

FACHHOCHSCHULE POTSDAM  
FACHBEREICH ARCHITEKTUR UND STÄDTEBAU  
STUDIENGANG RESTAURIERUNG

**- ALABASTER -**

**Ermittlung von Eigenschaften und Kennwerten des Natursteins sowie  
Bewertung von verschiedenen Steinersatz- und Steinerfüllungsmassen**

überarbeitete Diplomarbeit  
in der Studienrichtung  
Konservierung und Restaurierung von Objekten aus Stein

verteidigt von

Silvia Gering

Potsdam, 07. April 2010

überarbeiteter Stand: September 2010

Erstprüfer: Herr Dr. Peter Kozub (FHP)

Zweitprüfer: Herr Karsten Böhm (LDA Sachsen-Anhalt)

Gering, Silvia: Alabaster – Ermittlung von Eigenschaften und Kennwerten des Natursteins sowie Bewertung von verschiedenen Steinersatz- und Steinerfüllmassen ( Alabaster – Determination of properties and characteristic values for the stone, as well as an evaluation of different stone substitutes and fills) Diploma Thesis: 19. März 2010; German; 219 p; 68 ill.; Supervisor: Dr. Peter Kozub (FHP), Collaborating Supervisor: Karsten Böhm (LDA-Sachsen – Anhalt); Publication not foreseen

### **Zusammenfassung**

Alabaster - eine besondere Varietät von Gips, die sich in bedeutenden historischen Werken der Bildhauerkunst bereits seit Jahrhunderten wiederfindet. Leider ist dieses einzigartige Material nicht von dauerhafter Beständigkeit. Da die Kunstwerke auch im Innenraum einem schädigenden Maß an Verwitterung ausgesetzt sind, erfordern sie früher oder später zwangsläufig Restaurierungs- bzw. Konservierungsarbeiten.

Als Alternative zum schwer zu beschaffenden adäquaten Naturstein werden unterschiedliche Steinersatz- sowie Steinerfüllmassen angewandt. Eine Rezeptsammlung gibt Einblick in die im englisch-, polnisch-, und deutschsprachigen Raum eingesetzten Massen.

Vornehmlich werden gesteinspezifische Parameter des Alabasters und Eigenschaften einiger ausgewählter Steinersatz- sowie Steinerfüllmassen ermittelt. Die Ergebnisse der Massen werden dem Alabaster gegenüber gestellt und ausgewertet. Abschließend wird ein Fazit über die Eignung der Ersatzmaterialien für die Restaurierung bzw. Konservierung von Alabaster gegeben.

Schlagerörter: Alabaster, Ergänzungsmassen, Ersatzmassen, Steinerfüllung

### **Abstract**

Alabaster – a special kind of Gypsum, which is found throughout significant works in sculptural arts for centuries. Unfortunately this unique material does not show durable resistiveness. Even when applied indoors, it is exposed to a damaging degree of weathering, which will sooner or later require restorational and conservational work.

As an alternative to the difficultly obtained but adequate natural stone a variety of different stone substitutes and stone fill material are employed. A collection of recipes will give insight to the fill materials used in the English, Polish and German speaking area.

Primarily specific parameters of the alabaster and properties of a few chosen stone substitutes and completion materials will be determined. The results from the materials will be compared with alabaster and evaluated. Finally a comment will be made about the applicability of the completion material on alabaster for restoration and conservation.

Keywords: alabaster, fill material, substitute material, stone substitutes

## Anmerkungen zur Arbeit

Es werden die geltenden sowie die folgenden Abkürzungen im Verlauf der Arbeit verwendet:

Ala.M.Ell.	Deutscher Alabaster, Vertrieb: Fa. Maxit, Steinbruch: Ellrich
Ala.S.Pue.	Spanischer Alabaster, Vertrieb: Scheruhn Industrie-Mineralien GmbH & Co, Abbaugbiet: La Pueblo de Hajar
Ala.K.For.	Italienischer Alabaster, Vertrieb: Fa. Knauf INTERNI, Steinbruch: Castellina Maritima
Ala.K.2.	Italienischer Alabaster, Vertrieb: Fa. Knauf INTERNI,, Steinbruch: Castellina Maritima
Paraloid	Paraloid B72
Primal	Primal SF016
Araldit	Araldit (Harz: AY103/ Härter: HY956)
Hxtal NYL	Hxtal NYL-1 <sup>TM</sup>

## **Danksagung**

Herzlich bedanken möchte ich mich in erster Linie bei meinen Prüfern Herrn Dr. Peter Kozub für die Diskussionsbereitschaft und das Besorgen von polnischer Literatur und Herrn Kartsen Böhm für die Unterstützung bei der Themenfindung, dem Interesse an der Arbeit sowie Vermittlung von Kontakten.

Frau Dr. Jeannine Meinhardt und Dipl.-Ing. U. Kalisch (IDK- Institut für Diagnostik und Konservierung an Denkmälern in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V.) danke ich für ihre spontane Unterstützung bei Fragen und Durchführungen von Untersuchungen.

Bei Frau Dr. Haaßengier sowie Dr. Ziebell (KNAUF Werk Rottleberode) bedanke ich mich für freundliche, hilfsbereite Gespräche zum Thema Alabaster.

Für die Bereitstellung von Probenmaterial bedanke ich mich bei Dipl. Rest. Anja Kiss; Dr. Reimann von Knauf Gips GmbH, Scheruhn Industrie- Mineralien GmbH und CO.

Gleiches gilt den Restauratoren, die mir Rezepte für Steinersatzmassen zur Verfügung gestellt haben.

Besonders dankbar bin ich meiner Familie und Freunden für deren seelische und moralische Unterstützung sowie deren besonderes Verständnis und die vielen Hilfestellungen in der vergangenen Zeit.

<b>1. Einleitung</b>	<b>8</b>
<b>2. Einleitung zum Thema: Alabaster</b>	<b>9</b>
<b>3. Allgemeine Betrachtungen zum Alabaster</b>	<b>10</b>
3.1. Quellenlage zum Thema: Alabaster	10
3.2. Etymologie des Begriffes: Alabaster	11
3.3. Entstehung	12
3.3.1. Gipsstein – allgemein	12
3.3.2. Alabaster – im speziellen	12
3.4. Abbau	13
3.4.1. Allgemein	13
3.4.2. Zeitliche Gliederung bedeutender Alabaster-Abbaugebiete	14
3.5. Kunsthistorische Verwendung von Alabaster	15
3.5.1. Allgemein	15
3.5.2. Kunsthistorische Verwendung deutscher Alabaster	18
<b>4. Verwitterung von Alabaster</b>	<b>19</b>
4.1. Definition „Verwitterung“	19
4.2. Verwitterungsarten / Auswirkungen von Verwitterungen	19
4.2.1. Mikrokarst	19
4.2.2. Abbröckeln	20
4.2.3. Risse	20
4.2.4. Krustenbildung	21
4.2.5. Absanden	21
4.2.6. Ungeeignete / unsachgemäß angewandte Restaurierungsmaterialien	21
<b>5. Probenmaterial - Alabaster</b>	<b>22</b>
<b>6. Gesteinsspezifische Daten von Alabaster</b>	<b>24</b>
6.1. Petrographie des Alabasters	24
6.1.1. Makroskopische Betrachtungen	24
6.1.2. Mikroskopische Betrachtung von Dünnschliffen	26
6.1.3. Röntgenbeugungsanalyse	31
6.1.4. Diskussion	31
6.2. Porenraumbezogene Eigenschaften	32
6.3. Physiko-mechanische Kennwerte	33
6.4. Hygrische und thermische Dilatation	34
<b>7. Zusammenfassung der gesteinspezifischer Parameter</b>	<b>35</b>
7.1.1. Diskussion	35

<b>8. Fazit zum Thema: Alabaster</b>	<b>36</b>
<b>9. Einleitung zum Thema: Steinersatz- und Steinerergänzungsmassen für Objekte aus Alabaster</b>	<b>37</b>
<b>10. Allgemeine Betrachtungen zu Steinersatz- und Steinerergänzungsmassen für Alabaster</b>	<b>38</b>
10.1. Quellenlage	38
10.2. Anforderungen an Steinersatz- und Steinerergänzungsmassen	38
10.2.1. Allgemein	38
10.2.2. Diskussion zu Prüfmethoden in der Restaurierung	39
10.3. Anforderungen an Steinersatz- und Steinerergänzungsmassen für Objekte aus Alabaster	40
10.3.1. Optische Eigenschaften	40
10.3.2. Physiko-mechanische Eigenschaften	41
10.3.3. Porenraumbezogene Eigenschaften	41
10.3.4. Dilatationsverhalten	42
10.3.5. Eigenschaften des Frischmörtels	42
10.3.6. Zusätzliche Eigenschaften der Massen	42
10.3.7. Auswahlkriterien für die Ergänzungsmassen sowie deren Wertigkeiten	43
<b>11. Rezeptsammlung</b>	<b>45</b>
<b>12. Auswahl der zu untersuchenden Steinersatz- und Steinerergänzungsmassen</b>	<b>60</b>
12.1. Auswahl der verwendeten Bindemittel	60
12.2. Auswahl der verwendeten Zuschlagstoffe	61
12.2.1. Sieblinien	62
12.2.2. Volumenanteil/ Gewichtsanteil	62
12.3. Probekörper	63
12.3.1. Probekörper der ersten Probereihe	63
12.3.2. Probekörper für die Ermittlung der Eigenschaften durch subjektive Wahrnehmungen	64
12.3.3. Probekörper für die Ermittlung der Eigenschaften durch objektive Messungen	64
12.4. Auswertung der ersten Probereihen	65
12.4.1. Ergänzungsmassen auf der Basis von Kieselsäureesterdispersion: Syton W30	65
12.4.2. Ergänzungsmassen auf der Basis von Acrylatdispersion: Primal SF016	65
12.4.3. Ergänzungsmassen auf der Basis von Epoxydharz: Araldit AY 103/ HY956; Hxtal NYL-1TM	66
12.4.4. Ergänzungsmassen auf der Basis von Acrylharz: Paraloid B72	67

<b>13. Untersuchungen an ausgewählten Steinersatz- und Steinerfüllmassen für Objekte aus Alabaster</b>	<b>69</b>
13.1. Rezepte und Probenbezeichnung	70
13.2. Ergebnisse der Untersuchungen, die auf subjektiven Wahrnehmungen beruhen	72
13.2.1. Füllmasse auf der Basis von Alabastergips: Marble – Cement	72
13.2.2. Füllmasse auf der Basis von Acrylatdispersion : Primal SF016	73
13.2.3. Füllmasse auf der Basis von Epoxydharz : Araldit AY 103/ HY956 ; Hxtal NYL-1™	75
13.2.4. Füllmasse auf der Basis von Acrylharz: Paraloid B72	80
13.3. Ergebnisse der Untersuchungen, die auf objektiven Messungen beruhen	82
13.3.1. Physiko-mechanische Kennwerte	82
13.3.2. Dilatationsverhalten	87
13.3.3. Porenraumbezogenen Kennwerte	89
13.3.4. Farbstabilität	91
13.4. Tabellarische Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse an ausgewählten Steinersatz- und Steinerfüllmassen für Objekte aus Alabaster	94
<b>14. Fazit der Untersuchungen an Steinersatz- und Steinerfüllmassen für Objekte aus Alabaster</b>	<b>97</b>
14.3. Primalmassen b7, b11 (Primal SF016)	97
14.4. Epoxydharzmassen c19, c19*, c20, c26, c30 (Araldit AY 103/ HY956; Hxtal NYL-1™)	99
14.5. Paraloidmassen d47, d50 (Paraloid B72)	103
14.6. Alabastergips a (Marble Cement)	104
<b>15. Ausblick</b>	<b>106</b>
<b>16. Literaturverzeichnis</b>	<b>107</b>
<b>17. Abbildungsverzeichnis</b>	<b>115</b>
<b>18. Verzeichnis der Tabellen und Diagramme</b>	<b>118</b>

## **Anhang**

Nr. 1	Beschreibung der naturwissenschaftlichen Untersuchungsmethoden
Nr. 2	Probenmaterial und Einzelergebnisse/ Anmerkungen zu den petrographischen Untersuchungen der Alabaster sowie den porenraumbezogenen Eigenschaften
Nr. 3	Einzelergebnisse der ersten Probenreihe der Steinerfüll- Steinersatzmassen
Nr. 4	Einzelergebnisse/ Anmerkungen zu den naturwissenschaftlichen Untersuchungen der Alabaster sowie ausgewählter Steinersatz- und Steinerfüllmassen

## **1. Einleitung**

Alabaster – eine besondere Varietät von Gips – wird, bedingt durch seine optischen Eigenschaften und der leichten Bearbeitung, bereits seit viertausend Jahren für dekorative und kunstgewerbliche Objekte verwendet. Leider ist dieses einzigartige Material naturgemäß nicht von dauerhafter Beständigkeit. Dennoch gibt es auch heute noch bedeutende historische Bildhauerkunst aus Alabaster in Kirchen und Schlössern, wie z. B. das Grabmonument des Herzogs Ulrich von Mecklenburg (1575 –1600). Da die Kunstwerke auch im Innenraum einem schädigenden Maß an Verwitterung ausgesetzt sind, erfordern sie früher oder später zwangsläufig Restaurierungsarbeiten.

Es wäre naheliegend, dabei auf das gleiche Material zurückzugreifen. Alabaster wird jedoch in der heutigen Zeit nur noch vereinzelt als Bildhauerstein abgebaut. In Deutschland ist der Abbau bereits seit Jahren eingestellt. Zudem zeigen unterschiedliche Alabastersorten unterschiedlich stark ausgebildete Transluzenzen und Farben, wodurch die Auswahl eines adäquaten Steinersatzes erschwert wird. Folglich werden Steinersatz- sowie Steinerfüllmassen in der Konservierung, Restaurierung eingesetzt.

Im Sinne einer sowohl qualitativ ansprechenden, als auch möglichst nachhaltig beständigen Restaurierung, ergeben sich diverse Anforderungen an die Ersatzmaterialien.

Ziel dieser Diplomarbeit ist es zunächst Alabaster als Gesteinsart vorzustellen und auf seine kunsthistorisch wertvolle Bedeutung einzugehen. Zudem werden die Entstehung sowie der Abbau erläutert. Vornehmlich werden gesteinspezifische Parameter ermittelt. Ferner werden die Verwitterungsmechanismen des Alabasters, ihre Auslöser sowie ihre Auswirkungen beschrieben.

Darauf aufbauend werden in der Diplomarbeit notwendige Kriterien bzw. Anforderungen für eine geeignete Steinersatz- bzw. Steinerfüllmasse aufgestellt. Mögliche Rezepte für Alabasterersatz werden genannt und an einer Auswahl Untersuchungen durchgeführt, um ihre Eignung gegenüber dem Naturstein zu prüfen. Die Ergebnisse werden dargestellt und ausgewertet. Abschließend wird ein Fazit zu den Steinersatz- bzw. Steinerfüllmassen gegeben.

## **2. Einleitung zum Thema: Alabaster**

Der erste Teil der Arbeit beschäftigt sich mit Alabaster. Die Etymologie, die Entstehung sowie der Abbau des Gesteins geben den Einstieg in die Arbeit. Die kunsthistorische Verwendung wird dargelegt und gibt einen Einblick in die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten von Alabaster. Die Verwitterungsmechanismen, ihre Auslöser sowie ihre Auswirkungen werden beschrieben. Die gesteinspezifischen Parameter wurden für die hier vorliegende Arbeit ermittelt.

Die zu ermittelnden Kennwerte sollen die Spannweiten zwischen Minimum- und Maximumwerten der untersuchten bruchfrischen Alabaster aufzeigen, da sich die Masse nicht an einem Alabaster aus einem bestimmten Bruch orientieren sollte. Es wurden porenraumspezifische, physiko-mechanische sowie thermische und hygrische Dilatationswerte der Untersuchungsergebnisse an drei bruchfrischen Gesteinen ermittelt. Zudem wurden vereinzelte Untersuchungsergebnisse aus der Dissertation von HAAßENGIER (2007) herangezogen.

### **3. Allgemeine Betrachtungen zum Alabaster**

#### **3.1. Quellenlage zum Thema: Alabaster**

Im folgenden Abschnitt wird die Literatur zum Thema Alabaster, die der Bearbeitung der Diplomarbeit zugrunde lag, genannt und deren inhaltlicher Schwerpunkt, den Alabaster betreffend, angeführt.

Zur Geologie und Petrographie sind MATTHES (2001), RÖSLER (1991), HUGO STRUNZ/PAUL RAMDOHR (1978), DUDA (1992) sowie OKRUSCH, MATTHES (2005) zu erwähnen. MOYE (1906) nennt Gipsabbaugebiete und beschreibt die unterschiedlichen Gipse. KUHLBRODT (1985) schreibt über die Gipsindustrie des Südhazes, seine Vorkommen und Verarbeitung sowie die Lebensumstände der Zeit.

PENNY (1995) und DUBY, DAVAL (2002) nennen Vorkommen und Beispiele für die kunsthandwerkliche Verarbeitung von Alabaster. NEUMANN (2005)<sup>1</sup> setzte sich in seiner Dissertation „Die Kunst am Hofe Herzog Ulrichs zu Mecklenburg“ mit Alabasterbeschaffung, Transport und der Wertschätzung des Alabaster im Barock um 1570 auseinander.

Möglichkeiten der Oberflächenbearbeitung von Alabaster werden von WEBER (1995) beschrieben.

HAAßENGIER (2007) beschäftigt sich in ihrer Dissertation hauptsächlich mit Gipsen des Thüringer Beckens, deren Vorkommen, bautechnische Verwendungen und der Verwitterung. Zudem erwähnt sie einige alte, heute brachliegende, Alabasterbrüche sowie Untersuchungen zum Stoffbestand und gesteintechnischen Eigenschaften zweier Alabastervorkommen. GRASSEGGGER (2002) nennt zudem einige mechanische Messwerte für Alabaster.

Verwitterungsphänomene von Alabaster und einige Ursachen werden von FREY (1991) genannt.

Aufgrund der schlechten Quellenlage können kaum weitere, ins Detail gehende, Aussagen über Alabaster gemacht werden. Zu physiko-mechanischen Eigenschaften geben GRASSEGGGER (2002) und HAAßENGIER (2007) einige Messwerte an, die aber durch unterschiedliche Prüfverfahren und Probekörpergrößen nicht für den Vergleich mit den Kennwerten der eigenen Untersuchungen herangezogen werden können.

---

<sup>1</sup> NEUMANN (2005) S.234-259

### 3.2. Etymologie des Begriffes: Alabaster

Der Begriff Alabaster stammt aus dem Ägyptischen. Die frühen Hochkulturen zwischen Euphrat und Tigris nannten einen weichen, weißen, durchscheinenden Stein Alabaster.<sup>2</sup> Für die Herkunft seines Wortstammes gibt es mehrere Theorien. Eine besagt, dass sich Alabaster von der ägyptischen Stadt Alabastron ableitet, in deren Nähe sich der Abbau befunden haben soll. Auch ein Ursprung aus dem ägyptischen Sprachgebrauch ist möglich. Danach könnte Alabaster durch das Zusammenfügen der Wörter „ana(r)“ und „bast(et)“, die soviel wie „Stein der Göttin Bastet“ bedeuten, entstanden sein.<sup>3</sup>

Alabaster wird sprachlich für zwei verschiedene Gesteinstypen verwendet. Im historischen Sinne<sup>4</sup> handelt es sich bei Alabaster um Kalksinter<sup>5</sup>, dem feinkristallinen Gestein, das durch Ablagerung an kalten und heißen Quellen, in unterirdischen Wasserläufen oder durch Tropfung entsteht. Die archäologische Bezeichnung für Kalksinter ist auch heute noch „Ägyptischer Alabaster“.<sup>6</sup>

Im geologischen Sinne wird eine Varietät von Gipsgestein als Alabaster bezeichnet.

Die mehrfache Verwendung des Namens ist vor allem darauf zurückzuführen, dass sich beide Gesteine in ihren optischen Eigenschaften sehr ähneln. Makroskopisch sind beide Gesteine kaum zu unterscheiden. Andererseits ist der Kalksinter, im Vergleich zum Gipsgestein wasserunlöslich und härter.

Nicht selten wurden einmal geprägte Begrifflichkeiten auch auf andere, ähnliche Materialien (z.B. Gesteine) übertragen. Beispielsweise wurde der Begriff Marmor oft als Oberbegriff für polierfähige Gesteine genutzt. Auch Alabaster wurde in der Vergangenheit oft als Marmor bezeichnet.<sup>7</sup> Marmor jedoch ist ein metamorphes Gestein und zeichnet sich gegenüber Alabaster mit einer größeren Härte und besseren Wärmeleitfähigkeit aus.<sup>8</sup>

---

<sup>2</sup> s. PENNY (1995) S.35

<sup>3</sup> s. HAAßENGIER (2007) S.8

<sup>4</sup> Bei dem durch die frühen Hochkulturen geprägten Begriff

<sup>5</sup> s. PENNY (1995) S.35

<sup>6</sup> s. PENNY (1995) S.35

<sup>7</sup> s. MÜLLER (2001), S. 149-150; MIELSCH (1985), S.37

<sup>8</sup> s. WEBER (1995) S.56

### 3.3. Entstehung

#### 3.3.1. Gipsgestein – allgemein

Die Bildung von Gipsgesteinen basiert auf der sogenannten Barrentheorie. Diese beinhaltet, dass mineralische Sedimente durch direkte Ausfällung infolge von Übersättigung und Verdunstung in Salzseen und abgeschnürten Meeresbecken (Barren) entstehen.

Da Gipsgesteine Evaporite (auch Salzgesteine genannt) sind, entwickeln sich jene stets im Bereich von niedrigen Temperaturen, unter positivem Oxidationspotential. In Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Wassers und anderen physikalischen Gegebenheiten, können Gipsgesteine auch zusammen mit Karbonaten, Halit und anderen Salzen vorkommen.

Gips kristallisiert in unterschiedlichen Formen aus: tafelig, prismatisch, sehr flächenreich, aber auch körnig, parallelfaserig, dicht.<sup>9</sup>

Gipsgesteine sind auch in geringer Tiefe anzutreffen, so dass lediglich ein niedriges technisches Niveau zum Abbau erforderlich ist. Über den Salzgesteinen entstanden im Laufe der Zeit Sandsteine, Kalksteine und Tone. Die älteren, wesentlich leichteren Salzgesteine werden durch die Auflast der jüngeren Sandstein-, Kalkstein-, und Tonschichten nach oben verdrängt. Auch durch natürliche Landschaftserhebungen sind höher liegende Gipsbänke entstanden. So wurden in der letzten Eiszeit tiefer liegende Gipsablagerungen wieder näher an die Erdoberfläche transportiert. Als Beispiel hierfür kann die Anhebung von Gipsbänken der Zechsteine-Straßfurtserie Z2 und Zechstein-Werraserie Z1 in Rottlebberode (Harz) auf 100-350 Meter über Null genannt werden.

#### 3.3.2. Alabaster – im speziellen

Alabaster ist eine Varietät von Gipsgestein. Eine konkrete einheitliche Definition liegt nicht vor (siehe Kapitel: Definition).

Die Bildung von Alabaster durch Eindampfung bzw. Eindunstung wird kontrovers diskutiert.

---

<sup>9</sup> vgl. MATTHES (2001), S. 100, 344ff; RÖSLER, (1991), S. 664; OKRUSCH, MATTHES (2005), S. 71-72

Neben der porphyroblastischen Bildung von Alabaster kann dieser auch sekundär aus Anhydrit entstehen. Beide Bildungsbedingungen gehen mit einer Volumenzunahme und Veränderung des Kristallgefüges, welches sich im Ergebnis in Ausgestalt von Alabaster zeigt, einher.

Bei porphyroblastischem Gips liegen die unterschiedlichen Kristallformen, Gips und Alabaster, nebeneinander vor. Bei der Blastese, welche durch metamorphe Prozesse angeregt wird, kommt es zu einem Wachstumsschub einiger Kristalle. Diese können zu größeren Kristallen heranwachsen und werden in der Regel durch Minerale, die eine dichte oder feinkörnige Matrix bilden, umgeben.<sup>10</sup>

Die sekundäre Bildung von Gipsgestein aus Anhydrit ist möglich, wenn dieser in den Bereich des Grundwasserspiegels kommt, hydratisiert und umgewandelt wird. Anschauen kann man solch eine Entstehung beispielsweise in dem Thüringer Rottleberode. Hier wurde der untere und obere Werraanhydrit an der Erdoberfläche in Gips und teilweise in Alabaster umgewandelt.<sup>11</sup>

Alabaster kommt eiförmig im Gipsgestein oder in Bänken vor. Seine Mächtigkeit reicht von wenigen Zentimetern bis zu drei Meter.

### 3.4. Abbau

#### 3.4.1. Allgemein

Die Abbaugelände für Alabaster waren, bedingt durch die meist kleinen Lagerstätten, von der Antike bis in die Neuzeit wechselnd und meist zeitlich begrenzt.

Früher baute man Alabaster größtenteils zerstörungsarm ab, weil er u. a. viel und gern als Bildhauerstein verwendet wurde. Heute wird er dagegen für diesen Zweck nur noch an wenigen Orten gewonnen. Dies ist zum einen auf die geringere Nachfrage zurückzuführen. Zum anderen verursacht der Abbau einen hohen Aufwand, der sich nur bei größeren, selten vorkommenden, Lagerstätten lohnt. Wo wenig Alabaster im Zusammenhang mit Gips vorkommt, wird dieser

---

<sup>10</sup> s. <http://www-users.rwth-aachen.de/ralph.delzepich/skript.htm>;

<http://de.wikipedia.org/wiki/Porphyroblast> (Stand 25.02.2010);

<sup>11</sup> s. HAAßENGIER (2007) S. 22; Dr. ZIEBELL, KNAUF Werk Rottleberode, mündliche Aussage (18.09.09)

zumeist durch Sprengung abgebaut und anschließend für die Herstellung von „Schüttgut“ zerkleinert<sup>12</sup>. Kleinere Alabastervorkommen liegen zumeist brach<sup>13</sup>.

Als Werkstein ist Gips fast unbekannt. In Europa wird Gips nur noch für die Bindemittelherstellung und für die chemische Industrie gefördert.<sup>14</sup> Die kleineren, meist schon Jahrzehnte brachliegenden Steinbrüche mit Alabastervorkommen dienen im geringen Umfang für Bau- und Reparaturmaterial. Die größeren Gesteinsbrüche liefern nur selten und nur geringe Mengen an Material für Werksteine.

#### 3.4.2. Zeitliche Gliederung bedeutender Alabaster-Abbaugebiete

In der Antike gab es in Ägypten, Kreta und Etrurien Alabastervorkommen, die abgebaut wurden.<sup>15</sup>

Im Mittelalter waren England (englische Midlands, in der Nähe von Nottingham, Derby, Burton-on-Trent, York, Lincoln, Norwich und Staffordshire) und Italien bedeutende Alabasterexportzentren für den nordeuropäischen Raum.<sup>16</sup> Ferner gab es Brüche in der Toskana sowie in Frankreich (Burgund und in Lothringen).<sup>17</sup>

Seit der Renaissance gewann der Alabasterabbau für die Harzer Region an Bedeutung. Zu Beginn des 18.Jh. erfolgte der Abbau des Harzer Alabaster auch für Exporte, vor allem für Böhmen, Schlesien und Holland. Selbst der König beschloss, Alabaster aus der Grafschaft Hohenstein (nahe Nordhausen) für den Bau seines Schlosses in Berlin zu verwenden. Das ebenfalls abgebaute Marienglas wurde auch ins Ausland exportiert.<sup>18</sup>

Im Jahr 1988 befanden sich in Deutschland noch einige Gipsabbaugebiete mit möglichen Alabastervorkommen in Thüringen (südlicher Harzrand, Kyffhäuser, Thüringer Becken, Kittelsthal, Fulda- und Werratal), in Bayern (Steigerwald, Ipfhofen, Windsheim), in Baden

---

<sup>12</sup> Dr. ZIEBELL, FA. KNAUF, Rothleberode, mündl. Auskunft (18.09.09)

<sup>13</sup> ehem. Steinbrüche von Rüdigsdorf und Wachsenburg, s. HAAßENGIER (2007) S.102, 192

<sup>14</sup> s. HAAßENGIER (2007) S. 12

<sup>15</sup> s. HAAßENGIER (2007) S. 8

<sup>16</sup> vgl. PENNY (1995) S. 62; DUBY, DAVAL (2002) S. 404-405

<sup>17</sup> s. DUBY, DAVAL (2002) S. 404-405

<sup>18</sup> vgl. KUHLBRODT (1985) S. 21-23 ; s. auch HAAßENGIER (2007) S. 8

Württemberg (Raum Stuttgart/Heilbronn), in Schleswig-Holstein (Bad Segeberg) und in Niedersachsen (Lüneburg).<sup>19</sup>

Derzeit wird in Deutschland Alabaster nicht mehr als Bildhauerstein aus v. g. Gründen abgebaut.<sup>20</sup> Einmalig erfolgte der schonende Abbau von Alabaster zuletzt in Ellrich, für größere Ergänzungen an dem Kanzel-Altar<sup>21</sup> des Saalfelder Schlosses.

Größere Lagerstätten befinden sich noch in Italien um Volterra und in Spanien.

### 3.5. Kunsthistorische Verwendung von Alabaster

#### 3.5.1. Allgemein

Alabaster gewann als Material für dekorative und kunstgewerbliche Gegenstände sowie als Bauplatten für den Innenbereich<sup>22</sup> eine umfangreiche kunsthistorische Bedeutung.

Zu begründen ist dies damit, dass sich Alabaster im Vergleich zum ähnlich wirkungsvollen Marmor wesentlich leichter und schneller bearbeiten ließ.<sup>23</sup> Bei den Bildhauern wurde der glatte, weiche Stein deshalb bevorzugt. Bildhauer, die sich diesem Gestein voll und ganz widmeten, wurden auch Alabasterer genannt<sup>24</sup>.

Aus Alabaster wurden beispielsweise Vasen, Lampenschalen, Skulpturen, Reliefs, Möbelplatten, Taufsteine, Altäre, Fußbodenbeläge, Wandverkleidungen und Säulen hergestellt. Kombinationen von Alabaster mit anderen Gesteinen und Materialien oder auch partielle Vergoldungen, um den Wert des Stückes zu unterstreichen, stellten keine Seltenheit dar. Einige Alabasterskulpturen wurden Goldschmiedearbeiten mit Edelsteinen oder Emaille verzierte Kronen hinzugefügt, um den Gesamteindruck zu vervollständigen.

---

<sup>19</sup> vgl. ARENT S. 221-230; s. auch HAAßENGIER (2007) S. 8

<sup>20</sup> s. HAAßENGIER (2007) S. 12

<sup>21</sup> Original vom Bildhauer Gottfried Gröninger. Die Restaurierungsarbeiten wurden 2009 fertig gestellt.

<sup>22</sup> Für Inkrustationen verwendet

<sup>23</sup> s. FREY (1991)

<sup>24</sup> vergl. DUBY, DAVAL (2002) S. 404 - 405; KUHLBRODT (1985) S. 21

### Beispiele

Als Verkleidung von Grabkammern in Ägyptischen Pyramiden wurde Alabaster bereits 2465-232 v. Chr. verbaut. Es finden sich ebenfalls Alabasterverkleidungen am Palast von Knossos auf Kreta 2000 v. Chr. sowie in der Palaststadt Persepolis im Iran 500 v. Chr.<sup>25</sup>

In Volterra, ein bedeutendes Zentrum des Alabasterabbaus, wurde bereits im erstem Jahrhundert nach Christus, Alabaster als Urnengestein und als Baumaterial von Säulen durch die Etrusker verwendet.<sup>26</sup>

Im 14. Jh. nach Chr. spezialisierten sich englische Werkstätten auf das Geschäft mit Alabaster. Es wurden rechteckige Platten, Figuren in Hochreliefs und Statuen aufs Festland exportiert.<sup>27</sup> Seit der Renaissance wurde in Deutschland vermehrt auch der eigens abgebaute Alabaster, hauptsächlich regional begrenzt, verwendet. Damit verbunden setzte sich auch der Beruf des Alabasterers in Deutschland durch. Meist wurden Gegenstände der kirchlichen Kunst geschaffen, wie z. B. eine Frauenfigur aus weißem Alabaster in der Kirche von Wernrode.<sup>28</sup>

Georg Agricola<sup>29</sup> beschreibt in seinem Werk „über die Steine“<sup>30</sup>, dass durchsichtige Gipskristalle (Marienglas) in Fensternischen eingesetzt werden, um die Luft abzuschließen aber das Licht hereinzulassen<sup>31</sup>. Bis ins späte Mittelalter wurden Gipskristalle als Fensterscheiben benutzt.

