 h Lagerung bei 25 °C / 45 % rF)						
Kommentar:	Feuchtehof-Bildung nach t = 01:50						
Messung:							
t [mm:ss]	00:09	00:14	00:21	00:28	00:35	00:44	00:52
V [ml]	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
Berechneter w-Wert [kg/(m²Vh):	9,6						



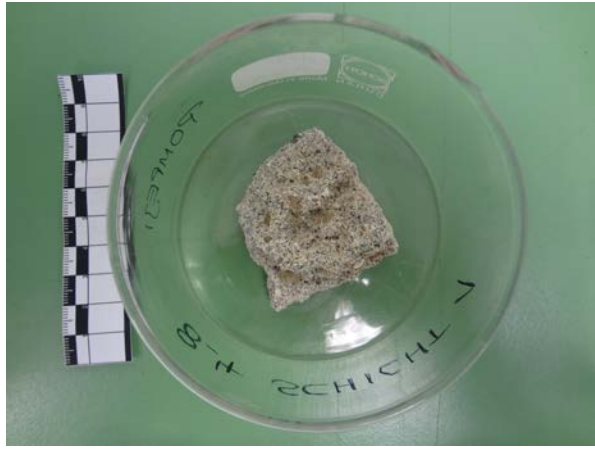

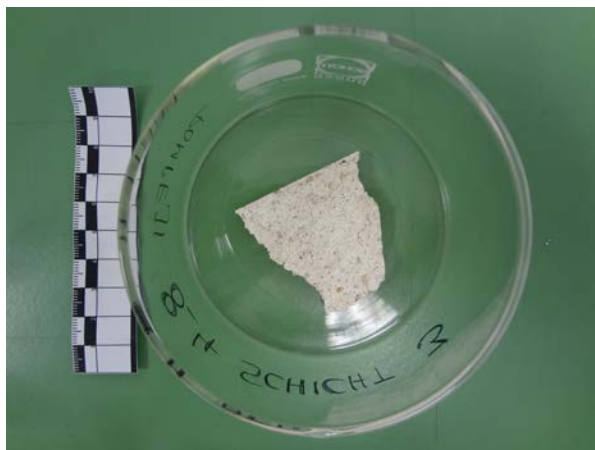
Fragment 8_4

Physikalisch-mechanische Kennwerte



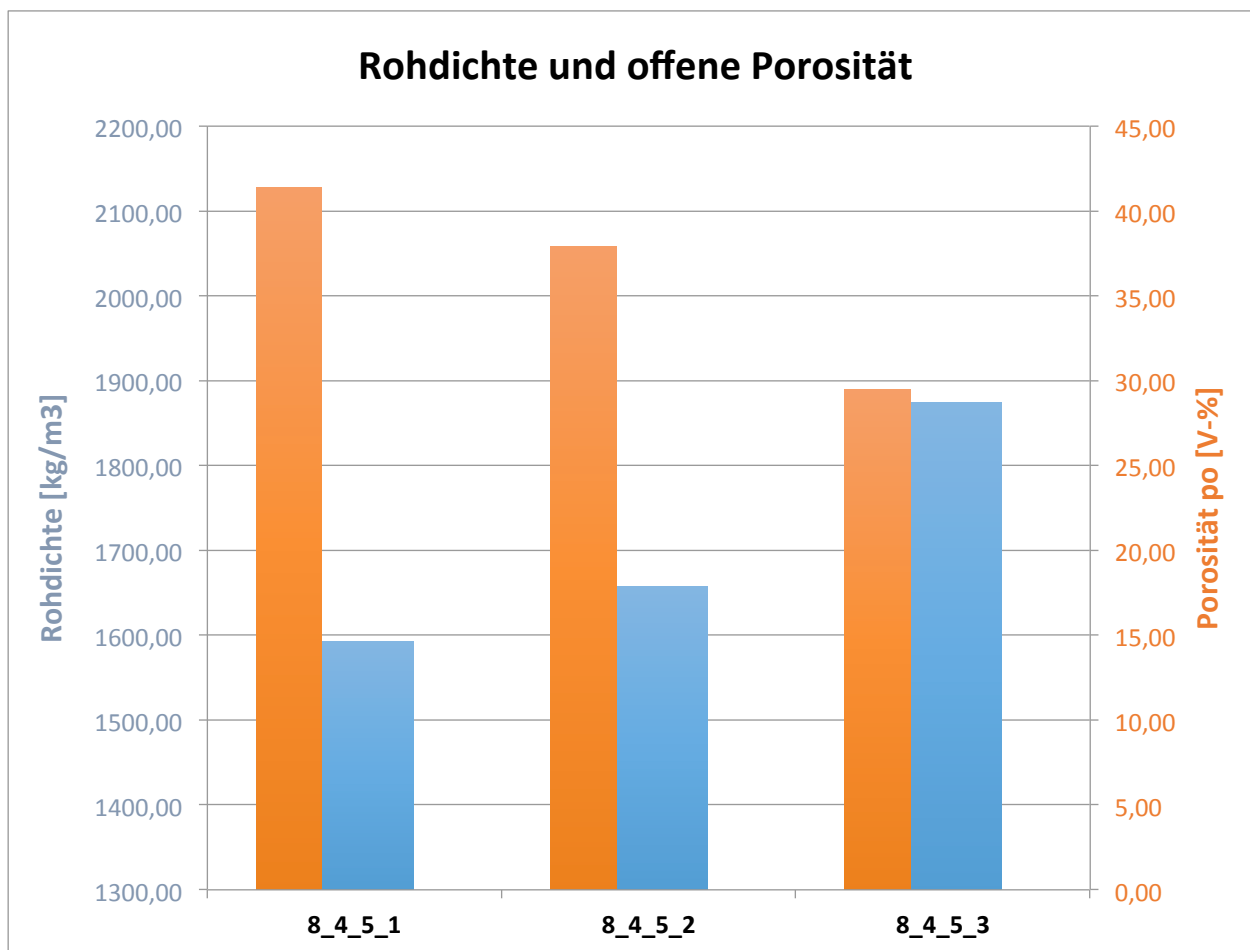
Fragment 8_4

Physikalisch-mechanische Kennwerte

Bestimmung von Rohdichte und offener Porosität durch Vakuum-Tauchverfahren	
Probennummer:	8_4_5_1
Probenart/geprüfte Schicht:	Unterputz, Schicht 1
Datum der Messung:	18.07. – 28.07.2016
Geräte:	Trockenschrank (Heraeus Typ VT 5050 EK), Analysewaage, Exsikkator, Wasserstrahlpumpe, Laborhebebühne
m_d [g]:	36,667
m_{h+Korb} [g]:	22,572
m_{Korb} [g]:	0,643
m_h [g]:	23,215
m_s [g]:	46,168
T_{rh} [°C]:	25
ρ_{rh} [kg/m ³]:	997
V_0 [ml]:	9,53
ρ_b [kg/m ³]:	1592,69
p_0 [V-%]:	41,39
	
Probennummer:	8_4_5_2
Probenart/geprüfte Schicht:	Unterputz, Schicht 2
Datum der Messung:	18.07. – 28.07.2016
Geräte:	Trockenschrank (Heraeus Typ VT 5050 EK), Analysewaage, Exsikkator, Wasserstrahlpumpe, Laborhebebühne
m_d [g]:	29,749
m_{h+Korb} [g]:	18,028
m_{Korb} [g]:	0,615
m_h [g]:	18,643
m_s [g]:	36,535
T_{rh} [°C]:	25
ρ_{rh} [kg/m ³]:	997
V_0 [ml]:	6,806
ρ_b [kg/m ³]:	1657,71
p_0 [V-%]:	37,93
	
Probennummer:	8_4_5_3
Probenart/geprüfte Schicht:	Oberputz, Schicht 3
Datum der Messung:	18.07. – 28.07.2016
Geräte:	Trockenschrank (Heraeus Typ VT 5050 EK), Analysewaage, Exsikkator, Wasserstrahlpumpe, Laborhebebühne
m_d [g]:	10,332
m_{h+Korb} [g]:	5,864
m_{Korb} [g]:	0,593
m_h [g]:	6,457
m_s [g]:	11,954
T_{rh} [°C]:	25
ρ_{rh} [kg/m ³]:	997
V_0 [ml]:	1,627
ρ_b [kg/m ³]:	1873,93
p_0 [V-%]:	29,51
	

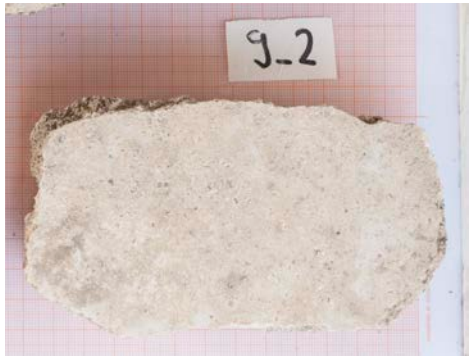


Fragment 8_4

Physikalisch-mechanische Kennwerte



Fragment 9_2

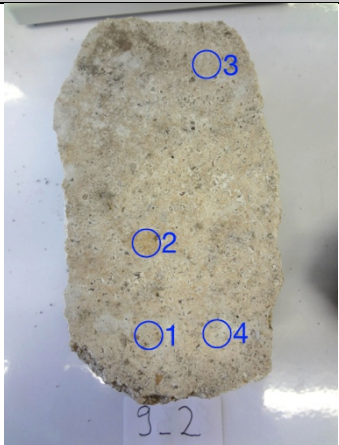
Physikalisch-mechanische Kennwerte

Untersuchungsdatenblatt		
Ort:	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN	 <p>Gesamtansicht Putz- / Stuckfragment</p>
Grabmonument:	PN EN 6	
Datierung:	Augusteische Zeit ca. 27 v. Chr. – 14 n. Chr.	
Art der Entnahme der Gesamtprobe:	Vom Boden geborgenes, loses Fragment	
Datum der Probenentnahme:	09. – 11.2015	
Funktionskontext des Fragments:	Wanddekoration, mehrlagiger Stuck	
Probennummer Fragment:	9_2	
Untersuchungsmethoden:	Wassertropfeneindringtest, Wasseraufnahme nach Karsten, Bestimmung der Rohdichte und offenen Porosität, Bohrwiderstandsmessung	
Durchführende Personen:	C. Friedl	
Labor/Betreuung:	Fachlabor für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege (Dr. E. Wendler, S. Rother)	
Datum der Messungen:	29.06.2016 (WA-E-1 bis -4), 06.07.2016 (WA-K-1), 03.08. – 11.08.2016 (9_2_3_1+2+3, 9_2_3_3, 9_2_3_4), 09.08.2016 (9_2-BW-1, -2 und -3)	

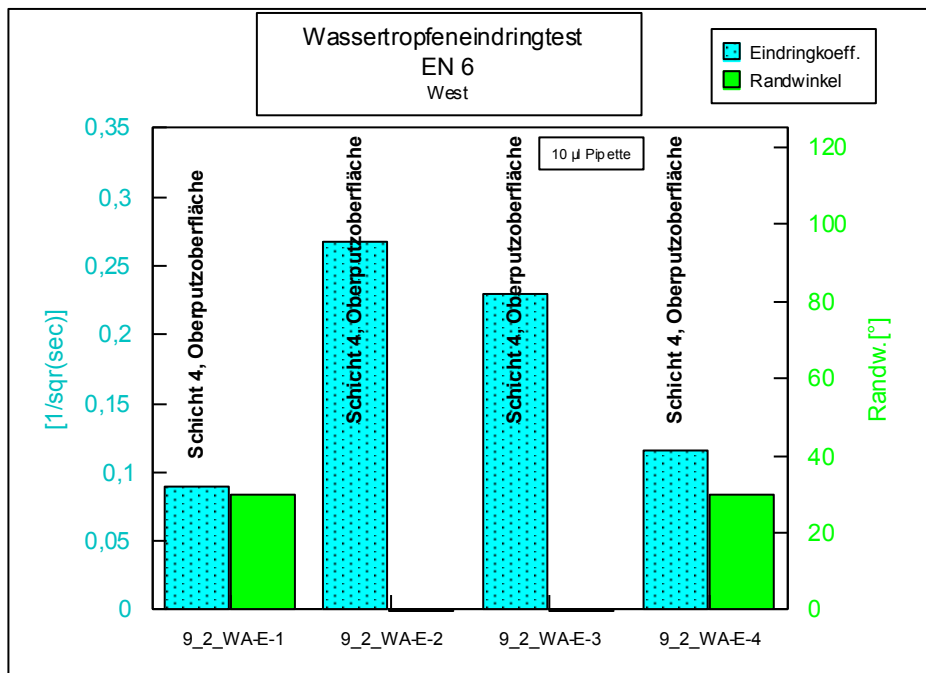
Fragment 9_2

Physikalisch-mechanische Kennwerte

Wassertropfeneindringtest	
Probennummer:	9_2_WA-E-1 bis -4
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schicht 4 (Oberputzoberfläche)
Datum der Messung:	29.06.2016
Geräte/Material:	Pipette 10 µl, entionisiertes Wasser, Stoppuhr


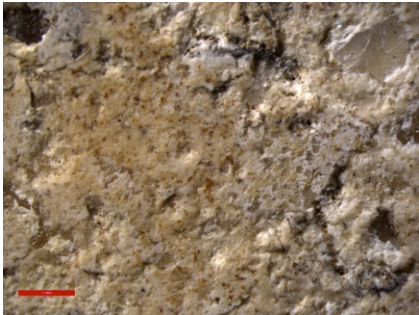
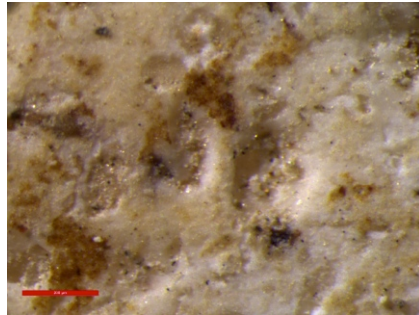


Messpunkt:	geprüfte Schicht:	t [s]:	Randwinkel [°]:	Spreitung [cm ²] (ca.):
WA-E-1	Schicht 4, Oberputzoberfläche	124	30	1
WA-E-2	Schicht 4, Oberputzoberfläche	14	0	0,5
WA-E-3	Schicht 4, Oberputzoberfläche	19	0	1
WA-E-4	Schicht 4, Oberputzoberfläche	75	30	0,5



Fragment 9_2

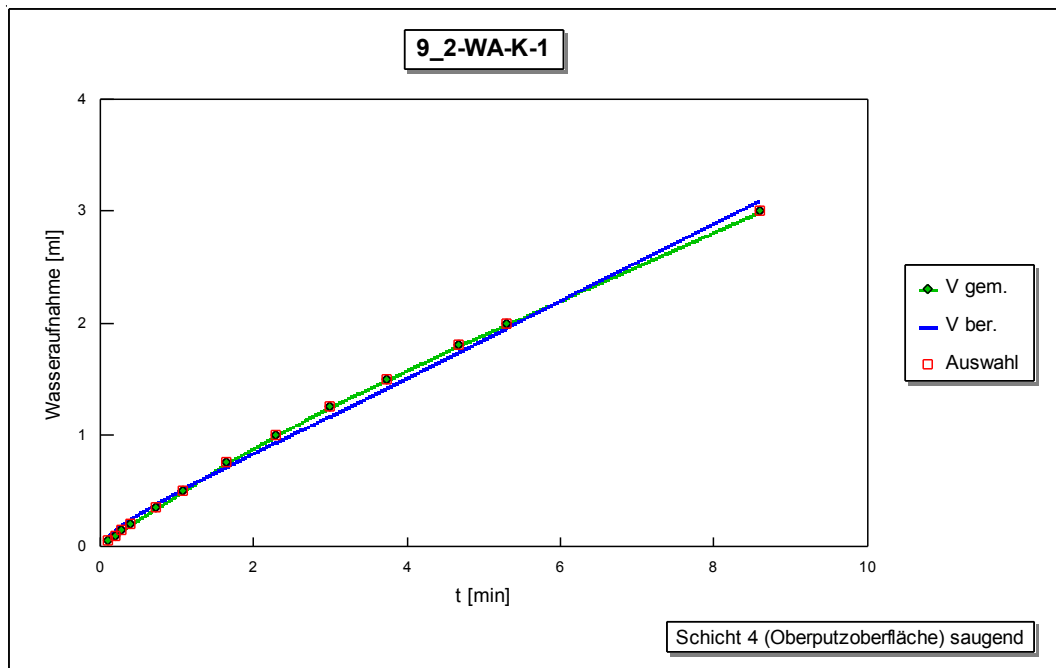
Physikalisch-mechanische Kennwerte

Wasseraufnahme nach Karsten													
													
roter Balken: 5 mm				roter Balken: 1 mm				roter Balken: 500 µm					
Probennummer:				9_2_WA-K-1									
Probenart/geprüfte Schicht:				Gesamtprobe, Schicht 1 – 4, Oberputzoberfläche Schicht 4 als saugende Fläche									
Schichttiefen ab Oberfläche:				Schicht 4: ca. 0 – 5 mm Schicht 3: ca. 5 – 13 mm Schicht 2: ca. 13 – 24 mm Schicht 1: ca. 24 – 30 mm									
Datum der Messung:				06.07.2016									
Geräte/Material:				entionisiertes Wasser, Stoppuhr, Karsten'sches Prüfröhrchen									
Programm:				Calcarow									
Prüfröhrchen-Durchmesser [cm]				4,5									
m₀ [g]:				391,951									
Kommentar:				Keine Feuchtehof-Bildung									
Messung:													
t [mm:ss]	00:06	00:12	00:17	00:24	00:44	01:04	01:39	02:17	02:59	03:44	04:40	05:18	08:36
V [ml]	0,05	0,10	0,15	0,20	0,35	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,80	2,00	3,00
Berechneter w-Wert [kg/(m²·vh):				0,7									



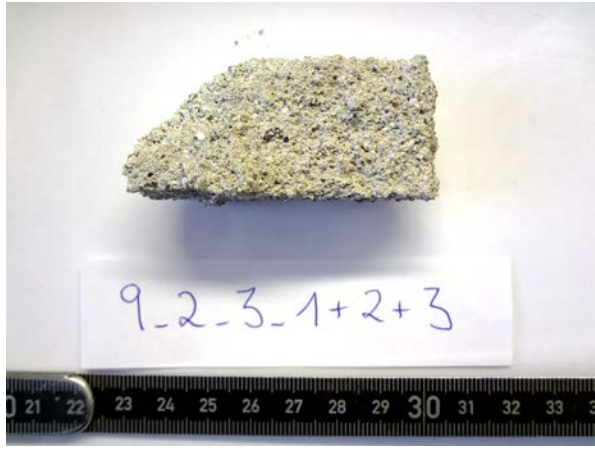


Fragment 9_2

Physikalisch-mechanische Kennwerte



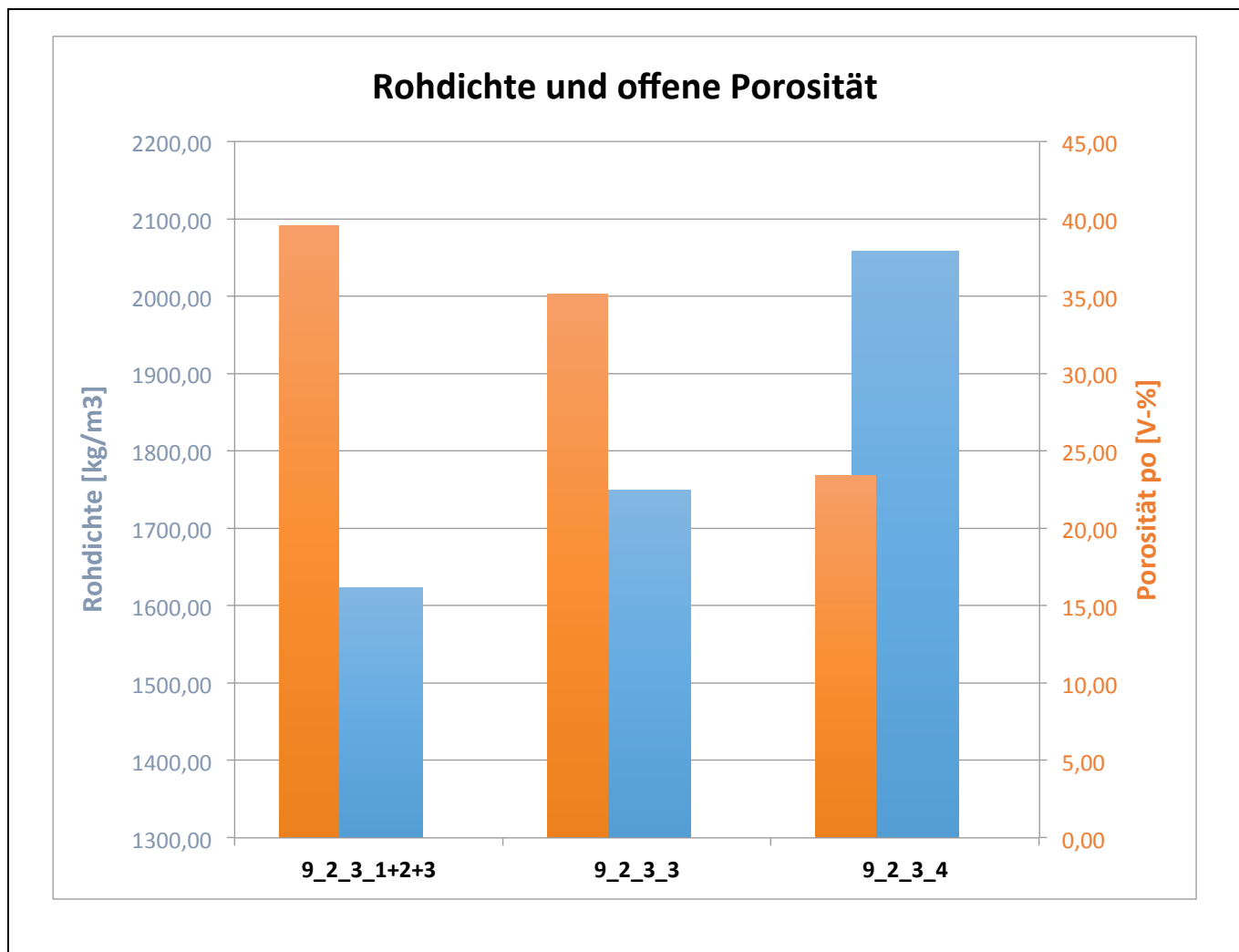
Fragment 9_2

Physikalisch-mechanische Kennwerte

Bestimmung von Rohdichte und offener Porosität durch Vakuum-Tauchverfahren	
Probennummer:	9_2_3_1+2+3
Probenart/geprüfte Schicht:	Unterputz, Schicht 1, 2 und 3
Datum der Messung:	03.08.07. – 11.08.2016
Geräte:	Trockenschrank (Heraeus Typ VT 5050 EK), Analysewaage, Exsikkator, Wasserstrahlpumpe, Laborhebebühne
m_d [g]:	44,138
m_{h+Korb} [g]:	27,129
m_{Korb} [g]:	0,619
m_h [g]:	27,748
m_s [g]:	54,878
T_{rh} [°C]:	22,0
ρ_{rh} [kg/m³]:	997,8
V_0 [ml]:	10,764
ρ_b [kg/m³]:	1623,33
p_0 [V-%]:	39,59
	
Probennummer:	9_2_3_3
Probenart/geprüfte Schicht:	Unterputz, Schicht 3
Datum der Messung:	03.08.07. – 11.08.2016
Geräte:	Trockenschrank (Heraeus Typ VT 5050 EK), Analysewaage, Exsikkator, Wasserstrahlpumpe, Laborhebebühne
m_d [g]:	13,026
m_{h+Korb} [g]:	7,586
m_{Korb} [g]:	0,619
m_h [g]:	8,205
m_s [g]:	15,636
T_{rh} [°C]:	22
ρ_{rh} [kg/m³]:	997,8
V_0 [ml]:	2,616
ρ_b [kg/m³]:	1749,07
p_0 [V-%]:	35,12
	
Probennummer:	9_2_3_4
Probenart/geprüfte Schicht:	Oberputz, Schicht 4
Datum der Messung:	03.08.07. – 11.08.2016
Geräte:	Trockenschrank (Heraeus Typ VT 5050 EK), Analysewaage, Exsikkator, Wasserstrahlpumpe, Laborhebebühne
m_d [g]:	15,022
m_{h+Korb} [g]:	8,828
m_{Korb} [g]:	0,619
m_h [g]:	9,447
m_s [g]:	16,728
T_{rh} [°C]:	22
ρ_{rh} [kg/m³]:	997,8
V_0 [ml]:	1,710
ρ_b [kg/m³]:	2058,64
p_0 [V-%]:	23,43
	

Fragment 9_2

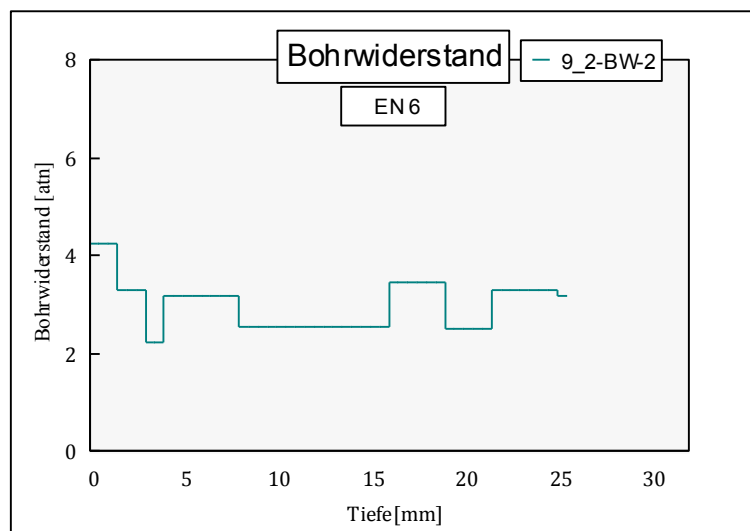
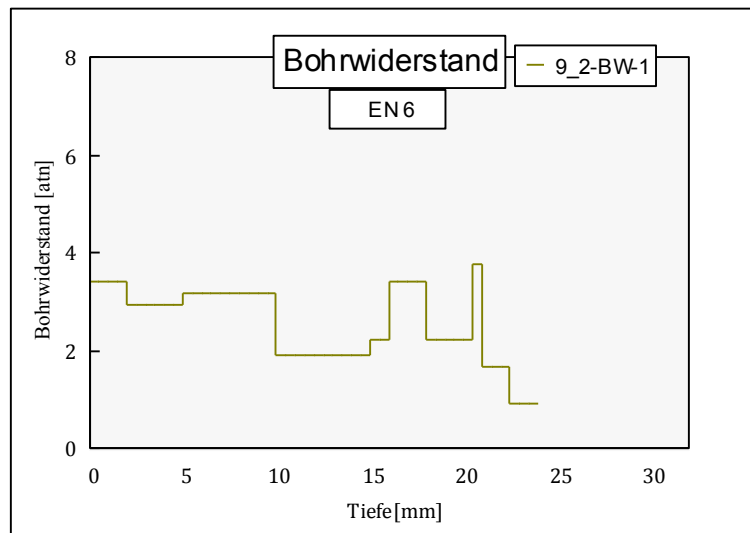
Physikalisch-mechanische Kennwerte



Fragment 9_2

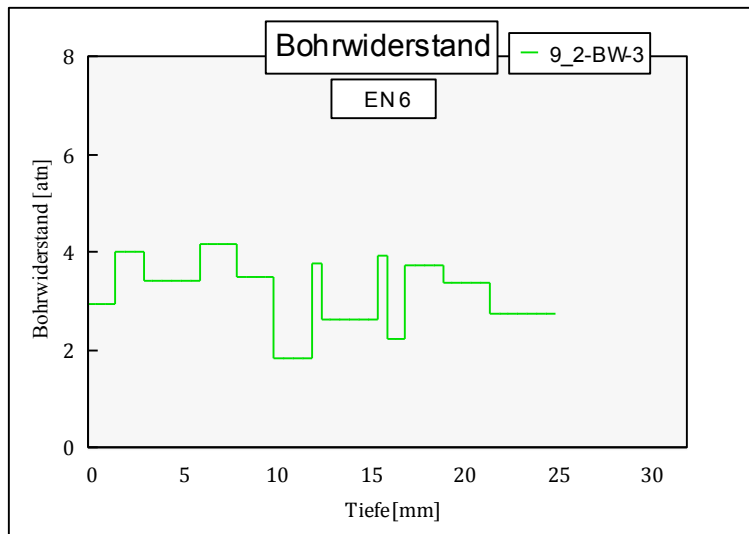
Physikalisch-mechanische Kennwerte

Bohrwiderstand	
Probennummer:	9_2-BW-1, 9_2-BW-2, 9_2-BW-3
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schicht 1 – 4
Schichttiefen ab Oberfläche:	Schicht 4: ca. 0 – 5 mm Schicht 3: ca. 5 – 13 mm Schicht 2: ca. 13 – 24 mm Schicht 1: ca. 24 – 30 mm
Datum der Messung:	09.08.2016
Gerät:	DURABO Bohrhärtegerät (Lizenz der Fraunhofer-Gesellschaft GS 103/91 IBP)
Leistung:	ca. 10 V
Gewicht/Vorschub:	1 kg
Bohrerart:	diamantbesetzte (PKD-bestückte) Spezialanfertigungen
Bohrer-Durchmesser:	3 mm
Anzahl der Bohrungen:	3



