

### *Betreuung der Handwerker*

Ein Teil der Aufgabe der restauratorischen Fachbauleitung an der Kurfürstlichen Burg in Boppard war die Begleitung der handwerklichen Arbeit. Dazu gehörte, darauf zu achten, dass Farbtöne und Oberflächen dem Befund so weit wie möglich angenähert werden. Beispiele mit historischen Materialien und im Vergleich dazu mit handelsüblichen Produkten hergestellte Muster wurden der Baukommission zur Beurteilung und Entscheidung erläutert (Abb. 9 u. 10). Einen Schwerpunkt bildete die Wiederherstellung der Kölner Decken in historischer Technik. Hier waren verschiedene Versuche notwendig, bis sowohl ein tragfähiger Untergrund geschaffen war, als auch die ergänzten Profile sauber an die erhaltenen angeschlossen.

In diesen Räumen fällt durch die großen barocken Fensteröffnungen Streiflicht auf die Decken, sodass das Relief der bis zu zwanzig Schichten späterer Anstriche die ursprüngliche Profilierung verunklärte. Daher wurde entschieden, die Anstrichschichten so weit wie möglich zu entfernen. Die Fehlstellen in den Decken wurden entsprechend der historischen Vorlage mit Stakhölzern, Lehmstrohputz und einem Kalkputz geschlossen.

Die Profile wurden händisch mit Hilfe von seitlichen Anschlagleisten oder – wie im Raum 222 – über eine Holzlehre vor Ort aus Gips gezogen. Abschließend wurden die Oberflächen mit Kalkfarbe und Bürste im Kreuzschlag getüncht.

Die Ergänzung der vielen fehlenden Stuckverzierungen der Decken bedurfte einiger Versuche, bis die Übergänge von neuen Stuckprofilen zu bauzeitlichen nahezu nicht mehr sichtbar waren (Abb. 11–14).

### *Anmerkung*

<sup>1</sup> Hans Michael Hangleiter/Elisabeth Jägers/Erhard Jägers, Flüchtige Bindemittel. In: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, 1995/2, S. 385–392.

## **Naturwissenschaftliche Untersuchungen an den historischen Putz- und Mauermörteln sowie den jüngeren Reparaturphasen der Burg in Boppard**

### **Einleitung**

Die Kurfürstliche Burg in Boppard ist „nah am Wasser gebaut“, entsprechend unterliegt sie vor allem in den Sockelzonen durch wiederkehrende Hochwasserstände einer starken Wechselbelastung mit Durchfeuchtungs- und Austrocknungszeiten und korrespondierenden Salztransportprozessen. In der Folge wurden umlaufend Reparaturen im Sockelbereich ausgeführt, die sowohl den Putzmörtel als auch eine Farbauffrischung umfassten (Abb. 1). Aber auch die aufgehenden Wandflächen von Bergfried und Seitenflügeln sind nicht mehr im Originalzustand; sie wurden über die Jahre durch einen kompletten Putzneuauftrag bzw. eine Überputzung ersetzt.

Im Zusammenhang mit den anstehenden Sanierungsarbeiten innerhalb der Burganlage war es von großem Interesse, sowohl die historischen Mörtelsysteme (Mauer- bzw. Setzmörtel, Fugenmörtel, Putzmörtel) als auch die jüngeren Putzanträge naturwissenschaftlich eingehend auf ihre Zusammensetzung hin zu untersuchen. Besonders mit Hinblick auf vorhandene neuerliche Schadensbilder (s. u.)

oder ungünstige Wechselreaktionen zwischen altem und neuem Mörtelmaterial, aber auch hinsichtlich der Auswahl geeigneter neuer Putzsysteme sollten daher seitens des Instituts für Steinkonservierung (IFS) von ausgewählten Bauabschnitten Problemmaterialien genommen und nachfolgend labortechnisch ausgewertet werden. Eine exemplarische Beprobung und vergleichende Begutachtung erfolgte im Außenbereich von Bergfried und Seitenflügeln, aber auch ergänzend im Innenbereich, vor allem innerhalb geschädigter Räumlichkeiten der erdbetriebenen Geschosse.

Die Ergebnisse zu den verschiedenen Putzsystemen, zu einer vorhandenen Salzbelastung und zu auftretenden Schadensprozessen werden nachfolgend präsentiert. Ausgehend von diesen Grundlagen wurden Anforderungsprofile an neu aufzubringende Putzsysteme oder restauratorisch-konservatorische Konzepte gestellt, die abschließend in den verschiedenen Bauabschnitten umgesetzt werden konnten.

*Abb. 1. Erneuerter Putz und Farbauffrischung im dauerbelasteten und geschädigten Sockelbereich (Foto: Verf.).*





Abb. 2. Spannungsrisse im jüngeren Putzaufbau des Bergfrieds (Foto: Verf.).



Abb. 3. Vom Unterputz abgelöster Glättputz am Bergfried (Foto: Verf.).

### Mörteluntersuchungen am Bergfried

Das originale Mauerwerk des Bergfrieds besteht im Wesentlichen aus schiefrigem Tonstein bzw. Tonschiefer (Grauwacke, schiefrige Grauwacke). Bei einer späteren Umbauphase wurde der oberste Bereich dagegen aus Eifeler Tuffstein errichtet. Vor der Restaurierung, wie wir sie heute sehen, überdeckte ein Putz aus den 1970er-Jahren vollflächig die historischen Baumaterialien, sodass Einblicke in tiefer liegende Schichten lediglich über Freilegungsmuster oder abgewitterte Fehlstellen möglich waren.

