

# RESTAURATORISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE UNTERSUCHUNG VON TUTHMOSIDISCHEN PUTZEN AUS ‘EZBET HELMI / TELL EL-DAB‘A

Ein Beitrag zur Erforschung altägyptischer Kalkputztechnik

---

*Von Alexandra Winkels*

## 1. EINLEITUNG

Im Frühjahr 2005 konnten innerhalb eines großen tuthmosidischen Palastdistriktes<sup>1</sup> bei ‘Ezbet Helmi im nord-östlichen Nildelta erstmals in größerem Umfang unbemalte und bemalte Putzflächen *in situ* gefunden werden. Innerhalb des Distriktes wurden bisher drei Palastanlagen ergraben sowie der große Komplex des herrschaftlichen Gebäudes L, der östlich des Palastes G liegt.<sup>2</sup> Der Bestand an originalen Kalkputzen fand sich in mehreren Räumen des Gebäudes L in Gestalt von Estrichen, Wandputzen und verputzten modellierten Architekturbereichen. In einigen Bereichen blieb ein Teil der Sockelzonen mit dem Putz erhalten. Die Lehmziegelarchitektur der Anlagen ist nach BIETAK und FORSTNER-MÜLLER 2006 vorwiegend noch anhand ihrer Unterbauten rekonstruierbar.

Ein Großteil des zuvor in ‘Ezbet Helmi an verschiedenen Stellen gefundenen Kalkputzbestandes fand sich verschüttet in Form von verstürzten Fragmenten. Die Paläste F und G waren teilweise mit Wandmalereien ausgestattet, die in verstürzter fragmentarischer Form seit 1989 an verschiedenen Stellen des Areals geborgen werden konnten. Auf Grund des Stiles, der dargestellten Motive und der Werktechnik wurden sie als minoische Wandmalereien auf Kalkputz identifiziert.<sup>3</sup>

Diese Funde von ‘Ezbet Helmi/Tell el-Dab‘a sind ein wichtiges frühes Beispiel für die Materialkombination von Kalkputz auf Lehmziegelarchitektur sowie für das Vorkommen von Kalkmörteln und -putzen in Ägypten im zweiten Jahrtausend v. Chr. Bis heute ist über die altägyptische Kalkputz- und Mörteltechnik dennoch wenig bekannt. In der Fachliteratur, die sich mit altägyptischen Materialien und Techniken befasst,<sup>4</sup> wird darauf nicht konkret eingegangen. Material- und werktechnische Studien<sup>5</sup> beziehen sich in erster Linie auf die Erforschung der historischen Maltechnik und Materialien der ägyptischen (und ägäischen) Wandmalerei. Die Zusammensetzung und Werktechnik unbemalter Putze wird dabei nicht näher aufgeführt.

Der umfangreiche Bestand an unbemalten Putzen aus ‘Ezbet Helmi/Tell el-Dab‘a blieb bisher weitgehend unbeachtet. Die Untersuchung dieses bedeutenden originalen Bestandes und die Erforschung der historischen Putztechnologie bilden daher den Schwerpunkt dieser Arbeit als singuläres Beispiel zur Klärung einiger offener Fragen über die altägyptische Kalkputztechnik.

Der Beitrag stellt die Ergebnisse der Untersuchung von Kalkputzfragmenten aus dem tuthmosidischen Palastdistrikt mit verschiedenen Metho-

---

<sup>1</sup> Die Ausgrabung des rund einen Kilometer westlich von Tell el-Dab‘a gelegenen Distriktes ist seit den letzten 15 Jahren das Hauptprojekt des Österreichischen Archäologischen Institutes Kairo und des Institutes für Ägyptologie der Universität Wien mit der Unterstützung der Kommission für Ägypten und Levante der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. Siehe vorherige Grabungsberichte: z.B. JÁNOSI 2000, 195–210; BIETAK, DORNER und JÁNOSI 2001, 27–119; BIETAK und FORSTNER-MÜLLER 2003, 39–50; BIETAK und FORSTNER-MÜLLER 2006, 65–100.

<sup>2</sup> Siehe Übersichtsplan des Bezirkes in BIETAK und FORSTNER-MÜLLER 2006, 69, fig. 3; 86, fig. 19.

<sup>3</sup> Die Produktion der Wandmalereien kann nach BIETAK 2005 zur Zeit der Herrschaft von Tuthmosis I und II

---

oder auch in der von Hatschepsut und Tuthmosis III stattgefunden haben. In dieser Zeitspanne bestanden archäologisch und ägyptologisch belegte intensive Kontakte zwischen dem minoischen Kreta und Ägypten, die einen Technologietransfer auch im Bereich der Wandmalerei und Mörteltechnik begünstigten. Siehe: BIETAK 2005, 84. Zur Werktechnik und zum Technologietransfer siehe auch BRYSSBAERT 2002, 95–107; SEEBER 1997, 25–32.

<sup>4</sup> LUCAS and HARRIS 1989, 74, 79; CLARKE and ENGELBACH 1990; NICHOLSON and SHAW 2000, darin: LEE and QUIRKE, 117f.

<sup>5</sup> Z.B.: EL GORESY 2000; BRYSSBAERT 2002; JONES 2005; BORELLI und LAURENZI TABASSO 1996.

den der Mörtelanalyse und der Befunduntersuchung in situ in einem der Grabung bei Tell el-Dab<sup>c</sup>a angegliederten Feldlabor vor. Die Arbeit widmet sich der Erforschung folgender Fragen:

- Wie sind die Putze chemisch-mineralogisch zusammengesetzt?
- Welche Rohmaterialien wurden zur Mörtelherstellung verwendet?
- Wie wurden sie gewonnen bzw. hergestellt?
- Wie erfolgte die werktechnische Ver- und Bearbeitung?
- Hat man in der Zusammensetzung von Putzen mit unterschiedlicher Funktion (Boden-, Wand-, Deckenflächen) bewusst variiert?
- Unterscheidet sich die Zusammensetzung der bemalten und der unbemalten Putze?
- Unterscheidet sich die Zusammensetzung und Bearbeitung der Putze in Präsentationsgebäuden und einfacheren Räumlichkeiten?

Die Intention dieser vergleichenden Mörtelanalyse ist es auch, an einem konkreten Beispiel aufzuzeigen, wie die Untersuchung von Mörteln und Putzen von einem Restaurator oder einer Restauratorin in einem Labor auf der Grabung durchgeführt werden kann, wenn die Ausfuhr von Proben von der Grabung erschwert und dadurch die Zusammenarbeit mit einem naturwissenschaftlichen Labor nicht möglich ist.

In der interdisziplinären Zusammenarbeit mit Ägyptologen und Archäologen sollte dadurch von restauratorischer Seite ein wissenschaftlicher Beitrag erfolgen, der über die Konservierung und Restaurierung des Bestandes hinausgeht. Aus restauratorischer Sicht ist die Untersuchung der Zusammensetzung und Werktechnik von originalen Mörteln und Putzen nicht nur für die Kunsttechnologie, sondern vor allem für deren Konservierung, z. B. in Bezug auf die Auswahl geeigneter Konservierungsmaterialien, von großer Bedeutung.

## 2. DER UNTERSUCHTE PUTZBESTAND

Im Rahmen der Arbeit wurden im Grabungslabor insgesamt 29 Proben untersucht (siehe Tabelle

1). Mit dieser Auswahl von unbemalten Putzen unterschiedlicher Funktion aus verschiedenen Gebäuden und Grabungsebenen sollte ein möglichst breites Spektrum des erhaltenen Bestandes erfasst werden.

Die untersuchten Putze stammen überwiegend aus den zwei Hauptbauphasen (C/2 und C/3)<sup>6</sup> des tuthmosidischen Palastbezirkes. Von den in situ gefundenen unbemalten Putzflächen des Gebäudes L aus dem Grabungsareal Helmi VI wurden 18 Proben aus verschiedenen Architekturbereichen entnommen (Proben 001–015). Die Proben 003, 003a und 008 stammen von den modellierten Architekturteilen (Treppenstufen und erhöhtes Podest, Dais). Charakteristische Befunde des vorgefundenen Bestandes wurden vor der Entnahme in situ erfasst. Es sollte untersucht werden, ob anhand charakteristischer Merkmale der in situ erhaltenen Putze auch verstürzte Putzfragmente ihrer ursprünglichen Funktion zugeordnet werden könnten. Die Probe eines älteren Bodenputzes (P. 025) aus der frühen Hyksoszeit aus dem Grabungsareal Khatana diene beispielhaft dem Vergleich zur zeitlich früheren Werktechnik.

Von dem verstürzt gefundenen Bestand an unbemalten Putzen wurden vier Boden-, Wand- und Deckenputzfragmente aus dem Areal des Palastes G im Grabungsareal H III (P.: 017, 018, 020 bis 022) ausgewählt. Zwei Proben der minoischen Wandmalereien wurden analysiert, um einen direkten Vergleich zwischen bemalten und unbemalten Putzen zu ermöglichen. Bei der Probe 016 handelt es sich um ein verschüttetes Fragment der Malereien aus dem Palast G.<sup>7</sup> Die Probe 026 stammt von einem minoischen Spiralfries<sup>8</sup>, dessen Fragmente überwiegend in dem Areal H IV gefunden wurden.

Im Frühjahr 2001 nördlich des Palastes F entdeckte Beckenanlagen wurden auf Grund ihrer Füllung mit Kalkmaterial in Schichtdicken bis zu 20 cm als so genannte „Mörtelbecken“ bezeichnet.<sup>9</sup> Laut JÁNOSI 2002 wurden die Becken zum Anmischen von Mörtel verwendet. Die Tatsache, dass es keine aufgehenden Wandflächen gab und das Kalkmaterial über die erhaltenen niedrigen

<sup>6</sup> Die zwei Hauptbauphasen des Palastbezirkes werden nach BIETAK und FORSTNER-MÜLLER 2006, 68 wie folgt datiert: Die frühe Bauphase (C/3, Stratum d) umfasst den Zeitraum um 1500–1450 v. Chr. während der Herrschaft von Tuthmosis I bis Tuthmosis III. Die zweite späte Phase (C/2, Stratum c) wurde auf die Regie-

rungszeit von Tuthmosis III und Amenophis II um 1479–1400 v. Chr. datiert.

<sup>7</sup> BIETAK und FORSTNER-MÜLLER 2006, 92.

<sup>8</sup> ASLANIDOU 2002, 13–27.

<sup>9</sup> Siehe besonders: JÁNOSI 2002, 205, fig. 7a, b, Abb. 8.

P.-Nr.	Techn. Verwendung	Grabungsareal /Planquadrat	Rel. Bau-schicht
001	Treppenstufen	H VI-r/23	c-d
002	Wandputz	H VI-r/23	c-d
003	Treppenstufen	H VI-r/23	c-d
003a	Treppenstufen	H VI-r/23	c-d
004	Estrich	H VI-r/23	c-d
004a	Estrich	H VI-r/23	c-d
005	Estrich	H VI-r/23	c-d
006	Wandputz	H VI-r/23	c-d
007	Estrich	H VI-r/23	c-d
008	Putz der Dais	H VI-r/23	c-d
009	Wandputz	H VI-r/24	c-d
010	Estrich	H VI-r/24	c-d
011	Wandputz	H VI-s/21	c-d
012	Wandputz	H VI-s/23	c-d
013	Estrich	H VI-s/25w	c-d
013a	Estrich	H VI-s/25w	c-d
014	Wandputz	H VI-r/24	c-d
015	Estrich	H VI-s/26	c-d
016	Wandputz	H VI-p/24	b-d
017	Deckenputz	H III-n-o/15	d
018	Wandputz	H III-n-o/15	d
019	Estrich	H III-o/p16	o
020	Wandputz	H III-o/15-o/16	d(c)
021	Deckenputz	H III-o/15-o/16	(d)
022	Deckenputz	H III-o/15-o/16	(d)
023	Teilhydratisierter Brandkalk	HI e/f26, pl. 1-2	c
024	Brandkalk-konglomerat	HI-S e/f26, pl. 1-2	c
025	Wandputz	F II- r/23	<c
026	Wandputz	H IV/5/3-o/98	c/d

Tabelle 1 Liste der untersuchten Proben

Mauerkanten der Becken hinausragte, schloss aus, dass es sich um Räumlichkeiten mit verputzten Böden handeln konnte. Der Inhalt zweier Proben aus diesen Becken sollte analysiert werden um die Frage zu erörtern, ob dieses oder ähnliches Material zur Herstellung der Putze hat Verwendung finden können.

Der untersuchte Putzbestand wies einen relativ guten Erhaltungszustand auf. Die originalen Oberflächen und Unterseiten waren meist nur leicht verwittert; nur die Bodenputze und einige verstürzte Fragmente waren oberflächlich teilweise abgenutzt bzw. mechanisch beschädigt. Auf den Oberflächen einiger in situ entnommener Proben waren leichte Salzausblühungen zu sehen, jedoch keine Schädigung des Putzgefüges durch Salzsprengung. Die in situ erhaltenen Putzflächen des Gebäudes L fanden sich durch starke Stauchungen teilweise übereinander geschoben.