Fragment 9_2

Physikalisch-mechanische Kennwerte



Fragment 9_5

Physikalisch-mechanische Kennwerte

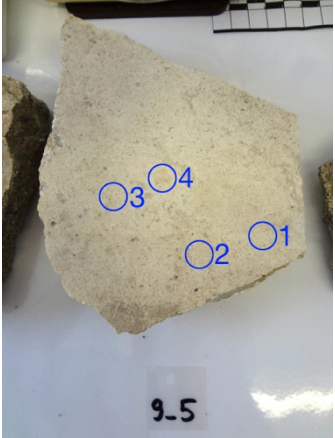
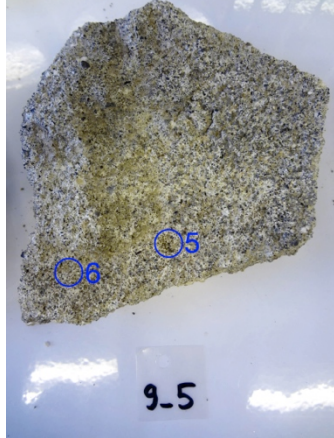
Untersuchungsdatenblatt	
Ort:	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument:	PN EN 6
Datierung:	Augusteische Zeit ca. 27 v. Chr. – 14 n. Chr.
Art der Entnahme der Gesamtprobe:	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probenentnahme:	09. – 11.2015
Funktionskontext des Fragments:	Wanddekoration, mehrlagiger Stuck
Probennummer Fragment:	9_5
Untersuchungsmethoden:	Wassertropfeneindringtest, Kapillare Wasseraufnahme DIN 15801, Wasseraufnahme nach Karsten, Bestimmung der Rohdichte und offenen Porosität
Durchführende Personen:	C. Friedl
Labor/Betreuung:	Fachlabor für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege (Dr. E. Wendler, S. Rother)
Datum der Messungen:	29.06.2016 (WA-E-1 bis -6), 30.06.2016 (WA-L), 06.07.2016 (WA-K-1), 07.07.2016 (WA-K-2), 18.07. – 28.07.2016 (9_5_5_1, 9_5_5_1+2, 9_5_5_3, 9_5_5_1+2+3, 9_5_5_4)

Gesamtansicht Putz- / Stuckfragment

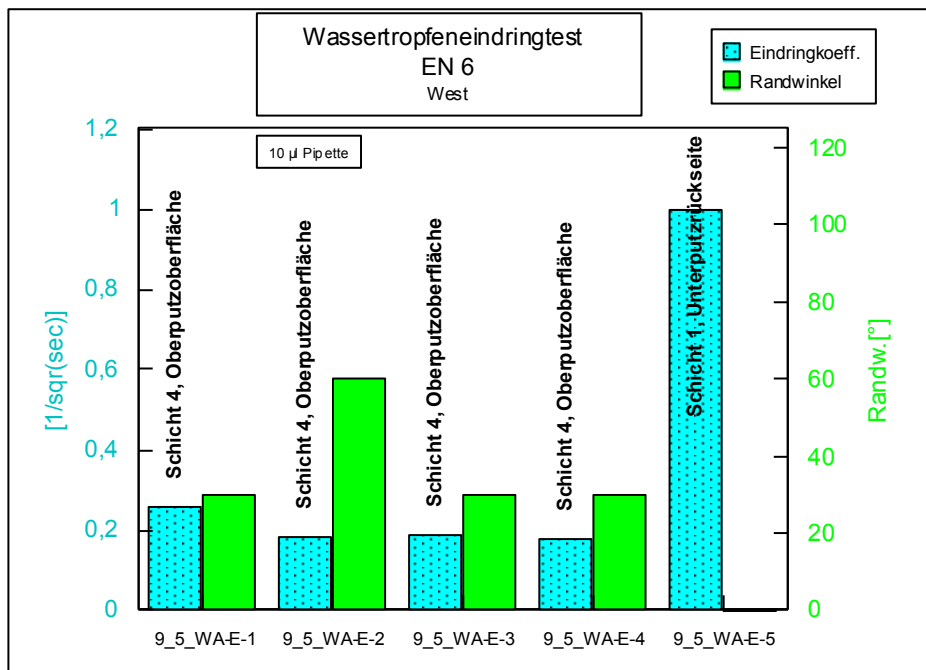
Fragment 9_5

Physikalisch-mechanische Kennwerte

Wassertropfeneindringtest	
Probennummer:	9_5_WA-E-1 bis -6
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schicht 1 (Unterputzrückseite) und 4 (Oberputzoberfläche)
Datum der Messung:	29.06.2016
Geräte/Material:	Pipette 10 µl, entionisiertes Wasser, Stoppuhr

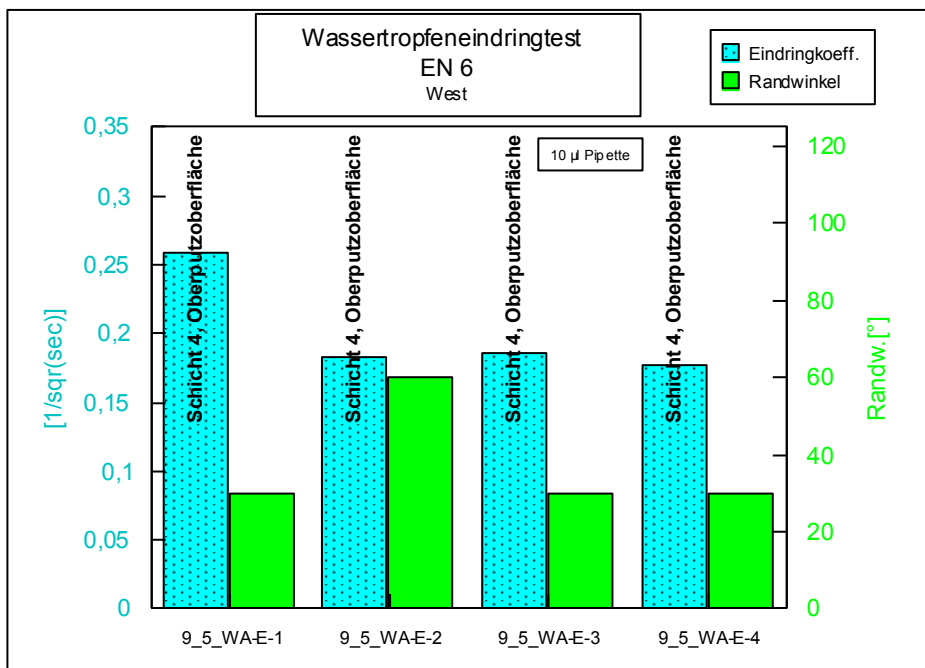



Messung:				
Messpunkt:	geprüfte Schicht:	t [s]:	Randwinkel [°]:	Spreitung [cm ²] (ca.):
WA-E-1	Schicht 4, Oberputzoberfläche	15	30	1
WA-E-2	Schicht 4, Oberputzoberfläche	30	60	1
WA-E-3	Schicht 4, Oberputzoberfläche	29	30	1
WA-E-4	Schicht 4, Oberputzoberfläche	32	30	1
WA-E-5	Schicht 1, Unterputzrückseite	1	0	0,25
WA-E-6	Schicht 1, Unterputzrückseite	1	0	1




Fragment 9_5

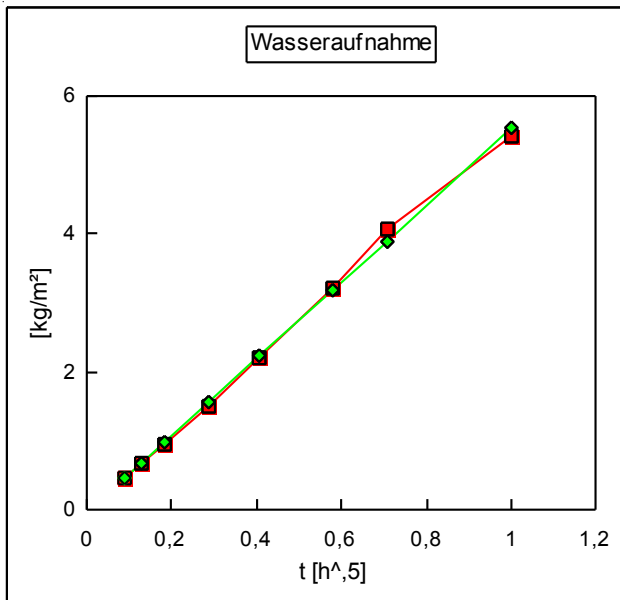
Physikalisch-mechanische Kennwerte



Fragment 9_5


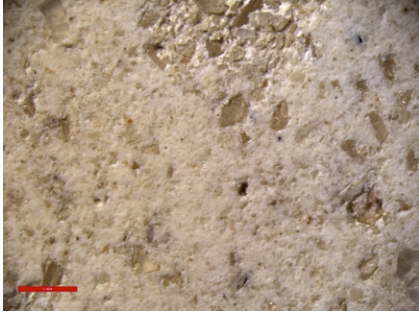
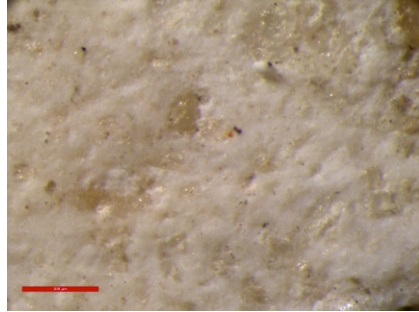
Physikalisch-mechanische Kennwerte

Kapillare Wasseraufnahme DIN 15801								
Probennummer:	9_5_WA-L							
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schicht 1 – Oberputzoberfläche Schicht 4 als saugende Fläche							
Schichttiefen ab Oberfläche:	Schicht 4: ca. 0 – 9 mm Schicht 3: ca. 9 – 12 mm Schicht 2: ca. 12 – 25 mm Schicht 1: ca. 25 – 31 mm							
Datum der Messung:	30.06.2016							
Geräte/Materialien:	Analysenwaage, Gefäß mit Schaumstoff, entionisiertes Wasser, Stoppuhr							
Auswertprogramm:	Rapp (1996)							
m₀ [g]:	496,958							
A [m²]:	0,011370							
								
Messung:								
t [s]:	5	10	15	20	30	45	60	90
m_t [g]:	498,66	499,81	500,75	/	502,17	503,41	504,61	506,29
h_t [cm]:	0,2	0,3	0,3	/	0,4	0,5	0,6	0,7
t [s]:	120	180	300	600	900	1200	1800	3600
m_t [g]:	507,81	510,18	514,18	521,90	528,03	533,50	543,19	558,50
h_t [cm]:	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,1	Optisch vollgesogen
Berechneter w-Wert [kg/(m²·vh): 5,6								



Fragment 9_5

Physikalisch-mechanische Kennwerte

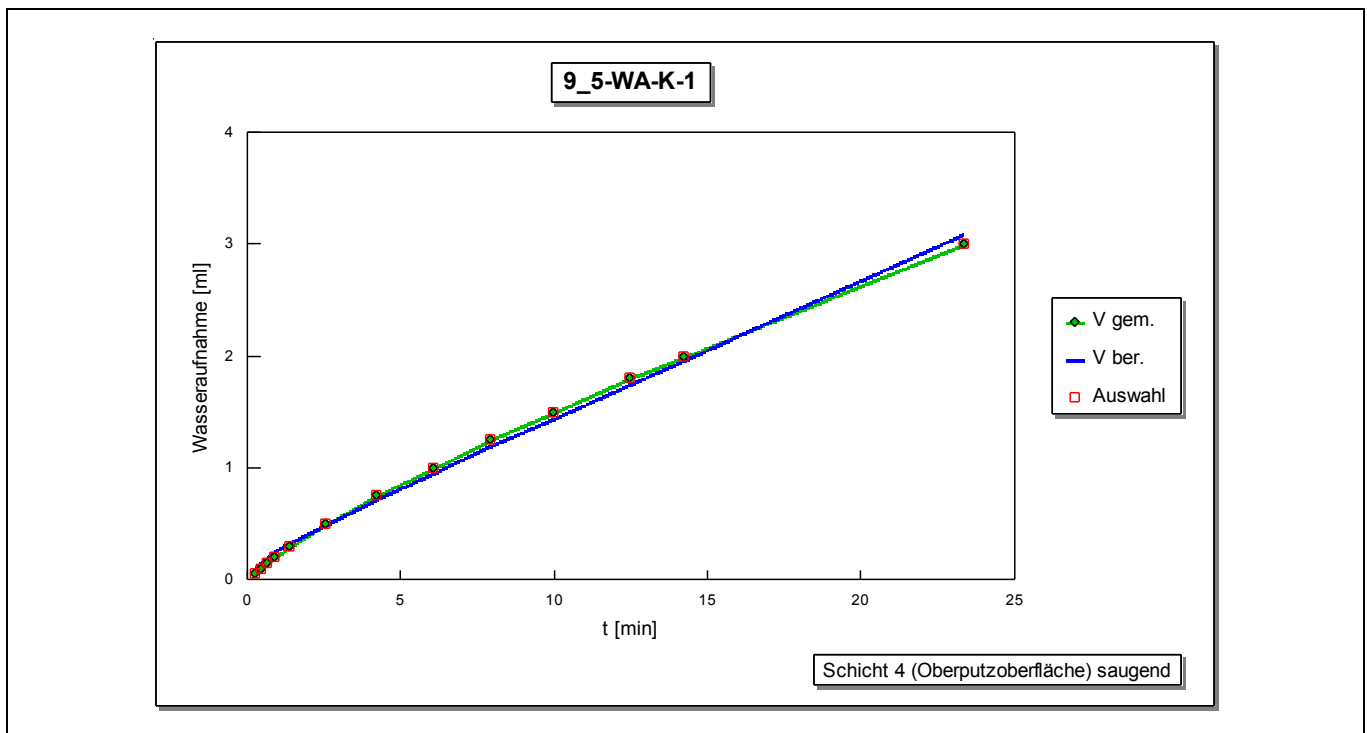
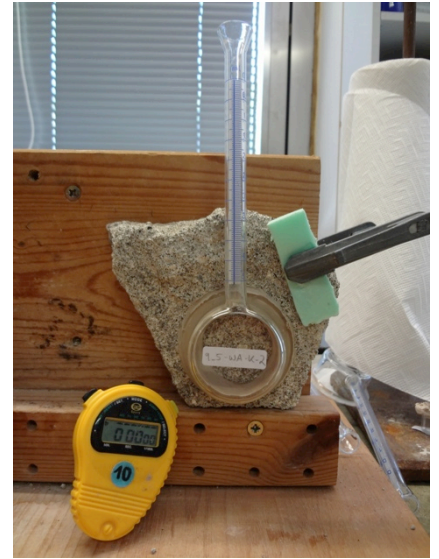
Wasseraufnahme nach Karsten													
													
roter Balken: 5 mm				roter Balken: 1 mm				roter Balken: 500 µm					
Probennummer:				9_5_WA-K-1									
Probenart/geprüfte Schicht:				Gesamtprobe, Schicht 1 –4 Oberputzoberfläche Schicht 4 als saugende Fläche									
Schichttiefen ab Oberfläche:				Schicht 4: ca. 0 – 9 mm Schicht 3: ca. 9 – 12 mm Schicht 2: ca. 12 – 25 mm Schicht 1: ca. 25 – 31 mm									
Datum der Messung:				06.07.2016									
Geräte/Material:				entionisiertes Wasser, Stoppuhr, Karsten'sches Prüfröhrchen									
Programm:				Calcarow									
Prüfröhrchen-Durchmesser [cm]:				4,5									
m₀ [g]:				496,762 (nach Trocknung bei 40 °C und 24 h Lagerung bei 25 °C / 45 % rF: 0,039 % Unterschied zu m ₀ Wasseraufnahme Labor)									
Kommentar:				Keine Feuchtehof-Bildung									
Messung:													
t [mm:ss]	00:15	00:28	00:39	00:54	01:24	02:33	04:11	06:03	07:56	09:58	12:28	14:14	23:22
v [ml]	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,80	2,00	3,00
Berechneter w-Wert [kg/(m²vh):				0,5									



Fragment 9_5

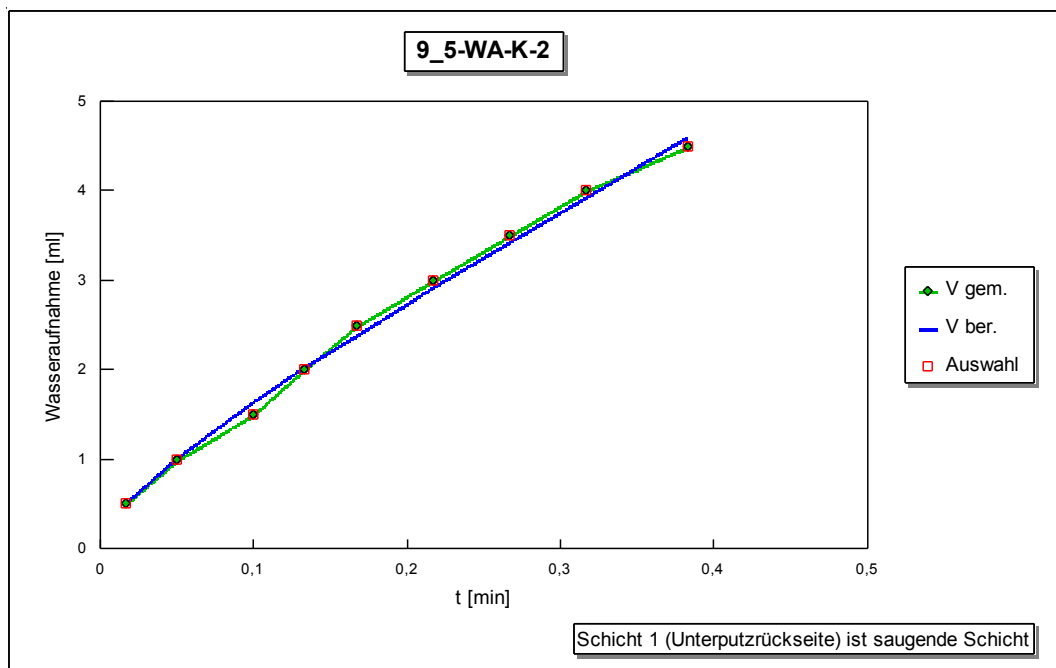
Physikalisch-mechanische Kennwerte

Probennummer:	9_5_WA-K-2								
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schicht 1–4 Unterputzrückseite Schicht 1 als saugende Fläche								
Schichttiefen ab Oberfläche:	Schicht 4: ca. 0 – 9 mm Schicht 3: ca. 9 – 12 mm Schicht 2: ca. 12 – 25 mm Schicht 1: ca. 25 – 31 mm								
Datum der Messung:	07.07.2016								
Geräte/Material:	entionisiertes Wasser, Stoppuhr, Karsten'sches Prüfröhrchen								
Programm:	Calcarow								
Prüfröhrchen-Durchmesser [cm]:	4,5								
m₀ [g]:	496,49 (nach Trocknung bei 40 °C und 24 h Lagerung bei 25 °C / 45 % rF)								
Kommentar:	Hofbildung nach t = 00:10 und V = 2,5								
Messung:									
t [mm:ss]	00:01	00:03	00:06	00:08	00:10	00:13	00:16	00:19	00:23
V [ml]	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
Berechneter w-Wert [kg/(m²·Vh):	16,2								



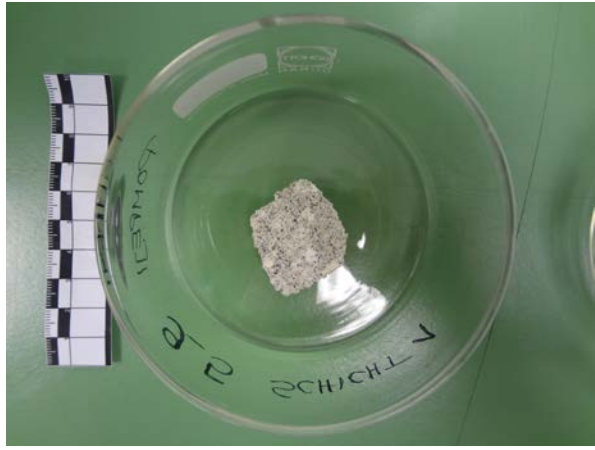
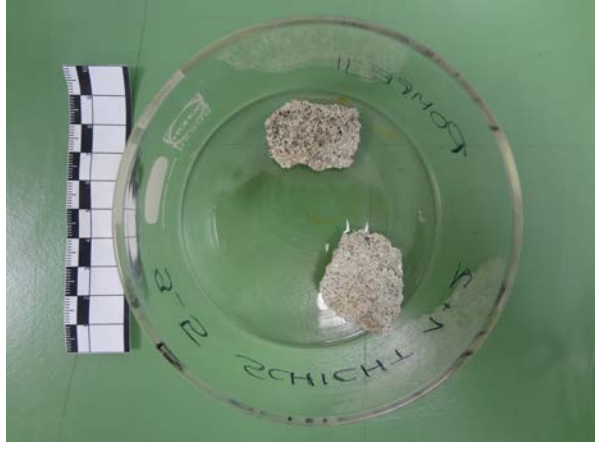
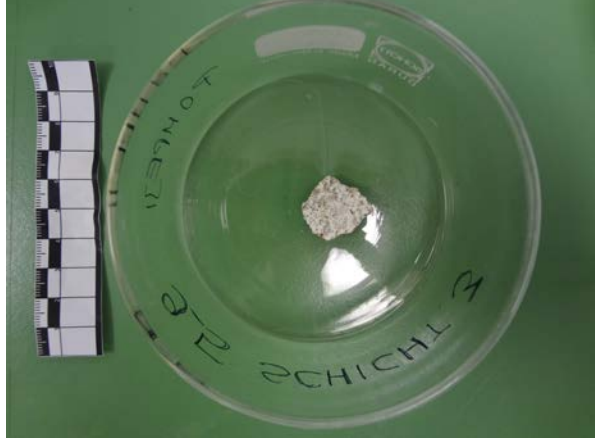
Fragment 9_5

Physikalisch-mechanische Kennwerte




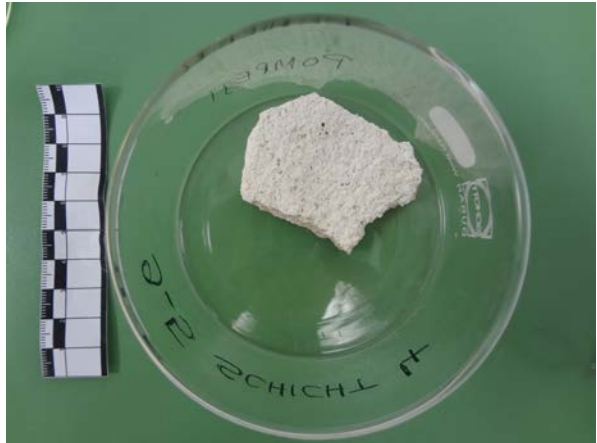
Fragment 9_5

Physikalisch-mechanische Kennwerte

Bestimmung von Rohdichte und offener Porosität durch Vakuum-Tauchverfahren	
Probenart/geprüfte Schicht:	Unterputz, Schicht 1
Probennummer:	9_5_5_1
Datum der Messung:	18.07. – 28.07.2016
Geräte:	Trockenschrank (Heraeus Typ VT 5050 EK), Analysewaage, Exsikkator, Wasserstrahlpumpe, Laborhebebühne
m_d [g]:	8,091
m_{h+Korb} [g]:	4,503
m_{Korb} [g]:	0,593
m_h [g]:	5,098
m_s [g]:	10,169
T_{rh} [°C]:	25
ρ_{rh} [kg/m³]:	997
V_0 [ml]:	2,084
ρ_b [kg/m³]:	1590,13
p_0 [V-%]:	40,96
	
Probenart/geprüfte Schicht:	Unterputz, Schicht 1 und 2
Probennummer:	9_5_5_1+2
Datum der Messung:	18.07. – 28.07.2016
Geräte:	Trockenschrank (Heraeus Typ VT 5050 EK), Analysewaage, Exsikkator, Wasserstrahlpumpe, Laborhebebühne
m_d [g]:	13,625
m_{h+Korb} [g]:	7,999
m_{Korb} [g]:	0,593
m_h [g]:	8,592
m_s [g]:	16,907
T_{rh} [°C]:	25
ρ_{rh} [kg/m³]:	997
V_0 [ml]:	3,292
ρ_b [kg/m³]:	1633,69
p_0 [V-%]:	39,47
	
Probenart/geprüfte Schicht:	Unterputz, Schicht 3
Probennummer:	9_5_5_3
Datum der Messung:	18.07. – 28.07.2016
Geräte:	Trockenschrank (Heraeus Typ VT 5050 EK), Analysewaage, Exsikkator, Wasserstrahlpumpe, Laborhebebühne
m_d [g]:	1,618
m_{h+Korb} [g]:	0,413
m_{Korb} [g]:	0,585
m_h [g]:	0,998
m_s [g]:	1,919
T_{rh} [°C]:	25
ρ_{rh} [kg/m³]:	997
V_0 [ml]:	0,302
ρ_b [kg/m³]:	1751,52
p_0 [V-%]:	32,68
	