Die Überputzung basierte auf einem Kalk-Zement-Mörtel von graubrauner Farbe im Unterputz, darüber war ein dünn aufgezogener Deck- bzw. Glättputz in Technik eines Kellenwurfputzes aufgebracht. Ausgehend von einer recht hohen Festigkeit sowie der handwerklichen Verarbeitung mit starker Verdichtung der Oberfläche im Deckputz entstanden Spannungen, die in typischen Rissmustern

und teilweisen Hohlstellen resultierten (Abb. 2). Der Deckputz löste sich schollenartig vom Unterputz ab (Abb. 3; vgl. Dünnschliffmikroskopie und Schadensentwicklung wie für die Seitenflügel beschrieben). Aber auch zahlreiche Abschnitte mit grundsätzlich mangelhaft ausgeführten Reparaturen oder einer ungenügenden Anbindung von Putz zu Mauerwerk sowie einer verstärkten Feuchteansammlung hinter dem Putz im Bereich des feuchtesensiblen Tuffsteinmauerwerks veranlassten eine Abnahme des vorhandenen Putzsystems mit nachfolgender Neuverputzung.

Von unterschiedlichen Stellen des Bergfrieds wurden historische Kalkputze bzw. Mörtel naturwissenschaftlich untersucht. Nachfolgende Proben konnten entsprechenden Örtlichkeiten und Altern zugeordnet werden. Die Mörtelproben wurden durch die Restauratorin Karin Keller entnommen, zugeordnet und abschließend übermittelt:

- Probe 1 (IFS intern M 3034-1): Raum 216 Nordwand, Nordflügel, Dachgeschoss, Mörtel (Gerüstholz auf 1265 datiert): zu geringe Masse, keine Mörtelanalytik möglich.
- Probe 2 (M 3035-2): Südwand, unterhalb der Kragbogen, Setzmörtel (Gerüstholz auf 1329 datiert).
- Probe 3 (M 3036-3): Raum 216 Nordwand, Nordflügel, Dachgeschoss, Sichtputz der Fassade (vermutlich 1265).
- Probe 4 (M 3037-4): Raum 216 Nordwestecke des Bergfrieds, Nordflügel, Dachgeschoss, Fugenmörtel (1265).
- Probe 5 (M 3038-5): Raum 212, Nordwand Wandputz des Wappens.
- Probe 6 (M 3039-6): Ostseite, Bereich der Kragbogen, Fugenmörtel = Wandputz (1329).

Tabelle 1. Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis, Hydraulefaktor und Mg-Anteil der Mörtel vom Bergfried.

Proben-Nr.	Bindemittel [M. %]	Verhältnis B/Z 1:	SiO <sub>2</sub> -Gehalt [M. %]	SiO <sub>2</sub> -Gehalt/B [M. %]	Mg-Gehalt [M. %]	Mg-Gehalt/B [M. %]
M 3035-2	39,67	1,5	0,27	0,69	7,28	18,35
M 3036-3	32,56	2,1	0,93	2,85	1,12	3,44
M 3037-4	40,42	1,5	0,78	1,93	0,58	1,43
M 3038-5	27,81	2,6	1,18	4,24	0,55	1,98
M 3039-6	26,16	2,8	1,12	4,28	0,59	2,26



