

Wissenschaftlicher Direktor: Prof. Dr.-Ing. habil. C. Könke

Abteilung: Baustoffe
Abteilungsleiterin: Dipl.-Ing. A. Fischer

MFA Weimar
Coudraystraße 9
99423 Weimar
Herr Dr.-Ing. H.-W. Zier
Tel. 03643 / 564 180
Fax 03643 / 564 202
hans-werner.zier@mfa.de

Untersuchungsbericht Nr. B 16.14.007.01

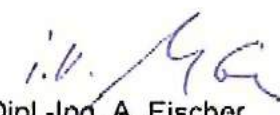
Auftrag: Untersuchungen an den Natursteinfassaden
Objekt: Rathaus in Nordhausen

Auftraggeber: Stadt Nordhausen
Markt 1
99734 Nordhausen


Auftrag vom: 24.01.2014

Im Auftrag

Weimar,
23.05.2014


Dipl.-Ing. A. Fischer
Abteilungsleiterin




Dr.-Ing. H.-W. Zier
Bearbeiter

1 Vorbemerkungen

Bereits anhand von Übersichtsfotos von den Fassadenflächen des Rathauses in Nordhausen, die vor den Beprobungen bereitgestellt wurden, war erkennbar, dass sowohl unterschiedliche Mauerwerksausführungen als auch Verschmutzungssituationen vorliegen.

Im Bereich der Ost-, Süd- und Westfassade sowie am Treppenturm an der Südfassade ist Natursteinquadermauerwerk vorhanden und die Nordfassade besteht aus Bruchstein- und Quadermauerwerk mit einem Erker in der Mitte der Wandfläche.

In Abhängigkeit von der Exposition der Fassadenflächen zeichnen sich unterschiedliche Erscheinungsformen der Oberflächen ab. Auf den Oberflächen der Ost- und der Südfassade (ohne Treppenturm) sind großflächig Verschmutzungen vorhanden. Geringer verschmutzte Flächen befinden sich hier nur kleinflächig unterhalb der Fenster.

An der Westfassade sind großflächig starke Abwaschungen mit geringeren Verschmutzungen vorhanden. Die Verschmutzungen der Oberflächen konzentrieren sich hier auf Bereiche unmittelbar unterhalb der Dachkante und auf den Erdgeschossbereich.

An allen Fassadenflächen sind partiell Schäden an den Gesimsen und den Fenstergewänden in Form von Abplatzungen und Abwitterungen erkennbar. Unterhalb der Fenster zeigen braune Ablagerungen auf den Wandoberflächen Abwitterungen von Oberflächen rötlicher Natursteine der Fenstergewände an.

An der Nordfassade ergibt sich ein Bild mit starken Verschmutzungen in den Erdgeschossbereichen und im oberen Bereich des 2. Obergeschosses. Im Vergleich zu den anderen Fassadenflächen deuten sich in Teilbereichen aber auch andere Mauerwerksstrukturen (Bruchsteinmauerwerk) an.

Für die Vorbereitung von Sanierungsarbeiten an den Fassadenflächen ergaben sich folgende Fragestellungen zum Istzustand:

- Welche Steinmaterialien (Fenstergewände, Gesimse, Mauerwerk) wurden verbaut?
- Welche Mörtel (Mauer- und Verugmörtel) kamen im historischen Bestand und bei Reparaturmaßnahmen zum Einsatz?
- Liegen Belastungssituationen (Feuchte, Salze, Staub) vor, die ursächlich zu Schäden an den Steinoberflächen bzw. Verugmörteln führten?
- Liegen Materialunverträglichkeiten zwischen Bestandsmaterialien und Materialien aus älteren Sanierungsmaßnahmen vor?
- Welche Schädigungstiefen ergeben sich in Abhängigkeit von der Exposition der Flächen und der daraus resultierenden Belastung?
- Welche Mörtelsysteme sind für die Erneuerung bzw. Ausbesserung von Fugen oder als Steinerfüllungssysteme an den vorhandenen Natursteinen einsetzbar?
- Welche aktuell verfügbaren Natursteine sind als Austauschmaterial oder als Material für Vierungen geeignet?
- Welche Anforderungen sind an Reinigungsverfahren zu stellen?

Zu Beantwortung der Fragen waren Informationen zum Istzustand notwendig. Die Bewertung des Istzustandes erforderte die Entnahme von Materialproben sowie deren labortechnische Untersuchung und Bewertung.

Die Beprobung und die Untersuchungen erfolgten in zwei Teilschritten. Zunächst wurden Untersuchungen zur Belastungssituation im Mauerwerk bevorzugt an Bohrmehlproben durchgeführt. Dazu gehören die Entnahme von Materialproben aus Mauerwerksfugen und Natursteinen. Diese Untersuchungen erfolgten auf insgesamt drei Probeachsen an der Ost-, Süd- und Westfassade. Ziel dieser Untersuchungen war die orientierende Erfassung von Mörtelarten sowie von Feuchte- und Salzbelastungen in Fugenbereichen und angrenzenden Steinen.

Nach einer ersten Zwischenauswertung wurden Bohrkernproben aus Steinen und ausgewählten Fugenbereichen entnommen. Ziel der Untersuchungen an diesen Proben war die Erfassung von relevanten Materialzusammensetzungen und -kennwerten.

Vor der ersten Probenentnahme am 12.03.2014 erfolgte eine kurze Begehung des Objektes. Auf der Nordseite fielen systematisch angebrachte und in regelmäßigem Abstand angeordnete mit Zementmör-

teilen verschlossene Schlitzte in den unteren Bereichen des Mauerwerks unmittelbar über dem Gelände auf. Hierbei kann es sich um Einbauten handeln, die eine Reduktion von Feuchtebelastungen zum Ziel hatten. Durch diese Eingriffe kann es zu Salzumlagerungen und -anreicherungen gekommen sein. Ebenso sind Unverträglichkeiten mit Bestandsmörteln möglich.

Bei der Anfertigung des Angebotes für die nachfolgend dokumentierten Untersuchungen lagen keine Informationen zu der genannten Installation vor. Im Rahmen der hier dokumentierten Untersuchungen erfolgten deshalb nur orientierende Analysen der betroffenen Bereiche.

2 Untersuchungen und Ergebnisse

2.1 Probenentnahmen und Kennzeichnung der Proben

Erste Probenentnahmen erfolgten am 12.03.2014 zerstörungsarm über Bohrmehlentnahmen (Bohrdurchmesser etwa 12 mm) aus Fugenbereichen und aus ausgewählten Steinen, die als typische Vertreter an den Mauerwerksoberflächen angetroffen wurden. Da auch mit Streusalzeinwirkungen zu rechnen war, wurde mit den Untersuchungen direkt über den vorgelagerten Stufen bzw. dem Gelände begonnen.

Auf Höhenachsen sind aus Fugenbereichen in Höhen von etwa 0,30 m, 1 m, 2 m, unmittelbar unter und über den Gesimsen, in der Mitte der Flächen zwischen den Gesimsen und unter den Dachkanten Bohrmehlproben entnommen worden. Die Entnahme von Bohrmehlproben aus den angrenzenden Steinen erfolgte in der Nähe ausgewählter Entnahmestellen von Bohrmehl in Fugen.

Ergänzend wurden von auf den Oberflächen aufliegenden Beschichtungsresten, Stauablagerungen bzw. Verkrustungen Proben entnommen.

Nach einer ersten Zwischenauswertung sind am 19.03.2014 Bohrkernproben aus relevanten Steinen und ausgewählten Fugenbereichen entnommen worden. Ziel dieser Untersuchungen war die Gewinnung von Materialproben für die ergänzende Bewertung von Schädigungsprofilen sowie für die Erfassung von relevanten Materialzusammensetzungen und -kennwerten.

In den folgenden Tabellen sind Angaben zu den Probenahmestellen und den entnommenen Proben zusammengestellt. Die Anlagen 1 und 2 enthalten Fotos zur Situation an den beprobten Wandflächen und zu den konkreten Probenahmestellen.

Tabelle 2.1: Kennzeichnung von Bohrmehlproben und Proben von Ablagerungen bzw. Abschalungen an Steinoberflächen sowie Angaben zu den Probenahmestellen
(Die Tiefenangaben der Probenentnahme beziehen sich auf die Maueroberfläche.)

Bezeichnung NDH-R-	Entnahmetiefe in cm	Material	Anmerkungen
O	Die Probenahmeachse NDH-R-O befindet sich etwa in der Mitte der Ostfassade des Rathauses. Als Steinmaterial an den Mauerwerksoberflächen dominieren Carbonatgesteine unterschiedlicher Erscheinungsform. Den Sockelabschluss bildet ein rotbrauner Sandstein. Rotbraune Sandsteine sind auch in den höheren Gesimsen und in den Fenstergewänden verbaut. Im Sockelbereich waren sehr starke Fugenauswaschungen vorhanden. Partiiell sind hier sehr feste Mörtel aus Reparaturen an der Verfugung vorhanden. Es gab Hinweise auf starke Tausalzeinwirkungen. Während der Beprobung fiel auf, dass im Dachgesims ein vom Typ anderes Gestein zum Einsatz kam. Unmittelbar darunter waren auch Gipssteine neben Carbonatgesteinen an der Wandoberfläche anzutreffen. Vermutlich handelt es sich um Ausbesserungen, die nach dem 2. Weltkrieg erfolgten. Scheinbar ist damals die komplette Mauerkrone erneuert worden.		
O-F1	Die Probenahmestelle O-F1 befindet sich in einem Fugenbereich des Sockels aus Quadermauerwerk in einer Höhe von 38 cm über dem Gelände.		
O-F1.1	bis 2	Bohrmehl	Die Probe enthält überwiegend einen zementhaltigen Verfugmörtel.
O-F1.2	2 bis 5	Bohrmehl	Die Probe enthält neben Mörtel auch Kalk-

			stein der Fugenflanken und / oder von Zwickelmateral.
O-F1.3	5 bis 10	Bohrmehl	wie F1.2
O-F1.4	10 bis 20	Bohrmehl	wie F1.3; aber mit höherem Mörtelanteil
O-A1	Oberfläche	verkrustete Abschalung	Über der Stelle O-F1 befindet sich im Höhenbereich zwischen 50 und 60 cm über dem Gelände eine < 2 mm dicke stark verkrustete Abschalung auf einer Kalksteinoberfläche.
O-F2	Die Probenahmestelle O-F2 befindet sich in einem Fugenbereich oberhalb der Stelle O-F1 in einer Höhe von 1 m über dem Gelände. Es ist ein sehr fester nahezu schwarzer Vermugmörtel vorhanden.		
O-F2.1	bis 2	Bohrmehl	Die Probe besteht überwiegend aus einem sehr festen schwarzen Vermugmörtel.
O-F2.2	2 bis 5	Bohrmehl	Die Probe besteht aus einem weichen weißen Vermugmörtel. Zwickelanteile sind möglich.
O-F2.3	5 bis 10	Bohrmehl	wie F2.2
O-F2.4	10 bis 20	Bohrmehl	Wie F2.3
O-F3	Die Probenahmestelle O-F3 befindet sich in einem Fugenbereich oberhalb der Stelle O-F2 in einer Höhe von 2,25 m über dem Gelände.		
O-F3.1	bis 1,5	Bohrmehl	Die Probe besteht überwiegend aus einem dunklen Vermugmörtel.
O-F3.2	1,5 bis 5	Bohrmehl	Die Probe besteht aus einem weichen weißen Vermugmörtel.
O-F3.3	5 bis 10	Bohrmehl	wie F3.2
O-F3.4	10 bis 20	Bohrmehl	Wie F3.3
O-S1	Die Probenahmestelle O-S1 befindet sich etwa 5 cm über der Stelle O-F3 in einem Naturstein (Carbonatgestein) mit teils lunckerartigen Hohlstellen.		
O-S1.1	bis 1	Bohrmehl	
O-S1.2	1 bis 3	Bohrmehl	
O-S1.3	3 bis 7	Bohrmehl	
O-S2	Die Probenahmestelle O-S2 befindet in einem stark zurückgewitterten Bereich des Sockelgesimes aus rotbraunem Sandstein in einer Höhe von etwa 1,35 m über dem Gelände im Abstand von etwa 0,90 m zur Südecke des Gebäudes.		
O-S2.1	bis 1	Bohrmehl	
O-S2.2	1 bis 3	Bohrmehl	
O-S2.3	3 bis 7	Bohrmehl	
O-S3	Die Probenahmestelle O-S3 befindet in einem Bereich des Sockelgesimes aus rotem Austauschsandstein in einer Höhe von etwa 1,35 m über dem Gelände im Abstand von etwa 1,50 m zur Südecke des Gebäudes.		
O-S3.1	bis 1	Bohrmehl	
O-S3.2	1 bis 3	Bohrmehl	
O-S3.3	3 bis 7	Bohrmehl	
O-F4	Die Probenahmestelle O-F4 befindet sich etwa in der Mitte der Ostfassade in Höhe der Oberkante der Türöffnung des Haupteinganges. In den Fugen sind neben neueren Vermugmörtel auch gipshaltige Mörtel bis an die Fugenoberflächen vorhanden.		
O-F4.1	bis 1,5	Bohrmehl	heller gipshaltiger Mörtel mit Zwickelmateral
O-F4.2	1,5 bis 5	Bohrmehl	wie F1.1
O-F4.3	5 bis 10	Bohrmehl	wie F1.2
O-F4.4	10 bis 20	Bohrmehl	wie F1.3
O-S4	Die Probenahmestelle O-S4 befindet sich etwa 50 cm über der Stelle O-F4 auf einem stark angewitterten Stein. Auf der Steinoberfläche befinden sich Reste von gipshaltigen Mörteln. Die Mörtel dienen zum Verschließen von Fehlstellen (natürlich im Stein vorhandene Luncker und größere Poren) sowie zum Glätten der Steinoberfläche.		