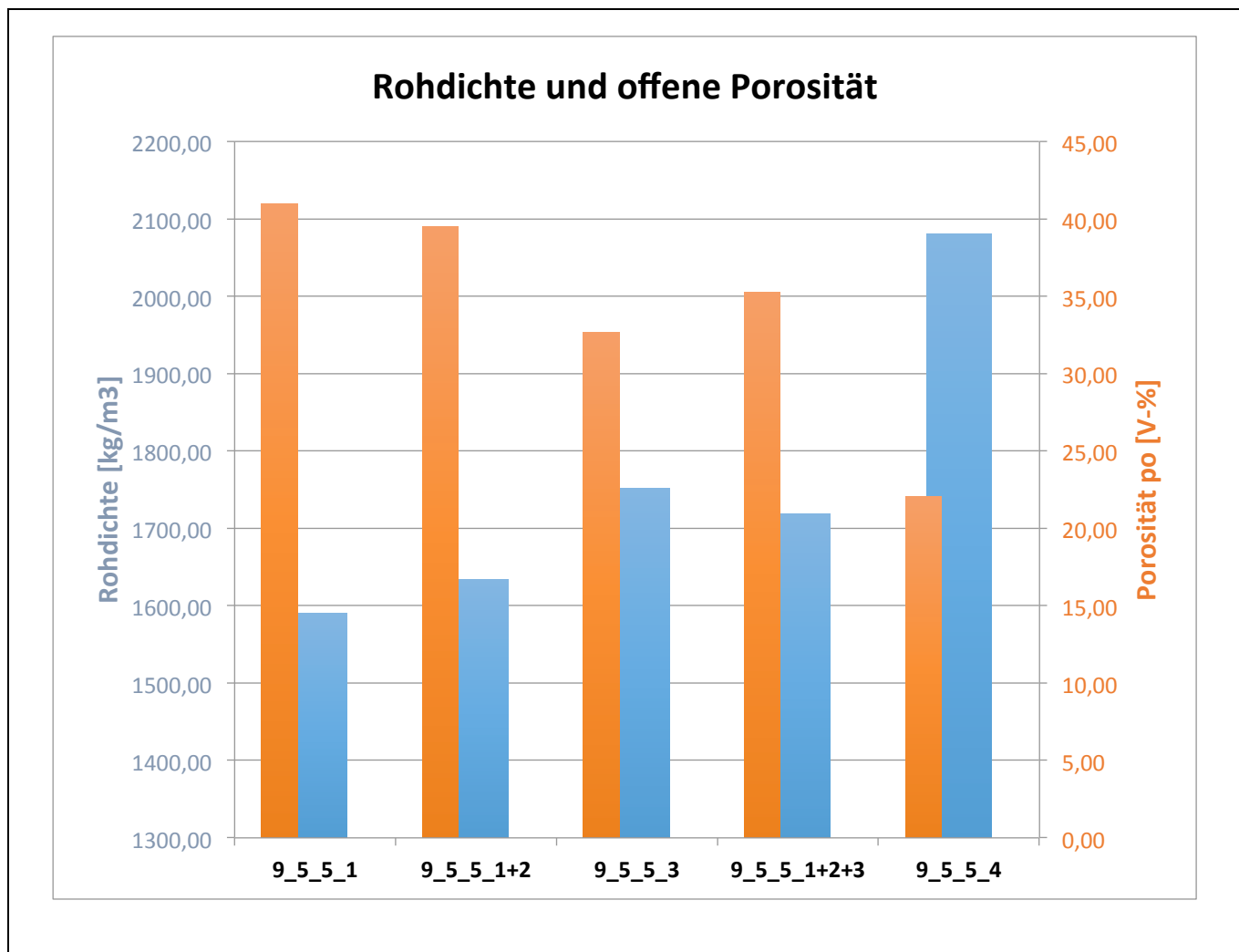
Fragment 9_5

Physikalisch-mechanische Kennwerte

Probenart/geprüfte Schicht:	Unterputz, Schicht 1, 2 und 3	
Probennummer:	9_5_5_1+2+3	
Datum der Messung:	18.07. – 28.07.2016	
Geräte:	Trockenschrank (Heraeus Typ VT 5050 EK), Analysewaage, Exsikkator, Wasserstrahlpumpe, Laborhebebühne	
m_d [g]:	35,972	
m_{h+Korb} [g]:	21,883	
m_{Korb} [g]:	0,585	
m_h [g]:	22,468	
m_s [g]:	43,331	
T_{rh} [°C]:	25	
ρ_{rh} [kg/m³]:	997	
V_0 [ml]:	7,381	
ρ_b [kg/m³]:	1719,03	
p_0 [V-%]:	35,27	
Probenart/geprüfte Schicht:	Oberputz, Schicht 4	
Probennummer:	8_4_5_4	
Datum der Messung:	18.07. – 28.07.2016	
Geräte:	Trockenschrank (Heraeus Typ VT 5050 EK), Analysewaage, Exsikkator, Wasserstrahlpumpe, Laborhebebühne	
m_d [g]:	29,309	
m_{h+Korb} [g]:	17,779	
m_{Korb} [g]:	0,585	
m_h [g]:	18,364	
m_s [g]:	32,405	
T_{rh} [°C]:	25	
ρ_{rh} [kg/m³]:	997	
V_0 [ml]:	3,105	
ρ_b [kg/m³]:	2081,12	
p_0 [V-%]:	22,05	

Fragment 9_5

Physikalisch-mechanische Kennwerte



Fragment 9_6

Physikalisch-mechanische Kennwerte

Untersuchungsdatenblatt	
Ort:	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument:	PN EN 4
Datierung:	Julisch-claudische Zeit ca. 14 – 54 n. Chr.
Art der Entnahme der Gesamtprobe:	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probenentnahme:	09. – 11.2015
Funktionskontext des Fragments:	Wanddekoration, mehrlagiger Stuck
Probennummer Fragment:	9_6
Untersuchungsmethoden:	Wassertropfeneindringtest
Durchführende Personen:	C. Friedl
Labor/Betreuung:	Fachlabor für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege (Dr. E. Wendler, S. Rother)
Datum der Messungen:	29.06.2016 (WA-E-1 bis -3)

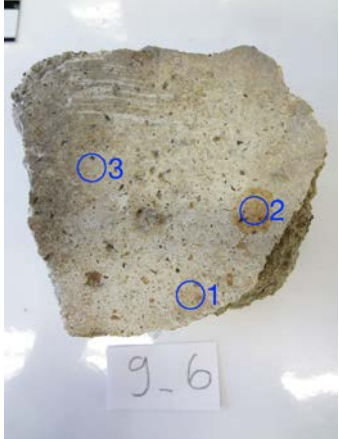


Gesamtansicht Putz- / Stuckfragment

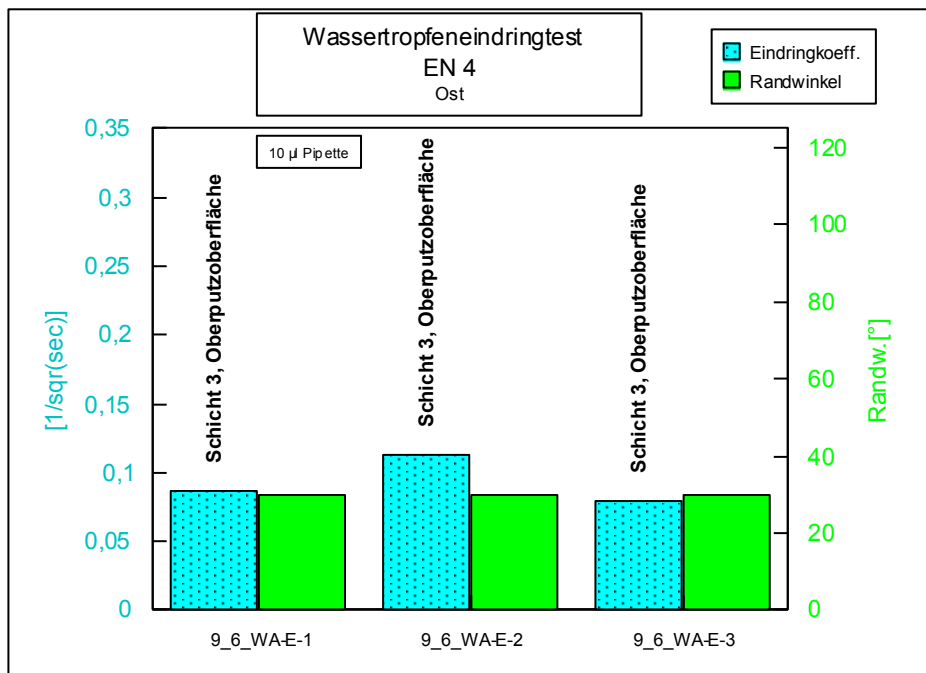
Fragment 9_6

Physikalisch-mechanische Kennwerte

Wassertropfeneindringtest	
Probennummer:	9_6_WA-E-1 bis -3
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schicht 3 (Oberputzoberfläche)
Datum der Messung:	29.06.2016
Geräte/Material:	Pipette 10 µl, entionisiertes Wasser, Stoppuhr



Messpunkt:	geprüfte Schicht:	t [s]:	Randwinkel [°]:	Spreitung [cm ²] (ca.):
WA-E-1	Schicht 3, Oberputzoberfläche	135	30	1
WA-E-2	Schicht 3, Oberputzoberfläche	79	30	1
WA-E-3	Schicht 3, Oberputzoberfläche	157	30	0,5



Fragment 18_6

Physikalisch-mechanische Kennwerte

Untersuchungsdatenblatt	
Ort:	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument:	PN EN 6
Datierung:	Augusteische Zeit ca. 27 v. Chr. – 14 n. Chr.
Art der Entnahme der Gesamtprobe:	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probenentnahme:	09. – 11.2015
Funktionskontext des Fragments:	Wanddekoration, mehrlagiger Stuck
Probennummer Fragment:	18_6
Untersuchungsmethoden:	Wassertropfeneindringtest
Durchführende Personen:	C. Friedl
Labor/Betreuung:	Fachlabor für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege (Dr. E. Wendler, S. Rother)
Datum der Messungen:	29.06.2016 (WA-E-1 bis -3)





Gesamtansicht Putz- / Stuckfragment

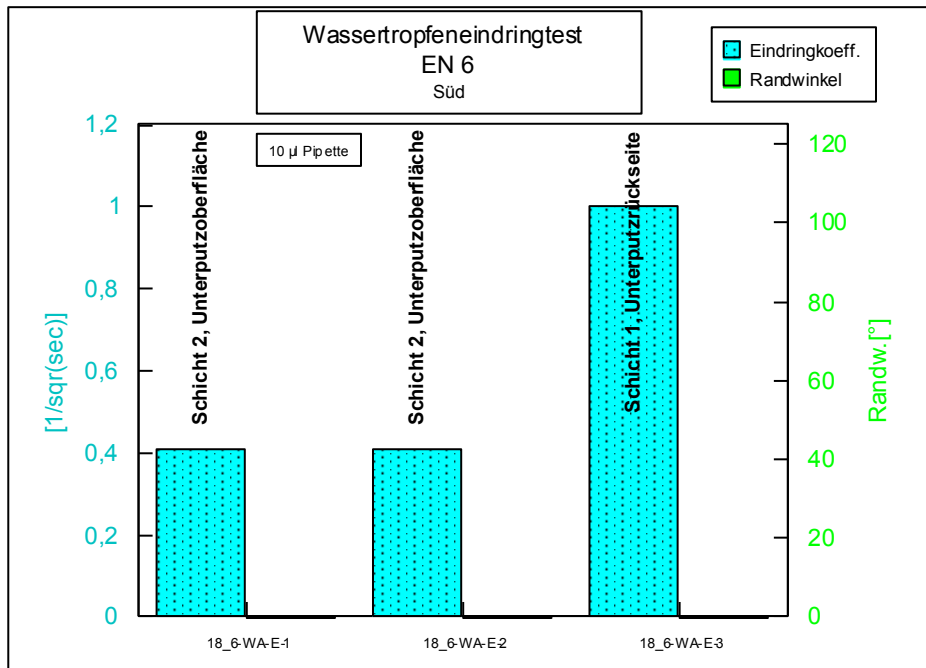
Fragment 18_6

Physikalisch-mechanische Kennwerte

Wassertropfeneindringtest	
Probennummer:	18_6_WA-E-1 bis -3
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schicht 2 und 1 (Unterputzoberfläche und -rückseite)
Datum der Messung:	29.06.2016
Geräte/Material:	Pipette 10 µl, entionisiertes Wasser, Stoppmessuhr

Messpunkt:	geprüfte Schicht:	t [s]:	Randwinkel [°]:	Spreitung [cm ²] (ca.):
WA-E-1	Schicht 2, Unterputzoberfläche	6	0	0,5
WA-E-2	Schicht 2, Unterputzoberfläche	6	0	0,5
WA-E-3	Schicht 1, Unterputzrückseite	1	0	0,25



Fragment 18_8

Physikalisch-mechanische Kennwerte


Untersuchungsdatenblatt	
Ort:	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument:	PN EN 6
Datierung:	Augusteische Zeit ca. 27 v. Chr. – 14 n. Chr.
Art der Entnahme der Gesamtprobe:	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probenentnahme:	09. – 11.2015
Funktionskontext des Fragments:	Wanddekoration, mehrlagiger Stuck
Probennummer Fragment:	18_8
Untersuchungsmethoden:	Wassertropfeneindringtest, Kapillare Wasseraufnahme DIN 15801
Durchführende Personen:	C. Friedl
Labor/Betreuung:	Fachlabor für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege (Dr. E. Wendler, S. Rother)
Datum der Messungen:	29.06.2016 (WA-E-1 bis -3), 30.06.2016 (WA-L)

Gesamtansicht Putz- / Stuckfragment

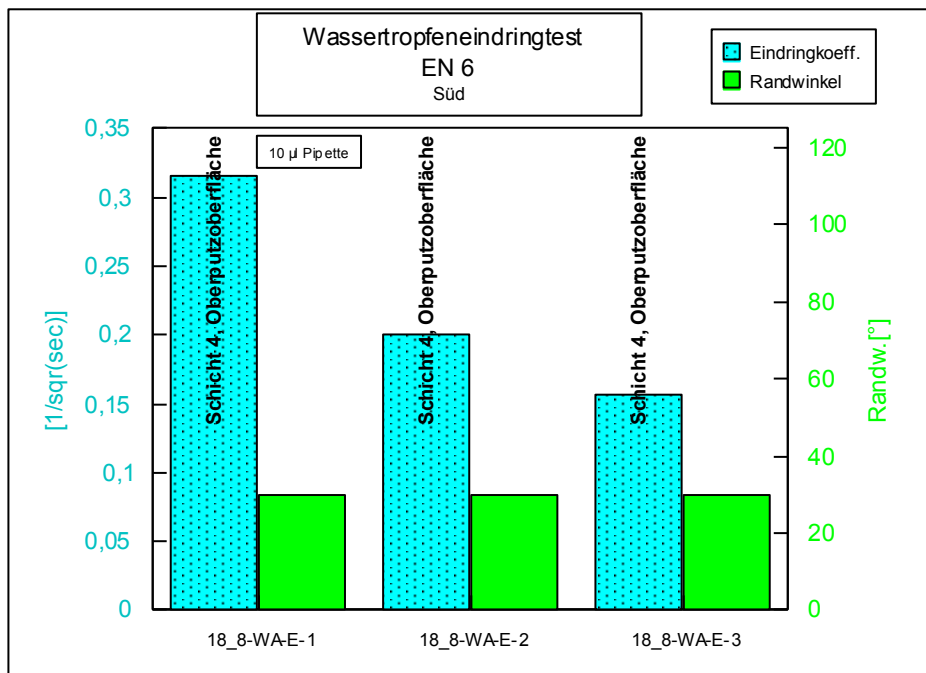
Fragment 18_8

Physikalisch-mechanische Kennwerte

Wassertropfeneindringtest	
Probennummer:	18_8_WA-E-1 bis -3
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schicht 4 (Oberputzoberfläche)
Datum der Messung:	29.06.2016
Geräte/Material:	Pipette 10 µl, entionisiertes Wasser, Stoppmessuhr



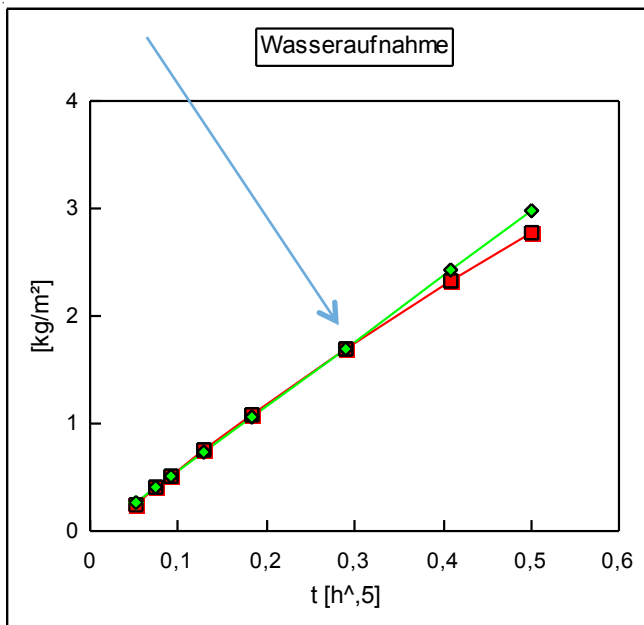
Messpunkt:	geprüfte Schicht:	t [s]:	Randwinkel [°]:	Spreitung [cm ²] (ca.):
WA-E-1	Schicht 4, Oberputzoberfläche	10	0	0,5
WA-E-2	Schicht 4, Oberputzoberfläche	25	0	0,5
WA-E-3	Schicht 4, Oberputzoberfläche	41	30	0,5



Fragment 18_8

Physikalisch-mechanische Kennwerte

Kapillare Wasseraufnahme DIN 15801								
Probennummer:	18_8_WA-L							
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schicht 1 – 3 Oberputzoberfläche Schicht 3 als saugende Fläche							
Schichttiefen ab Oberfläche:	Schicht 3 + 2: ca. 0 – 10 mm Schicht 1: ca. 10 – 25 mm							
Datum der Messung:	30.06.2016							
Geräte/Materialien:	Analysenwaage, Gefäß mit Schaumstoff, entionisiertes Wasser, Zeitmessuhr							
Auswerteprogramm:	Rapp (1996)							
m₀ [g]:	124,101							
A [m²]:	0,004862							
Analysengang:								
t [s]:	5	10	15	20	30	45	60	90
m_t [g]:	124,848	125,300	125,704	126,126	126,620	127,205	127,759	128,499
h_t [cm]:	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
t [s]:	120	180	300	600	900	1200	1800	3600
m_t [g]:	129,326	130,479	132,294	135,443	137,588	139,032	/	/
h_t [cm]:	0,9	0,9	1,1	1,3	1,5	Fast vollgesogen	/	/
Berechneter w-Wert [kg/(m²·h)]: 6,0								



Der Pfeil markiert den Übergang von Oberputz zu Unterputz (Steighöhe).

Fragment 18_9

Physikalisch-mechanische Kennwerte

Untersuchungsdatenblatt	
Ort:	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument:	PN EN 6
Datierung:	Augusteische Zeit ca. 27 v. Chr. – 14 n. Chr.
Art der Entnahme der Gesamtprobe:	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probenentnahme:	09. – 11.2015
Funktionskontext des Fragments:	Wanddekoration, mehrlagiger Stuck
Probennummer Fragment:	18_9
Untersuchungsmethoden:	Wassertropfeneindringtest
Durchführende Personen:	C. Friedl
Labor/Betreuung:	Fachlabor für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege (Dr. E. Wendler, S. Rother)
Datum der Messungen:	29.06.2016 (WA-E-1 bis -3)





Gesamtansicht Putz- / Stuckfragment

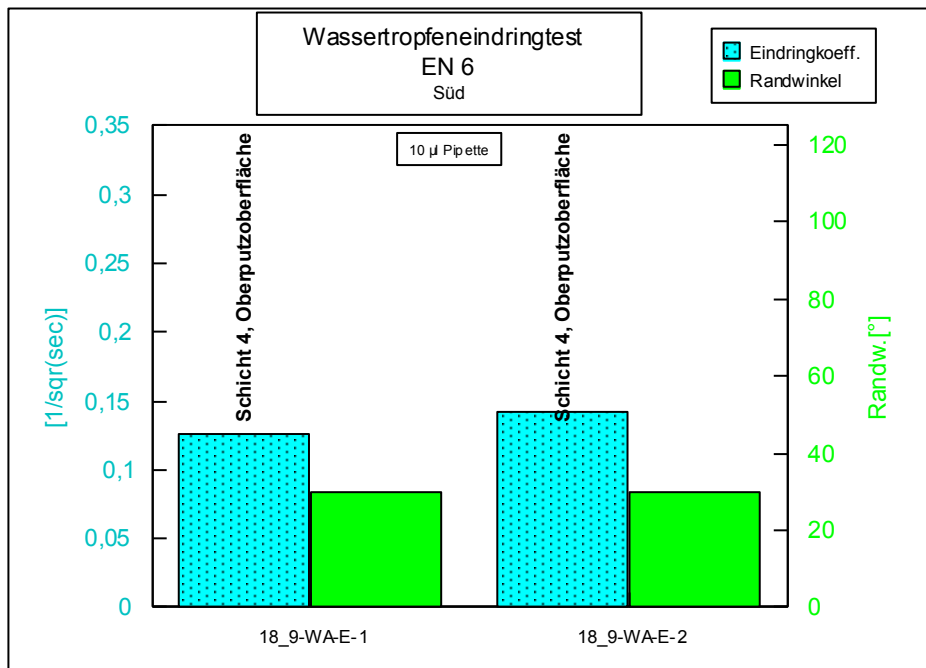
Fragment 18_9

Physikalisch-mechanische Kennwerte

Wassertropfeneindringtest	
Probennummer:	18_9_WA-E-1 bis -3
Probenart/geprüfte Schicht:	Gesamtprobe, Schicht 4 (Oberputzoberfläche)
Datum der Messung:	29.06.2016
Geräte/Material:	Pipette 10 µl, entionisiertes Wasser, Stoppuhr

Messpunkt:	geprüfte Schicht:	t [s]:	Randwinkel [°]:	Spreitung [cm ²] (ca.):
WA-E-1	Schicht 4, Oberputzoberfläche	63	30	0,5
WA-E-2	Schicht 4, Oberputzoberfläche	49	30	0,5
WA-E-3	Schicht 4, Oberputzoberfläche	0	0	0,25



Fragment 3_1

Digitale Bildanalyse

Untersuchungsdatenblatt	
Daten der untersuchten Probe	
Ort	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument	PN_EN_4
Datierung (D'AMBROSIO/DE CARO 1983)	Julisch-claudische Zeit ca. 14–54 n. Chr.
Probennummer Fragment	3_1
Art der Entnahme der Gesamtprobe	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probennahme	
Funktionskontext des Fragments	Wanddekoration, Stuck
Anzahl und Art der Schichten	2 Unterputzschichten, 1 Oberputzschicht
Daten der Einzelproben	
Probennummer Einzelprobe	3_1_2
Untersuchte Probenart	Dünnschliff poliert, nicht abgedeckt (4,8 x 4,8 cm)
Einbettungsmedium	Epoxidharz GP 20, blau eingefärbt mit Bluedye von Logitech
Daten der Untersuchung	
Untersuchte Kenngrößen	Komponentenverhältnisse
Untersuchungsmethode	Digitale Bildanalyse
Bilderzeugung (Flachbettscanner)	Mikrotek Scan Maker i900, 6400x3200 DPI CCO, 48 BIT
Bildoptimierungssoftware	Photoshop CS6 / Camera RAW 7.0
Segmentierungssoftware	Photoshop CS6, ImageJ 2.0.0
Bildanalysesoftware (Messung)	ImageJ 2.0.0
Datum der Untersuchung	27.07. – 15.08.2015



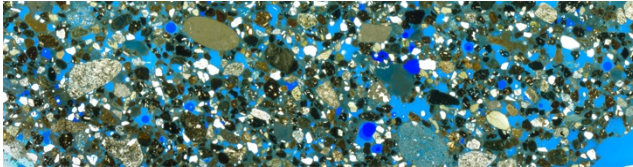
Stuckfragment, Gesamtansicht

Fragment 3_1

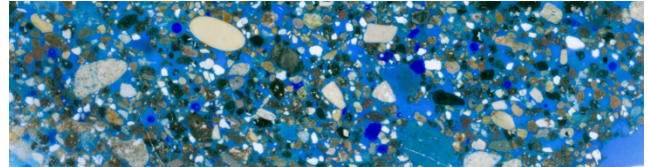
Digitale Bildanalyse

Schicht 1 / Unterputz

Ausgangsbild 1 der Segmentierung: Scan im Durchlicht



Ausgangsbild 2 der Segmentierung: Scan im Auflicht



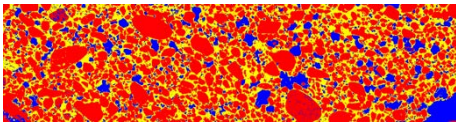
Messungen

Ermittlung der Komponentenverhältnisse: Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonate, Gesamtporosität

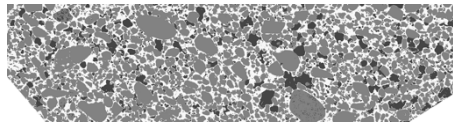
Messung 1: Kalkgallen wurden zum Zuschlag gerechnet

Ergebnis der Messung 1

Falschfarbenbild 1 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)



Messbild 1 (Graustufenbild)

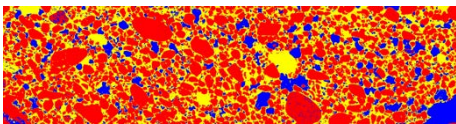


	Area mm ²	%Area
Gesamt	442.395	99.999
Porosität	57.051	12.896
Zuschlag	260.689	58.926
Bindemittel	124.655	28.177

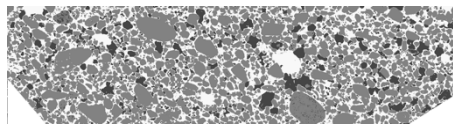
Messung 2: Kalkgallen wurden zum Bindemittel gerechnet

Ergebnis der Messung 2

Falschfarbenbild 2 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)



Messbild 2 (Graustufenbild)



	Area mm ²	%Area
Gesamt	441.509	100.000
Porosität	56.998	12.910
Zuschlag	252.935	57.289
Bindemittel	131.576	29.801

Gesamtergebnis Schicht 1 / Unterputz

Porosität	Bindemittelanteil Aus Messung 1	Zuschlaganteil Aus Messung 1	B-Z-Verhältnis	Kalkgallenanteil Aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Messung 1 und 2	Carbonatanteil
12.896 %	32.350 %	67.650 %		1,869 %	Nicht ermittelt

Anmerkung: Porosität, Bindemittel und Zuschlag wurden, falls erforderlich, auf 100 % verrechnet.

Bindemittel und Zuschlag wurden auf 100% verrechnet.

Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz von Messung 1 und Messung 2 ermittelt und ebenfalls auf 100% verrechnet.

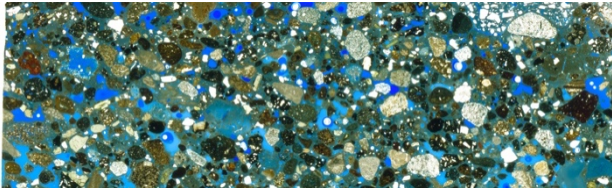
Der Carbonatanteil wurde auf 100% verrechnet.

Fragment 3_1

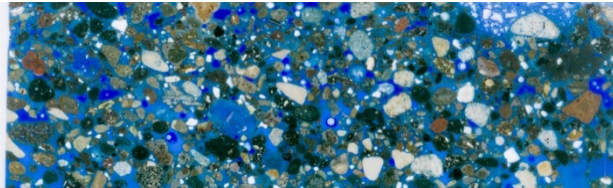
Digitale Bildanalyse

Schicht 2 / Unterputz

Ausgangsbild 1 der Segmentierung: Scan im Durchlicht



Ausgangsbild 2 der Segmentierung: Scan im Auflicht

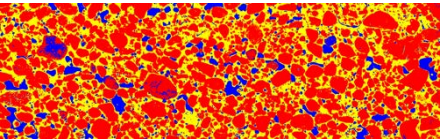


Messungen

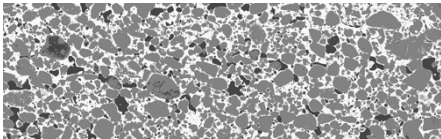
Ermittlung der Komponentenverhältnisse: Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonate, Gesamtporosität

Messung 1: Kalkgallen wurden zum Zuschlag gerechnet

Falschfarbenbild 1 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)



Messbild 1 (Graustufenbild)

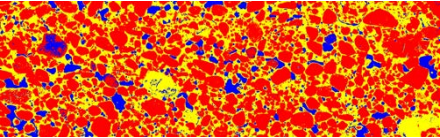


Ergebnis der Messung 1

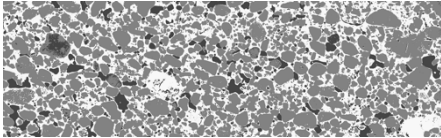
	Area mm ²	%Area
Gesamt	574.605	100.000
Porosität	56.254	9.790
Zuschlag	348.844	60.710
Bindemittel	169.507	29.500

Messung 2: Kalkgallen wurden zum Bindemittel gerechnet

Falschfarbenbild 2 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)



Messbild 2 (Graustufenbild)



Ergebnis der Messung 2

	Area mm ²	%Area
Gesamt	574.605	100.000
Porosität	56.218	9.784
Zuschlag	338.293	58.874
Bindemittel	180.095	31.342

Gesamtergebnis Schicht 2 / Unterputz

Porosität	Bindemittelanteil Aus Messung 1	Zuschlaganteil Aus Messung 1	B-Z-Verhältnis	Kalkgallenanteil Aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Messung 1 und 2	Carbonatanteil
9.790 %	32.701 %	67.299 %		2,040 %	Nicht ermittelt

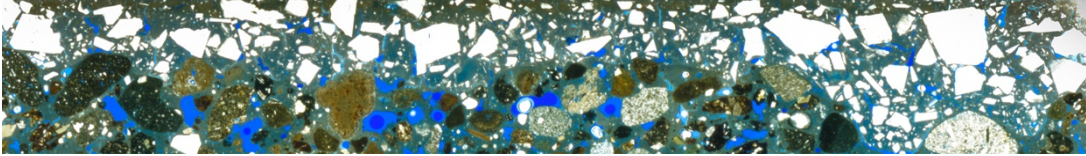
Anmerkung: Porosität, Bindemittel und Zuschlag wurden, falls erforderlich, auf 100 % verrechnet.
 Bindemittel und Zuschlag wurden auf 100% verrechnet.
 Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz von Messung 1 und Messung 2 ermittelt und ebenfalls auf 100% verrechnet.
 Der Carbonatanteil wurde auf 100% verrechnet.