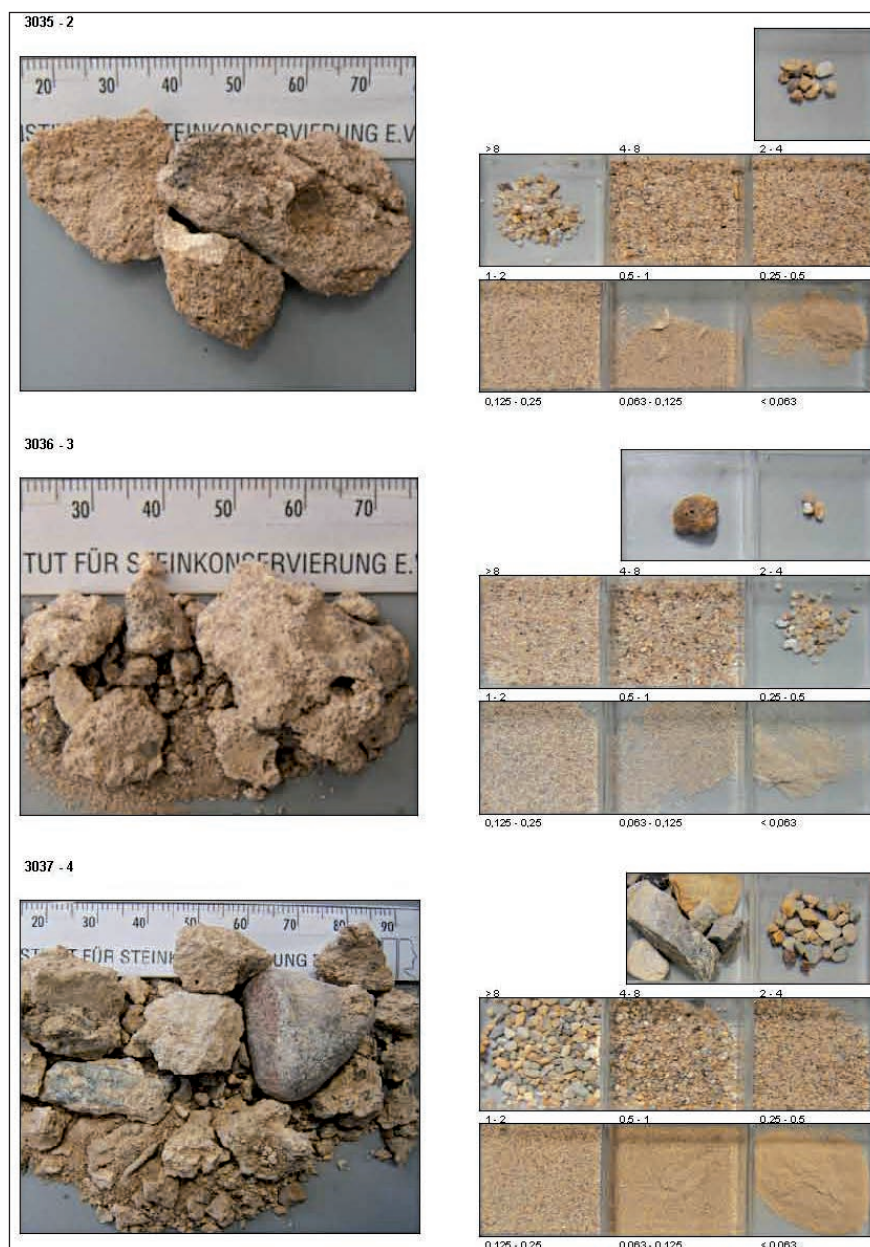


Abb. 4a. Die untersuchten historischen Mörtel und deren Sandmischung M 3035-2 bis M 3035-4 (Fotos: IFS/Verf.).

Abbildungen 4a und 4b zeigen die untersuchten Mörteltypen sowie die dazugehörige ausgesiebte Sandmischung nach Bindemittelauflösung. Insgesamt sind die Mörtel von der Optik her sehr ähnlich, was durch die jeweilige Mörtelmischung aus kalkigem Bindemittel und Rheinsand definiert ist; alle Mörtel enthalten die typischen Kalkspatzen (größerer weißer Kalkspatz bei Probe 2). Die Sandmischung ist nahezu identisch. Die Korngröße reicht bis 4 mm Durchmesser, z. T. ist Überkorn bis max. 8 mm enthalten (natürliche Heterogenität eines Flusssandes); lediglich Probe 4 (Fugenmörtel) sticht mit zusätzlichem Anteil großer Kiesel > 2 cm heraus.

Die jeweilige Bindemittelart und das Mischungsverhältnis sind in Tabelle 1 abzulesen. Hiernach handelt es sich bei den Proben 3 bis 6 um Kalkmörtel mit nur geringen Anteilen hydraulischer Komponenten (analysiert als säurelösliches  $\text{SiO}_2$  im Bindemittel). Die Probe 2 zeichnet sich dagegen durch einen erhöhten Gehalt von Dolomit im Bindemittel (18,35 M.%) aus (Dolomitmalk, Mg-Komponente). In Abhängigkeit von der regionalen Geologie waren die historisch verfügbaren Kalksteinvorkommen (z. B. das Mainzer Becken mit Tertiärkalken) alle mehr oder weniger mergelig (tonmineralisch) durchsetzt; hierdurch lassen sich die Anteile an

hydraulischen Komponenten durchaus erklären. Je nach Abbauort oder Gesteinsschicht verändern sich somit auch die Mörtel von rein kalkig bis leicht natürlich hydraulisch. Die deutlich erhöhten Dolomitgehalte lassen sich jedoch nicht unbedingt mit der natürlichen Heterogenität der Rohstoffe erklären, eventuell liegen hier andere Rohstoffliefergebiete zugrunde.

Das Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis schwankt von 1:1,5 bis 1:2,8, somit verdeutlichen sich einige Mörtel durch eine sehr bindemittelreiche Mischung. Gewisse Unregelmäßigkeiten bzw. Messungenauigkeiten kommen jedoch auch durch die in unterschiedlichem Maße enthaltenen Kalkspatzen (als kalkiges Bindemittel analysiert) zustande.

Die Sieblinien und die anteilmäßigen Kornverteilungen sind in Abb. 5 u. 6 aufgezeigt, auch hier springt Probe 4 durch die enthaltenen großen Kiesel aus der Menge heraus.

### Mörteluntersuchungen an den Seitenflügeln – Westflügel

Im Bereich des Giebels am Westflügel sind historische Mörteltypen erhalten geblieben. Seitens IFS wurden die übermittelten Proben (zur Verfügung gestellt durch Andreas Hartmann) mörteltechnisch untersucht. Vom Alter her dürften sie der zweiten Bauphase und somit aus dem Jahre 1329 entstammen.

Nachfolgende Mörtel sind entsprechenden Stellen zuzuordnen:

- Probe 3 A (IFS intern M 1482): Dachgeschoss, Raum 212, Giebelwand des Westflügels an rechter, unterer Ecke, Deckputz mit Darstellung eines Wappenschildes, teilweise Oberfläche mit Sinterhaut.
- Probe 3 B (M 1483): Dachgeschoss, Raum 212, Giebelwand des Westflügels, rechts unterhalb des Wappens, Unterputz mit Kalkspatzen, teilweise Sinterhaut und Patina der berappten Oberfläche erhalten.
- Probe 3 C (M 1484): Dachgeschoss, Raum 212, Giebelwand des Westflügels, links unterhalb des Wappens an Fehlstelle, Setzmörtel.