Im 15. Jh. nach Chr. fand der Alabaster in der deutschen, englischen, italienischen sowie französischen Spätgotik in der kirchlichen, wie auch in der weltlichen Kunst seine Blüte.<sup>32</sup> „Alabaster war das Material für die höfische Skulptur schlechthin.“<sup>33</sup> Könige und andere wohlhabende Adlige bestellten Alabaster für Grablegen und sonstiges. Um den hohen Ansprüchen des Auftraggebers an den Alabaster gerecht zu werden, mussten oft lange

---

<sup>25</sup> s. HAAßENGIER (2007) S. 8

<sup>26</sup> s. [www.comune.volterra.pi.it/english/alabastroit/artig.html](http://www.comune.volterra.pi.it/english/alabastroit/artig.html) aus HAAßENGIER (2007)

<sup>27</sup> s. DUBY, DAVAL (2002) S. 404

<sup>28</sup> s. KUHLBRODT (1985) S. 21

<sup>29</sup> sächsischer Arzt und Bergbausachverständiger

<sup>30</sup> s. De naturanfossilum (1546)

<sup>31</sup> s. HAAßENGIER (2007) S. 8

<sup>32</sup> s. DUBY, DAVAL (2002) S. 404

<sup>33</sup> s. DUBY, DAVAL (2002) S. 404

Transportstrecken zurückgelegt werden. Teilweise wurden Straßen neu gebaut, damit das Gestein mit Ochsenkarren vom Steinbruch zum Schiff transportiert werden konnte<sup>34</sup>. Meist wurden die Transporte sowie der Abbau des leicht zerbrechlichen Steins von den beauftragten Bildhauern überwacht. So wurde um 1400 beispielsweise für den Altaraufsatz der Kathedrale Zaragoza (Bildhauer: Pere Joan) eine Inspektionsreise in die 460 km entfernten Steinbrüche in Kauf genommen<sup>35</sup>. Herzog Ulrich zu Mecklenburg investierte eine verhältnismäßig hohe Summe zu jener Zeit, um den Bildhauer Brandin<sup>36</sup> auf eine Reise in die Niederlande, nach England und nach Lübeck zu schicken, um den passenden Alabaster und anderes Gestein zu finden.<sup>37</sup> Schon damals war es schwer, qualitativ hochwertige und große Stücken zu besorgen. Daher waren oft mehrere Reisen nötig, bevor der passende Alabaster gefunden wurde. Die genannten Beispiele zeigen, wie viel Wert dem Alabaster beigemessen wurde.



**Abb. 1: Verkündigungengel aus Javernant, Mitte des 14. Jh. Cleveland, Cleveland Museum of Art, die Figur ist durch aufgemaltes bzw. vergoldetes Dekor aus Linien und Punkten, Blüten und Arabesken bereichert. Quelle: DUBY, DAVAL (2002) S. 404**

<sup>34</sup> s. DUBY, DAVAL (2002) S. 405

<sup>35</sup> s. DUBY, DAVAL (2002) S. 404-405

<sup>36</sup> Philipp Brandin (braunschweiger Bildhauer) arbeitete unter anderem mit den Bildhauern Claus Midow und Bernd Berninger an dem Grabmonument des Herzogs Ulrich zu Mecklenburg und seinen Gemahlinnen Elisabeth von Dänemark und Anna von Pommern zusammen. Das sogenannte Ulrich Monument (1575/76-86/87 und 1597-99/1600) befindet sich im Güstrower Dom. s. NEUMAN (2005) S. 234-259

<sup>37</sup> s. NEUMANN, 2005 S. 234-259

### 3.5.2. Kunsthistorische Verwendung deutscher Alabaster

Es gibt einige bedeutsame Exemplare für die Verwendung von Alabaster deutscher Herkunft. Steigerthaler Alabaster wurde z. B. im Kölner Dom und in der Kirche von Oybin für die Innenausstattung verwendet.<sup>38</sup> Mit Kittelsthaler Alabaster wurden einige Räume im Weimarer Stadtschloss und Schloss Belvedere gestaltet.<sup>39</sup> Das runde Zimmer (Luisenzimmer) des Weimarer Stadtschlusses wurde mit transluzentem Alabaster ausgekleidet und die dahinter befindliche Wand zuvor rot bemalt, so dass der Alabaster rot wirkt.<sup>40</sup> Der Allendorfer Alabaster wurde sowohl als Taufstein, als auch für den Altar in der Kirche in Döschnitz verwendet.<sup>41</sup> In Schloss Heidecksburg in Rüdolstadt wurde Alabasterstuck für Verzierungen eingesetzt.<sup>42</sup> Die Alabasterbrüche der näheren Umgebung lieferten sehr reinen Alabaster.



**Abb. 2 : Ausschnitt vom Epitaph für Philipp Quitzow in der Kirche von Kletzke, Gemeinde Plattenburg in Brandenburg, um 1617: heller und dunkler Marmor mit Skulpturen und Ornamenten aus Alabaster. Quelle: Silvia Gering (06. 2009)**

---

<sup>38</sup> s. HAAßENGIER (2007) S. 11

<sup>39</sup> s. HAAßENGIER (2007) S. 11

<sup>40</sup> HAAßENGIER mündliche Auskunft 21.10.2009

<sup>41</sup> s. HAAßENGIER (2007) S. 11

<sup>42</sup> HAAßENGIER mündliche Auskunft 21.10.2009

## **4. Verwitterung von Alabaster**

### **4.1. Definition „Verwitterung“**

Die Verwitterung ist eine Wechselwirkung zwischen Gestein und Umgebung und wird von den Gesteinseigenschaften und äußeren Gegebenheiten beeinflusst. Sie umfasst alle Vorgänge, die unter Einfluss von chemischen und biologischen Prozessen die äußere Form, die Phasenzusammensetzung und / oder das Gefüge des Gesteins ändern.<sup>43</sup>

Demnach können Schäden auch durch baukonstruktive Einflüsse, unsachgemäßer Lagerung und Aufstellung, ungeeigneter und/oder unsachgemäß angewandter Restaurierungsmaterialien<sup>44</sup> hervorgerufen werden.<sup>45</sup>

### **4.2. Verwitterungsarten / Auswirkungen von Verwitterungen**

Bereits Agricola schrieb in seinem Werk „über die Steine“ (De naturanfossilum, 1546), dass Gips (Marienglas) gegenüber Regenwasser empfindlich sei und davon zerstört würde<sup>46</sup>. Damit benennt bereits Agricola den schlimmsten, natürlichen Verwitterungseinfluss für Gips - Wasser in all seinen Aggregatzuständen. Im folgenden Abschnitt werden unterschiedliche Schadensbilder an Sulfaten, im Besonderen an Alabaster, und ihre Ursachen genannt.

#### **4.2.1. Mikrokarst**

Unter dem Begriff Mikrokarst werden unregelmäßige Auflösungen der Gesteinsoberfläche (Loch- und Rillenkarrén) zusammen gefasst, die durch Korrosion entstanden sind. Dabei werden Bestandteile des Alabasters aus dem Verbund gelöst und bleiben als aufliegende Schicht zurück. Die Oberfläche wird in der Folge stumpf bzw. opak und aufgeraut. Der Alabaster verliert seine Politur.<sup>47</sup>

Die Ursache für dieses Schadensphänomen kann die Feuchtigkeit, normalerweise in Außenbereichen direkter Wasserkontakt oder auch die erhöhte Luftfeuchtigkeit sein. Die

---

<sup>43</sup> s. HAAßENGIER (2007) S. 16

<sup>44</sup> s. FREY (1991)

<sup>45</sup> vgl. HAAßENGIER (2007) S. 16, FREY (1991)

<sup>46</sup> vgl. HAAßENGIER (2007) S. 8

<sup>47</sup> vgl. HAAßENGIER (2007) S. 205 und FITZNER (1995) S. 56

oberflächigen Alabasterkristalle lösen sich<sup>48</sup>, begünstigt durch die hygroskopische Wirkung des aufliegenden Staubes und der hohen Luftfeuchtigkeit. Sinkt die Luftfeuchtigkeit, kristallisiert amorphes Calciumsulfat aus, welches eine aufliegende Schicht ohne festen Verbund bildet.<sup>49</sup> Ferner kann die Umwandlung vom Dihydrat zum Halbhydrat, welche mit einer Volumenverminderung und Dichteerhöhung einhergeht, eine Korrosionsbildung verursachen. Die durch Wärme erzwungene Abspaltung von Wasser kann bereits bei 40°C beginnen.<sup>50</sup> Die Ausbildung eines Mikrokarstes kann die weitere Verwitterung verlangsamen.<sup>51</sup> Dabei fungiert der Mikrokarst als Schutzschicht für nachfolgende, von aussen einwirkende Witterungseinflüsse.

#### 4.2.2. Abbröckeln

Unter Abbröckeln wird ein Ablösen von größeren kompakten Gesteinselementen verstanden.<sup>52</sup> Der Auslöser hierfür liegt in der Volumenveränderung der Alabasterkristalle, die beispielsweise durch Wasserabgabe<sup>53</sup> zur Aufhebung des mechanischen Verbundes führt. Zu erkennen sind dann Aufwölbungen und Abplatzungen, die meist an Gefügeschwachstellen wie Schichtungen, Faserungen oder Kluftfugen, beginnen.<sup>54</sup>

#### 4.2.3. Risse

Als Risse bezeichnet man Trenn- bzw. Bruchflächen, die einzeln oder in Rissystemen vorkommen.<sup>55</sup>

Die Umwandlung von kristallinem Alabaster zu amorphem Gips bringt eine eingeschränkte, mechanische Bindefähigkeit mit sich, die zu Rissen führen kann.<sup>56</sup> Ferner können Risse durch mechanische Spannungen, z.B. durch Ausdehnung bei Frost, herbeigeführt werden.

---

<sup>48</sup> Gips hat eine Löslichkeit von 2,02 g/l je nach Calciumsulfat-Modifikation. BREUER (2002) S.109

<sup>49</sup> s. FREY (1991) und FITZNER (1995) S. 56

<sup>50</sup> s. GRASSEGGER (2008) S. 51 und FREY (1991)

<sup>51</sup> HAAßENGIER S. 206

<sup>52</sup> FITZNER (1995) S. 64

<sup>53</sup> s. Korrosion

<sup>54</sup> s. FREY (1991) und HAAßENGIER S. 205

<sup>55</sup> FITZNER (1995) S. 56

<sup>56</sup> NIEMCEWICZ (2004) S. 339

#### 4.2.4. Krustenbildung

Wenn die an der Oberfläche gelösten Gipskristalle wieder und wieder in Lösung eingehen und zumeist unter Einbindung von Staub- und Schmutzpartikeln wieder auskristallisieren, spricht man von Krustenbildung.<sup>57</sup>

#### 4.2.5. Absanden

Das Absanden, auch Mehlbildung genannt ist ein weiteres Nebenprodukt der Karstbildung. An der Gesteinsoberfläche entsteht durch Auflockerung des Gefüges eine mehlig-, pulverförmige Schicht.<sup>58</sup>

#### 4.2.6. Ungeeignete / unsachgemäß angewandte Restaurierungsmaterialien

Auch eine ungeeignete / unsachgemäße Verwendung von Restaurierungsmaterialien kann sich nachteilig auf Alabaster auswirken.

Nachfolgend werden in Vertretung zwei Beispiele genannt.

Zu Aufwölbungen, tiefgehenden Rissen und großflächigen Aufspaltungen ist es infolge einer Festigung mit Methylmethacrylat (MMA) an einem Alabasterobjekt gekommen. Als Schadensursache konnte u.a. die Wärmeentwicklung bei dem Polymerisationsvorgang ausgemacht werden.<sup>59</sup>

Dagegen zeigen Behandlungen mit Wachs bzw. Öl eine weitaus geringere Beeinträchtigung auf. Oftmals entwickelt die damit versiegelte Oberfläche eine oberflächige, gelbe Verfärbung.<sup>60</sup>

---

<sup>57</sup> s. HAAßENGIER (2007) S. 205 vgl. FITZNER (1995) S. 62

<sup>58</sup> s. HAAßENGIER (2007) S. 205 vgl. FITZNER (1995) S. 64

<sup>59</sup> s. GRASSEGGER (2008) S. 51-52; GRASSEGGER (2002) S. 227-231

<sup>60</sup> vgl. HAAßENGIER (2007) S. 209

## **5. Probenmaterial – Alabaster**<sup>61</sup>

Zur Ermittlung vom Stoffbestand sowie gesteintechnischen Kennwerten (porenspezifischen und physiko-mechanische Eigenschaften) für Alabaster dienten drei bruchfrische Alabaster und Werte aus der Literatur (HAAßENGIER (2007)).

In der Dissertation von HAAßENGIER (2007) sind einige Untersuchungsergebnisse von Alabastergesteinen angegeben. Es handelt sich um zwei deutsche Alabaster aus dem Thüringer Becken, welche aus tieferen Lagen, größerer, verwitterter Abbaublöcke<sup>62</sup>, gewonnen wurde.<sup>63</sup> Schwierigkeiten in der Interpretation, hervorgerufen durch unterschiedliche Prüfverfahren und Prüfkörpergrößen, ließen ein Übernehmen und Vergleichen der Kennwerte von HAAßENGIER (2007) mit den in dieser Arbeit ermittelten Messwerte nicht in vollem Umfang zu.

Weitere, bruchfrische Alabastersorten (ein Italienischer, ein Spanischer und ein Deutscher) sollten die Kennwerte der Literatur komplettieren und eine größere Bandbreite aufzeigen. Interessant war auch die Frage, ob die einzelnen Sorten sich stark in ihren Kennwerten unterscheiden würden.

Für die Untersuchungen wurde bruchfrisches, nicht durch Sprengung abgebautes Material benötigt, da eine Vorschädigung des Materials die Aussagekraft der Kennwerte beeinträchtigen würde. Die Beschaffung von deutschen, bruchfrischen nicht in Sprengung abgebauten Alabaster ist im Gegensatz zum Italienischen und Spanischen Alabaster, so gut wie unmöglich. Von Frau Dipl. Restauratorin Anja Kiss konnte letztlich geeigneter, als Bildhauerstein<sup>64</sup> gewonnener Deutscher Alabaster zur Verfügung gestellt werden. Dieser einmalige „behutsame“ Abbau im deutschen Raum, erfolgte im Rahmen eines Projektes<sup>65</sup>.

In nachfolgender Tabelle werden einige Daten zu den einzelnen Alabastersorten, deren Werte erhoben bzw. verwendet werden, aufgeführt. Die in der rechten Spalte aufgeführten Bezeichnungen der Alabastersorten<sup>66</sup> werden im weiteren Verlauf der Arbeit verwendet.

---

<sup>61</sup> s. Anhang Nr.2

<sup>62</sup> Das Probenmaterial des Alabasters WaB2 wurde aus Blöcken von ca. 80x80x60cm entnommen.

<sup>63</sup> HAAßENGIER (2007) mündliche Auskunft am 21.10.09

<sup>64</sup> also nicht in Sprengung abgebaut

<sup>65</sup> Restaurierung des Kanzel-Altars des Saalfelder Schlosses.

<sup>66</sup> Diese setzt sich aus den ersten drei Buchstaben des Gesteins, dem Anfangsbuchstaben der abbauenden Firma sowie den ersten drei Buchstaben des Steinbruchs bzw. Abbaugebiets zusammen.

Land	Abbauggebiet	Steinbruch	Vertrieb durch	Bezeichn. <sup>67</sup>
Italien	Castellina Maritima	Le Forni	KNAUF INTERNI	Ala.K.For.
Italien	Castellina Maritima	Le Forni	KNAUF INTERNI	Ala.K.2. <sup>68</sup>
Spanien	La Pueblo de Hajar (E-44100)		Scheruhn Industrie- Mineralien GmbH & Co.	Ala.S.Pue.
Dtschl.	Thüringen	Ellrich	FA. maxit Deutschland GmbH <sup>69</sup>	Ala.M.Ell
Dtschl.	Thüringen	Stillgelegt; 1 km südlich von Rüdigsdorf	-	Rü1 <sup>70</sup>
Dtschl.	Thüringen	Stillgelegt, ca. 300 m südwestlich der Wachsenburg	-	WaB2 <sup>71</sup>

**Tabelle 1: Angabe über die verschiedenen Alabastersorten, deren Messwerte in der Arbeit erhoben bzw. verwendet werden**

---

<sup>67</sup> Probenbezeichnung im Text

<sup>68</sup> Ala.K.2. ist ein kleineres Alabasterbruchstück, welches aus demselben Abbauggebiet wie Ala.K.For. stammt. Ala.K.2 wurde lediglich für Dünnschliffe und röntgenographische Untersuchungen mit herangezogen.

<sup>69</sup> bereitgestellt durch Dipl. Restauratorin Anja Kiss

<sup>70</sup> Bezeichnung von HAAßENGIER (2007) übernommen

<sup>71</sup> Bezeichnung von HAAßENGIER (2007) übernommen

## **6. Gesteinsspezifische Daten von Alabaster**<sup>72</sup>

Es wurden wesentliche Werte für drei unterschiedliche<sup>73</sup> Alabastergesteine ermittelt, um einen Einblick in dieses, bisher wenig untersuchte Gestein zu geben. Unter anderem sollen einige Kennwerte des Gesteins als Vergleich zu den Kennwerten der untersuchten Ergänzungsmassen dienen. Um die Spannweite der Messergebnisse auch innerhalb einer Alabastersorte aufzuzeigen, wurde auf eine Bildung von Mittelwerten bei den bruchfrischen Gesteinen verzichtet.<sup>74</sup>

### **6.1. Petrographie des Alabasters**

#### 6.1.1. Makroskopische Betrachtungen

Ala.K.For., Ala.K.2 (Italienischer Alabaster) und Ala.S.Pue. (Spanischer Alabaster) sind von weißer Farbigkeit, wobei der Ala.S.Pue. einige braune bis graue Adern aufweist. Beide Sorten sind sehr transluzent. Im Gegensatz dazu ist der Ala.M.Ell. (Deutscher Alabaster) weniger transluzent und wirkt in stärkeren Schichten opak. Er und RÜ1 zeigen eine weiße bis hellgraue Grundmasse, die „von einer geringen dolomitischen Flaserung“<sup>75</sup> wolkig grau durchzogen ist. Dagegen weist WaB2 eine gleichmäßig hellgraue Grundmasse auf.<sup>76</sup>

Der Habitus der bruchfrischen Alabastersorten (Ala.K.For., Ala.K.2., Ala.S.Pue., Ala.M.Ell.) sowie des RÜ1<sup>77</sup> ist sehr feinkörnig. Ferner ist bei ihnen ein dichtes Gefüge zu erkennen. WaB2 ist fein bis mittelkristallin ausgebildet.<sup>78</sup>

Der Ala.K.For. weist als einziger der genannten Alabastersorten eine Schichtung auf.

---

<sup>72</sup> Siehe Anhang Nr. 1 und Nr.2

<sup>73</sup> siehe Kapitel: Probenmaterial - Alabaster

<sup>74</sup> Zur Ermittlung der folgenden Werte wurden, wenn nicht anders angegeben, mind. 3 max. 5 Proben verwendet.

<sup>75</sup> betrifft RÜ1 siehe HAAßENGIER (2007) S. 104

<sup>76</sup> siehe HAAßENGIER (2007) S.193

<sup>77</sup> siehe HAAßENGIER (2007) S. 104

<sup>78</sup> siehe HAAßENGIER (2007) S.193



Abb. 3: Makrofoto Ala.K.For.



Abb. 4: Makrofoto Ala.K.2.



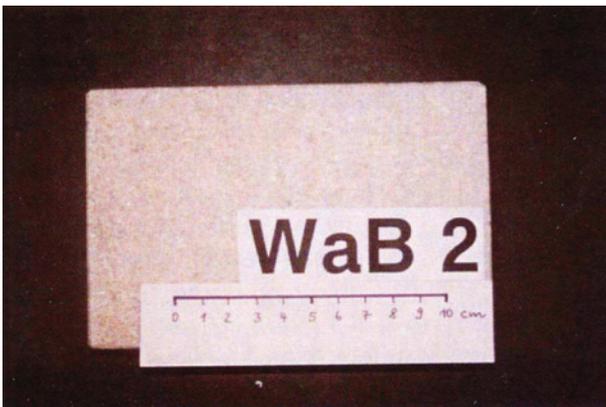
Abb. 5: Makrofoto Ala.S.Pue.



**Abb. 6: Makrofoto Ala.M.EI.**



**Abb. 7 Makrofoto RÜ1;**  
**Quelle: HAAßENGIER (2007) S. 104**



**Abb. 8: Makrofoto WaB2;**  
**Quelle: HAAßENGIER (2007) S. 193**

### 6.1.2. Mikroskopische Betrachtung von Dünnschliffen

Die folgenden Aussagen in diesem Kapitel beruhen auf den Beobachtungen der aus den bruchfrischen Alabaster gefertigten Dünnschliffe sowie in der Literatur (HAAßENGIER 2007) genannte Beschreibungen.

Bruchfrischer Alabaster<sup>79</sup>

Bei allen Dünnschliffen<sup>80</sup> wird ein dichtes Gefüge mit Korn-Korn-Bindungen festgestellt. Lediglich der Dünnschliff Ala.S.Pue. weist ein leicht eingeregelttes Gefüge auf (siehe Abb. 12). Die Dünnschliffe von Ala.K.For., Ala.K.2 und Ala.S.Pue. zeigen im Vergleich zu Ala.M.Ell. homogenere Korngrößen.

Zudem ist bei allen Dünnschliffen eine Kristallart zu erkennen, welche im Folgenden als Gruppe I benannt wird. Die Schliffe von Ala.K.For., Ala.K.2., Ala.M.Ell. lassen eine weitere, nachstehend als Gruppe II bezeichnete, Kristallart feststellen. Einige Kristalle zeigen eine teilweise Umsetzung an - eine Seite stellt sich als Kristall der Gruppe I und die andere Seite als Kristall der Gruppe II dar (siehe Abb.11). Die Kristalle der Gruppe I und II liegen bei Ala.K.For., Ala.M.Ell., Ala.S.Pue. nebeneinander vor. Dagegen sind bei Ala.K.2. stark voneinander abgegrenzten Bereichen zu beobachten (siehe Abb.10).

Eine dritte Kristallart (Gruppe III) ist in den Schliffen von Ala.M.Ell., Ala.K.For., und Ala.S.Pue zu sehen.

Die Kristallgruppe I zeigt, teilweise verzwillingt, Kristalle, an denen eine beginnende Subkornbildung zu erkennen ist. Des Weiteren sind die Kristalle in allen Schliffen unterschiedlich ausgebildet: Ala.S.Pue. enthält größere, teilweise hypidiomorphe<sup>81</sup> sowie kleinere, eher xenomorphe Kristalle. Ala.K. besitzt wenige, idiomorphe, Ala.M.Ell. dagegen teilweise idiomorphe Kristalle. Die Gruppe I lässt ferner eine sehr niedrige Interferenzfarbe (grau) erkennen. Der unterschiedlich zu beobachtende Pleochroismus<sup>82</sup> geht von farblos zu beige<sup>83</sup> bzw. von hellgrau zu hellerem grau<sup>84</sup> bzw. wird nicht angezeigt<sup>85</sup>. Zudem ist in den Schliffen von Ala.K.For. und Ala.S.Pue. ein undulöses Auslöschen sichtbar. Bei allen Schliffen ist das Relief deutlich und die Doppelbrechung deutlich oder gering.

Die Kristallgruppe I kann aufgrund der genannten Eigenschaften als Gips bestimmt werden.

---

<sup>79</sup> Da der italienische Alabaster als Einziger eine Schichtung aufweist, wurde der Dünnschliff von Ala.K.For. senkrecht zur Schichtung angefertigt.

<sup>80</sup> Dünnschliffe von Ala.K.For., Ala.S.Pue wurden von der IDK gefertigt. Dünnschliffe von Ala.K.For., Ala.K.2., Ala.M.Ell. wurden an der Universität Potsdam, Abteilung: Mineralogie gefertigt.

<sup>81</sup> teilweise hypidiomorph = teilweise ideale Ausbildung der Kristalle

<sup>82</sup> Die unterschiedliche Farbigkeit des Pleochroismus ist mit der unterschiedlichen Schliffdicke zu erklären.

<sup>83</sup> bei Ala.S.Pue

<sup>84</sup> Ala.M.Ell. und Ala.K.2

<sup>85</sup> Ala.K.For.

Die Kristallgruppe II weist gegenüber der Kristallgruppe I überwiegend größere, eher stänglige Kristalle mit höheren (orangen) Interferenzfarben auf<sup>86</sup>. Das Relief und die Doppelbrechung sind wesentlich stärker ausgeprägt als bei Kristallgruppe I. Weiterhin ist bei den größeren Kristallen von Ala.K.For. eine Umsetzung des Kristalls, vor allem in den Randbereichen zu sehen (siehe Abb. 9). Der geringe Pleochroismus geht von hellgrau zu hellerem grau. Die größeren Kristalle des Dünnschliffes Ala.K.2 zeigen selten ein undulöses Auslöschen. Die Kristallgruppe II kann aufgrund der genannten Eigenschaften als Anhydrit bestimmt werden.

In der Gruppe III finden sich sehr feinkörnige Kristalle, die meist in Gruppen zusammen liegen. Diese Kristalle haben eine höhere Doppelbrechung, zeigen eine bläuliche Interferenzfarbe und haben ein hohes Relief.

Auf die Bestimmung der Kristalle der Gruppe III wird wegen ihres nur geringen Vorkommens verzichtet.

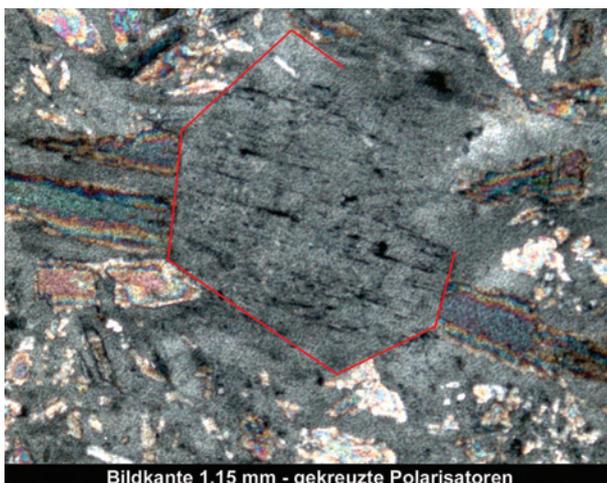
Die Dünnschliffe zeigen ungefähr folgende Gips- / Anhydritverteilung auf:

Ala.K.For. 60% Gips / ca. 40% Anhydrit

Ala.K.2. 70 - 80% Gips / 30-20% Anhydrit

Ala.M.Ell. 75 – 80 % Gips / 20-25% Anhydrit

Ala.S.Pue. annähernd 100% Gips



**Abb. 9: Ala\_K\_For\_001 mittig fast idiomorpher Kristall von Anhydrit umgeben**

<sup>86</sup> siehe Anhang Nr. 2



Abb. 10: Ala\_K\_For\_003 großer säuliger Anhydritkristall bereits an mehreren Stellen in Gips umgewandelt

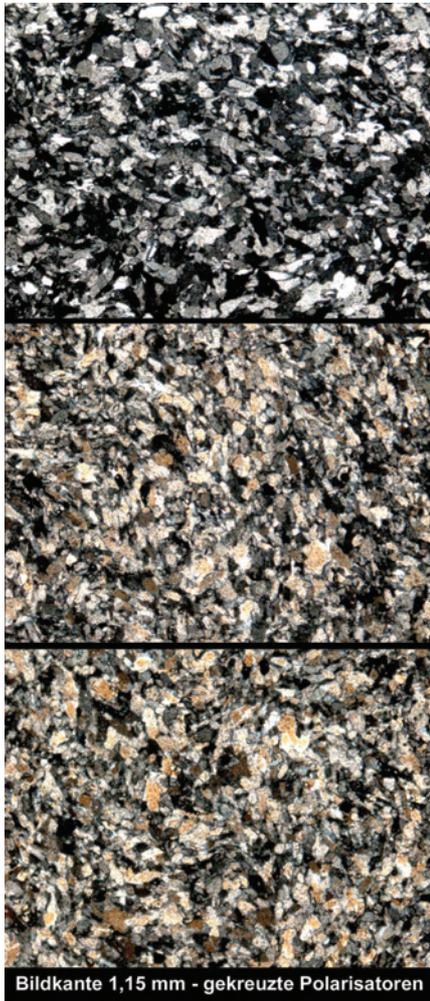


Abb.11: Ala\_K\_2\_001, Ala\_K\_2\_002, Ala\_K\_2\_003 Verlauf des Dünnschliffes in drei Bildern, eindeutig abgrenzende Bereiche von Gips (niedrige Interferenzfarben) über Gips mit Anhydrit (Gips= niedrige Interferenzfarben, Anhydrit= höhere Interferenzfarben) zu Anhydrit mit Gips

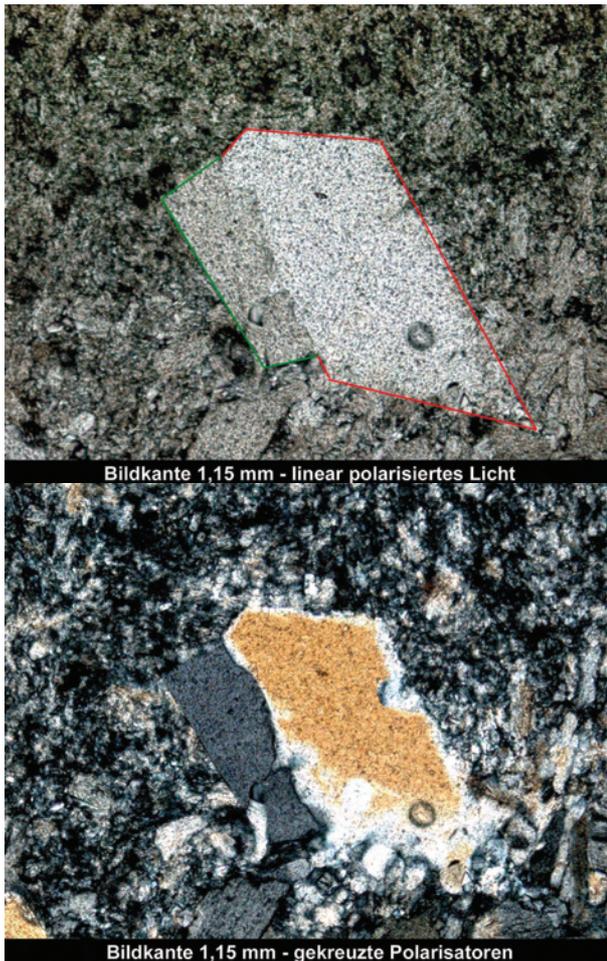


Abb.12. Ala\_M\_Ell\_002, Ala\_M\_Ell\_003 ein Anhydritkristall mit teilweise erfolgter Umwandlung zu Gips, oberes Bild (ohne Analysator) eindeutige Kristallgrenzen, unteres Bild (mit Analysator) der Kristall zeigt unterschiedliche Interferenzfarben



Abb.13: Ala\_S\_Pue\_001 Gipskristalle leicht horizontal eingeregelt

### Literaturwerte

Für RÜ1 wurden keine Dünnschliffe angefertigt.

Der Dünnschliff von WaB2 zeigt bis mm große idiomorphe Körner (homogen grobkörnig), die eine deutliche Subkornbildung und lobate Kornflächen aufzeigen.<sup>87</sup>

#### 6.1.3. Röntgenbeugungsanalyse<sup>88</sup>.

### Bruchfrischer Alabaster

Die Röntgenbeugungsdiagramme<sup>89</sup> der Alabastersorten zeigen Peaks, die eindeutig auf Calciumsulfat(di-)hydrat als Hauptbestandteil hinweisen. Auch die übrigen Peaks, die nur in sehr geringem Umfang vorkommen und nicht weiter identifiziert wurden, sind weitgehend identisch.

Das Röntgenbeugungsdiagramm von Ala.K.For. konnte aufgrund des Widerspruchs zu den Dünnschliffen, nicht berücksichtigt werden. (siehe Diskussion)

### Literaturangaben

Bei RÜ1 sowie WaB2 wurde nur Gips nachgewiesen.<sup>90</sup>

#### 6.1.4. Diskussion

Ala.K.For. zeigt in den Dünnschliffen<sup>91</sup>, im Widerspruch zu dem Röntgenbeugungsdiagramm, relativ viel Anhydrit im Verhältnis zum Gips. Ein zweiter, an der Uni Golm angefertigter Dünnschliff von Ala.K.For. zeigt dieselben Bestandteile wie der zuerst angefertigte Dünnschliff der IDK<sup>92</sup> und bestätigt damit, dass Ala.K.For. Gips und Anhydrit enthält. Ein erneutes Röntgenbeugungsdiagramm konnte aus Zeitgründen nicht angefertigt werden.