Fragment 3_1

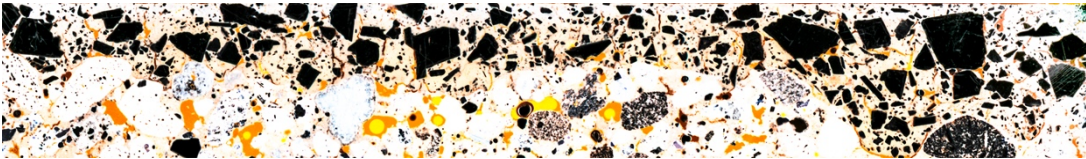
Digitale Bildanalyse

Schicht 3 / Oberputz

Ausgangsbild 1 der Segmentierung: Scan im Durchlicht



Ausgangsbild 2 der Segmentierung: Scan im Durchlicht negativ



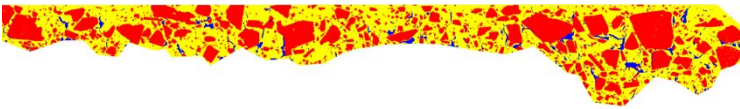
Messungen

Ermittlung der Komponentenverhältnisse: Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonate, Gesamtporosität

Messung 1: (keine Kalkgallen vorhanden)

Ergebnis der Messung 1

Falschfarbenbild 1 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)



	Area mm ²	%Area
Gesamt	123.749	51.687
Porosität	4.172	1.742
Zuschlag	54.528	22.775
Bindemittel	65.049	27.169

Messbild 1 (Graustufenbild)




Gesamtergebnis Schicht 2 / Unterputz

Porosität	Bindemittelanteil Aus Messung 1	Zuschlaganteil Aus Messung 1	B-Z-Verhältnis	Kalkgallenanteil Aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Messung 1 und 2	Carbonatanteil
3.370 %	54.399 %	45.601 %		0 %	Nicht ermittelt

Anmerkung: Porosität, Bindemittel und Zuschlag wurden, falls erforderlich, auf 100 % verrechnet.
 Bindemittel und Zuschlag wurden auf 100% verrechnet.
 Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz von Messung 1 und Messung 2 ermittelt und ebenfalls auf 100% verrechnet.
 Der Carbonatanteil wurde auf 100% verrechnet.

Fragment 3_6

Digitale Bildanalyse

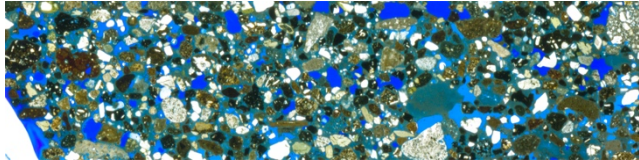
Untersuchungsdatenblatt	
Daten der untersuchten Probe	
Ort	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument	PN_EN_4
Datierung (D'AMBROSIO/DE CARO 1983)	Julisch-claudische Zeit ca. 14–54 n. Chr.
Probennummer Fragment	3_6
Art der Entnahme der Gesamtprobe	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probennahme	
Funktionskontext des Fragments	Wanddekoration, Stuck
Anzahl und Art der Schichten	2 Unterputzschichten, 1 Oberputzschicht
Probennummer Einzelprobe	3_6_1
Untersuchte Probenart	Dünnschliff poliert, nicht abgedeckt (4,8 x 4,8 cm)
Einbettungsmedium	Epoxidharz GP 20, blau eingefärbt mit Bluedye von Logitech
Daten der Untersuchung	
Untersuchte Kenngrößen	Komponentenverhältnisse
Untersuchungsmethode	Digitale Bildanalyse
Bilderzeugung (Flachbettscanner)	Mikrotek Scan Maker i900, 6400x3200 DPI CCO, 48 BIT
Bildoptimierungssoftware	Photoshop CS6 / Camera RAW 7.0
Segmentierungssoftware	Photoshop CS6, ImageJ 2.0.0
Bildanalysesoftware (Messung)	ImageJ 2.0.0
Durchführende Personen	Edith Aichinger
Datum der Untersuchung	27.07. – 15.08.2015
	
Stuckfragment, Gesamtansicht	

Fragment 3_6

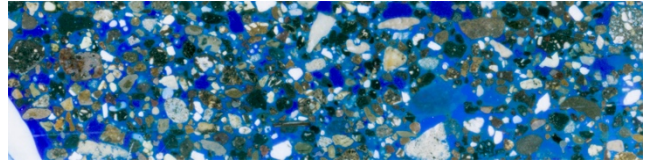
Digitale Bildanalyse

Schicht 1 / Unterputz

Ausgangsbild 1 der Segmentierung: Scan im Durchlicht



Ausgangsbild 2 der Segmentierung: Scan im Auflicht



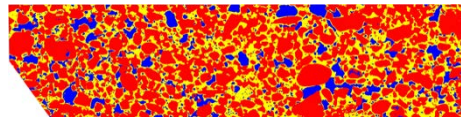
Messungen

Ermittlung der Komponentenverhältnisse: Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonate, Gesamtporosität

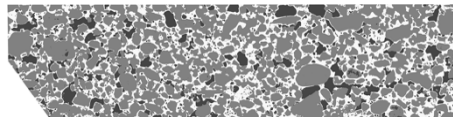
Messung 1: Kalkgallen wurden zum Zuschlag gerechnet

Ergebnis der Messung 1

Falschfarbenbild 1 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)



Messbild 1 (Graustufenbild)

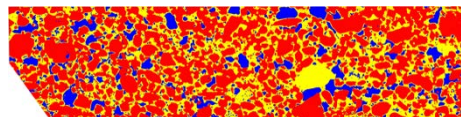


	Area mm ²	%Area
Gesamt	226.626	97.367
Porosität	28.739	12.348
Zuschlag	138.819	59.642
Bindemittel	59.067	25.378

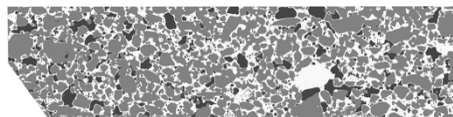
Messung 2: Kalkgallen wurden zum Bindemittel gerechnet

Ergebnis der Messung 2

Falschfarbenbild 2 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)



Messbild 2 (Graustufenbild)



	Area mm ²	%Area
Gesamt	226.626	97.367
Porosität	28.697	12.329
Zuschlag	135.050	58.022
Bindemittel	62.879	27.015

Gesamtergebnis Schicht 1 / Unterputz

Porosität	Bindemittelanteil Aus Messung 1	Zuschlaganteil Aus Messung 1	B-Z-Verhältnis	Kalkgallenanteil Aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Messung 1 und 2	Carbonatanteil
12.682 %	29.849 %	70.150 %		1,919 %	Nicht ermittelt

Anmerkung: Porosität, Bindemittel und Zuschlag wurden, falls erforderlich, auf 100 % verrechnet.

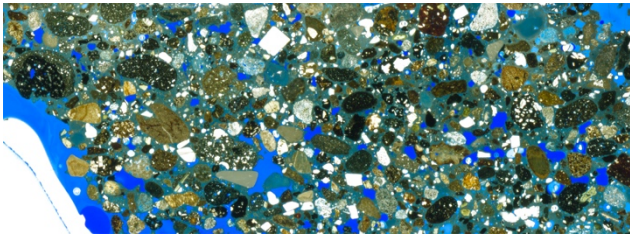
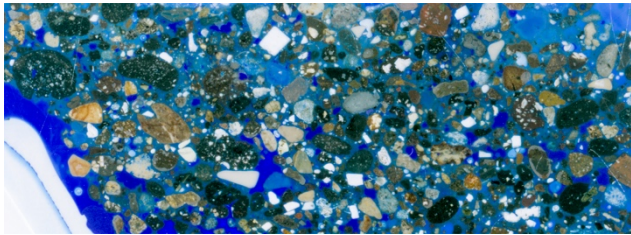
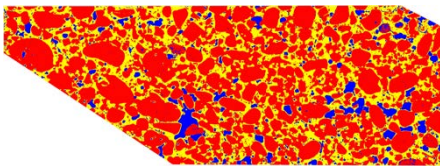
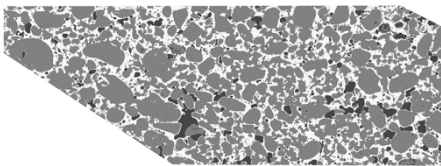
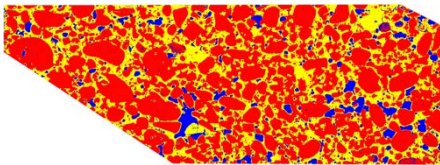
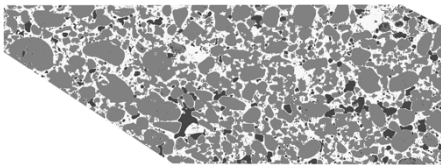
Bindemittel und Zuschlag wurden auf 100% verrechnet.

Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz von Messung 1 und Messung 2 ermittelt und ebenfalls auf 100% verrechnet.

Der Carbonatanteil wurde auf 100% verrechnet.

Fragment 3_6

Digitale Bildanalyse

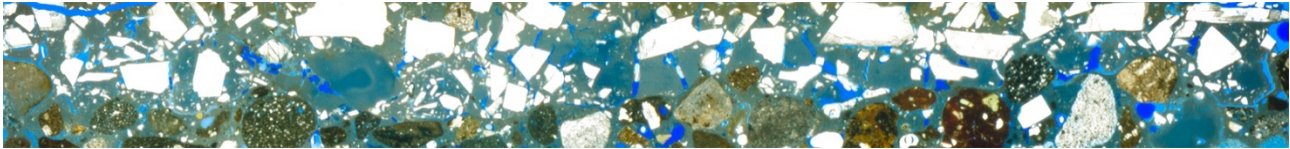
Schicht 2 / Unterputz																				
Ausgangsbild 1 der Segmentierung: Scan im Durchlicht		Ausgangsbild 2 der Segmentierung: Scan im Auflicht																		
																				
Messungen																				
Ermittlung der Komponentenverhältnisse: Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonate, Gesamtporosität																				
Messung 1: Kalkgallen wurden zum Zuschlag gerechnet			Ergebnis der Messung 1																	
Falschfarbenbild 1 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)		Messbild 1 (Graustufenbild)																		
																				
		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Area mm²</th> <th>%Area</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gesamt</td> <td>511.008</td> <td>84.448</td> </tr> <tr> <td>Porosität</td> <td>40.002</td> <td>6.611</td> </tr> <tr> <td>Zuschlag</td> <td>335.377</td> <td>55.424</td> </tr> <tr> <td>Bindemittel</td> <td>135.630</td> <td>22.414</td> </tr> </tbody> </table>					Area mm ²	%Area	Gesamt	511.008	84.448	Porosität	40.002	6.611	Zuschlag	335.377	55.424	Bindemittel	135.630	22.414
	Area mm ²	%Area																		
Gesamt	511.008	84.448																		
Porosität	40.002	6.611																		
Zuschlag	335.377	55.424																		
Bindemittel	135.630	22.414																		
Messung 2: Kalkgallen wurden zum Bindemittel gerechnet			Ergebnis der Messung 2																	
Falschfarbenbild 2 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)		Messbild 2 (Graustufenbild)																		
																				
		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Area mm²</th> <th>%Area</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gesamt</td> <td>511.008</td> <td>84.448</td> </tr> <tr> <td>Porosität</td> <td>39.943</td> <td>6.601</td> </tr> <tr> <td>Zuschlag</td> <td>329.084</td> <td>54.384</td> </tr> <tr> <td>Bindemittel</td> <td>141.981</td> <td>23.463</td> </tr> </tbody> </table>					Area mm ²	%Area	Gesamt	511.008	84.448	Porosität	39.943	6.601	Zuschlag	329.084	54.384	Bindemittel	141.981	23.463
	Area mm ²	%Area																		
Gesamt	511.008	84.448																		
Porosität	39.943	6.601																		
Zuschlag	329.084	54.384																		
Bindemittel	141.981	23.463																		
Gesamtergebnis Schicht 2 / Unterputz																				
Porosität	Bindemittelanteil Aus Messung 1	Zuschlaganteil Aus Messung 1	B-Z-Verhältnis	Kalkgallenanteil Aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Messung 1 und 2	Carbonatanteil															
7.828 %	28.796 %	71.204 %		1,344 %	Nicht ermittelt															
<p>Anmerkung: Porosität, Bindemittel und Zuschlag wurden, falls erforderlich, auf 100 % verrechnet. Bindemittel und Zuschlag wurden auf 100% verrechnet. Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz von Messung 1 und Messung 2 ermittelt und ebenfalls auf 100% verrechnet. Der Carbonatanteil wurde auf 100% verrechnet.</p>																				

Fragment 3_6


Digitale Bildanalyse

Schicht 3 / Oberputz

Ausgangsbild 1 der Segmentierung: Scan im Durchlicht



Ausgangsbild 2 der Segmentierung: Scan im Durchlicht negativ

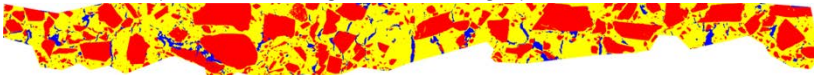


Messungen


Ermittlung der Komponentenverhältnisse: Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonate, Gesamtporosität

Messung 1: Kalkgallen wurden zum Zuschlag gerechnet

Falschfarbenbild 1 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)



Messbild 1 (Graustufenbild)

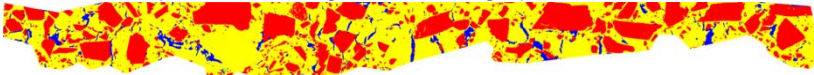


Ergebnis der Messung 1


	Area mm ²	%Area
Gesamt	94.736	58.816
Porosität	4.461	2.770
Zuschlag	41.675	25.874
Bindemittel	48.599	30.173

Messung 2: Kalkgallen wurden zum Bindemittel gerechnet

Falschfarbenbild 2 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)



Messbild 2 (Graustufenbild)



Ergebnis der Messung 2

	Area mm ²	%Area
Gesamt	94.736	58.817
Porosität	4.452	2.764
Zuschlag	37.266	23.137
Bindemittel	53.018	32.916

Gesamtergebnis Schicht 2 / Unterputz

Porosität	Bindemittelanteil <small>Aus Messung 1</small>	Zuschlaganteil <small>Aus Messung 1</small>	B-Z-Verhältnis	Kalkgallenanteil <small>Aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Messung 1 und 2</small>	Carbonatanteil
4.709 %	53.835 %	46.165 %		4,888 %	Nicht ermittelt

Anmerkung: Porosität, Bindemittel und Zuschlag wurden, falls erforderlich, auf 100 % verrechnet.
 Bindemittel und Zuschlag wurden auf 100% verrechnet.
 Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz von Messung 1 und Messung 2 ermittelt und ebenfalls auf 100% verrechnet.
 Der Carbonatanteil wurde auf 100% verrechnet.

Fragment 3_7

Digitale Bildanalyse

Untersuchungsdatenblatt	
Daten der untersuchten Probe	
Ort	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument	PN_EN_6
Datierung (D'AMBROSIO/DE CARO 1983)	Augusteische Zeit ca. 27 v. Chr. – 14 n. Chr.
Probennummer Fragment	3_7
Art der Entnahme der Gesamtprobe	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probennahme	
Funktionskontext des Fragments	Wanddekoration, Stuck
Anzahl und Art der Schichten	3 Unterputzschichten, 1 Oberputzschicht
Probennummer Einzelprobe	3_7_2
Untersuchte Probenart	Dünnschliff poliert, nicht abgedeckt (4,8 x 4,8 cm)
Einbettungsmedium	Epoxidharz GP 20, blau eingefärbt mit Bluedye von Logitech
Daten der Untersuchung	
Untersuchte Kenngrößen	Korngrößenverteilung
Untersuchungsmethode	Digitale Bildanalyse
Bilderzeugung (Flachbettscanner)	Mikrotek Scan Maker i900, 6400x3200 DPI CCO, 48 BIT
Bilddoptimierungssoftware	Photoshop CS6 / Camera RAW 7.0
Segmentierungssoftware	Photoshop CS6, ImageJ 2.0.0
Bildanalysesoftware (Messung)	ImageJ 2.0.0
Durchführende Personen	Edith Aichinger
Datum der Untersuchung	27.07. – 15.08.2015



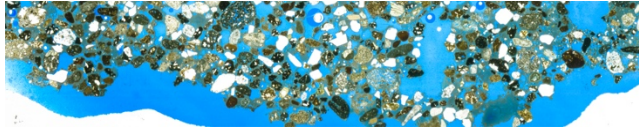
Stuckfragment, Gesamtansicht

Fragment 3_7

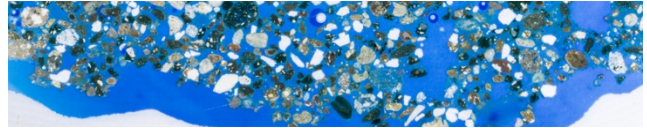
Digitale Bildanalyse

Schicht 1 / Unterputz

Ausgangsbild 1 der Segmentierung: Scan im Durchlicht



Ausgangsbild 2 der Segmentierung: Scan im Auflicht

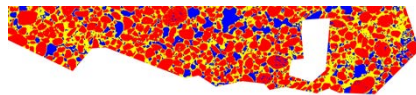


Messungen

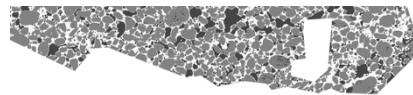
Ermittlung der Komponentenverhältnisse: Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonate, Gesamtporosität

Messung 1: Kalkgallen wurden zum Zuschlag gerechnet

Falschfarbenbild 1 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)



Messbild 1 (Graustufenbild)

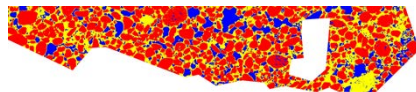


Ergebnis der Messung 1

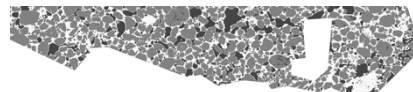
	Area mm ²	%Area
Gesamt	193.964	62.105
Porosität	32.871	10.525
Zuschlag	110.145	35.267
Bindemittel	50.948	16.313

Messung 2: Kalkgallen wurden zum Bindemittel gerechnet

Falschfarbenbild 2 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)



Messbild 2 (Graustufenbild)



Ergebnis der Messung 2

	Area mm ²	%Area
Gesamt	193.962	62.104
Porosität	32.796	10.501
Zuschlag	107.134	34.303
Bindemittel	54.033	17.301

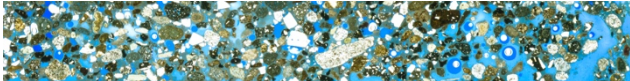

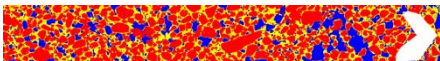
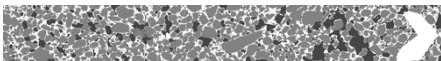
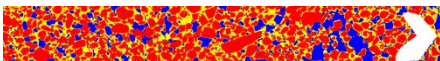

Gesamtergebnis Schicht 1 / Unterputz

Porosität	Bindemittelanteil Aus Messung 1	Zuschlaganteil Aus Messung 1	B-Z-Verhältnis	Kalkgallenanteil Aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Messung 1 und 2	Carbonatanteil
16.947	31.627	68.373		1,899	Nicht ermittelt

Anmerkung: Porosität, Bindemittel und Zuschlag wurden, falls erforderlich, auf 100 % verrechnet.
 Bindemittel und Zuschlag wurden auf 100% verrechnet.
 Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz von Messung 1 und Messung 2 ermittelt und ebenfalls auf 100% verrechnet.
 Der Carbonatanteil wurde auf 100% verrechnet.

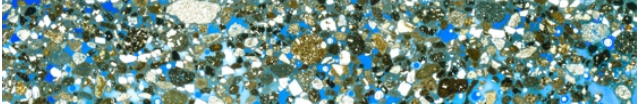

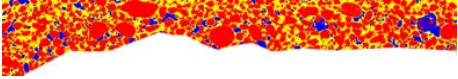

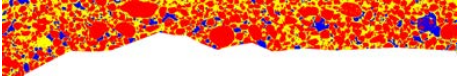

Fragment 3_7

Digitale Bildanalyse

Schicht 2 / Unterputz					
Ausgangsbild 1 der Segmentierung: Scan im Durchlicht		Ausgangsbild 2 der Segmentierung: Scan im Auflicht			
					
Messungen					
Ermittlung der Komponentenverhältnisse: Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonate, Gesamtporosität					
Messung 1: Kalkgallen wurden zum Zuschlag gerechnet			Ergebnis der Messung 1		
Falschfarbenbild 1 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)		Messbild 1 (Graustufenbild)			
					
			Area mm ²	%Area	
			Gesamt	211.083	95.693
			Porosität	39.181	17.762
			Zuschlag	121.372	55.023
			Bindemittel	50.530	22.908
Messung 2: Kalkgallen wurden zum Bindemittel gerechnet			Ergebnis der Messung 2		
Falschfarbenbild 2 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)		Messbild 2 (Graustufenbild)			
					
			Area mm ²	%Area	
			Gesamt	211.083	95.693
			Porosität	39.171	17.758
			Zuschlag	120.693	54.716
			Bindemittel	51.219	23.220
Gesamtergebnis Schicht 2 / Unterputz					
Porosität	Bindemittelanteil Aus Messung 1	Zuschlaganteil Aus Messung 1	B-Z-Verhältnis	Kalkgallenanteil Aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Messung 1 und 2	Carbonatanteil
18.561	29.428	70.571		0,365	Nicht ermittelt
Anmerkung: Porosität, Bindemittel und Zuschlag wurden, falls erforderlich, auf 100 % verrechnet. Bindemittel und Zuschlag wurden auf 100% verrechnet. Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz von Messung 1 und Messung 2 ermittelt und ebenfalls auf 100% verrechnet. Der Carbonatanteil wurde auf 100% verrechnet.					

Fragment 3_7

Digitale Bildanalyse

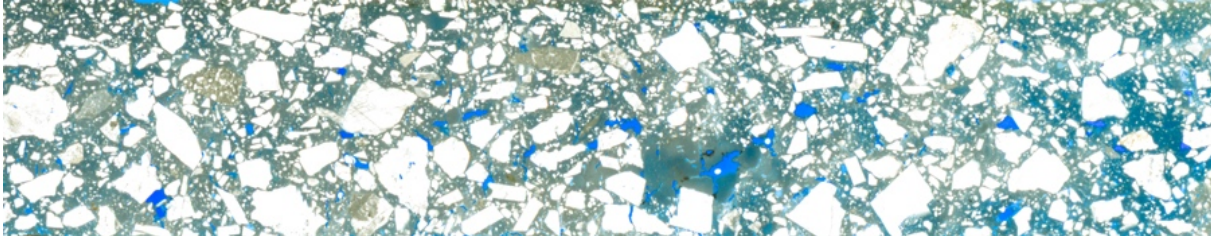
Schicht 3 / Unterputz					
Ausgangsbild 1 der Segmentierung: Scan im Durchlicht		Ausgangsbild 2 der Segmentierung: Scan im Auflicht			
					
Messungen					
Ermittlung der Komponentenverhältnisse: Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonate, Gesamtporosität					
Messung 1: Kalkgallen wurden zum Zuschlag gerechnet			Ergebnis der Messung 1		
Falschfarbenbild 1 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)		Messbild 1 (Graustufenbild)			
					
			Area mm ²	%Area	
			Gesamt	183.573	65.425
			Porosität	18.063	6.438
			Zuschlag	113.774	40.549
			Bindemittel	51.736	18.439
Messung 2: Kalkgallen wurden zum Bindemittel gerechnet			Ergebnis der Messung 2		
Falschfarbenbild 2 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)		Messbild 2 (Graustufenbild)			
					
			Area mm ²	%Area	
			Gesamt	183.573	65.425
			Porosität	18.060	6.437
			Zuschlag	113.082	40.302
			Bindemittel	52.430	18.686
Gesamtergebnis Schicht 2 / Unterputz					
Porosität	Bindemittelanteil Aus Messung 1	Zuschlaganteil Aus Messung 1	B-Z-Verhältnis	Kalkgallenanteil Aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Messung 1 und 2	Carbonatanteil
9.840	31.259	68.741		0,419	Nicht ermittelt
Anmerkung: Porosität, Bindemittel und Zuschlag wurden, falls erforderlich, auf 100 % verrechnet. Bindemittel und Zuschlag wurden auf 100% verrechnet. Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz von Messung 1 und Messung 2 ermittelt und ebenfalls auf 100% verrechnet. Der Carbonatanteil wurde auf 100% verrechnet.					

Fragment 3_7

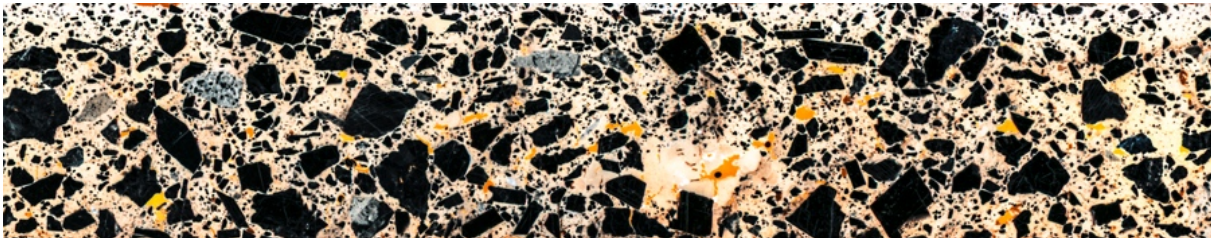
Digitale Bildanalyse

Schicht 4 / Oberputz

Ausgangsbild 1 der Segmentierung: Scan im Durchlicht



Ausgangsbild 2 der Segmentierung: Scan im Durchlicht negativ



Messungen

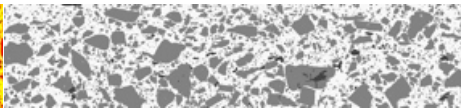
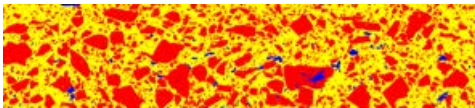
Ermittlung der Komponentenverhältnisse: Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonate, Gesamtporosität

Messung 1: Kalkgallen wurden zum Zuschlag gerechnet

Ergebnis der Messung 1

Falschfarbenbild 1 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)

Messbild 1 (Graustufenbild)



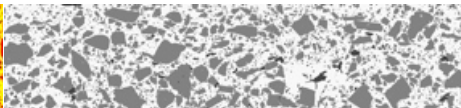
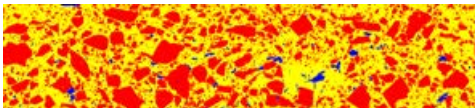
	Area mm ²	%Area
Gesamt	262.763	100.000
Porosität	4.914	1.870
Zuschlag	121.782	46.347
Bindemittel	136.068	51.783

Messung 2: Kalkgallen wurden zum Bindemittel gerechnet

Ergebnis der Messung 2

Falschfarbenbild 2 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)

Messbild 2 (Graustufenbild)



	Area mm ²	%Area
Gesamt	262.763	100.000
Porosität	4.897	1.863
Zuschlag	117.520	44.725
Bindemittel	140.346	53.412

Gesamtergebnis Schicht 2 / Unterputz

Porosität	Bindemittelanteil <small>Aus Messung 1</small>	Zuschlaganteil <small>Aus Messung 1</small>	B-Z-Verhältnis	Kalkgallenanteil <small>Aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Messung 1 und 2</small>	Carbonatanteil
1.870	52.770	47.230		1,656	Nicht ermittelt

Anmerkung: Porosität, Bindemittel und Zuschlag wurden, falls erforderlich, auf 100 % verrechnet.

Bindemittel und Zuschlag wurden auf 100% verrechnet.

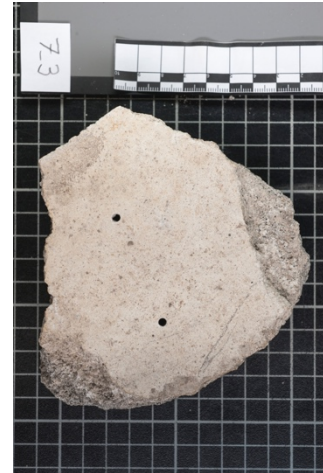
Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz von Messung 1 und Messung 2 ermittelt und ebenfalls auf 100% verrechnet.

Der Carbonatanteil wurde auf 100% verrechnet.