Im Vergleich zu den oben aufgeführten Mörtelsystemen vom Bergfried sind die beiden Putzmörtel deutlich

bindemittelärmer („magerer“) angemischt, das Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis beträgt für den Deckputz 1:3,5, für den Unterputz 1:3,9. Der Setzmörtel ist fetter eingestellt (B/Z 1:1,9), vergleichbar mit o. g. Setzmörteln. Bei allen Mörteln handelt es sich um Kalkmörtel mit hydraulischen Anteilen („NHL-Kalke“). Eine Magnesiumkomponente (Dolomitkalk) ist nur gering vorhanden (Tab. 2).

Anhand der Siebanalyse in Abb. 7 ist zu erkennen, dass die Proben 3 A (Deckputz) und 3 B (Unterputz) als identisch bezüglich der Sandzugabe angesehen werden können. Die Probe 3 C enthält dagegen einen deutlich größeren Anteil an Grobkorn (Abb. 8), wie das für den Einsatz als Setzmörtel typisch ist.

## Südflügel

Ausgehend von den an allen Seiten sichtbaren Schadensbildern und den eingesetzten Mörtelmaterialien sollten exemplarisch an der hofseitigen Fassade des Südflügels Proben genommen und wissenschaftlich ausgewertet werden. Zu klären galt auch, ob und inwieweit der vorhandene Putz erhalten und inwieweit die Überputzung als verträglich mit dem historischen Untergrund betrachtet werden kann. Auch hier zeigte sich das typische Schadensbild im Putzsystem, vor allem mit Rissbildung innerhalb des Glättputzes. Die damals sichtbare Oberfläche war ein mit der Kelle großbogig abgezogener Putz mit einer abschließenden weißen Farbfassung (Abb. 9).

Um nähere Informationen zum Putzaufbau erhalten zu können, wurde ein kleines „Fenster“ freigestemmt (Abb. 10, Situation mit Putz im Anschluss zu roter Fenstereinfassung aus Putzüberzug auf Stein).

Der feinkörnige Oberputz war weiß durchgefärbt, die Putzdicke betrug lediglich ca. 2 mm. Darunter war ein grauer, poriger Unterputz bis ca. 2 cm Dicke aufgebracht. Dieser Putz verkrallte sich über das Fugennetz mit dem historischen (wohl entfugten) Mauergefüge. Der Mörtel erschien aufgrund seiner Feinkörnigkeit und Porigkeit optisch als eine Art „Porenputz“. Das Putzsystem aus Unter- und Oberputz ist der Sanierungsphase aus den 1970er-Jahren zuzuordnen.

Als bauzeitlicher Setzmörtel konnte erneut ein grobkörniger, weißlich-beiger Kalkmörtel identifiziert werden, wie

Proben-Nr.	Verhältnis B/Z 1:	SiO <sub>2</sub> -Gehalt/B [M. %]	Mg-Gehalt/B [M. %]
M 1482	3,5	8,3	2,1
M 1483	3,9	8,2	1,4
M 1484	1,9	7,4	1,3

Tabelle 2. Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis, Hydraulefaktor und Mg-Anteil der Mörtel vom Westflügel.

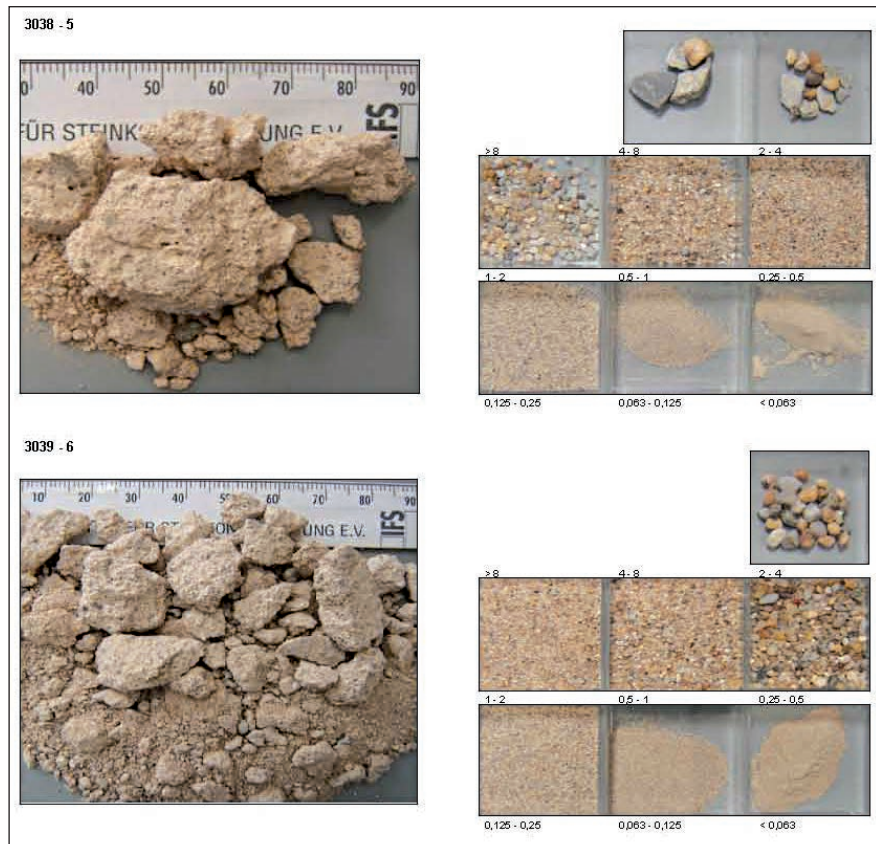
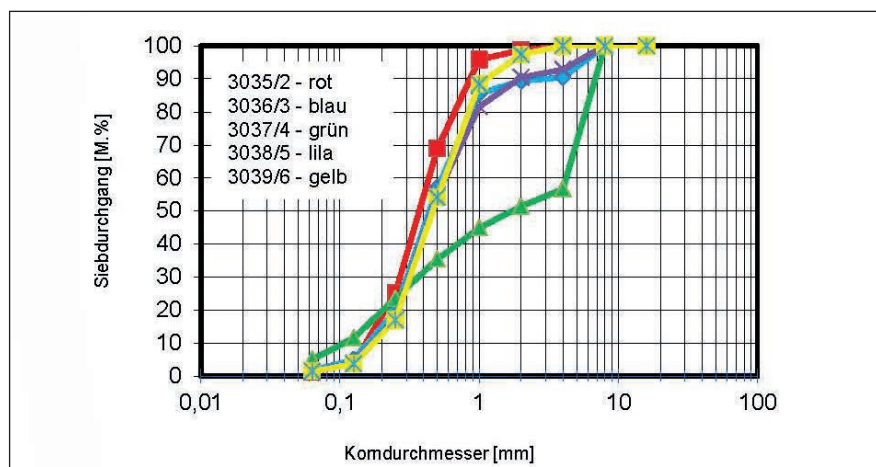