O-S4.1	bis 1	Bohrmehl	
O-S4.2	1 bis 3	Bohrmehl	
O-S4.3	3 bis 7	Bohrmehl	
O-F5	Die Probenahmestelle O-F5 befindet sich in der zweiten Mauerwerksfuge über dem an der Wandfläche befindlichen Wappen aus Naturstein. Auf den umgebenen Steinoberflächen finden sich Reste von gipshaltigen Mörteln in Steinvertiefungen und in Rissen.		
O-F5.1	bis 2	Bohrmehl	Die Probe enthält festen Zementmörtel.
O-F5.2	2 bis 5	Bohrmehl	Die Probe besteht aus einem weichen Mörtel mit hohen Zwickelanteilen.
O-F5.3	5 bis 10	Bohrmehl	wie F5.2
O-F5.4	10 bis 20	Bohrmehl	wie F5.3
O-S5	Die Probenahmestelle O-S5 befindet sich an einem Gesims aus rotbraunem Sandstein über der Stelle O-F5. Die Sandsteinoberfläche ist etwa 1 bis 1,5 cm bezogen auf die ursprüngliche Oberfläche zurückgewittert. In den Fugen des Gesimses sind sehr feste zementhaltige Mörtel verbaut. Auf der Oberseite des Gesimses befinden sich mehrschichtige Abschalungen des Sandsteines mit Einzelschichtdicken bis 5 mm.		
O-S5.1	bis 1	Bohrmehl	
O-S5.2	1 bis 3	Bohrmehl	
O-S5.3	3 bis 7	Bohrmehl	
O-S5.4	7 bis 15	Bohrmehl	
O-F6	Die Probenahmestelle befindet sich in der dritten Mauerwerksfuge über dem zweiten Gesims. Unter einer dünnen Schicht eines grauen Mörtels befindet sich scheinbar Gipsmörtel in der Fuge.		
O-F6.1	bis 1,5	Bohrmehl	grauer Mörtel
O-F6.2	1,5 bis 5	Bohrmehl	Gipsmörtel mit Anteilen von Abstandshaltern (Schiefer)
O-F6.3	5 bis 10	Bohrmehl	wie F6.2
O-F6.4	10 bis 20	Bohrmehl	wie F6.3
O-S6	Die Probenahmestelle O-S6 befindet sich auf einem Naturstein unmittelbar südlich neben der Stelle O-F6. Die Steinoberfläche ist stark angewittert. Oberhalb der Stelle O-S6 fanden sich Hinweise auf rötliche Verfärbungen. Möglicherweise handelt es sich um Reste von farbigen Anstrichen.		
O-S6.1	bis 1	Bohrmehl	
O-S6.2	1 bis 3	Bohrmehl	
O-S6.3	3 bis 7	Bohrmehl	
O-F7	Die Probenahmestelle O-F7 befindet sich unmittelbar unter dem Dachgesims aus Naturstein. Der Stein am unteren Fugenrand ist ein Gipsstein. Vermutlich wurde nach den 2. Weltkrieg das komplette Dachgesims erneuert. Bei den Ausbesserungen im Mauerwerk sind auch Gipssteine verwendet worden.		
O-F7.1	bis 2	Bohrmehl	Über das gesamte Bohrprofil war ein gleichförmiger Mörtel vorhanden.
O-F7.2	2 bis 5	Bohrmehl	
O-F7.3	5 bis 10	Bohrmehl	
O-F7.4	10 bis 20	Bohrmehl	
O-F8	Die Probenahmestelle O-F8 befindet sich unmittelbar unter dem Dachgesims aus Naturstein 1,20 m nördlich von der Stelle O-F7. Der Stein am unteren Fugenrand ist hier ein Kalkstein.		
O-F7.1	bis 2	Bohrmehl	Es ist ein grauer Verfugmörtel und hellerer Mörtel in der Probe vorhanden.
O-F7.2	2 bis 5	Bohrmehl	Die Probe enthält nur weißen Mörtel.
O-F7.3	5 bis 10	Bohrmehl	Die Probe enthält nur weißen Mörtel.
O-F7.4	10 bis 20	Bohrmehl	Neben Mörtel kann in der Probe auch Steinmaterial enthalten sein.
O-S7	Die Proben O-S7 wurden aus dem sehr porösen Naturstein, der im gesamten Dachge-		

	simis verbaut ist, im Bereich über der Probenahmestelle O-F8 entnommen		
O-S7.1	bis 1	Bohrmehl	
O-S7.2	1 bis 3	Bohrmehl	
O-S7.3	3 bis 7	Bohrmehl	
S	Die Probenahmeachse NDH-R-S befindet sich etwa in der Mitte des östlichen Teiles der Südfassade des Rathauses. Das äußere Erscheinungsbild des Mauerwerks ist mit dem der Ostfassade vergleichbar.		
S-F1	Die Probenahmestelle S-F1 befindet sich etwa 15 cm über dem Gelände in einem Fugenbereich.		
S-F1.1	bis 2	Bohrmehl	Es handelt sich um einen grauen Mörtel.
S-F1.2	2 bis 5	Bohrmehl	wie F1.1
S-F1.3	5 bis 10	Bohrmehl	wie F1.2, sehr feucht
S-F1.4	10 bis 20	Bohrmehl	wie F1.3, sehr feucht
SF2	Die Probenahmestelle S-F2 befindet sich senkrecht über der Stelle S-F1 in einer Höhe von 95 cm über dem Gelände.		
S-F2.1	bis 2	Bohrmehl	Es handelt sich um einen nahezu schwarzen Mörtel.
S-F2.2	2 bis 5	Bohrmehl	Die Probe enthält Material eines weißen Mörtels.
S-F2.3	5 bis 10	Bohrmehl	wie F2.2
S-F2.4	10 bis 20	Bohrmehl	wie F2.3
S-S1	Die Probenahmestelle S-S1 befindet sich in einem hellen weichen Kalkstein in einer Höhe von etwa 20 cm über dem Gelände im Bereich der Stelle S-F1.		
S-S1.1	bis 1	Bohrmehl	
S-S1.2	1 bis 3	Bohrmehl	
S-S1.3	3 bis 7	Bohrmehl	
S-S2	Die Probenahmestelle S-S2 befindet sich im Gesims aus rotem Sandstein in einer Höhe von etwa 1,45 m über dem Gelände im Bereich der Stelle S-F2.		
S-S2.1	bis 3	Bohrmehl	
S-S2.2	3 bis 7	Bohrmehl	
S-S2.3	7 bis 15	Bohrmehl	
SF3	Die Probenahmestelle S-F3 befindet sich etwa senkrecht über der Stelle S-F2 in einer Höhe von 2,15 m über dem Gelände. Die Wandoberfläche ist im Bereich der Probenahmestelle stark verschmutzt. Durch die Südexposition kann es unter dem schwarzen Verfugmörtel zu einer Zermürbung von Gipsmörteln unmittelbar darunter gekommen zu sein. Es wird angenommen, dass bei starker Sonneneinstrahlung die Temperaturen auf den stark verschmutzten Oberflächen bis 80°C erreichen. Ab etwa 40°C beginnt Gips Hydratwasser abzugeben.		
S-F3.1	bis 2	Bohrmehl	schwarzer Verfugmörtel
S-F3.2	2 bis 5	Bohrmehl	weicher weißer Mörtel
S-F3.3	5 bis 10	Bohrmehl	weicher weißer Mörtel
S-F3.4	10 bis 20	Bohrmehl	fester weißer Mörtel
S-F4	Die Probenahmestelle S-F4 befindet sich etwa in Höhe der Oberkante der Fensterbögen des Erdgeschosses in einer Fuge des Mauerwerks. Scheinbar ist ein Originalbefund mit Gipsmörtel bis an die Fugenoberfläche vorhanden. Die Mörteloberfläche ist nur wenig zurückgewittert. Ursprünglich schloss die Fugenoberfläche bündig mit den angrenzenden Natursteinoberflächen ab.		
S-F4.1	bis 2	Bohrmehl	
S-F4.2	2 bis 5	Bohrmehl	
S-F4.3	5 bis 10	Bohrmehl	
S-F4.4	10 bis 20	Bohrmehl	
S-F5	Die Probenahmestelle S-F5 befindet sich direkt neben der Stelle S-F4. Die Verfugung war aber mit einem anderen Mörtel überarbeitet.		

S-F5.1	bis 1,5	Bohrmehl	grauer Mörtel
S-F5.2	1 bis 2	Bohrmehl	weißer Gipsmörtel
S-F5.3	2 bis 5	Bohrmehl	Gipsmörtel
S-F5.4	5 bis 10	Bohrmehl	Gipsmörtel
S-F5.5	10 bis 20	Bohrmehl	Gipsmörtel
S-S3	Die Probenahmestelle S-S3 befindet sich auf einer leicht geschädigten Natursteinoberfläche unmittelbar über der Stelle S-F5.		
S-S3.1	bis 1	Bohrmehl	
S-S3.2	1 bis 3	Bohrmehl	
S-S3.3	3 bis 7	Bohrmehl	
S-A2	bis 0,5	Abschalung	Die verkrustete Abschalung wurde von einer Natursteinoberfläche etwa 50 cm unterhalb der Probenahmestelle S-F4 entnommen.
S-F6	Die Probenahmestelle S-F6 befindet sich in einer Fuge etwa 30 cm über dem Gesims oberhalb des Erdgeschosses.		
S-F6.1	bis 0,5	Bohrmehl	rötlich pigmentierter Mörtel
S-F6.2	0,5 bis 2	Bohrmehl	Mörtel mit hohem Gipsanteil
S-F6.3	2 bis 5	Bohrmehl	wie F6.2
S-F6.4	5 bis 10	Bohrmehl	wie F6.3
S-F6.5	10 bis 20	Bohrmehl	Wie F6.4
S-S4	Die Probenahmestelle S-S4 befindet sich in einem Fenstergewände aus rotem Sandstein unmittelbar neben der Probenahmestelle S-F6.		
S-S3.1	bis 1	Bohrmehl	
S-S3.2	1 bis 3	Bohrmehl	
S-S3.3	3 bis 7	Bohrmehl	
S-S3.4	7 bis 15	Bohrmehl	
S-F7	Die Probenahmestelle S-F7 befindet sich in einem Fugenbereich im Abstand von 80 cm unter der Oberkante des Dachgesimses aus Naturstein.		
S-F7.1	bis 2	Bohrmehl	sehr fester Verfugmörtel
S-F7.2	2 bis 5	Bohrmehl	heller weicherer Mörtel
S-F7.3	5 bis 10	Bohrmehl	wie F7.2
S-F7.4	10 bis 20	Bohrmehl	bräunlicher Mörtel, eventuell mit Steinanteil von den Fugenflanken
S-F8	Die Probenahmestelle S-F8 befindet sich in einem Fugenbereich direkt unter der Steinreihe des Dachgesimses.		
S-F8.1	bis 2	Bohrmehl	Verfugmörtel
S-F8.2	2 bis 5	Bohrmehl	hellerer Mörtel
S-F8.3	5 bis 10	Bohrmehl	hellerer Mörtel
S-S5	Die Probenahmestelle befindet sich im Naturstein direkt über der Probenahmestelle S-F7.		
S-S5.1	bis 1	Bohrmehl	
S-S5.2	1 bis 3	Bohrmehl	
S-S5.3	3 bis 7	Bohrmehl	
W	Die Probenahmeachse NDH-R-W befindet sich in mittleren Bereich der Westfassade des Rathauses. Hier sind auch in unteren Wandbereichen (z.B. in den Bögen über den Fenstern) partiell Gipssteine verbaut. Die Situation an den Mauerwerksoberflächen ist mit den beiden zuvor beschriebenen Wandflächen vergleichbar.		
W-F1	Die Probenahmestelle W-F1 befindet sich in einem Fugenbereich etwa 12 cm über dem Gelände.		
S-F1.1	bis 2	Bohrmehl	erdig sandiges Material, sehr feucht
S-F1.2	2 bis 5	Bohrmehl	erdig sandiges Material, sehr feucht
S-F1.3	5 bis 10	Bohrmehl	erdig sandiges Material, sehr feucht
S-F1.4	10 bis 20	Bohrmehl	erdig sandiges Material, sehr feucht