Fragment 7_3

Digitale Bildanalyse

Untersuchungsdatenblatt	
Daten der untersuchten Probe	
Ort	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument	PN_EN_6
Datierung (D'AMBROSIO/DE CARO 1983)	Augusteische Zeit ca. 27 v. Chr. – 14 n. Chr.
Probennummer Fragment	7_3
Art der Entnahme der Gesamtprobe	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probennahme	
Funktionskontext des Fragments	Wanddekoration, Stuck
Anzahl und Art der Schichten	3 Unterputzschichten, 1 Oberputzschicht
Probennummer Einzelprobe	7_3_2
Untersuchte Probenart	Dünnschliff poliert, nicht abgedeckt (4,8 x 4,8 cm)
Einbettungsmedium	Epoxidharz GP 20, blau eingefärbt mit Bluedye von Logitech
Daten der Untersuchung	
Untersuchte Kenngrößen	Komponentenverhältnisse
Untersuchungsmethode	Digitale Bildanalyse
Bilderzeugung (Flachbettscanner)	Mikrotek Scan Maker i900, 6400x3200 DPI CCO, 48 BIT
Bilddoptimierungssoftware	Photoshop CS6 / Camera RAW 7.0
Segmentierungssoftware	Photoshop CS6, ImageJ 2.0.0
Bildanalysesoftware (Messung)	ImageJ 2.0.0
Durchführende Personen	Edith Aichinger
Datum der Untersuchung	27.07. – 15.08.2015



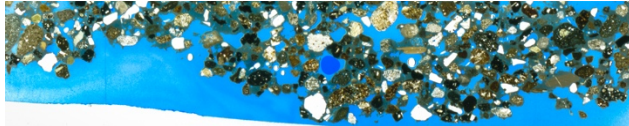
Stuckfragment, Gesamtansicht

Fragment 7_3

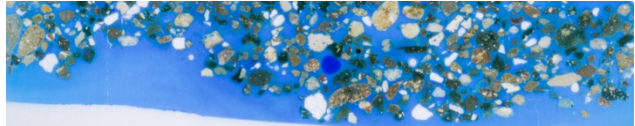
Digitale Bildanalyse

Schicht 1 / Unterputz

Ausgangsbild 1 der Segmentierung: Scan im Durchlicht



Ausgangsbild 2 der Segmentierung: Scan im Auflicht



Messungen

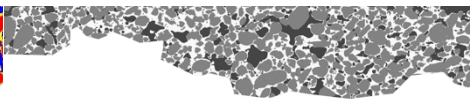
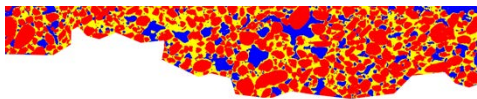
Ermittlung der Komponentenverhältnisse: Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonate, Gesamtporosität

Messung 1: Kalkgallen wurden zum Zuschlag gerechnet

Ergebnis der Messung 1

Falschfarbenbild 1 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)

Messbild 1 (Graustufenbild)



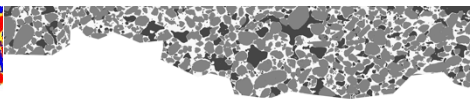
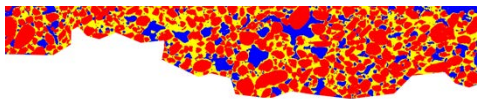
	Area mm ²	%Area
Gesamt	159.922	67.734
Porosität	26.154	11.078
Zuschlag	94.440	40.000
Bindemittel	39.328	16.657

Messung 2: Kalkgallen wurden zum Bindemittel gerechnet

Ergebnis der Messung 2

Falschfarbenbild 2 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)

Messbild 2 (Graustufenbild)



	Area mm ²	%Area
Gesamt	159.922	67.734
Porosität	26.154	11.077
Zuschlag	93.969	39.800
Bindemittel	39.799	16.857

Gesamtergebnis Schicht 1 / Unterputz

Porosität	Bindemittelanteil Aus Messung 1	Zuschlaganteil Aus Messung 1	B-Z-Verhältnis	Kalkgallenanteil Aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Messung 1 und 2	Carbonatanteil
16.355	29.399	70.601		0,354	Nicht ermittelt

Anmerkung: Porosität, Bindemittel und Zuschlag wurden, falls erforderlich, auf 100 % verrechnet.

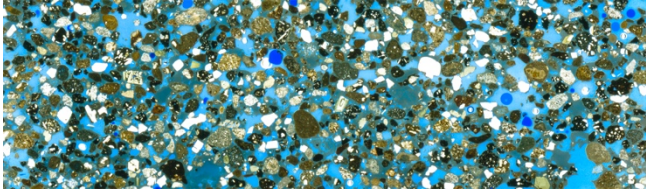
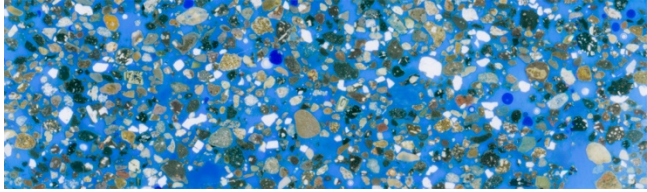
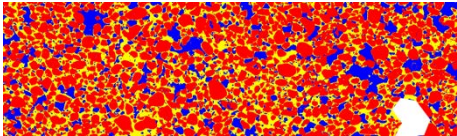
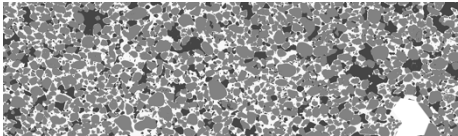
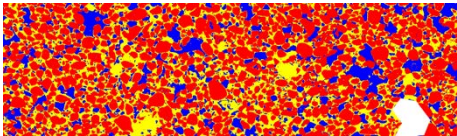
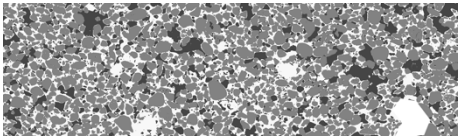
Bindemittel und Zuschlag wurden auf 100% verrechnet.

Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz von Messung 1 und Messung 2 ermittelt und ebenfalls auf 100% verrechnet.

Der Carbonatanteil wurde auf 100% verrechnet.

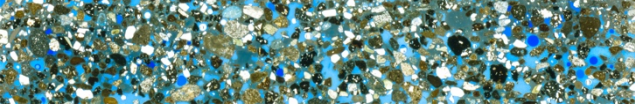
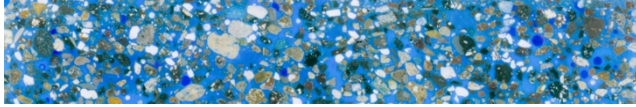
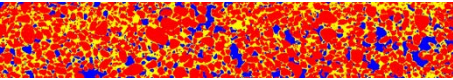
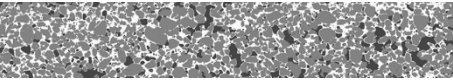
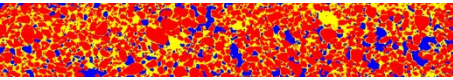
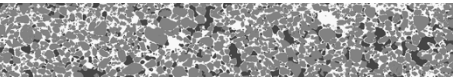
Fragment 7_3

Digitale Bildanalyse

Schicht 2 / Unterputz					
Ausgangsbild 1 der Segmentierung: Scan im Durchlicht		Ausgangsbild 2 der Segmentierung: Scan im Auflicht			
					
Messungen					
Ermittlung der Komponentenverhältnisse: Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonate, Gesamtporosität					
Messung 1: Kalkgallen wurden zum Zuschlag gerechnet			Ergebnis der Messung 1		
Falschfarbenbild 1 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)		Messbild 1 (Graustufenbild)			
					
			Area mm ²	%Area	
	Gesamt		474.118	98.364	
	Porosität		82.409	17.097	
	Zuschlag		285.109	59.151	
	Bindemittel		106.600	22.116	
Messung 2: Kalkgallen wurden zum Bindemittel gerechnet			Ergebnis der Messung 2		
Falschfarbenbild 2 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)		Messbild 2 (Graustufenbild)			
					
			Area mm ²	%Area	
	Gesamt		474.118	98.364	
	Porosität		82.385	17.092	
	Zuschlag		279.420	57.971	
	Bindemittel		112.313	23.301	
Gesamtergebnis Schicht 2 / Unterputz					
Porosität	Bindemittelanteil <small>Aus Messung 1</small>	Zuschlaganteil <small>Aus Messung 1</small>	B-Z-Verhältnis	Kalkgallenanteil <small>Aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Messung 1 und 2</small>	Carbonatanteil
17.381	27.214	72.786		1,456	Nicht ermittelt
Anmerkung: Porosität, Bindemittel und Zuschlag wurden, falls erforderlich, auf 100 % verrechnet. Bindemittel und Zuschlag wurden auf 100% verrechnet. Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz von Messung 1 und Messung 2 ermittelt und ebenfalls auf 100% verrechnet. Der Carbonatanteil wurde auf 100% verrechnet.					

Fragment 7_3

Digitale Bildanalyse

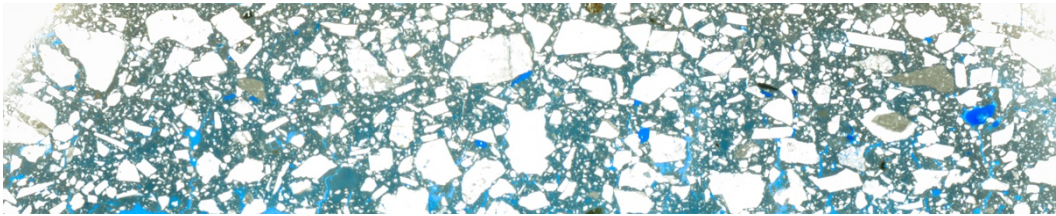
Schicht 3 / Unterputz					
Ausgangsbild 1 der Segmentierung: Scan im Durchlicht		Ausgangsbild 2 der Segmentierung: Scan im Auflicht			
					
Messungen					
Ermittlung der Komponentenverhältnisse: Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonate, Gesamtporosität					
Messung 1: Kalkgallen wurden zum Zuschlag gerechnet			Ergebnis der Messung 1		
Falschfarbenbild 1 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)		Messbild 1 (Graustufenbild)			
					
			Area mm ²	%Area	
			Gesamt	303.043	100.000
			Porosität	42.527	14.033
			Zuschlag	192.331	63.467
			Bindemittel	68.185	22.500
Messung 2: Kalkgallen wurden zum Bindemittel gerechnet			Ergebnis der Messung 2		
Falschfarbenbild 2 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)		Messbild 2 (Graustufenbild)			
					
			Area mm ²	%Area	
			Gesamt	303.043	100.000
			Porosität	42.521	14.031
			Zuschlag	189.575	62.557
			Bindemittel	70.946	23.411
Gesamtergebnis Schicht 2 / Unterputz					
Porosität	Bindemittelanteil Aus Messung 1	Zuschlaganteil Aus Messung 1	B-Z-Verhältnis	Kalkgallenanteil Aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Messung 1 und 2	Carbonatanteil
14.033	26.173	73.827		1,059	Nicht ermittelt
Anmerkung: Porosität, Bindemittel und Zuschlag wurden, falls erforderlich, auf 100 % verrechnet. Bindemittel und Zuschlag wurden auf 100% verrechnet. Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz von Messung 1 und Messung 2 ermittelt und ebenfalls auf 100% verrechnet. Der Carbonatanteil wurde auf 100% verrechnet.					

Fragment 7_3

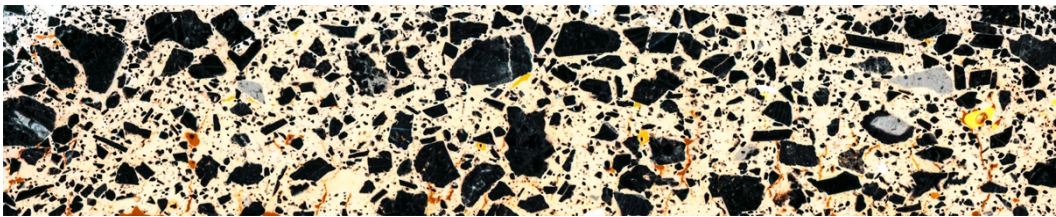
Digitale Bildanalyse

Schicht 4 / Oberputz

Ausgangsbild 1 der Segmentierung: Scan im Durchlicht



Ausgangsbild 2 der Segmentierung: Scan im Durchlicht negativ



Messungen

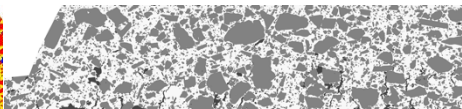
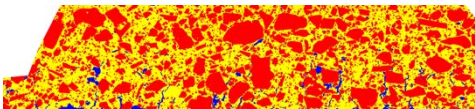
Ermittlung der Komponentenverhältnisse: Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonate, Porosität

Messung 1: Kalkgallen wurden zum Zuschlag gerechnet

Ergebnis der Messung 1

Falschfarbenbild 1 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)

Messbild 1 (Graustufenbild)



	Area mm ²	%Area
Gesamt	267.075	90.465
Porosität	8.408	2.848
Zuschlag	139.035	47.095
Bindemittel	119.632	40.523


Gesamtergebnis Schicht 2 / Unterputz

Porosität	Bindemittelanteil <small>Aus Messung 1</small>	Zuschlaganteil <small>Aus Messung 1</small>	B-Z-Verhältnis	Kalkgallenanteil <small>Aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Messung 1 und 2</small>	Carbonatanteil
3.148	46.249	53.75		0	Nicht ermittelt

Anmerkung: Porosität, Bindemittel und Zuschlag wurden, falls erforderlich, auf 100 % verrechnet.
 Bindemittel und Zuschlag wurden auf 100% verrechnet.
 Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz von Messung 1 und Messung 2 ermittelt und ebenfalls auf 100% verrechnet.
 Der Carbonatanteil wurde auf 100% verrechnet.

Fragment 8_3

Digitale Bildanalyse

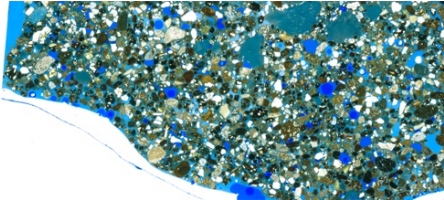
Untersuchungsdatenblatt			
Daten der untersuchten Probe			
Ort	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN		
Grabmonument	PN_EN_4		
Datierung (D'AMBROSIO/DE CARO 1983)	Julisch-claudische Zeit ca. 14–54 n. Chr.		
Probennummer Fragment	8_3		
Art der Entnahme der Gesamtprobe	Vom Boden geborgenes, loses Fragment		
Datum der Probennahme			
Funktionskontext des Fragments	Wanddekoration, Stuck		
Anzahl und Art der Schichten	2 Unterputzschichten, 1 Oberputzschicht		
Probennummer Einzelprobe	8_3_1		
Untersuchte Probenart	Dünnschliff poliert, nicht abgedeckt (4,8 x 4,8 cm)		
Einbettungsmedium	Epoxidharz GP 20, blau eingefärbt mit Bluedye von Logitech		
 <p>Stuckfragment, Gesamtansicht</p>			
		Daten der Untersuchung	
		Untersuchte Kenngrößen	Komponentenverhältnisse
		Untersuchungsmethode	Digitale Bildanalyse
		Bilderzeugung (Flachbettscanner)	Mikrotek Scan Maker i900, 6400x3200 DPI CCO, 48 BIT
		Bildoptimierungssoftware	Photoshop CS6 / Camera RAW 7.0
		Segmentierungssoftware	Photoshop CS6, ImageJ 2.0.0
		Bildanalysesoftware (Messung)	ImageJ 2.0.0
		Durchführende Personen	Edith Aichinger
Datum der Untersuchung	27.07. – 15.08.2015		

Fragment 8_3

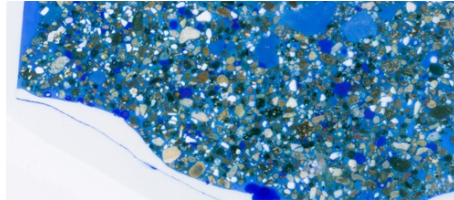
Digitale Bildanalyse

Schicht 1 / Unterputz

Ausgangsbild 1 der Segmentierung: Scan im Durchlicht



Ausgangsbild 2 der Segmentierung: Scan im Auflicht

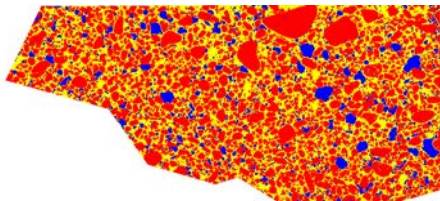


Messungen

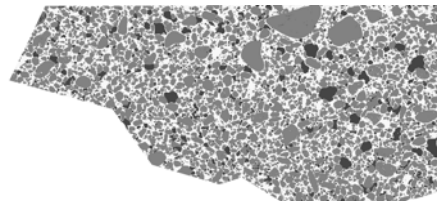
Ermittlung der Komponentenverhältnisse: Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonate, Gesamtporosität

Messung 1: Kalkgallen wurden zum Zuschlag gerechnet

Falschfarbenbild 1 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)



Messbild 1 (Graustufenbild)

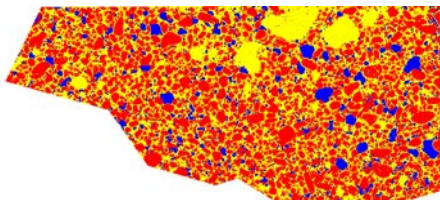


Ergebnis der Messung 1

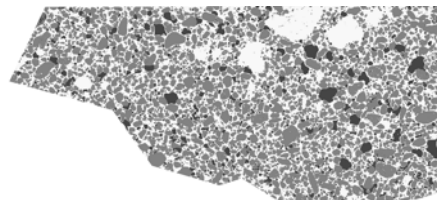
	Area mm ²	%Area
Gesamt	627.585	74.889
Porosität	65.908	7.865
Zuschlag	358.539	42.784
Bindemittel	203.137	24.240

Messung 2: Kalkgallen wurden zum Bindemittel gerechnet

Falschfarbenbild 2 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)



Messbild 2 (Graustufenbild)



Ergebnis der Messung 2

	Area mm ²	%Area
Gesamt	627.585	74.889
Porosität	65.853	7.858
Zuschlag	329.958	39.373
Bindemittel	231.774	27.657

Gesamtergebnis Schicht 1 / Unterputz

Porosität	Bindemittelanteil Aus Messung 1	Zuschlaganteil Aus Messung 1	B-Z-Verhältnis	Kalkgallenanteil Aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Messung 1 und 2	Carbonatanteil
10.502 %	36.167 %	63.833 %		5,094 %	Nicht ermittelt

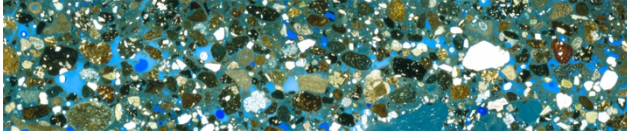
Anmerkung: Porosität, Bindemittel und Zuschlag wurden, falls erforderlich, auf 100 % verrechnet.
 Bindemittel und Zuschlag wurden auf 100% verrechnet.
 Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz von Messung 1 und Messung 2 ermittelt und ebenfalls auf 100% verrechnet.
 Der Carbonatanteil wurde auf 100% verrechnet.

Fragment 8_3

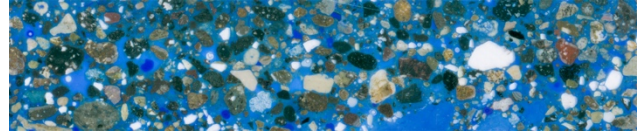
Digitale Bildanalyse

Schicht 2 / Unterputz

Ausgangsbild 1 der Segmentierung: Scan im Durchlicht



Ausgangsbild 2 der Segmentierung: Scan im Auflicht

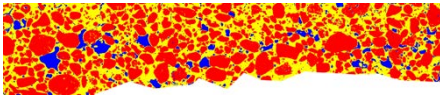


Messungen

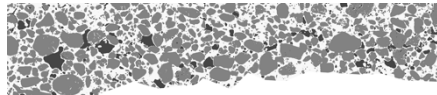
Ermittlung der Komponentenverhältnisse: Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonate, Gesamtporosität

Messung 1: (keine Kalkgallen enthalten)

Falschfarbenbild 1 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)



Messbild 1 (Graustufenbild)



Ergebnis der Messung 1

	Area mm ²	%Area
Gesamt	279.827	87.531
Porosität	20.325	6.358
Zuschlag	156.581	48.979
Bindemittel	102.922	32.194

Gesamtergebnis Schicht 2 / Unterputz

Porosität	Bindemittelanteil <small>Aus Messung 1</small>	Zuschlaganteil <small>Aus Messung 1</small>	B-Z-Verhältnis	Kalkgallenanteil <small>Aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Messung 1 und 2</small>	Carbonatanteil
7.264 %	39.660 %	60.339 %		0 %	Nicht ermittelt

Anmerkung: Porosität, Bindemittel und Zuschlag wurden, falls erforderlich, auf 100 % verrechnet.

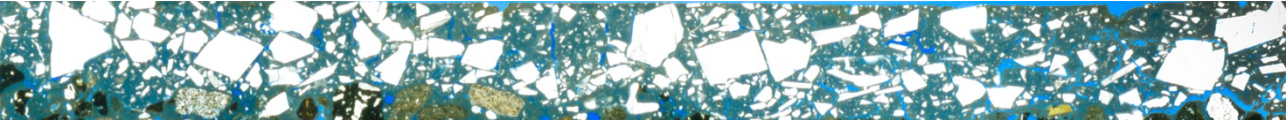
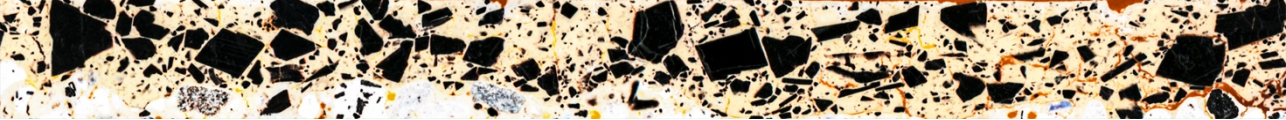
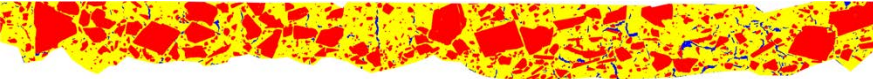

Bindemittel und Zuschlag wurden auf 100% verrechnet.

Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz von Messung 1 und Messung 2 ermittelt und ebenfalls auf 100% verrechnet.

Der Carbonatanteil wurde auf 100% verrechnet.


Fragment 8_3

Digitale Bildanalyse

Schicht 3 / Oberputz																				
Ausgangsbild 1 der Segmentierung: Scan im Durchlicht																				
																				
Ausgangsbild 2 der Segmentierung: Scan im Durchlicht negativ																				
																				
Messungen																				
Ermittlung der Komponentenverhältnisse: Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonate, Gesamtporosität																				
Messung 1 (keine Kalkgallen vorhanden)			Ergebnis der Messung 1																	
Falschfarbenbild 1 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)																				
			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Area mm²</th> <th>%Area</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gesamt</td> <td>123.259</td> <td>78.643</td> </tr> <tr> <td>Porosität</td> <td>2.863</td> <td>1.827</td> </tr> <tr> <td>Zuschlag</td> <td>53.945</td> <td>34.419</td> </tr> <tr> <td>Bindemittel</td> <td>66.450</td> <td>42.398</td> </tr> </tbody> </table>				Area mm ²	%Area	Gesamt	123.259	78.643	Porosität	2.863	1.827	Zuschlag	53.945	34.419	Bindemittel	66.450	42.398
	Area mm ²	%Area																		
Gesamt	123.259	78.643																		
Porosität	2.863	1.827																		
Zuschlag	53.945	34.419																		
Bindemittel	66.450	42.398																		
Messbild 1 (Graustufenbild)																				
																				
Gesamtergebnis Schicht 2 / Unterputz																				
Porosität	Bindemittelanteil <small>Aus Messung 1</small>	Zuschlaganteil <small>Aus Messung 1</small>	B-Z-Verhältnis	Kalkgallenanteil <small>Aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Messung 1 und 2</small>	Carbonatanteil															
2.323 %	55.194 %	40.806 %		0 %	Nicht ermittelt															
<p>Anmerkung: Porosität, Bindemittel und Zuschlag wurden, falls erforderlich, auf 100 % Fläche verrechnet. Bindemittel und Zuschlag wurden auf 100% verrechnet. Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz von Messung 1 und Messung 2 ermittelt und ebenfalls auf 100% verrechnet. Der Carbonatanteil wurde auf 100% verrechnet.</p>																				

Fragment 8_4

Digitale Bildanalyse

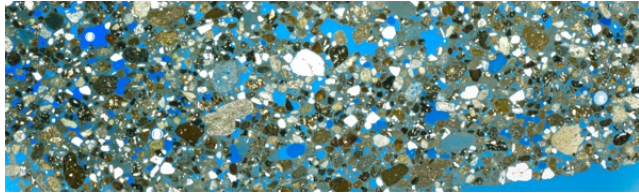
Untersuchungsdatenblatt	
Daten der untersuchten Probe	
Ort	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument	PN_EN_4
Datierung (D'AMBROSIO/DE CARO 1983)	Julisch-claudische Zeit ca. 14–54 n. Chr.
Probennummer Fragment	8_4
Art der Entnahme der Gesamtprobe	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probennahme	
Funktionskontext des Fragments	Wanddekoration, Stuck
Anzahl und Art der Schichten	2 Unterputzschichten, 1 Oberputzschicht
Probennummer Einzelprobe	8_4_2
Untersuchte Probenart	Dünnschliff poliert, nicht abgedeckt (4,8 x 4,8 cm)
Einbettungsmedium	Epoxidharz GP 20, blau eingefärbt mit Bluedye von Logitech
Daten der Untersuchung	
Untersuchte Kenngrößen	Komponentenverhältnisse
Untersuchungsmethode	Digitale Bildanalyse
Bilderzeugung (Flachbettscanner)	Mikrotek Scan Maker i900, 6400x3200 DPI CCO, 48 BIT
Bildoptimierungssoftware	Photoshop CS6 / Camera RAW 7.0
Segmentierungssoftware	Photoshop CS6, ImageJ 2.0.0
Bildanalysesoftware (Messung)	ImageJ 2.0.0
Durchführende Personen	Edith Aichinger
Datum der Untersuchung	27.07. – 15.08.2015
	 <p>Stuckfragment, Gesamtansicht</p>
	Schichtabfolge

Fragment 8_4

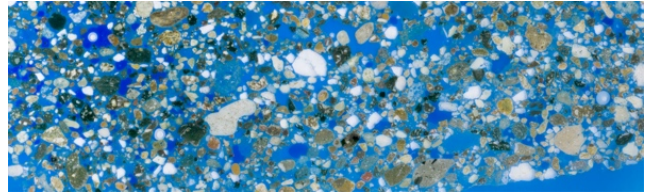
Digitale Bildanalyse

Schicht 1 / Unterputz

Ausgangsbild 1 der Segmentierung: Scan im Durchlicht



Ausgangsbild 2 der Segmentierung: Scan im Auflicht



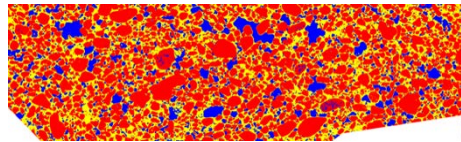
Messungen

Ermittlung der Komponentenverhältnisse: Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonate, Gesamtorosität

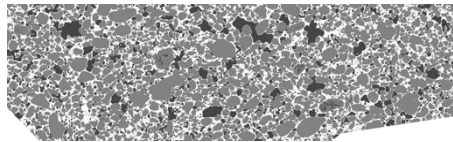
Messung 1: Kalkgallen wurden zum Zuschlag gerechnet

Ergebnis der Messung 1

Falschfarbenbild 1 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)



Messbild 1 (Graustufenbild)

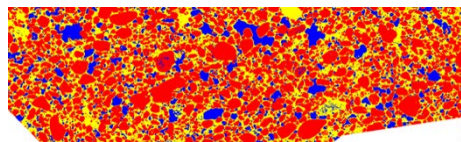


	Area mm ²	%Area
Gesamt	453.840	95.923
Porosität	65.598	13.865
Zuschlag	269.691	57.001
Bindemittel	118.557	25.058

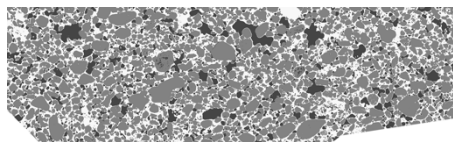
Messung 2: Kalkgallen wurden zum Bindemittel gerechnet

Ergebnis der Messung 2

Falschfarbenbild 2 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)



Messbild 2 (Graustufenbild)

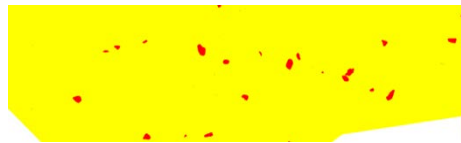


	Area mm ²	%Area
Gesamt	453.847	95.923
Porosität	65.491	13.84.191
Zuschlag	263.948	55.786
Bindemittel	125.106	26.441

Messung 3: Carbonatanteil

Ergebnis der Messung 3

Falschfarbenbild 3 (Carbonat: rot; Bindemittel: gelb)



Messbild 3 (Graustufenbild)



	Area mm ²	%Area
Gesamt	453.839	95.921
Carbonat	4.273	0.903

Gesamtergebnis Schicht 1 / Unterputz

Porosität	Bindemittelanteil Aus Messung 1	Zuschlaganteil Aus Messung 1	B-Z-Verhältnis	Kalkgallenanteil Aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Messung 1 und 2	Carbonatanteil
14.454 %	30.534 %	69.466 %	1 : 2.3	1,622 %	1,099 %

Anmerkung: Porosität, Bindemittel und Zuschlag wurden, falls erforderlich, auf 100 % verrechnet.