Abb. 4b. Die untersuchten historischen Mörtel und deren Sandmischung M 3035-5 u. M 3035-6 (Fotos: IFS/Verf.).

Abb. 5. Sieblinien der untersuchten Mörtel vom Bergfried (Grafik: IFS/Verf.).





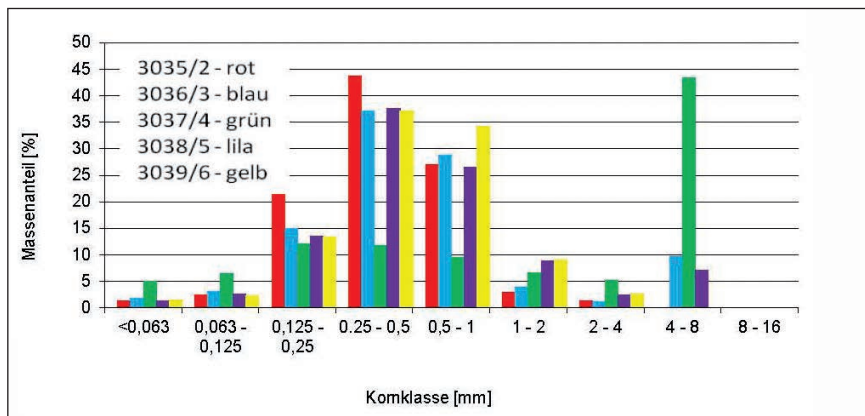


Abb. 6. Kornverteilung der untersuchten Mörtel vom Bergfried (Grafik: IFS/Verf.).

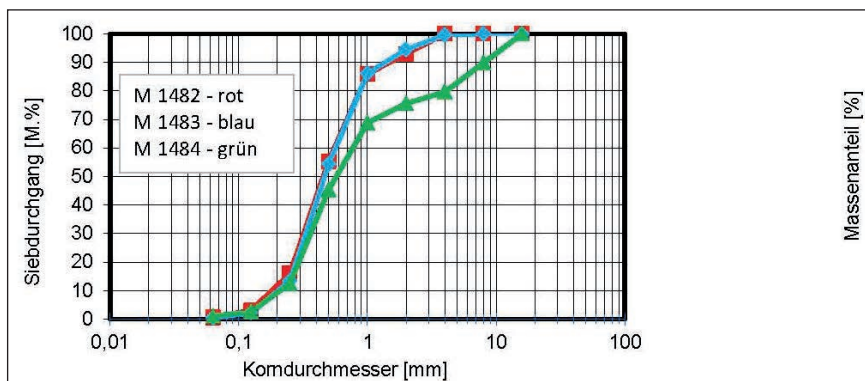
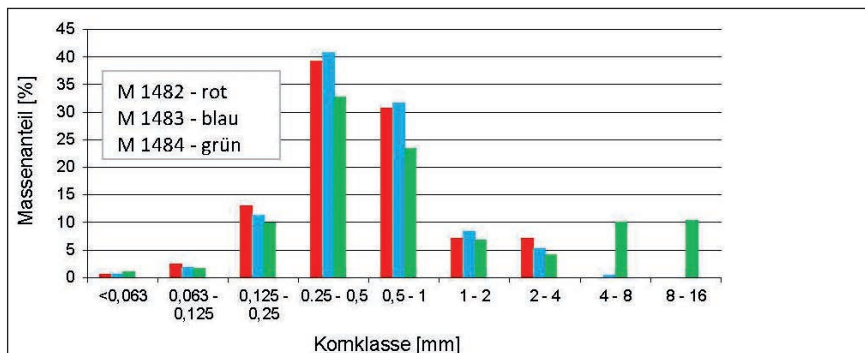


Abb. 7. Sieblinien der untersuchten Mörtel vom Westflügel (Grafik: IFS/Verf.).