---

<sup>87</sup> s. HAAßENGIER (2007) S. 195

<sup>88</sup> röntgenographisch untersucht wurden Proben von Ala.M.Ell., Ala.S.Pue. und Ala.K.For.

<sup>89</sup> siehe Anhang: Nr. 2

<sup>90</sup> s. HAAßENGIER (2007) S. 108, 195

<sup>91</sup> Es wurde je ein Dünnschliff von der IDK sowie von den Mineralogen der Universität Potsdam- Golm angefertigt.

<sup>92</sup>Institut für Diagnostik und Konservierung an Denkmälern in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V. Ansprechpartner Frau Dr. Jeannine Meinhardt.

## 6.2. Porenraumbezogene Eigenschaften<sup>93</sup>

Für den Vergleich zu den ermittelten Werten der Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck und der Reindichte des bruchfrischen Alabasters können Werte von HAAßENGIER (2007) herangezogen werden.

Dahingegen können die Werte der Rohdichte und Porosität aus der Literatur nicht mit den errechneten Werten der scheinbaren Rohdichte und scheinbaren Porosität des bruchfrischen Alabasters gleichgesetzt werden<sup>94</sup>. Zum Vervollständigen der ermittelten Werte des bruchfrischen Alabasters werden die Werte der Rohdichte sowie der Porosität des Rü1 und WaB2 mit angegeben.

Die w-Werte<sup>95</sup> sind als jeweils gemessene Minimum- und Maximumwerte angegeben und als sehr niedrig zu erfassen.

	Ala.S.Pue.	Ala.M.Ell	Ala.K.For.	WaB2	Rü1
<b>Wm</b> [Massen-%]	0,06 - 0,46	0,06 - 0,48	0,25 - 0,48	0,65	1,19
<b>w-Wert</b>	0,00 - 0,27	0,00 - 0,44	0,00 - 0,23	-	-
<b>Reindichte</b> [g/cm <sup>3</sup> ]	2,28 - 2,30	2,24 - 2,31	2,39 - 2,43	2,35	2,41
<b>Rohdichte<sub>s</sub></b> [g/cm <sup>3</sup> ]	2,27 - 2,28	2,23 - 2,31	2,37 - 2,41	-	-
<b>Rohdichte</b> [g/cm <sup>3</sup> ]	-	-	-	2,23	2,24
<b>P<sub>s</sub></b> [%]	0,13 - 1,03	0,13 - 1,07	0,60 - 1,14	-	-
<b>P<sub>g</sub></b> [%]	-	-	-	5,31	6,97
<b>μ- Wert</b> [-]	1,31 <sup>96</sup> - 5,30	4,92 - 9,19	1,86 - 3,69	-	-

**Tabelle 2: Porenraumbezogene Eigenschaften von Alabaster**

<sup>93</sup> siehe Anhang: Nr. 1 und Nr. 4

<sup>94</sup> Grundlage beider Berechnungen siehe Anhang: Nr. 4

<sup>95</sup> Grundlegendes zum w-Wert sowie Anmerkungen zur Messung, siehe Kapitel: Untersuchungsaufbau

<sup>96</sup> Der niedrige μ-Wert kann auf größerporige Einlagerungen oder kleine Risse basieren. Zwei von fünf Gesteinsscheiben zeigten zu niedrige Werte. Daher werden diese als natürlich bedingte Ungleichmäßigkeit im Gestein angesehen und zur Auswertung mit herangezogen.

Die Wasseraufnahmewerte des Alabasters sind sehr gering, wobei die bruchfrischen Alabaster (Ala.S.Pue., Ala.M.Ell, Ala.K.For.) noch niedrigere Werte als WaB2 und Rü1 aufzeigen.

Die Werte der Rohdichte von WaB2 und Rü1 sind im Vergleich zu den Werten der scheinbaren Rohdichte des bruchfrischen Alabasters (Ala.S.Pue., Ala.M.Ell, Ala.K.For.) nur etwas höher, was darauf schließen lässt, dass Alabaster sehr dicht ist. Ferner ist die scheinbare Porosität des bruchfrischen Alabasters um ein vielfaches kleiner als die aus der Literatur entnommenen Werten<sup>97</sup>. Dadurch wird aufgezeigt, wie schlecht zugänglich der vorhandene Porenraum<sup>98</sup> ist. Untermauert wird dies, durch die sehr niedrigen w-Werte des bruchfrischen Alabasters, die eine sehr geringe Saugfähigkeit<sup>99</sup> aufzeigen.

Die  $\mu$ -Werte der bruchfrischen Gesteine weisen ein größeres Spektrum auf und sind insgesamt als sehr gut diffusionsoffen für Wasserdampf zu bezeichnen. Ala.S.Pue. und Ala.K.For haben um mehr als die Hälfte kleinere  $\mu$ -Werte als Ala.M.Ell. Sie lassen den Wasserdampf leichter diffundieren.

### 6.3. Physiko-mechanische Kennwerte

	Ala.S.Pue.	Ala.M.Ell	Ala.K.For.
<b>biaxiale Biegezugfestigkeit</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	7,11 - 8,89	7,75 - 8,39	13,63 - 16,40
<b>statischer E-modul<sup>100</sup></b> [kN/mm <sup>2</sup> ]	0,37 - 0,46	0,23 - 0,58	0,52 - 0,77
<b>Zugfestigkeit</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	1,00 - 1,21	1,02 - 1,31	0,25 - 0,60

**Tabelle 3: physiko- mechanische Kennwerte der bruchfrischen Alabaster**

Der bruchfrische Alabaster stellt sich als festes Gestein dar. Die Messwerte für den biaxialen Biegezug zeigen ein größeres Spektrum an. Alle bruchfrischen Alabaster zeigen niedrige E-Module. Die Zugfestigkeiten des Alabasters zeigen ein etwas größeres Spektrum an.

<sup>97</sup> Dies gilt auch unter Berücksichtigung der Möglichkeit, dass die Werte für die Porositäten von WaB2 und Rü1 etwas erhöht sein können, da das Probenmaterial aus bereits angewitterten Blöcken entnommen wurde.

<sup>98</sup> Poren, die nicht miteinander verbunden sind im Sinne von kapillar tränkbar.

<sup>99</sup> vergl. Tabelle von SNETHLAGE (1997) S.98

<sup>100</sup> Berechnung nach KOZUB (2008) siehe Anhang: Nr. 1

Die höchsten biaxialen Biegezugwerte zeigt der Ala.K.For. Die E-Module sowie die Zugfestigkeiten von Ala.S.Pue. und Ala.M.Ell. liegen nahe beieinander, wohingegen die Werte für Ala.K.For. für die E-Module etwas höher und für die Zugfestigkeiten etwa halb so hoch ausfallen.

#### 6.4. Hygrische und thermische Dilatation

Probenbezeichn.	Ala.S.Pue.	Ala.M.Ell	Ala.K.For.
hygrische Dilatation [mm/m]	- 0,012 bis +0,048	- 0,023 bis -0,127	- 0,142 bis -0,168 <sup>101</sup>
thermische Dilatation [K <sup>-1</sup> ]	1,0	1,0	-

**Tabelle 4: hygrische und thermische Dilatation der bruchfrischen Alabaster**

Der bruchfrische Alabaster schrumpft bei Wasserlagerung. Lediglich Ala.S.Pue. erfährt eine Dehnung bei der Hälfte der gemessenen Werte<sup>102</sup>. Das Schrumpfen des Alabasters kann auf Lösungsvorgänge<sup>103</sup>, die nicht näher untersucht wurden, zurückzuführen sein.

Die geringe Dehnung von zwei der vier Ala.S.Pue. - Proben kann durch Wassereinlagerung im Gefüge hervorgerufen sein.

Die Messung der thermische Dilatation<sup>104</sup> wurde lediglich an je einer Probe des bruchfrischen Alabasters Ala.S.Pue. und des Alabasters Ala.M.Ell. durchgeführt. Sie dient eher als richtungsweisend denn als Kennwert. Die hygrische Dilatation ist als gering einzuschätzen.

---

<sup>101</sup> Die Messung erfolgte quer zur Schichtung. Ein Vergleich zwischen horizontaler und vertikaler Schichtung von Ala.K.For. erfolgte aufgrund von Materialknappheit nicht.

<sup>102</sup> siehe Anhang Nr. 4

<sup>103</sup> Gips hat eine Löslichkeit von 2,02 g/l je nach Calciumsulfat-Modifikation. BREUER (2002) S.109

<sup>104</sup> Der Temperaturunterschied bei der Messung betrug ca. 40°C siehe Anhang Nr. 1

## **7. Zusammenfassung der gesteinspezifischen Parameter**

Alabaster ist in der vorliegenden Literatur nicht einheitlich definiert.<sup>105</sup> Aus den Quellen, die zur Verfügung standen und den Untersuchungsergebnissen lässt sich folgende Definition herleiten:

Alabaster ist eine feinkörnige (mikrokristalline), dichte Varietät von Gips. Es handelt sich um einen sehr reinen Gips mit einer Korn-Korn-Bindung. Die homogene, gleichmäßige und gleichförmige, Ausbildung der Kristalle bzw. Kristallite, die regellos verzahnt sind, bewirken ein dichtes, festes, relativ elastisches, meist gut zu bearbeitendes Material. Die Bearbeitbarkeit ist zudem von der Spaltbarkeit des Gesteins abhängig. Verschiedene Alabastersorten zeigen unterschiedlich stark ausgeprägte Transluzenzen auf. Die wenigen, weiteren Bestandteile beeinflussen die Farbigkeit des Gesteins.

Alabaster weist sich durch eine geringe Wasseraufnahme und einen geringen Wasserdampfdiffusionswiderstand aus. Ferner wird Alabaster durch geringe Dilatationswerte, die sich unter Wasserlagerung durch Schrumpfen darstellen, gekennzeichnet.

Im Unterschied zu Marmor weist Alabaster eine geringere Härte und eine schlechtere Wärmeleitfähigkeit auf, wodurch sich Alabaster im Gegensatz zu Marmor warm anfühlt.<sup>106</sup>

### 7.1.1. Diskussion

In der Literatur wird Alabaster oft als gut zu bearbeitendes Gestein beschrieben. Dass die Bearbeitung nicht nur von den Kristalleigenschaften sondern auch von der Spaltbarkeit des Gesteins abhängig ist, wird nicht erwähnt. Ein Alabaster<sup>107</sup> mit stark ausgeprägter bevorzugter Spaltbarkeit<sup>108</sup> ist ein schlecht zu bearbeitendes Material. Die regellose Verzahnung der Kristalle wird teilweise mit einer nicht bevorzugten Spaltbarkeit des Gesteins gleichgesetzt, dies bedeutet aber nicht das Gleiche. Auch wenn die Kristalle regellos verzahnt sind, kann eine bevorzugte Spaltbarkeit des Gesteins bestehen. So weist z.B. Ala.K.For zwar eine Schichtung auf, aber im Dünnschliff (siehe Anhang Nr. 2) zeigt er eine regellose Verzahnung. Dahingegen ist bei Ala.S.Pue eine leichte Regelung (siehe Abb: 12) der Kristalle aber keine Schichtung zu erkennen.

---

<sup>105</sup> vgl. MATTHES,OKRUSCH S.71; DUDA, REYL, SLIVKA S.54

<sup>106</sup> vgl. WEBER (1995)

<sup>107</sup> der Definition nach

<sup>108</sup> dies scheint nicht sehr häufig vorzukommen.

## **8. Fazit zum Thema: Alabaster**

Alabaster ist aufgrund seiner Materialbeschaffenheit ein sehr verwitterungsanfälliges Gestein. Auch bei Anwendung im Innenraum kommt es zu Schäden durch Verwitterung<sup>109</sup>, wie z.B. Mikrokarstbildung, Absanden, Verlust von kleineren Ecken und auskragenden, meist dünneren Elementen sowie Abplatzungen und Rissen. Demzufolge sind der konservatorische Verschuss<sup>110</sup>, die Ergänzung und der Ersatz von Naturstein nötig.

Die Materialbeschaffung für Vierungen an Objekten aus Alabaster stellt sich heutzutage problematisch dar. In Deutschland wird Alabaster als Bildhauerstein nicht mehr abgebaut. Ferner zeigen unterschiedliche Alabastersorten unterschiedlich stark ausgebildete Transluzenzen und Farben, wodurch die Auswahl des Ergänzungsgesteins zusätzlich erschwert wird. Folglich werden Steinerergänzungs- bzw. Steinersatzmassen für den konservatorischen Verschuss und Ergänzungen in Form von Antragungen sowie für Abgüsse eingesetzt.

Einige der im ersten Teil der Arbeit erhobenen Kennwerte bruchfrischen Alabasters dienen als Vergleich zu den ermittelnden Kennwerten der Ergänzungsmassen, die im zweiten Teil der Arbeit folgen.

---

<sup>109</sup> siehe Kapitel: 4.2 Verwitterung

<sup>110</sup> konservatorischer Verschuss d.h. Verschuss von Löchern und Rissen sowie das Anböscheln von Schalen um Verwitterungsprozessen gezielt entgegen zu wirken. (siehe Kapitel: Allgemeine Anforderungen an Steinersatz- und Steinerergänzungsmassen)

## **9. Einleitung Steinersatz- und Steinerergänzungsmassen für Objekte aus Alabaster**

Der zweite Teil dieser Diplomarbeit beschäftigt sich mit Steinerergänzungs- bzw. Steinersatzmassen für Objekte aus Alabaster ohne objektabhängigen Schwerpunkt.

Bei der Konservierung und Restaurierung von Alabaster finden unterschiedliche Massen Anwendung. Um die Bandbreite aufzuzeigen, erfolgt eine Rezeptsammlung der im deutsch-, polnisch-, und englischsprachigen Raum angewandten Ergänzungsmassen. Diese Rezeptsammlung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die Rezepte stammen aus schriftlichen Veröffentlichungen und Dokumentationen. Ferner wurden in Gesprächen mit Restauratoren Rezepte zur Verfügung gestellt.

Ausgewählte Massen aus der Rezeptsammlung werden anhand eines Untersuchungskataloges auf ihre optischen und physiko-mechanischen Eigenschaften im Vergleich zu Alabaster hin untersucht. Ziel ist es, herauszufinden, ob eine der genutzten Massen den gestellten Anforderungen gerecht werden kann. Der Schwerpunkt liegt daher beim Vergleich der einzelnen Massen.

Die zu vergleichenden Kennwerte sowohl des Alabasters, als auch der Ergänzungsmassen werden als Spannweite, Minimum- und Maximumwerte angegeben.<sup>111</sup>

---

<sup>111</sup> Zur Ermittlung der Werte der Ergänzungsmassen wurden, wenn nicht anders angegeben, mindestens drei Proben verwendet.

## **10. Allgemeine Betrachtungen zu Steinersatz- und Steinerfüllmassen für Alabaster**

### **10.1. Quellenlage**

Im folgenden Abschnitt wird die wichtigste Literatur zum Thema Alabasterersatz und -ergänzungen, die der Bearbeitung der Diplomarbeit zugrunde lag, genannt und deren inhaltlicher Schwerpunkt angeführt.

Anforderungen an die Eigenschaften sowie Untersuchungsverfahren werden von KNÖFEL, SCHUBERT (1990); KUCHLER (1998), SASSE (1998), MIKOS (1998) und SNETHLAGE (1997, 2008) genannt.

LARSON (1978) schreibt über die Konservierung von Alabaster und Marmor.

KEMP (2009) sowie GRISWOLD, URICHECK (1998) geben einen Überblick über verwendete Ergänzungs- sowie Ersatzmassen in der Restaurierung.

NIEMCEWICZ (2004) nennt in seinen Untersuchungen unterschiedliche Rezepte zu Ergänzungsmassen für Alabaster. Auch GÄNSICKE, HIRX (1997) zeigen Möglichkeiten für Ergänzungen von transluzenten Objekten in ihrem Artikel auf.

### **10.2. Anforderungen an Steinersatz- und Steinerfüllmassen**

#### **10.2.1. Allgemein**

Steinerfüllmassen können konservierend zum Glätten verwitterter Gesteinsoberflächen, d.h. für den Verschluss von Löchern und Rissen sowie das Anböschern von Schalen, angewendet werden. Dadurch wird Verwitterungsprozessen gezielt entgegen gewirkt. Beispielsweise wird so der Ablauf von Regenwasser ermöglicht und die Ansammlung von Partikeln verhindert.

Restauratorisch werden Steinerfüllmassen weiterhin als Steinersatzmassen, somit als Ersatz für Natursteinverfugungen, verwendet. Dabei stehen meist ikonographische und ästhetische Aspekte im Vordergrund. Einerseits können Umrisse wieder ablesbar und nachvollziehbar gestaltet werden, andererseits können detailgenaue Rekonstruktionen von verloren gegangenen Bestandteilen ausgeführt werden.

An die Eigenschaften der Steinerfülls- bzw. Steinersatzmassen wurden in der Fachliteratur Anforderungen formuliert.

SNETHLAGE (1997) benennt zur Qualitätsprüfung für Steinersatzstoffe physikalische und mechanische Eigenschaften sowie deren Kennwerte bezogen auf den Naturstein. Die gleichen Eigenschaften, mit Ausnahme der hygrischen Dehnung, führt SASSE (1999), allerdings mit einigen veränderten Kennwerten, an. MIKOS (1991) nennt weitere Eigenschaften wie z.B. Biegezugfestigkeit, reversibles, hygrisches Quellen nach 50 Zyklen, Quellmaß, Schwind- und Schrumpfmaß, Sättigungswert und Farbdifferenz und unterscheidet sich auch zudem in einigen Kennwerten von der zuvor genannten Literatur. Weiterhin formuliert er Anforderungen an das optische Erscheinungsbild, an die Verarbeitung, die Anpassungsfähigkeit an die Untergrundbeschaffenheit und die chemischen Eigenschaften. KUCHLER (1999) gibt hingegen als weitere wichtige Eigenschaft das Wasserrückhaltevermögen des Frischmörtels an. Einen sehr umfangreichen Katalog von Eigenschaften und Prüfverfahren zur Ermittlung von Kennwerten für Frischmörtel, Festmörtel und Massen im Verbund zeigen KNÖFEL und SCHUBERT (1990). Zudem findet eine Unterteilung der Eigenschaften in „erforderlich“ und „wünschenswert“ statt.

Je nach Bindemittelsystem, nach Gestein oder nach Anwendungsgebiet der Masse, können individuell Anforderungen wegfallen bzw. hinzukommen.

#### 10.2.2. Diskussion zu Prüfmethode in der Restaurierung

Als Prüfverfahren für die Ermittlung der Festigkeit werden in der maßgeblichen Fachliteratur bei SNETHLAGE (1995; 1997; 2008), KUCHLER (1998), SASSE (1998) und bei KNÖFEL und SCHUBERT (1990) die Druckfestigkeit sowie die Haftzugfestigkeit aufgeführt.

Die Druckfestigkeit kann jedoch nicht immer ermittelt werden, da die vorgeschriebene Probengröße oftmals eine nicht zur Verfügung stehende Materialmenge an Naturstein, für die Kennwertermittlung bzw. als Zuschlag der zu prüfenden Massen erfordert. Des Weiteren werden bei den benötigten Probekörpergrößen maximale Anstragsdicken einiger Bindemittelsysteme, z.B. Acrylharzdispersionen, überschritten.

Daher stellen die Messungen der biaxialen Biegezugfestigkeiten, für welche kleinere Probekörper, weniger Naturstein und geringere Anstragsdicken benötigt werden, eine Alternative dar. Hierüber können Anforderungen an die verschiedenen Massen gestellt werden.

In der zuvor benannten Fachliteratur finden sich jedoch keine Angaben über die Anforderungen von Biegezugfestigkeiten von Steinerfüllungs- bzw. Steinersatzmassen. Lediglich in einem

Artikel von MIKOS (1991) sind Relationswerte zum Naturstein für Biegezugfestigkeiten als Auswahlkriterium und Anforderungen für das statische<sup>112</sup> E-Modul aufgeführt.

### **10.3. Anforderungen an Steinersatz- und Steinerergänzungsmassen für Objekte aus Alabaster**

Nicht alle in der Literatur erwähnten Qualitätsanforderungen an Massen sind für Steinerergänzungs- bzw. Steinersatzmassen an Objekten aus Alabaster von Bedeutung. Im Folgenden werden die Eigenschaften, die für eine Ergänzungsmasse aus Alabaster wichtig sind, aufgezeigt. Abschließend werden die wichtigsten Messungen, die als Auswahlkriterium für die zu untersuchenden Massen dienen sowie deren Wertigkeit für die Auswertung, genannt.

Der Vorteil gesteinsimitierender Steinersatzmassen gegenüber Vierungen aus nicht mehr verfügbaren Natursteinsorten bzw. schwer zu beschaffendem Natursteinersatz liegt auf der Hand. Grundsätzlich ist eine gesteinsimitierende Masse, die die Voraussetzungen für eine Steinersatz- sowie Steinerergänzungsmasse gleichzeitig in sich birgt, vorzuziehen. Ob eine solche „ideale“ Ergänzungsmasse für Objekte aus Alabaster in dem Katalog der angewendeten Ergänzungsmasse vorhanden ist, soll in den folgenden Untersuchungen aufgezeigt werden. Zu berücksichtigen ist dabei, dass die zu testenden Ergänzungsmassen an verschiedenen Objekten mit unterschiedlichen Schwerpunkten zur Anwendung gekommen sind.

#### 10.3.1. Optische Eigenschaften

Das Hauptaugenmerk liegt bei einer gesteinsimitierenden Steinersatz- bzw. Steinerergänzungsmasse für Objekte aus Alabaster vor allem in den optischen Eigenschaften.

Die Festmasse sollte in seiner Transluzenz veränderbar sein, um sie an die unterschiedlich stark ausgeprägten Transluzenzen des Gesteins anzupassen. Aus diesem Grund sollte die Festmasse eine höchstmögliche Transluzenz aufzeigen. Sollte eine Trübung der Masse, z.B. bei Verwendung an opak wirkendem Alabaster, erwünscht sein, kann dies durch Verwendung von Zuschlagstoffen hergestellt werden.

---

<sup>112</sup> Aus der Tabelle der Literatur geht nicht hervor, welches E-Modul gemeint ist. Aus dem Text und mit dem Vergleich zu Tabelle1 erschließt sich, dass es sich hier wahrscheinlich um das statische E-Modul handelt.

Bei der Farbigeit verhält es sich ähnlich. In erster Linie wird eine Masse für weißen Alabaster gesucht, da dieser am häufigsten vorkommt. Die Farbigeit einer hellen Masse ist durch Einfärben veränderbar. Dies und die Auswirkungen auf die Transluzenz der Masse muss jeweils im Einzelfall untersucht werden.

Ferner sollte das Gefüge der Masse dem Naturstein entsprechen: optisch homogen und dicht und eventuell Reflexionen kleiner Kristalle imitierend. Die Rauigkeit und der Glanz der Oberfläche sind je nach Einsatzgebiet unterschiedlich. Bei konservatorischem Verschluss oder bei der Steinerfüllung kann eine leicht angeraute, stumpf wirkende Oberfläche, die der Mikrokarstbildung ähnlich ist, begünstigend sein, wenn der originale Alabaster nicht poliert und gewachst werden soll. Bei einer polierten und gewachsenen Natursteinoberfläche wäre vergleichsweise eine glatte und leicht glänzende Masse vorteilhaft. Folglich wird die Polierfähigkeit als sehr wichtig und im Gegensatz dazu die Glanzfähigkeit der Masse als zweitrangig beachtet.

Eine weitere, mit den optischen Eigenschaften verbundene Anforderung ist die Farbstabilität. Wie bereits erwähnt, wird eine helle, transluzente Masse gesucht. Ein Erblinden, Vergilben oder starkes Nachdunkeln der Masse wäre, bezogen auf den meist hellen, transluzenten Naturstein, sehr nachteilig.

### 10.3.2. Physiko-mechanische Eigenschaften

Die physiko-mechanischen Eigenschaften sollten denen des Natursteins angepasst sein, damit Spannungen zwischen dem Naturstein und dem Mörtel nicht zu Schäden führen.

Die Werte der Biegezugfestigkeiten der Massen sollten mindestens halb und maximal doppelt so hoch gegenüber den gemessenen Werten des Natursteins liegen. Der statische E-Modul der Massen sollte sich im Bereich der gemessenen Werte für den Naturstein befinden. Die Haftzugfestigkeiten der Massen sollten geringer als die Zugfestigkeit des Natursteins sein, wobei ein Versagen der Haftung im Steinersatzstoff wünschenswert ist.<sup>113</sup>

### 10.3.3. Porenraumbezogene Eigenschaften

Die Festmasse sollte einerseits gegenüber Feuchtigkeit, d.h. hohe Luftfeuchtigkeit und Kondensat, beständig sein und andererseits eine Wasserdampfdurchlässigkeit aufweisen, die annähernd den Werten des Gesteins entspricht.

---

<sup>113</sup> SNETHLAGE (1997) S. 98

#### 10.3.4. Dilatationsverhalten

Das thermische und hygrische Dilatationsverhalten der Masse sollte den Werten des Gesteins ähnlich sein.

Die thermische Dilatation scheint unter dem Aspekt der Innenraumanwendung wie Kirche, Schloss und Museum vernachlässigbar. Dennoch kommt es ebenso zur Erwärmung von Teilbereichen durch einfallendes Sonnenlicht, und durch die meist scharfe Abgrenzung zu schattigen und kühlen Bereichen. In Folge dessen kann es zur Dilatation kommen. Zudem treten insbesondere in Kirchen größere Temperaturunterschiede u. a. von Winter zu Sommer, von Tag zu Nacht und die jeweils damit verbundenen meist starke und relativ kurze Heizperiode z.B. während der Gottesdienste auf.

Ebenso scheint die Messung der hygrischen Dilatation bei 24h Wasserlagerung unter dem Aspekt der Innenraumanwendung vernachlässigbar. Aber bedingt durch teils hohe Luftfeuchtigkeiten und unterschiedliche Oberflächentemperaturen in Kirchen kann es zu Kondensatbildung kommen. Die Durchführung der Messung unter realen Bedingungen, wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit, ist durch den damit hohen verbundenen Aufwand, im Rahmen der Arbeit nicht möglich. Daher soll die Messung der hygrischen Dilatation bei 24h Wasserlagerung einen Anhaltspunkt für die mögliche Dilatation unter realen Bedingungen geben.

#### 10.3.5. Eigenschaften des Frischmörtels

Der Frischmörtel sollte eine gute Verarbeitbarkeit, Applikation und einfache Reproduzierbarkeit aufweisen. Dies beinhaltet eine gute Anbindung der Masse an das Gestein. Zudem sollte ein Antragen auf schiefen Flächen möglich sein. Wünschenswert wäre eine gewisse Klebrigkeit, die eine feine Modellierung ermöglicht. Ideal wäre ein Auslaufen der Masse auf Null, damit die gleiche Masse für feine Risse sowie für größere Ergänzungen genutzt werden kann.

Ferner wäre die Gießfähigkeit der Masse, z.B. bei der Reproduzierung von auskragenden Elementen, ausgezeichnet.

#### 10.3.6. Zusätzliche Eigenschaften der Massen

Die chemische Neutralität der Masse sollte gewährleistet sein. Wünschenswert wäre, dass die Massenbestandteile nicht toxisch sind.

Beim Abbindeprozess ist es wichtig, dass die Masse möglichst nicht bzw. so wenig wie möglich schrumpft, um ein Abreißen vom Untergrund, Risse oder Verformungen zu verhindern.

Die nachträgliche Bearbeitbarkeit (z.B. steinmetzmäßig, schnitzbar, schleifen und polieren) muss gewährleistet sein.

### 10.3.7. Auswahlkriterien für die Ergänzungsmassen sowie deren Wertigkeiten <sup>114</sup>

Der Eigenschaften wurden in dem folgenden Katalog in zwei große Gruppen unterteilt - einerseits die Eigenschaften die auf der Grundlage von Sinneswahrnehmungen und andererseits die Eigenschaften die, auf der Grundlage von Messungen festgestellt werden.

	Eigenschaften	Anforderungen	Überprüfung per ...	Wertigkeit <sup>115</sup>
objektive Messungen	Biegezugfestigkeit	50% - 200% <sup>116</sup>	Biaxialer Biegezug	1
	Stat. E-Modul	20% - 100% <sup>117</sup>	Berechnung aus biaxialer Biegezug	1
	Haftzugfestigkeit	50% - 150% <sup>118 119</sup>	Haftzug im Verbund	1
	Wasserdampfdiffusionswiderstand	50% - 150% <sup>120</sup>	Wet-cup Verfahren	1
	Thermische Dilatation	50% - 150% <sup>121</sup>	Dilatometer	O / +
	Hygrische Dilatation	50% - 100% <sup>122</sup>	Dilatometer bei 24h Wasserlagerung	O / +
	Farbstabilität	Kein Vergilben, kein starkes Nachdunkeln, kein Erblinden <sup>123</sup>	Farbmessung nach UV-Beinstrahlung	3

<sup>114</sup> Natursteinkennwerte 100%

<sup>115</sup> Wertigkeiten: o/+ = Die erfüllte Anforderung ist positiv zu werten. 1= Die Anforderung sollte erfüllt werden. 2= Die Anforderung ist wichtiger. 3= Die Anforderung ist sehr wichtig und muss erfüllt werden.

<sup>116</sup> nach MIKOS (1991)

<sup>117</sup> nach MIKOS (1991)

<sup>118</sup> nach MIKOS (1991)

<sup>119</sup> Versagen der Haftung im Steinersatzstoff ist wünschenswert.

<sup>120</sup> nach MIKOS (1991)

<sup>121</sup> SNETHLAGE (2007)

<sup>122</sup> nach SNETHLAGE (2007)

<sup>123</sup> nach KEMP (2009)

Subjektive Wahrnehmungen	Transluzenz	höchstmögliche Transluzenz	Auge	3
	Farbigkeit	weiß	Auge	1
	Gefüge	dicht, homogen, evt. feinkörnig	Auge	2
	Gute Verarbeitungsfähig- keit des Frischmörtels	Gute Handhabung, Modellierbarkeit, Standfestigkeit	Hand mittels Spatel	1
	Korngrößen	Auf Null auslaufend	Vorhand. Korngröße	O / +
	Schrumpfung	Minimales Schrumpfen	Auge	1
	Nachträgliche Bearbeitungsfähigkeit	schnitzbar	Hand mittels Messer	2
		Polierfähigkeit	Auge	2
		Glanz	Auge	O / +

**Tabelle 5: Auswahlkriterien für die Ergänzungsmassen sowie deren Wertigkeiten**

Zum Vergleich zu den Ergänzungsmassen werden die Werte des Deutschen und Spanischen bruchfrischen Alabasters herangezogen und als Kennwerte dienen. Auf die Werte des Italienischen Alabasters wird verzichtet, da die stark ausgeprägte Schichtung die Messwerte beeinflusst hat. Ferner würde ein derartig geschichteter Alabaster nur in Ausnahmen, z. B. in der modernen Kunst, als Bildhauerstein Verwendung finden.

Die Werte wurden zuvor im ersten Teil der Arbeit ermittelt. Die Kennwerte, die zum Vergleich für die Ergänzungsmassen herangezogen werden, sind als Minimum- bis Maximum-Spannweiten angegeben. Die Beschriftung des Alabasters erfolgt wie im ersten Teil der Arbeit, Deutscher Alabaster wird mit Ala.M.Ell. und der Spanische Alabaster mit Ala.S.Pue. abgekürzt.

## **11. Rezeptsammlung**

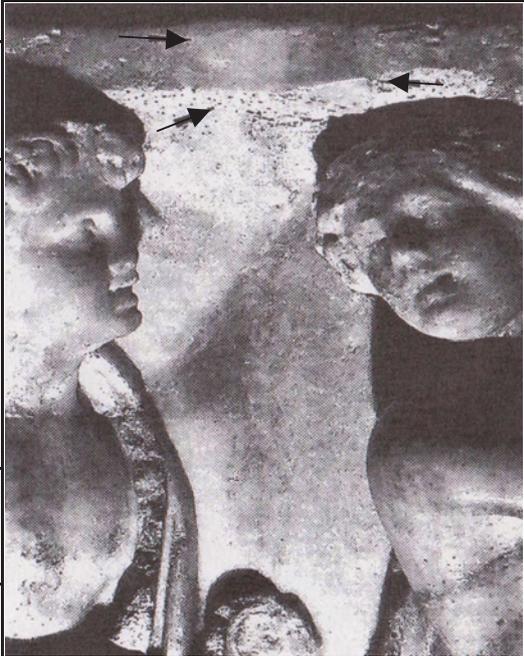
Bei der Konservierung und Restaurierung von Alabaster finden unterschiedliche Massen Anwendung. Um die Bandbreite aufzuzeigen, erfolgt eine Rezeptsammlung der im deutsch-, polnisch-, und englischsprachigen Raum angewandten Ergänzungsmassen. Diese Rezeptsammlung erhebt kein Anspruch auf Vollständigkeit. Die Rezepte stammen aus schriftlichen Veröffentlichungen und Dokumentationen. Ferner wurden in Gesprächen mit Restauratoren Rezepte zur Verfügung gestellt.