S-F1.5	20 bis 30	Bohrmehl	helles gelbliches Material aus Mörteln u./o. Naturstein
W-F2	Die Probenahmestelle W-F2 befindet sich in einem Fugenbereich oberhalb von W-F1 etwa 34 cm über dem Gelände.		
S-F2.1	bis 2	Bohrmehl	Mörtel mit Material von den Steinflanken
S-F2.2	2 bis 5	Bohrmehl	wie F2.1
S-F2.3	5 bis 10	Bohrmehl	wie F2.2
S-F2.4	10 bis 20	Bohrmehl	wie F2.3
W-F3	Die Probenahmestelle W-F3 befindet sich in einem Fugenbereich oberhalb von W-F2 etwa 95 cm über dem Gelände.		
S-F3.1	bis 2	Bohrmehl	sandiger Mörtel
S-F3.2	2 bis 10	Bohrmehl	wie F3.1, > 10 cm Hohlstelle und kein Material mehr als Bohrmehl gewinnbar
W-F4	Die Probenahmestelle W-F4 befindet sich in einem Fugenbereich oberhalb von W-F3 etwa 1,90 m über dem Gelände.		
S-F2.1	bis 1	Bohrmehl	schwarzer Verfugmörtel
S-F2.2	1 bis 2	Bohrmehl	heller gipshaltiger Mörtel
S-F2.3	2 bis 5	Bohrmehl	wie F2.2
S-F2.4	5 bis 10	Bohrmehl	wie F2.3
S-F2.5	10 bis 20	Bohrmehl	wie F2.4

An einem zweiten Probenahmetermin am 19.03.2014 sind an verschiedenen Stellen des Gebäudes Bohrkern aus dem Mauerwerk und an ausgewählten Stellen Ablagerungen und Abschalungen von Mauerwerksflächen entnommen worden.

Tabelle 2.2: Kennzeichnung von Bohrkernproben und Proben von Ablagerungen bzw. Abschalungen an Oberflächen sowie Angaben zu den Probenahmestellen
(Die Tiefenangaben der Probenentnahme beziehen sich auf die Mauerfläche)

Bezeichnung NDH-R-	Entnahmetiefe in cm	Material	Anmerkungen
O	Probenahmestellen an der Ostwand des Rathauses		
O-BK1	Die Probenahmestelle O-BK1 befindet sich im rotbraunen Gesims (Höhe Unterkante Fenster 1. OG) im Bereich vor der Nordecke (Abstand 1,70 m). Die vordere Kante des Gesimses ist extrem abgewittert und stark gerundet. Die Oberfläche sandet stark ab.		
O-BK1.1	bis 16	Sandstein	Nach der Erscheinung handelt es sich um einen Sandstein aus der Kyffhäuser-Region.
O-BK1.2	16 bis 19	Gipsmörtel	Es handelt sich um einen kompakten grobkörnigen Gipsmörtel.
O-BK1.3	19 bis 28	Gipsmörtel und Ziegel	Das Ziegelstück (wurde bei den Untersuchungen nicht berücksichtigt) ist im Sinne eines Zwickels in den Mörtel eingelegt.
O-BK2	Die Probenahmestelle O-BK2 befindet sich neben der Stelle O-BK1 in einem anderen Gesimsteil aus Sandstein mit ähnlichem Verwitterungsbild wie an der Stelle O-BK1 im Abstand von 46 cm zur Nordecke.		
O-BK2	bis 14	Sandstein	Nach der Erscheinung handelt es sich um einen Sandstein aus der Kyffhäuser-Region.
O-BK3	Die Probenahmestelle befindet sich 48 cm über dem Gesims mit den Probenahmestellen O-BK1 und O-BK2 im Abstand von 60 cm zur Nordecke.		
O-BK3.1	bis 3	Mörtel, wenig Naturstein	Unter dem Verfugmörtel aus einem zementhaltigen (Schichtdicke 1 bis 2 cm) Mörtel steht Gipsmörtel aus dem Altbestand an. Im Fugenbereich ist bis etwa 1 cm unter der Steinoberfläche Schiefer (Abstandshalter) mit enthalten.

O-BK3.2	3 bis 9	wenig Naturstein, Mörtel, Schiefer	Im Fugenbereich befindet sich sehr viel Zwickelmaterial (Kalkstein) und Schieferstücke als Abstandshalter. Als Mörtel ist Gipsmörtel vorhanden.
O-BK4	Die Probenahmestelle O-BK4 befindet sich auf einer scheinbaren Ausbesserungsstelle auf einem Kalkstein zwischen den Probenahmestellen O-BK2 und –O-BK3 etwa 17 cm über dem Gesims. Fehlstellen an der Oberfläche sind mit einem Gipsmörtel gefüllt und bündig an die Steinoberflächen angeglichen worden.		
O-BK4	bis 23	wenig Naturstein, Mörtel, Schiefer	Im Fugenbereich befindet sich sehr viel Zwickelmaterial (Kalkstein) und Schieferstücke als Abstandshalter. Als Mörtel ist Gipsmörtel vorhanden.
O-BK5	Die Probenahmestelle O-BK5 befindet sich über den zuvor genannten Stellen unter der obersten Fensterreihe an der Ostfassade etwa 70 cm unter dem Gesims im Bereich einer breiten Verfugung mit einem zementhaltigen Mörtel, der rötliche Gesteinskörnungen enthält. Der Mörtel reicht bis in Tiefen von 1 bis 2 cm danach folgt ein dichter Kalkstein bis etwa 12 cm Tiefe (Ende der Bohrung).		
O-OF1	Die Probenahmestelle O-OF1 befindet sich auf einer Steinoberfläche unmittelbar über der Stelle O-BK5. Es handelt sich möglicherweise um Reste einer ehemals flächig vorhandenen dünnen Beschichtung.		
O-OF2	Die Probenahmestelle O-OF2 befindet sich auf einer Steinoberfläche unter der Stelle O-BK5. Im Bereich der Probenahmestelle schalen Reste dünner Mörtelschichten von der Natursteinoberfläche ab.		
O-BK6	Die Probenahmestelle O-KB6 befindet sich unmittelbar über einer Fuge unter dem Dachgesims. Obwohl an der Oberfläche eine sehr breite Fuge – zementhaltiger Mörtel mit rötlicher Gesteinskörnung – vorhanden war, verengte sich diese sehr stark und es konnte kaum Mauermörtel entnommen werden. Als Steinmaterial war Kalkstein vorhanden.		
O-BK6A	Die Probenahmestelle O-KB6A befindet sich etwa 30 cm südlich von der Stelle O-KB6 in der gleichen Fuge. Auf der Oberfläche des Kalksteins neben der Mörtelfuge befand sich eine dünne Gipsschicht. Die nachfolgenden Teilproben stammen von der Probenahmestelle O-BK6A.		
O-KB6.1	bis 3	Verfugmörtel	Der Mörtel ist feinkörnig und enthält rötliche Gesteinskörnungen.
O-KB6.2	4 bis 6	Mauermörtel	Der Mörtel ist sehr grob und enthält möglicherweise hydraulische Bindemittelbestandteile.
S	Proben von der Südfassade – östlicher Teil – des Rathauses		
S-BK7	Die Probenahmestelle befindet sich in Höhe der Stelle S-S3 (siehe Tabelle 2.1). Verfugung und Mauermörtel gehen scheinbar übergangslos ineinander über. Somit könnten die Verfugung und die Glättung der Steinoberflächen zeitgleich mit der Errichtung des Mauerwerks erfolgt sein.		
S-BK7.1	bis 0,3 / 0,5	Mörtel	Die Probe stammt aus einer stark verschmutzten sehr dünnen Mörtelschicht, die auf der Kalksteinoberfläche aufliegt. Das Material ist vermutlich gipshaltig
S-BK7.2	0,5 bis 1	Mörtel	Es handelt sich um einen Glättmörtel, der die Fuge verschleißt und über die Steinoberflächen an den Fugenrändern reicht.
S-BK7.3	3 bis 5	Mörtel	Die Probe wurde aus dem Mauermörtel entnommen. Optisch waren Glätt-, Verfug- und Mauermörtel identisch.
S-OF3	Die Probenahmestelle S-OF3 befindet sich auf einer Steinoberfläche unter einem Gesims über der Stelle O-BK7. Es handelt sich um Bereiche an denen Vertiefungen auf		