Bindemittel und Zuschlag wurden auf 100% verrechnet.

Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz von Messung 1 und Messung 2 ermittelt und ebenfalls auf 100% verrechnet.

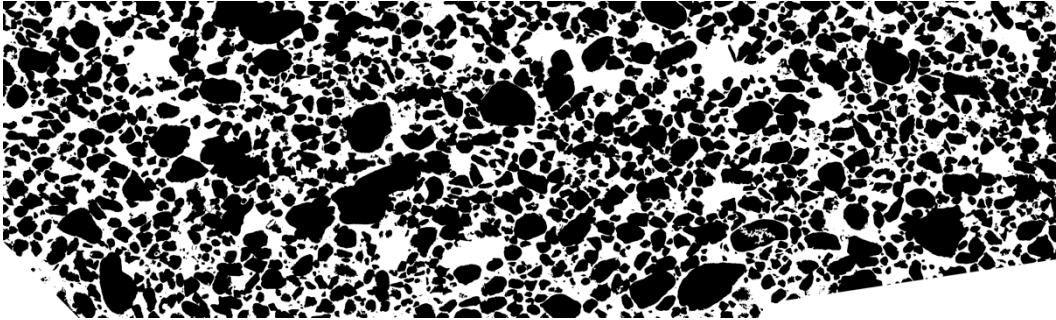
Der Carbonatanteil wurde auf 100% verrechnet.

Fragment 8_4

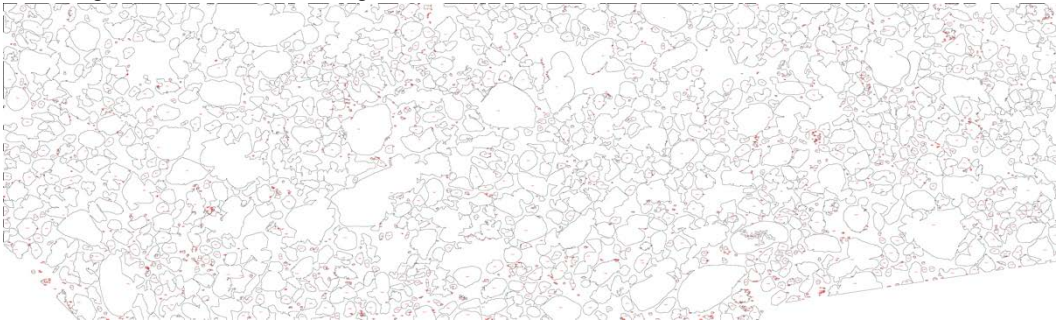
Digitale Bildanalyse

Ermittlung der Korngrößenverteilung / Schnellsegmentierung

Segmentiertes Messbild als Binärbild



Darstellung der erfassten Partikel im ImageJ



Ergebnis der Messung zur Korngrößenverteilung

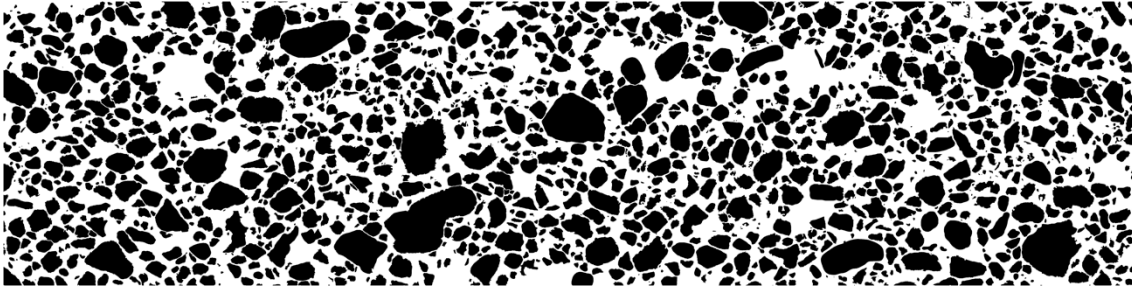
	Count	Total Area	Average Size px ²	Area %	100 % Area
Korngrößen (mm)	1691	266.282	0.157	56.280	100
> 2	9	65.929	7.325	13.934	24,75
≤ 2 bis >1	48	91.574	1.908	19.355	27,27
≤ 1 bis >0.8	31	25.175	0.812	5.321	9,45
≤ 0.8 bis > 0.5	112	43.517	0.389	9.197	16,35
≤ 0.5 bis > 0.32	141	22.383	0.159	4.731	8,40
≤ 0.32 bis > 0.25	88	7.015	0.080	1.483	2,63
≤ 0.25 bis > 0.125	231	8.040	0.035	1.699	3,02
≤ 0.125 bis > 0.063	221	1.865	0.008	0.394	0,69
≤ 0.063	810	0.784	9,68E-01	0.166	0,30

Fragment 8_4

Digitale Bildanalyse

Ermittlung der Korngrößenverteilung / Referenzmessung

Segmentiertes Messbild als Binärbild



Darstellung der erfassten Partikel im ImageJ

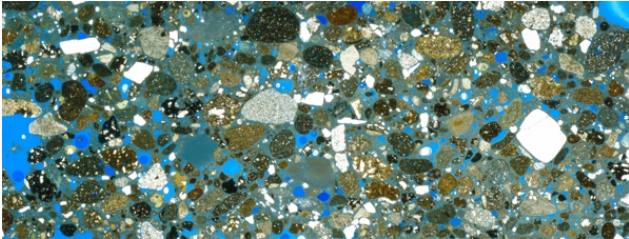
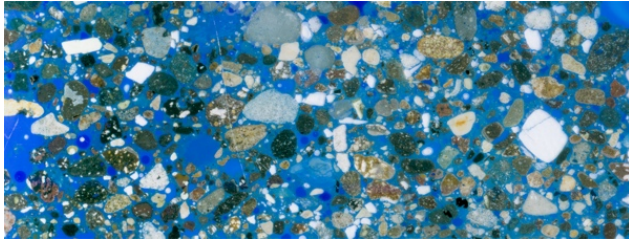
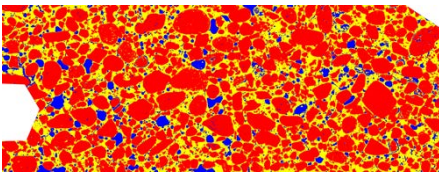
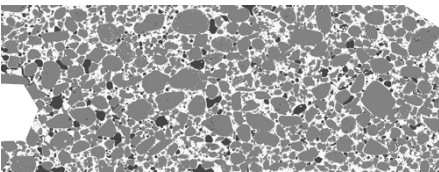
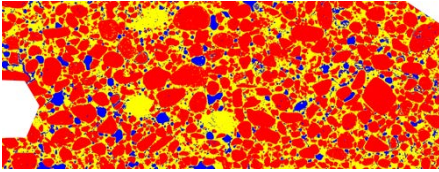
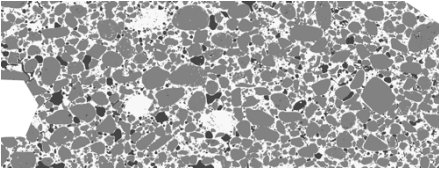
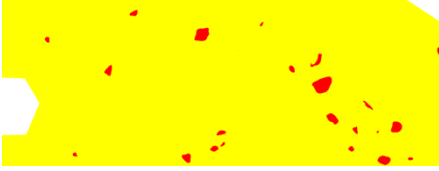



Ergebnis der Messung zur Korngrößenverteilung

	Count	Total Area	Average Size px ²	Area %	100 % Area
Korngrößen (mm)	1528	190.905	0.124	50.179	100
> 2	1	4.119	4.119	1,08	2,15
≤ 2 bis >1	16	26.047	1.627	6,85	13,65
≤ 1 bis >0.8	22	17.804	0.809	4,68	9,33
≤ 0.8 bis > 0.5	143	54.592	0.381	14,35	28,60
≤ 0.5 bis > 0.32	353	56.430	0.159	14,83	29,55
≤ 0.32 bis > 0.25	203	16.137	0.079	4,24	8,45
≤ 0.25 bis > 0.125	371	13.648	0.036	3,59	7,15
≤ 0.125 bis > 0.063	196	1.782	0.009	0,47	0,94
≤ 0.063	223	0.342	0.001	0,09	0,18

Fragment 8_4

Digitale Bildanalyse

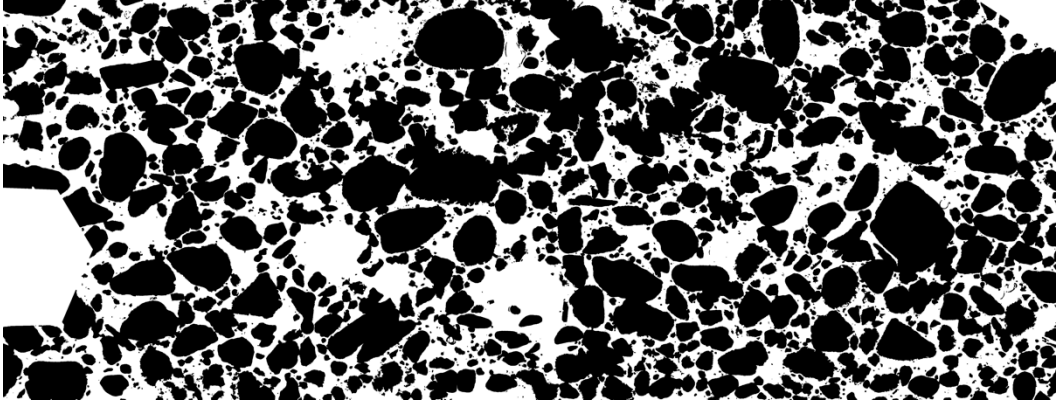
Schicht 2 / Unterputz																					
Ausgangsbild 1 der Segmentierung: Scan im Durchlicht		Ausgangsbild 2 der Segmentierung: Scan im Auflicht																			
																					
Messungen																					
Ermittlung der Komponentenverhältnisse: Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonate, Gesamtporosität																					
Messung 1: Kalkgallen wurden zum Zuschlag gerechnet				Ergebnis der Messung 1																	
Falschfarbenbild 1 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)		Messbild 1 (Graustufenbild)																			
				<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Area mm²</th> <th>%Area</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gesamt</td> <td>554.163</td> <td>97.092</td> </tr> <tr> <td>Porosität</td> <td>45.723</td> <td>8.011</td> </tr> <tr> <td>Zuschlag</td> <td>357.140</td> <td>62.572</td> </tr> <tr> <td>Bindemittel</td> <td>151.300</td> <td>26.508</td> </tr> </tbody> </table>				Area mm ²	%Area	Gesamt	554.163	97.092	Porosität	45.723	8.011	Zuschlag	357.140	62.572	Bindemittel	151.300	26.508
	Area mm ²	%Area																			
Gesamt	554.163	97.092																			
Porosität	45.723	8.011																			
Zuschlag	357.140	62.572																			
Bindemittel	151.300	26.508																			
Messung 2: Kalkgallen wurden zum Bindemittel gerechnet				Ergebnis der Messung 2																	
Falschfarbenbild 2 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)		Messbild 2 (Graustufenbild)																			
				<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Area mm²</th> <th>%Area</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gesamt</td> <td>554.163</td> <td>97.092</td> </tr> <tr> <td>Porosität</td> <td>45.686</td> <td>8.004</td> </tr> <tr> <td>Zuschlag</td> <td>346.130</td> <td>60.643</td> </tr> <tr> <td>Bindemittel</td> <td>162.348</td> <td>28.444</td> </tr> </tbody> </table>				Area mm ²	%Area	Gesamt	554.163	97.092	Porosität	45.686	8.004	Zuschlag	346.130	60.643	Bindemittel	162.348	28.444
	Area mm ²	%Area																			
Gesamt	554.163	97.092																			
Porosität	45.686	8.004																			
Zuschlag	346.130	60.643																			
Bindemittel	162.348	28.444																			
Messung 3: Carbonatanteil				Ergebnis der Messung 3																	
Falschfarbenbild 3 (Carbonat: rot; Bindemittel: gelb)		Messbild 3 (Graustufenbild)																			
				<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Area mm²</th> <th>%Area</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gesamt</td> <td>554.153</td> <td>97.08</td> </tr> <tr> <td>Carbonat</td> <td>8.79</td> <td>1.540</td> </tr> </tbody> </table>				Area mm ²	%Area	Gesamt	554.153	97.08	Carbonat	8.79	1.540						
	Area mm ²	%Area																			
Gesamt	554.153	97.08																			
Carbonat	8.79	1.540																			
Gesamtergebnis Schicht 2 / Unterputz																					
Porosität	Bindemittelanteil <small>Aus Messung 1</small>	Zuschlaganteil <small>Aus Messung 1</small>	B-Z-Verhältnis	Kalkgallenanteil <small>Aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Messung 1 und 2</small>	Carbonatanteil																
8.250 %	29.757 %	70.240 %	1 : 2.4	2,165 %	1,725 %																
Anmerkung: Porosität, Bindemittel und Zuschlag wurden, falls erforderlich, auf 100 % verrechnet. Bindemittel und Zuschlag wurden auf 100% verrechnet. Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz von Messung 1 und Messung 2 ermittelt und ebenfalls auf 100% verrechnet. Der Carbonatanteil wurde auf 100% verrechnet.																					

Fragment 8_4

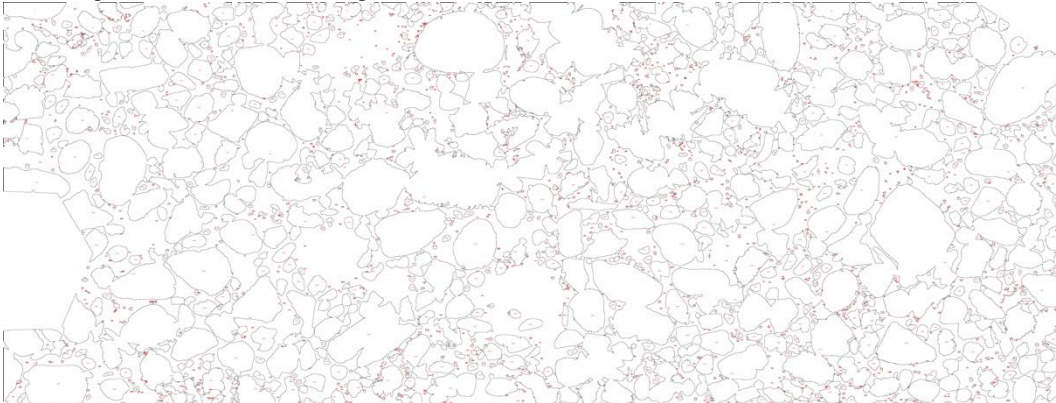
Digitale Bildanalyse

Ermittlung der Korngrößenverteilung / Schnellsegmentierung

Segmentiertes Messbild als Binärbild



Darstellung der erfassten Partikel im ImageJ



Ergebnis der Messung zur Korngrößenverteilung

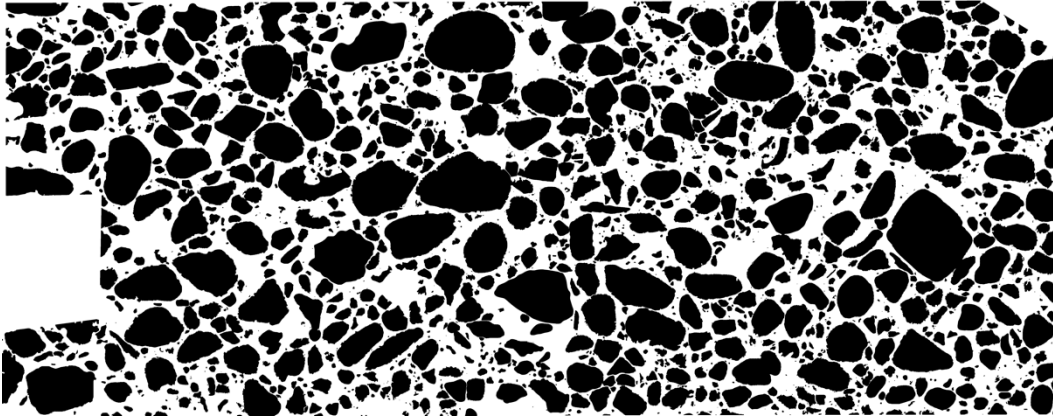
	Count	Total Area	Average Size px ²	Area %	100 % Area
Korngrößen (mm)	2005	345.548	0.172	60.541	100
> 2	18	185.056	10.281	32.423	53,55
≤ 2 bis >1	44	88.283	2.006	15.468	25,55
≤ 1 bis >0.8	17	13.549	0.797	2.374	3,91
≤ 0.8 bis > 0.5	83	31.870	0.384	5.584	9,22
≤ 0.5 bis > 0.32	82	12.863	0.157	2.254	3,72
≤ 0.32 bis > 0.25	51	4.004	0.079	0.702	1,16
≤ 0.25 bis > 0.125	199	6.297	0.032	1.103	1,82
≤ 0.125 bis > 0.063	297	2.281	0.008	0.400	0,66
≤ 0.063	1214	1.345	0.001	0.236	0,40

Fragment 8_4

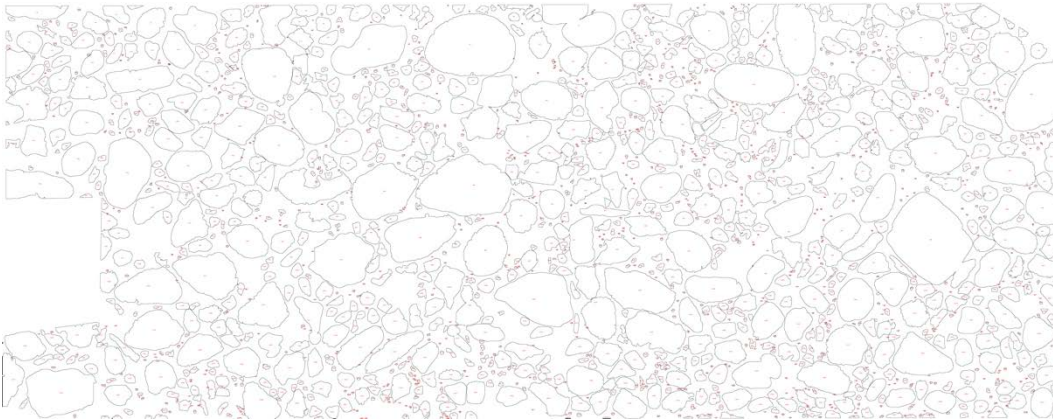
Digitale Bildanalyse

Ermittlung der Korngrößenverteilung / Referenzmessung

Segmentiertes Messbild als Binärbild



Darstellung der erfassten Partikel im ImageJ



Ergebnis der Messung zur Korngrößenverteilung

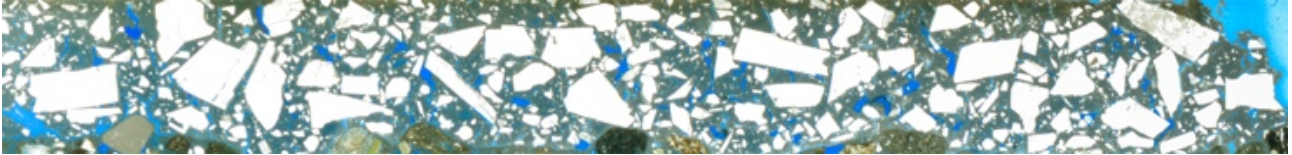
	Count	Total Area	Average Size px ²	Area %	100 % Area
Korngrößen (mm)	1678	314.654	0.188	54.796	100
> 2	3	18.628	6.209	3.244	5,91
≤ 2 bis >1	79	144.515	1.829	25.167	45,93
≤ 1 bis >0.8	47	37.938	0.807	6.607	12,06
≤ 0.8 bis > 0.5	150	60.449	0.403	10.527	19,22
≤ 0.5 bis > 0.32	195	32.140	0.165	5.597	10,22
≤ 0.32 bis > 0.25	110	8.986	0.082	1.565	2,86
≤ 0.25 bis > 0.125	257	8.824	0.034	1.537	2,81
≤ 0.125 bis > 0.063	291	2.414	0.008	0.420	0,77
≤ 0.063	546	0.761	0.001	0.132	0,24

Fragment 8_4

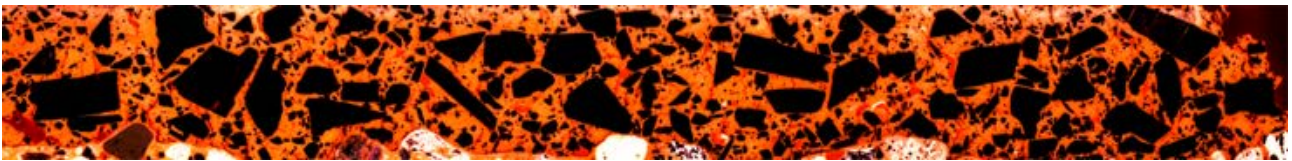
Digitale Bildanalyse

Schicht 3 / Oberputz

Ausgangsbild 1 der Segmentierung: Scan im Durchlicht



Ausgangsbild 2 der Segmentierung: Scan im Durchlicht negativ



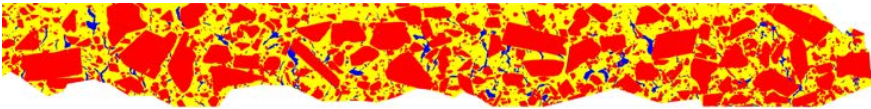
Messungen

Ermittlung der Komponentenverhältnisse: Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonate, Porosität

Messung 1 (keine Kalkgallen vorhanden)

Ergebnis der Messung 1

Falschfarbenbild 1 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)



	Area mm ²	%Area
Gesamt	123.749	51.687
Porosität	4.172	1.742
Zuschlag	54.528	22.775
Bindemittel	65.049	27.169

Messbild 1 (Graustufenbild)



Gesamtergebnis Schicht 2 / Unterputz

Porosität	Bindemittelanteil Aus Messung 1	Zuschlaganteil Aus Messung 1	B-Z-Verhältnis	Kalkgallenanteil Aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Messung 1 und 2	Carbonatanteil
8.250 %	29.757 %	70.240 %	1 : 2.4	2,165 %	1,725 %

Anmerkung: Porosität, Bindemittel und Zuschlag wurden, falls erforderlich, auf 100 % verrechnet.

Bindemittel und Zuschlag wurden auf 100% verrechnet.

Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz von Messung 1 und Messung 2 ermittelt und ebenfalls auf 100% verrechnet.


Der Carbonatanteil wurde auf 100% verrechnet.

Fragment 8_4


Digitale Bildanalyse

Ermittlung der Korngrößenverteilung / Schnellsegmentierung

Segmentiertes Messbild als Binärbild



Darstellung der erfassten Partikel im ImageJ




Ergebnis der Messung zur Korngrößenverteilung


	Count	Total Area	Average Size px ²	Area %	100 % Area
Korngrößen (mm)	800	77.862	0.097	48.432	100
> 2,0	1	8.151	8.151	5.070	10,47
1,0-2,0	18	39.611	2.201	24.639	50,88
0,125-1,0	247	27.487	0.111	17.098	35,31
0,063-0,125	251	2.018	0.008	1.255	2,60
< 0,063	283	0.595	0.002	0.370	0,76

Ermittlung der Korngrößenverteilung / Referenzmessung

Segmentiertes Messbild als Binärbild



Darstellung der erfassten Partikel im ImageJ




Ergebnis der Messung zur Korngrößenverteilung

	Count	Total Area	Average Size px ²	Area %	100 % Area
Korngrößen (mm)	1191	64.690	0.054	37.338	100
> 2,0	0	0.000	NaN	0.000	0,00
1,0-2,0	15	25.958	1.731	14.982	40,12
0,125-1,0	314	35.468	0.113	20.471	54,82
0,063-0,125	288	2.329	0.008	1.344	3,59
< 0,063	574	0.935	0.002	0.540	1,45

Fragment 9_2

Digitale Bildanalyse

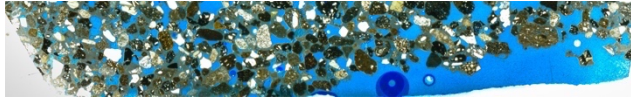
Untersuchungsdatenblatt	
Daten der untersuchten Probe	
Ort	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument	PN_EN_6
Datierung (D'AMBROSIO/DE CARO 1983)	Augusteische Zeit ca. 27 v. Chr. – 14 n. Chr.
Probennummer Fragment	9_2
Art der Entnahme der Gesamtprobe	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probennahme	
Funktionskontext des Fragments	Wanddekoration, Stuck
Anzahl und Art der Schichten	3 Unterputzschichten, 1 Oberputzschicht
Probennummer Einzelprobe	9_2_1
Untersuchte Probenart	Dünnschliff poliert, nicht abgedeckt (4,8 x 4,8 cm)
Einbettungsmedium	Epoxidharz GP 20, blau eingefärbt mit Bluedye von Logitech
Daten der Untersuchung	
Untersuchte Kenngrößen	Komponentenverhältnisse
Untersuchungsmethode	Digitale Bildanalyse
Bilderzeugung (Flachbettscanner)	Mikrotek Scan Maker i900, 6400x3200 DPI CCO, 48 BIT
Bilddoptimierungssoftware	Photoshop CS6 / Camera RAW 7.0
Segmentierungssoftware	Photoshop CS6, ImageJ 2.0.0
Bildanalysesoftware (Messung)	ImageJ 2.0.0
Durchführende Personen	Edith Aichinger
Datum	
 <p>Stuckfragment, Gesamtansicht</p>	
Schichtabfolge	

Fragment 9_2

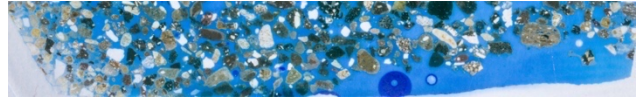
Digitale Bildanalyse

Schicht 1 / Unterputz

Ausgangsbild 1 der Segmentierung: Scan im Durchlicht



Ausgangsbild 2 der Segmentierung: Scan im Auflicht



Messungen

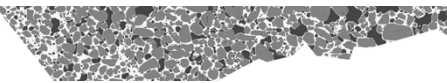
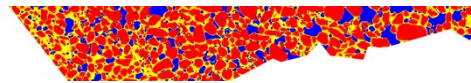
Ermittlung der Komponentenverhältnisse: Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonate, Gesamtporosität

Messung 1: Kalkgallen wurden zum Zuschlag gerechnet

Ergebnis der Messung 1

Falschfarbenbild 1 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)

Messbild 1 (Graustufenbild)



	Area mm ²	%Area
Gesamt	140.063	70.770
Porosität	23.858	12.055
Zuschlag	81.149	41.002
Bindemittel	35.057	17.713

Gesamtergebnis Schicht 1 / Unterputz

Porosität	Bindemittelanteil Aus Messung 1	Zuschlaganteil Aus Messung 1	B-Z-Verhältnis	Kalkgallenanteil Aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Messung 1 und 2	Carbonatanteil
17.034	30.168	69.832		0	Nicht ermittelt

Anmerkung: Porosität, Bindemittel und Zuschlag wurden, falls erforderlich, auf 100 % verrechnet.