Rissnetze senkrecht zur Oberfläche unterteilen die Putze in unterschiedlich große Fragmente. Während die Wandputze netzartige Rissbilder aufwiesen, waren die Estriche von eher parallelen, in der Breite des Raumes verlaufenden Rissen durchzogen. Die Risse entstanden als Folge der mit dem Steigen und Fallen des Grundwasserspiegels verbundenen Quell- und Schrumpfprozesse des Mauerwerks aus Lehmziegeln und des Bodenmaterials. Durch die starke Adhäsion an ihrem Träger waren die Putze diesen Prozessen dauerhaft direkt ausgesetzt. In ihren mechanischen Eigenschaften wesentlich starrer als der jeweilige Träger, konnten die Putzflächen die durch Quellen und Schwinden entstehenden Spannungen nicht kompensieren. Die Rissbildungen der Putzflächen entsprechen daher annähernd den Schwundrissen des Mauerwerkes oder Bodens.

### 3. ANGEWANDTE METHODEN DER MÖRTELANALYSE

Die Auswahl der Untersuchungsmethoden erfolgte in Abstimmung mit den vor Ort gegebenen Rahmenbedingungen. Einzelne Geräte wurden bei der Anreise importiert; ansonsten bestimmte die gegebene Ausstattung der Werkstatt im Grabungshaus die Durchführbarkeit von Untersuchungen. Einzelne Analysegänge konnten durch leichte Modifikationen an die gegebenen Umstände in dem Grabungslabor angepasst werden. Dies gewährleistete für die praktische Anwendung der Mörtelanalytik eine wissenschaftlich fundierte Arbeitsweise unter einheitlichen Bedingungen.

Im Folgenden werden die vor Ort durchführbaren Methoden der Mörteluntersuchung kurz aufgeführt und beschrieben:

In situ wurde jeweils ein kleines Probenfragment, das durch Risse vorgebildet war, mit dem Skalpell entnommen, ohne die Putzschichten zusätzlich zu stören. Es wurden prinzipiell kleine Mengen an Probenmaterial für die einzelnen Untersuchungen verwendet, um den originalen Bestand so wenig wie möglich zu reduzieren.

#### 3.1 Optische, mikroskopische Untersuchung und fotografische Dokumentation

Zur Erfassung des aktuellen Erhaltungszustandes und Erscheinungsbildes der Putzproben wurden die unbehandelten Probekörper optisch-visuell und mikroskopisch untersucht. Die Ober- und Unterseiten sowie bedeutende Details wurden im Streiflicht und Auflicht mit Hilfe eines Reprösta-

tives in einheitlichem Abbildungsmaßstab und unter dem Mikroskop fotografisch dokumentiert<sup>10</sup> (Abb. 1 u. 2 bzw. 12, 17, 18). Dies ermöglichte die Sammlung charakteristischer Befunde bezüglich der historischen Werktechnik sowie der Zusammensetzung der Mörtelmaterialien.

### 3.2 Bestimmung der Rein- und Rohdichte

Dichte und Porosität stellen wichtige Parameter für die physiko-mechanischen Eigenschaften von Mörteln und Putzen dar. Um Näherungswerte dieser Parameter für die Putze aus <sup>c</sup>Ezbet Helmi zu gewinnen, erfolgte die Ermittlung der Rein- und Rohdichte mittels einer Kombination von Wasseraufnahme und Auftriebsverfahren. Es kann ausschließlich entsalztes Wasser als Eintauchmedium eingesetzt werden.<sup>11</sup> Auf einer digitalen Feinwaage (Genauigkeit: 1 Milligramm) wurden folgende Werte bestimmt:

Trockenmasse der Probe (nach Trocknung bei 105°C), Masse und Auftrieb des mit Wasser gesättigten Probekörpers. Mit diesen Werten ließen sich mit Hilfe einer Formelsammlung<sup>12</sup> die Dichte- und Volumenwerte der Probe errechnen.

### 3.3 Untersuchungen am Anschliff

Zur Untersuchung der Zusammensetzung und der Gefüge der Putze wurden Anschliffe von den entnommenen Proben hergestellt.<sup>13</sup> Durch individuelle Ergänzungen und Variationen konnte die Vorgehensweise den Rahmenbedingungen in dem Grabungslabor optimal angepasst werden. Zur Herstellung der Anschliffe wurden die getrockneten Probekörper mit einer Schmelze aus Cyclododecan<sup>14</sup> getränkt und durch das Erstarren der Schmelze temporär gefestigt. Anschließend konnten die Putzfragmente per

Hand mit destilliertem Wasser auf einer Diamantschleifscheibe geschliffen werden. Der Feinschliff erfolgte auf mit Siliziumcarbid beschichtetem Nassschleifpapier in verschiedenen Körnungen (220–2400). Am fertigen Anschliff konnten dann anhand von definierten Parametern wichtige Merkmale des jeweiligen Putzgefüges und dessen Struktur bestimmt werden.

Zur Charakterisierung des Bindemittels wurden dessen Farbigkeit, die Ritzhärte des Mörtels nach Mohs,<sup>15</sup> die Zusammensetzung mittels Anfärbung und damit die entsprechende Mörtelkategorie bestimmt. Der Anteil an sichtbaren Poren sowie sichtbaren Abdrücken und Hohlräumen konnte anhand von Vergleichsbildern, die in der Mineralogie und Sedimentologie Verwendung finden, in Prozent eingeschätzt werden. Solche Vergleichsbilder wurden auch zur Abschätzung des Verhältnisses von Bindemittel zu enthaltenen Partikeln sowie deren Sortierung,<sup>16</sup> des prozentualen Anteils an Zuschlag<sup>17</sup> und möglicher enthaltener Bindemittel-Partikel angewendet. Die Kornformen wurden nach ihrem Rundungsgrad<sup>18</sup> bestimmt. Die Korngrößen von mineralischen Zuschlägen sind unter dem Mikroskop messbar und in entsprechenden Tabellen definiert.<sup>19</sup> In Verbindung mit der Definition des prozentualen Anteils kann halbquantitativ die Korngrößenverteilung ermittelt werden. Durch diese halbquantitativen und qualitativen Bestimmungen können vergleichbare Aussagen getroffen werden und eine Klassifizierung der Putze wird möglich.

Die Gesamtfarbigkeit des Mörtels oder Putzes, die sich aus allen im Mörtelgefüge enthaltenen Komponenten ergibt, sowie die Farbigkeit der Bindemittelmatrix mit enthaltenen Feinstbe-

<sup>10</sup> Mikroskop Leica Wild M3, Objektivvergrößerung 60–90f.; Kamera: Nikon Coolpix 995; Okularprojektiv, Nikon.

<sup>11</sup> Die Dichte der Flüssigkeit muss bekannt sein, um die gewünschten Werte berechnen zu können. Da vor Ort keine ausreichende Ventilation oder ein Abzugssystem vorhanden war, wurde einfaches destilliertes Wasser als Lösemittel anderen gesundheitsschädlichen Varianten vorgezogen.

<sup>12</sup> Persönliche Mitteilung Christoph Herm, Hochschule für Bildende Künste Dresden.

<sup>13</sup> Anschliffuntersuchung in Anlehnung an LENZ (1999).

<sup>14</sup> Dieses temporäre Festigungsmittel ist flüchtig und sublimiert bei Lagerung an der Luft wieder aus dem Pro-

bekörper. Dies hat u. a. den Vorteil, dass die Farbigkeit der Bindemittelmatrix nach Abdampfen des Festigungsmittels von der Oberfläche des Anschliffs (durch das örtliche Klima war dies schon innerhalb von ein bis zwei Tagen gegeben) unverfälscht eingeschätzt werden kann.

<sup>15</sup> Ritzhärteskala nach Mohs z.B. unter: <http://www.chem.tu-freiberg.de/boehme/lehre/hartstoffe/mohs/html>, 2003.

<sup>16</sup> TUCKER 1996, 7.

<sup>17</sup> MÜLLER 1994, 174.

<sup>18</sup> Siehe Rundungsgrade bei KOENSLER 1989, 46, Abb. 15.

<sup>19</sup> JASMUND und LAGALY 1993, 19.

standteilen oder natürlichen Verunreinigungen wurden optisch am befeuchteten Anschliff durch das definierte Farbkartensystem ROCK-COLOUR CHART nach Munsell® bestimmt.

Mit der Digitalkamera und einem Okularprojektiv wurden die Anschliffe unter dem Mikroskop fotografiert. Zur repräsentativen Abbildung des Gefüges wurde immer ein 1–1,5 cm breiter Ausschnitt der gesamten Putzschicht aufgenommen, daneben charakteristische Details und Befunde.

### 3.4 Die Anfärbung von Bestandteilen

Zur Identifizierung des Bindemittels und der genaueren Bestimmung der mineralischen Bestandteile der Putze wurden ausgewählte Anfärbemethoden herangezogen. Bei den anfärbenden Reagenzien handelt es sich meist um farbige Salze, Komplexbildner oder Farbstoffe, deren saure oder basische Lösungen eine Komponente des zu bestimmenden Minerals auflösen. Die angelöste Komponente reagiert mit der anfärbenden Reagenz zur sichtbaren Färbung.

Anfärbungen am Mörtelanschliff und Dünnschliff zeigen neben der Identifizierung bestimmter Mineralkomponenten deren Lage und Verteilung im Mörtelgefüge. So kann die Herkunft bestimmter Anteile in einem Putz definiert werden, beispielsweise Gips als Nebenbestandteil im Bindemittel oder im Zuschlag. Die Anfärbungen auf Calcit und Gips können zudem herangezogen werden, um mögliche Sinterschichten oder Vergipsungen zu lokalisieren. Die Anfärbung auf Magnesium deutet auf dolomitische Anteile hin. Für die untersuchten Putze war außerdem die Anwesenheit von bestimmten puzzolanischen Tonmineralen und Eisenverbindungen oder anderen Bestandteilen mit hydraulischem Potential in den Gefügen interessant.<sup>20</sup>

Die folgenden Anfärbemethoden wurden durch eigene Modifikationen u.a. in der Konzentration der Färbelösungen<sup>21</sup> für die Anwendung

an Mörteln und Putzproben optimiert und angewendet:

- Anfärbung auf Calcium/Calcit mit Alizarinrot S nach FRIEDMANN (1959)
- Sulfat/Gips mit Alizarinrot S nach WARNE (1962)
- Magnesium/Dolomit mit Magneson nach LANGBEIN *et al.* (1982)
- Anfärbung auf Eisen(III)-oxid mit Kaliumhexacyanoferrat(II) nach FÜCHTBAUER (1988)
- Anfärbung auf Kaolinit mit Methylenblau nach TRÖGER (1989)

Die Anfärbemethoden wurden jeweils an künstlich hergestellten Vergleichsproben (z.B. Kalk- oder Gipsmörtel) in einem Vorversuch auf ihre Wirksamkeit geprüft. Vor der Anfärbung wurde das Gefüge mit entsalztem Wasser einige Sekunden vorgesättigt, anschließend wenige Sekunden in die Anfärbelösung getaucht und schließlich mit entsalztem Wasser ausgewaschen. Wiederum ein paar Sekunden später war eine positive Anfärbung erkennbar (siehe Abb. 3). Einzig die Färbelösung für den Kaolinit-Nachweis bedurfte einer leicht längeren Einwirkzeit (bis zu einer Minute). Die Anfärbung ergab sich hier erst mit dem Trocknen des Probematerials.

### 3.5 Untersuchung von Dünnschliffen

Die Analyse von Dünnschliffen ausgewählter Proben ermöglichte weitere Aussagen zu Mineralbestand und Gefüge der Putze sowie deren Porosität. Die Proben wurden in einem kleinen Exsikkator unter mit einer Wasserstrahl-Pumpe erzeugtem Vakuum in blau gefärbtem Epoxidharz eingebettet.<sup>22</sup> Nach der Härtung wurde der Probekörper einseitig fein angeschliffen und auf einen leicht angerauten Objektträger aufgeklebt. Mit der Diamantsäge konnten die Proben bis auf wenige Millimeter heruntergeschnitten und

<sup>20</sup> Puzzolane, wie bestimmte Tone oder Mehle niedrig gebrannter Ziegel, können durch chemische Reaktion mit gelöschtem Kalk bzw. Branntkalk (Kalkhydrat) und Wasser ein hydraulisch erhärtendes Bindemittel bilden. So kann ein hydraulischer Kalkmörtel entstehen, der auch unter Wasser abbinden kann. Solche Mörtelmaterialien erreichen eine höhere Endfestigkeit als reiner Kalkmörtel und sind nach dem Erhärten wasserfest. Hydraulische Anteile bzw. Mörtel können außerdem durch Mitbrennen u. a. von eisen-, silicium- oder alu-

miniumhaltigen Bestandteilen, z.B. von tonhaltigem Kalkstein bei der Brandkalkherstellung, entstehen.

<sup>21</sup> In Anlehnung an LENZ (1999).

<sup>22</sup> Die Einfärbung des Kunstharzes mit Sudanblau sollte eine bessere Differenzierung von Luftporen gegenüber Rissbildungen und anderen möglichen Hohlräumen gewährleisten. Durch das Einbetten unter Vakuum ist ein Vordringen des Harzes bis in kleinste Porenräume möglich.