	der Kalksteinoberfläche mit Mörtel verschlossen und die Steinoberflächen geglättet wurden.		
S-BK8	Die Probenahmestelle S-BK8 befindet sich zwischen der oberen Fensterreihe etwa in Mitte der Fensterhöhe direkt neben einem markanten Stein mit heller Oberflächenbeschichtung. Die Erscheinungsform der Mauermörtel unterscheidet sich von denen der Mauermörtel der Ostseite in gleicher Einbauhöhe und von den Mauermörtel an den hier beprobten tieferen Stellen der Südfassade. Vermutlich handelt es sich um umfangreiche Ausbesserungen bis hin zu Erneuerungen am Mauerwerk nach dem 2. Weltkrieg.		
S-BK8.1	bis 1,5	Verfugmörtel	Der Mörtel ist feinkörnig und enthält rötliche Gesteinskörnungen.
S-BK8.2	5 bis 10	Mauermörtel	Der Mörtel ist sehr grob und enthält möglicherweise hydraulische Bindemittelbestandteile.
W	Probenahmestellen an der Westfassade des Rathauses		
W-BK9	Die Probenahmestelle S-BK9 befindet sich im Abstand von etwa 2 m zur Südecke in einer Höhe von etwa 0,60 m unter der Oberkante der EG-Fensteröffnung. Die Fugen sind mit einem mineralischen Mörtel verschlossen. Als Mauermörtel direkt darunter ist ein Gipsmörtel vorhanden. Unter dem Gesims über der Probenahmestelle W-GK9 sind auch Gipssteine im äußeren Bereich des Mauerwerks verbaut.		
W-BK9.1	bis 3	Verfugmörtel	Der Mörtel ist feinkörnig und fest.
W-BK9.2	5 bis 10	Mauermörtel	Es handelt sich nach der optischen Erscheinung um einen Gipsmörtel.
W-BK10	Die Probenahmestelle befindet sich unter dem Gesims unterhalb der Fenster des 2. OG im Bereich zwischen dem 2. und 3. Fenster von der Südecke. Im Mauerwerk sind Sandsteinstücke als Zwickelmaterial verwendet worden. Oberhalb der Probenahmestelle sind starke Schäden an den Sandsteingesimsen vorhanden. Teile der Gesimse sind mit unterschiedlichen Sandsteinen bereits ausgebessert worden.		
W-BK10.1	bis 1	Verfugmörtel	Es handelt sich um eine putzartig über die Steinränder gezogene Verfugung mit einem zementhaltigen Mörtel.
W-BK10.2	5 bis 10	Mauermörtel	Es handelt sich nach der optischen Erscheinung um einen Gipsmörtel.
S	Probenahmestellen am Treppenturm an der Südfassade des Rathauses		
S-BK11.1	Es handelt sich um einen sehr festen Verfugmörtel. Die Probenahmestelle befindet sich neben der Eckquaderung in einer Höhe von 1,60 m über dem Gelände. Die angrenzende Eckquaderung aus rotem Sandstein ist etwa 2 cm zurückgewittert.		
S-BK11.2	Es handelt sich um einen sehr festen Verfugmörtel. Die Probenahmestelle befindet sich im Bereich der Eckquaderung in einer Höhe von 1,60 m bis 1,80 m über dem Gelände.		
S-BK12	Die Probenahmestelle S-BK12 befindet sich unmittelbar unter der Stelle S-S2 (siehe auch Tabelle 2.1) im Bereich des Sockels ca. 0,90 m über dem Gelände. Neben den stark zerfallenem Bohrkernmaterial (S-BK12A) wurden unmittelbar neben der Bohrung aus der Verfugung eine Probe eines nahezu schwarzen Mörtel (S-BK12C) und des darunter vorhandenen Gipsmauermörtels (S-BK12B) entnommen.		
N	Probenahmestellen an der Nordfassade des Rathauses		
N-BK13	Die Probenahmestelle befindet sich im westlichen Teil der Nordfassade in einer Höhe von 1,70 bis 2 m über dem Gelände und im Abstand von 2 m zur Westecke. Das Steinmaterial ist von der Oberflächenerscheinung her scheinbar identisch mit dem der Eckquaderung. Im Wandbereich bis etwa 3 m über dem Gelände ist ein hoher Anteil an Gipsstein in unterschiedlichster Erscheinungsform verbaut. Durch die starke Verschmutzung der Wandoberflächen werden diese optisch nur untergeordnet wahrgenommen.		
N-BK14	Die Probenahmestelle befindet sich im westlichen Teil der Nordfassade in einer Höhe von 0,80 bis 1 m über dem Gelände und im Abstand von 2 m zu einer östlich geleg-		

	<p>nen Öffnung eines Rundbogenfensters. Es handelt sich um einen Stein mit stark strukturierter Oberfläche.</p> <p>Im Wandbereich bis etwa 3 m über dem Gelände ist ein hoher Anteil an Gipsstein in unterschiedlichster Erscheinungsform verbaut. Durch die starke Verschmutzung der Wandoberflächen werden diese optisch nur untergeordnet wahrgenommen.</p>		
N-BK15	<p>Die Probenahmestelle befindet sich – unterhalb einer in das Mauerwerk eingebauten Inschriftenplatte aus Naturstein – in einer Höhe von etwa 1 m über dem Gelände. Es handelt sich um einen sehr dichten Naturstein.</p> <p>Nach der Oberflächenerscheinung des Steines waren Ähnlichkeiten zur Probe N-BK13 erwartet worden. Die Struktur des Steins nach der Entnahme unterschied sich jedoch deutlich vom genannten Stein. Eine rückseitig (Ende des Bohrkerns) vorhandene Schicht eines hydraulisch gebundenen Mörtels signalisiert, dass es sich um eine im 20sten Jahrhundert erfolgte Ausbesserung handeln muss. Die Dicke von etwa 15 cm zeigt an, dass es sich möglicherweise um ein plattenartiges Material, dass vorher als Bodenplatte o. ä. verwendet worden war.</p> <p>Im Wandbereich bis etwa 3 m über dem Gelände ist ein hoher Anteil an Gipsstein in unterschiedlichster Erscheinungsform verbaut. Durch die starke Verschmutzung der Wandoberflächen werden diese optisch nur untergeordnet wahrgenommen.</p>		
N-BK16	<p>Die Probenahmestelle befindet sich im westlichen Teil der Nordfassade unter einem Erker in einer Höhe von 1 m über dem Gelände. Es handelt sich um einen Stein mit stark strukturierter Oberfläche. Dass Steinmaterial ist mit dem der Bohrung N-BK14 vergleichbar.</p>		
N-T	<p>im unteren Bereich des Mauerwerks der Nordfassade befinden sich Installationsreste einer „Mauerwerksentfeuchtungsanlage“ – vermutlich aus den Zeit zwischen 1960 und 1980 – in Form von Eisenstäben, die in schlitzartigen Vertiefungen mit Zementmörtel eingemörtelt sind. Der Abstand dieser Stäbe (Durchmesser 12 m) beträgt etwa 50 bis 60 cm und die erkennbare Länge etwa 40 cm.</p> <p>Im Bereich dieser Installationen wurden orientierend einige Proben entnommen.</p>		
N-T1	<p>Die Probenahmestelle N-T1 befindet sich im Wandbereich unter der Probenahmestelle N-BK16. Im Wandbereich sind Gipsmörtel im Mauerwerk vorhanden. Gipssteine sind ebenfalls partiell verbaut. Die Gipsmörtel sind in der Nähe der Installationen stark verkrustet und die dunklen Zementmörtel von weißlichen Bildungen durchsetzt.</p>		
N-T1.1	bis 1	Bildung auf Gipsmörtel	<p>Die Probe wurde in einer Höhe von 40 cm über dem Gelände entnommen.</p> <p>Es handelt sich um eine gekröseartige Bildung auf einer Gipsmörteloberfläche.</p>
N-T1.2	bis 1,5	Zementmörtel	<p>Die Probe wurde in einer Höhe von 50 cm über dem Gelände entnommen.</p> <p>Der Mörtel zerfällt leicht und ist von weißlichen Bildungen durchzogen.</p>
N-T2	<p>Die Probenahmestelle N-T2 befindet sich im östlichen Teil der Nordseite. Unmittelbar über der Probenahmestelle sind großformatige Gipssteine verbaut. Diese sind bereits sehr stark zurückgewittert und weisen im Bestand starke Schäden auf. Möglich ist ein Zusammenhang mit der Installation. Deren Einbausituation ist mit der an der Stelle N-T1 vergleichbar.</p>		
N-T2.1	<p>Es handelt sich um einen an der Oberfläche bräunlichen Mörtel mit wechselnder Färbung im Bruchprofil und anhaftenden Gipsmörtelresten.</p> <p>Die Probe wurde geteilt in:</p> <p>N-T2.1.1 – Zementmörtel</p> <p>N-T2.2.2 – Gipsmörtel, der mit dem Zementmörtel in direktem Kontakt stand</p>		
N-T2.2	<p>Es handelt sich um einen sehr dunklen Mörtel, der unmittelbar aus dem Kontakt zu einem Eisenstab entnommen wurde.</p>		

An den meisten Proben sind Untersuchungen – teils nach vorheriger Teilung – durchgeführt worden. Einige Proben wurden bisher nicht untersucht. Sie dienen zum visuellen Vergleich bei der Auswahl typischer Proben für spezifische Untersuchungen.

3 Untersuchungen und Ergebnisse

Vor dem Beginn der Untersuchungen wurden die Proben entsprechend der Angaben in den Tabelle 2.1 und 2.2 nach Materialarten geteilt.

3.1 Materialfeuchten und „fiktive Gips“-Gehalte

Die Bestimmung der Materialfeuchten in den Proben erfolgte zunächst durch Trocknung bei 40°C über 3 Tage. Anschließend sind die Proben einer weiteren Trocknung über 3 Tage bei 105°C unterzogen worden.

Über die Trocknung bei 40°C sollte vor allem das ungebundene Wasser in den Proben erfasst werden. Nach der anschließenden Trocknung bei 105°C werden in den Mörteln erste Informationen über Hydratwasser in Salzen, in Gips oder hydraulischen Bindemitteln erhalten. Als Maß dafür wurde der Anteil des Masseverlustes bei der Trocknung zwischen 40 und 105°C $[C=(B-A)/B*100\%]$ – nachfolgend als „HF-Anteil“ bezeichnet – berechnet.

Aus den Differenzen zwischen den bei 40 und 105°C bestimmten Materialfeuchten der Mörtel wurden – unter der Annahme, dass der Masseverlust durch die Wasserabgabe aus Gips (Dihydrat) entsteht – „fiktive Gips“-Gehalte berechnet.

In den Tabellen und den nachfolgenden Abbildungen sind die Materialfeuchten, die berechneten „HF-Anteile“ und die berechneten „fiktiven Gips“-Gehalte über den mittleren Entnahmetiefen der Proben für die hier untersuchten Probenahmestellen dargestellt. Berechnet wird die „mittlere Tiefe“ als arithmetischer Mittelwert aus der minimalen und maximalen Tiefe der Probenahme für die jeweilige Teilprobe.

3.1.1 Ergebnisse von Untersuchungen an Bohrmehlproben

Die Bohrmehlproben aus den Fugenbereichen und Natursteinen dienen vor allem zur Erfassung von höhen- und profilabhängigen Feuchteverteilungen im Mauerwerk.

Tabelle 3.1.1.1: Materialfeuchten, „HF-Anteile“ und „fiktive Gips“-Gehalte in Bohrmehlproben aus Fugenbereichen des Natursteinmauerwerks

Probe NDH-R-	mittlere Tiefe in cm	Materialfeuchte bei 40°C in M.-%	Materialfeuchte bei 105°C in M.-%	berechneter „HF-Anteil“ in %	„fiktiver Gips“-Gehalt in M.-%
		A	B	C	
Probenahmestellen an der Ostfassade des Rathauses					
O-F1.1	1	2,27	3,55	36	6
O-F1.2	3,5	4,40	5,56	21	6
O-F1.3	7,5	7,38	9,15	19	8
O-F1.4	15	9,96	12,03	17	10
O-F2.1	1	7,57	10,96	31	16
O-F2.2	3,5	1,24	2,19	43	5
O-F2.3	7,5	1,62	1,95	17	2
O-F2.4	15	1,27	1,46	14	1
O-F3.1	0,75	2,04	7,91	74	28
O-F3.2	3,25	1,98	13,17	85	53
O-F3.3	7,5	0,72	8,59	92	38
O-F3.4	15	2,71	20,03	86	83
O-F4.1	0,75	0,99	4,01	75	14
O-F4.2	1,5	0,24	19,83	99	94

O-F4.3	3,5	0,28	8,79	97	41
O-F4.4	7,5	0,00	4,14	100	20
O-F4.5	15	0,06	4,80	99	23
O-F5.1	1	0,87	3,84	77	14
O-F5.2	3,5	0,25	2,73	91	12
O-F5.3	7,5	0,33	2,18	85	9
O-F5.4	15	0,05	0,45	89	2
O-F6.1	0,75	0,12	16,15	99	77
O-F6.2	3,25	0,00	15,58	100	74
O-F6.3	7,5	0,17	9,78	98	46
O-F6.4	15	0,14	9,86	99	46
O-F7.1	1	0,97	2,20	56	6
O-F7.2	3,5	0,89	1,79	50	4
O-F7.3	7,5	1,11	3,10	64	10
O-F7.4	15	1,22	4,08	70	14
O-F8.1	1	1,19	4,95	76	18
O-F8.2	3,5	0,00	16,36	100	78
O-F8.3	7,5	0,12	18,63	99	88
O-F8.4	15	3,89	6,45	40	12
Probenahmestellen an der Südfassade des Rathauses					
S-F1.1	1	0,75	6,80	89	29
S-F1.2	3,5	4,01	10,40	61	31
S-F1.3	7,5	8,99	13,62	34	22
S-F1.4	15	9,66	15,61	38	28
S-F2.1	1	4,67	6,66	30	10
S-F2.2	3,5	2,97	13,85	79	52
S-F2.3	7,5	1,92	20,62	91	89
S-F2.4	15	3,78	19,75	81	76
S-F3.1	1	1,25	4,14	70	14
S-F3.2	3,5	0,16	18,25	99	86
S-F3.3	7,5	0,43	17,47	98	81
S-F3.4	15	0,20	9,41	98	44
S-F4.1	1	0,00	9,22	100	44
S-F4.2	3,5	0,31	13,64	98	64
S-F4.3	7,5	0,24	15,76	98	74
S-F4.4	15	0,00	15,58	100	74
S-F5.1	0,75	0,38	2,19	83	9
S-F5.2	1,5	0,09	19,17	100	91
S-F5.3	3,5	0,00	8,18	100	39
S-F5.4	7,5	0,19	13,42	99	63
S-F5.5	15	0,24	9,14	97	43
S-F6.1	0,25	1,02	11,24	91	49
S-F6.2	1,25	0,00	14,54	100	69
S-F6.3	3,5	0,00	12,75	100	61
S-F6.4	7,5	0,00	11,17	100	53
S-F6.5	15	0,14	15,67	99	74
S-F7.1	1	0,77	3,99	81	15
S-F7.2	3,5	0,00	1,25	100	6
S-F7.3	7,5	0,22	0,88	75	3
S-F7.4	15	0,67	1,24	46	3
S-F8.1	1	0,80	2,52	68	8
S-F8.2	3,5	0,35	5,04	93	22