Die Quellen geben zum Teil genaue Anweisungen für die Verwendung, teilweise mit Anwendungsbeispielen versehen. Dennoch gibt es auch Quellen die nur die Bestandteile nennen aber weder Mängenangaben noch Anleitungen beigefügt sind.

Die Datenblätter der Rezeptsammlung sind wie folgt gegliedert. Im obersten viertel stehen allgemeine Angaben, wie der Name der Masse, wann, wo und von wem sie angewand wurde. Darunter folgen die Bestandteile des Rezeptes getrennt in Bindemittel und Zusätze. Es folgen Angaben zur Verarbeitung sowie Anwendung. Unten auf der ersten Seite befinden sich die Anagben zu der Quelle. Auf der Folgeseite sind wenn in der Quelle vorhanden noch einige Angaben über die einzelnen Bestandteile und Anmerkungen.<sup>124</sup>

---

<sup>124</sup> Die Seite Seite wird nur bei bedarf eingefügt

<b>Ergänzungsmasse</b> transluzente Wachs-Harz-Ergänzungsmasse		
<b>Staat:</b> USA / Boston, Los Angeles, Norfolk	<b>Land:</b> Los Angeles <b>Stadt:</b>	<b>Zeit:</b> 1982 - heute
<b>Objekt:</b> "Roman Sarkophag" (Marmor), 195 - 200 n. Chr. Geburt - Los Angeles County Museum of Art	<b>Detail:</b> Ergänzung der Abdeckplatte	
<b>Ausführender:</b>	<b>Art der Ergänzung:</b> Riss- und Ausbruchkittung und größere Ergänzungen von Fehlstellen	
<b>Rezept</b>		
<b>Bindemittel:</b> AYAC (PVAC-Polyvinylacetat) [9 Teile]		
<b>Zusätze:</b> ethylene acrylic acid copolymere A-C 540 [3 Teile] und 580 [1 Teil] (erhöht die Zähigkeit und Haftung zu polaren Substraten); Antioxidant Irganox 1076 oder 1035 (verhindert das Vergilben) [0,5G%]; beliebiger Füllstoff		
<b>Aufbau:</b> auch mehrschichtig über Niveau		
<b>Verarbeitung/ Anwendung:</b> PVAC auf einer heißen Platte (max. 50°C) schmelzen; im geschmolzenen Zustand, unter langsamem Rühren, Zugabe von Antioxidants Irganox; dann langsames Einrühren von EAA; gut mischen, da bei Erkalten der Massen beide Materialien nicht mehr mischbar und somit nicht mehr kompatibel sind; es können auch Streifen hergestellt und abgekühlt werden, um diese später mit einem Heißspachtel aufzutragen; den Untergrund mit Haftvermittler (PVAC AYAC 10-30% in organ. Lsgm.) bestreichen; eine leichte, langsame Erwärmung des Objektes ist von Vorteil; wenn die erste Schicht der Masse langsam erkaltet ist, Auftragen der nächsten Schicht; Antragungen auf Niveau sind schwierig; besser sind Antragungen über Niveau und ein späteres, mechanisches Überarbeiten der Ergänzung; schmale Risse und Ausbesserungen sind schwierig mit dieser Masse zu schließen	<b>Abb. 14:</b> "Roman Sarkophag" vor (1982) und nach der Ergänzung und Standzeit (1995); Los Angeles County Museum of Art; A73	
<b>Quellenangabe:</b> Susanne Gänsicke, John W. Hirx (1997): A Translucent Wax-Resin Fill Material For The Compensation Of Losses In Objects, in: Journal of the American Institut for Conservation, 36/1 S. 17-30		

**Anmerkungen:**

Es kann bei zu hohen Temperaturen oder schlechter Vermischung der Bestandteile zu Farbveränderungen und Absanden kommen.

Bei Entmischung der PVAC-Ketten, optisch gekennzeichnet durch transluzente Blasen auf der Oberfläche der Mixtur, wird ausdauerndes umrühren empfohlen.

Die Mischung sollte nicht zu warm gemacht werden, da EAA anfällig für Wärmeoxidation ist und sich zersetzen kann.

Ohne Pigmente oder Füllstoffe ist die Masse leicht grau-weißlich.

Die 1982 ausgeführten Ergänzungen an dem "Roman Sarkophag" zeigten von 1982 bis 1995 keine Vergilbung (siehe Foto).

Weitere Objekte, bei denen diese Masse verwendet wurde: ägyptischer Opfertisch (Kalkstein), 2700-2600 v. Chr. Geburt - Museum of Fine Arts Boston; Ganymed und der Adler (Marmor), 1817 - Chrysler Museum Norfolk

Glasübergang des Füllmaterials ist nicht bekannt, aber die Kombination der Polymere erhöht den Glasübergangspunkt.

**PVAC AYAC**

klar und photochemisch relativ stabil;

hauptsächlich in der Industrie als Kaugummi Elastomere genutzt;

löslich in vielen organischen Lösungsmitteln und reversible Eigenschaften;

Weichpunkt bei 71°C, bei 230°C verbrennt es;

kein spezieller Schmelzpunkt;

Glasübergangstemperatur 16°C;

sondert kleine Mengen Essigsäure ab

**EAA**

in Wasser emulgierbar;

Weichpunkt bei AC 580 105°C; bei AC 540 95°C;

in Aceton quellbar;

ab einer gewissen Temperatur sind sie anfällig für Wärmeoxidation

<b>Ergänzungsmasse</b> Bienenwachs-Paraffin-Masse		
<b>Staat</b>	<b>Land</b>	<b>Zeit</b>
	<b>Stadt:</b>	
<b>Objekt</b>	<b>Detail</b>	
<b>Ausführender</b>	<b>Art der Ergänzung</b>	
<b>Rezept</b>		
<b>Bindemittel</b> Bienenwachs gebleicht [1Teil] Paraffin [4Teile]	<b>ohne Abbildung</b>	
<b>Zusätze</b> Marienglas (0-120 microm ) [5Teile]; Zugabe von Pigmenten falls nötig		
<b>Aufbau:</b>		
<b>Verarbeitung/ Anwendung:</b> Bienenwachs und Paraffin werden bei 50-60°C geschmolzen und gemischt; danach erfolgt die Zugabe des Marienglases; die Masse sollte leicht erwärmt verarbeitet werden	<b>Abb.:</b>	
<b>Quellenangabe</b> Petra Arent: Ein Römhilder Kästchen aus dem St. Annen-Museum Lübeck - Technologische Untersuchung und die Erstellung eines Restaurierungskonzeptes unter der bes. Berücksichtigung des Werkstoffes Alabaster, Diplomarbeit, Hildesheim Holzminden, 1998, S. 113ff.		

**Verarbeitung/ Anwendung:**

Auftrag kann mittels angewärmtem Spatel erfolgen

nach Aushärtung hart genug für Gravuren und Tremolierungen;  
Masse ist zu einem hohen Maße reversibel

<b>Ergänzungsmasse</b> Primal SF016		
<b>Staat:</b> Deutschland	<b>Land:</b> Mecklenburg <b>Stadt:</b> Güstrow	<b>Zeit:</b> 2007
<b>Objekt:</b> Ulrich Monument, Herzog Ulrich zu Mecklenburg mit seinen zwei Gemahlinnen, im Güstrower Dom		<b>Detail:</b> Plinthe einer Skulptur
<b>Ausführender:</b>  Rest. Boris Frohberg		<b>Art der Ergänzung:</b> Risskittungen, größere Ergänzungen mit Unterbau sowie Herstellung von Gussen
<b>Rezept</b>		
<b>Bindemittel:</b> Primal SF016 (50%) SF016 (1:1 mit Wasser verdünnt)		
<b>Zusätze:</b> Grobe Masse: 40g Alabaster (d= 2mm); Feine Masse: 50 g Alabaster (d=2-1mm)		
<b>Aufbau:</b> als Gießmasse oder ein- bis mehrschichtig über Niveau		
<b>Verarbeitung/ Anwendung:</b> Vornetzen mit Primal SF 016 (5%, 1:1 in Wasser); Grob: 10ml Primal auf 40g Zuschlag, Fein: 15ml Primal auf 50g Zuschlag; Aufbau der Schicht sollte nicht mehr als 2-5mm überschreiten; über Niveau antragen und nach dem Abbinden mechanisch nachbearbeiten; Überspachteln der Antragung wenn nötig		<b>Abb. 15:</b> Ergänzung einer Ecke an der Plinthe einer Skulptur des Ulrich Monuments, Foto: Silvia Gering, Juni 2009
<b>Quellenangabe:</b> Restaurator Boris Frohberg, mündl. Auskunft (Juni 2009) und Restaurierungsdokumentationen, Berlin und Güstrow (Mecklenburg Vorpommern)		

**Anmerkungen:**

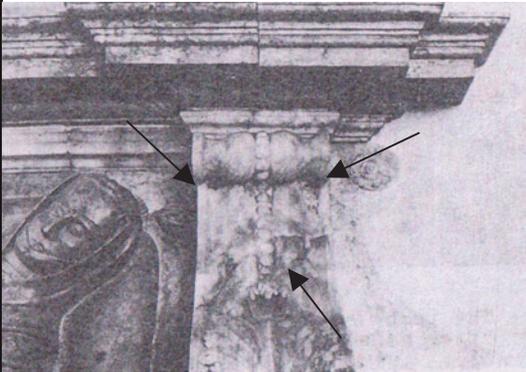
Der Alabaster wurde zerschlagen, ausgesiebt und gewaschen, um die feinen Staubpartikel zu entfernen, damit das Korn transparenter bleibt.

Eine geringere Verdunkelung des umliegenden Materials wurde beobachtet.

weitere Beispiele: Dorotheenepithaph im Dom zu Schwerin; Freigrabmal Herzog Christophs zu Mecklenburg und seiner Gemahlin Elisabeth von Schweden im Dom zu Schwerin, u.a.  
Guß von Masken (2007)

<b>Ergänzungsmasse</b> Primal SF016 - Ledan		
<b>Staat:</b> Deutschland	<b>Land:</b> Mecklenburg <b>Stadt:</b> Vorpommern	<b>Zeit:</b> 06-10 / 2006
<b>Objekt:</b> Epitaph für Ernst Christoph von Voß	<b>Detail:</b>	
<b>Ausführender:</b> Dipl. Rest. K. Zimmermann	<b>Art der Ergänzung:</b> flächige, dünne Ergänzung	
<b>Rezept</b>		
<b>Bindemittel:</b> Primal SF016		
<b>Zusätze:</b> Ledan D2 (kalkgebundene Masse); Marmor­mehl feiner 90 µm		
<b>Aufbau:</b> mit Unterbau versehen		
<b>Verarbeitung/ Anwendung:</b> keine Angaben vorhanden		
<p><b>Abb.16:</b> Gesamtansicht des Epitaphs für Ernst Christoph von Voß nach abgeschlossener Konservierung/Restaurierung. Foto: Dipl.-Rest. Knut Zimmermann</p>		
<b>Quellenangabe:</b> Dipl.-Rest. Knut Zimmermann: Epitaph für Ernst Christoph von Voß, Restaurierungsdokumentation und mündl. Auskunft, Potsdam		

<b>Ergänzungsmasse</b> Paraloid B72		
<b>Staat:</b> Polen	<b>Land:</b> Torun	<b>Zeit:</b>
<b>Objekt:</b>	<b>Detail:</b>	
<b>Ausführender:</b>	<b>Art der Ergänzung:</b> oberflächige Ergänzung	
<b>Rezept</b>		
<b>Bindemittel:</b> Paraloid B 72 [1 Teil]	<b>ohne Abbildung</b>	
<b>Zusätze:</b> Dibutylphtalat (Weichmacher) [5Gw-%], Alabastermehl [2,5Teile, weniger als d 0,16cm], 5% des Zuschlages Zinkoxid		
<b>Aufbau:</b> einschichtig bis mehrschichtig		
<b>Verarbeitung/ Anwendung:</b> Applikation erfolgt mit einem Heißspachtel.	<b>Abb.:</b>	
<b>Quellenangabe:</b> Jan Mieczyslaw Tajchman: "Badania nad Technologia Zapraw do uzupełniania białych marmoruw", Torun 1982		

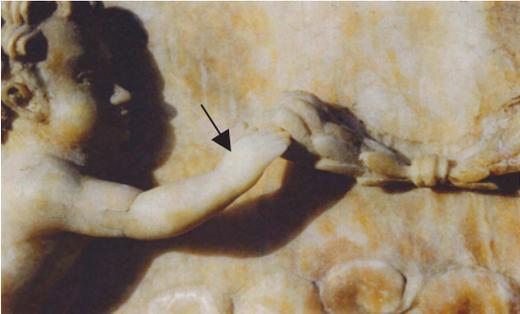
<b>Ergänzungsmasse</b> Paraloid B72		
<b>Staat:</b> Polen	<b>Land:</b> Czarnków	<b>Zeit:</b>
<b>Objekt:</b> the Tomb of the Czarnowski Family	<b>Detail:</b>	
<b>Ausführender:</b>	<b>Art der Ergänzung:</b> schichtenweiser Aufbau, auch für größere, flächige Fehlstellen	
<b>Rezept</b>		
<b>Bindemittel:</b>  Paraloid B 72 [5 Teile]		
<b>Zusätze:</b> Dibutylphtalat (Weichmacher) [8G%], Alabastermehl [1Teil]		
<b>Aufbau:</b>  schichtenweise, auf Niveau		
<b>Verarbeitung/ Anwendung:</b>  Paraloid B 72 mit Dibutylphtalat im Ölbad erwärmen und verflüssigen, dann Füllstoffe zugeben; die warme Masse auf Hostaphanfolie geben, zu Würsten oder Platten formen und erkalten lassen;  vor dem Antragen muss der Untergrund mit Paraloid B72 [5-10%] vogenetzt werden bzw. Vornetzen durch B 72 15% in ethylene Chlorid; die Applikation erfolgt mit einem Heißspachtel	<b>Abb. 17:</b> Fragment of a middle part of a tomb during cavity filling with a ground cement; Quelle: GRABARCZYK (1988)	
<b>Quellenangabe:</b> E. Grabarczyk: Restauration of the Tomb of the Czarnowski Family in Czarnków - The Municipal Enterprise for Renovation of Wrocław, in: Proceeding Actes Vith International Congress on Deterioration and Conservation of Stone 1988 in Torun, S. 695- 701		

**Anmerkungen:**

Negativ ist die thermische Dehnung, die zu Spannungen zwischen Masse und Gestein führen kann. Zudem kann längerer Feuchteintrag zu Trübungen (Blind werden) der Masse führen.

Um die Masse transparenter zu machen kann 1/2 bis 1/4 des Alabastermehls durch colloidal silica ersetzt werden.

Nur Massen bis zu 1,5cm dicke gewähren Transparenz.

<b>Ergänzungsmasse</b> Hxtal-NYL 1 Epoxidharz		
<b>Staat:</b> Polen	<b>Land:</b> Gdansk	<b>Zeit:</b> 1998 - 2000
<b>Objekt:</b> "Caritas" im Museum Narodowe in Dansk	<b>Detail:</b>	
<b>Ausführender:</b>  Ewa Jachnicka	<b>Art der Ergänzung:</b> Guss	
<b>Rezept</b>		
<b>Bindemittel:</b> Hxtal-Nyl 1 [1Teil] Harz: Härter 3:1		
<b>Zusätze:</b> Polymethylmethacrylat PMMa in Pulverform [4Teile]; Parrafin [2Teile]; Pigmente [0,5-1%]		
<b>Aufbau:</b>		
<b>Verarbeitung/ Anwendung:</b>		
		
<p><b>Abb. 18:</b> Detailausschnitt "Caritas" - Ergänzung Hand und Unterarm; Quelle: JACHNICKA (2000)</p>		
<p><b>Quellenangabe:</b> Ewa Jachnicka: Rzeźba alabastrowa w Gdańsku i problemy jej konserwacji na przykładzie płyty z przełomu XVII i XVIII wieku przedstawiającej alegorie "CARITAS", unpubliziert, Własność-Muzeum Narodowe w Gdańsku 1998-2000</p>		

<b>Ergänzungsmasse</b> Hxtal-NYL1 / Paraffin		
<b>Staat:</b> Polen	<b>Land:</b> Dobre Miasto	<b>Zeit:</b>
<b>Objekt:</b> Kollegratskirche	<b>Detail:</b> Barock-Altar des Hl. Sebastian	
<b>Ausführender:</b> Alina Tomaszewska-Szewczyk, Robert Szewczyk	<b>Art der Ergänzung:</b> Guss	
<b>Rezept</b>		
<b>Bindemittel:</b> Hxtal-Nyl1 [3:1 Harz zu Härter]		
<b>Zusätze:</b> Paraffin [1 Teil], Acrylpolymer (Futura Press LT, Fa. Schütz-Dental) [2 Teile], Kolloid-Siliziumdioxid, Zugabe von Pigmenten je nach Bedarf: Ocker, Zinkweiß		
<b>Aufbau:</b> gegossen		
<b>Verarbeitung/ Anwendung:</b> Mehrere Mischungen mit unterschiedlich hohem Anteil von Zinkweiß und Ocker wurden vorbereitet. Risse und Fehlstellen wurden am Objekt direkt angetragen und gemischt, größere Ergänzungen wurden mittels Form gegossen.		
		
<p><b>Abb. 19:</b> Detailausschnitt "Barock-Altar des Hl. Sebastian" Ergänzung Nase; Quelle: TOMASZEWSKA-SZEWCZYK (2002)</p>		
<b>Quellenangabe:</b> Alina Tomaszewska-Szewczyk: Alabaster jako tworzywo rzeźbiarskie, przykłady występujących zniszczeń oraz propozycja metod konserwacji. In: Księga Pamiątkowa - Ofiarowana profesorowi Wiesławowi Domasłowskiemu; Toruń 2002		

<b>Ergänzungsmasse</b> Araldit AY 103 / Hxtal NYL-1 / Eurostac		
<b>Staat:</b> Polen	<b>Land:</b>  <b>Stadt:</b>	<b>Zeit:</b> 2004
<b>Objekt:</b> Untersuchungen an Ergänzungsmassen	<b>Detail:</b>	
<b>Ausführender:</b>  Piotr Niemcewicz	<b>Art der Ergänzung:</b>  Rissverschluss, Guss	
<b>Rezept</b>		
<b>Bindemittel:</b> Araldit AY 103 + HY956; oder Hxtal NYL-1; oder Eurostac	<b>ohne Abbildung</b>	
<b>Zusätze:</b> Bindemittel zu Zusätze 1:3; PMM und Paraffin (2:1)		
<b>Aufbau:</b>		
<b>Verarbeitung/ Anwendung:</b> Harz und Härter wurden im angegebenen Verhältnis gemischt. Bei 20°C wurden die Füllmaterialien zugegeben. Die fertige Masse wurde in die Formen gefüllt.	<b>Abb.:</b>	
<b>Quellenangabe:</b> Piotr Niemcewicz: Research on matreials for filing up losses in alabaster, in: Kwiatkowski, Daniel; Löfvendahl, Runo (Hrsg.): Roceedings of the 10th international congress on deterioration and conservation of stone. Stockholm June 27 - July 2, 2004, organised by ICOMOS Sweden, S. 339-346		

## **12. Auswahl der zu untersuchenden Steinersatz- und Steinerfüllmassen**

Ausgewählte Massen aus der Rezeptsammlung werden in der Werkstatt nachgestellt. Weiterhin wurden einige Experimente mit veränderten Zuschlagsstoffen, Korngrößen bzw. Bindemittelgehalt durchgeführt, um zu testen, wie weit die Massen bzw. Bindemittelgruppen in ihren Eigenschaften veränderbar sind.

Anhand des Anforderungskataloges werden die Massen auf ihre optischen und physiko-mechanischen Eigenschaften im Vergleich zu Alabaster hin untersucht. Ziel ist es herauszufinden, ob eine der genutzten Massen den gestellten Anforderungen gerecht werden kann. Desweiteren soll die Bandbreite der möglichen Anwendungen aufgezeigt werden.

Die optischen Eigenschaften werden im Vergleich zu den bruchfrischen Alabastern gesetzt und gewertet. Ferner werden einige der im ersten Teil der Arbeit erhobenen Kennwerte bruchfrischen Alabasters als Vergleich zu den ermittelnden Kennwerten der Ergänzungsmassen dienen. Die zu vergleichenden Werte werden als Spannweite, Minimum- und Maximumwerte angegeben.<sup>125</sup>

### **12.1. Auswahl der verwendeten Bindemittel**

Nach dem Zusammentragen der Rezepte werden einige ausgesucht und nachgestellt. Für die Untersuchungen wurden Rezepte basierend auf:

Epoxydharz: Araldit AY 103/ HY956<sup>124</sup> ; Hxtal NYL-1<sup>TM125</sup>

Acrylharz: Paraloid B72<sup>126</sup> mit Weichmacher (Dibutylphthalat)<sup>127</sup>

Acrylatdispersion: Primal SF 016<sup>128</sup>

ausgewählt, da diese nach Quellenlage am häufigsten vorkommen.

Zudem wurde sich für:

---

<sup>125</sup> Zur Ermittlung der Werte der Ergänzungsmassen wurden, wenn nicht anders angegeben, mind. 3 Proben verwendet.

<sup>124</sup> Hersteller: Fa. Huntsmann

<sup>125</sup> Vertrieb durch [www. Sylmasta.com](http://www.Sylmasta.com)

<sup>126</sup> Vertrieb durch Deffner & Johann

<sup>127</sup> Hersteller: Fa. Merk Chemie

<sup>128</sup> Hersteller: FA. Rohm & Haas

Kieselsäureesterdispersion Syton W30<sup>129</sup>

Alabastergips: Marble cement<sup>130</sup>

entschieden.

Außerdem sollte das Rezept der „transluzenten Wachs-Harz-Ergänzungsmasse“<sup>131</sup> nachgestellt werden, da das Bindemittel AYAC (PVAC-Polyvinylacetat) nicht mehr hergestellt wird, musste darauf verzichtet werden.

## 12.2. Auswahl der verwendeten Zuschlagstoffe

Die Art der Zuschlagstoffe richtet sich in erster Linie nach den Rezepten. Um einige Eigenschaften zu verändern, werden zudem einige Experimente mit anderen Zuschlägen durchgeführt. Ferner werden in den Rezepten nicht immer die genaue Größen und Mengen angegeben, so dass auch hier an der Zusammenstellung etwas experimentiert wurde. Es werden folgende Zuschlagstoffe verwendet:

PMMA: Kallocryl<sup>132</sup> / Kalloplast R<sup>133</sup> / FUTURA PRESS LT<sup>134</sup>

Dispergierte Kieselsäure: Cabosil TS-720<sup>135</sup>

Zinkoxyd<sup>136</sup>

Paraffin

Alabasterbruch/ Marmorbruch<sup>137</sup>

### Alabasterbruch

Die Alabastermenge für die Probenherstellung war begrenzt. Demnach wurden einige Proben der ersten Probereihe auch mit Marmorbruch erstellt.

Für den Alabasterbruch wurden der Ala.S.Pue, Ala.K.2 sowie Ala.K.For. verwendet.

---

<sup>129</sup> Vertrieb durch Kremer

<sup>130</sup> Fa. Hundisburger Baustoffmanufaktur

<sup>131</sup> siehe Kapitel: Anhang: Rezeptsammlung

<sup>132</sup> Hersteller Dr. Speier GmbH

<sup>133</sup> Hersteller Dr. Speier GmbH

<sup>134</sup> Hersteller: Schütz Dental Group

<sup>135</sup> Fa. Cabot Corporation

<sup>136</sup> Vertrieb durch Kremer

<sup>137</sup> eigens hergestellt

Der Alabaster wird mittels Backenbrecher (FA.Retsch) und per Hand gebrochen. Danach wurde der Bruch gewaschen um den aufliegenden Staub vom Korn zu entfernen. Anschließend wurde er gesiebt (Rüttelsieb der FA. Fritsch), um die unterschiedlichen Korngrößen zu fraktionieren.

2-1 mm

1- 0,5mm

0,500 – 0,250mm

0,250 – 0,125mm

0,125 – 0,063mm

< 0,063mm

### 12.2.1. Sieblinien

Die Packungsdichte der unterschiedlichen Zuschläge, Alabasterbruch, Marmorbruch, Mikrohohlglaskugeln wurden nach der Fullersieblinie oder als un stetige Sieblinie mit Ausfallkörnung berechnet.<sup>138</sup>

In die Berechnungen wurde eine ca. 40 %.<sup>139</sup> Haufwerkporigkeit angenommen.

### 12.2.2. Volumenanteil/ Gewichtsanteil

In einigen Rezepten sind Volumenanteile für die Bestandteile angegeben. Diese sind jedoch für die Probekörperherstellung, da nur geringe Mengen gebraucht werden, zu ungenau. Daher wird für die meisten verwendeten Zuschlagstoffe<sup>140</sup> das Gewicht, zu einem für alle festgesetzten, Volumen ermittelt. Dazu wird in einen Behälter 55ml des jeweiligen Zuschlages gegeben und durch 10maliges Fallenlassen verdichtet. Dann wird, wenn nötig, aufgefüllt oder etwas entnommen und weitere fünf Male verdichtet. Für alle aufgeführten Zuschlagstoffe werden die gleichen Rahmenbedingungen eingehalten. In der folgenden Tabelle sind die ermittelten Werte angegeben.

---

<sup>138</sup> nähere Angaben zu den Sieblinien siehe SKUDELNY (o. J.), S.30 und STREICHER (1990), S. 23

<sup>139</sup> siehe STREICHER (1990), S. 23

<sup>140</sup> Hohlglaskugeln und kokolloidales-Siliziumdioxid wurden nicht gewogen, da sie sehr leicht sind. Das Abmessen des Volumens erscheint deshalb sinnvoller als das Abwiegen.

Paraffin	50ml = 16,44g
PMMA:	
FuturaPressLT	50ml = 37,571g
KalloplastR	50ml = 35,43g
Alabasterbruch:	
1,0 - 0,5 mm	50ml = 59,34g
0,5 - 0,25 mm	50ml = 54,12g
0,125 - 0,036 mm	50ml = 58,82g
0,063 - 0,00 mm	50ml = 58,94g

**Tabelle 6: Zuschlagstoffe der Massen Umrechnung von Volumenteile in Gewichtsteile**

### 12.3. Probekörper

#### 12.3.1. Probekörper der ersten Probereihe

Pro Mörtel werden drei unterschiedliche Probekörperformen erstellt, an denen unterschiedliche Eigenschaften überprüft wurden.

erste Probekörper (Ring: 5cm Durchmesser, ca. 5mm hoch)

- Nach Erhärten werden die Schrumpfung sowie die Transluzenz beurteilt.

zweiter Probekörper (Ring: 5cm Durchmesser, ca. 8mm hoch)

- Nach dem Erhärten werden die Bearbeitbarkeit durch Schnitzen und Schleifen sowie das Gefüge, dicht, homogen, eventuell feinkörnig, beurteilt.

dritter Probekörper (Prisma mind. 2 x2 cm groß)

- Das Prisma wird mit dem Spatel geformt, um ein Gefühl für die Modellierfähigkeit und Standfestigkeit der Masse zu bekommen.

An allen Probekörpern werden die Verarbeitung und die Farbigkeit überprüft sowie die Korngrößen bewertet.

### 12.3.2. Probekörper für die Ermittlung der Eigenschaften durch subjektive Wahrnehmungen<sup>141</sup>

Für die Eigenschaften, die auf Grundlage der subjektiven Wahrnehmung erfasst werden, werden die Probekörper der ersten Probereihe und die Probekörper, die zur Erhebung der spezifischen Daten Verwendung finden, herangezogen.

### 12.3.3. Probekörper für die Ermittlung der Eigenschaften durch objektive Messungen<sup>142</sup>

Für die Erhebung der spezifischen Daten durch objektive Messungen, werden vier unterschiedliche Prüfkörperformen verwendet:

erste Probekörper (Ring: 5cm Durchmesser, ca. 5mm hoch)

- für Biaxialen Biegezug, Farbbeständigkeit (UV- Bestrahlung)

zweiter Probekörper – Verbundkörper unten Natursteinscheibe oben Ergänzungsmasse (Ring: ca. 4,8 cm Durchmesser, ca. 1cm hoch)

- Haftzugfestigkeit

dritter Probekörper (Prisma: 1x1 cm im Querschnitt, ca. 9,5 cm lang)

- hygri-sche Dehnung

dritter Probekörper (Prisma: 4x4 mm im Querschnitt, ca. 2,4cm lang)

- thermische Dehnung



**Abb. 20: Foto der oben beschriebenen Probekörper für die unterschiedlichen Untersuchungen**

<sup>141</sup> Siehe Kapitel: Auswahlkriterien für die Ergänzungsmassen sowie deren Wertigkeiten

<sup>142</sup> Siehe Kapitel: Auswahlkriterien für die Ergänzungsmassen sowie deren Wertigkeiten

#### 12.4. Auswertung der ersten Probereihe<sup>143</sup>

Im Folgenden werden die Ergebnisse der ersten Probereihe je Bindemittelgruppe zusammengefasst und die Massen, die für die weiterführenden Probereihen verwendet werden, näher beschrieben.

##### 12.4.1. Ergänzungsmassen auf der Basis von Kieselsäureesterdispersion: Syton W30

Es wurden drei Massen auf der Basis von Syton W30 mit unterschiedlichen Bindemittel-Zuschlagverhältnissen getestet.

Dabei konnte festgestellt werden, dass eine gute Handhabung des Frischmörtels mäßig einstellbar und ein Modellieren jedoch nicht möglich ist. Positiv ist zu erwähnen, dass die Masse auf Null ausläuft und ohne Rissbildung aufdrocknet.

Da der Festmörtel geringe Festigkeiten aufzeigt, zerbricht er schnell - auch eine Nachbearbeitung ist nicht möglich.

Aufgrund der überwiegend negativen Eigenschaften wird die Sytonmasse nicht weiter berücksichtigt.

##### 12.4.2. Ergänzungsmassen auf der Basis von Acrylatdispersion: Primal SF016

Es wurden 13 Massen mit unterschiedlichen Bindemittel-Zuschlagverhältnissen und unterschiedlichen Sieblinien getestet.

Alle Primalmassen sind von der Grundsubstanz her sehr elastisch. Durch Rezeptveränderungen kann diese Eigenschaft aber etwas zurückgenommen werden. Ein Schwinden und Reißen der Massen ist nicht zu beobachten.

Die unterschiedlich ausgeprägte Transluzenz, die optischen Gefügeeigenschaften, die Handhabung des Frischmörtels und die nachträgliche Bearbeitung können durch die Art und Packungsdichte des Zuschlags beeinflusst werden. Bei größerem Korn ist die Handhabung und die Nachbereitung des Frischmörtels schlechter, da die Körner aus dem Verbund fallen. Ferner

---

<sup>143</sup> Die ausgewählten Rezepte sowie die detailgenauen Beobachtungen der ersten Probereihen befinden sich in tabellarischer Form im Anhang. Siehe Anhang Nr.2

erzielen diese Massen schlechtere optische Gefügeeigenschaften, dafür aber eine hohe Transluzenz. Durch Zugabe von dispergierter Kieselsäure (Cabosil) oder Feinstkorn kann die Handhabung des Frischmörtels verbessert werden, jedoch wird bei diesen Massen ein verzögertes Abbinden festgestellt. Die Primalmassen, denen Marmormehl zugesetzt wird, härten nicht durch.

#### Für weiterführende Probereihen wird sich für die Primalmassen **7** und **11** entschieden

Die höhere Packungsdichte des Alabasterbruches bei der Masse **7** beeinflusst die Eigenschaften maßgeblich.<sup>144</sup> Daher weist **7** gegenüber den anderen getesteten Primalmassen eine bessere Handhabung, eine einfachere nachträgliche Bearbeitung sowie eine geringere Elastizität auf. Nachteil ist die gering ausgebildete Transluzenz. Diese wird jedoch aufgrund der Verbesserung der zuvor genannten Eigenschaften nicht so stark gewichtet.

Dahingegen zeigt **11** die beste Transluzenz der Primalmassen. Die Gefügeeigenschaften, die Handhabung und auch die nachträgliche Bearbeitung sind jedoch wesentlich schlechter als bei Masse **7**. Dennoch wird die Masse aufgrund der Anwendung in der Praxis und seiner hohen Transluzenz für weitere Probereihen ausgewählt.