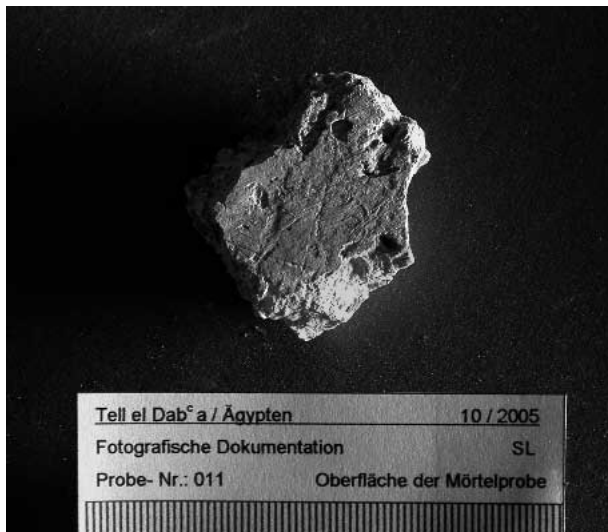


Abb. 1 Geglättete Oberfläche eines Wandputzes, Streiflicht-Aufnahme



Abb. 2 Unterseite einer Deckenputzprobe mit Reliefabdruck, Streiflicht-Aufnahme

anschließend auf Nassschleifpapier manuell fein geschliffen werden.<sup>23</sup>

Die Untersuchung der Schriffe erfolgte unter dem Polarisationsmikroskop<sup>24</sup> in linear polarisiertem Licht und bei gekreuzten Polarisatoren. So konnten mineralische Zuschlags- oder Bindemittelpartikel durch spezifische Doppelbrechung genauer bestimmt und im Gefüge lokalisiert werden. Neben der Bestimmung der mineralogischen Zusammensetzung und der Abbildung des Gefüges der Mörtelbestandteile wurde das Augenmerk auf besondere Charakteristika der Putzen wie z. B. eine makroskopisch nicht erkennbare Schichtenabfolge gerichtet. Aus Gründen der Effizienz wurde die polarisationsmikroskopische Bestimmung auf die häufigsten Minerale und einige Besonderheiten beschränkt.

### 3.6 Nasschemische Analysen

Die nasschemische Analyse einer Auswahl von Proben ermöglicht eine qualitative und quantitative Bestimmung des Bindemittel-Zuschlag-Verhältnisses und des „Kieselsäure“-Gehaltes (Siliciumdioxid) als ungefähres Maß für Anteile von hydraulischen, latent hydraulischen und reaktionsfähigen puzzolanischen Bestandteilen in Mörteln oder Putzen.

Durch die Kombination und leichte Variation

zweier nasschemischer Analyseverfahren<sup>25</sup> wurde angestrebt, das Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis von Kalkmörteln mit carbonatischen Zuschlags- oder Bindemittelpartikeln ermitteln zu können. Damit sollte die Auflösung von calcitischen oder dolomitischen Bestandteilen verhindert und somit deren Erfassung als Partikel ermöglicht werden.

Folgender vorläufiger Untersuchungsablauf kam zur Anwendung:

- Nach Trocknung bis zur Gewichtskonstanz: Zerkleinerung der Proben (Probenmenge 1,08–1,64 g) und Behandlung dieser mit einer EDTA-Natriumsalz-Dihydrat-Lösung<sup>26</sup> in entsalztem Wasser (0,1 mol/l).
- Nach angepasster Einwirkzeit: Filtrieren der Suspension (Weißbandfilter); Spülen des Rückstandes mit entsalztem Wasser und Trocknen über Nacht im Trockenschrank (105°C).
- Wägung des getrockneten Rückstandes.

Wie erwünscht, blieben die calcitischen Bestandteile durch die EDTA-Behandlung zwar erhalten, ihr Anteil konnte dennoch nicht definitiv erfasst werden, da das Bindemittel um die Partikel nicht vollständig gelöst wurde. Das Verfahren müsste in dieser Hinsicht noch verbessert werden.<sup>27</sup>

<sup>23</sup> Siliciumcarbid-Nassschleifpapier, Körnungen 220–4000.

<sup>24</sup> Leica Wild M3.

<sup>25</sup> WISSER und KNÖFEL 1987, BECKER und HERM 2000, CASADIO, CHIARI und SIMON 2005.

<sup>26</sup> (EDTA) = Ethylendiamintetraessigsäure.

<sup>27</sup> Siehe SIMON (2003), 181.



Abb. 3 Anfärbung auf Calcit, die rote Färbung belegt Kalk als Bindemittel und calcitische Partikel, Anschliff (P. 001)

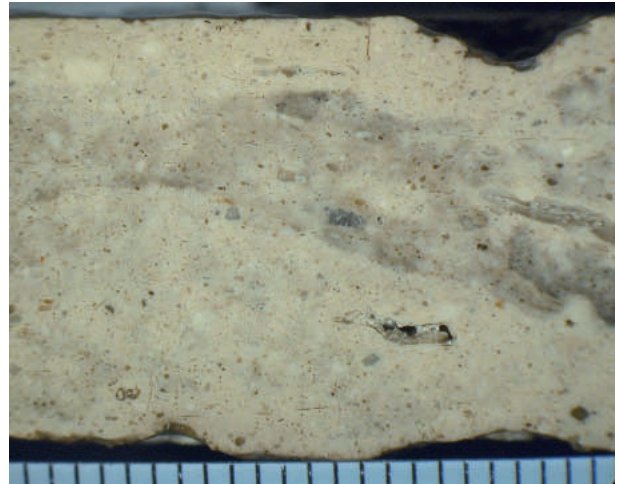


Abb. 4 tonige Einmischungen in der Bindemittelmatrix, AS (P. 014)



Abb. 5 eingewanderte rötlich-bräunliche Ton- und Eisenbestandteile in Randbereichen AS (P. 020)

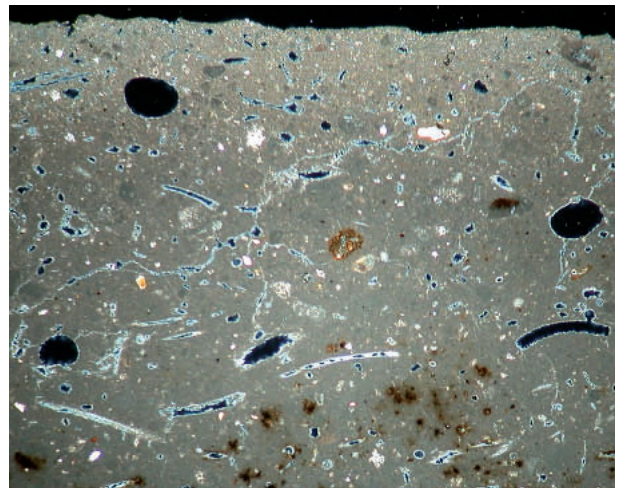


Abb. 6 helle Säume und Füllungen rekrystallisierter junger Calcitkristalle in Poren, Hohlstellen und Rissen, 1 cm, Dünnschliff (P. 012), + Pol., Kompensator Rot I Filter

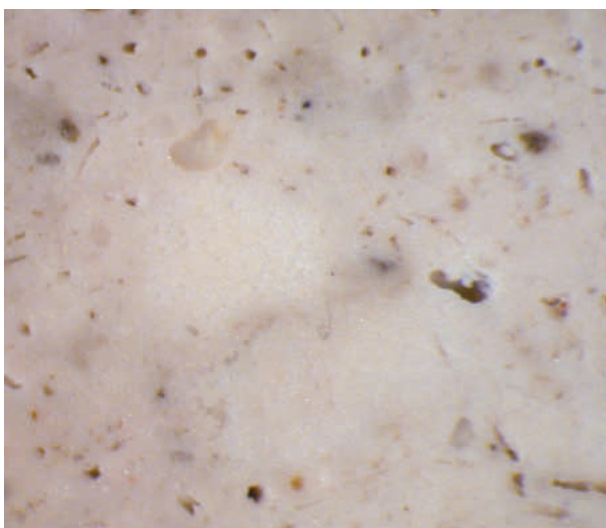


Abb. 7 gerundete Kalkspatzen in der Bindemittelmatrix, l. daneben rund-ovale, tiefe Hohlräume verwitterter organischer Fasern, Bildbreite 4 mm, AS (P. 011)

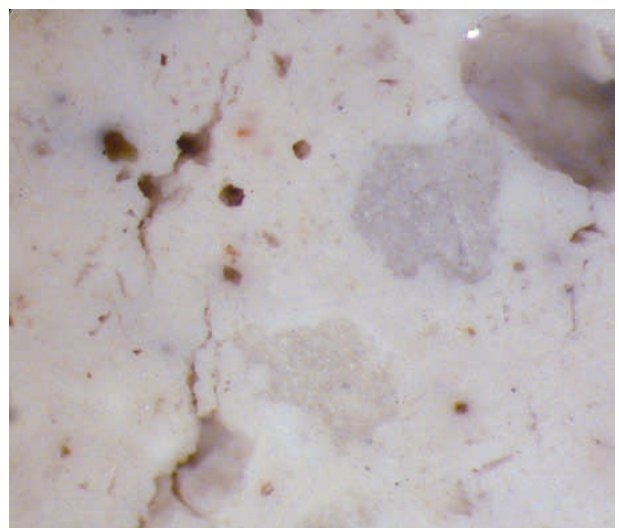


Abb. 8 kantengerundete primäre Calcitpartikel in der Bindemittelmatrix, Bildbr. 4 mm, AS (P. 009)

Der Probenrückstand der EDTA-Analyse wurde für die weiterführende nasschemische Analyse mit verdünnter Salzsäure und einer Natriumcarbonat-Lösung<sup>28</sup> behandelt.

Damit konnten folgende Anteile an Putzbestandteilen bestimmt werden:

1. In EDTA löslicher Bindemittelanteil (Carbonat)
2. In Salzsäure löslicher Bindemittelanteil (Carbonat)
3. In Natriumcarbonat-Lösung löslicher Bindemittelanteil (Kieselsäure)
4. Unlöslicher Zuschlag

Mit der Ausgangsmasse der getrockneten Proben kann damit nach WISSER und KNÖFEL (1987) das Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis (B:Z) und der Kieselsäure-Gehalt berechnet werden.

### 3.7 Siebanalyse

Die bei der Nasschemischen Analyse zurückgebliebenen, getrockneten unlöslichen Zuschläge der ausgewählten Proben wurden im Anschluss mit einem Analysesieb (mit Maschenweiten von 1000–75µm) gesiebt. Danach wurde jeweils der in den Sieben verbliebene Rückstand gewogen. Dadurch konnte der Anteil der verschiedenen Korngrößen (in Masseprozent) einer Probe bestimmt werden. Aus der Summe der ermittelten Korngrößen ist die Korngrößenverteilung des Zuschlages für die jeweilige Probe erfassbar.

## 4. ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNG

Die Untersuchungsergebnisse wurden für jede Probe gesondert auf Datenblättern in einer Datenbank zusammengestellt. Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse summarisch dargestellt. Bei der Interpretation dieser ist zu beachten, dass sie sich auf den gealterten Zustand der Putze beziehen.

### 4.1 Zusammensetzung der Putze und Beschaffenheit der Rohmaterialien

Die Anfärbemethoden, die nasschemische Analyse sowie die Dünnschliffmikroskopie ergaben als Bindemittel der untersuchten Putzproben Calciumcarbonat. Sowohl bei den Decken-, Wand- und

Estrichputzen als auch bei den Putzen der modellierten Architekturteile handelt es sich damit ausschließlich um Kalkmörtel. Minimale Gips- oder Magnesium-Gehalte in den Proben können auf natürliche Verunreinigungen des zur Bindemittelherstellung verwendeten Kalkmaterials oder der Zuschläge zurückgeführt werden. Sie sind zu gering, als dass von einem sekundären Bindemittelanteil gesprochen werden kann.

Die nasschemische Analyse ausgewählter Proben ergab einen Kieselsäure-Gehalt von bis zu zwei Prozent und damit einen geringen Anteil von ehemals hydraulischen oder latent hydraulischen Komponenten in den Putzmaterialien.<sup>29</sup> Die nasschemisch ermittelten Bindemittel-Zuschlag Verhältnisse zwischen 14:1 und 61:1 verdeutlichen den sehr hohen Bindemittelgehalt (Tabelle 2).

Dieser wird durch die optisch am Anschliff abgeschätzten Matrix-Partikel-Verhältnisse zwischen 90:10 und 80:20 grundsätzlich bestätigt. Hierbei gingen die Bindemittel-Partikel allerdings in den Partikel-Anteil ein.

In der für alle Putzproben charakteristischen feinkristallinen Bindemittelmatrix sind die Zuschläge unregelmäßig ohne bestimmte Textur verteilt. Die weiß-gelbliche bis leicht rötlich-graue Grundfarbigkeit der bindemittelreichen Putze wird durch die Farbigkeit der Bindemittelmatrix<sup>30</sup> geprägt und entspricht dieser weitgehend. Durch natürliche Verunreinigungen der Ausgangsstoffe und ein Einmischen von tonig-lehmigem Erdmaterial ist die Bindemittelmatrix einiger Proben inhomogen und stellenweise rötlich-bräunlich bis

P.-Nr.	Kieselgel (SiO <sub>2</sub> )	Zuschlag	Z/B- Verhältnis
013	0,8%	4,2%	1:23
012	1,3%	2,4%	1:40
010	0,7%	1,8%	1:53
014	1,5%	1,7%	1:58
015	2,0%	6,8%	1:14
009	1,7%	2,4%	1:41
021	1,8%	1,6%	1:61
017	0,6%	2,0%	1:50

Tabelle 2 Ergebnisse der HCl-Behandlung der nasschemischen Analyse

<sup>28</sup> Weiterführung des Analyseanges nach WISSER und KNÖFEL (1987).

<sup>29</sup> Dieser Wert ist jedoch zu gering, um von hydraulischen Kalken zu sprechen.

<sup>30</sup> Farbigkeit nach Munsell: HUE 5Y 8/1 Yellowish gray, HUE 5Y7/2 Yellowish gray und HUE N8/ N9 Very light gray.