S-F8.3	10	0,49	3,63	87	15
Probenahmestellen an der Westfassade des Rathauses					
W-F1.1	1	11,39	15,98	29	22
W-F1.2	3,5	10,61	11,55	8	4
W-F1.3	7,5	12,44	13,24	6	4
W-F1.4	15	10,43	11,46	9	5
W-F1.5	25	4,74	5,28	10	3
W-F2.1	1	5,60	8,36	33	13
W-F2.2	3,5	5,99	6,63	10	3
W-F2.3	7,5	7,78	8,17	5	2
W-F2.4	15	9,85	10,67	8	4
W-F3.1	1	2,80	7,76	64	24
W-F3.2	6	9,16	10,37	12	6
W-F4.1	0,5	1,10	3,31	67	11
W-F4.2	1,5	0,29	14,52	98	68
W-F4.3	3,5	0,00	12,83	100	61
W-F4.4	7,5	0,00	11,31	100	54
W-F4.5	15	0,09	18,06	100	86

Tabelle 3.1.1.2: Materialfeuchten, „HF-Anteile“ und „fiktive Gips“-Gehalte in Bohrmehlproben aus Steinen des Natursteinmauerwerks und der Gesimse sowie Proben von Anlagerungen auf den Natursteinoberflächen

Probe NDH-R-	mittlere Tiefe in cm	Materialfeuchte bei 40°C in M.-%	Materialfeuchte bei 105°C in M.-%	berechneter „HF-Anteil“ in %	„fiktiver Gips“- Gehalt in M.-%
		A	B	C	
Probenahmestellen an der Ostfassade des Rathauses					
O-S1.1	0,39	0,79	50	0,39	1,9
O-S1.2	0,00	0,25	100	0,00	1,2
O-S1.3	0,12	0,12	0	0,12	0,0
O-S2.1	0,00	1,03	100	0,00	4,9
O-S2.2	0,00	0,29	100	0,00	1,4
O-S2.3	0,35	0,46	25	0,35	0,6
O-S3.1	0,00	0,66	100	0,00	3,2
O-S3.2	0,32	0,65	50	0,32	1,6
O-S3.3	0,31	0,41	25	0,31	0,5
O-S4.1	0,53	2,14	75	0,53	7,7
O-S4.2	0,00	0,25	100	0,00	1,2
O-S4.3	0,36	0,84	57	0,36	2,3
O-S5.1	0,00	0,29	100	0,00	1,4
O-S5.2	0,23	0,47	50	0,23	1,1
O-S5.3	0,18	0,18	0	0,18	0,0
O-S5.4	0,00	0,16	100	0,00	0,8
O-S6.1	0,00	1,01	100	0,00	4,8
O-S6.2	0,00	0,00	-	0,00	0,0
O-S6.3	0,12	0,12	0	0,12	0,0
O-S7.1	0,00	0,00	-	0,00	0,0
O-S7.2	0,22	0,22	0	0,22	0,0
O-S7.3	0,00	0,16	100	0,00	0,8
Probenahmestellen an der Südfassade des Rathauses					
S-S1.1	2,54	4,43	43	2,54	9,0
S-S1.2	5,32	5,88	10	5,32	2,7

S-S1.3	6,39	6,63	4	6,39	1,1
S-S2.1	0,00	0,52	100	0,00	2,5
S-S2.2	0,00	0,43	100	0,00	2,0
S-S2.3	0,12	0,35	67	0,12	1,1
S-S3.1	0,00	1,26	100	0,00	6,0
S-S3.2	0,00	0,36	100	0,00	1,7
S-S3.3	0,00	0,47	100	0,00	2,3
S-S4.1	0,00	0,00	-	0,00	0,0
S-S4.2	0,00	0,00	-	0,00	0,0
S-S4.3	0,00	0,12	100	0,00	0,6
S-S4.4	0,00	0,16	100	0,00	0,8
S-S5.1	0,00	0,78	100	0,00	3,7
S-S5.2	0,00	0,46	100	0,00	2,2
S-S5.3	0,13	0,13	0	0,13	0,0

Probenahmestellen – Bohrmehlproben aus Fugenbereichen und aus Natursteinen – an der Ostfassade des Rathauses:

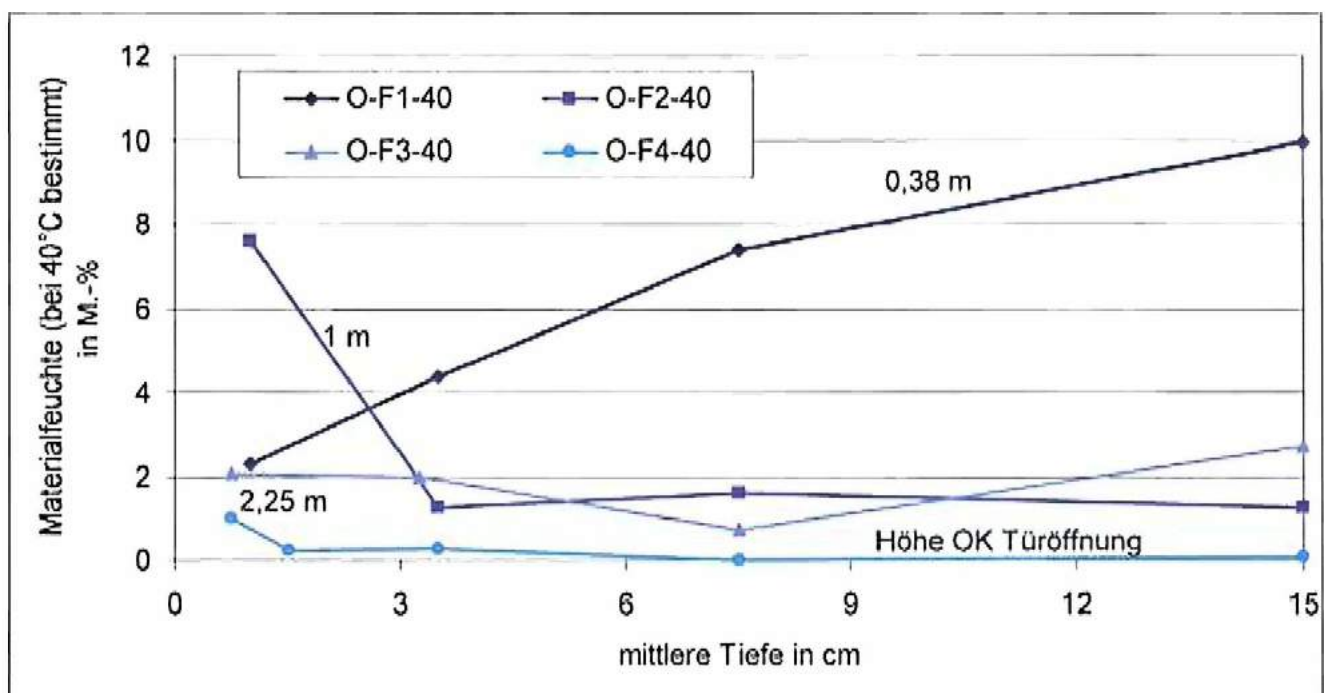


Abb. 3.1.1.1: Materialfeuchten (Bestimmung bei 40°C) in Bohrmehlproben aus Fugenbereichen an der Ostfassade – untere Probenahmestellen

An der Ostfassade sind im unteren Teil des Sockels (hier 0,38 m über dem Gelände) sehr hohe Feuchtegehalte nachweisbar. Mit der Probenahmetiefe steigen die Werte stark an. Es ist davon auszugehen, dass Wasser in erdberührten Teilen des Mauerwerks eindringt und vor allem über die Mauermörtel in höhere Wandbereiche umgelagert wird. Erkennbar ist auch, dass mit der Höhe schon im Bereich des Sockels die Werte schnell abnehmen und in Höhe der Oberkante der Türöffnung („O-F4-40“) keine relevanten Feuchtebelastungen im Mauerwerk mehr vorliegen.

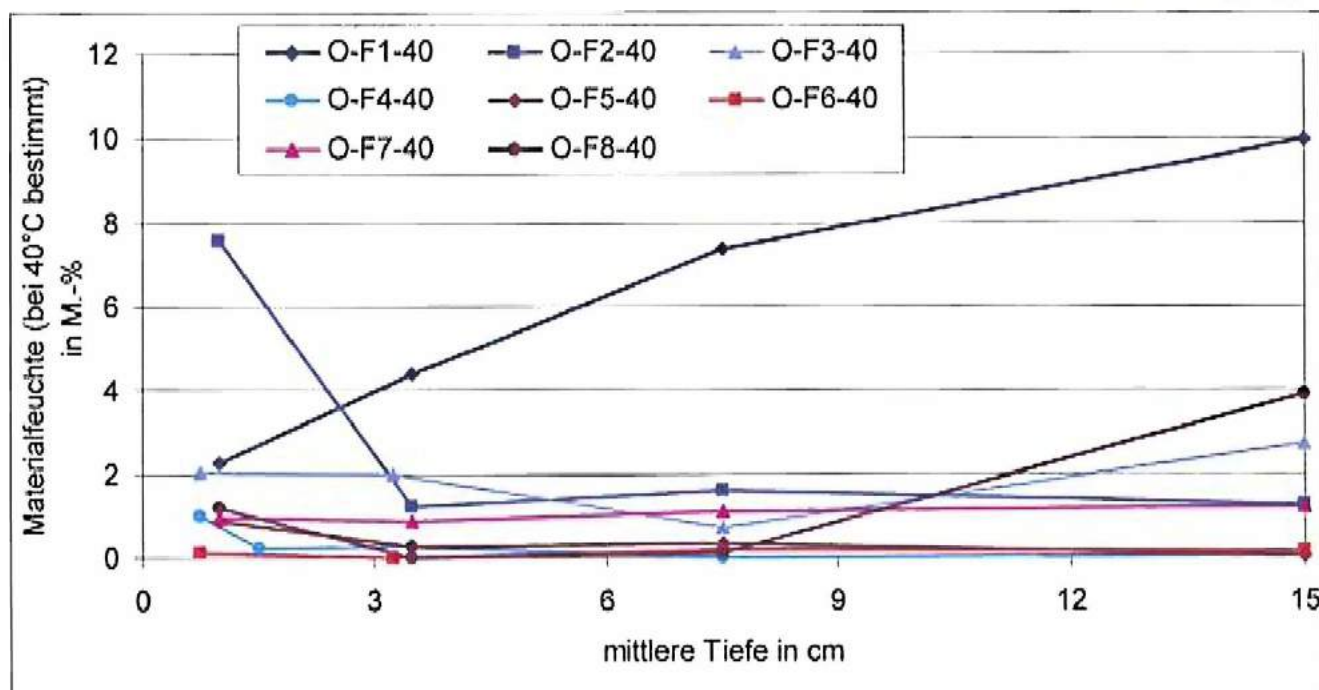


Abb. 3.1.1.2: Materialfeuchten (Bestimmung bei 40°C) in Bohrmehlproben aus Fugenbereichen an der Ostfassade – alle Probenahmestellen

Mit Zunahme der Probenahmehöhen bleiben die Materialfeuchten im Mauerwerk zunächst auf einem sehr geringen Niveau. Mit dem Erreichen des Dachgesimses (Probenahmestellen O-F-7-40 und O-F-8-40) steigen die Werte ab einer Probenahmetiefe von etwa 10 cm wieder an. Unmittelbar über der Probenahmestelle waren defekte Ziegel in Nähe der Dachkante vorhanden. Über diese erfolgte der Wassereintrag in die Mauerkrone.