#### 12.4.3. Ergänzungsmassen auf der Basis von Epoxydharz: Araldit AY 103/ HY956; Hxtal NYL-1<sup>TM</sup>

Es wurden 13 Massen mit unterschiedlichen Zuschlägen, Sieblinien und Bindemittel-Zuschlagverhältnissen getestet.

Aufgrund der starken Haftung des Harzes ist die Handhabung nicht optimal. Das Modellieren wird zudem durch die mangelnde Standfestigkeit erschwert. Positiv ist das mögliche Gießen des Mörtels, das jedoch stark vom Bindemittelanteil abhängig ist.

Die Epoxydharzmasse sind sehr transluzent sein, sind aber in dieser Eigenschaft durch unterschiedliche Zuschläge und Korngrößen veränderbar. Die Farbigkeit wird in erster Linie durch den Zuschlag bestimmt, wobei auch farbliche Nuancen des Bindemittels sich widerspiegeln. So erzeugt das Aralditharz eindeutig gelblichere Mörtel als das Hxtal NYL-1-Harz. Je höher der Bindemittelanteil, desto stärker ist der Oberflächenglanz ausgebildet. Das Gefüge ist durch den Zuschlag stark veränderbar.

---

<sup>144</sup> Vergleich der unterschiedlichen Primalmassen in der ersten Testreihe

Die nachträgliche Bearbeitung ist im Vergleich zu den Primalmassen wesentlich schwieriger, da die Epoxydharzmassen wesentlich fester sind. Die Festigkeit hängt von der Art der Zuschläge und der Bindemittelmenge ab. Ein Schleifen ist gut möglich, durch nachträgliches Polieren kann ein Glanz erzeugt werden.

Für weiterführende Probereihen wird sich für die Epoxydharzmassen **19, 20, 26** und **30** entschieden.

Die Epoxydharzmasse **19** wird für weitere Untersuchungen gewählt, da das Rezept in der Restaurierung häufig Anwendung findet. Zudem ist sie sehr transluzent und gut zu bearbeiten.

Die Epoxydharzmasse **20** wird für weitere Untersuchungen aufgrund der guten Gießfähigkeit gewählt. Sie kann somit für Güsse eine gute Verwendung finden. Ferner zeigt er gegenüber den anderen Epoxydharzen eine höher ausgeprägte Transluzenz und einen stärkeren Glanz. Das Gefüge ist sehr homogen und dicht. Nachteilig ist allerdings die zu beobachtende Blasenbildung im Mörtel.

Die Epoxydharzmassen **26** und **30** werden in erster Linie aufgrund ihres Zuschlages (Alabasterbruch) gewählt. Der Alabasterbruch beeinflusst die Masse positiv. Einzelne reflektierende Körner sind zu erkennen, wodurch die Masse dem Naturstein optisch ähnelt. Weiterhin ist das Gefüge homogen und weitgehend dicht. Der Unterschied zwischen Mörtel 26 und 30 liegt in der veränderten Sieblinie und darin, dass die Masse **26** Parafin enthält.

#### 12.4.4. Ergänzungsmassen auf der Basis von Acrylharz: Paraloid B72

Die Verarbeitung der Paraloidmassen als Schmelzmasse stellt sich als sehr aufwendig und schwierig dar. Die besten Ergebnisse werden erreicht, indem man das Paraloid mahlt und mit der entsprechenden Menge Weichmacher (Dibuthylphtalat) vermischt. Diese Mischung wird in noch kaltem Zustand mit dem Zuschlag gemischt und dann langsam im Sandbad erwärmt. Die Temperatur muss dabei kontrolliert werden, da Dibuthylphtalat eine Zündtemperatur von 171°C<sup>145</sup> aufweist. Der Mörtel darf dabei aber auch nicht zu lange warm gehalten werden, da er sonst anbackt und sich bräunlich verfärbt. Wenn wie beschrieben verfahren wird, kann bei einer Zugabe von 8 Gew.-% des Paraloids ein Schmelzbeginn bei ca. 120° C und ein endgültiges Schmelzen bei 150-160°C herbeigeführt werden.

Das Herstellen der Probekörper ist mit den Massen, welche Zuschläge enthalten, in den Probekörperformen technisch nicht möglich. Je mehr Zuschlag verwendet wird, um so zäher werden die Massen in der Verarbeitung. Ein Ausgießen der Massen auf eine warme Platte und

---

<sup>145</sup> siehe TAJCHMAN (1982)

ein nachträgliches Einbringen der Massen in die Form, wie in der Literatur für Fehlstellen beschrieben, erwies sich zum Herstellen von definierten Probekörpern als zu zeitaufwendig. Die von mir verwendeten Formen sind aus Plastik und vertragen die Hitze der Massen bzw. der Heißspachtel und der Wärmeplatte nicht. Daher war ein Gießen der Massen in die Formen nur bedingt möglich. Mit beiden Techniken konnten nur verformte Probekörper hergestellt werden, was bei den weiteren Untersuchungen zu Messfehlern führen würde. Aus Zeitgründen war ein Herstellen von Formen aus hitzebeständigem Material, welche auf der Heißplatte erwärmt werden könnten, um ein längeres Fließen der Masse zu gewährleisten, nicht möglich.

Die optischen Eigenschaften dieser Massen sind sehr positiv. Es entstehen, je nach Zuschlag, äußerst transluzente bis fast opak wirkende Massen - sie sind sehr dicht und homogen ausgebildet. Die nachträgliche Bearbeitung durch Schleifen oder Sägen ist aufgrund der dabei entstehenden Wärmeentwicklung, der Verflüssigung und des anschließenden Verklebens nur minimal möglich. Das Schnitzen bzw. Schneiden ist eine mögliche Bearbeitungsweise. Ein starker Oberflächenglanz kann mittels Heizspachtel und darunter befindlicher Folie erzeugt werden. Nach dem Aushärten der Massen sind diese dennoch zäh elastisch.

Für weiterführende Probereihen wird sich für die Paraloidmassen **47** und **50** entschieden.

Trotz der vielen Verarbeitungsschwierigkeiten soll auf die Paraloidmassen bei den folgenden Untersuchungen nicht verzichtet werden. Es werden zwei Massen ausgewählt. Die Masse **47** enthält Alabasterbruch und ist an ein Rezept aus der Restaurierung angelehnt. Aus den oben genannten Gründen wurden von dieser Masse (mit Alabasterbruch) lediglich Probekörper für den Haftzug und für die thermische Dehnung herzustellen. Für die kompletten Untersuchungen wurde die Masse **50** (Paraloid und Pigment) ausgewählt. Hier war die Probekörperherstellung durch die bessere Fließfähigkeit möglich.

### **13. Untersuchungen an ausgewählten Steinersatz- und Steinerfüllungsmassen für Objekte aus Alabaster**<sup>146</sup>

Die Eigenschaften der nachfolgend genannten Massen werden untersucht und mit den Eigenschaften des Natursteins verglichen.

Die Eigenschaften sowie die dazugehörigen Anforderungen sind im Anforderungskatalog einzusehen.

Die Massen die in der ersten Probereihe gut abgeschnitten haben, werden für die weiterführenden Untersuchungen verwendet. Zudem wird ein Alabastergips mit in die zu untersuchenden Massen aufgenommen.

---

<sup>146</sup> s. Anhang: Nr. 1, 3

### 13.1. Rezepte und Probenbezeichnung

Die Rezepte der zu untersuchenden Massen beziehen sich auf die Rezepte der ersten Probereihen.

Die Nummerierung der Massen bezieht sich weiterhin auf die erste Probereihe. Zum besseren Verständnis der Bindemittelzugehörigkeit werden den verschiedenen Bindemittelgruppen Buchstaben zugeordnet und der Nummerierung der einzelnen Masse wie folgt vorangestellt:

#### Ergänzungsmasse auf der Basis von Alabastergips: Marble Cement

**a**

3 Teile Marble Cement : 1 Teil Wasser

#### Ergänzungsmassen auf der Basis von Acrylatdispersion: Primal SF016

**b7**

7 ml Bindemittel : 72g Alabasterbruch  
Primal 50%ig ( 1:1 mit Wasser verdünnt)<sup>145</sup>  
Alabasterbruch ( Ausfallkörnung):  
0,5 – 1,0 mm (29%)  
0,25 – 0,5 mm (29%)  
0,00 – 0,063 mm (42%)

**b11**<sup>144</sup>

12 ml Bindemittel : 40g Alabasterbruch  
Primal 50%ig (1:1 mit Wasser verdünnt)<sup>146</sup>  
Alabasterbruch:  
1 – 2 mm

#### Ergänzungsmassen auf der Basis von Epoxydharz: Araldit AY 103/ HY956; Hxtal NYL-1TM

Die Epoxydharzmasse 19 wird mit zwei unterschiedlichen Bindemitteln erstellt. Einmal erfolgt die Bindung durch Araldit AY 103/ HY956 und wird c19 genannt. Bei der zweiten Masse erfolgt die Bindung durch Hxtal NYL-1<sup>TM</sup> und wird im Weiteren mit c19\* beschriftet.

**c19**

1 Teil Harz : 6 Teile Zuschlag  
Araldit AY 103/ HY956  
PMMA Kalloryl (2 Teile)  
Paraffin (4 Teile)

**c19\***<sup>147</sup>

1 Teil Harz : 6 Teile Zuschlag  
Hxtal NYL-1TM  
PMMA Kalloryl (2 Teile)  
Paraffin (4 Teile)

---

<sup>144</sup> nach Dipl. Rest. Boris Froberg, s. Rezeptsammlung

<sup>145</sup> 7 ml Bindemittel enthalten 3,5 ml 50%iges Primal und 3,5 ml Wasser.

<sup>146</sup> 12 ml Bindemittel enthalten 6 ml 50%iges Primal und 6 ml Wasser.

<sup>147</sup> Nach JACHNICKA (2000)

**c20**<sup>148</sup>

1 Teil Harz : 3 Teile Zuschlag  
Araldit AY 103/ HY956  
PMMA: FUTURA PRESS LT (2 Teile)  
Paraffin (1 Teil)

**c26**<sup>149</sup>

1 Teil Harz : 4,29 Teile Zuschlag  
Araldit AY 103/ HY956  
Paraffin (0,5 Teile)  
Alabasterbruch (Ausfallkörnung):  
0,125 – 0,25 mm 58% (1,5 Teile)  
0,00 – 0,036 mm 41,5 % (0,75 Teile)

**c26\***<sup>150</sup>

1 Teil Harz : 4,29 Teile Zuschlag  
Araldit AY 103/ HY956  
Alabasterbruch (Ausfallkörnung):  
0,125 – 0,25 mm 58% (1,5 Teile)  
0,00 – 0,036 mm 41,5 % (0,75 Teile)

**c30**

1 Teil Harz : 4 Teile Zuschlag  
Araldit AY 103/ HY956  
Alabasterbruch (Ausfallkörnung):  
0,5 – 1,0 mm 29% (5,4 Teile)  
0,25 – 0,5 mm 29% (5,4 Teile)  
0,125 – 0,036 42% (7,2 Teile)

---

<sup>148</sup> nach NIEMCEWICZ (2004), PAMIATKOWA (2002)

<sup>149</sup> Bindemittelanteil gegenüber Vorproben etwas heruntersetzt

<sup>150</sup> Die Masse c26\* wurde lediglich für die Untersuchung der Farbstabilität herangezogen.

Ergänzungsmassen auf der Basis von Acrylharz: Paraloid B72

**d47**<sup>151</sup>

5 Teile Paraloid : 1 Teil Zuschlag  
Dibutylphthalat (8 GW% vom Paraloid)  
Cabosil TS-720 (1/4 von 1 Teil)  
Alabasterbruch:  
0,036 – 0,125 mm (3/4 von 1 Teil)

**d50**

5 Teile Paraloid : 0,09 g Pigment  
Dibutylphthalat(8 GW% vom Paraloid)  
Zinkoxid (0,09 g)

**13.2. Ergebnisse der Untersuchungen, die auf subjektiven Wahrnehmungen beruhen**

Im Folgenden werden die Ergebnisse aller Untersuchungen, die auf subjektiven Wahrnehmungen beruhen, welche in den ersten Probereihen sowie im Verlauf der Diplomarbeit erfasst wurden, zusammengetragen.

Die optischen Eigenschaften der ausgewählten Mörtel, das Gefüge (dicht, homogen, feinkörnig) Glanz, die Farbigkeit, die Transluzenz und die Polierfähigkeit wurden näher beurteilt und die Mörtelproben mit den drei unterschiedlichen Alabastersorten verglichen.

13.2.1. Ergänzungsmasse auf der Basis von Alabastergips: Marble – Cement

Masse a

Die Handhabung der Masse ist gut. Das Modellieren der Masse ist nur unter Zugabe von mehr Gips als im Mischungsverhältnis angegeben ist möglich. Die Masse läuft auf Null aus.

Bei hohen Luftfeuchtigkeiten trocknet die Masse ohne Schrumpfung und Rissbildung.

Der Alabastergips ist durch seine opake Wirkung, im Verbund mit dem Naturstein als störend anzusehen. Dagegen ist das Gefüge sehr dicht und homogen, was wiederum dem Naturstein entspricht. Grundsätzlich kann ein Glanz durch das Verdichten des Gipses erzeugt werden. (Dazu ist es von Vorteil, einen dünneren Gips in mehreren dünnen Schichten aufzutragen und diesen dann unter Druck zu polieren.) Die nachträgliche Bearbeitung durch Schnitzen und Schleifen ist unproblematisch.

---

<sup>151</sup> nach GRABARCZYK (1988)

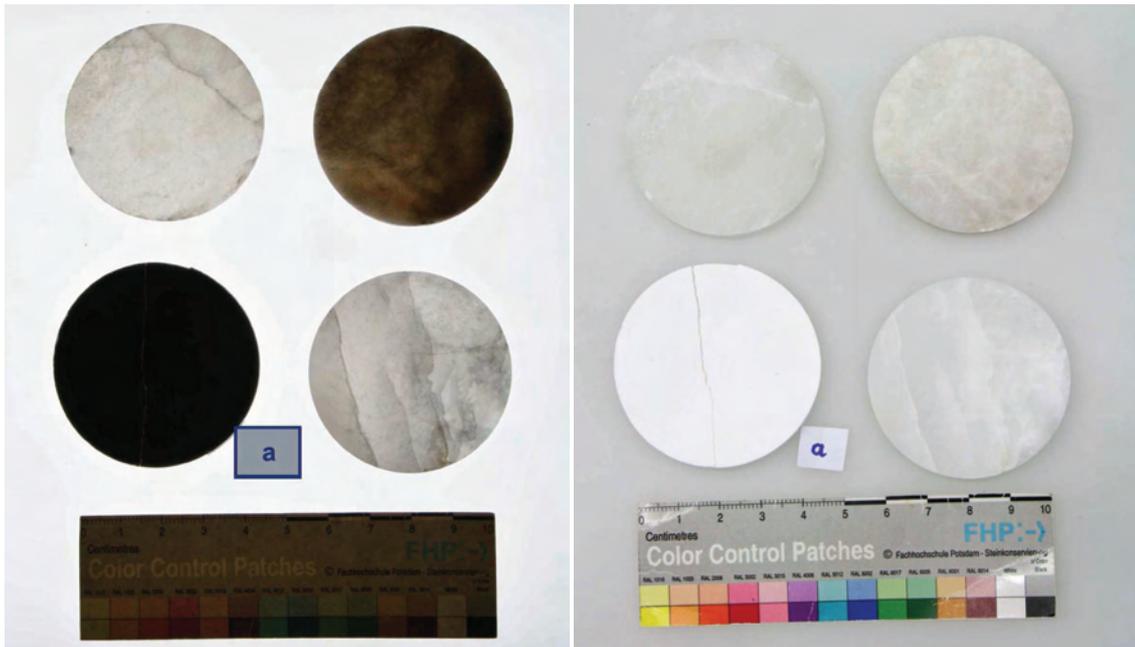


Abb. 21: Foto des Alabastergips a: links zeigt die Transluzenz bei Durchlicht, rechts zeigt das Gefüge jeweils im Vergleich zu den drei bruchfrischen Alabastersorten (li.o.: Ala.S.Pue, re.o.:Ala.M.Ell., li.u.: Ergänzungsmasse, re.u.: Ala.K.For.)

### 13.2.2. Ergänzungsmassen auf der Basis von Acrylatdispersion: Primal SF016

Die Abstufung der Transparenz ist nicht ohne gravierende Veränderung des Rezeptes möglich. Dies bringt eine starke Beeinflussung aller weiteren Eigenschaften mit sich. Ein Konsens zwischen beiden Massen **7** und **11** zeigt optisch ein unbefriedigendes Ergebnis.<sup>152</sup>

#### Masse b7

Die Handhabung des Frischmörtel ist gut. Er ist gut in Form einzubringen und zeigt Standfestigkeit bei der Modellierung mit Lanzette. Ferner läuft er auf Null aus.

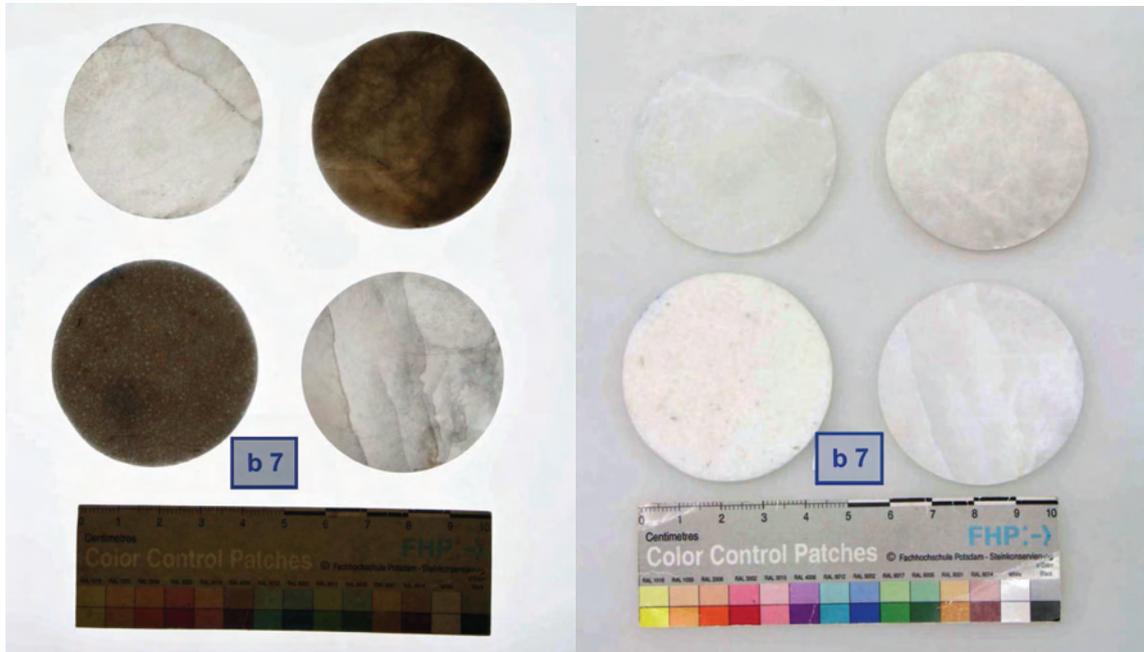
Zudem trocknet die Masse nicht unter Schwinden und Rissbildung auf. Ausgehärtet ist er immer noch elastisch.

Der Mörtel ist von weißer Farbigkeit, dicht und fein- bis mittelkörnig, wobei die größeren Körner sich von den kleineren optisch etwas abheben, was aber nicht als störend empfunden wird. Nach dem Polieren reflektieren die größeren Körner das Licht, wodurch die Masse dem Gefüge des Natursteins sehr ähnlich sieht. Ein starker Glanz ist durch das Polieren nicht zu

---

<sup>152</sup> siehe Anhang Nr. 3, Masse 9

erreichen. Die Transluzenz ist weniger stark ausgebildet. Die nachträgliche Bearbeitung durch Schnitzen, Schleifen und Polieren ist unproblematisch.



**Abb. 22:** Foto der Primalmasse b7: links zeigt die Transluzenz bei Durchlicht, rechts zeigt das Gefüge jeweils im Vergleich zu den drei bruchfrischen Alabastersorten (li.o.: Ala.S.Pue, re.o.: Ala.M.Ell., li.u.: Ergänzungsmasse, re.u.: Ala.K.For.)

### Masse b11

Die Handhabung des Frischmörtels ist sehr schlecht. Das große Korn ohne Füllkorn, in Zusammenhang mit dem flüssigen Bindemittel, ist sehr schlecht zu verarbeiten. Beim Applizieren des Mörtels in die Form muss diese abgedichtet werden, damit das Bindemittel nicht wegfließt. Dieses Problem ist auch an Fehlstellen des Gesteins zu vermuten. Ein Modellieren ist aufgrund der schlechten Kohäsion des Mörtels nicht möglich. Der Mörtel ist nicht auf Null auslaufend.

Der abgebundene Mörtel zeigt kein Schwinden, keine Rissbildung und ist sehr elastisch. Zudem ist er nicht gut schnitz- und schleifbar. Beim Schleifen lösen sich einige Körner aus dem Verbund. Zudem wird durch den hohen Porenraum keine glatte Oberfläche erzielt. Das Polieren ist nicht möglich.

Der Mörtel zeigt eine weiße Farbigkeit und eine inhomogene Oberflächenwirkung, die auf das große Korn, und auf den offenen Porenraum zurückzuführen ist. Das Gefüge des Mörtels wird im Vergleich zum Naturstein als störend empfunden. Dagegen ist die Transluzenz (siehe Abb.: 23) als sehr positiv zu werten.

Die Bindung der Masse erfolgt größtenteils über den Kornkontakt. Lediglich im unteren Bereich des Probekörpers sind die Kornzwischenräume durch das Bindemittel verfüllt.

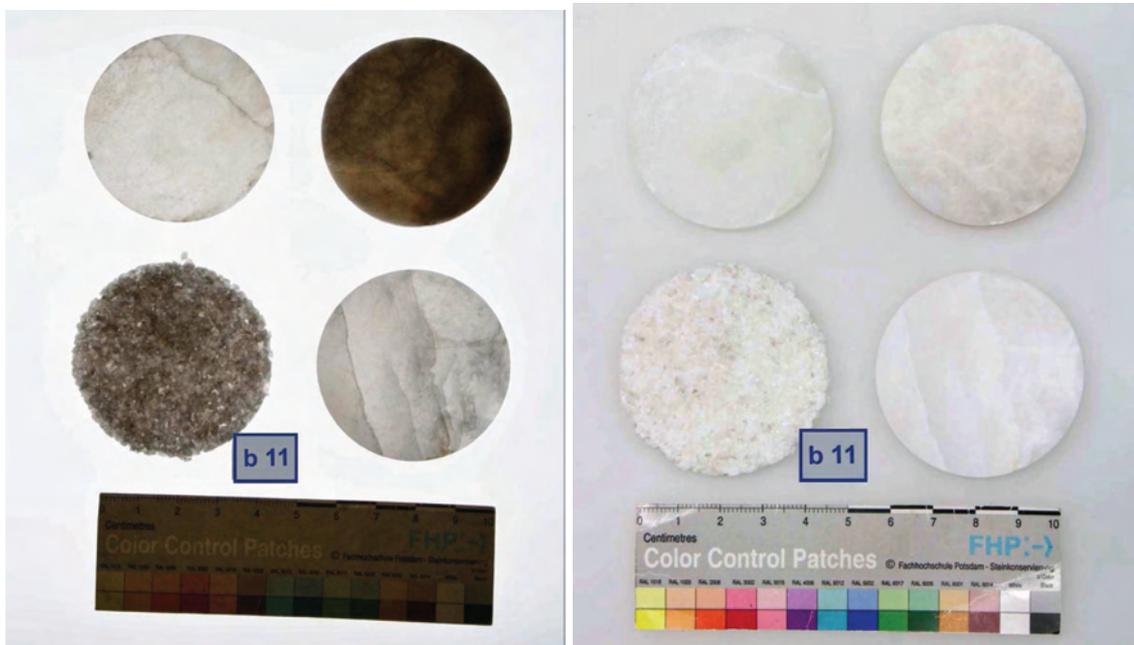


Abb. 23: Foto der Primalmasse b11: links zeigt die Transluzenz bei Durchlicht, rechts zeigt das Gefüge jeweils im Vergleich zu den drei bruchfrischen Alabastersorten (li.o.: Ala.S.Pue, re.o.:Ala.M.Ell, li.u.: Ergänzungsmasse, re.u.: Ala.K.For.)

### 13.2.3. Ergänzungsmassen auf der Basis von Epoxydharz: Araldit AY 103/ HY956; Hxtal NYL-1<sup>TM</sup>

Die untersuchten Epoxydharzmassen sind um so transluzenter je mehr Bindemittel bzw. weniger Zuschlag enthalten ist. Die untersuchten Epoxydharzmassen besitzen ein großes Spektrum an Transluzenzen und können dementsprechend dem Naturstein gut angepasst werden. Die Masse **c20** und **c19\*** zeigen die höchsten Transluzenzen, der Reihenfolge nach kommen dann **c19**, **c26** und **c30**.

#### Masse **c19** und **c19\***

Die Mörtelmassen **c19** und **c19\*** basieren auf dem Rezept **19** der Vorproben. Sie unterscheiden sich voneinander in dem verwendeten Bindemittel. Das **c19** ist mit Araldit AY103/ HY956 und **c19\*** mit Hxtal NYL-1 gebunden.

Die Mörtelmasse **c19** ist gegenüber **c19\*** etwas gelblicher und erhärtet schneller. Alle weiteren Eigenschaften weisen beide Masse auf.

Die Epoxydharzmasse ist auf Null auslaufend und gut zu applizieren und zu modellieren. Ein leichtes Schwinden ohne Rissbildung ist beim Aushärten zu beobachten. Ferner zeigt der Festmörtel einen Oberflächenglanz. Der Mörtel ist hart, aber dennoch mit dem Fingernagel ritzbar. Er ist gut schnitz- und schleifbar. Nach dem Polieren zeigt die Masse einen leichten Glanz. Das Gefüge ist homogen und dicht, zeigt weder Porenraum noch einzelne Körner. Der Mörtel hat eine weiße Farbe und eine hohe Transluzenz.

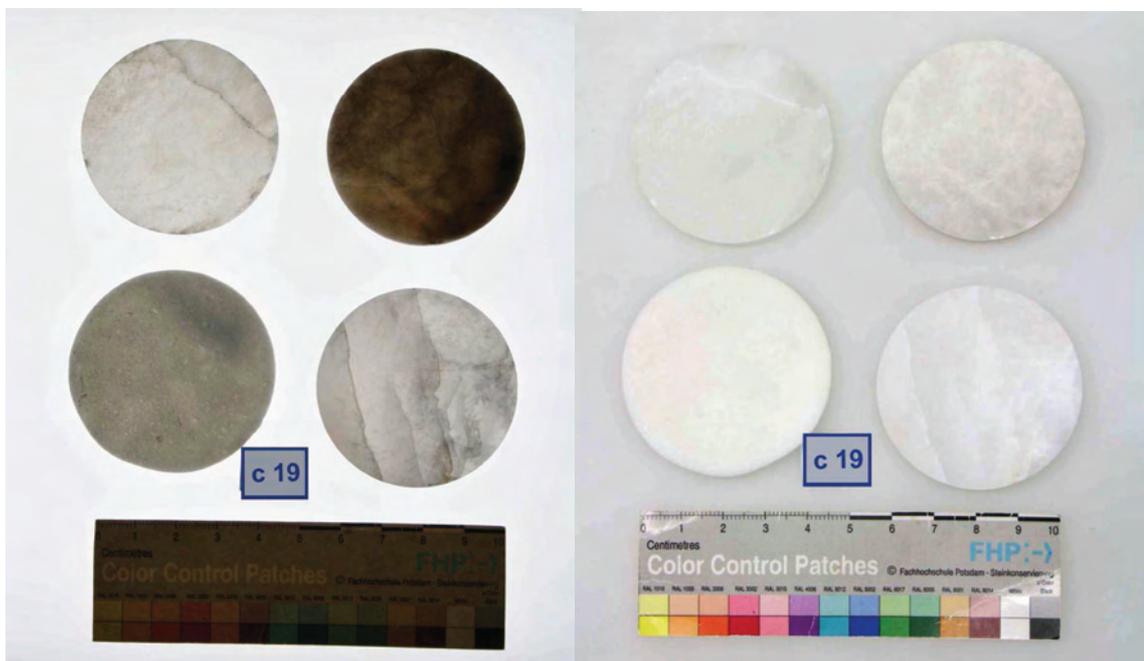
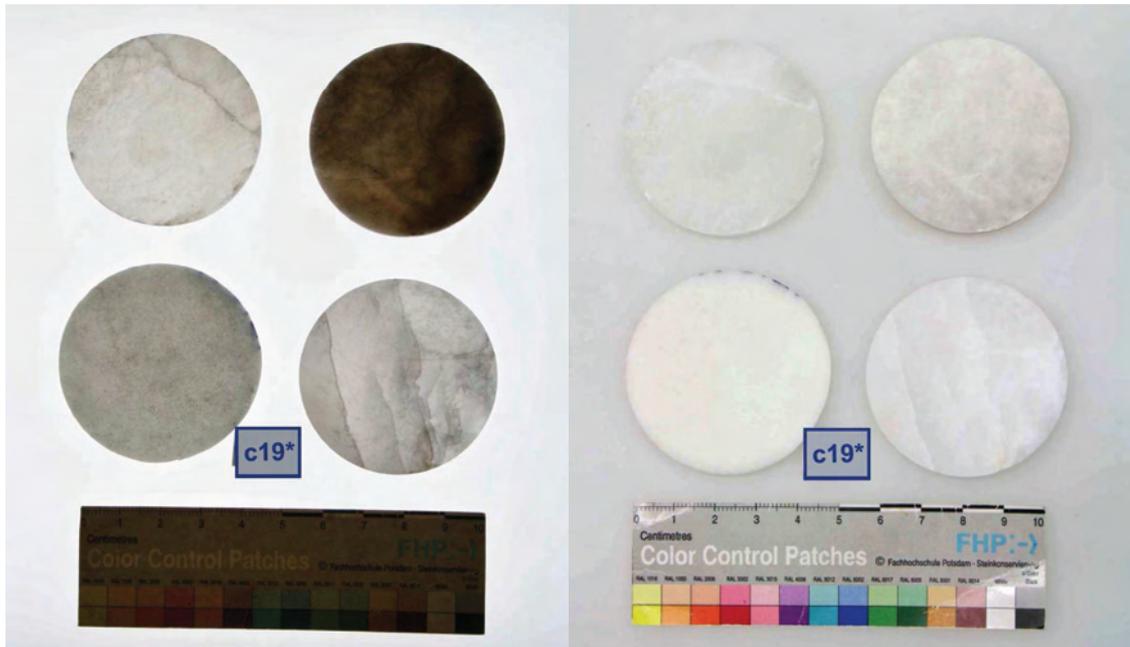


Abb. 24: Foto der Epoxydharzmasse c19: links zeigt die Transluzenz bei Durchlicht, rechts zeigt das Gefüge jeweils im Vergleich zu den drei bruchfrischen Alabastersorten (li.o.: Ala.S.Pue, re.o.:Ala.M.Ell., li.u.: Ergänzungsmasse, re.u.: Ala.K.For.)



**Abb. 25:** Foto der Epoxydharzmasse c19\*: links zeigt die Transluzenz bei Durchlicht, rechts zeigt das Gefüge jeweils im Vergleich zu den drei bruchfrischen Alabastersorten (li.o.: Ala.S.Pue, re.o.:Ala.M.Ell., li.u.: Ergänzungsmasse, re.u.: Ala.K.For.)

### Masse c20

Eine Blasenbildung in der Masse kann durch langsames Mischen der Harzkomponenten sowie durch langsames, langes Rühren mit dem Zuschlag minimiert werden. Der Frischmörtel ist sehr dünn und besitzt eine hohe Haftung. Dies beeinträchtigt die Handhabung. Ein Modellieren ist nicht möglich. Dagegen lässt sich die Masse gut gießen, wobei die Form, aufgrund der liquiden Konsistenz der Masse, gut abgedichtet sein muss.

Ein Schrumpfen des Mörtels ohne Rissbildung kann bei der Probekörperherstellung beobachtet werden. Der Festmörtel ist sehr transluzent und von weißer, leicht ins gelblich gehender Farbe. Das Gefüge ist homogen und dicht, zeigt weder Porenraum noch einzelne Körner. Dem starken Oberflächenglanz kann durch Schleifen entgegengewirkt werden, wodurch eine an den Naturstein angepasste Oberflächenwirkung erzielt werden kann. Durch nachträgliches Polieren kann dem Mörtel wieder zu einem schwächeren Glanz verholfen werden.

Der Festmörtel ist gut schnitzbar und mit dem Fingernagel ritzbar.