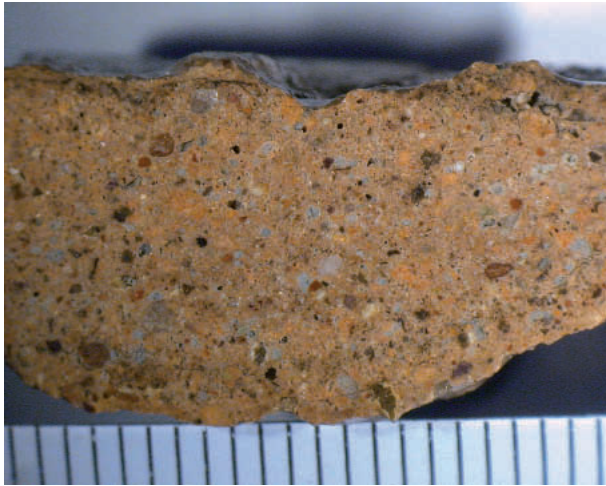


Abb. 9 Estrich mit eingemischtem Keramik- und Ziegel-  
mehl, AS (P. 025)



Abb. 10 im Putzgefüge eines Estriches erhaltene organi-  
sche Faser, Bildbr. 1cm (P. 004)

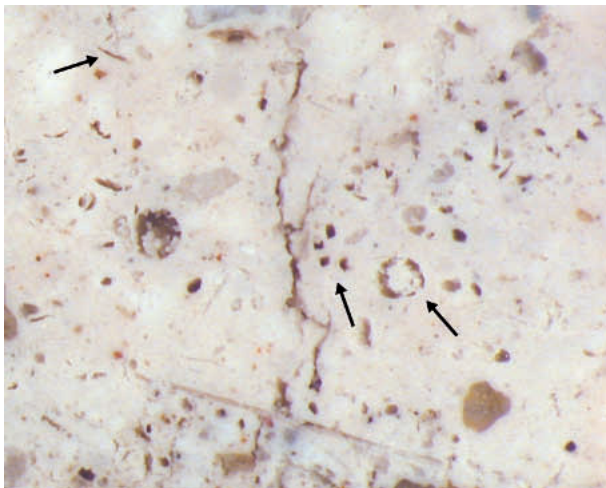


Abb. 11 Hohlraumformen organischer Zuschläge von Hal-  
men, Fasern und Stängeln, Bildbr. 4,5 mm, AS-Detail (P. 010)

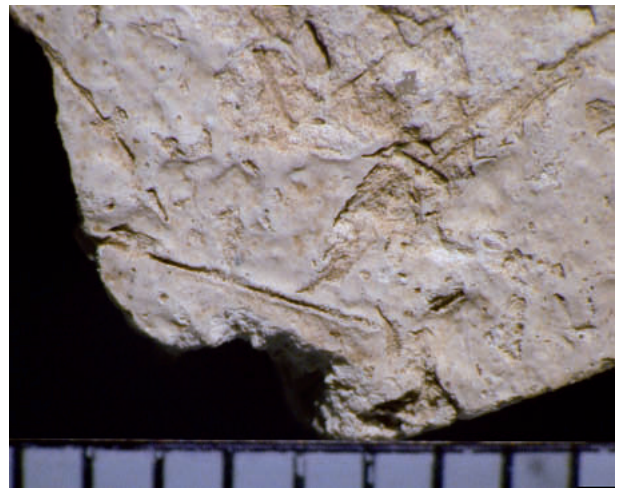


Abb. 12 Sinterschicht der Putzoberfläche mit Abdrücken  
verwitterter organischer Fasern (P. 012)

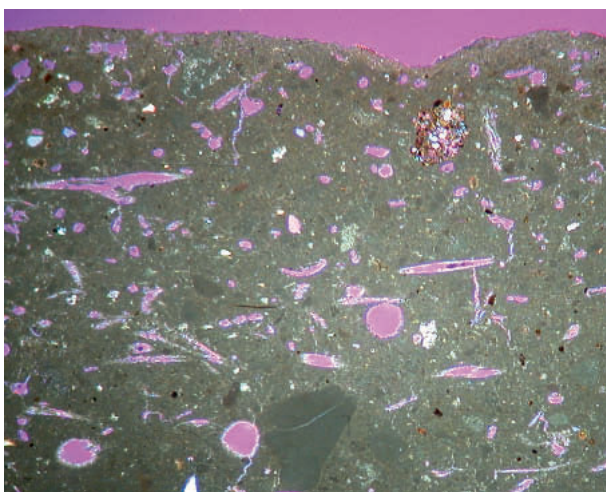


Abb. 13 parallel bis schräg zur Putzoberfläche ausgerich-  
tete längliche, schmale Hohlräume von organischen  
Fasern und gebogenem Muschelfragment (m.), Bildbr.  
1 cm, DS (P. 013), + Pol., Kompensator Rot I Filter

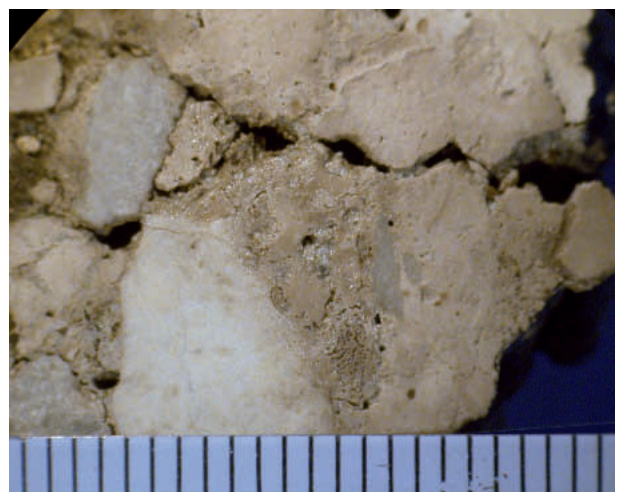


Abb. 14 Brandkalkkonglomerat mit Partikeln unter-  
schiedlicher Kalksteinsorten, AS (P. 024)

braun-gräulich gefärbt (Abb. 4). An den Randbereichen vieler Putzfragmente zeigte sich im Anschliff eine rötlich-bräunliche Färbung (Abb. 5). Die Ursache dieses Phänomens ist das nachträgliche Einwandern von tonigen und eisenhaltigen Feinstbestandteilen aus dem umgebenden Boden oder aus den Putzträgern.<sup>31</sup> Dieses Einmischen und Einwandern von Feinstpartikeln ergab in den gefärbten Bereichen durch das Ausfüllen kleinster Hohlräume eine Verdichtung des Gefüges. Die Ritzhärte ist in den gefärbten Bereichen mit 4 Mohs jeweils um eine Einheit höher als in den Bindemittelbereichen aus reinem Kalk.<sup>32</sup>

Außerdem fanden sich weitere Verunreinigungen wie kleinste Kohlepartikel in der Bindemittelmatrix der Putze.

Gefärbte Einschlüsse in Form rötlicher, gelber oder schwarz-bräunlicher Körnchen konnten sowohl in dem Material der Mörtelbecken als auch bei einigen der Putzproben beobachtet werden. Einschlüsse von blauen kantigen Pigmentkörnern (Ägyptisch Blau) und rote Pigmentkörner fanden sich in Poren oder Hohlräumen der Putze.

Die Putzschichten sind gut durchcarbonatisiert. Sie weisen mit einem geringen Gehalt an sichtbaren, meist gut gerundeten Luftporen von durchschnittlich 1 bis 3% relativ dichte bzw. sehr feinporige Gefüge auf.<sup>33</sup> Innerhalb der Putzschichten variiert die Gefügedichte (siehe Abb. 6). Umlagerungen und Rekristallisation von Calciumcarbonat führten zu bereichsweisen Auflockerungen der Bindemittelmatrix, zur Ausheilung von Rissen sowie vereinzelt zur Bildung von Sekundärporen. In feinen Kristallsäumen sind junge, sekundäre Calcitkristalle an den Innenwandun-

gen von Luftporen, Hohlräumen und Rissen auskristallisiert. Die Lagerung des Putzmaterials im nassen Boden des Grabungsareals begünstigte eine solche Carbonatanlösung, -umlagerung und Rekristallisation.<sup>34</sup>

Charakteristisch für die Putze aus Tell el-Dab'a/<sup>c</sup>Ezbet Helmi ist ein hoher Anteil an calcitischen Bindemittelpartikeln (3 bis 10 %). Diese sind in Form von Kalkspatzen und Calcitpartikeln enthalten und grundsätzlich sehr gut in die Bindemittelmatrix eingebettet. Bei den „Kalkspatzen“ (siehe Abb. 7) handelt es sich um unvollständig gelöschte Reste von Branntkalk (Calciumoxid) (siehe dazu Kapitel 4.2). Durch ihre Struktur und eine weiße bis weiß-gelbliche, teilweise natürlich verunreinigte Farbigekeit sind sie in den Putzgefügen leicht von der Bindemittelmatrix abgegrenzt. Als kleine Klümpchen enthalten, haben sie meist eine gerundete bis gut gerundete Form. Ihre Größe variiert von unter 0,25 mm bis 0,63 mm. Ein Nachlöschen von Kalkspatzen in Verbindung mit einer Volumenvergrößerung war in den untersuchten Putzgefügen nicht zu verzeichnen.

Die Calcit-Partikel unterscheiden sich durch ihre Struktur und ihre Farbigekeit von den Kalkspatzen. Als bis zu 2,5 mm große, meist gerundete bis gut gerundete Partikel sind sie in unterschiedlichen Erhaltungsformen und Erscheinungsbildern in den Putzgefügen erhalten (Abb. 8).

Auf Grund der gröberen kristallinen Struktur sowie ihrer gerundeten Kornform kann man davon ausgehen, dass es sich um im Brennprozess nicht vollständig durchgebrannte Kalksteinpartikel handelt.<sup>35</sup> Daher sind sie herstellungstech-

<sup>31</sup> Darin enthaltene Tonmineral- und Eisenbestandteile, vor allem in Form von Eisenhydroxid, sind in alkalisch-wässrigem Milieu leicht löslich. Durch wechselnde Lösungs-, Transport- und Fällungsprozesse können die ton- und eisenhaltigen Bestandteile in die Ränder der lange im nassen Bodenmilieu gelagerten Putzfragmente oder -flächen transportiert und in der Bindemittelmatrix abgeschieden worden sein.

<sup>32</sup> Dieses Phänomen wurde durch Untersuchungen von MIDDENDORF *et al.* 2004 bestätigt. Mörtel mit größerem Feinanteil durch Verwendung ungewaschener Sande wiesen demnach eine höhere Druckfestigkeit auf.

<sup>33</sup> Der Anteil an lichtmikroskopisch sichtbaren Luftporen hängt vor allem von der Konsistenz des verwendeten Bindemittels und dem Feinanteilgehalt ab. Je weniger Wasser aus dem Frischmörtel während der Härtung

verdunsten muss, desto weniger Luftporen bleiben im carbonatisierten festen Mörtel zurück. Durch einen hohen Gehalt an feinen Zuschlagskörnern und Feinstanteilen im Gefüge, wie in den untersuchten Proben gegeben, wird das Wasser feiner verteilt. Siehe auch: MIDDENDORF *et al.* 2004, 27, 29.

<sup>34</sup> Unter dauerhafter Durchfeuchtung kann abgebundenes Calciumcarbonat in kohlen(stoff)saurem Wasser chemisch angelöst werden. Die dabei entstehende Lösung (Calciumhydrogencarbonat) kann durch das Gefüge der Putze transportiert und an anderer Stelle abgeschieden werden. Dort kristallisiert sie als Calciumcarbonat wieder aus.

<sup>35</sup> Bei unzureichender Brenntemperatur und Brenndauer können bei den verwendeten Kalksteinbrocken „im Kern der Stücke (...) die nicht entsäuerten Kalkstein-

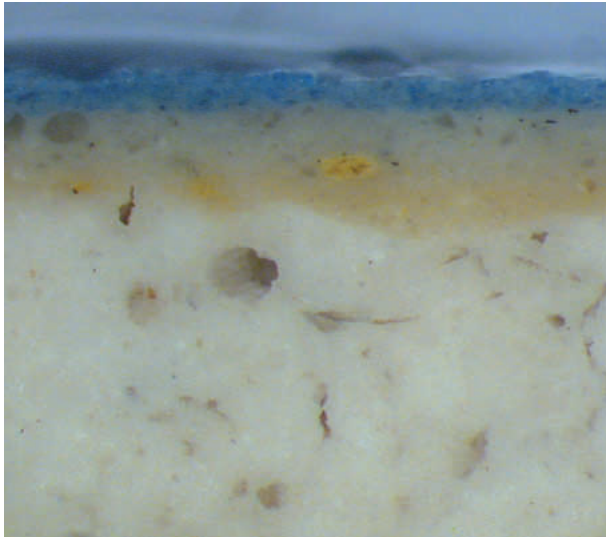


Abb. 15 zweischichtiger Malschichtaufbau, eingebettete gelbe Lasur, Ägyptisch-Blau-Schicht auf der Putzoberfläche, AS (P. 026)



Abb. 16 Inhalt eines Mörtel-Beckens: wechselnde Schichtung aus lehmigem Erdmaterial und Brandkalkkonglomerat (P. 024)