Abb. 8. Kornverteilung der untersuchten Mörtel vom Westflügel (Grafik: IFS/Verf.).



er bereits für die historischen Mörtel am Bergfried oder vom Westflügel beschrieben wurde. Ein systemgleicher, aber feinerer Mörtel (0 bis 2 mm), zog sich teilweise auch noch über die Steinköpfe hinweg, eventuell handelte es sich dabei um eine historische Putzfläche oder aber um verstrichenen Setzmörtel. Die angetroffene Mörtelabfolge ist in Abb. 10 verdeutlicht.

Aus der Freilegung entnommene Proben sollten mikroskopisch untersucht werden, auch um die Entwicklung des Rissmusters erklären zu können. Die gesamte Fassade war von sich verzweigenden Mikrorissen durchsetzt (Abstand ca. 20 bis 40 cm), insgesamt zeigte sich dennoch eine recht gute Anbindung zum Untergrund.

Der weiße Oberputz scherte bei Beanspruchung vom grauen Unterputz jedoch recht leicht ab. Besonders im Sockelbereich, unter dem Einfluss von Feuchte und Salzbelastung, kam es daher zu den typischen Abscherungen und Hohlstellen (vergleichbar mit Abb. 3).

Unter dem Mikroskop verdeutlichte sich gut der zweilagige Putzaufbau (Abb. 11 bis 14).

Bereits aus Zusammensetzung und Gefügebetrachtung heraus lassen sich beide Putzsysteme gut abgrenzen. Zudem hat sich eine aushaltende Trennschicht zwischen beiden Putzarten gebildet (dieses erklärt die leichte Abscherung voneinander).

Abb. 9. Putzoberfläche, zum Dachanschluss hin deutlich winkelig beigeputzt (Foto: Verf.).

Abb. 10. Freigelegtes Mauerwerk mit Tonstein (Grauwacke), bauzeitlichem Kalkmörtel und jüngerer Überputzung mit Rissbildung im Glättputz (Foto: Verf.).





Nach besonderer Betrachtung der Grenzschicht zwischen Unter- und Oberputz und unter dem Aspekt der leichten Abscherung der Systeme voneinander waren die über weite Strecken aushaltenden Risse auffällig, diese begründeten eben das leichte Ablösen. Eine Ursache für die Rissbildung konnte ebenso abgeleitet werden: Die Risse verlaufen annähernd an der Grenzschicht. Eine mangelnde Aufrauung des Unterputzes oder das Vorhandensein einer Sinterschicht waren als Schadensursache auszuschließen; dies würde ein direktes Ablösen direkt an der Grenzfläche verursachen.

Im vorliegenden Fall erschien der aufgebrachte Glättputz (aufgrund der durchgehenden Weißfärbung als Glättputz mit Weißzementanteil angenommen) aufgrund wohl starker mechanischer Verdichtung (vgl. Kellenstrukturen, Glättung) insgesamt viel zu spannungsreich gegenüber dem weichen Unterputz, sodass er sich ablösen musste. Auch die innerhalb des Oberputzes sichtbaren Risse – sowohl mikroskopisch, aber auch makroskopisch – deuteten auf ein sehr spannungsreiches Putzsystem hin. Letztendlich waren beide Putzsysteme also unverträglich bezüglich ihrer Festigkeitsprofile, sodass es durchaus zu weiteren Ablöseerscheinungen kommen könnte, dies umso mehr, wenn die Fassaden verstärkt durchfeuchtet würden.

In der Konsequenz wurde der Putz abgenommen und mit einem NHL-Putzsystem neu verputzt.

### Salzbelastung im Mauerwerk

In den Innenräumen und hier besonders in bzw. an den bodennahen Bauteilen waren massive Salz- und Feuchteschäden vorhanden, die ursächlich auf die aufsteigende Feuchtebelastung durch die Nähe zum Wasser bzw. auf direkte Hochwasserereignisse zurückzuführen waren. Feuchteinduzierte Wechselreaktionen zwischen Baumaterial und Umwelteinflüssen usw. führten schließlich zu den sichtbaren Salzausblühungen und Materialverlusten. Von ausgewählten Stellen wurden Salzausblühungen genommen und röntgenografisch analysiert. Als Ergebnisse können notiert werden:

- Probe (1): Südflügel, Raum 29, Eingangsbogen Ostseite, 1,50 m:  
**Thenardit** ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )