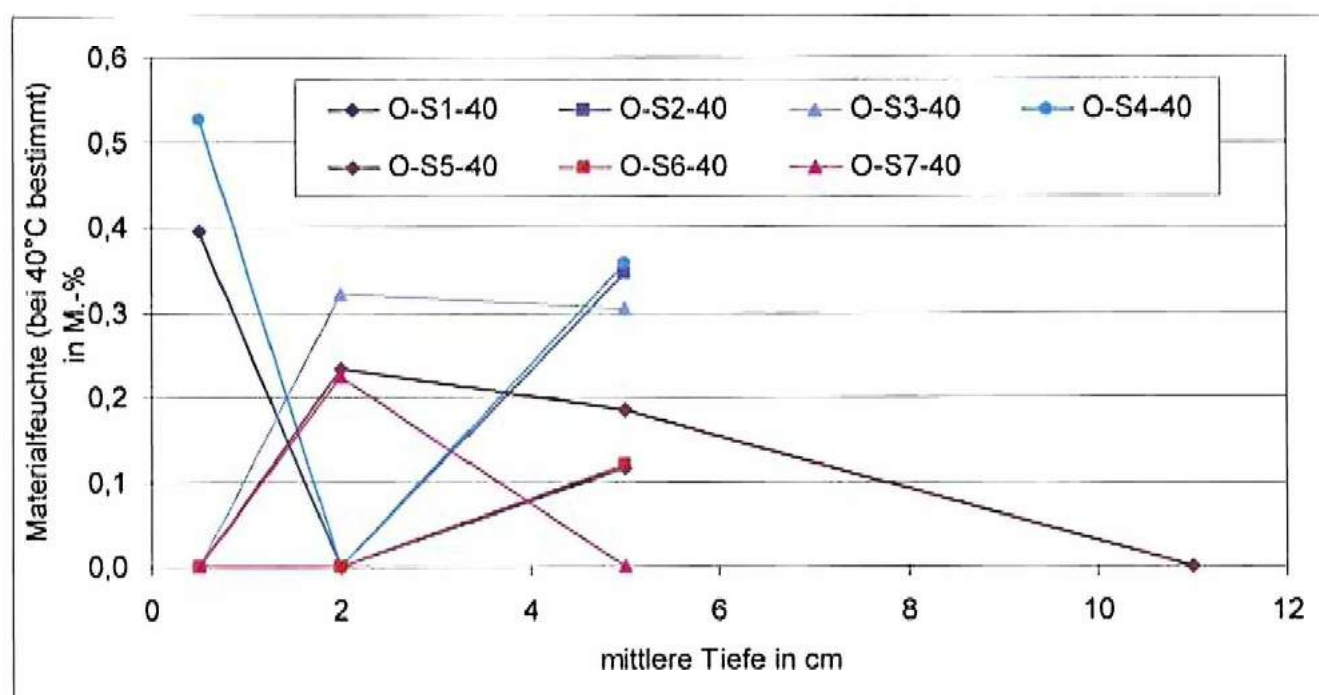


Abb. 3.1.1.3: Materialfeuchten (Bestimmung bei 40°C) in Bohrmehlproben aus Natursteinen an der Ostfassade – alle Probenahmestellen

Die Feuchtegehalte in den Natursteinen bewegen sich auf niedrigem Niveau. Eindeutige Trends sind nicht erkennbar.

**Probenahmestellen – Bohrmehlproben aus Fugenbereichen und aus Natursteinen –
an der Südfassade des Rathauses:**

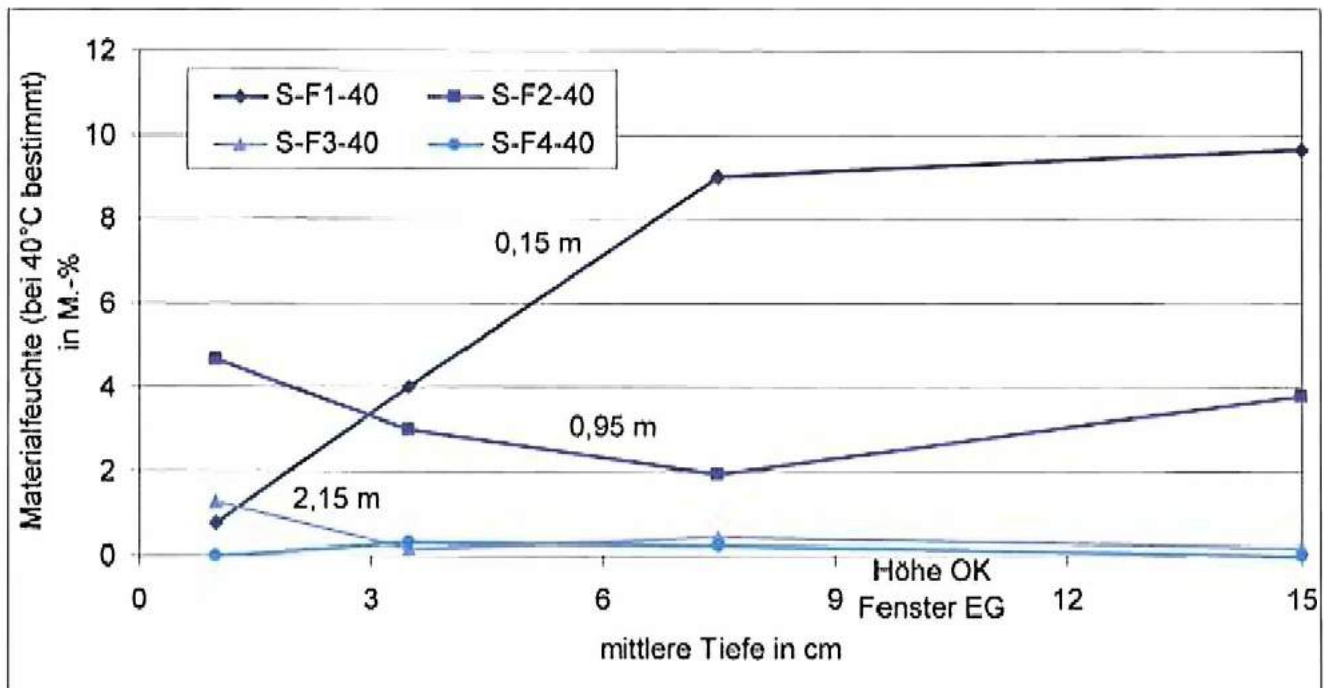


Abb. 3.1.1.4: Materialfeuchten (Bestimmung bei 40°C) in Bohrmehlproben aus Fugenbereichen an der Südfassade – untere Probenahmestellen

Es ergibt sich eine mit der Ostfassade vergleichbare Situation. Unmittelbar über dem Gelände sind die Feuchtegehalte im Mauerwerk (Mörtel) sehr hoch. Bis zur Sockeloberkante nehmen die Werte bereits deutlich ab und in den höheren Wandbereichen (siehe auch Abb. 3.1.1.5) sind keine relevanten Feuchtebelastungen im Bereich der Probeachse festzustellen.

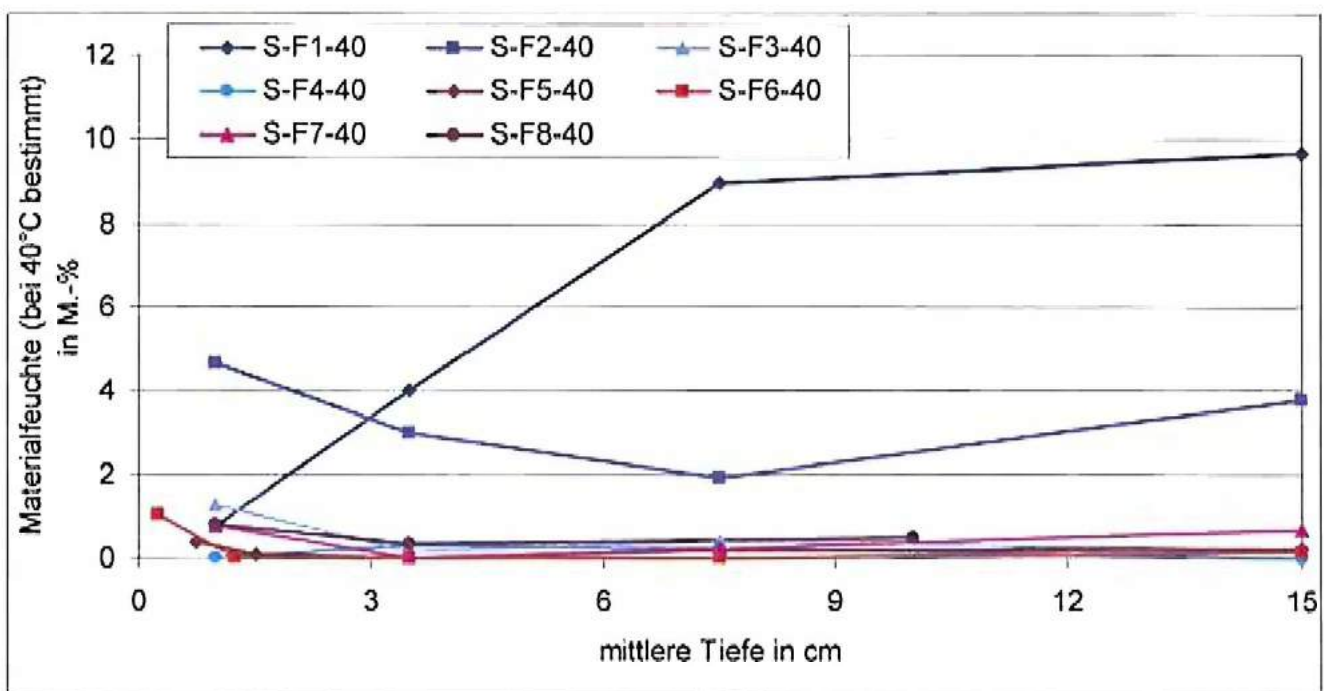


Abb. 3.1.1.5: Materialfeuchten (Bestimmung bei 40°C) in Bohrmehlproben aus Fugenbereichen an der Südfassade – alle Probenahmestellen