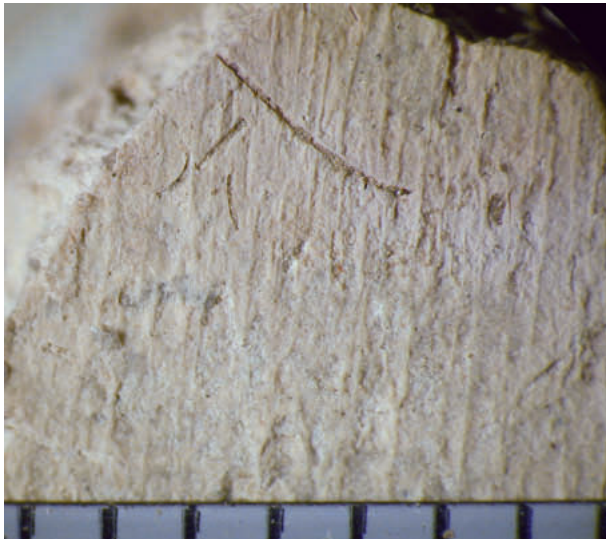


Abb. 17 Glättspuren an der Putzoberfläche (P. 004)

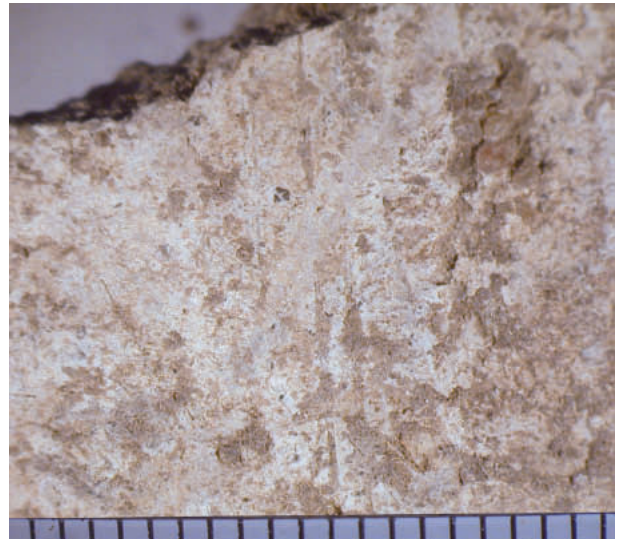


Abb. 18 Borstenstrukturen in der Putzoberfläche (P. 017)

nisch und hinsichtlich der Zusammensetzung zum Bindemittelanteil zu zählen. Nachträglich als Zuschlag zugegebener, zerkleinerter Kalkstein wäre an wesentlich spitzeren Bruchkanten zu erkennen.<sup>36</sup> Partikel, bei denen der Kern noch als kristalliner Calcit vorliegt, der äußere Rand

jedoch aus einer feinen mikritischen Grundmasse besteht, belegen eine Übergangsphase von kristallinen Calcit-Partikeln zu Kalkspatzen bei unvollständiger Durchbrennung. Dieser Befund stützt die These, dass es sich um Primärkörner von zur Bindemittelherstellung verwendeten

herzen in gerundeter Form“ erhalten bleiben. Der Grad der Durchbrennung kann auch von der Lagerung im Brennofen, in dem verschiedene Temperaturzonen mit unterschiedlichen Temperaturen entstehen können, abhängen. Siehe: KNÖFEL 1989, 38.

<sup>36</sup> Dies bestätigte die versuchsweise Zerstampfung einzelner Kalksteinpartikel aus den Mörtelbecken. Das so zerkleinerte Kalksteinmaterial liegt dann in Form von splittigen Kalksteinchips oder scharfkantigen Kalksteinbröckchen vor.

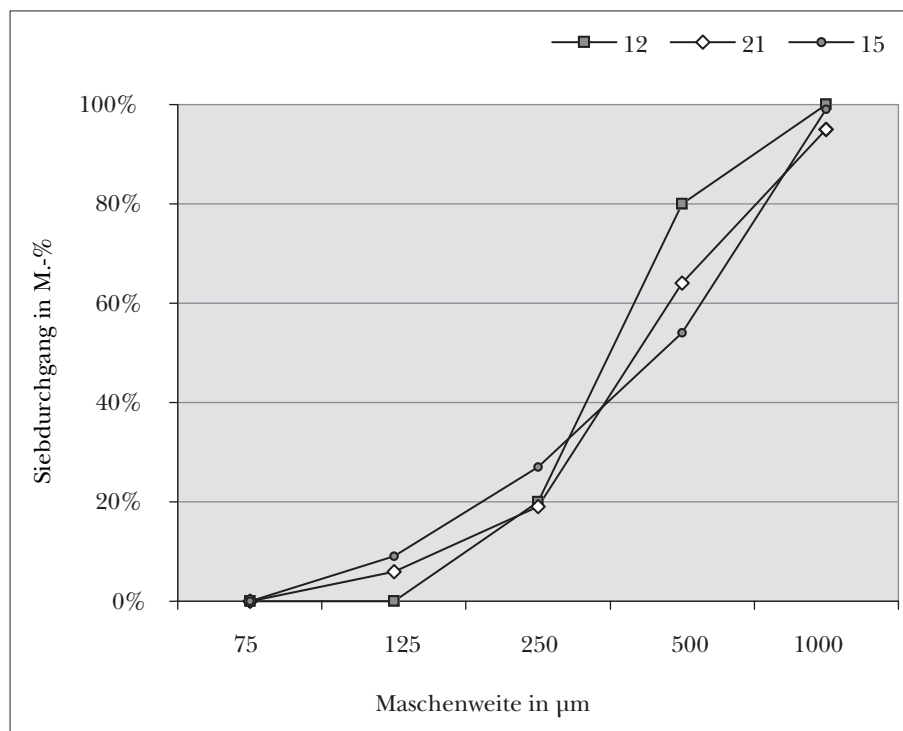


Diagramm 1 Sieblinien (Kornsummenkurven) der säureunlöslichen Zuschläge der Putze mit größtem (P. 015), kleinstem (P. 021) und mittlerem (P. 012) Zuschlag-Bindemittel-Verhältnis

Kalksteinen handelt. Je nach dem Grad der Durchbrennung variiert auch die Farbigkeit von weißlichem Grau-braun bis hellem Gelblich-weiß. Die Calcit-Partikel machen einen großen Anteil des Korngehaltes in den Putzen aus und fungieren dadurch als stabilisierender Zuschlag in den an mineralischem Zuschlag armen Putzgefügen.

Der geringe Gehalt an mineralischen Zuschlägen in den Putzen variiert von 3 bis 4%. Feinste Kornfraktionen im Bereich von 250–75µm dominieren überwiegend die bei der Siebanalyse ermittelten Korngrößenverteilungen. In einigen Putzen überwiegen auch Kornfraktionen im Durchmesser von 250–500µm (Diagramm 1).

Die Zuschläge weisen trotz des teilweise sehr unterschiedlichen Z/B-Verhältnisses ähnliche Korngrößenverteilungen (Sieblinien) auf.

Den Hauptmineralbestand der feinkörnigen mineralischen Zuschläge in den Putzen bilden Quarzkörner, Feldspat und Glimmer. Der überwiegend starke Rundungsgrad der weiß-gelblich, ockerfarbig bis bräunlichen Quarzkörner, teilweise mit Ton- und Eisenhydroxidsäumen, deutet auf einen Anteil an ungewaschenem Flusssand hin. Solche Sande waren sowohl in den aeolischen Ablagerungen der „Géziras“<sup>37</sup> als auch in den alluvialen Sedimenten<sup>38</sup> des Bodenmaterials enthalten und vor Ort verfügbar.

Mit einem vergleichsweise hohen mineralischen Zuschlagsanteil von 22 %, einem Matrix-Partikel-Verhältnis von 70:30 und einer rötlich-bräunlichen Matrixfarbigkeit<sup>39</sup> bildet der Bodenputz aus dem Grabungsareal Khatana (P. 025) eine Ausnahme (siehe Abb. 9). Neben Quarzkör-

<sup>37</sup> Nach DORNER (2001), 11, war das Gelände um Tell el-Dabca zur Zeit des beginnenden Neuen Reiches neben dem verzweigten Flusssystem des Pelusianischen Nilarmes durch die so genannten „Geziras“, eine Anzahl von größeren und kleineren Sandrücken aus gelben und ockerfarbigen Sanden, geprägt.

<sup>38</sup> Durch geologische Untersuchungen im Bereich des nordöstlichen Nildeltas von Van Wesemael konnten

die Hauptbestandteile des Bodens als alluviale Sedimente aus siltigem Lehm und Ton, siltig-tonigem Lehm, sandigem Ton und gröberem Sand mit einem geringen Anteil von Muschelschalen definiert werden. Siehe dazu: VAN WESEMAEL, B. 1988, 126, 128.

<sup>39</sup> Munsell-Werte: HUE 5Y 6/4 Dusky yellow, HUE 10YR 6/6 Dark yellowish orange, HUE 10Y 6/2 Pale olive.

nen, Feldspat und unterschiedlichen Gesteinsfragmenten enthält er eine Zumischung zerkleinerter bis gemahlener gebrannter Keramikscherben oder Lehmziegel.<sup>40</sup> Dieser Befund belegt das Einmischen von puzzolanischen Materialien in den Putz. Die Frage, ob sich dabei hydraulische Phasen gebildet haben bzw. ein hydraulischer Mörtel entstanden ist, konnte bisher noch nicht eindeutig belegt werden.<sup>41</sup>

Durch Anfärbung war es möglich, Kaolinit in dem Putz deutlich nachzuweisen. Dieses beginnt sich bei Temperaturen von 500–600°C zu zersetzen. Das Vorkommen des Tonminerals ist daher ein Hinweis dafür, dass die puzzolanischen Materialien nicht mit dem Kalk gebrannt, sondern bei der Mörtelherstellung mit dem Bindemittel vermischt wurden.

Da keine Wandputze in Verbindung mit dem Bodenfragment gefunden wurden, bleibt die Frage, ob in der Zusammensetzung zwischen Estrich und flächigem Wandputz differenziert wurde, für das Putzmaterial aus Kathana bisher leider ungeklärt.

Ein Hauptbestandteil der Putze ist mit einem Anteil von 5 bis zu 15 % organischer Zuschlag in Form von pflanzlichen Fasern und vermutlich Tierhaaren. Infolge der langen Lagerung im nasen Bodenmilieu sind diese organischen Materialien heute überwiegend verwittert. Vereinzelt blieben organische Relikte erhalten, das Material konnte jedoch nicht eindeutig identifiziert werden (siehe Abb. 10). Anhand von feinen Reliefstrukturen an den Oberflächen, Unterseiten und Bruchkanten der Putzproben sowie der zurückgebliebenen Hohlräume im Putzgefüge konnte der ehemalige Gehalt der organischen Zuschläge dennoch am An- und Dünnschliff nachvollzogen und abgeschätzt werden. Die Abdrücke und die tiefen, im Querschnitt rund bis ovalen oder schmalen länglichen Hohlräume belegen ein Untermischen der organischen Zuschläge in unterschiedlichem

Zustand (Abb. 11). Sowohl ganze Stücke pflanzlicher Stängel oder Halme als auch pflanzliche Fasern waren länger belassen bis zerhäckselt in den Putzen enthalten. Denkbar ist die Zugabe von Getreidestroh und -spreu, Heu sowie Flachs- oder Hanffasern o. ä. Besonders die in vielen Proben beobachteten, weich gebogenen Eindrücke in den geglätteten Putzoberflächen (Abb. 12), die runde bis ovale Querschnittform vieler tiefer Hohlräume (Abb. 7) und ihre Feinheit sprechen für den Zusatz an Haaren z. B. von Nutztieren, neben dem Gehalt an pflanzlichen Fasern. Der hohe Anteil dieser Zuschläge bedeutet eine Armierung direkt im Mörtelgefüge, die u. a. aus der alt-ägyptischen Lehmziegel- und Lehmputzproduktion bekannt ist. Dieser Befund legt die Übernahme von klassischen Elementen der altägyptischen Lehmputztechnik in die Kalkputztechnologie nahe. Die Kohäsion des Mörtelmaterials und die Adhäsionsfähigkeit am Putzträger werden dadurch verbessert. Das Verdunsten des Anmischwassers während der Härtung lässt den Kalkputz im Makrobereich schrumpfen. Dies kann zur Bildung von Schwundrissen im Mörtelgefüge führen. Durch eine Stabilisierung mit organischen Zuschlägen konnte eine solche nachweislich verringert werden. Dies ist ein weiterer Aspekt, der entscheidend zur Stabilität und Beständigkeit der Putze aus 'Ezbet Helmi beigetragen hat.

In einem geringen Anteil von 1 bis 3 % fanden sich Schalentierfragmente unterschiedlicher Spezies in den Putzen. Von vereinzelt Schneckenfragmenten abgesehen, handelte es sich hauptsächlich um Bruchstücke oberflächlich glatter, leicht gebogener Muschelschalen.<sup>42</sup> Auch die Schalentierfragmente sind überwiegend verwittert. Die zurückgebliebenen Hohlräume haben meist eine gebogene, längliche Form mit geradem bis leicht schrägem Abschluss (Abb. 12). Das enthaltene Schalentiermaterial kann sowohl aus dem Erdmaterial der Umgebung stammen<sup>43</sup> als

<sup>40</sup> In einem weiteren Bodenputzfragment aus ähnlichem Mörtelmaterial fanden sich größere Scherbenstücke in den Putz gemischt und teilweise sogar in die Oberfläche eingedrückt.

<sup>41</sup> Ob das hydraulische Potential von eisen- und tonhaltigen Bestandteilen von Keramik-, Ziegel- oder des örtlichen Erdmaterials schon bekannt war und die Zugabe daher bewusst erfolgte, um einen stabileren Bodenmörtel herzustellen, kann nicht definitiv belegt werden.