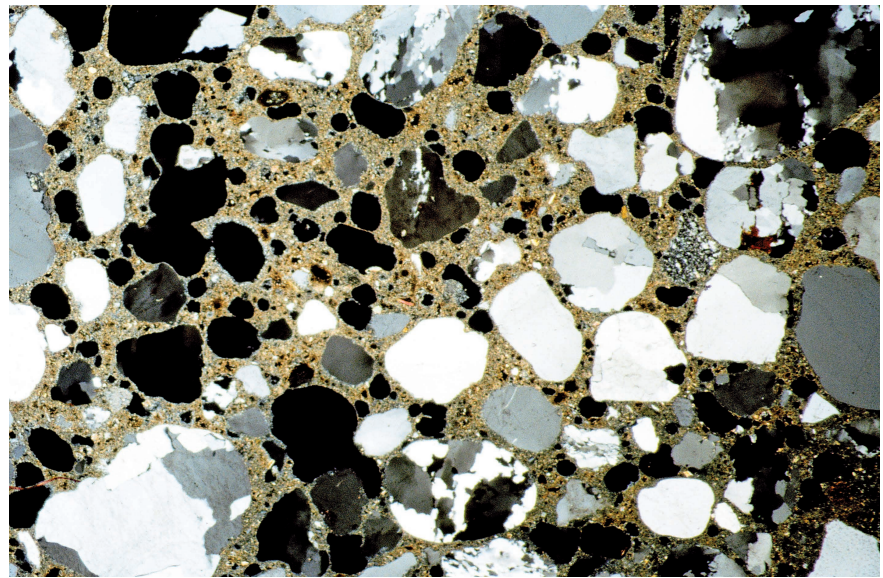


Abb. 11. Unterputz auf Basis Kalk-Zement mit Quarzsandkorn und zahlreichen Luftporen (schwarz, rundliche Umrisse); lange Seite  $\triangleq$  5 mm, gekreuzte Nicols (Foto: Verf.).

**Trona** ( $\text{Na}_2\text{H}(\text{CO}_3)_2 \cdot x \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )

**Aphthitalit** bzw. Glaserit

( $\text{K}_3\text{Na}(\text{SO}_4)_2$ )

- Probe (2): Südflügel, Raum 28, SW-Laibung, 1,50 m:

**Humberstonit**

( $\text{K}_3\text{Na}_2\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_6(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )

- Probe (3): Nordwestflügel, Raum 009, markante Schadenszone:

**Gips** ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )

**Blödit** ( $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )

**Hexahydrat** ( $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )

- Probe (4): Bergfried, Erdgeschoss innen, Westseite, 0,50 m:

**Thenardit** ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )

**Gips** ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )

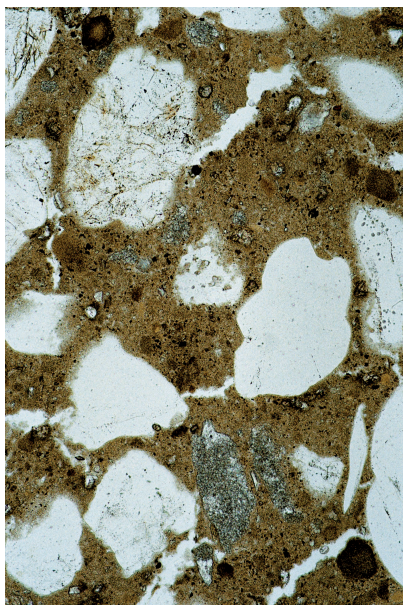
Das weite Spektrum an Salzarten steht offensichtlich in enger Abhängigkeit von Exposition, Witterungseinflüssen, Schadstellen (Dachentwässerung, mangelnde Abdichtungen usw.) sowie Bau- und Nutzungsgeschichte. Einige Salzarten sind durchaus als „exotisch“ anzusehen.

In großer Mehrheit handelt es sich bei den analysierten Salzarten um Sulfate, die aus Wechselwirkungen mit z. B. einer schwefelhaltigen Luft- bzw. Wassereinwirkung hervorgehen.

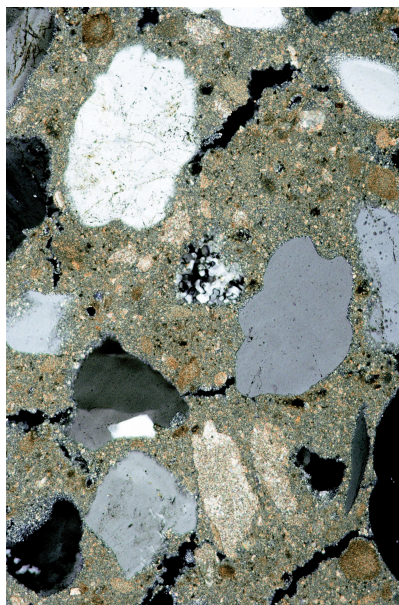
Gips und Thenardit sind „klassische“ Salze, die aus Wechselreaktionen von Baumaterial (Kalk bzw. Zement) mit der Umweltbelastung („Saurer Regen“, Rauchgase usw.) abzuleiten sind. Die Mg-Salze spiegeln deutlich das Magnesium-haltige / dolomitische Baukalkmaterial wider. Insbe-

sondere die Mg-Sulfate (wie z. B. Hexahydrat) reagieren sensibel auf Änderungen von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit bzw. den Grad der Mauerdurchfeuchtung mit Bildung unterschiedlicher Hydratationsstufen oder Auflösungsprozessen, wodurch es zu steten Umbildungen und Mobilisationen der Salzbelastung mit entsprechenden Schäden kommt. Ergänzend zur röntgenografischen Analyse der Salzausblühungen wurden die vom Westflügel beschriebenen Mörtel auch nasschemisch untersucht: Hierbei zeigte sich situationsabhängig eine geringe oder deutlich vorhandene Salzbelastung vorrangig mit Sulfaten, sehr untergeordnet auch mit Nitraten und Chlorid. Die Salzbelastung steht demzufolge in enger, oft eng begrenzter Abhängigkeit mit Feuchteschäden und korrespondierenden Salztransportmechanismen. Ausgehend von den offensichtlich stark salzgeschädigten Oberflächen in Stein, Putz und Farbe mit Ausblühungen und Entfestigungen usw. waren und sind bis heute hohe bis sehr hohe Salzbelastungen im Mauerwerk anzunehmen. Klimaabhängig sind zudem auch weitere, temporär in Lösung befindliche Salze zu erwarten. Für die Zukunft bedeutet dies im Zusammenhang mit einer Austrocknung der Mauerwerke/Wandflächen anhaltende Salzmobilisationen, die ggf. zu neuerlichen Salzschäden führen könnten.