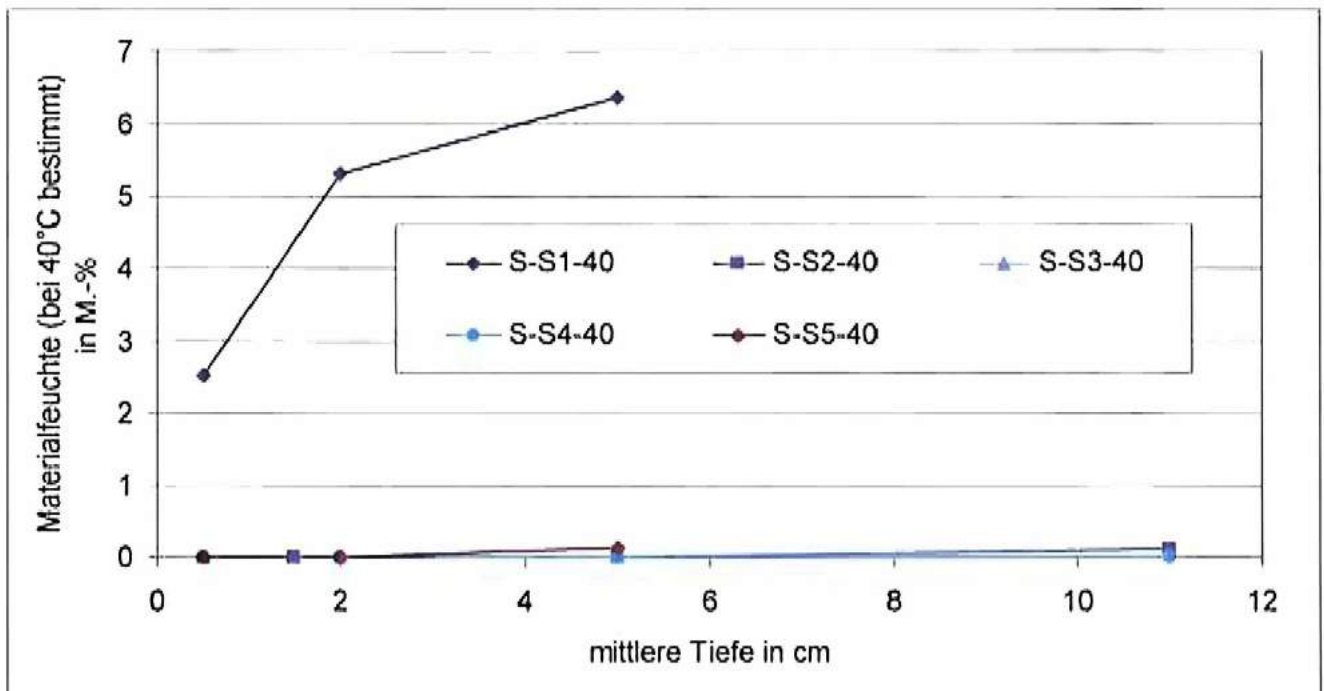


Abb. 3.1.1.6: Materialfeuchten (Bestimmung bei 40°C) in Bohrmehlproben aus Natursteinen an der Südfassade – alle Probenahmestellen

In den Steinen der Südfassade sind, außer im Bereich des Sockels (S-S1-40) keine relevanten Feuchtegehalte nachweisbar. Der betroffene Stein im Sockelbereich war sehr weich und vermutlich gut für den kapillaren Feuchtetransport geeignet.

Probenahmestellen – Bohrmehlproben aus Fugenbereichen – an der Westfassade des Rathauses:

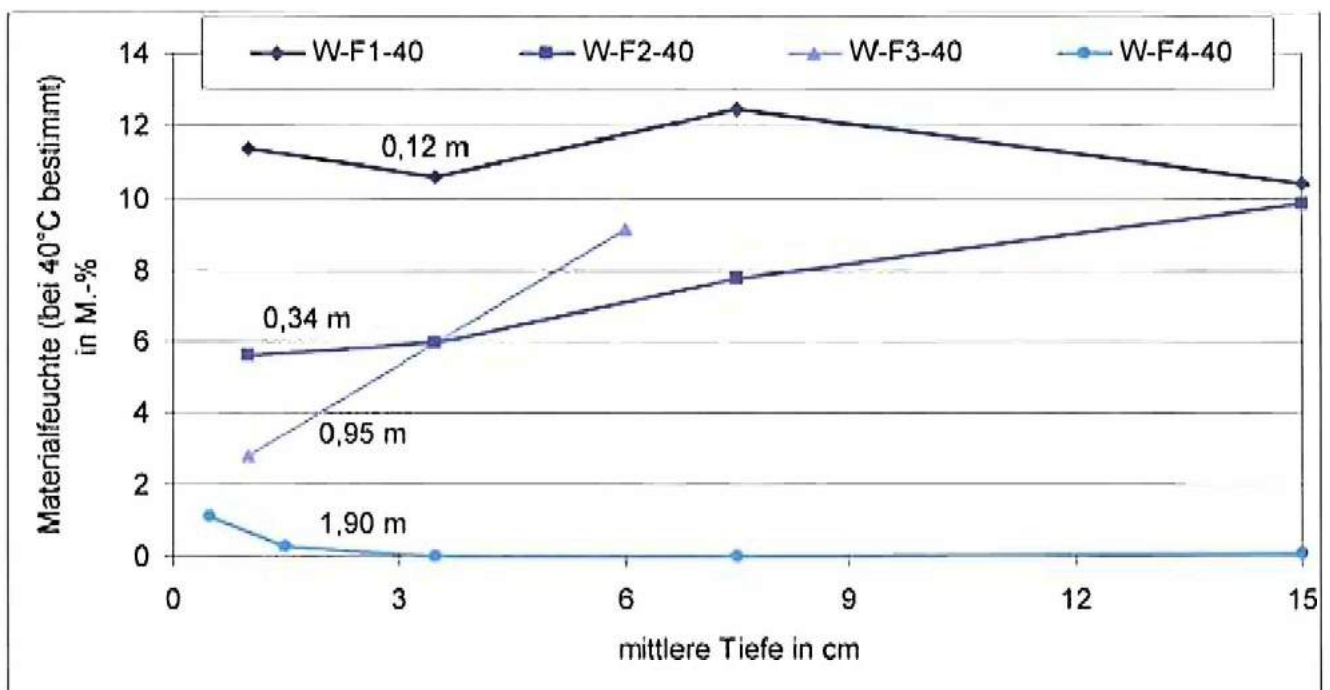


Abb. 3.1.1.7: Materialfeuchten (Bestimmung bei 40°C) in Bohrmehlproben aus Fugenbereichen an der Westfassade – alle Probenahmestellen

An der Westfassade zeichnen sich hohe Feuchtegehalte im Sockelbereich ab. Die Werte sind über die gesamte Sockelhöhe hoch bis sehr hoch und nehmen mit der Entnahmetiefe zu. Es deutet sich an, dass in den höheren Wandflächen (W-F4-40) die Werte erheblich sinken und dann das Niveau der anderen Fassadenbereiche erreichen.

„Fiktive Gips“-Gehalte in Bohrmehlproben aus Fugenbereichen und aus Natursteinen:

Die nachfolgenden Abbildungen enthalten orientierende Informationen zu Gipsgehalten. Da aufgrund der oben angegebenen Berechnungsweise einige zusätzliche Einflüsse, die hier nicht berücksichtigt sind, wirksam werden können, erfolgt die Kennzeichnung als „fiktiver Gips“-Gehalt.

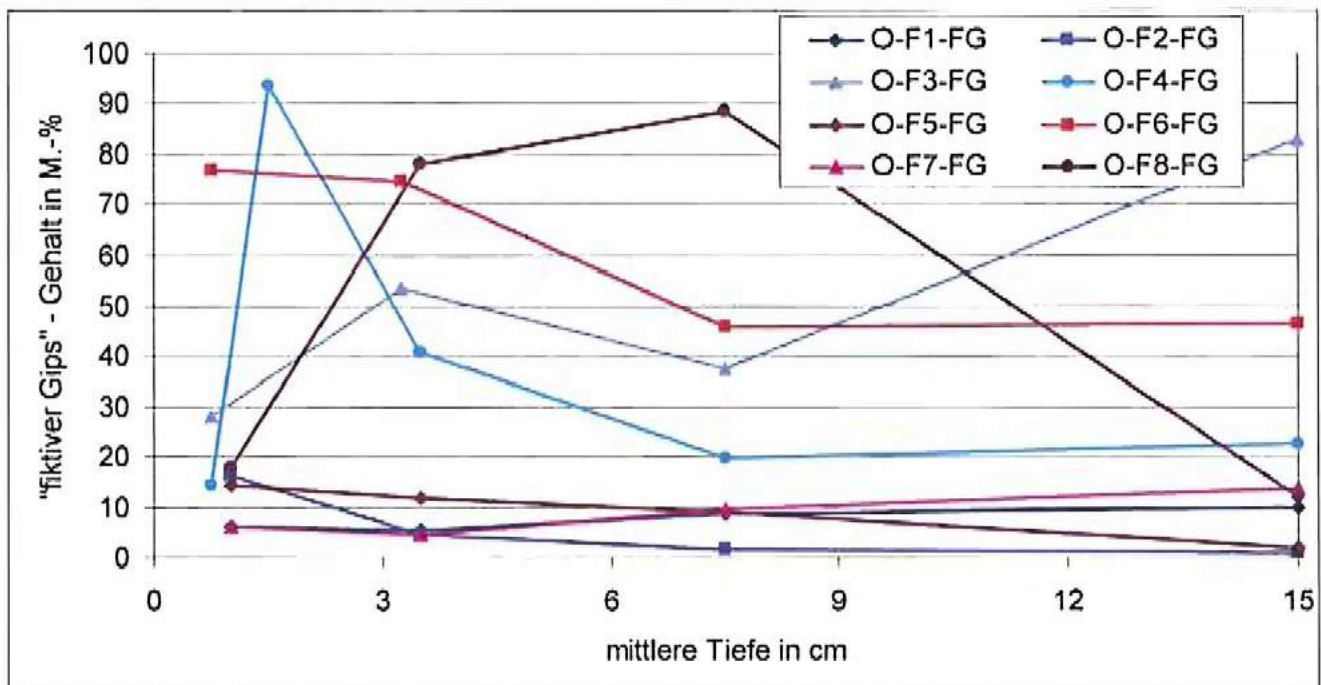


Abb. 3.1.1.8: Berechnete „fiktive Gips“-Gehalte in Bohrmehlproben aus Fugenbereichen an der Ostfassade – alle Probenahmestellen

Die Ergebnisse zeigen, dass oft mit sehr hohen Gipsgehalten in den Mörteln gerechnet werden muss. Einflüsse von Zwickelmaterial in den Fugenbereichen sind bei Bohrmehlproben nur schwer erfassbar. Es ist aber davon auszugehen, dass durch diese „Verdünnungseffekte“ auftreten können. In der Folge wären dann noch höhere Werte möglich.

Im Bereich des Sockels (Stellen O-F1-FG und O-F2-FG) sind die Werte deutlich geringer als im Mauerwerk darüber. Möglich ist hier die Verwendung anderer Mörtel im Vergleich zum Mauerwerk darüber. Es deutet sich an, dass im gesamten historischen Mauerwerk der Ostfassade mit Gipsmörteln als Mauer- und Verfügmörtel gerechnet werden muss. Im Mauerwerk unmittelbar unter dem Dachgesims sind andere Mörtel verbaut. Hier handelt es sich vermutlich um Erneuerungen der Mauerkrone und es Dachgesimses im Zusammenhang mit der Beseitigung von Kriegsfolgen.

In den Bohrmehlproben aus den Natursteinen der Ostfassade (siehe nachfolgende Abbildung) sind keine Gipsgehalte erwartet worden. Erstaunlich sind aber die Werte, die in den oberflächennah entnommenen Proben (bis etwa 1 cm Tiefe) erreicht werden. Lediglich in der Probe O-S7-FG aus dem Naturstein des Dachgesimses sind keine Gipsgehalte oberflächennah vorhanden. An allen beprobten Natursteinen aus älteren Mauerwerksoberflächen und den Gesimsen sind höhere Gipsgehalte zu erwarten. Der Gips kann aus Luftschadstoffen oder Umlagerungen von Mörtelbestandteilen aus Fugenbereichen stammen. Möglich ist aber auch anhaftender oder in die Oberflächen eingedrungener Gips aus alten gipsgebundenen Beschichtungen.