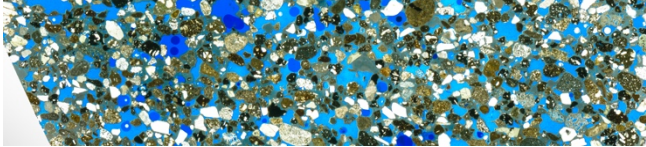
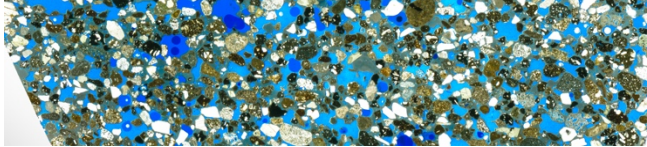
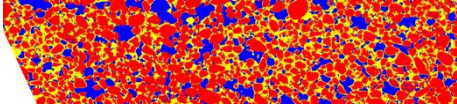
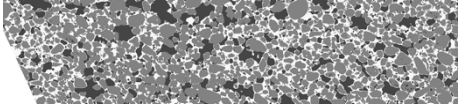
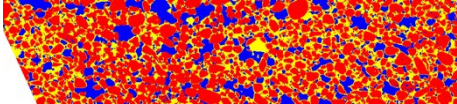
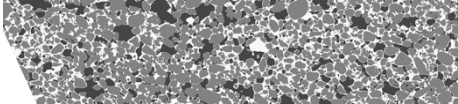
Bindemittel und Zuschlag wurden auf 100% verrechnet.

Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz von Messung 1 und Messung 2 ermittelt und ebenfalls auf 100% verrechnet.

Der Carbonatanteil wurde auf 100% verrechnet.

Fragment 9_2

Digitale Bildanalyse

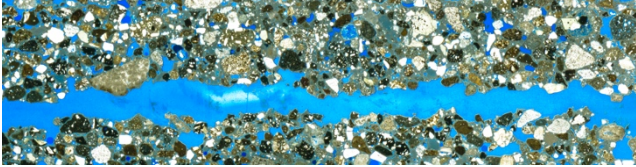
Schicht 2 / Unterputz																
Ausgangsbild 1 der Segmentierung: Scan im Durchlicht	Ausgangsbild 2 der Segmentierung: Scan im Auflicht															
																
Messungen																
Ermittlung der Komponentenverhältnisse: Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonate, Gesamtporosität																
Messung 1: Kalkgallen wurden zum Zuschlag gerechnet	Ergebnis der Messung 1															
Falschfarbenbild 1 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb) 	Messbild 1 (Graustufenbild) 															
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Area mm²</th> <th>%Area</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gesamt</td> <td>359.625</td> <td>97.391</td> </tr> <tr> <td>Porosität</td> <td>72.189</td> <td>19.550</td> </tr> <tr> <td>Zuschlag</td> <td>201.151</td> <td>54.474</td> </tr> <tr> <td>Bindemittel</td> <td>86.286</td> <td>23.367</td> </tr> </tbody> </table>		Area mm ²	%Area	Gesamt	359.625	97.391	Porosität	72.189	19.550	Zuschlag	201.151	54.474	Bindemittel	86.286	23.367
	Area mm ²	%Area														
Gesamt	359.625	97.391														
Porosität	72.189	19.550														
Zuschlag	201.151	54.474														
Bindemittel	86.286	23.367														
Messung 2: Kalkgallen wurden zum Bindemittel gerechnet	Ergebnis der Messung 2															
Falschfarbenbild 2 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb) 	Messbild 2 (Graustufenbild) 															
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Area mm²</th> <th>%Area</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gesamt</td> <td>359.625</td> <td>97.391</td> </tr> <tr> <td>Porosität</td> <td>72.188</td> <td>19.549</td> </tr> <tr> <td>Zuschlag</td> <td>199.988</td> <td>54.160</td> </tr> <tr> <td>Bindemittel</td> <td>87.449</td> <td>23.682</td> </tr> </tbody> </table>		Area mm ²	%Area	Gesamt	359.625	97.391	Porosität	72.188	19.549	Zuschlag	199.988	54.160	Bindemittel	87.449	23.682
	Area mm ²	%Area														
Gesamt	359.625	97.391														
Porosität	72.188	19.549														
Zuschlag	199.988	54.160														
Bindemittel	87.449	23.682														
Gesamtergebnis Schicht 2 / Unterputz																
Porosität	Bindemittelanteil <small>Aus Messung 1</small>	Zuschlaganteil <small>Aus Messung 1</small>	B-Z-Verhältnis	Kalkgallenanteil <small>Aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Messung 1 und 2</small>	Carbonatanteil											
20.074	30.019	69.980		0,403	Nicht ermittelt											
Anmerkung: Porosität, Bindemittel und Zuschlag wurden, falls erforderlich, auf 100 % verrechnet. Bindemittel und Zuschlag wurden auf 100% verrechnet. Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz von Messung 1 und Messung 2 ermittelt und ebenfalls auf 100% verrechnet. Der Carbonatanteil wurde auf 100% verrechnet.																

Fragment 9_2

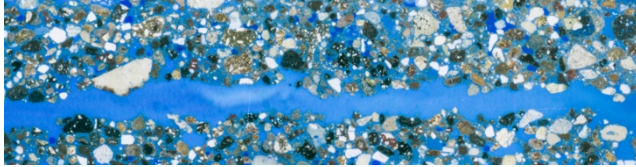
Digitale Bildanalyse

Schicht 3 / Unterputz

Ausgangsbild 1 der Segmentierung: Scan im Durchlicht



Ausgangsbild 2 der Segmentierung: Scan im Auflicht

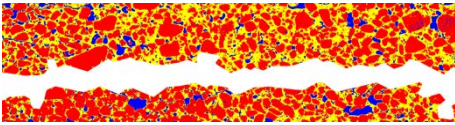


Messungen

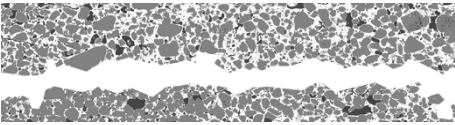
Ermittlung der Komponentenverhältnisse: Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonate, Gesamtporosität

Messung 1: Kalkgallen wurden zum Zuschlag gerechnet

Falschfarbenbild 1 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)



Messbild 1 (Graustufenbild)

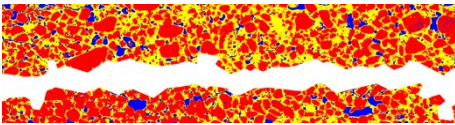


Ergebnis der Messung 1

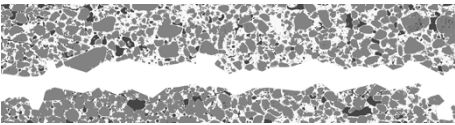
	Area mm ²	%Area
Gesamt	274.347	78.656
Porosität	23.836	6.834
Zuschlag	166.155	47.637
Bindemittel	84.355	24.185

Messung 2: Kalkgallen wurden zum Bindemittel gerechnet

Falschfarbenbild 2 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)



Messbild 2 (Graustufenbild)



Ergebnis der Messung 2

	Area mm ²	%Area
Gesamt	274.348	78.656
Porosität	23.829	6.832
Zuschlag	164.334	47.115
Bindemittel	86.185	24.709

Gesamtergebnis Schicht 2 / Unterputz

Porosität	Bindemittelanteil <small>Aus Messung 1</small>	Zuschlaganteil <small>Aus Messung 1</small>	B-Z-Verhältnis	Kalkgallenanteil <small>Aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Messung 1 und 2</small>	Carbonatanteil
8.688	33.712	66.326		0,728	Nicht ermittelt

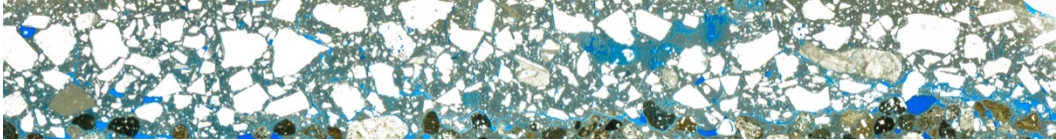
Anmerkung: Porosität, Bindemittel und Zuschlag wurden, falls erforderlich, auf 100 % verrechnet.
 Bindemittel und Zuschlag wurden auf 100% verrechnet.
 Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz von Messung 1 und Messung 2 ermittelt und ebenfalls auf 100% verrechnet.
 Der Carbonatanteil wurde auf 100% verrechnet.

Fragment 9_2

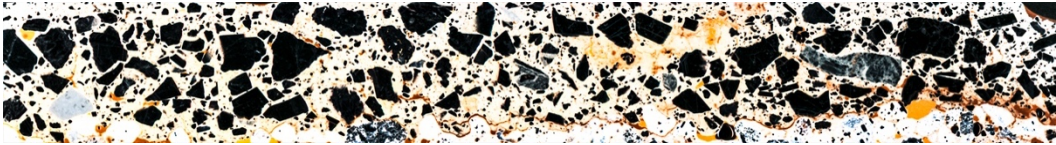
Digitale Bildanalyse

Schicht 4 / Oberputz

Ausgangsbild 1 der Segmentierung: Scan im Durchlicht



Ausgangsbild 2 der Segmentierung: Scan im Durchlicht negativ



Messungen

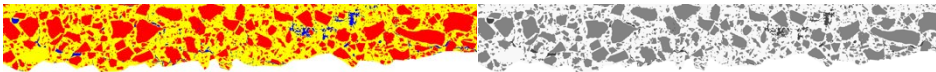
Ermittlung der Komponentenverhältnisse: Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonate, Gesamtporosität

Messung 1: Kalkgallen wurden zum Zuschlag gerechnet

Ergebnis der Messung 1

Falschfarbenbild 1 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)

Messbild 1 (Graustufenbild)



	Area mm ²	%Area
Gesamt	152.776	80.967
Porosität	4.207	2.229
Zuschlag	65.858	34.903
Bindemittel	82.711	43.835

Gesamtergebnis Schicht 2 / Unterputz

Porosität	Bindemittelanteil Aus Messung 1	Zuschlaganteil Aus Messung 1	B-Z-Verhältnis	Kalkgallenanteil Aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Messung 1 und 2	Carbonatanteil
2.753	50.770	46.230		0	Nicht ermittelt

Anmerkung: Porosität, Bindemittel und Zuschlag wurden, falls erforderlich, auf 100 % verrechnet.


Bindemittel und Zuschlag wurden auf 100% verrechnet.

Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz von Messung 1 und Messung 2 ermittelt und ebenfalls auf 100% verrechnet.

Der Carbonatanteil wurde auf 100% verrechnet.

Fragment 9_5

Digitale Bildanalyse

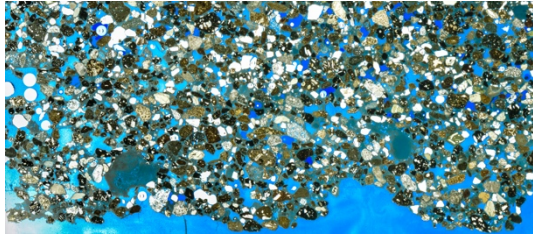
Untersuchungsdatenblatt	
Daten der untersuchten Probe	
Ort	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument	PN_EN_6
Datierung (D'AMBROSIO/DE CARO 1983)	Augusteische Zeit ca. 27 v. Chr. – 14 n. Chr.
Probennummer Fragment	9_5
Art der Entnahme der Gesamtprobe	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probennahme	
Funktionskontext des Fragments	Wanddekoration, Stuck
Anzahl und Art der Schichten	3 Unterputzschichten, 1 Oberputzschicht
Probennummer Einzelprobe	9_5_2
Untersuchte Probenart	Dünnschliff poliert, nicht abgedeckt (4,8 x 4,8 cm)
Einbettungsmedium	Epoxidharz GP 20, blau eingefärbt mit Bluedye von Logitech
	
Stuckfragment, Gesamtansicht	
Daten der Untersuchung	
Untersuchte Kenngrößen	Komponentenverhältnisse
Untersuchungsmethode	Digitale Bildanalyse
Bilderzeugung (Flachbettscanner)	Mikrotek Scan Maker i900, 6400x3200 DPI CCO, 48 BIT
Bildoptimierungssoftware	Photoshop CS6 / Camera RAW 7.0
Segmentierungssoftware	Photoshop CS6, ImageJ 2.0.0
Bildanalysesoftware (Messung)	ImageJ 2.0.0
Durchführende Personen	Edith Aichinger
Datum der Untersuchung	27.07. – 15.08.2015

Fragment 9_5

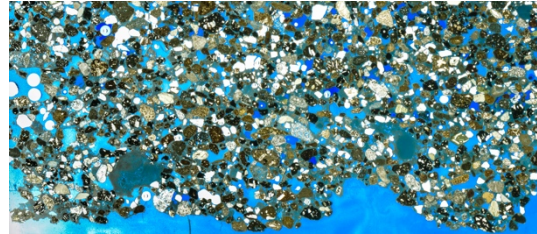
Digitale Bildanalyse

Schicht 1 / Unterputz

Ausgangsbild 1 der Segmentierung: Scan im Durchlicht



Ausgangsbild 2 der Segmentierung: Scan im Auflicht

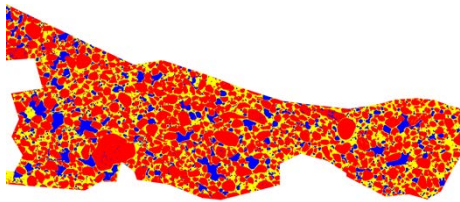


Messungen

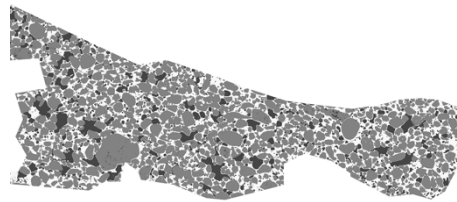
Ermittlung der Komponentenverhältnisse: Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonate, Gesamtporosität

Messung 1: Kalkgallen wurden zum Zuschlag gerechnet

Falschfarbenbild 1 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)



Messbild 1 (Graustufenbild)

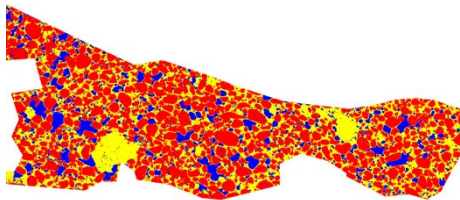


Ergebnis der Messung 1

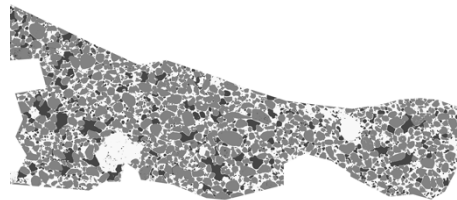
	Area mm ²	%Area
Gesamt	380.195	52.262
Porosität	54.777	7.530
Zuschlag	223.254	30.689
Bindemittel	102.165	14.044

Messung 2: Kalkgallen wurden zum Bindemittel gerechnet

Falschfarbenbild 2 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)



Messbild 2 (Graustufenbild)



Ergebnis der Messung 2

	Area mm ²	%Area
Gesamt	380.195	52.262
Porosität	54.765	7.528
Zuschlag	208.945	28.722
Bindemittel	116.484	16.012

Messung 3: Carbonatanteil

Falschfarbenbild 3 (Carbonat: rot; Bindemittel: gelb)



Messbild 3 (Graustufenbild)



Ergebnis der Messung 3

	Area mm ²	%Area
Carbonat	4.076	0.560

Gesamtergebnis Schicht 1 / Unterputz

Porosität	Bindemittelanteil Aus Messung 1	Zuschlaganteil Aus Messung 1	B-Z-Verhältnis	Kalkgallenanteil Aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Messung 1 und 2	Carbonatanteil
14.408	31.340	68.605		4,399	1,251

Anmerkung: Porosität, Bindemittel und Zuschlag wurden, falls erforderlich, auf 100 % verrechnet.

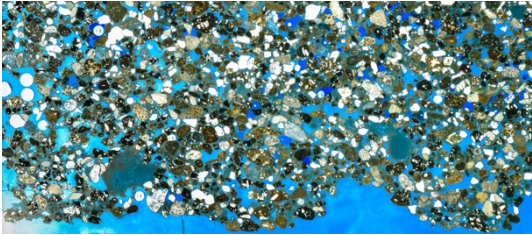
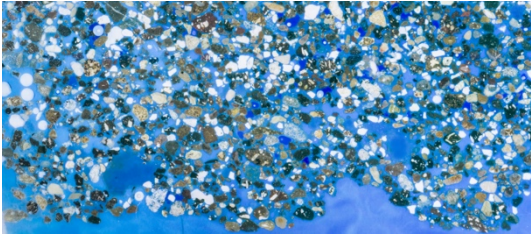
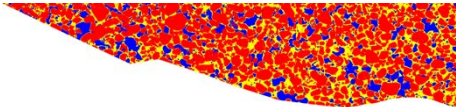
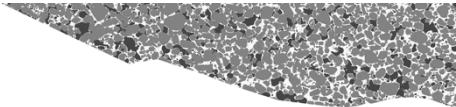
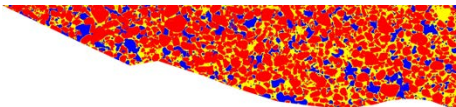
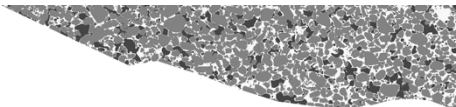

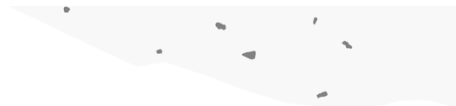
Bindemittel und Zuschlag wurden auf 100% verrechnet.

Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz von Messung 1 und Messung 2 ermittelt und ebenfalls auf 100% verrechnet.

Der Carbonatanteil wurde auf 100% verrechnet.

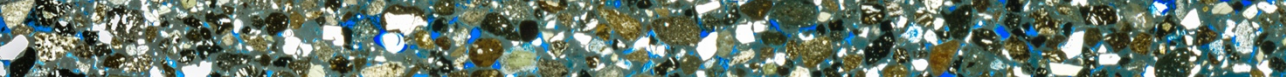






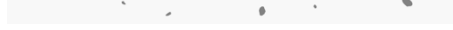
Fragment 9_5

Digitale Bildanalyse

Schicht 2 / Unterputz					
Ausgangsbild 1 der Segmentierung: Scan im Durchlicht		Ausgangsbild 2 der Segmentierung: Scan im Auflicht			
					
Messungen					
Ermittlung der Komponentenverhältnisse: Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonate, Gesamtporosität					
Messung 1: Kalkgallen wurden zum Zuschlag gerechnet			Ergebnis der Messung 1		
Falschfarbenbild 1 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)		Messbild 1 (Graustufenbild)			
					
			Area mm ²	%Area	
			Gesamt	260.278	35.778
			Porosität	39.701	5.457
			Zuschlag	161.845	22.247
			Bindemittel	58.732	8.073
Messung 2: Kalkgallen wurden zum Bindemittel gerechnet			Ergebnis der Messung 2		
Falschfarbenbild 2 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)		Messbild 2 (Graustufenbild)			
					
			Area mm ²	%Area	
			Gesamt	260.278	35.778
			Porosität	39.698	5.457
			Zuschlag	160.586	22.074
			Bindemittel	59.994	8.247
Messung 3: Carbonatanteil			Ergebnis der Messung 3		
Falschfarbenbild 3 (Carbonat: rot; Bindemittel: gelb)		Messbild 3 (Graustufenbild)			
					
			Area mm ²	%Area	
			Gesamt	260.278	35.778
			Carbonat	2.313	0.318
Gesamtergebnis Schicht 2 / Unterputz					
Porosität	Bindemittelanteil Aus Messung 1	Zuschlaganteil Aus Messung 1	B-Z-Verhältnis	Kalkgallenanteil Aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Messung 1 und 2	Carbonatanteil
15.252	27.044	72.956		0,155	1,044
Anmerkung: Porosität, Bindemittel und Zuschlag wurden, falls erforderlich, auf 100 % verrechnet. Bindemittel und Zuschlag wurden auf 100% verrechnet. Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz von Messung 1 und Messung 2 ermittelt und ebenfalls auf 100% verrechnet. Der Carbonatanteil wurde auf 100% verrechnet.					

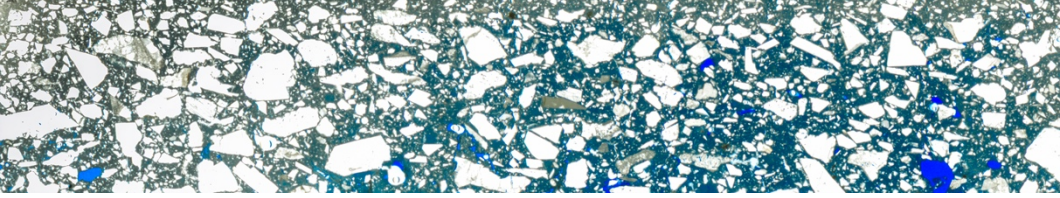
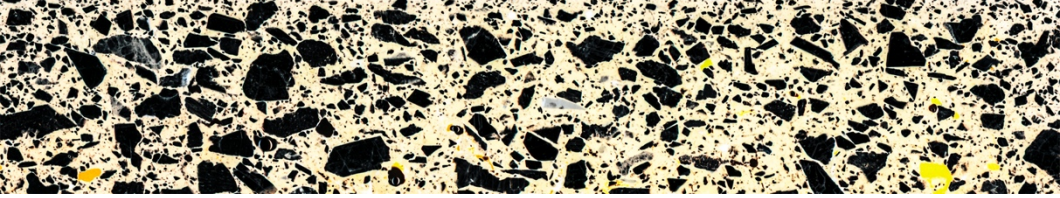
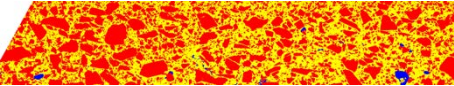
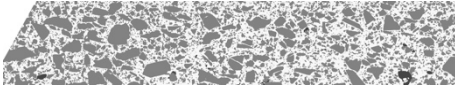
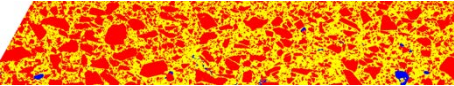
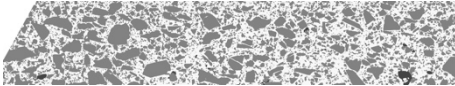
Fragment 9_5

Digitale Bildanalyse

Schicht 3 / Unterputz																				
Ausgangsbild 1 der Segmentierung: Scan im Durchlicht																				
																				
Ausgangsbild 2 der Segmentierung: Scan im Auflicht																				
																				
Messungen																				
Ermittlung der Komponentenverhältnisse: Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonate, Gesamtporosität																				
Messung 1: Kalkgallen wurden zum Zuschlag gerechnet			Ergebnis der Messung 1																	
Falschfarbenbild 1 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)		Messbild 1 (Graustufenbild)																		
																				
			<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Area mm²</th> <th>%Area</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gesamt</td> <td>107.416</td> <td>100.000</td> </tr> <tr> <td>Porosität</td> <td>4.502</td> <td>4.192</td> </tr> <tr> <td>Zuschlag</td> <td>72.108</td> <td>67.130</td> </tr> <tr> <td>Bindemittel</td> <td>30.806</td> <td>28.679</td> </tr> </tbody> </table>				Area mm ²	%Area	Gesamt	107.416	100.000	Porosität	4.502	4.192	Zuschlag	72.108	67.130	Bindemittel	30.806	28.679
	Area mm ²	%Area																		
Gesamt	107.416	100.000																		
Porosität	4.502	4.192																		
Zuschlag	72.108	67.130																		
Bindemittel	30.806	28.679																		
Messung 2: Kalkgallen wurden zum Bindemittel gerechnet			Ergebnis der Messung 2																	
Falschfarbenbild 2 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)		Messbild 2 (Graustufenbild)																		
																				
			<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Area mm²</th> <th>%Area</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gesamt</td> <td>107.416</td> <td>100.000</td> </tr> <tr> <td>Porosität</td> <td>4.501</td> <td>4.191</td> </tr> <tr> <td>Zuschlag</td> <td>71.364</td> <td>66.438</td> </tr> <tr> <td>Bindemittel</td> <td>31.550</td> <td>29.372</td> </tr> </tbody> </table>				Area mm ²	%Area	Gesamt	107.416	100.000	Porosität	4.501	4.191	Zuschlag	71.364	66.438	Bindemittel	31.550	29.372
	Area mm ²	%Area																		
Gesamt	107.416	100.000																		
Porosität	4.501	4.191																		
Zuschlag	71.364	66.438																		
Bindemittel	31.550	29.372																		
Messung 3: Carbonatanteil			Ergebnis der Messung 3																	
Falschfarbenbild 3 (Carbonat: rot; Bindemittel: gelb)		Messbild 3 (Graustufenbild)																		
																				
			<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Area mm²</th> <th>%Area</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gesamt</td> <td>107.416</td> <td>100.000</td> </tr> <tr> <td>Carbonat</td> <td>1.251</td> <td>1.165</td> </tr> </tbody> </table>				Area mm ²	%Area	Gesamt	107.416	100.000	Carbonat	1.251	1.165						
	Area mm ²	%Area																		
Gesamt	107.416	100.000																		
Carbonat	1.251	1.165																		
Gesamtergebnis Schicht 2 / Unterputz																				
Porosität	Bindemittelanteil Aus Messung 1	Zuschlaganteil Aus Messung 1	B-Z-Verhältnis	Kalkgallenanteil Aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Messung 1 und 2	Carbonatanteil															
4.192	29.934	70.066		0,723	1,215															
<p>Anmerkung: Porosität, Bindemittel und Zuschlag wurden, falls erforderlich, auf 100 % verrechnet. Bindemittel und Zuschlag wurden auf 100% verrechnet. Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz von Messung 1 und Messung 2 ermittelt und ebenfalls auf 100% verrechnet. Der Carbonatanteil wurde auf 100% verrechnet.</p>																				

Fragment 9_5

Digitale Bildanalyse

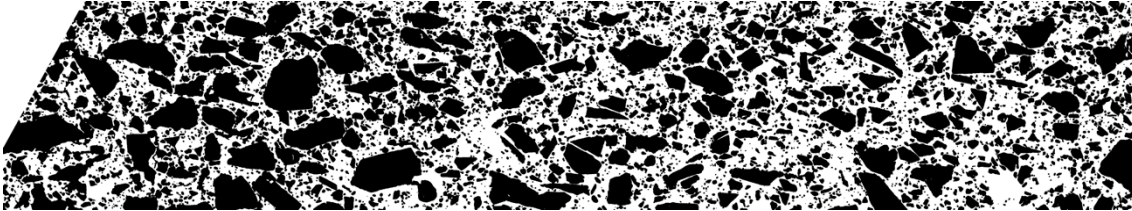
Schicht 4 / Oberputz																				
Ausgangsbild 1 der Segmentierung: Scan im Durchlicht																				
																				
Ausgangsbild 2 der Segmentierung: Scan im Durchlicht negativ																				
																				
Messungen																				
Ermittlung der Komponentenverhältnisse: Bindemittel, Kalkgallen, Zuschlag, Carbonate, Porosität																				
Messung 1: Kalkgallen wurden zum Zuschlag gerechnet			Ergebnis der Messung 1																	
Falschfarbenbild 1 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)			Messbild 1 (Graustufenbild)																	
				<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Area mm²</th> <th>%Area</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gesamt</td> <td>305.103</td> <td>97.502</td> </tr> <tr> <td>Porosität</td> <td>2.941</td> <td>0.940</td> </tr> <tr> <td>Zuschlag</td> <td>166.128</td> <td>53.090</td> </tr> <tr> <td>Bindemittel</td> <td>136.034</td> <td>43.472</td> </tr> </tbody> </table>		Area mm ²	%Area	Gesamt	305.103	97.502	Porosität	2.941	0.940	Zuschlag	166.128	53.090	Bindemittel	136.034	43.472	
	Area mm ²	%Area																		
Gesamt	305.103	97.502																		
Porosität	2.941	0.940																		
Zuschlag	166.128	53.090																		
Bindemittel	136.034	43.472																		
Messung 2: Kalkgallen wurden zum Bindemittel gerechnet			Ergebnis der Messung 2																	
Falschfarbenbild 2 (Poren: blau; Zuschlag: rot; Bindemittel: gelb)			Messbild 2 (Graustufenbild)																	
				<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Area mm²</th> <th>%Area</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gesamt</td> <td>305.103</td> <td>97.502</td> </tr> <tr> <td>Porosität</td> <td>2.942</td> <td>0.940</td> </tr> <tr> <td>Zuschlag</td> <td>165.301</td> <td>52.826</td> </tr> <tr> <td>Bindemittel</td> <td>136.860</td> <td>43.737</td> </tr> </tbody> </table>		Area mm ²	%Area	Gesamt	305.103	97.502	Porosität	2.942	0.940	Zuschlag	165.301	52.826	Bindemittel	136.860	43.737	
	Area mm ²	%Area																		
Gesamt	305.103	97.502																		
Porosität	2.942	0.940																		
Zuschlag	165.301	52.826																		
Bindemittel	136.860	43.737																		
Gesamtergebnis Schicht 2 / Unterputz																				
Porosität	Bindemittelanteil Aus Messung 1	Zuschlaganteil Aus Messung 1	B-Z-Verhältnis	Kalkgallenanteil Aus der Differenz des Zuschlaganteils aus Messung 1 und 2	Carbonatanteil															
0.964	45.020	54.980		0,274	-----															
Anmerkung: Porosität, Bindemittel und Zuschlag wurden, falls erforderlich, auf 100 % verrechnet. Bindemittel und Zuschlag wurden auf 100% verrechnet. Der Kalkgallenanteil wurde aus der Differenz von Messung 1 und Messung 2 ermittelt und ebenfalls auf 100% verrechnet. Der Carbonatanteil wurde auf 100% verrechnet.																				