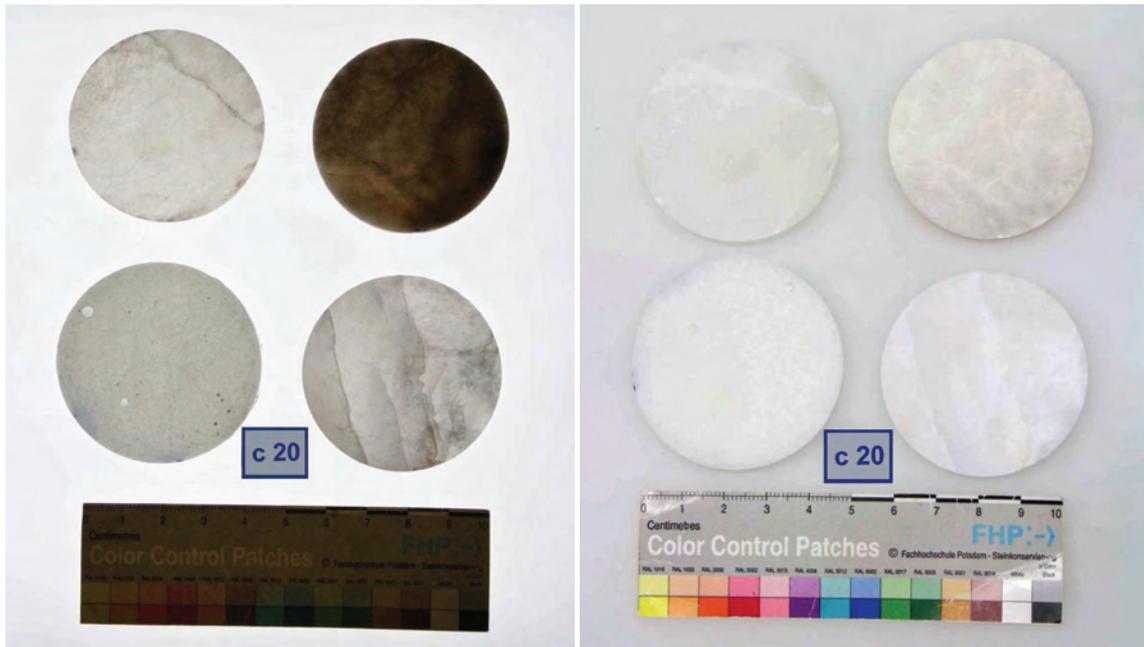


Abb. 26: Foto der Epoxydharzmasse c20: links zeigt die Transluzenz bei Durchlicht, rechts zeigt das Gefüge jeweils im Vergleich zu den drei bruchfrischen Alabastersorten (li.o.: Ala.S.Pue, re.o.:Ala.M.Ell., li.u.: Ergänzungsmasse, re.u.: Ala.K.For.)

### Masse c26

Die Mörtelmassen **c26** und **c26\*** basieren auf dem Rezept **26** der Vorproben. Sie unterscheiden sich zueinander in den Zuschlagstoffen. Bei **c26\*** wird auf das Parafin in dem Mörtel verzichtet. Alle folgenden Eigenschaften weisen beide Massen auf.

Der Frischmörtel ist gut zu applizieren aber aufgrund verminderter Standfestigkeit weniger gut zu modellieren als **c19** und **c19\***. Der Mörtel läuft auf Null aus.

Beim Aushärten des Mörtels kann ein Schrumpfen ohne Rissbildung wahrgenommen werden. Der Festmörtel ist sehr transluzent und von weißer, leicht ins gelblich gehender Farbe. Das Gefüge ist homogen und weitgehend dicht. Wenige kleine Porenräume und einzelne reflektierende Körner sind zu erkennen. Dadurch sieht die Masse dem Naturstein sehr ähnlich. Dem starken Oberflächenglanz kann durch Schleifen entgegengewirkt werden. Folglich kann eine an den Naturstein angepasste Oberflächenwirkung erreicht werden. Durch nachträgliches Polieren kann dem Mörtel wieder zu einem schwächeren Glanz verholfen werden.

Der Festmörtel ist gegenüber anderen untersuchten Epoxydharzmassen (z.B.: **c20**) nicht so gut schnitzbar und mit dem Fingernagel nicht ritzbar.

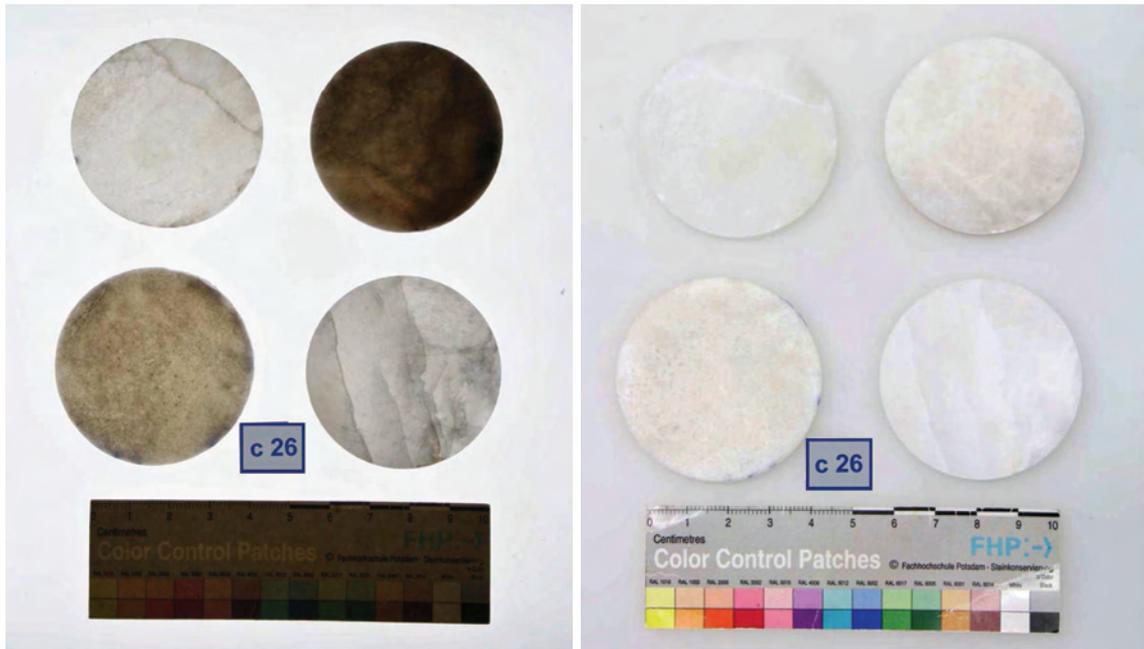
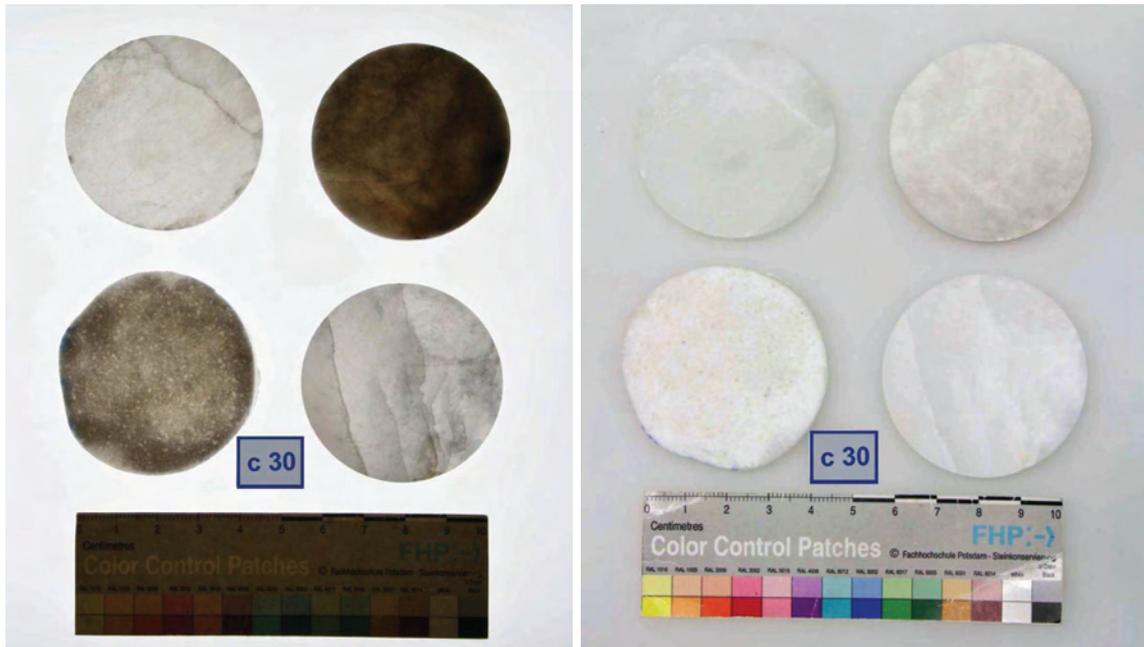


Abb. 27: Foto der Epoxydharzmasse c26: links zeigt die Transluzenz bei Durchlicht, rechts zeigt das Gefüge jeweils im Vergleich zu den drei bruchfrischen Alabastersorten (li.o.: Ala.S.Pue, re.o.:Ala.M.Ell., li.u.: Ergänzungsmasse, re.u.: Ala.K.For.)

### Masse c30

Die Handhabung des Frischmörtels ist etwas schlechter als bei **c19** und **c19\***. Er lässt sich zwar gut in die Form einbringen, dagegen ist das Modellieren weniger möglich.

Ein Schrumpfen des Mörtels ist als minimal zu werten. Der Mörtel härtet ohne Rissbildung aus. Der Festmörtel ist sehr transluzent und von weißer, leicht ins gelblich gehender Farbe. Das Gefüge ist homogen und dicht, kleine Porenräume und einzelne reflektierende Körner sind zu erkennen, wodurch die Masse dem Naturstein sehr ähnlich sieht. Dem starken Oberflächenglanz kann durch Schleifen entgegengewirkt werden. Es kann somit eine an den Naturstein angepasste Oberflächenwirkung erzielt werden. Durch nachträgliches Polieren kann dem Mörtel wieder zu einem schwächeren Glanz verholfen werden. Der Festmörtel ist gut schnitz- und schleifbar aber mit dem Fingernagel nicht ritzbar.



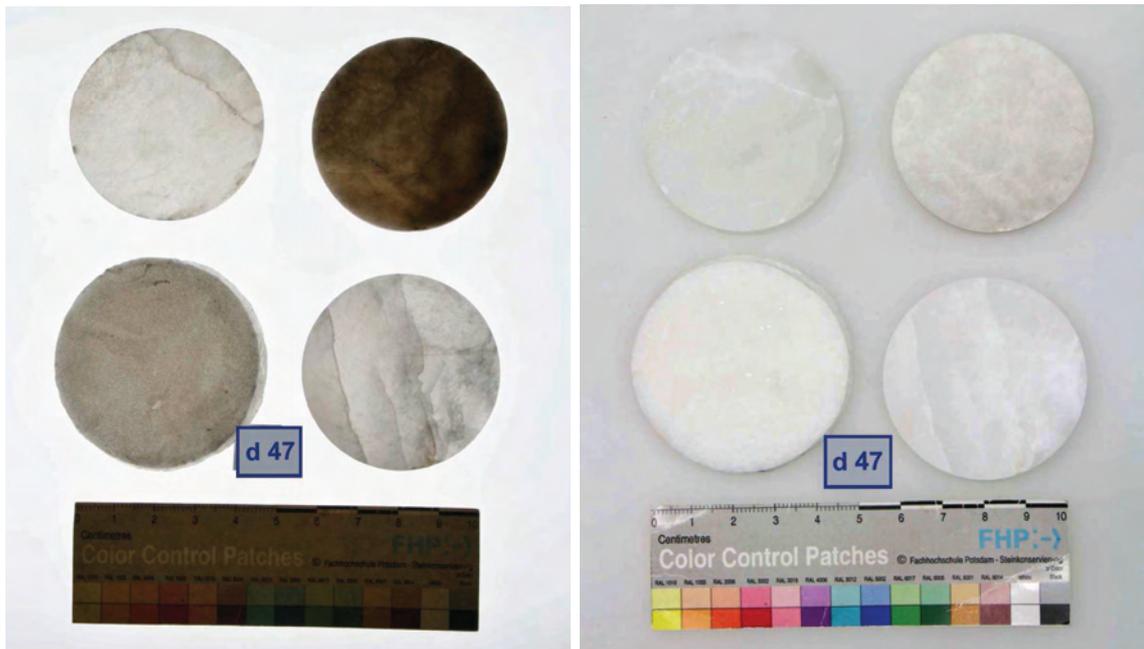
**Abb. 28:** Foto der Epoxydharzmasse c30: links zeigt die Transluzenz bei Durchlicht, rechts zeigt das Gefüge jeweils im Vergleich zu den drei bruchfrischen Alabastersorten (li.o.: Ala.S.Pue, re.o.:Ala.M.Ell., li.u.: Ergänzungsmasse, re.u.: Ala.K.For.)

#### 13.2.4. Ergänzungsmassen auf der Basis von Acrylharz: Paraloid B72

Die Paraloidmassen sind um so transluzenter je weniger Zuschlag in der Masse enthalten ist.

##### Masse d47

Das Herstellen der Schmelze sowie das Einbringen der Masse in die Probekörperform ist sehr schwierig und aufwendig. Zudem ist die Handhabung durch den Zuschlag erschwert, da durch den Zuschlag die Masse noch zäher in der Verarbeitung wird. Nach dem Erkalten ist die Masse transluzent, von weißer Farbe und zeigt einen starken Oberflächenglanz. Das Gefüge ist homogen und dicht. Der Festmörtel ist schlecht schleifbar, kann aber geschnitten werden. Das nachträgliche Bearbeiten mittels Heizspachtel ist möglich, bedarf aber einiger Übung. Die Oberfläche kann mit dem Heizspachtel über einer Folie geglättet und verarbeitet werden. Zudem kann ein in der Stärke individueller Glanz erzeugt werden.

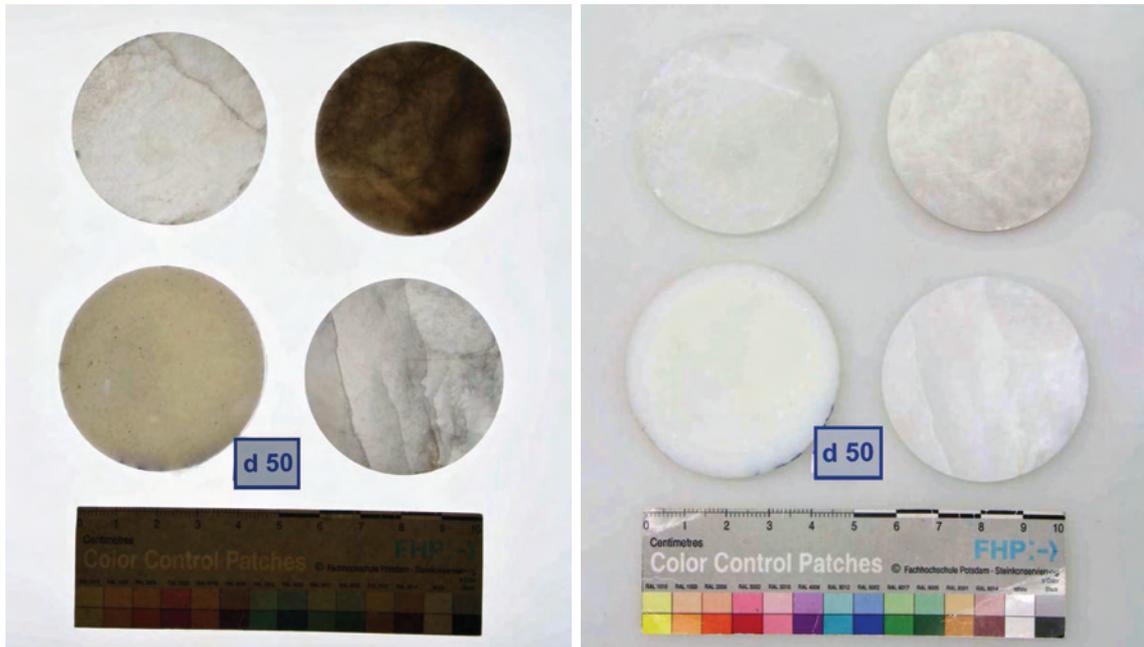


**Abb. 19: Foto der Paraloidmasse d47: links zeigt die Transluzenz bei Durchlicht, rechts zeigt das Gefüge jeweils im Vergleich zu den drei bruchfrischen Alabastersorten (li.o.: Ala.S.Pue, re.o.:Ala.M.Ell., li.u.: Ergänzungsmasse, re.u.: Ala.K.For.)**

#### Masse d50

Das Herstellen der Schmelze sowie das Einbringen der Masse in die Probekörperform ist sehr schwierig und aufwendig, jedoch besser als bei Masse **d47**.

Nach dem Erkalten ist die Masse sehr transluzent, von weißer Farbe und zeigt einen starken Oberflächenglanz. Das Gefüge ist homogen und dicht. Der Festmörtel ist schlecht schleifbar, kann aber geschnitten werden. Die nachträgliche Bearbeitung mit einem Heizspachtel ist möglich erfordert aber ebenfalls etwas praktische Erfahrungen. Die Oberfläche lässt sich mit dem Heizspachtel über einer Folie glätten und verarbeiten. Zudem kann ein in der Stärke individueller Glanz erzeugt werden.



**Abb. 30:** Foto der Paraloidmasse d50: links zeigt die Transluzenz bei Durchlicht, rechts zeigt das Gefüge jeweils im Vergleich zu den drei bruchfrischen Alabastersorten (li.o.: Ala.S.Pue, re.o.:Ala.M.Ell., li.u.: Ergänzungsmasse, re.u.: Ala.K.For.)

### 13.3. Ergebnisse der Untersuchungen, die auf objektiven Messungen beruhen

Im Folgenden werden die Ergebnisse, die auf objektiven Messungen beruhen, nach den durchgeführten Untersuchungen gegliedert.

Die Messwerte der Bindemittelgruppen bzw. der einzelnen Massen wurden untereinander, mit den vorangestellten Werten des Natursteins sowie den gestellten Anforderungen<sup>153</sup> an die Steinersatz- Steinerfüllmassen verglichen.

#### 13.3.1. Physiko-mechanische Kennwerte

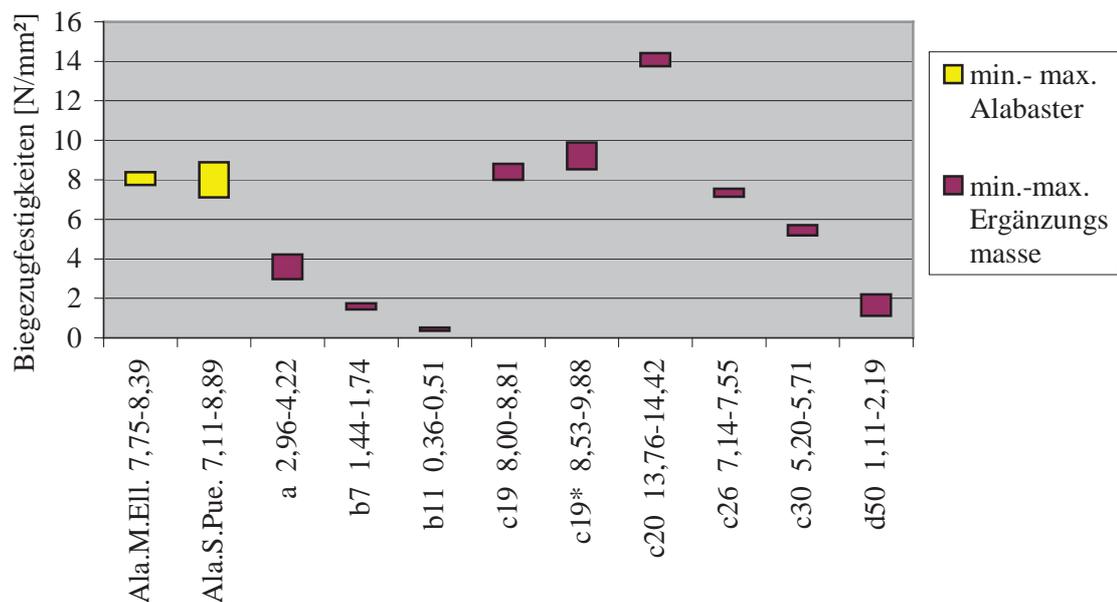
##### Biaxiale Biegezugfestigkeiten

Die Kennwerte der biaxialen Biegezugfestigkeit für den Alabaster liegen zwischen 7,11 und 8,89 N/mm<sup>2</sup>.

---

<sup>153</sup> siehe Kapitel: 10.3.7.

Im Vergleich der Massen untereinander haben die Epoxydharzmassen ( **c19**, **c19\***, **c20**, **c26**, **c30**) die höchsten Festigkeitswerte mit einer großen Spannweite von 5,20 – 14,42 erreicht. Die Alabastergips- (**a**), Paraloid- (**d50**) und die Primal- (**b7**, **b11**) Massen zeigen viel geringere Festigkeiten. Die niedrigsten Biegezugfestigkeiten wurden durch die Paraloid- und die Primalmassen erreicht. Wobei die Primalmasse **b7** deutlich höherer Werte im Vergleich zu der **b11** Masse erreicht hat. Dies ist vermutlich auf die bessere Packungsdichte des Zuschlages d.h. Alabasterbruch zurückzuführen.



**Diagramm 1: Biaxiale Biegezugfestigkeiten: Naturstein Kennwerte und die Werte der untersuchten Ergänzungsmörtel**

Die Messwerte von dem Alabastergips **a** sowie der Primal- **b7**, **b11** und Paraloid- **d50** Massen<sup>154</sup> liegen mehr als die Hälfte unter den Kennwerten des Natursteins. Demnach entsprechen die Ergänzungsmassen **a**, **b7**, **b11** und **d50** nicht den Anforderungen nach MIKOS (1991)<sup>155</sup>. Bei der Paraloidmörtel **d50** könnten durch verminderte Zugabe von Weichmacher vielleicht höhere Festigkeiten erzielt werden.

Die Epoxydharzmassen (Araldit) **c19**, und **c26** zeigen gegenüber dem Naturstein sehr günstige Biegezugfestigkeiten. Die Epoxydharzmasse **c30** zeigt einen geringeren Biegezug als **c26**, liegt

<sup>154</sup> Die Prüfungen wurden bei den Massen b7, b11 und d50 abgebrochen, da sich die Probekörper unter der Auflast stark verformten. Die Messwerte bei Abbruch wurden als Endwerte eingesetzt. (siehe Untersuchungsaufbau.)

<sup>155</sup> siehe Anforderungskatalog

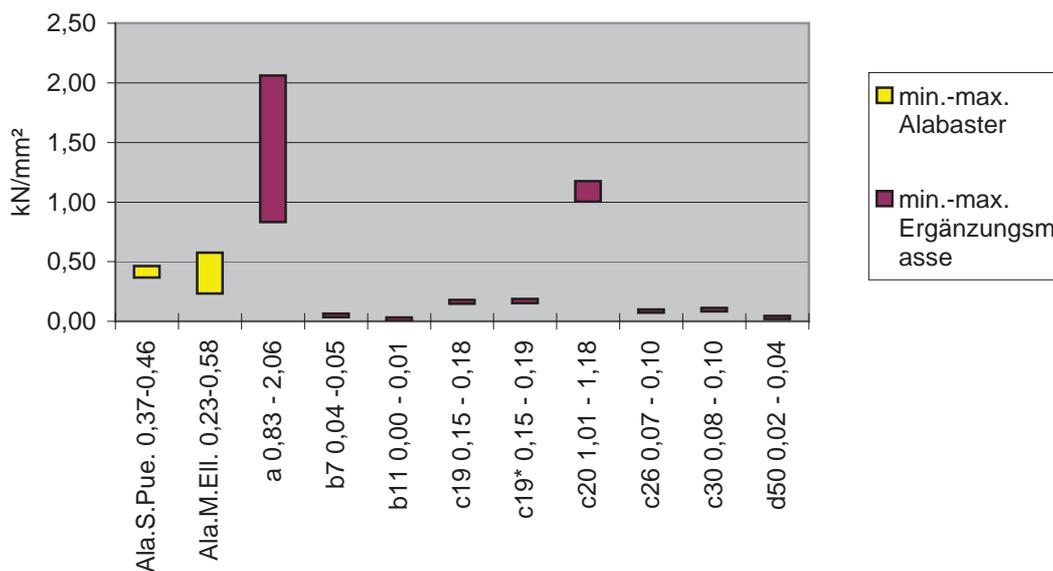
aber noch über der Mindestanforderung von 50% der Kennwerte des Natursteins. Dagegen liegen die Werte für die Aralditmasse **c20** ca. 175% über den Natursteinkennwerten, auch dies ist laut Anforderungskatalog noch vertretbar. Auch die Hxtal NYL-Masse **c19\*** liegt in ihrer Spannweite teils über den Bereich der Alabasterkennwerte, dennoch ist dies den Anforderungen nach noch vertretbar.

### E-Modul<sup>156</sup>

Der Naturstein kennzeichnet sich mit Werten von 0,23 bis 0,58 kN/mm<sup>2</sup> als ein relativ elastisches Gestein aus.

Die höchsten E-Module und Spannweiten weist der Alabastergips (**a**) auf. Auch die Aralditmasse **c20** zeigt gegenüber den anderen Massen wesentlich höhere E-Module auf.

Im Gegensatz dazu sind alle anderen untersuchten Massen (**b7**, **b11**, **c19**, **c19\***, **c26**, **c30**, **d50**) wesentlich elastischer. Wobei parallel zu den Biegezugfestigkeiten die Primal- und Paraloid-Massen die niedrigsten Werte zeigen.



**Diagramm 8: E-Module: Naturstein Kennwerte und die Werte der untersuchten Ergänzungsmaße**

Der Alabastergips- **a** und die Aralditmassen **c20** sind zu unelastisch für den Naturstein.

Die Epoxydharzmassen **c19** (Araldit) und **c19\*** (Hxtal-Nyl1) liegen knapp unter den geforderten 20%<sup>157</sup>, sind aber dennoch vertretbar.

<sup>156</sup> Die E-Modulberechnung erfolgte Computergestützt nach Wittmann und Primm modifiziert. Diese Berechnung wurde weitergehend modifiziert nach P. KOZUB (2008). Siehe Anhang Nr.: 1.2.2

Die Primalmassen **b7**, **b11**, die Paraloidmasse **d50** sowie die Aralditharzmasse **c26**, **c30** sind zu elastisch und entsprechen demnach nicht den gestellten Anforderungen<sup>158</sup>.

#### Haftzugfestigkeit

Die Zugfestigkeiten des Natursteins, die als Kennwerte für die Haftzugfestigkeiten die Masse dienen, liegen zwischen 1,00 und 1,31 N/mm<sup>2</sup>.

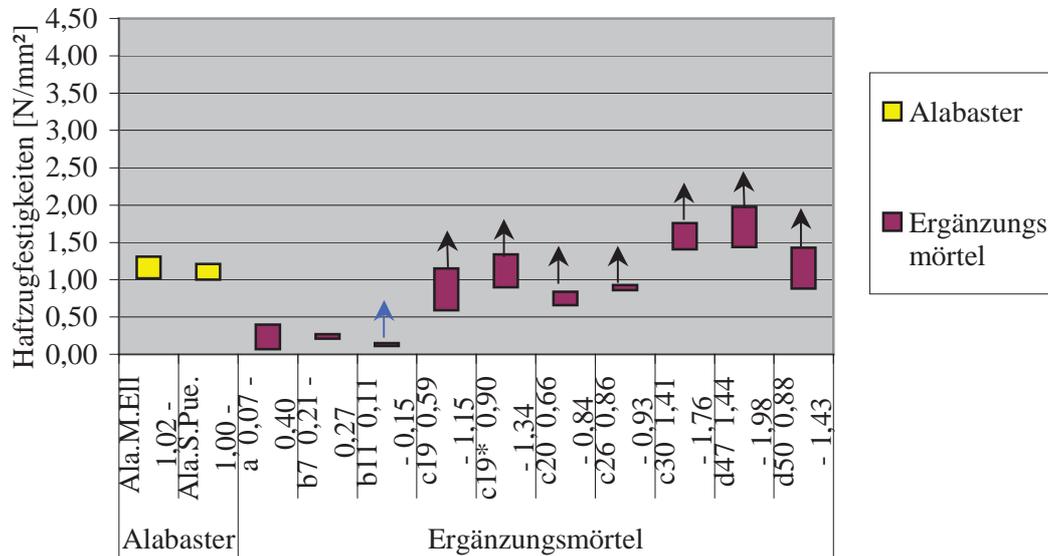
Die Primal- (**b7**, **b11**) und die Alabastergips- (**a**) Massen weisen die niedrigsten Haftzugfestigkeiten der Ergänzungsmassen und die positivsten Bruchbilder auf. Wohingegen die Epoxydharz- (**c19**, **c19\***, **c20**, **c26**, **c26\***) und der Paraloid- (**d50**) Massen höhere Werte und negativere Bruchbilder aufzeigen. Dabei erfolgten die Brüche bei den Epoxydharz- (**c19**, **c19\***, **c20**, **c26**, **c26\***, **c30**) und den Paraloidmassen (**d47**, **d50**) oftmals als Kohäsionsbrüche des Untergrundmaterials sowie als Bruch der Klebschicht. Demnach beinhalten die gemessenen Werte nicht nur die Haftzugfestigkeiten der Massen, sondern auch die des Klebers sowie des Gesteins. Daher sind die realen Haftzug- sowie die Zugfestigkeiten der Epoxydharzmassen höher als die gemessenen Werte.

Häufigkeit der Bruchbilder in %	a	b7	b11	c19	c19*	c20	c26	c26*	c30	d47	d50
Adhäsionsbruch	100	100	30								
Kohäsionsbruch (Masse)			70				35	60		45	45
Kohäsionsbruch (Gestein)				80	40	85	35	30	70	25	25
Bruch der Klebschicht				20	60	15	30		30	30	30

**Tabelle 7: Angabe der Häufigkeit der unterschiedlich vorkommenden Bruchbilder**

<sup>157</sup> siehe Kapitel: Auswahlkriterien für die Ergänzungsmasse sowie deren Wertigkeiten

<sup>158</sup> siehe Kapitel: Auswahlkriterien für die Ergänzungsmasse sowie deren Wertigkeiten



**Diagramm 3:** Das Diagramm stellt die Kennwerte der Zugfestigkeiten des Natursteins im Vergleich zu den Haftzugfestigkeiten der untersuchten Ergänzungsmörtel dar. (Die Richtung des schwarzen Pfeils  $\rightarrow$  zeigt die Tendenz des Haftzugs- sowie der Zugfestigkeiten an, die blauen Pfeile  $\rightarrow$  zeigen die Tendenz der Haftzugfestigkeiten an.)

Die Bruchbilder der Primalmassen **b7** und **b11** sowie des Alabastergipses **a** sind sehr positiv zu bewerten. Dennoch weisen die Massen gegenüber den Natursteinkennwerten zu niedrige Haftzugfestigkeiten auf. Die Anbindung der Masse **b11** an den Untergrund könnte durch minimalen Einsatz in Form einer stärkeren Haftbrücke verbessert werden. Die Werte der Primalmörtel liegen mehr als die Hälfte unter den Werten des Natursteins. Demnach haben sie laut Anforderungen eine zu geringe Festigkeit.

Die gemessenen Werte des Aralditharzmörtels **c30** weisen zu hohe Haftzug- sowie Zugfestigkeiten für den Naturstein auf. Bei dem Hxtal NYL-mörtel **c19\*** liegen die zu erwartenden Werte über den Kennwerten des Natursteins und sind zu hoch für die gestellten Anforderungen. Höhere Werte sind auch bei den Aralditmassen **c26** (35% des Messwertes sind auf einen Kohäsionsbruch in der Masse zurückzuführen) und **c26\*** (60% des Messwertes sind auf einen Kohäsionsbruch in der Masse zurückzuführen) zu erwarten, könnten aber noch im Bereich der Anforderungen liegen. Die zu erwartenden Zug- und Haftzugfestigkeiten der Aralditmassen **c19**, **c20** befinden sich möglicherweise noch im Toleranzbereich der gestellten Anforderungen.

Ein Vergleichen der gemessenen Werte der Massen **c26** und **c26\*** sowie **c19** und **c19\*** untereinander kann aufgrund der unterschiedlichen Bruchbilder nicht erfolgen.

Die Zugfestigkeit der Epoxydharzmasse ist nur eingeschränkt und mit großem Aufwand durch Abänderung des Rezeptes möglich. Dagegen ist das Heruntersetzen der Haftung durch eine Sperrschicht zwischen Masse und Untergrund einfacher zu realisieren.