<sup>42</sup> Die von BRYLSBAERT 2002 erwähnte Verwendung der aus der Mörtelherstellung im ägäischen Raum bekannten Moluskenart „*Murex trunculus* und *Murex brandaris*“ als Zuschlag in den bemalten Putzen von Tell el-Dabca konnte durch diese Untersuchung für die Putze noch nicht belegt werden.

<sup>43</sup> VAN WESEMAEL 1998, S.128 schreibt, dass auch ein geringer Anteil von Muschelschalen in dem Bodenmaterial des Areals um Tell el-Dabca enthalten war.

auch nachträglich zugegeben worden sein. Dass es sich dabei um einen Rückstand aus gebranntem Muschelkalk handelt oder Muschelschalen einzeln mit gebrannt wurden, ist unwahrscheinlich. Durch den Brennvorgang zerfällt das Carbonat von Muschelschalen nachweislich. Charakteristisch ist die waagrecht bis leicht schräg zur Putzoberfläche orientierte Ausrichtung der länglichen Hohlräume sowohl der organischen Zuschläge als auch der Schalentierfragmente (Abb. 13).

Feine Mikrorisse im Gefüge fast aller Proben waren mikroskopisch erfassbar. Die Ausprägung der Risse unterscheidet sich meist klar durch die ehemalige Funktion des jeweiligen beprobten Putzes und ist an der Ausrichtung des Putzträgers orientiert. Bei den Estrichen verlaufen sie waagrecht bis leicht schräg zur Putzoberfläche oder Unterseite, bei Wand und Deckenputzen sind sie tendenziell senkrecht zu diesen ausgeprägt. Diese entstanden offensichtlich vor allem nachträglich, verursacht durch andauernde Quell- und Schrumpfprozesse des Trägers oder durch Kompression der Fragmente in Folge der verstürzten Lagerung unter schweren Erdlasten.

Die Materialien aus den Mörtelbecken konnten als ehemaliges Branntkalk-Konglomerat (P. Abb. 14) und eine ursprüngliche Mischung aus Kalkhydrat und teilweise hydratisiertem Branntkalk mit feinen Carbonatisierungshorizonten (P. 023) identifiziert werden. Im Gegensatz zu den anderen Putzproben weisen sie keine definierbaren bearbeiteten Oberflächen oder ein gleichmäßig durchmischtes Gefüge auf. Es handelt sich um Bindemittelrohmaterial in unterschiedlichem Zustand, das zur Mörtelherstellung weiterverarbeitet werden konnte.

Die aufgeführten materialtechnischen Befunde gelten auch für die Wandputze mit minoischer Wandmalerei. Als besonderes Merkmal weist die gesamte untere Zone des Wandmalereifragments des minoischen Spiralfrieses (P. 026) eine charakteristische, viel dunklere Matrix- und Gefügefärbigkeit auf, die sich aus einem größeren Anteil von Nilschlamm ergibt.

Die Malschicht der Probe 016 ist zweischichtig

aufgebaut (Abb. 15). Auf einer dünnen, mit gelbem Pigment angelegten Lasur, die 1 bis 2 mm unterhalb der Putzoberfläche horizontal angereichert ist, liegt eine blaue Farbschicht. Durch Polarisationsmikroskopie wurde das feinkörnige Pigment als Ägyptisch Blau definiert. Bei dem gelben Pigment handelt es sich scheinbar um einen natürlichen Ocker. Die schwarz-bräunliche Pigmentschicht der Malschicht von Probe 026 ist aus Eisenhydroxiden, Tonmineralen und Pflanzenkohle zusammengesetzt.

#### 4.2 Betrachtungen zur Werk- und Verarbeitungstechnik

Die Herstellungstechnologie hat einen wesentlichen Einfluss auf die Ausprägung der Gefüge von Mörteln und Putzen sowie auf deren Eigenschaften. Die Ergebnisse der Untersuchungen ermöglichen den teilweisen Nachvollzug der Herstellungstechnik der Rohmaterialien sowie der historischen Werktechnik.

##### *Herstellung des Bindemittels*

Der Umfang des bisher ergrabenen Kalkputzbestandes setzt eine sehr umfangreiche Branntkalkherstellung voraus. Kleinste im Bindemittel der untersuchten Putze eingeschlossene Kohlepartikel belegen eindeutig das Brennen des Kalksteinrohmaterials. In Tell el-Dab<sup>c</sup>a wurden bisher jedoch keine Öfen, Gruben o. ä. gefunden, die eindeutig eine Verwendung zum Brennen von Kalk belegen, damit bleibt bisher ungeklärt, in welcher Form Kalk gebrannt wurde.<sup>44</sup>

Welche Art von Kalkstein zur Herstellung der großen Mengen Kalk für die umfangreichen Putzflächen in Tell el-Dab<sup>c</sup>a–Ezbet Helmi verwendet wurde, ist nicht definitiv belegt. Die geologischen Gegebenheiten vor Ort erforderten grundsätzlich die Anlieferung von Kalksteinmaterial.

Größere Kalksteinpartikel, die im Branntkalk-Konglomerat der Mörtelgruben erhalten blieben, belegen aber die Verwendung von unterschiedlichen Kalksteinsorten. Es fanden sich sowohl gelblich-weiße Kalkgesteinpartikel mit einer dichten fein-kristallinen mikritischen Grundmasse (Minimikrit), Partikel eines grau-weißlichen, teil-

<sup>44</sup> Zum Brennen von Kalk wird eine Brenntemperatur von etwa 896–1200°C im Vergleich zum Gipsbrand leicht höheren Brenntemperaturen benötigt. In für die Keramikproduktion oder Metallherstellung ver-

wendeten Öfen konnten solche Temperaturbereiche erreicht werden (siehe NICHOLSON 2000). Ähnliche Öfen sind daher theoretisch auch für die Produktion von gebranntem Kalk denkbar.

weise leicht grünlichen mikrokristallinen Calcits (mit leichtem Magnesiumanteil) sowie eines weißen grobkörnigeren Kalksteins. Kalksteinpartikel mit nummulitischen Foraminiferen belegen außerdem die Verwendung von fossilienreichem Muschelkalk. Das Erscheinungsbild der kristallinen Calcitpartikel in den Putzen entspricht diesen Kalksteinsorten, was bestätigt, dass es sich dabei um primäre Calcitpartikel aus dem Bindemittel handelt. Der nachgewiesene minimale Magnesiumanteil in den Putzproben 017 und 022 deutet außerdem auf die anteilige Verwendung eines dolomitischen Kalkes zur Branntkalk-Herstellung hin. Daneben deutet die partiell ermittelte stärkere Ritzhärte von 4 Mohs u.a. auf die anteilige Verarbeitung von natürlichen hydraulischen Kalken oder Dolomitkalk hin.

#### *Lagerung des Rohmaterials und Mörtelzubereitung*

Die mikroskopische Untersuchung der Materialien aus den Mörtelbecken (P.-Nr. 024, 025) bestätigte eine Lagerung des Bindemittel-Rohmaterials zur Mörtelherstellung in unterschiedlicher Konsistenz. Die Becken befanden sich außerhalb der Palastfriedung am Flussarm, leicht abseits der Baustellen.<sup>45</sup> An einem quadratisch ausgestochenen Stück des Beckens mit Branntkalk-Konglomerat ist eine Art der Lagerung gut abzulesen: Der Lehmmutterboden der ausgehobenen Grube wurde mit mindestens ein bis zwei Lagen Palmrispen ausgelegt.<sup>46</sup> Darauf fand sich grobkörniger gebrannter Kalk abwechselnd mit Lagen aus lehmigem Erdmaterial geschichtet (siehe Abb. 16). Eine solche Abdeckung mit dem verfügbaren Erdmaterial kann verhindern, dass die Branntkalkschichten vorzeitig durch Kontakt mit der Atmosphäre carbonatisieren.<sup>47</sup> Eine solche schichtweise Lagerung von Kalkmaterial und Lehm oder zumeist Sand ist aus verschiedenen Epochen und Kulturkreisen zur Mörtelherstellung im so genannten Trockenlöschverfahren bekannt.<sup>48</sup>

Die Kalkspatzen in den Putzgefügen belegen die Herstellung der Mörtel in einem trockenen

Löschverfahren. Dabei wird dem gebrannten Kalk eine geringe Wassermenge zugegeben, die über den theoretisch zum Hydratisieren des Calciumoxids zu Löschkalk (Calciumhydroxid) nötigen Bedarf nicht wesentlich hinausgeht. So kommt es zu einem ungleichmäßigen Löschen des Branntkalkes, wobei „Kalkspatzen“ in Form kleiner nicht vollständig gelöschter Klümpchen, „dichte mikritischer Areale“<sup>49</sup> entstehen.

Auch die gleichmäßige Carbonatisierung,<sup>50</sup> der geringe sichtbare Luftporenanteil und die geringe Schwundrissausbildung sind charakteristisch für die Herstellung der Mörtel in einem trockenen Löschverfahren mit einer geringen Wassermenge.

Die Weiterverarbeitung des gebrannten Kalkes und die Mörtelzubereitung können auf Grund der Befundlage wie folgt angenommen werden:

- Abtragen der obersten Erdschicht, Aufdeckung des Branntkalkes,
- Zugabe einer geringen Wassermenge zum Löschen der freigelegten Branntkalkschicht,
- nach kurzem Löschen Abtragen des (gebildeten) Kalkhydrates,
- u. U. Umschichtung in ein anderes Becken oder Behältnis, in dem der gelöschte Kalk gelagert oder nochmals durchgemischt wurde,
- Durchmischen des Materials zur Verarbeitung, Zugabe von organischen und u. U. wenigen mineralischen Zuschlägen.

Bei einem derart hohen Bindemittelgehalt, wie ihn die Putze aus 'Ezbet Helmi/Tell el-Dab'a aufwiesen, hängt die Ausprägung der Mörtelgefüge entscheidend von der Art und Weiterbehandlung des gebrannten bzw. gelöschten Kalkes ab. Die Bindemittel-Partikel in den Putzen verdeutlichen, dass durch unterschiedliche Durchbrennung und ungleichmäßiges Löschen des gebrannten Kalkes eine materialspezifische, die Gefügestruktur prägende Kornverteilung entstehen kann. Da die Calcit-Partikel im Branntkalk-Konglomerat erheblich größer sind als jene in

<sup>45</sup> BIETAK und FORSTNER-MÜLLER 2006, 68.

<sup>46</sup> JÁNOSI 2002, 208.

<sup>47</sup> KRAUS, WISSER und KNÖFEL 1989, 208.

<sup>48</sup> Zumeist wurde Brandkalk und Sand mehrlagig aufgeschichtet und anschließend mit Wasser besprengt. Der Sand diente vermischt mit dem gelöschten Kalk als Zuschlag. Siehe KRAUS, WISSER und KNÖFEL 1989, 208.

<sup>49</sup> ARNOLD 2000, 248.

<sup>50</sup> Studien von ELGERT *et al.* 2002 zeigen, dass der Carbonatisierungsprozess bei Mörteln mit frisch gelöschtem, nicht eingesumpftem Kalk gleichmäßig von der Oberfläche in die Tiefe der Mörtelschicht verläuft.

den Putzen, könnten größere Körner vor der Verarbeitung des Mörtels zum Putz entfernt worden sein. Die im Rohmaterial ebenfalls im Vergleich zu den Putzen größeren Kalkspatzen könnten im Zuge der weiteren Verarbeitung zerfallen sein.

Die aufgeführten Lagerbedingungen und die Weiterverarbeitung des Brannt- und Löschkalkes begünstigten das Einmischen von lehmigem Erdmaterial, wie an den rötlich-bräunlich gefärbten Matrixbereichen vieler Putzproben evident ist. Auch die geringen mineralischen Zuschlagsmengen wurden eher versehentlich eingemischt als bewusst zugegeben. Das Einmischen der gesamten Abdeckschicht ist unwahrscheinlich. Wie durch die Nachstellung in eigenen Versuchen nachgewiesen werden konnte, hätte ihre Dimension im Verhältnis zu den Branntkalkschichten einen deutlich höheren Anteil Nilschlamm im Mörtel und damit eine dunklere Mörtelfarbigkeit ergeben.

#### *Antrag und Bearbeitung der Putze*

Die Untersuchung der Ober- und Unterseiten der Putzproben und der Befundstellen auf der Grabung ergab wesentliche Hinweise zum Aufbau der nicht mehr erhaltenen aufgehenden Wandflächen und Decken, über die Anbringung der Putze und deren Bearbeitung.

Der stratigrafische Aufbau ist in den verschiedenen Architekturbereichen unterschiedlich.

Die Negativabdrücke in den Ober- und Unterseiten der untersuchten Deckenputzschichten mit Schichtdicken von 0,8–1,8 cm wiesen den mehrschichtigen Aufbau der Decken nach: Den stabilisierenden inneren Kern der Deckenkonstruktion können hölzerne Deckenbalken gebildet haben. An diesen befestigte man Matten oder Bündel aus pflanzlichen Halmrohren bzw. Pflanzenstielen; an deren Unterseite trug man eine erste Mörtelschicht auf. Ein in diese eingedrücktes feineres Mattengeflecht diente als Armierung und Träger für eine raumseitig sichtbare geglättete Putzschicht.