Fragment 9_5

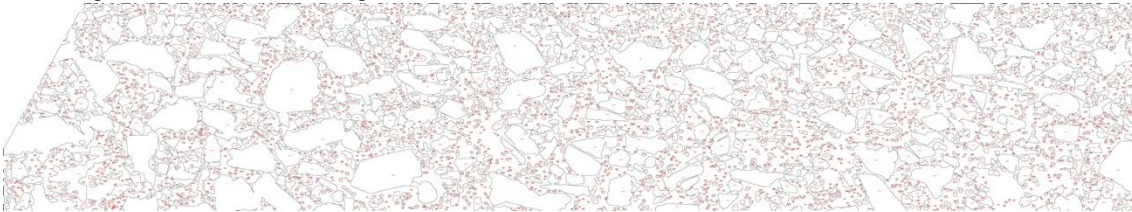
Digitale Bildanalyse

Ermittlung der Korngrößenverteilung / Schnellsegmentierung

Segmentiertes Messbild als Binärbild



Darstellung der erfassten Partikel im ImageJ



Ergebnis der Messung zur Korngrößenverteilung

	Count	Total Area	Average Size px ²	Area %	100 % Area
Korngrößen (mm)	3443	164.746	0.048	52.648	100
> 2,0	2	15.024	7.512	4.801	9,12
1,0-2,0	31	59.699	1.926	19.078	36,24
0,125-1,0	835	78.397	0.094	25.053	47,58
0,063-0,125	1071	8.649	0.008	2.764	5,24
< 0,063	1504	2.977	0.002	0.951	1,80

Zusammenfassung der Ergebnisse

Digitale Bildanalyse

Probennummern	EN 4: 3_1_2, 3_6_1, 8_3_1, 8_4_2
	EN 6: 3_7_2, 7_3_2, 9_2_1, 9_5_2
Untersuchungsgegenstand	Komponentenverhältnisse
	Korngrößenverteilung

Ergebnisse der B/Z-Verhältnisse, Kalkgallenanteil, carbonatischer Zuschlag und Gesamtprosität							
Grabbau	Dünnschliff	Schicht	Porosität	Bindemittel	Zuschlag	Kalkgallen	Karbonat
EN 4	3_1_2	1	12.896	32.350	67.650	1,869	-
		2	9.790	32.701	67.299	2,040	-
		3	3.370	54.399	45.601	0	-
	3_6_1	1	12.682	29.849	70.150	1,919	-
		2	7.828	28.796	71.204	1,344	-
		3	4.709	53.835	46.165	4,888	-
	8_3_1	1	10.502	36.167	63.833	5,094	-
		2	7.264	39.660	60.339	0	-
		3	2.323	55.194	40.806	0	-
	8_4_2	1	14.454	30.534	69.466	1,622	1,099
		2	8.250	29.757	70.240	2,165	1,725
		3	3.645	45.683	57.397	0	-
Porosität	Dünnschliff	Schicht 1	Schicht 2	Schicht 3			
	3_1_2	12.896	9.790	3.370			
	3_6_1	12.682	7.828	4.709			
	8_3_1	10.502	7.264	2.323			
	8_4_2	14.454	8.250	3.645			
	Durchschnitt	12.633	8.283	3.512			
Bindemittel	Dünnschliff	Schicht 1	Schicht 2	Schicht 3			
	3_1_2	32.350	32.701	54.399			
	3_6_1	29.849	28.796	53.835			
	8_3_1	36.167	39.660	55.194			
	8_4_2	30.534	29.757	45.683			
	Durchschnitt	32.225	32.729	52.278			
Zuschlag	Dünnschliff	Schicht 1	Schicht 2	Schicht 3			
	3_1_2	67.650	67.299	45.601			
	3_6_1	70.150	71.204	46.165			
	8_3_1	63.833	60.339	40.806			
	8_4_2	69.466	70.240	57.397			
	Durchschnitt	67.775	67.270	48.439			
Kalkgallen	Dünnschliff	Schicht 1	Schicht 2	Schicht 3			
	3_1_2	1,869	2,040	0			
	3_6_1	1,919	1,344	4,888			
	8_3_1	5,094	0	0			
	8_4_2	1,622	2,165	0			
	Durchschnitt	2,626	1,387	1,222			
Karbonat	Dünnschliff	Schicht 1	Schicht 2	Schicht 3			
	8_4_2	1,099	1,725	-----			

Zusammenfassung der Ergebnisse

Digitale Bildanalyse

Grabbau	Dünnschliff	Schicht	Porosität	Bindemittel	Zuschlag	Kalkgallen	Karbonat
EN 6	3_7_2	1	16.947	31.627	68.373	1,899	
		2	18.561	29.428	70.571	0,365	
		3	9.840	31.259	68.741	0,419	
		4	1.870	52.770	47.230	1,656	
	7_3_2	1	16.355	29.399	70.601	0,354	
		2	17.381	27.214	72.786	1,456	
		3	14.033	26.173	73.827	1,059	
		4	3.148	46.249	53.75	0	
	9_2_1	1	17.034	30.168	69.832	0	
		2	20.074	30.019	69.980	0,403	
		3	8.688	33.712	66.326	0,728	
		4	2.753	50.770	46.230	0	
	9_5_2	1	14.408	31.340	68.605	4,399	1,251
		2	15.252	27.044	72.956	0,155	1,044
		3	4.192	29.934	70.066	0,723	1,215
		4	0.964	45.020	54.980	0,274	-----
Porosität	Dünnschliff	Schicht 1	Schicht 2	Schicht 3	Schicht 4		
	3_7_2	16.947	18.561	9.840	1.870		
	7_3_2	16.355	17.381	14.033	3.148		
	9_2_1	17.034	20.074	8.688	2.753		
	9_5_2	14.408	15.252	4.192	0.964		
	Durchschnitt	16.186	17.817	9.188	2.184		
Bindemittel	Dünnschliff	Schicht 1	Schicht 2	Schicht 3	Schicht 4		
	3_7_2	31.627	29.428	31.259	52.770		
	7_3_2	29.399	27.214	26.173	46.249		
	9_2_1	30.168	30.019	33.712	50.770		
	9_5_2	31.340	27.044	29.934	45.020		
	Durchschnitt	30.634	28.426	30.270	48.702		
Zuschlag	Dünnschliff	Schicht 1	Schicht 2	Schicht 3	Schicht 4		
	3_7_2	68.373	70.571	68.741	47.230		
	7_3_2	70.601	72.786	73.827	53.75		
	9_2_1	69.832	69.980	66.326	46.230		
	9_5_2	68.605	72.956	70.066	54.980		
	Durchschnitt	69.353	71.573	69.74	50.548		
Kalkgallen	Dünnschliff	Schicht 1	Schicht 2	Schicht 3	Schicht 4		
	3_7_2	1,899	0,365	0,419	1,656		
	7_3_2	0,354	1,456	1,059	0		
	9_2_1	0	0,403	0,728	0		
	9_5_2	4,399	0,155	0,723	0,274		
	Durchschnitt	1,663	0,59475	0,73225	0,4825		
Karbonat	Dünnschliff	Schicht 1	Schicht 2	Schicht 3	Schicht 4		
	9_5_2	1,251	1,044	1,215	-----		

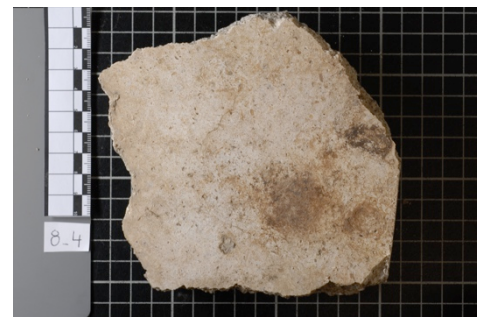
Fragment 8_4

Komponentenverhältnisse

Untersuchungsdatenblatt	
Ort:	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN
Grabmonument:	PN EN 4
Datierung:	Julisch-claudische Zeit ca. 14 – 54 n. Chr.
Art der Entnahme der Gesamtprobe:	Vom Boden geborgenes, loses Fragment
Datum der Probenentnahme:	09. – 11.2015
Funktionskontext des Fragments:	Wanddekoration, mehrlagiger Stuck
Probennummer Fragment:	8_4
Untersuchungsmethoden:	CO ₂ -Analyse mittels Scheibler-Apparat, Separative Trennungsgänge (Säureaufschluss, Elektrodynamische Fragmentierung, Siebverfahren)
Durchführende Personen:	C. Friedl
Labor/Betreuung:	Fachlabor für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege (Dr. E. Wendler, S. Rother), Fraunhofer Institut für Bauphysik (Valley)
Datum der Messungen:	02.08. – 03.08.2016 (8_4_7_1, 8_4_7_2, 8_4_7_3), 24.07. – 23.08.2016(8_4_6_1, 8_4_6_2, 8_4_6_3)






Gesamtansicht Putz- / Stuckfragment




Fragment 8_4

Komponentenverhältnisse

CO ₂ -Analyse mittels Scheibler-Apparat							
Probennummer:	8_4_7_1						
Probenart:	Unterputz, Schicht 1						
Geräte / Material:	HCl (c = 1 mol/l), Scheibler-Apparat						
							
				Probennummer:	8_4_7_1_1	8_4_7_1_2	8_4_7_1_3
				Datum der Messung:	03.08.2016	03.08.2016	04.08.2016
				m [g]:	0,083	0,107	0,075
				CO₂ (nach 10 min) [ml]:	3,4	4	4,2
				CO₂ (nach 20 min) [ml]:	3,4	4,3	4,2
				CaCO₃ [mg]:	15,2	19,2	18,8
CaCO₃ [Massen-%]:	18,3	17,9	25,0				
							
				Probennummer:	8_4_7_2		
				Probenart:	Unterputz, Schicht 2		
				Geräte / Material:	HCl (c = 1 mol/l), Scheibler-Apparat		
							
				Probennummer:	8_4_7_2_1	8_4_7_2_2	8_4_7_2_3
				Datum der Messung:	03.08.2016	04.08.2016	04.08.2016
				m [g]:	0,075	0,116	0,093
				CO₂ (nach 10 min) [ml]:	2,8	6,7	3,6
				CO₂ (nach 20 min) [ml]:	2,8	6,7	3,6
				CaCO₃ [mg]:	12,5	29,9	16,1
CaCO₃ [Massen-%]:	16,7	25,8	17,3				

Fragment 8_4

Komponentenverhältnisse

Probennummer:	8_4_7_3		
Probenart:	Oberputzputz, Schicht 3		
Geräte / Material:	HCl (c = 1 mol/l), Scheibler-Apparat		
			
Probennummer:	8_4_7_3_1	8_4_7_3_2	8_4_7_3_3
Datum der Messung:	04.08.2016	04.08.2016	04.08.2016
m [g]:	0,040	0,042	0,038
CO₂ (nach 10 min) [ml]:	8,7	9,2	9,3
CO₂ (nach 20 min) [ml]:	8,7	9,2	9,3
CaCO₃ [mg]:	38,8	41,1	41,5
CaCO₃ [Massen-%]:	97,1	97,8	109,3

Nasschemischer Trennungsgang			
Probennummer:	8_4_6_1		
Probenart:	Unterputz, Schicht 1		
Datum der Messung:	24.07. – 17.08.2016		
Geräte / Material:	Schüttler, Salzsäure, Wasserstrahlpumpe, Erlenmeyer-Kolben, Filternutsche		
HCl (c = 1 mol/l) [ml]:	200		
HCl (c = 6 mol/l) [ml]:	200		
m₀ [g]:	94,703		
	Säureunlösl. Rückstand:	Säurelösliches:	
Masse [g]:	67,022	27,681	
Anteil [%]:	70,77	29,23	
Massenverhältnis:	2,4	1	
Probennummer:	8_4_6_2		
Probenart:	Unterputz, Schicht 2		
Datum der Messung:	24.07. – 17.08.2016		
Geräte / Material:	Schüttler, Salzsäure, Wasserstrahlpumpe, Erlenmeyer-Kolben, Filternutsche		
HCl (c = 1 mol/l) [ml]:	200		
HCl (c = 6 mol/l) [ml]:	300		
m₀ [g]:	194,72		
	Säureunlösl. Rückstand:	Säurelösliches:	
Masse [g]:	135,626	59,094	
Anteil [%]:	69,65	30,35	
Massenverhältnis:	2,3	1	

Fragment 8_4**Komponentenverhältnisse**

Siebanalyse (Sieblinie und Korngrößenverteilung)					
Probennummer:	8_4_6_1				
Probenart:	Unterputz, Schicht 1				
Datum der Messung:	24.07. – 23.08.2016				
m₀ [g]:	67,022				
Siebdauer [h]:	ca. 3				
Siebsatz:	DIN 3310-1				
Siebverfahren:	Trockensiebung (Siebsatz und Einzelsiebung)				
Korngrößen [mm]:	m _{Siebrückstand} [g]:	Summe der Fraktionen [m]:	Korngrößenverteilung [m-%]:	Öffnungsweiten Siebdurchgang [mm]:	Siebdurchgang [m-%]:
> 4				8,0	100
2,0 – 4,0	1,975	66,833	3	4,0	100
1,0 – 2,0	9,628	64,858	14	2,0	97
0,800 – 1,0	7,495	55,23	11	1,0	82
0,500 – 0,800	24,301	47,735	36	0,8	71
0,310 – 0,500	14,144	23,434	21	0,5	35
0,250 – 0,315	2,985	9,29	4	0,315	14
0,125 – 0,250	2,5	6,305	4	0,250	9
0,063 – 0,125	1,102	3,805	2	0,125	6
< 0,063	2,703	2,703	4	0,063	4
	Verlust [m-%]:	0,28			

Probennummer:	8_4_6_2				
Probenart:	Unterputz, Schicht 2				
Datum der Messung:	24.07. – 23.08.2016				
m₀ [g]:	135,626				
Siebdauer [h]:	ca. 3				
Siebsatz:	DIN 3310-1				
Siebverfahren:	Trockensiebung (Siebsatz und Einzelsiebung)				
Korngrößen [mm]:	m _{Siebrückstand} [g]:	Summe der Fraktionen [m]:	Korngrößenverteilung [m-%]:	Öffnungsweiten Siebdurchgang [mm]:	Siebdurchgang [m-%]:
> 4	2,214	135,354	2	8,0	100
2,0 – 4,0	15,713	133,14	12	4,0	98
1,0 – 2,0	51,023	117,427	38	2,0	87
0,800 – 1,0	14,188	66,404	10	1,0	49
0,500 – 0,800	22,78	52,216	17	0,8	38
0,310 – 0,500	11,393	29,436	8	0,5	22
0,250 – 0,315	2,758	18,043	2	0,315	13
0,125 – 0,250	3,48	15,285	3	0,250	11
0,063 – 0,125	2,501	11,805	2	0,125	9
< 0,063	9,304	9,304	7	0,063	7
	Verlust [m-%]:	0,20			




Fragment 8_4

Komponentenverhältnisse

Trennungsgang (Elektrodynamische Fragmentierung) und Siebanalyse							
Probennummer:	8_4_6_3						
Probenart:	Oberputz, Schicht 3						
Datum der Messung:	24.07. – 17.08.2016						
Frequenz [Hz]:	10						
Pulszahl:	3						
Spannung [kV]:	150						
m₀ [g]:	27,25						
Siebdauer [h]:	ca. 2						
Siebsatz:	DIN 3310-1						
Siebverfahren:	Nasssiebung (Siebsatz und Einzelsiebung)						
Korngrößen [mm]:	m _{Siebrückstand} [g]:	Summe der Fraktionen [m]:	Korngrößenverteilung [m-%]:	Öffnungsweiten Siebdurchgang [mm]:	Siebdurchgang [m-%]:	freigelegter Zuschlag [%]	BM-Agglomerate [%]
> 2,0	7,908	26,501	29,0	4	97,25	ca. 35	ca. 65
1,0 – 2,0	6,82	18,593	25,0	2	68,23	ca. 50	ca. 50
0,125 – 1,0	9,37	11,777	34,4	1	43,22	ca. 50	ca. 50
0,063 – 0,125	0,882	2,407	3,2	0,125	8,83	ca. 15	ca. 85
< 0,063	1,53	1,525	5,6	0,063	5,60		
	Verlust [m-%]:	2,75					

Fragment 9_5



Komponentenverhältnisse

Untersuchungsdatenblatt		
Ort:	Pompeji, Porta Nocera Nekropole, Bereich EN	
Grabmonument:	PN EN 6	
Datierung:	Augusteische Zeit ca. 27 v. Chr. – 14 n. Chr.	
Art der Entnahme der Gesamtprobe:	Vom Boden geborgenes, loses Fragment	
Datum der Probenentnahme:	09. – 11.2015	
Funktionskontext des Fragments:	Wanddekoration, mehrlagiger Stuck	
Probennummer Fragment:	9_5	
Untersuchungsmethoden:	CO ₂ -Analyse mittels Scheibler-Apparat, Separative Trennungsgänge (Säureaufschluss, Elektrodynamische Fragmentierung, Siebverfahren)	
Durchführende Personen:	C. Friedl	
Labor/Betreuung:	Fachlabor für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege (Dr. E. Wendler, S. Rother), Fraunhofer Institut für Bauphysik (Valley)	
Datum der Messungen:	02.08. – 03.08.2016 (9_5_7_1, 9_5_7_2, 9_5_7_3, 9_5_7_4), 24.07. – 23.08.2016 (9_5_6_1, 9_5_6_2, 9_5_6_3, 9_5_6_4)	

Gesamtansicht Putz- / Stuckfragment

Fragment 9_5

Komponentenverhältnisse

CO ₂ -Analyse mittels Scheibler-Apparat				
Probennummer:	9_5_7_1			
Probenart:	Unterputz, Schicht 1			
Geräte / Material:	HCl (c = 1 mol/l), Scheibler-Apparat			
				
Probennummer:	9_5_7_1_1	9_5_7_1_2	9_5_7_1_3	9_5_7_1_4
Datum der Messung:	02.08.2016	02.08.2016	02.08.2016	02.08.2016
m [g]:	0,054	0,106	0,078	0,123
CO₂ (nach 10 min) [ml]:	5	4,5	2,7	8
CO₂ (nach 20 min) [ml]:	5	4,5	2,7	8,7
CaCO₃ [mg]:	22,3	20,1	12,1	35,7
CaCO₃ [Massen-%]:	41,3	19,0	15,5	29,0
Probennummer:	9_5_7_2			
Probenart:	Unterputz, Schicht 2			
Geräte / Material:	HCl (c = 1 mol/l), Scheibler-Apparat			
				
Probennummer:	9_5_7_2_1	9_5_7_2_2	9_5_7_2_3	
Datum der Messung:	03.08.2016	03.08.2016	03.08.2016	
m [g]:	0,086	0,114	0,063	
CO₂ (nach 10 min) [ml]:	4,1	5,2	2,3	
CO₂ (nach 20 min) [ml]:	4,1	5,2	2,3	
CaCO₃ [mg]:	18,3	23,2	10,3	
CaCO₃ [Massen-%]:	21,3	20,4	16,3	

Fragment 9_5

Komponentenverhältnisse

Probennummer:	9_5_7_3
Probenart:	Unterputz, Schicht 3
Geräte / Material:	HCl (c = 1 mol/l), Scheibler-Apparat



Probennummer:	9_5_7_3_1	9_5_7_3_2	9_5_7_3_3
Datum der Messung:	03.08.2016	03.08.2016	04.08.2016
m [g]:	0,098	0,088	0,071
CO₂ (nach 10 min) [ml]:	7,6	6,5	4,3
CO₂ (nach 20 min) [ml]:	7,6	6,5	4,3
CaCO₃ [mg]:	33,9	29,0	19,2
CaCO₃ [Massen-%]:	34,6	33,0	27,0

Probennummer:	9_5_7_4
Probenart:	Oberputz, Schicht 4
Geräte / Material:	HCl (c = 1 mol/l), Scheibler-Apparat



Probennummer:	9_5_7_4_1	9_5_7_4_2	9_5_7_4_3
Datum der Messung:	03.08.2016	03.08.2016	04.08.2016
m [g]:	0,030	0,035	0,033
CO₂ (nach 10 min) [ml]:	7,6	8	10
CO₂ (nach 20 min) [ml]:	7,6	8	10
CaCO₃ [mg]:	33,9	35,7	44,6
CaCO₃ [Massen-%]:	113,1	102,0	135,3

Fragment 9_5

Komponentenverhältnisse

Nasschemischer Trennungsgang (Säureaufschluss)		
Probennummer:	9_5_6_1	
Probenart:	Unterputz, Schicht 1	
Datum der Messung:	24.07. – 17.08.2016	
Geräte / Material:	Schüttler, Salzsäure, Wasserstrahlpumpe, Erlenmeyer-Kolben, Filternutsche	
HCl (c = 1 mol/l) [ml]:	100	
HCl (c = 6 mol/l) [ml]:	100	
m₀:	39,928	
	Säureunlösl. Rückstand:	Säurelösliches:
Masse [g]:	29,004	10,924
Anteil [%]:	72,64	27,36
Massenverhältnis:	2,65	1
Probennummer:	9_5_6_2	
Probenart:	Unterputz, Schicht 2	
Datum der Messung:	24.07. – 17.08.2016	
Geräte / Material:	Schüttler, Salzsäure, Wasserstrahlpumpe, Erlenmeyer-Kolben, Filternutsche	
HCl (c = 1 mol/l) [ml]:	200	
HCl (c = 6 mol/l) [ml]:	200	
m₀ [g]:	85,957	
	Säureunlösl. Rückstand:	Säurelösliches:
Masse [g]:	62,972	22,985
Anteil [%]:	73,26	26,74
Massenverhältnis:	2,73	1
Probennummer:	9_5_6_3	
Probenart:	Unterputz, Schicht 3	
Datum der Messung:	24.07. – 17.08.2016	
Geräte / Material:	Schüttler, Salzsäure, Wasserstrahlpumpe, Erlenmeyer-Kolben, Filternutsche	
HCl (c = 1 mol/l) [ml]:	100	
HCl (c = 6 mol/l) [ml]:	100	
m₀ [g]:	39,829	
	Säureunlösl. Rückstand:	Säurelösliches:
Masse [g]:	24,838	14,911
Anteil [%]:	62,36	37,64
Massenverhältnis:	1,66	1

Siebanalyse (Sieblinie und Korngrößenverteilung)	
Probennummer:	9_5_6_1
Probenart:	Unterputz, Schicht 1
Datum der Messung:	24.07. – 23.08.2016
m₀ [g]:	29,004
Siebdauer [h]:	ca. 3
Siebsatz:	DIN 3310-1
Siebverfahren:	Trockensiebung (Siebsatz und Einzelsiebung)

Fragment 9_5

Komponentenverhältnisse

Korngrößen [mm]:	m _{Siebrückstand} [g]:	Summe der Fraktionen [m]:	Korngrößenverteilung [m-%]:	Öffnungsweiten Siebdurchgang [mm]:	Siebdurchgang [m-%]:
> 4				8,0	99
2,0 – 4,0	0,709	28,834	2	4,0	99
1,0 – 2,0	4,9	28,125	17	2,0	97
0,800 – 1,0	4,662	23,225	16	1,0	80
0,500 – 0,800	12,616	18,563	44	0,8	64
0,310 – 0,500	3,969	5,947	14	0,5	21
0,250 – 0,315	0,388	1,978	1	0,315	7
0,125 – 0,250	0,421	1,59	1	0,250	5
0,063 – 0,125	0,184	1,169	1	0,125	4
< 0,063	0,985	0,985	3	0,063	3
Verlust [m-%]:		0,59			

Probennummer:	9_5_6_2	
Probenart:	Unterputz, Schicht 2	
Datum der Messung:	24.07. – 23.08.2016	
m₀ [g]:	62,972	
Siebdauer [h]:	ca. 3	
Siebsatz:	DIN 3310-1	
Siebverfahren:	Trockensiebung (Siebsatz und Einzelsiebung)	

Korngrößen [mm]:	m _{Siebrückstand} [g]:	Summe der Fraktionen [m]:	Korngrößenverteilung [m-%]:	Öffnungsweiten Siebdurchgang [mm]:	Siebdurchgang [m-%]:
> 4				8,0	100
2,0 – 4,0	0,641	62,805	1	4,0	100
1,0 – 2,0	9,385	62,164	15	2,0	99
0,800 – 1,0	9,893	52,779	16	1,0	84
0,500 – 0,800	29,093	42,886	46	0,8	68
0,310 – 0,500	9,232	13,793	15	0,5	22
0,250 – 0,315	1,009	4,561	2	0,315	7
0,125 – 0,250	1,063	3,552	2	0,250	6
0,063 – 0,125	0,55	2,489	1	0,125	4
< 0,063	1,939	1,939	3	0,063	3
Verlust [m-%]:		0,27			

Probennummer:	9_5_6_3	
Probenart:	Unterputz, Schicht 3	
Datum der Messung:	24.07. – 23.08.2016	
m₀ [g]:	24,838	
Siebdauer [h]:	ca. 3	
Siebsatz:	DIN 3310-1	
Siebverfahren:	Trockensiebung (Siebsatz und Einzelsiebung)	

Korngrößen [mm]:	m _{Siebrückstand} [g]:	Summe der Fraktionen [m]:	Korngrößenverteilung [m-%]:	Öffnungsweiten Siebdurchgang [mm]:	Siebdurchgang [m-%]:
> 4				8,0	99
2,0 – 4,0	0,301	24,702	1	4,0	99
1,0 – 2,0	2,455	24,401	10	2,0	98
0,800 – 1,0	3,094	21,946	13	1,0	88
0,500 – 0,800	11,209	18,852	45	0,8	76
0,310 – 0,500	4,287	7,643	17	0,5	31
0,250 – 0,315	0,444	3,356	2	0,315	14
0,125 – 0,250	0,67	2,912	3	0,250	12
0,063 – 0,125	0,484	2,242	2	0,125	9
< 0,063	1,758	1,758	7	0,063	7
Verlust [m-%]:		0,55			

Fragment 9_5

Komponentenverhältnisse

Trennungsgang (Elektrodynamische Fragmentierung) und Siebanalyse							
Probennummer:	9_5_6_4						
Probenart:	Oberputz, Schicht 4						
Frequenz [Hz]:	10						
Pulszahl:	10						
Spannung [kV]:	150						
Datum der Messung:	24.07. – 17.08.2016						
m₀ [g]:	68,785						
Siebdauer [h]:	ca. 2						
Siebsatz:	DIN 3310-1						
Siebverfahren:	Nasssiebung (Siebsatz und Einzelsiebung)						
Korngrößen [mm]:	m _{Siebrückstand} [g]:	Summe der Fraktionen [m]:	Korngrößenverteilung [m-%]:	Öffnungsweiten Siebdurchgang [mm]:	Siebdurchgang [m-%]:	freigelegter Zuschlag [%]	Agglomerate [%]
> 2,0	8,751	66,999	12,5	4	96,01	ca. 70	ca. 30
1,0 – 2,0	19,154	58,248	27,4	2	83,47	ca. 75	ca. 25
0,125 – 1,0	27,049	39,094	38,8	1	56,02		
0,063 – 0,125	3,030	12,045	4,3	0,125	17,26		
< 0,063	9,015	9,015	12,9	0,063	12,92		
	Verlust [m-%]:	3,99					