Die Paraloidmasse **d47** zeigt im Vergleich zu den Kennwerten und den gestellten Anforderungen eindeutig zu hohe Festigkeiten. Die Paraloidmasse **d50** liegt mit den gemessenen Werten im Bereich der Kennwerte. Da nur 45% des Messergebnisses auf einem Kohäsionsbruch zurückzuführen sind, werden höhere Werte für die reale Haftzugfestigkeit erwartet.

Zumindest die Haftung zwischen Masse und Untergrund könnte ohne größeren Aufwand durch Verdünnen des Haftgrundes herabgesetzt werden. Um die Zugfestigkeiten der Massen herabzusetzen, müsste der Anteil von Zuschlagstoffen erhöht werden. Dadurch verschlechtert sich jedoch die Verarbeitbarkeit<sup>159</sup>.

### 13.3.2. Dilatationsverhalten

#### Hygrische Dilatation nach 24 h Wasserlagerung

Die hygrische Dilatation des bruchfrischen Alabasters, die größtenteils als Schrumpfung erfolgte, ist mit einer Spannweite von -0,127 bis 0,048 mm/m als gering anzusehen.

Messungen der hygrischen Dilatation der Paraloidmassen **d47**<sup>160</sup> sowie der Primalmörtel **b11**<sup>3</sup> erfolgten, bedingt durch Probleme bei der Probekörperherstellung, nicht. Die Messungen an der Primalmasse **b7** und Paraloidmörtel **d50** wurden abgebrochen, da sich die Probekörper bereits nach wenigen Stunden in Wasserlagerung und unter dem Andruck des Wegaufnehmers deformierten.

Die hygrischen Dilatationen aller untersuchten Ergänzungsmörtel (**a**, **c19**, **c19\***, **c20**, **c26**, **c30**) sind als sehr geringfügig anzusehen, wie die nachfolgende Tabelle zeigt.

---

<sup>159</sup> vgl. siehe Kapitel: 12.4.4 Ergänzungsmassen auf der Basis von Acrylharz

<sup>160</sup> s. Anhang Nr.4

Probenbezeichnung	hygrische Dilatation [mm/m]	
	min.	max.
Alabaster	-0,127	0,048
a	0,001	
c19*	0,001	0,002
c19	0,000	
20	0,000	0,001
c26	-0,002	0,000
30	-0,001	0,000

**Tabelle 8: Die Tabelle gibt die hygrische Dilatation des Natursteins und einer Auswahl der zuvor beschriebenen Massen wieder**

Die niedrigen hygrischen Dilatationswerte der untersuchten Gips- sowie Epoxydharzmörtel **a**, **c19**, **c19\***, **c20**, **c26**, **c30** liegen im Bereich der Kennwerte des Gestein und sind daher als positiv zu werten.

Die Epoxydharz-Ergänzungsmörtel **c26** und **c30** sind die einzigen, die unter Wasserlagerung geschrumpft sind. Die Ursache für die Schrumpfung konnte nicht eindeutig geklärt werden. Eine mögliche Ursache wäre der Alabasterbruch, der in beiden, und nur in diesen, Massen vorkommt, zumal der Naturstein ebenfalls eine Schrumpfung aufwies.

#### thermische Dilatation<sup>161</sup>

Die Werte des Gesteins beinhalten die Messwerte<sup>162</sup> von Ala.M.Ell und Ala.S.Pue. Die Messung der thermischen Dehnung erfolgte an je nur einer Messung pro Gesteinsorte und Ergänzungsmörtel, da die Probenmenge auf fünf minimiert werden musste. Aufgrund dessen ist sie eher als richtungsweisend zu verstehen und nicht als Kennwerte.

Die Messungen sollten lediglich an die Massen **c19\***, **d47**, **d50**, **b7**, **b11** durchgeführt werden, die als optisch farbstabil einzustufen sind. Bei der Masse **b11** konnte aus technischen Gründen<sup>163</sup> kein Probekörper für die Messung erstellt werden. Ferner konnte die Messung an der Masse **c19\*** nicht erfolgen, da die Parafinzusätze in der Masse bei der Messung geschmolzen wären und sie die Messeinrichtung verklebt hätten.

<sup>161</sup> s. Anhang Nr.1

<sup>162</sup> Es erfolgte je nur eine Messung pro Gesteinsorte und Ergänzungsmörtel.

<sup>163</sup> Zuschlag zu groß um einen so kleinen Probekörper annähernd homogen zu fertigen.

Probebezeichnung	thermischer Ausdehnungskoeffizient $\alpha [10^{-6} \text{ K}^{-1}]$
Alabaster	1,0
b7	0,3
d47	59,9
d50	-210,5

**Tabelle 9:** Die Tabelle gibt den thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Alabaster und ausgewählten Ergänzungsmassen an.

Die Primalmasse **b7** hat im Vergleich zu den Paraloidmörteln den kleinsten Ausdehnungskoeffizienten. Zudem ist die Dilatation im Vergleich zu den Kennwerten und den gestellten Anforderungen zu gering.

Die Paraloidmassen zeigen sehr große Dilatationen bereits bei niedrigen Temperaturen auf, wobei das Schrumpfen die Masse **d50** anscheinend auf den Anpressdruck der Messapparatur zurückzuführen<sup>164</sup> und somit ungeeignet ist. Beide Masse haben gegenüber den Kennwerten viel zu hohe Dilatationswerte.

Die Massen **c19\***, **c19**, **c20** und **c26** wurden nicht gemessen. Ein Schmelzen des in der Masse befindlichen Parafins stellt ein Problem dar. Bei einer Probemessung mit der Probe **c19** schmolz bereits bei geringen Temperaturen das Parafin.

Bei der Primalmasse **b11**<sup>165</sup> ist ein ähnlich niedriger Ausdehnungskoeffizient wie bei **b7** zu erwarten, da sich beide Massen lediglich in der Packungsdichte und Korngröße unterscheiden.

### 13.3.3. Porenraumbezogenen Kennwerte

#### Wasserdampf-Diffusionswiderstands-Zahl

Die Kennwerte des Gesteins zeigen, trotz einer großen Spannweite, eine sehr gute Diffusionsfähigkeit für Wasserdampf auf.

Ferner weisen die Gips- und Primalmassen sehr geringe  $\mu$ -Werte und somit eine sehr gute Diffusionsfähigkeit für Wasserdampf auf. Die Epoxydharz- und Paraloidmassen erreichen höhere bis stark einschränkende Wasserdampfdiffusionswiderstände.

<sup>164</sup> s. Anhang: Nr1

<sup>165</sup> Wurde nicht gemessen

Probenbezeichnung	μ-Wert	
	min.	max.
Alabaster	1,31	9,19
a	0,10	0,11
b7	1,29	1,56
b11	0,08	0,10
c19	47,81	1434,27
c19*	71,71	143,43
c20	71,71	143,43
c26	23,90	71,71
c30	13,04	28,69
d50	105,46	1103,28

**Tabelle 10: Die Tabelle legt den dimensionslosen Wasserdampfdiffusionswiderstandswert von Alabaster und den untersuchten Ergänzungsmassen mit Ausnahme von d47 dar.**

Die μ-Werte des Gipsmasse **a** und der Primalmasse **b7**, und **b11** liegen größtenteils unter der Hälfte der errechneten Werte des Gesteins und gelten nach dem Anforderungskatalog als zu gering. Dennoch werden die sehr niedrigen μ -Werte als positiv gewertet, da das Gestein ebenfalls gute μ -Werte aufweist, sollte durch die Masse diffundierte Feuchtigkeit kein Gefahrenpotential, z. B. im Sinne eines Feuchthorizonts zwischen Masse und Gestein, ermöglichen.

Die Epoxydharzmassen **c19**, **c19\***, **c20**, **c26** und **c30** sowie der Paraloidmassen **d50** liegen weit über den Kennwerten und den gestellten Anforderungen. Die Wasserdampfdurchlässigkeit wäre durch diese Masse stark eingeschränkt, so dass eine Feuchtzone im Kontaktbereich zwischen Gestein und Masse entstehen kann. Dennoch sollte unter der Berücksichtigung des verminderten Feuchteintrages im Innenraum, der guten Wasserdampfdurchlässigkeit des Gesteins und bei ein- oder zweiflächigen bzw. kleinteiligen und partiellen Ergänzungen das Schadenspotential sehr minimal sein. Als wasserdampfdichteste Masse unter den Epoxydharzmassen zeigt sich **c19**. Ein Vergleich zwischen **c19** (Araldit AY103/HY956) und **c19\*** (Hyxtal-Nyl1) ergibt dass bei die Hyxtal Nyl-1-Massen insgesamt die niedrigeren Werte zu verzeichnen sind. Dahingegen sind bei **c19\*** und **c20** die gleichen Werte, festzustellen. Unter den Epoxydharzmassen haben die mit Alabasterbruch (**c26**, **c30**) den minimalsten Widerstand gegen den Wasserdampf.

#### 13.3.4. Farbstabilität<sup>166</sup>

Die folgende Auswertung beruht nicht auf gemessenen Werten, sondern lediglich auf der subjektiven, optischen Wahrnehmung des Untersuchenden.

Die Gips-, Paraloid- sowie die Primalmassen zeigen optisch keinerlei Farbveränderung nach der UV-Bestrahlung. Demnach können diese Masse als farbstabil angesehen werden.

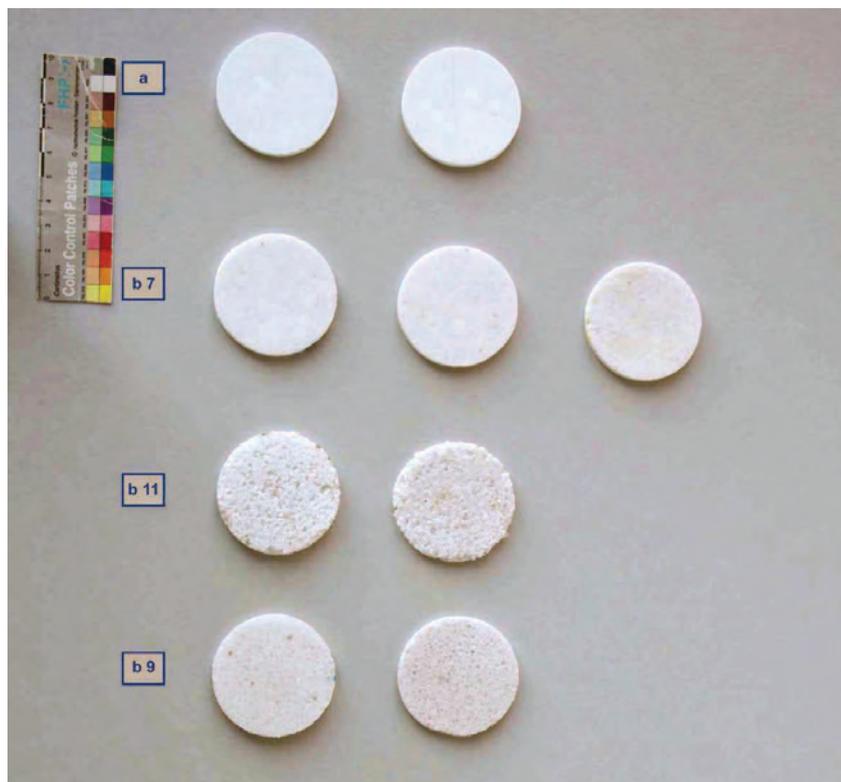
Bei den Epoxydharzmassen vergilben alle Masse mit Bindemittel Araldit AY103/ HY956 (**c20,c30,c26,c19,c26\***<sup>167</sup>) gravierend, wobei die polierten Proben von **c30** und **c20** nicht so stark vergilben wie die unpolierten Proben. Das Gegenteil ist bei der Masse **c26** zu sehen, hier sind die polierten Proben stärker von der Farbveränderung betroffen als die unpolierten. Bei der Probe **c19** ist kein Unterschied zwischen poliert und unpoliert im Vergilbungsgrad zu erkennen. Die Hxtal NYL-Masse **c19\*** kam es hingegen nicht zu Farbveränderungen und kann somit als farbstabil eingestuft werden. Eine Tendenz zum stärkeren Vergilben ist bei der Masse **c26** gegenüber der Masse **c26\*** nicht zu beobachten.

Ein unterschiedlich starkes Vergilben der Massen **c26** und **c26\*** ist nicht zu beobachten. Demnach scheint Paraffin keinen Einfluss auf die Intensität der Farbveränderung zu haben.

---

<sup>166</sup> Zur Ermittlung der Farbstabilität erfolgte vor und nach der UV-Bestrahlung Farbmessungen, die aber nicht mehr ausgewertet werden konnten. Untersuchungsaufbau siehe Anhang Nr.: 1.3.

<sup>167</sup> Die Masse **c26\*** basiert auf dem Rezept **c26** aber ohne Zugabe von Paraffin. Ein polierter Probekörper der Masse **c26\*** wurden lediglich für die Untersuchung der Farbstabilität angefertigt. Dabei sollte der Vergleich der Massen **c26** und **c26\*** aufschluss darüber geben, ob Paraffin einen Einfluss auf die Farbveränderung hat.



**Abb. 31: Probekörper der a und b Massen, von links nach rechts: ohne UV-Bestrahlung, mit UV-Bestrahlung (polierter Probekörper), mit UV-Bestrahlung (Probekörper ohne Oberflächenbearbeitung)**



**Abb. 32: Probekörper der c Massen, von links nach rechts: ohne UV-Bestrahlung, mit UV-Bestrahlung (polierter Probekörper), mit Uv Bestrahlung (Probekörper ohne Oberflächenbearbeitung)**



**Abb. 33: Probekörper der d Massen, von links nach rechts: ohne UV-Bestrahlung, mit UV-Bestrahlung (polierter Probekörper), mit Uv Bestrahlung (Probekörper ohne Oberflächenbearbeitung)**

#### **13.4. tabellarische Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse an ausgewählten Steinersatz- und Steinerfüllungsmassen für Objekte aus Alabaster**

In der folgenden, tabellarischen Übersicht der Untersuchungsergebnisse sind die jeweiligen Untersuchungen mit den gestellten Anforderungen aufgeführt. Die Untersuchungsergebnisse sind farblich hervorgehoben. Die negativen Ergebnisse sind rot und die positiven Ergebnisse sind grün gekennzeichnet. Ergebnisse, die laut Anforderungskatalog negativ aber im Zusammenspiel mit weiteren Ergebnissen dennoch neutral oder positiv ausgelegt werden können sind blau markiert.

Eigenschaften	Anforderungen	Alabaster	a	b7	b11	c19	c19*	c20	c26	c30	d47	d50
Biegezugfestigkeit	50-200%	7,11 - 8,89	2,96 - 4,22	1,44 - 1,74	0,36 - 0,51	8,00 - 8,81	8,53 - 9,88	13,76 - 14,42	7,14 - 7,55	5,20 - 5,71	-	1,11 - 2,19
stat. E-Modul	20-100%	0,23 - 0,58	0,83 - 2,06	0,04 - 0,05	0,00 - 0,01	0,15 - 0,18	0,15 - 0,19	1,01 - 1,18	0,07 - 0,10	0,08 - 0,10	-	0,02 - 0,04
Haftzugfestigkeit	50-150%	1,00 - 1,31	0,07 - 0,40	0,21 - 0,27	0,11 - 0,15	0,59 - 1,15	0,90 - 1,34	0,66 - 0,84	0,86 - 0,93	1,41 - 1,76	1,44 - 1,98	0,88 - 1,43
Wasserdampfdiffusionswiderstand	50-150%	1,31 - 9,19	0,10 - 0,11	1,29 - 1,56	0,08 - 0,10	47,81 - 1434,27	71,71 - 143,43	71,71 - 143,43	32,90 - 71,71	13,04 - 28,69	-	105,46 - 1103,28
thermische Dilatation	50-150%	1,00	-	0,3	-	-	-	-	-	-	59,9	-210,5
hygrische Dilatation	50-100%	-0,127 - 0,048	0,001	-	-	0,001 - 0,002	0,0001	0,0001 - 0,001	(-0,002) - 0,0001	(-0,001) - 0,0001	-	-
Farbstabilität	kein vergilben, kein starkes nachdunkeln, kein erblinden		ja	ja	ja	nein	ja	nein	nein	nein	ja	ja

Eigenschaften	Anforderungen	a	b7	b11	c19	c19*	c20	c26	c30	d47	d50
Transluzenz	höchst mögliche	nein	gering	vorhanden	vorhanden	hoch	hoch	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden
Farbigkeit	weiß	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Gefüge	dicht, homogen, evt. Feinkörnig	ja	ja	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Struktur	Polierfähigkeit	nein	ja	nein	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein
	Glanz	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
gute Verarbeitung des Frischmörtels	gute Handhabung, Modelierbarkeit, Standfestigkeit	ja	ja	nein	eingeschränkt	eingeschränkt	schlecht	eingeschränkt	schlecht	nein	nein
Korngrößen	auf Null auslaufend	ja	ja	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Schrumpfen	minimales Schrumpfen	nein	nein	nein	gering	gering	ja	gering	gering	nein	nein
nachträglich Bearbeitung	schmitzbar, schleifbar	ja	ja	schlecht	eingeschränkt	eingeschränkt	eingeschränkt	eingeschränkt	eingeschränkt	schlecht	schlecht

## **14. Fazit der Untersuchungen an Steinersatz- und Steinerergänzungsmassen für Objekte aus Alabaster**

Die im ersten Teil der Arbeit ermittelten Kennwerte des Natursteins wurden für den Vergleich zu den Ergänzungsmassen herangezogen. Die Kennwerte des Alabasters setzen sich aus der Spannweite der ermittelten Werte, der Alabastersorten Ala.M.Ell., Ala.S.For. zusammen. So kann ein Bereich aufgezeigt werden, der grundsätzlich für die Alabasterergänzung genutzt werden kann. Für ein bestimmtes Objekt müssten spezifische Messungen erfolgen oder das jeweils schlechteste Messergebnis der Ergänzungsmasse und des Gesteins, der vorliegenden Arbeit, zugrunde gelegt werden.

Die „ideale“<sup>167</sup> Steinerergänzungs- / Steinersatzmasse für Objekte aus Alabaster konnte unter den untersuchten, in der Praxis verwendeten, so wie unter den neu konzipierten Massen nicht gefunden werden.

Abschließend kann gesagt werden, dass eine Auswahl der untersuchten Massen situationsbedingt in Abhängigkeit zu ihren individuellen Eigenschaften und dem objektbezogenem Kontext unterschiedlich eingesetzt werden können. Im Folgenden werden die einzelnen untersuchten Massen mit ihren wichtigsten Eigenschaften aufgeführt und Vorschläge zur Anwendung unterbreitet.

### **14.3. Primalmassen b7, b11 (Primal SF016)**

Untersucht wurden zwei verschiedene Massen, von denen jeweils eine auf ein Rezept (**b11**) der Rezeptsammlung und eine auf ein eigens erstelltes Rezept (**b7**) zurückgeht. Die Herstellung erfolgte auf der Basis einer Reinacrylatdispersion, dem Primal SF016 als Bindemittel.

Der Feststoffanteil besteht aus Polymeren der Acrylsäure.<sup>168</sup> Problematisch ist, dass detaillierte Angaben über die Art des Polymers vom Hersteller nicht dargelegt werden. Die Vernetzung des Feststoffanteils erfolgt durch Verdunstung der flüssigen Phase, die aus Wasser besteht.

---

<sup>167</sup> „Ideal“ beinhaltet alle wünschenswerten Eigenschaften die unter Kapitel 10.3. Anforderungen an Steinersatz und Steinerergänzungsmassen für Objekte aus Alabaster aufgeführt wurden.

<sup>168</sup> [www.deffner-johann.de/](http://www.deffner-johann.de/) Produktangaben Primal SF 016

## **14. Fazit der Untersuchungen an Steinersatz- und Steinerergänzungsmassen für Objekte aus Alabaster**

Die im ersten Teil der Arbeit ermittelten Kennwerte des Natursteins wurden für den Vergleich zu den Ergänzungsmassen herangezogen. Die Kennwerte des Alabasters setzen sich aus der Spannweite der ermittelten Werte, der Alabastersorten Ala.M.Ell., Ala.S.For. zusammen. So kann ein Bereich aufgezeigt werden, der grundsätzlich für die Alabasterergänzung genutzt werden kann. Für ein bestimmtes Objekt müssten spezifische Messungen erfolgen oder das jeweils schlechteste Messergebnis der Ergänzungsmasse und des Gesteins, der vorliegenden Arbeit, zugrunde gelegt werden.

Die „ideale“<sup>167</sup> Steinerergänzungs- / Steinersatzmasse für Objekte aus Alabaster konnte unter den untersuchten, in der Praxis verwendeten, so wie unter den neu konzipierten Massen nicht gefunden werden.

Abschließend kann gesagt werden, dass eine Auswahl der untersuchten Massen situationsbedingt in Abhängigkeit zu ihren individuellen Eigenschaften und dem objektbezogenem Kontext unterschiedlich eingesetzt werden können. Im Folgenden werden die einzelnen untersuchten Massen mit ihren wichtigsten Eigenschaften aufgeführt und Vorschläge zur Anwendung unterbreitet.

### **14.3. Primalmassen b7, b11 (Primal SF016)**

Untersucht wurden zwei verschiedene Massen, von denen jeweils eine auf ein Rezept (**b11**) der Rezeptsammlung und eine auf ein eigens erstelltes Rezept (**b7**) zurückgeht. Die Herstellung erfolgte auf der Basis einer Reinacrylatdispersion, dem Primal SF016 als Bindemittel.

Der Feststoffanteil besteht aus Polymeren der Acrylsäure.<sup>168</sup> Problematisch ist, dass detaillierte Angaben über die Art des Polymers vom Hersteller nicht dargelegt werden. Die Vernetzung des Feststoffanteils erfolgt durch Verdunstung der flüssigen Phase, die aus Wasser besteht.

---

<sup>167</sup> „Ideal“ beinhaltet alle wünschenswerten Eigenschaften die unter Kapitel 10.3. Anforderungen an Steinersatz und Steinerergänzungsmassen für Objekte aus Alabaster aufgeführt wurden.

<sup>168</sup> [www.deffner-johann.de/Produktangaben/Primal\\_SF\\_016](http://www.deffner-johann.de/Produktangaben/Primal_SF_016)

Die untersuchten Primalmassen zeigen eine sehr gute Farbstabilität.

Je höher die Packungsdichte des Zuschlages, desto besser ist die Massen in der Handhabung. Andererseits leidet darunter in hohem Maße die Transluzenz. Ferner gilt, je größer das Größtkorn und je enger der Zuschlag gepackt ist, umso nachteiliger ist es für die optische Gefügearbeit an den Naturstein. Das Gefüge wird maßgeblich durch den Zuschlag bestimmt.

Die untersuchten Primalmassen stellen sich in den optischen Eigenschaften sowie in der Handhabung sehr gegensätzlich dar. Ein Konsens zwischen beiden Massen zeigt optisch ein unbefriedigendes Ergebnis.<sup>169</sup>

Beide Primalmassen zeigen im Vergleich zu den anderen untersuchten Massen die niedrigsten Wasserdampfdiffusionswiderstandswerte, thermische Dilatationswerte und Haftzugfestigkeiten. Die E-Module sowie die Biegezugfestigkeiten sind gleichzusetzen mit den niedrigen Werten der Paraloidmassen. Die Primalmassen sind im Vergleich zu den Kennwerten des Natursteins viel zu weich und elastisch. Dies schadet dem Naturstein aber nicht, sondern hat eher eine negative Auswirkung auf die Dauerhaftigkeit der Ergänzung. Positiv ist die sehr gute, teilweise bessere Wasserdampfdiffusion gegenüber den Kennwerten des Natursteins.

Das Herabsetzen des Bindemittelgehaltes stellt kein Problem dar, da die flüssige Phase der Dispersion aus Wasser besteht. Allerdings ist die Anwendung durch die maximale Anstrichdicke von einem cm stark eingeschränkt.

Ein Entfernen der Ergänzung ist durch die Weichheit der Masse auf mechanischen Wege, ohne dem Alabaster zu schaden, denkbar.

Ein mehrschichtiger Aufbau scheint aufgrund der vorher genannten Eigenschaften keine gute Lösungsmöglichkeit für stärkere Aufbauten zu sein, da bereits bei wenig Auflast eine Deformation<sup>170</sup> des Mörtels erfolgt. Denkbar wäre ein Schichtenaufbau im tiefer liegenden Bereich mit einer besser an das Gestein angepassten Masse und einer aufliegenden Primalschicht, um die positiven optischen Eigenschaften zu nutzen und die Auswirkungen (Deformation) der schlecht ausgebildeten mechanischen Eigenschaften zu minimieren. Ferner könnten dünnere, auch großflächigere Ergänzungen erfolgen, da die Primalmassen keine Sperrschicht gegenüber dem Naturstein ausbilden.

---

<sup>169</sup> s. Anhang Nr. 3 Vorproben (Masse 9 )

<sup>170</sup> s. Kapitel: 13.5.2 (b7)

### Masse b7

Demnach wäre b7 eher für opakere Alabastersorten geeignet.<sup>171</sup>

### Masse b11

Bei **b11** ist die Verarbeitung schwieriger. Um einen vorhandenen großen Porenraum zu minimieren bzw. zu schließen, sollte die Masse beim Einbringen gestampft und nachträglich überschleift werden. Dünnes Überspachteln der Masse mit einer feineren Mischung scheint in den meisten Fällen nötig, ohne dass hierbei die Transluzenz gänzlich leiden muss.<sup>172</sup>

## **14.4. Epoxydharzmassen c19, c19\*, c20, c26, c30 (Araldit AY 103/ HY956; Hxtal NYL-1™)**

Untersucht wurden fünf Massen, von denen drei auf Rezepte der Rezeptsammlung und zwei auf eigens erstellte Rezepte zurückgehen. Die Herstellung erfolgte mit zwei unterschiedlichen Zweikomponenten - Epoxydharzen. Insgesamt wurden vier Massen mit Araldit AY 103/HY956 (**c19, c20, c26, c30**) und eine Masse mit Hyxtal NYL-1 (**c19\***) hergestellt.

Bei den verwendeten Epoxydharzen müssen jeweils beide Komponenten (Harz und Härter) miteinander in einem bestimmten Verhältnis gemischt werden. Dabei bildet der Härter zwischen den Molekülen der Epoxygruppe stabile Verbindungen. Es erfolgt ein Aushärten der Masse.

Die meisten Epoxydharze haben unter UV-Bestrahlung die Tendenz, ihre innere Struktur zu verändern.<sup>173</sup> Dies zeigt sich in Vergilben oder Entfärben. Nach DOWN (1986)<sup>174</sup> und WANNER (2009)<sup>175</sup> bildet das Hxtal NYL-1 eine Ausnahme. Auch Araldit AY wurde aufgrund der erwarteten, guten UV-Beständigkeit sowie der schnelleren Erhärtungszeit, gegenüber Hytal NYL-1 für die Ergänzungsmassen ausgewählt.<sup>176</sup> Aufgrund der genannten Eigenschaften fällt in der Restaurierung des Öfteren die Wahl auf die Araldit AY- Serie für Ergänzungsmassen bei

---

<sup>171</sup> s. Kapitel: 13.4

<sup>172</sup> s. Kapitel: 11

<sup>173</sup> GRISWOLD/ URICHECK (1998) Kapitel 7

<sup>174</sup> siehe DOWN 1986 aus GRISWOLD (1998) Kapitel 7

<sup>175</sup> WANNER (2009) S. 379

<sup>176</sup> s. Kapitel: 12.3.

helleren Gesteinen. Zudem erscheint das Preis-Leistungsverhältnis bei Araldit AY 103 im Vergleich zu Hxtal NYL-1 um einiges besser zu sein.

Den Erwartungen nach, zeigt die UVA-Bestrahlung von Hxtal NYL-1 keine Vergilbung und keine Trübung und ist demnach farbbeständig.<sup>177</sup>

Bei dem Araldit AY 103/ HY 956 brachten die Untersuchungen Ernüchterung. Die Vergilbungsfreiheit kann bei den eigens erstellten Untersuchungen nicht bestätigt werden. Alle untersuchten Mörtelmischungen mit Araldit AY 103/ HY 956 sind bei der UV-Bestrahlung stark vergilbt. Diese Aussage gilt lediglich für die hier angewendete Epoxydharzmischung von Araldit AY 103 als Harz und HY 956 als Härter. Demnach besteht die Möglichkeit, dass das Harz AY 103 in Verbindung mit einem anderen Härter und auch andere Epoxydharze der Serie Araldit AY einen farbstabilen Film erzeugen.<sup>178</sup>

Somit kann für Epoxydharzmassen eine Empfehlung für Hxtal NYL-1 als Bindemittel erfolgen.

Die Epoxydharzmörtel können sehr transluzent und vom Gefüge her dicht ausgebildet sein. Sie sind aber in dieser Eigenschaft veränderbar. So können die Erhöhung des Bindemittels, transluzenter Zuschläge sowie ein größeres Korn die Transluzenz verstärken. Durch diese Veränderungen wird zudem das Gefüge stark beeinflusst.<sup>179</sup> Reflexionen kleinerer Kristalle können durch die Wahl des Zuschlages imitiert werden.

Die Spannweiten innerhalb der Epoxydharzmassen sind bei den erfolgten Messungen überwiegend groß. Demnach ist grundsätzlich eine individuelle Einstellbarkeit der Massen für unterschiedliche Ansprüche möglich.

Die Festigkeiten der Massen liegen teilweise im Bereich der gestellten Anforderungen<sup>180</sup>, wohingegen die Haftung, wie bei den Paraloidmassen, sehr hoch ist. Die für den Naturstein zu stark ausgeprägten Haftzugfestigkeiten könnten durch eine Sperrschicht verringert werden. Diese würde auch die mögliche Emigration<sup>181</sup> des Bindemittels in den Stein verhindern. Hierzu

---

<sup>177</sup> Die Auswertung beruht auf rein sichtbarer Sinneswahrnehmung. Eine Auswertung der Farbmessungen vor und nach der UV-Bestrahlung erfolgten nicht.

<sup>178</sup> Nach Down (1986, 1984) ist Araldit AY 103 mit dem Härter HY 956 im Vergleich zu dem Härter 951 die farbstabilere Variante. (Nachtrag zur Diplomarbeit Juni 2010)

<sup>179</sup> s Kapitel: 13.4 vergleiche hierzu c30 und c20

<sup>180</sup> wobei die „realen“ Haftzugfestigkeiten nicht ermittelt werden konnten (siehe Haftzugmessungen), für die zu erwartenden Haftzugwerte, diese Aussage aber zutrifft.

<sup>181</sup> Untersuchungen dazu sollten noch erfolgen.

kann man bereits gute Ergebnisse mit einer 10%igen Paraloid B72-Lösung in Aceton bzw. Aceton- Spiritusgemisch (50:50) erzielen.<sup>182</sup>

Mit Ausnahme von **c20** liegen alle E-Module unter den Werten des Natursteins und unter den gestellten Anforderungen. Sie sind aber dennoch vertretbar. Weiterhin kann durch die Zugabe von mehr Bindemittel eine Erhöhung des E-Moduls erreicht werden.<sup>183</sup> Die damit verbundene Erhöhung der Festigkeiten, der Transluzenz, des Glanzes, etc. muss jedoch berücksichtigt werden.<sup>184</sup>

Teilweise sind die Wasserdampfdiffusionswiderstände sehr hoch, wobei die Massen mit Hxtal NYL-1 (**c19\***) als Bindemittel und Massen mit Alabasterbruch (**c26**, **c30**) die Werte wesentlich verbessern. Allerdings liegen auch diese Massen unter den gestellten Anforderungen.

Die hygri-schen Dilatationen der Epoxydmassen liegen im Bereich der Werte des Natursteins und sind sehr gering. Die thermischen Dilatationen der Massen wurden nicht gemessen<sup>185</sup>.

Die starke Haftung sowie die mangelnde Standfestigkeit des Harzes erschwert die Handhabung. Als positiv ist das mögliche Gießen des Mörtels, welches stark vom Bindemittelanteil abhängig ist, zu nennen.<sup>186</sup> Die nachträgliche Bearbeitung der Massen ist gewährleistet.

Das Wiederanlösen von Epoxydharzmassen ist, durch ihre Resistenz gegenüber organischen Lösungsmittel stark erschwert.

Unter der Berücksichtigung des verminderten Feuchteintrags im Innenraum und der guten Wasserdampfdurchlässigkeit des Gesteins sowie bei ein- und zweiflächigen bzw. kleinteiligen, partiellen Ergänzungen, ist das Schadenspotential als sehr gering einzuschätzen. Auch die Herstellung von Güssen ist je nach Bindemittelanteil möglich.