Die Armierungsmaterialien sind zum Großteil verwittert. Die Formen der Abdrücke deuten auf die Verwendung von Schilfrohr-, Papyrusstängeln oder Palmblättern sowie Palmblätter-Mittelrippen und Palmrispen als Armierungsmaterialien hin – Materialien, deren Verwendung aus anderen Bei-

spielen der altägyptischen Lehmziegelarchitektur zur Deckenkonstruktion und Armierung von Lehmputzen bekannt sind.<sup>51</sup>

Die unbemalten wie auch die bemalten Wandputze (0,8–2,0 cm Schichtdicke) wiesen einen einschichtigen Aufbau auf. Sie wurden direkt auf das Lehmziegelmauerwerk oder auf einen Lehm-Stroh-Putz über dem Mauerwerk angetragen. Aus Lehmziegeln und Lehm-Stroh-Putz oder Nilschlamm vorgeformte Architekturbereiche wie die Dais erhielten ihr Erscheinungsbild erst durch die Modellierung der Unterkonstruktion mit einer Putzschicht.

Die Estriche sowie die modellierten Treppenstufen des Gebäudes L sind aus mehreren zur Oberfläche hin dünner werdenden Putzlagen (mit Schichtdicken von 0,5 mm und 2,9 cm) aufgebaut. Der Putzauftrag erfolgte sowohl auf Sand-, Lehm- oder Nilschlammziegelpflaster als auch direkt auf den zuvor eingeebneten Mutterboden. Stellenweise fungieren nur 0,5–1 mm dünne Putzlagen als Glattschicht zur Herstellung eines ebenen Oberflächenniveaus. Sie unterscheiden sich von den unteren Lagen durch einen etwas geringeren mineralisch und organischen Zuschlagsanteil und eine feinere Körnung. Zwischenlagen aus Nilschlamm und Lehm bilden bei manchen Böden und den Stufen eine Ausgleichsschicht. Dadurch entstand ein ebenes Niveau für den Putzantrag einer neuen Bauphase. In dem Gebäude L konnte die Anputzung eines Estriches an den angrenzenden Wandputz sowie der direkte Übergang von Wandputz in einen Estrich beobachtet werden, diese Befunde belegen dass dem Bauablauf entsprechend von oben nach unten verputzt wurde.

Erhaltene verputzte Eckbereiche von Wand- und Bodenanschlüssen zeigen eine stellenweise sehr exakte Modellierung der Raumecken.

Fast alle Fragmente und erhaltenen Flächen der raumsichtigen Estriche, Wand- und Deckenputze weisen relativ stark geglättete Oberflächen auf. Teilweise makroskopisch im Streiflicht und unter dem Mikroskop sichtbare Strukturen zeigen verschiedene Arten der Bearbeitung des noch frischen Mörtels.

Feine, positiv ausgeprägte, streifige Strukturen an der Oberfläche zeugen von der Glättung der Putze mit einem Spachtel oder ähnlichem Werk-

<sup>51</sup> Siehe KEMP 2000, 93, 94f., fig. 3,8 (b)



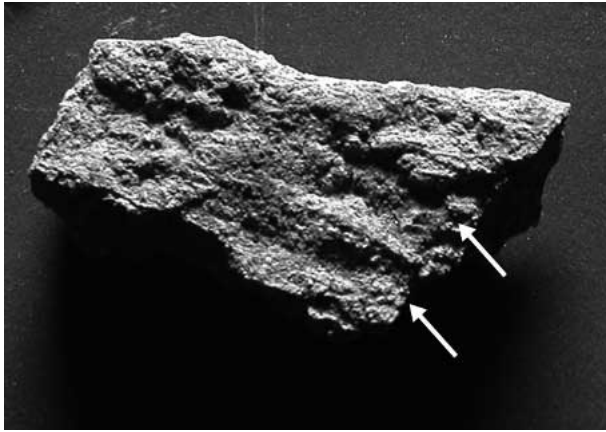


Abb. 19 in die Oberfläche des Putzes eingeprägte Fingerzüge (P. 025) (Bildvorlage 4 cm)

zeug (siehe Abb. 17). Durch das Andrücken und die Verdichtung des Mörtels während des Glättvorganges kann sich Bindemittel an der Oberfläche anreichern; die größeren Zuschläge werden dabei leicht nach unten gedrückt. Mit dem Überstreichen der noch frischen Putzoberfläche mit dem Werkzeug können solche Striemen entstehen. Feine, negativ in die Oberfläche der Deckenputze eingeprägte Borstenstrukturen (siehe Abb. 18) belegen auch das Verstreichen der Oberfläche mit einem borstigen Pinsel<sup>52</sup> o.ä.

Der Bodenputz aus Kathana wurde teilweise mit Fingern angedrückt und verstrichen, wie in die Oberfläche eingeprägte Fingerzüge sehr anschaulich belegen (Abb. 19).

Die Dichte der Putze, u. a. die wenigen sichtbaren Luftporen, deuten auf das Verdichten der Putzschichten über die Glättung hinaus hin. Dies kann durch Stampfen der Mörtelmasse während des Mischprozesses sowie Schlagen oder Stampfen der frischen Putzoberfläche mit entsprechenden Werkzeugen erreicht werden. Die sehr ebenen Unterseiten der Bodenputze weisen auf ein Stampfen hin. Die Wandputze sind im oberen Drittel zur Oberfläche hin ähnlich verdichtet,

weisen aber eine tendenziell größere Porosität auf als die dazugehörigen Bodenmörtel und wesentlich unebenere Unterseiten auf. Diese wurden nach dem Auftrag eher geschlagen.

Nur vereinzelt sind Spuren eines schmalen Werkzeugs an den Putzoberflächen sichtbar. Zur Bearbeitung und Glättung der großen Putzflächen ist daher die Verwendung von breiteren Antragswerkzeugen bzw. Glättspachteln anzunehmen. In Tell el-Dab'a wurde ein steinernes Werkzeug gefunden, das zum Verputzen verwendet wurde. Des Weiteren können Werkzeuge wie Spachtel und Traufeln aus Holz, in der Zeit eher seltener aus Metall, sowie aus Stein für die Ver- und Bearbeitung der Putze zur Anwendung gekommen sein.<sup>53</sup>

Die untersuchten Wandmalereifragmente erlaubten einen beispielhaften Einblick in die angewandte Maltechnik. Die Verwendung einer Mischtechnik von Fresco- und Seccomalerei ist durch die Probe 016 (s.o.) nachgewiesen. Die gelb pigmentierte Lasur unter der blauen Schicht ist zwei Millimeter unter der Putzoberfläche horizontal angereichert. Eine solche calcitische Einbindung auch größerer Pigmentkörner in die Putzschicht ist nur durch den Auftrag des Pigmentes auf die noch feuchte, nicht vollständig abgebundene Putzoberfläche denkbar. Durch Glätten der Oberfläche nach dem Lasurauftrag kann das Pigment derart eingebettet worden sein (siehe dazu Abb. 15). In Seccotechnik wurde das blaue Pigment wahrscheinlich mit einem Bindemittel aufgetragen. Die blaue Pigmentschicht ist nicht carbonatisch in die Putzoberfläche eingebunden und in einer klaren Schichtgrenze von dieser abgegrenzt. Ebenso wurde die schwarz-bräunliche Farbschicht des minoischen Spiralfrieses offensichtlich in einer Seccotechnik aufgetragen. Die partielle Sinterschicht auf der Malschichtoberfläche entstand dem Anschein nach durch eine nachträgliche Sinterschichtbildung.<sup>54</sup>

<sup>52</sup> In GUILLEMETE (ed.) 2002, S 201, fig. 151a–e sind verschiedene Pinsel aus pflanzlichen Fasern abgebildet, mit denen in ägyptischen Gräbern gearbeitet wurde und die in ähnlicher Form zur Verwendung gekommen sein können.

<sup>53</sup> Zu Beispielen von Werkzeugfunden siehe: ENGELBRECHT 1987, 144, Abb. 56; BIETAK 1994 45, Abb. 13; EVELY 1999, 154.

<sup>54</sup> Durch die feuchte Bodenlagerung ist durch zuvor

beschriebene Carbonatumlagerungen auch eine nachträgliche Sinterschichtbildung an den Putzoberflächen möglich. So können nachträglich Malschichten bzw. Pigmente calcitisch eingebunden werden, ohne dass es sich um einen frescalen Auftrag der Pigmente handelte. Dies muss bei archäologischen Wandmalereien, die in feuchtem Boden lagerten, bei der Befundinterpretation hinsichtlich der verwendeten Maltechnik bedacht werden.

### 4.3 Differenzierung und Kategorisierung der Putze

Sowohl in der Zusammensetzung als auch in der Ausprägung optischer Parameter wiesen die Putzproben eine große Ähnlichkeit untereinander auf. Dies erschwerte die Zuordnung von verstürzten Fragmenten zu ihrer ursprünglichen Funktion.

Eigenschaften und optische Merkmale, in denen sich die in situ vorgefundenen Estriche, Wand- und Deckenputze etwas unterscheiden, halfen, die verstürzten Fragmente ihrer ursprünglichen technischen Funktion zuzuordnen. Neben charakteristischen Oberflächenstrukturen wie den Abdrücken der Armierungsmaterialien der Deckenputze (siehe Abb. 2) oder den angedrückten ebenen Unterseiten der Bodenputze kann die an dem Putzträger orientierte Mikrorissausbildung ein Unterscheidungsmerkmal darstellen.<sup>55</sup>

Der hyksoszeitliche Estrich aus Khatana stellt durch seine andersartige Zusammensetzung momentan ein Einzelbeispiel für ein wahrscheinlich hydraulisches Putzmaterial einer älteren Grabungsebene dar. Der Schluss, dass in dieser früheren Zeit die Putze grundsätzlich anders zusammengesetzt sind, kann auf Grund mangelnder Vergleichsmaterialien noch nicht gezogen werden.

Die Zusammensetzung und Gefügestrukturen der tuthmosidischen Putze sind grundsätzlich ähnlich. Die in dem Gebäude L in situ, innerhalb eines Raumes gefundenen Putze oder die verstürzten Fragmente aus dem Bereich des Palastes G, die innerhalb eines Lokus bzw. einer Grabungsebene gefunden wurden, sind jeweils materialtechnisch als Einheit zu betrachten. Den Ergebnissen dieser Untersuchung nach unterscheidet sich die Zusammensetzung der Putze aus Palastarchitektur und öffentlichen Gebäuden nicht.

Auch eine bewusste Variation in der Zusammensetzung der Putze je nach Funktion als Estrich, modellierter Bereich, an Wänden oder Decken konnte nicht belegt werden. Innerhalb eines Raumes bzw. eines Gebäudekomplexes

wurde dasselbe Mörtelmaterial für alle zu verputzenden Flächen verwendet. Inhomogenitäten und leichte Variationen können durch das Nachmischen von Mörtel entstanden sein, da vermutlich nicht nach einer strengen Rezeptur gemischt wurde. Die Anlage der Mörtelbecken zur Materiallagerung bestätigt ein Verarbeiten desselben Mörtelmaterials in größeren Mengen.

Auf Grund der Materialbeschaffenheit des Branntkalk-Konglomerats sowie des Löschkalkes ist eine Herstellung der Putze aus dem Material der gefundenen oder ähnlicher Mörtelgruben realistisch.

Die vorhandenen Pigmenteinschlüsse sowohl in dem calcitischen Rohmaterial der Mörtelgruben als auch in den bemalten und unbemalten Putzproben sind ein weiterer Hinweis darauf. Außerdem können sie als weiterer Befund dafür gewertet werden, dass bemalte und unbemalte Putze teilweise in einem baulichen Zusammenhang gestanden haben.

Es wurde auch festgestellt, dass die bemalten Putze aus demselben Rohmaterial wie die unbemalten Putze hergestellt worden sein können. Die nachgewiesene materialtechnische Ähnlichkeit der Wandmalereifragmente<sup>56</sup> mit den unbemalten Putzen bestätigte die Verwendung desselben bzw. ähnlichen Mörtelmaterials. Ob der ermittelte, in den Wandmalereifragmenten um ein Prozent geringere Anteil an mineralischen und organischen Zuschlägen eine bewusste Differenzierung in der Zusammensetzung bedeutet, ist nicht nachvollziehbar.

Die Differenzierung repräsentativer und einfacherer Räumlichkeiten bzw. Gebäudekomplexe spiegelt sich nicht in der Zusammensetzung der Putze wieder, sondern in erster Linie in deren Oberflächengestaltung. Bei den bemalten Putzen ist z. B. teilweise eine tendenziell stärkere Glättung der Oberfläche zu verzeichnen. Die Wandmalerei fungierte als Aufwertung der Putzschicht, mit der in erster Linie bedeutende Architekturbereiche geschmückt wurden. Unterschiede im stratigrafischen Aufbau<sup>57</sup> zwischen bemalten Putzen

<sup>55</sup> Da je nach Schüttlage der verstürzten Fragmente theoretisch eine Ausbildung unterschiedlicher Risse möglich war, ist eine Zuordnung allein auf dieser Grundlage nicht ausreichend.

<sup>56</sup> Die Veröffentlichung weiterer Ergebnisse der Untersuchung von Wandmalereifragmenten aus Tell el-Dab'a von

A. Brysbaert steht noch aus und wird weiteren Aufschluss über die Zusammensetzung dieser geben können.

<sup>57</sup> SEEBER 1997, 26 bestätigte, dass die minoischen Wandmalereien z. T. einen sehr komplexen mehrschichtigen Aufbau aufwiesen. Bis zu drei Putzlagen ergaben Schichtpakete von zu bis 15–20 cm.

und unbemalten Putzflächen ist für den untersuchten Bestand nicht zu verzeichnen.