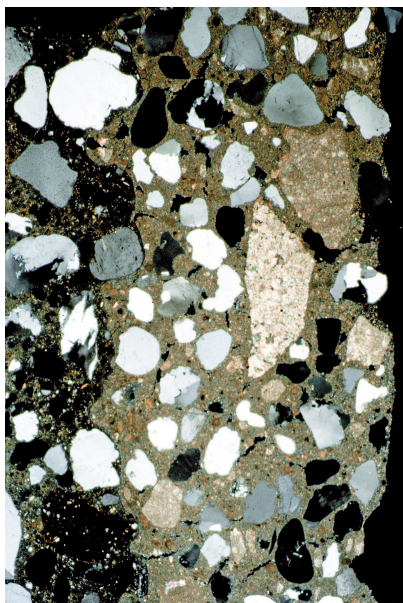




12



13



14

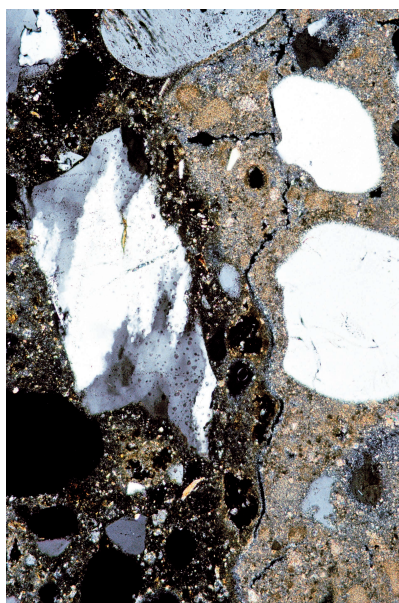
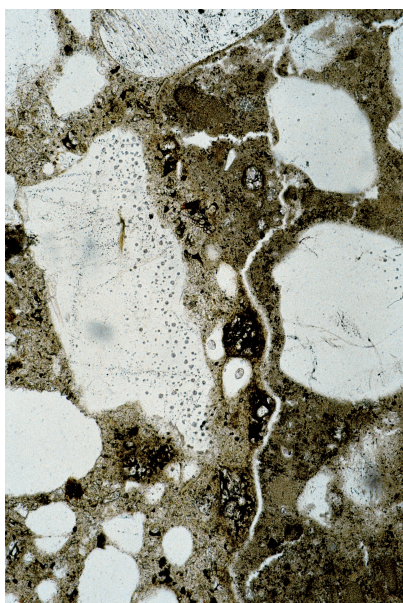


Abb. 12. Zementärer Oberputz, zwischen den Zuschlagskörnern (Quarzsand, Kalksplitt) durchziehen Risse das Bindemittel; lange Seite  $\triangleq$  1,2 mm, links: parallele Nicols, rechts: gekreuzte Nicols.

Abb. 13. Zweilagiger Putzaufbau (Oberfläche mit weißem Glättputz rechts), lange Seite  $\triangleq$  5 mm, links: parallele Nicols, rechts: gekreuzte Nicols.

Abb. 14. Putzaufbau wie oben. Grenze zwischen Unter- (links) und Oberputz (rechts), weitgehend durch Rissbildung voneinander gelöst. Die dunkle Farbe des Bindemittels im Unterputz [vgl. auch Abb. 13] weist auf partielle mangelnde Durchkarbonatisierung hin; lange Seite  $\triangleq$  1,2 mm, links: parallele Nicols, rechts: gekreuzte Nicols (alle Fotos: Verf.).

## Fazit

Die labortechnisch untersuchten historischen Putz- und Mauermörtel sind inhaltlich absolut vergleichbar: Es sind mehr oder weniger natürlich hydraulische oder auch dolomitische Kalkmörtel, die Rheinsand teils mit kiesigem Überkorn als Zuschlag beinhalten.

Bei Putzerneuerungen, Reparaturen usw. wurden zementär gebundene Mörtelsysteme aufgebracht, die erneut Schädigungen unterlagen. Ursächlich hierfür sind neben den hohen Durchfeuchtungsgraden und korrespondierenden Salzgehalten vorrangig in der wechselfeuchten („wechselsassen“) Sockelzone auch handwerklich und materialbedingte Mängel.

In Abhängigkeit von den angetroffenen Schäden wurden die bestehenden Putzflächen repariert (abgefräst und überputzt) oder bis zum Mauerwerk komplett abgenommen und dann die Flächen mit einem NHL-Kalkputzsystem neu verputzt.

Ausgehend von der nach wie vor hohen Salzbelastung im Mauerwerk und der anzunehmenden hohen Durchfeuchtrate, besonders in den unteren Bauabschnitten, ist mit gewissen Folgeerscheinungen zu rechnen, die es entsprechend zu kontrollieren und ggf. zu reparieren gilt.