### Masse **c26**

Nach den erfolgten Untersuchungen weist der Mörtel **c26**, abgesehen von der Farbechtheit, im Vergleich zu allen anderen untersuchten Massen und zu den Natursteinkennwerten, die positivsten Eigenschaften auf. Im Vergleich unter den Epoxydharzmassen ist der niedrige Wasserdampfdiffusionswiderstand besonders hervorzuheben.

---

<sup>182</sup> s. PADONY et al in GRISWOLD (1998)

<sup>183</sup> vgl. Kapitel: 12 und Kapitel: 13.5.1 (E-Modulmessung) (c20-c30)

<sup>184</sup> vergleiche Masse c20 und die anderen Epoxydharzmassen.

<sup>185</sup> S. Dilatation

<sup>186</sup> s. Kapitel: Zusammenfassung der Untersuchungen, die auf Grundlage der Sinneswahrnehmungen erfolgen

Unter der Annahme, dass Hxtal NYL-1 als Bindemittel für den Zuschlag der Masse **c26** vorliegt, würden die Kennwerte, mit Ausnahme des Wasserdampfdiffusionswiderstandes, hypothetisch<sup>187</sup> noch im Toleranzbereich liegen. Ferner wurde der Wasserdampfdiffusionswiderstand der Masse noch weiter herabgesetzt und Farbstabilität konnte erreicht werden. Auch hier müsste die Haftzugfestigkeit wiederholt werden, wobei diese noch im Toleranzbereich liegen können. Ferner müsste die thermische Dilatation gemessen werden.

Unter der Berücksichtigung des verminderten Feuchteintrags im Innenraum und der guten Wasserdampfdurchlässigkeit des Gesteins kann die Masse für nicht allzu großflächige Ergänzungen, bei ein- und zweiflächigen bzw. kleinteiligen, partiellen Ergänzungen unproblematisch angewendet werden.

#### Masse c30

Die Masse c30 zeigt ähnlich gute Kennwerte und bessere Wasserdampfdiffusionswerte als **c26**, aber dafür weist sie einen deutlich schlechteren Haftzug auf. Würde durch eine nicht abdichtende Sperrschicht die Haftung herabgesetzt, würde die Masse **c30** der Masse **c20** nur geringfügig nachstehen.

#### Masse c19, c19\*

Bis auf die Farbstabilität und die Wasserdampfdiffusion zeigt die Masse **c19** bessere Eigenschaften als die Masse **c19\***.

Sollte Araldit AY 103 mit einem anderen Härter Farbstabilität erreichen<sup>188</sup>, dann wäre die Masse **c19** trotz schlechter Wasserdampfdiffusion und hoher Haftzugfestigkeiten für Abgüsse verwendbar. Diese sollten sich aber nicht großflächig über den Naturstein erstrecken, da sonst ein Feuchtestau zwischen dem Gestein und der Masse entstehen kann. Partielle Ergänzungen sowie kleine, ein- bis zweiflächigen Ergänzungen wären unproblematisch.

Die Masse **c19\*** findet durch ihre Farbstabilität und den geringeren Wasserdampfdiffusionswiderstand Beachtung, ist aber in den weiteren Kennwerten negativer. Eine Anwendung sollte, wenn dann, für die gleiche Art von Ergänzungen wie bei **c19** verwendet werden.

#### Masse c20

---

<sup>187</sup> Die Veränderungen wurden aus dem Vergleich der Masse c19 zu c19\* abgeleitet.

<sup>188</sup> Nach Down (1986, 1984) ist Araldit AY 103 mit dem Härter HY 956 im Vergleich zu dem Härter 951 die Farbstabilere Variante. (Nachtrag zur Diplomarbeit Juni 2010)

Die Masse **c20** zeigt die beste Transluzenz unter den getesteten Epoxydharzmassen und zeigt ein homogenes Gefüge.

Die Masse weist einen sehr hohen Wasserdampfdiffusionswiderstand auf. Im Vergleich zu dem Naturstein ist c 20 zu spröde, zeigt aber gute Biegezugfestigkeiten.

Aufgrund der erwähnten Eigenschaften und der flüssigen Konsistenz ist die Masse **c20** für Abgüsse auskragender Elemente, die nicht großflächig auf dem Naturstein aufliegen, geeignet.

#### **14.5. Paraloidmassen d47, d50 (Paraloid B72)**

Untersucht wurden zwei Massen (**d47, d50**), wobei die Masse **d47** auf ein Rezept der Rezeptsammlung und die Masse **d50** auf ein eigens erstelltes Rezept zurück. Das verwendete Bindemittel Paraloid-B72 besteht aus einem Polymerfeststoff, basierend auf Acrylsäure.

Der Feststoff wurde mit einem Weichmacher (Dibutylphthalat) versetzt und unter Zugabe von dem Zuschlag zur Schmelze gebracht. Durch Erkaltenlassen der Schmelze wurde die Verfestigung erzielt.

Ergänzungen können einerseits als Schmelze appliziert werden, wobei das Objekt ebenfalls erwärmt sein sollte, um Spannungsrisse zu vermeiden. Andererseits ist ein Applizieren der erkalteten Masse mittels Heizspachtel möglich.

Die untersuchten Massen stellten sich als farbstabil dar.

Ferner zeigen sie, wie die Epoxydharzmassen, gute Transluzenzen. Die Intensität der Farbe nimmt durch Erhöhung des Zuschlags zu, dagegen nimmt die Transluzenz ab. Das Gefüge wird durch das Bindemittel geprägt, da nur ein geringer Zuschlaganteil der Masse zugesetzt werden kann<sup>189</sup>. Die Massen weisen ein sehr homogenes Gefüge und eine glatte, glänzende Oberfläche auf.

Bezug nehmend auf die Messergebnisse können folgende Aussagen über die Paraloidmassen getroffen werden.<sup>190</sup> Die Paraloidmassen zeigen, wie die Primarmassen, gegenüber dem

---

<sup>189</sup> s. Kapitel: 12.4; Anhang: Nr.3

<sup>190</sup> Aufgrund der aufwendigen und schwierigen Herstellung der Probekörper für die Untersuchungen, wurden von der Masse d47 lediglich Probekörper für den Haftzug sowie für die thermische Dehnung erstellt. Diese und alle weiteren Untersuchungen erfolgten mit der Masse d50. Die so gewonnen

Naturstein zu geringe Biegezugfestigkeiten und E-Module. Dies wirkt sich in Deformationen<sup>191</sup> durch bereits geringe Auflast aus. Indes falle die Haftzugfestigkeit hoch und der Wasserdampfdiffusionswiderstand wesentlich zu hoch aus.

Die Haftung könnte durch einen verdünnten Haftgrund herabgesetzt und die Elastizität durch verminderte Zugabe von Weichmacher, was aber die Verarbeitung wesentlich beeinträchtigen würde, erhöht werden.

Die Herstellung sowie Verwendung der Masse stellte sich als schwierig und aufwendig heraus. Da die Zugabe des Weichmachers (Dibuthylphthalat) durch den Anwender erfolgt, sind die Paraloidmassen gegenüber den Epoxydharzen wesentlich gesundheitsschädlicher einzustufen. Ein Vorteil gegenüber den Epoxydharzmassen ist die Löslichkeit in vielen organischen Lösemitteln und ist daher grundsätzlich als reversibel anzusehen.

Die nachträgliche Bearbeitung der Acrylharzschmelzmassen ist eingeschränkt möglich.

#### Massen d47, d50

Die Massen **d47** ist in der Herstellung und der Handhabung aufwendiger als **d50**.

Zudem ist die Masse **d50** transluzenter als die Masse d47.

Die untersuchten Paraloidmassen weisen sehr ähnliche Eigenschaften auf und sind allenfalls für konstantes, trockenes Klima und außerhalb jeglicher Belastung als Ergänzungsmasse zu verwenden.

#### **14.6. Alabastergips a (Marble Cement)**

Es wurde eine Masse aus Alabastergips untersucht, da bekannt ist, dass Ergänzungen an Alabaster durch Gips und anschließender Fassung, um diese optisch an den Naturstein anzupassen, erfolgen.

Der Alabastergips wurde mit Wasser angesetzt und verarbeitet. Dabei erfolgt die Aushärtung als exotherme Reaktion unter Wasseraufnahme.

---

Erkenntnisse werden auch auf die Masse d47 übertragen, da sich beide Massen in ihrer Zusammensetzung nur wenig unterscheiden.

<sup>191</sup> siehe Kapitel: 13.5.3 (Masse d50)

Optisch ist der Gips dem Naturstein weder in der Transluzenz noch im Gefüge anzupassen.

Die Festigkeiten sind gegenüber dem Naturstein zu niedrig. Auch im Vergleich zu den anderen Massen liegen diese immer im unteren Festigkeitsbereich. In Verbindung mit der vorhandenen Sprödigkeit kann es schnell zu Rissen und Abplatzungen innerhalb der Masse kommen. Dies stellt gegenüber dem Naturstein jedoch kein Gefahrenpotential dar, solange die Masse keine statischen Zwecke erfüllen muss. Die Wasserdampfdurchlässigkeit sowie die hygri-sche Dehnung sind als positiv gegenüber dem Gestein zu werten.

#### Masse a

Die Idee des mehrschichtigen Aufbaus, wie bei den Primalmassen beschrieben, ist mit dem Alabastergips durchaus umsetzbar. Auch eine wie oben beschriebene Ergänzung mit aufliegender Fassung, ist zwar sehr aufwendig, kann aber für weniger transluzente Alabastersorten eine Möglichkeit darstellen.

### **15. Ausblick**

Die Migration einzelner Bestandteile der Epoxydharze und der Acryldispersion in das Gestein während des Trocknens kann zu dunklen Linien und Ecken führen. Dies müsste in weiteren Versuchen an dem Naturstein beobachtet werden.

Die Massen wurden umfangreich untersucht, dennoch gab es einige Messungen, die noch durchgeführt oder wiederholt werden sollten. Die Haftzugfestigkeiten für die am Objekt in Frage kommenden, untersuchten Massen, unter Ausnahme von den Primalmassen sollten erneut durchgeführt werden. Ferner sind die Messungen der thermischen Dilatation infolge der geringen Probenmenge nicht aussagekräftig. Um eine eindeutige Aussage zu erzielen, sollte mit mindestens drei Probekörpern je Alabastersorte und Masse die Prüfung wiederholt werden.

## **16. Literaturverzeichnis**

ALBRECHT (2003)

Germann Albrecht: Natursteinlexikon

5. völlig überarbeitete und aktualisierte Neuauflage, München 2003

ARENT (1998)

Petra Arent: Ein Römhilder Kästchen aus dem St. Annen-Museum Lübeck - Technologische Untersuchung und die Erstellung eines Restaurierungskonzeptes unter der bes.

Berücksichtigung des Werkstoffes Alabaster.

Diplomarbeit, Hildesheim Holzminden, 1998

ARNOLD/ HUNOLD (1992)

Bäbel Arnold, Ellen Hunold: Der Renaissance-Altar der Schlosskirche Torgau,

Naturwissenschaftliche Voruntersuchung der Alabasterteile des Altars.

Restauro 1992

BREUER (2002)

H. Breuer: dtv-Atlas Chemie - Band 1 anorganische Chemie.

8., durchgesehene und aktualisierte Auflage, Deutscher Taschenbuchverlag, München, Februar 2002

DOWN (1986)

J. Down: The yellowing of epoxy resin adhesives: Report on high-intensity light aging.

Studies in Conservation 31, S. 159 - 170.

DOWN (1984)

J. Down: The yellowing of epoxy resin adhesives: Report on natural dark aging.

Studies in Conservation 29, S. 63 - 76.

DUDA et. Al (1992)

Duda, Reyl, Slivka: Mineralien – Handbuch und Führer für den Sammler.

2. Auflage, Naturbuch Verlag im Weltbild Verlag GmbH Augsburg 1992

DUBY/ DAVAL (2002)

Georges Duby, *Jean-Luc Daval (Hrsg.):*

Skulptur - Von der Antike bis zur Gegenwart – 8. Jahrhundert v. Chr. bis 20. Jahrhundert.

Taschen Verlag Köln 2002

FITZNER et al. (1995)

B. Fitzner, K. Heinrichs, R. Kownatzki; *Snethlage (Hrsg.):* Verwitterungsformen –  
Klassifizierung und Kartierung.

In: Denkmalpflege und Naturwissenschaft natursteinkonservierung I.

Verlag Ernst und Sohn GmbH, Berlin 1995

FREY (1991)

R. Frey: Aktuelle Schadensfälle bei Kunstwerken aus Alabaster, in: Bautenschutz und  
Bausanierung, Zeitschrift für Bauinstandsetzung und Denkmalpflege, Bd. 14, S. 91-92

GÄNSICKE/ HIRX (1997)

Susanne Gänsicke, John W. Hirx: A translucent wax-resin fill material for the compensation of  
losses in objects.

Journal of the American Institut for Conservation; Bd. 36/1; Seite 17-29; 1997

GRABARCZYK (1988)

E. Grabarczyk: Restauration of the Tomb of the Czarnowski Family in Czarnkòw - The  
Municipal Enterprise for Renovation of Wroclaw.

Proceeding Actes Vith International Congress on Deterioration and Conservation of Stone 1988  
in Torun, 1988, S. 695-701

GRASSEGGER (2002)

Gabriele Grassegger: Naturwissenschaftliche und technische Untersuchungen zu den Ursachen  
der Zerstörung und zur Entwicklung eines Restaurierungsverfahrens.

Denkmalpflege in B.-W., Nachrichtenblatt des Landesdenkmalamtes, 4/2002, S. 227 – 231

GRASSEGGER (2008)

Gabriele Grassegger: Eine Alabasterrestaurierung – mehrstufige Restaurierung auf der Basis von Methacrylaten am Hatzfeld – Sarkophag als Zweitrestaurierung, Naturwissenschaftliche und technische Aspekte.

Erhaltung seltener Denkmalgesteine, Hrsg.: Arbeitshefte des brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologischen Landesmuseums Nr. 21, S.51 – 56, Berlin: Lucas Verlag 2008

GRISWOLD/ URICHECK (1998)

John Griswold, Sari Uricheck: Loss compensation methods for stone.

american institut for conservation of historic and artistic works, Journal of the American Institute for Conservation 1998

HAABENGIER (2007)

Claudia Haaßengier: Vorkommen und Eigenschaften der Sulfate des Thüringer Beckens sowie ihre Beständigkeit als Werkstein.

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor – Ingenieur an der Fakultät Bauingenieurwesen der Bauhaus-Universität Weimar 2006

*Institut für Steinkonservierung e.V. (Hrsg.) 2007*

JACHNICKA (2000)

Ewa Jachnicka: Rzeźba alabastrowa w Gdańsku i problemy jej konserwacji na przykładzie płyty z przełomu XVI I XVII wieku przedstawiającej alegorie "CARITAS", unpubliziert,

Własność-Muzeum Narodowe w Gdansk 1998-2000

KEMP (2009)

Jonathan Kemp: Fills for the Repair of Marble.

Journal of Architectural Conservation 7/2009

KNÖFEL/ SCHUBERT (1990)

D. Knöfel, P. Schubert: Handbuch Mörtel und Steinerfüllstoffe in der Denkmalpflege.

Ernst und Sohn, Berlin 1990

KNÖFEL/ Schubert (1990)

D. Knöfel, P. Schubert: Zur Beurteilung von Mörtel für die Instandsetzung von Mauerwerk.  
Jahresberichte Steinzerfall – Steinkonservierung, Berlin 1990

KOZUB (2005)

Peter Kozub: Einsatz von wasseremulgierbaren Epoxydharzen für die Restaurierung des  
Rosengranits von Assuan am Beispiel der Säulenkollonaden von Tell Basta (Ägypten).  
Dissertation (HU Berlin) 2005

KOZUB (2008)

Peter Kozub: To the Determination of the Young's Modulus from the  
Biaxial Flexural Strength.

Lukaszewicz J.W., Niemcewicz P. (Hrsg.), 11th International Congress on Deterioration and  
Conservation of Stone

Nicolaus Copernicus University Press, Torun, Poland, S. 407-414, 9/2008

KUCHLER (1998)

J. Kuchler, *Boüe* (Hrsg.): Steinerergänzungen – Mörtel für die Steinrestaurierung.  
Fraunhofer IRB Verlag 1998, S. 49-55

KUHLBRODT (1985)

Peter Kuhlbrodt: Zur Geschichte der Gipsindustrie des Südharnes.

Beiträge zur Heimatkunde aus Stadt und Kreis Nordhausen Meyenburg-Museum Nordhausen,  
Heft 10/85, 1985

LEHMANN (2008)

Eik Lehmann: Facharbeit

Erfurt 2008

MATERNA (1977)

Helmut Materna: Steinkonservierung, Abhandlung des staatlichen Museums für Geologie und  
Mineralogie, Nr. 27, Dresden 1977

MIELSCH (1985)

H. Mielsch: Buntmarmor aus Rom im Antikenmuseum Berlin.

Staatliche Museen Preußischer Kulturbesitz, Berlin 1985

MATTEINI et.al. (1990)

M. Matteini, A. Moles: Naturwissenschaftliche Untersuchungsmethoden in der Denkmalpflege.

Callwey Verlag. München

MATTHES (2001)

Siegfried Matthes: Mineralogie – Eine Einführung in die spezielle Mineralogie, Petrologie und

Lagerstättenkunde. 6. Auflage, Springer Verlag, Berlin 2001

MIKOS (1998)

E. Mikos: Steinerfüllungsmittel zur Restaurierung von Natursteinen.

Jahresberichte Steinzerfall – Steinkonservierung, Berlin 1998, S.79-83

MOYE (1906)

Dr. Albert Moye: Der Gips, von Edmund Heusinger von Waldegg.,

zweite, gänzlich umgearbeitete Auflage, Verlag von Theod. Thomas, Leipzig 1906

MÜLLER (2001)

Friedrich Müller: Gesteinskunde – Lehrbuch und Nachschlagewerk über Gesteine für Hochbau,

Innenarchitektur, Kunst und Restaurierung. 6. Auflage- komplett überarbeitet. Ebner Verlag,

Ulm 2001

NEUMANN (2005)

Carsten Neumann: Die Kunst am Hofe Herzog Ulrichs zu Mecklenburg.

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades doctor philosophiae der philosophischen

Fakultät der Ernst – Moritz – Arndt – Universität Greifswald 2005

NIEMCEWICZ (2004)

Piotr Niemcewicz: Research on materials for filling up losses in alabaster.

*Kwiatkowski, Daniel; Löfvendahl, Runo (Hrsg.):* Proceedings of the 10th international congress

on deterioration and conservation of stone. Stockholm June 27 – July 2, 2004, organised by

ICOMOS Sweden, S. 339 - 346

OKRUSCH et. Al (2005)

Martin Okrusch, Siegfried Matthes: Mineralogie - Eine Einführung in die spezielle Mineralogie, Petrologie und Lagerstättenkunde, 7., vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage, Springer Verlag, Berlin 2005

PAMIATKOWA (2002)

Ksiegą Pamiatkowa: Ofiarowana profesorowi Wieslawowi Domaslowskiemu.  
Torun 2002

PENNY (1995)

Nicholas Penny: Geschichte der Skulptur.  
Leipzig 1995

ROHR (1739)

J. B. von Rohr: Geographische und historische Merkwürdigkeiten des Oberharzes etc..  
Frankfurt/ Leipzig 1739

RÖSLER (1991)

H.J. Rösler: Lehrbuch der Mineralogie. 5.unveränderte Auflage.  
Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1991

SASSE (1998)

Sasse, *Boùe (Hrsg.)*: Steinerergänzungen – Mörtel für die Steinrestaurierung.  
Fraunhofer IRB Verlag 1998, S. 23-29

SCHULZE/ KATZSCHMANN/ VOIGT/ BÖRNER/ HUCKRIEDE/ HEUSE/  
ROHRMÜLLER/ SACHSE/ RADKE (2006)

Schulze/ Katzschmann/ Voigt/ Börner/ Huckenriede/ Heuse/ Rohrmüller/ Sachse/ Radke:  
Die Geologie der Baugesteine Thüringens – Der Steinfußboden am MPI für Biogeochemie  
Jena; Weßdorn-Verlag Jena 2006

SKUDELNY (o.J.)

D. Skudelny: Füllstoff für Reaktionsharzbeton.  
In: W.Reidt et al. Methacrylat- Reaktionsharze, S. 28 –32  
Sindelfingen, ohne Jahr

SNETHLAGE (1997)

Rolf Snethlage: Leitfaden Steinkonservierung, Planung von Untersuchungen und Maßnahmen zur Erhaltung von Denkmälern aus Naturstein.

Fraunhofer IRB Verlag 1997

SNETHLAGE (2008)

Rolf Snethlage: Leitfaden Steinkonservierung, Planung von Untersuchungen und Maßnahmen zur Erhaltung von Denkmälern aus Naturstein.

Fraunhofer IRB Verlag 2008

STREICHER (1990)

B. Streicher: Zuschlag und sein Einfluss auf Putzergänzungsmassen und Hinterspritzmörtel.

Nicht publizierte Facharbeit, FH-Köln 1990

STRUNZ/ RAMDOHR (1978)

Hugo Strunz, Paul Ramdohr

Lehrbuch der Mineralogie, 16. Auflage, Ferdinand Enke Verlag 1978

TAJCHMANN (1982)

Jan Mieczyslaw Tajchman: Badania nad Technologia Zapraw do uzupełniania białych marmorów. Torun 1982

TOMASZEWSKA-SZEWczyk (2002)

Alina Tomaszewska-Szewczyk: Alabaster jako tworzywo rzeźbiarskie, przykłady występujących zniszczeń oraz propozycja metod konserwacji.

Księga Pamiątkowa - Ofiarowana profesorowi Wiesławowi Domasłowskiemu

Torun 2002

WANNER (2009)

Anita Wanner: Glasklebstoffe- und Ergänzungsmassen für die Hinterglasmalerei – Test zur Alterungsbeständigkeit, Biegebruchfestigkeit und Schadstoffemission.

Restauro 6/2009, S.382 – 390

WEBER (1995)

M. Weber, *Friedrich Müller (Hrsg.): Der Marmor - Natur- und Kunststeine und ihre Verwendung zu bau- und kunstgewerblichen Zwecken.* (aktualisiert und mit Anmerkungen versehen von F. Müller)

Nachdruck der in Leipzig 1909 im Verlag B.F. Voigt erschienenen 5. Auflage, AEGIS-Verlag Ulm 1995

WÖLBERT (2002)

O. Wölbert: Die Leidens- und Restaurierungsgeschichte des Grabmals.

Denkmalpflege in B.-W., Nachrichtenblatt des Landesdenkmalamtes, 4/2002, S. 221 – 226

**17. Abbildungsverzeichnis**

- Abb. 1: Verkündigungengel aus Javernant, Mitte des 14. Jh. Cleveland, Cleveland Museum of Art, die Figur ist durch aufgemaltes bzw. vergoldetes Dekor aus Linien und Punkten, Blüten und Arabesken bereichert. Quelle: DUBY, DAVAL (2002) 17
- Abb. 2: Ausschnitt vom Epitaph für Philipp Quitzow in der Kirche von Kletzke, Gemeinde Plattenburg in Brandenburg, um 1617: heller und dunkler Marmor mit Skulpturen und Ornamenten aus Alabaster. Foto: Silvia Gering (06. 2009) 18
- Abb. 3: Makrofoto Ala.K.For., Foto: Silvia Gering 25
- Abb. 4: Makrofoto Ala.K.2., Foto: Silvia Gering 25
- Abb. 5: Makrofoto Ala.S.Pue., Foto: Silvia Gering 25
- Abb. 6: Makrofoto Ala.M.Ell., Foto: Silvia Gering 26
- Abb. 7: Makrofoto RÜ1; Quelle: HAAßENGIER (2007) 26
- Abb. 8: Makrofoto WaB2; Quelle: HAAßENGIER (2007) 26
- Abb. 9: Ala\_K\_For\_001 mittig fast idiomorpher Kristall von Anhydrit umgeben, Foto: Silvia Gering 28
- Abb. 10: Ala\_K\_For\_003 großer säuliger Anhydritkristall. bereits an mehreren Stellen in Gips umgewandelt, Foto: Silvia Gering 29
- Abb.11: Ala\_K\_2\_001, Ala\_K\_2\_002, Ala\_K\_2\_003 Verlauf des Dünnschliffes in drei Bildern, eindeutig abgrenzende Bereiche von Gips (niedrige Interferenzfarben) über Gips mit Anhydrit (Gips= niedrige Interferenzfarben, Anhydrit= höhere Interferenzfarben) zu Anhydrit mit Gips, Foto: Silvia Gering 29
- Abb.12: Ala\_M\_Ell\_002, Ala\_M\_Ell\_003 ein Anhydritkristall mit teilweiser erfolgter Umwandlung zu Gips, oberes Bild (ohne Analysator) eindeutige Kristallgrenzen, unteres Bild (mit Analysator) der Kristall zeigt unterschiedliche Interferenzfarben, Foto: Silvia Gering 30
- Abb.13: Ala\_S\_Pue\_001 Gipskristalle leicht horizontal eingeregelt, Foto: Silvia Gering 30
- Abb. 14: "Roman Sarkophag" vor (1982) und nach der Ergänzung und Standzeit (1995); Los Angeles County Museum of Art; Quelle: GÄNSICKE (1997) 46
- Abb. 15: Ergänzung einer Ecke an der Plinthe einer Skulptur des Ulrich Monuments, Foto: Silvia Gering, Juni 2009 50

- Abb.16: Gesamtansicht des Epitaphs für Ernst Christoph von Voß nach abgeschlossener Konservierung/Restaurierung. Foto: Dipl.-Rest. Knut Zimmermann 52
- Abb. 17: Fragment of a middle part of a tomb during cavity filling with a ground cement; Quelle: GRABARCZYK (1988) 54
- Abb. 18: Detailausschnitt "Caritas" - Ergänzung Hand und Unterarm; Quelle: JACHNICKA (2000) 56
- Abb. 19: Detailausschnitt "Barock-Altar des Hl. Sebastian" - Ergänzung Nase; Quelle: TOMASZEWSKA-SZEWCZYK (2002) 57
- Abb.20: Foto der oben beschriebenen Probekörper für die unterschiedlichen Untersuchungen, Foto: Silvia Gering 65
- Abb.21: Foto des Alabastergips a: links zeigt die Transluzenz bei Durchlicht, rechts zeigt das Gefüge jeweils im Vergleich zu den drei bruchfrischen Alabastersorten (li.o.: Ala.S.Pue, re.o.:Ala.M.Ell., li.u.: Ergänzungsmasse, re.u.: Ala.K.For.), Foto: Silvia Gering 73
- Abb. 22: Foto der Primalmasse b7: links zeigt die Transluzenz bei Durchlicht, rechts zeigt das Gefüge jeweils im Vergleich zu den drei bruchfrischen Alabastersorten (li.o.: Ala.S.Pue, re.o.:Ala.M.Ell., li.u.: Ergänzungsmasse, re.u.: Ala.K.For.), Foto: Silvia Gering 74
- Abb. 23: Foto der Primalmasse b11: links zeigt die Transluzenz bei Durchlicht, rechts zeigt das Gefüge jeweils im Vergleich zu den drei bruchfrischen Alabastersorten (li.o.: Ala.S.Pue, re.o.:Ala.M.Ell., li.u.: Ergänzungsmasse, re.u.: Ala.K.For.), Foto: Silvia Gering 75
- Abb. 24: Foto der Epoxydharzmasse c19: links zeigt die Transluzenz bei Durchlicht, rechts zeigt das Gefüge jeweils im Vergleich zu den drei bruchfrischen Alabastersorten (li.o.: Ala.S.Pue, re.o.:Ala.M.Ell., li.u.: Ergänzungsmasse, re.u.: Ala.K.For.), Foto: Silvia Gering 76
- Abb. 25: Foto der Epoxydharzmasse c19\*: links zeigt die Transluzenz bei Durchlicht, rechts zeigt das Gefüge jeweils im Vergleich zu den drei bruchfrischen Alabastersorten (li.o.: Ala.S.Pue, re.o.:Ala.M.Ell., li.u.: Ergänzungsmasse, re.u.: Ala.K.For.), Foto: Silvia Gering 77
- Abb. 26: Foto der Epoxydharzmasse c20: links zeigt die Transluzenz bei Durchlicht, rechts zeigt das Gefüge jeweils im Vergleich zu den drei bruchfrischen Alabastersorten (li.o.: Ala.S.Pue, re.o.:Ala.M.Ell., li.u.: Ergänzungsmasse, re.u.: Ala.K.For.), Foto: Silvia Gering 78

- Abb. 27: Foto der Epoxydharzmasse c26: links zeigt die Transluzenz bei Durchlicht, rechts zeigt das Gefüge jeweils im Vergleich zu den drei bruchfrischen Alabastersorten (li.o.: Ala.S.Pue, re.o.:Ala.M.Ell., li.u.: Ergänzungsmasse, re.u.: Ala.K.For.), Foto: Silvia Gering 79
- Abb. 28: Foto der Epoxydharzmasse c30: links zeigt die Transluzenz bei Durchlicht, rechts zeigt das Gefüge jeweils im Vergleich zu den drei bruchfrischen Alabastersorten (li.o.: Ala.S.Pue, re.o.:Ala.M.Ell., li.u.: Ergänzungsmasse, re.u.: Ala.K.For.) 80
- Abb. 19: Foto der Paraloidmasse d47: links zeigt die Transluzenz bei Durchlicht, rechts zeigt das Gefüge jeweils im Vergleich zu den drei bruchfrischen Alabastersorten (li.o.: Ala.S.Pue, re.o.:Ala.M.Ell., li.u.: Ergänzungsmasse, re.u.: Ala.K.For.) 80
- Abb. 30: Foto der Paraloidmasse d50: links zeigt die Transluzenz bei Durchlicht, rechts zeigt das Gefüge jeweils im Vergleich zu den drei bruchfrischen Alabastersorten (li.o.: Ala.S.Pue, re.o.:Ala.M.Ell., li.u.: Ergänzungsmasse, re.u.: Ala.K.For.) 82
- Abb. 31: Probekörper der a und b Massen, von links nach rechts: ohne UV-Bestrahlung, mit UV-Bestrahlung (polierter Probe-körper), mit Uv Bestrahlung (Probe-körper ohne Ober-flächenbearbeitung) 92
- Abb. 32: Probekörper der c Massen, von links nach rechts: ohne UV-Bestrahlung, mit UV-Bestrahlung (polierter Probekörper), mit Uv Bestrahlung (Probekörper ohne Oberflächenbearbeitung) 93
- Abb. 33: Probekörper der d Massen, von links nach rechts: ohne UV-Bestrahlung, mit UV-Bestrahlung (polierter Probekörper), mit Uv Bestrahlung (Probekörper ohne Oberflächenbearbeitung) 93

## **18. Verzeichnis der Tabellen und Diagramme**

Tabelle 1:	Angabe über die verschiedenen Alabastersorten, deren Messwerte in der Arbeit erhoben bzw. verwendet werden.	23
Tabelle 2:	Porenraumbezogene Eigenschaften von Alabaster	32
Tabelle 3:	Physiko- mechanische Kennwerte der bruchfrischen Alabaster	33
Tabelle 4:	Hygrische und thermische Dilatation der bruchfrischen Alabaster	34
Tabelle 5:	Auswahlkriterien für die Ergänzungsmassen sowie deren Wertigkeiten	43-44
Tabelle 6:	Zuschlagstoffe der Massen Umrechnung von Volumenteile in Gewichtsteile	64
Tabelle 7:	Angabe der Häufigkeit der unterschiedlich vorkommenden Bruchbilder	84
Tabelle 8:	Die Tabelle gibt die hygrische Dilatation des Natursteins und einer Auswahl der zuvor beschriebenen Massen wieder	87
Tabelle 9:	Die Tabelle gibt den thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Alabaster und ausgewählten Ergänzungsmassen an.	88
Tabelle 10:	Die Tabelle legt den dimensionslosen Wasserdampfdiffusionswiderstandswert von Alabaster und den untersuchten Ergänzungsmassen mit Ausnahme von d47 dar.	89
Diagramm 1:	Biaxiale Biegezugfestigkeit: Naturstein Kennwerte und die Werte der untersuchten Ergänzungsmörtel	82
Diagramm 2:	E-Module: Naturstein Kennwerte und die Werte der untersuchten Ergänzungsmörtel	83
Diagramm 3:	Das Diagramm stellt die Kennwerte der Zugfestigkeiten des Natursteins im Vergleich zu den Haftzugfestigkeiten der untersuchten Ergänzungsmörtel dar. Die Richtung des schwarzen Pfeils zeigt die Tendenz des Haftzugs- sowie der Zugfestigkeiten an, die blauen Pfeile zeigen die Tendenz der Haftzugfestigkeiten an.	85