## 5 RESÜMEE DER UNTERSUCHUNG

Durch die vorgestellten Methoden der Mörtelanalyse ließ sich in dem der Grabung in Tell el-Dab'a angegliederten Labor eine Vielzahl von Ergebnissen gewinnen. Ein Vorteil der angewandten Methoden besteht darin, dass die Ergebnisse ohne lange Wartezeiten erbracht werden können. Dies ermöglicht noch im Verlauf der Grabung Klarheit über die chemisch-mineralogische Zusammensetzung des originalen Putz- und Mörtelbestandes sowie wissenschaftliche Erkenntnisse zur historischen Werktechnik und Kunsttechnologie, die eine wichtige Ergänzung zu den Grabungsergebnissen darstellen .

Erst durch die vergleichende Mörtelanalyse ist eine Charakterisierung des Putzbestandes in seinen individuellen Ausprägungen, ein verlässlicher Vergleich von verschiedenen Putzfragmenten und Mörtelmaterialien sowie eine Zuordnung von verstürzt gefundenen Fragmenten zu ihrer ursprünglichen Funktion überhaupt möglich. Durch den Herstellungsprozess bedingte Phänomene sowie lagerungs- und witterungsbedingte Veränderungen des originalen Materials, die den aktuellen Erhaltungszustand prägen, können bestimmt werden.

Der Vergleich von Mörteln und Putzen an Anschliff- oder Dünnschliffproben ist auf Grund ihrer Anschaulichkeit für die Praxis sinnvoll. Die präparierten Probekörper können in Zukunft als Vergleichsbeispiele für weitere Putz- oder Mörtelproben dienen. Die digitale Sammlung der Ergebnisse auf Datenblättern ermöglicht den Aufbau einer Mörteldatenbank in der die Ergebnisse und Informationen vergleichbar sind. Die in dieser Arbeit durchgeführten Methoden der Mörtelanalytik erscheinen in gleicher oder ähnlicher Form auch auf andere ägyptologische und archäologische Grabungen übertragbar, an denen sich Fragestellungen zum erhaltenen Putz- und Mörtelbestand ergeben, wie auch zur Analyse von Lehm- Putzen und -ziegeln. Die Wichtigkeit einzelner Parameter muss dabei für jedes Objekt neu definiert werden.

Die Ergebnisse können direkt in die Entwicklung von geeigneten Konservierungsmethoden

und -techniken vor Ort einfließen. Parallel zu laufenden Konservierungsarbeiten bieten sie zum einen Hilfestellung bei der Aufklärung von Schadensmechanismen und ermöglichen zum anderen, die Konservierungsmaterialien und konservatorischen Methoden optimal auf den originalen Bestand abzustimmen. Dies gilt z. B. bei Festigungen, der Zusammenstellung von Konservierungsmörteln zur Kittung von Fehlstellen im Putz oder geeigneten Klebmörteln zum Zusammenfügen von Fragmenten.

Die Mörtelanalyse kann zwar keine naturwissenschaftliche Datierung im eigentlichen Sinne liefern,<sup>58</sup> ermöglicht aber die Sammlung von Vergleichsdaten, die für die Untersuchung weiteren Materials zur Verfügung stehen können. Die naturwissenschaftlichen Mörteluntersuchungen sollten daher immer mit der Ermittlung der Putzphasenfolge auf der Grabung einhergehen. So kann eine zeitliche Einordnung vorgenommen und die Entwicklung der Mörtel- und Putztechnik untersucht werden. Neben einem Beitrag zur Bauforschung ermöglicht die Befunduntersuchung in situ die Dokumentation von Befunden, bevor diese durch das Fortschreiten der Grabung verloren gehen können.

Grundsätzlich ist eine breitere Forschung auf dem Gebiet der altägyptischen Mörtel- und Putztechnologie, nicht beschränkt auf die Kalkputztechnik und die Bereitstellung der Ergebnisse, wünschenswert.

Die vielfältigen Ergebnisse dieser Arbeit verdeutlichen, wie umfangreich der Informationsgewinn der Untersuchung unbemalter Putze sein kann. In der Erfassung des originalen Putzbestandes und der historischen Werktechnik einer Grabung sind sie aus konservatorischer und kunsttechnologischer Sicht nicht zu vernachlässigen.

## Danksagung

Mein herzlicher Dank gilt Prof. Dr. M. Bietak und Dr. I. Forstner-Müller. Durch deren freundliche Erlaubnis war es möglich, das Grabungsteam im Herbst 2005 sowie im Frühjahr 2006 auf die Grabung zu begleiten. Der Beitrag beruht auf der Seminararbeit der Verfasserin im Studiengang Kunsttechnologie, Konservierung und Restaurierung von historischem Kunst- und Kulturgut, im Fachbereich Wandmalerei und Architekturfarbig-

<sup>58</sup> ARNOLD 2000, 255.

keit an der HfBK Dresden. Ebenfalls danken möchte ich den Betreuern der Arbeit Prof. H. Leitner sowie Prof. Dr. C. Herm und Mag. R. Seiber. Außerdem sei Dr. S. Hoblyn, Dipl. Rest. A. Dähne und Dr. H. Siedel für ihre Hilfe gedankt,

sowie Dipl. Rest. R. Lenz für die in einem Seminar an der HfBK Dresden vermittelten Techniken der Mörtelanalyse. Abschließend möchte ich mich bei dem Team der Grabung für die gute Zusammenarbeit bedanken.

## Bibliographie

- ASLANIDOU, K.  
1992 Der minoische Spiralfries aus dem Grabungsareal H/IV in Tell el Dab<sup>c</sup>a, Malvorgang und Rekonstruktion, *Ä&L* 12, 13–27.
- ARNOLD, B.  
200 Probleme der Datierung mit Putzen und Mörteln, 244–256, in: D. SCHUMANN (Hg.), *Bauforschung und Archäologie: Stadt- und Siedlungsentwicklung im Spiegel der Baustrukturen*, Berlin.
- BECKER, T. und HERM, C.  
2000 Technologische Untersuchungsmethoden, *Zeitschrift für schweizerische Archäologie und Kunstgeschichte* 57, 193–195.
- BIETAK, M., DORNER und JÁNOSI, P.  
2001, Ausgrabung in dem Palastbezirk von Avaris, Vorbericht Tell el Dab<sup>c</sup>a/<sup>c</sup>Ezbet Helmi 1993–2000, mit einem Beitrag von A. von den Driesch und Joris Peters, *Ä&L* 11, 27–119.
- BIETAK, M. und FORSTNER-MÜLLER, I.  
2003 Ausgrabungen in dem Palastbezirk von Avaris. Vorbericht Tell el Dab<sup>c</sup>a, Areas H/III und H/VI, *Ä&L* 13, 39–50.
- BIETAK, M.  
1994 Die Wandmalereien aus Tell el Dab<sup>c</sup>a/<sup>c</sup>Ezbet Helmi – Erste Eindrücke, *Ä&L* 4, 44–69.  
2005 The Setting of the Minoan Wall Paintings at Avaris, 81–90, in MORGAN, L. (ed.) *Aegean Wall Painting. A Tribute to Marc Cameron*, London.
- BIETAK, M. und FORSTNER-MÜLLER, I.  
2006 Ausgrabung eines Palastbezirkes der Tuthmosidenzeit bei <sup>c</sup>Ezbet Helmi/Tel el Dab<sup>c</sup>a. Vorbericht für Herbst 2004 und Frühjahr 2005, *Ä&L* 14, 65–100.
- BRYBAERT, A.  
20002 Common Craftsmanship in the Aegean and East Mediterranean Bronze Age: Preliminary Technological Evidence with Emphasis on the Painted Plaster from Tell el-Dab<sup>c</sup>a, Egypt, *Ä&L* 12, 95–107.
- BORELLI, E. und LAURENZI TABASSO, M.  
1996 Which Binder for the Egyptian Plasters of the Pharaohs' Monuments, 1447–1455, in: RIEDERER, J. *Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, vol. 3, Berlin.
- CASADIO, F., CHIARI, G. und SIMON, S.  
2005 Evaluation of Binder/Aggregate Ratios in Archaeological Lime Mortars with Carbonate Aggregate: A Comparative Assessment of Chemical, Mechanical and Microscopic Approaches, *Archeometry* 47, 667–689.
- CLARKE, S. und ENGELBACH, R.  
1990 *Ancient Egyptian Construction and Architecture*, Dover, New York.
- DORNER, J.  
1994 Ergebnis der Geländeuntersuchungen zur Rekonstruktion der historischen Topographie von Auaris und Piramisse – ein Vorbericht, *Ä&L* 4, 11–14.
- ELGERT, K., CAZALLA, O., RODRIGUEZ, C., HANSEN, E. und SEBASTIAN, E.  
2002 Über das Einsumpfen von Kalk. Warum sind historische Kalkmörtel so unterschiedlich erhalten?, *Restaurio* 7/2002, 502–508.
- EL GORESY, A.  
2000 Polychromatic Wall painting Decorations in Monuments of Pharaonic Egypt: Compositions, Chronology and Painting Techniques, 49–70, in: SHERRAT, S. (ed.) *The Wall Paintings of Thera*. Proceedings of the First International Symposium, Petros M. Nomikos Conference Centre, Thera, Hellas. 30 August–4 September 1997, Piräus.
- ENGELBRECHT, A. (Hg.)  
1987 *Ägyptens Aufstieg zur Weltmacht*, Katalog zur gleichnamigen Ausstellung, Roemer- und Pelizaeus-Museum Hildesheim, Mainz.
- EVELY, D.  
1999 *Fresco: A Passport into the Past. Minoan Crete Through the Eyes of Marc Cameron*, Athens.
- FÜCHTBAUER, H.  
1998 *Sedimente und Sedimentgesteine*, Stuttgart.
- GUILLEMETE, A. (Hg.)  
2002 *Les artistes de Pharaon. Deir e-Medineh et la Vallée des Rois*, Turnhout.

- JÁNOSI, P.  
2002 Bericht über die im Frühjahr 2001 erfolgten Sondagen im Dorf 'Ezbet Helmi (Grabungsfläche H/I), *Ä&L* 12, 195–210.
- JASMUND, K. und LAGALY, G.  
1993 *Tone und Tonminerale: Struktur, Eigenschaften, Anwendungen und Einsatz in Industrie und Umwelt*, Darmstadt.
- JONES, R.E. with an appendix by PHOTOS-JONES, E.  
2005 Technical Studies of Aegean Bronze Age Wall Painting: Methods, Results and Future Prospects, 198–228, in: L. MORGAN (ed.), *Aegean Wall Painting. A Tribute to Marc Cameron*, London.
- KEMP, B.  
2000 Soil (including mud-brick architecture), 78–104, in: P.T. NICHOLSON and I. SHAW, *Ancient Egyptian Materials and Technology*, Cambridge.
- KNÖFEL, D.  
1989 Ergebnisse chemischer und mineralogischer Untersuchungen von Gesteinsbohrkernen und Proben historischer Mörtel, 38–43, in: *Sonderausgabe Bautenschutz und Bausanierung*, Köln
- KOENSLER, W.  
1989 *Sand und Kies*, Stuttgart.
- KRAUS, K., WISSER, S. und KNÖFEL, D.  
1989 Über das Löschen von Kalk vor der Mitte des 18. Jahrhunderts – Literaturlauswertung und Laborversuche, *Arbeitsblätter für Restauratoren* Nr.1/1989 (Gruppe 6, Stein), 206–221.
- LANGBEIN, R., HELMUT, P., SCHWAHN, H.-J.  
1982 *Karbonat- und Sulfatgesteine; Kalkstein – Dolomit – Magnesit – Gips – Anhydrit*, Leipzig.
- LENZ, R.  
1999 *Möglichkeiten und Grenzen der vergleichenden Mörtelanalyse an mittelalterlichen Gipsmörteln*, unveröffentlichte Seminararbeit an der Hochschule für Bildende Künste Dresden.
- MIDDENDORF, B., KRAUS, K., OTT, C.  
2004 Einfluss der puzzolanischen Komponenten natürlicher Sande für die Bewertung des säurelöslichen SiO<sub>2</sub>-Gehalts bei chemisch-mineralogischen Analysen historischer Mörtel, *Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen* 10, No. 1, 17–36.
- NICOLSON, P.T. und SHAW, I.  
2000 *Ancient Egyptian Materials and Technology*, Cambridge.
- SEEBER, R.  
2000 The Technique of the plaster preparation for the minoan wall paintings in Tell el Dab'a/ Egypt – Preliminary Results, 25–32, in: S. SHERRAT (ed.) *The Wall paintings of Thera*. Proceedings of the First International Symposium, Petros M. Nomi-kos Conference Centre, Thera, Hellas. 30 August–4 September 1997, vol. 2, Section E, Piräus.
- TRÖGER, W.E.  
1969 *Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale*, Teil 2, Textband, Stuttgart.
- TUCKER, M.E.  
1996 *Methoden der Sedimentologie*, Stuttgart.
- VERHOEF, L.G. und WITTMAN, F.H.  
1988 The Relation Between Natural Landscape and Distribution of Archaeological Remains in the Northeastern Nile Delta, 125–129, in: VAN DEN BRINK, E.C.M. (Hrsg.), *The Archeology of the Nile Delta: Problems and Priorities*, Amsterdam.
- WARNE, S.ST.J.  
1962 A Quick Field or Laboratory Staining Scheme for the Differentiation of the Major Carbonat Minerals, *Journal Of Sedimentary Petrology* 32, 29–38,
- WISSER, S. und KNÖFEL, D.  
1987 Untersuchungen an historischen Putz- und Mauermörteln, Teil 1: Analysegang, *Bautenschutz und Bausanierung* 10, Nr. 3; 4.6