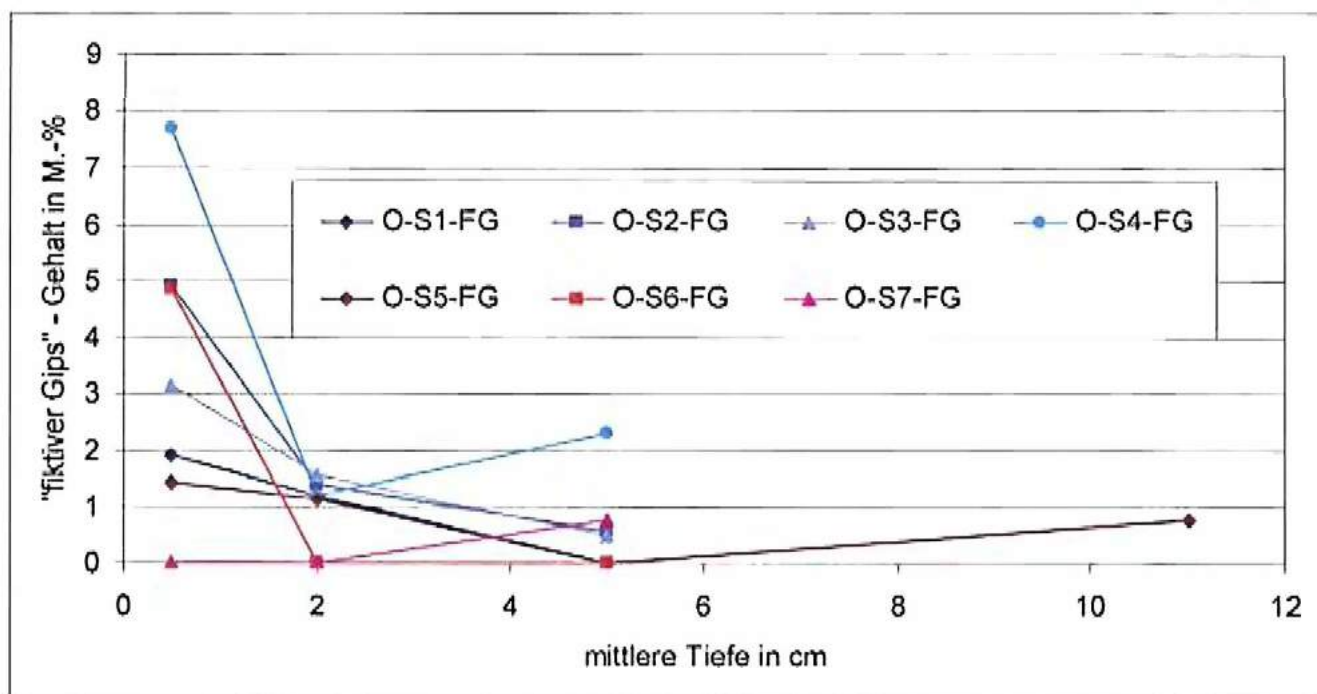


Abb. 3.1.1.9: Berechnete „fiktive Gips“-Gehalte in Bohrmehlproben aus Natursteinen an der Ostfassade – alle Probenahmestellen

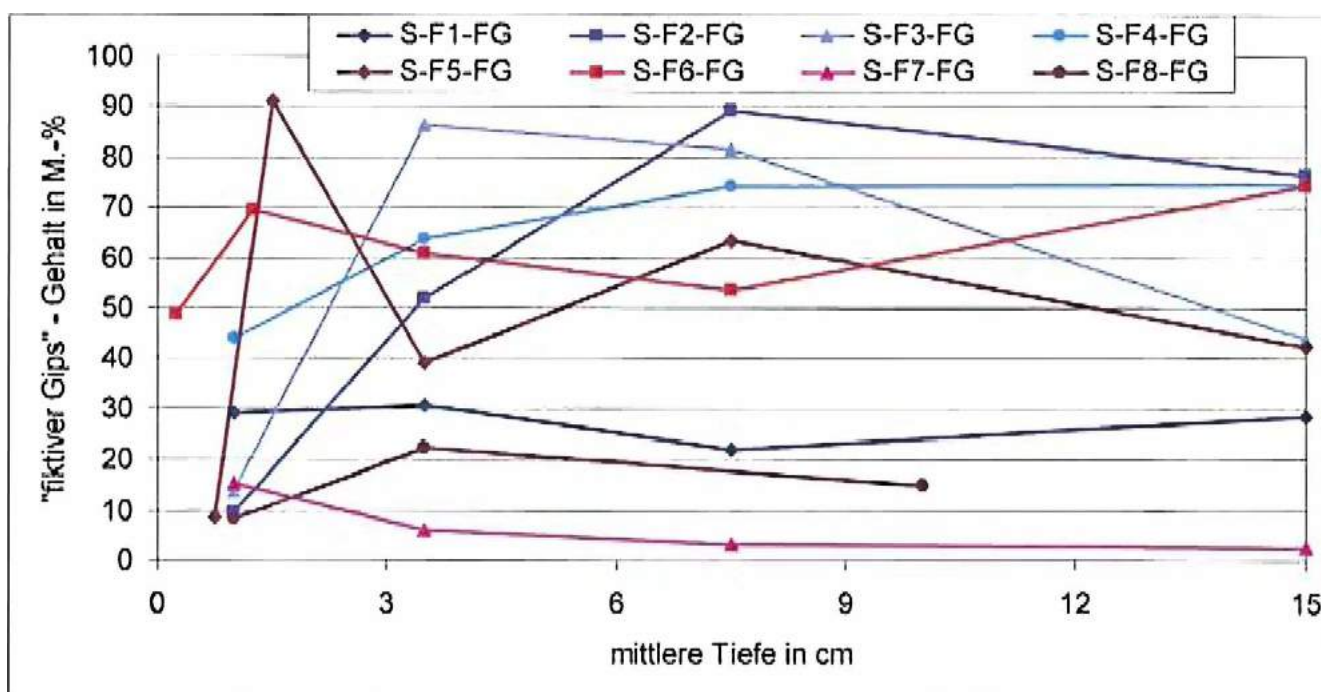


Abb. 3.1.1.10: Berechnete „fiktive Gips“-Gehalte in Bohrmehlproben aus Fugenbereichen an der Südfassade – alle Probenahmestellen

An der Südfassade ergibt sich eine mit der Ostfassade vergleichbare Situation. Es treten bereits im Sockelbereich (S-F2-FG) Gipsmörtel auf. Unmittelbar unter dem Dachgesims (S-F7-FG und S-F8-FG) ist die Situation mit der an der Ostfassade vergleichbar.

Für die Bohrmehlproben aus den Natursteinen der Südfassade (siehe nachfolgende Abbildung) gelten auch die Aussagen der Ostfassade.

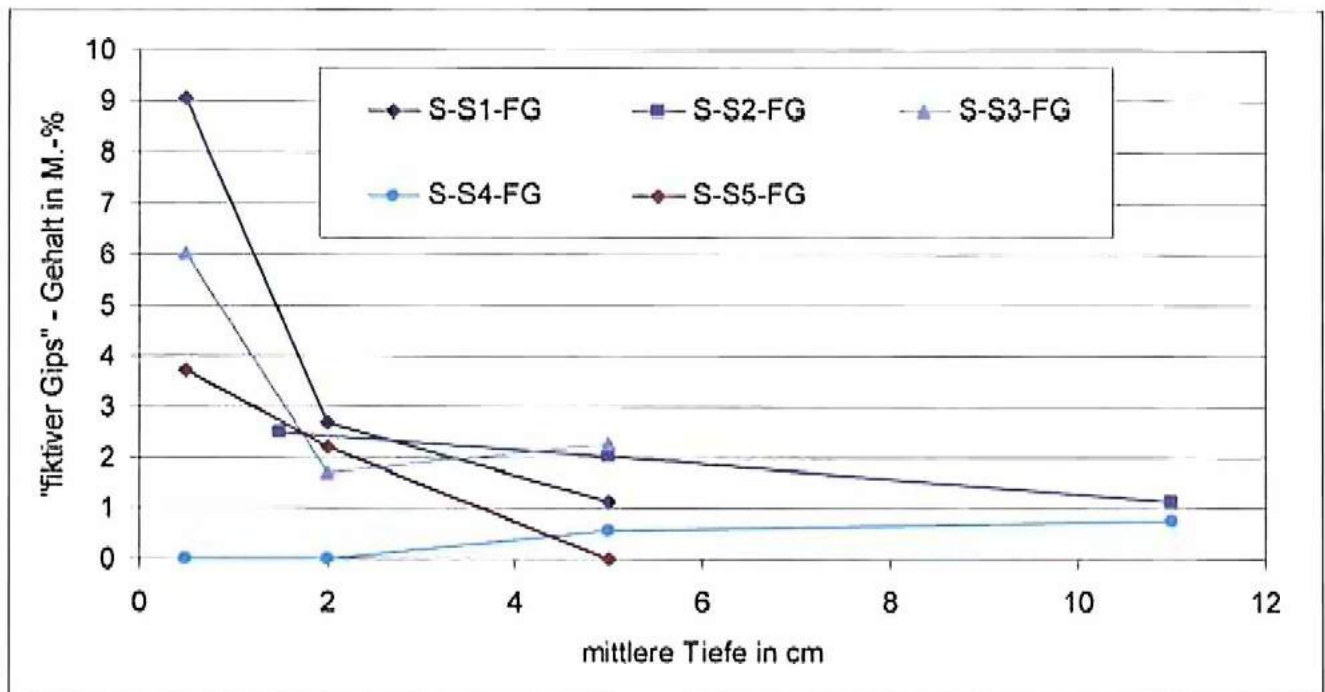


Abb. 3.1.1.11: Berechnete „fiktive Gips“-Gehalte in Bohrmehlproben aus Natursteinen an der Südfassade – alle Probenahmestellen

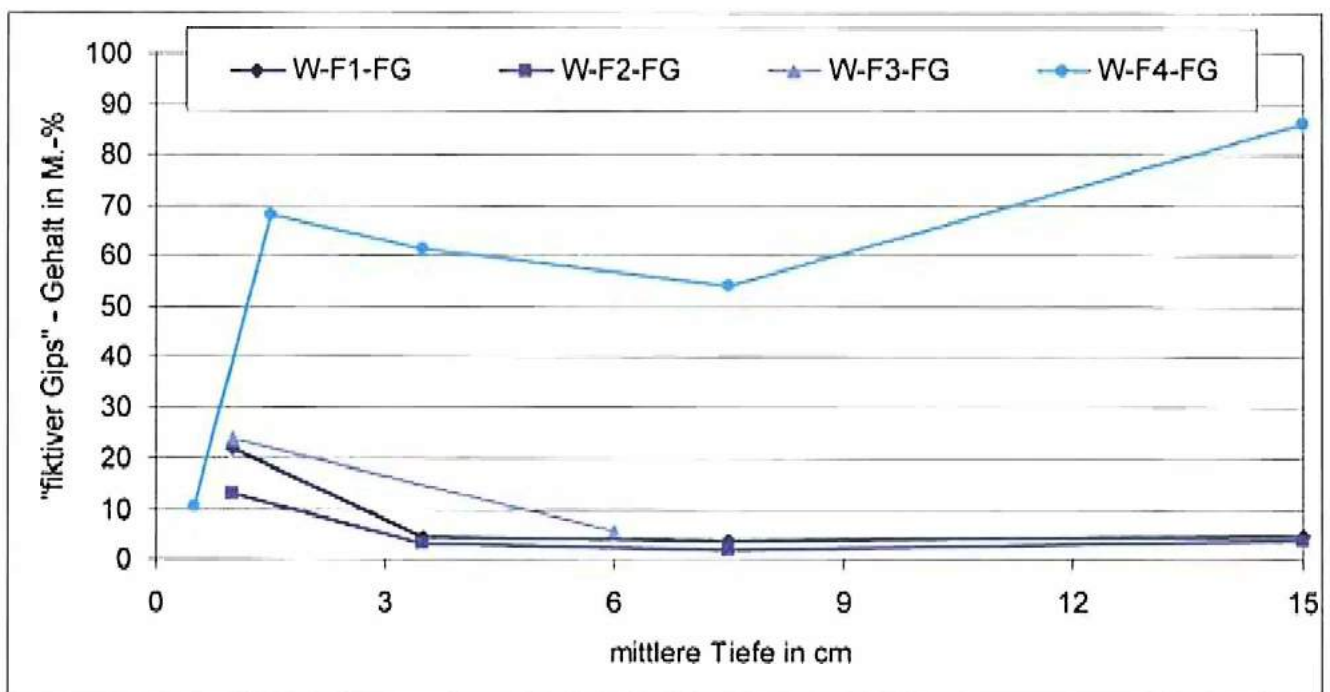


Abb. 3.1.1.12: Berechnete „fiktive Gips“-Gehalte in Bohrmehlproben aus Fugenbereichen an der Westfassade – alle Probenahmestellen

Im Sockelbereich der Westfassade (zumindest an der Probenahmeachse) wurden keine Gipsmörtel (Kriterium Gipsgehalt > 50 M.-%) nachgewiesen. Ob die Mörtel hier ausgewaschen sind oder durch andere im Zuge von Ausbesserungen ersetzt wurden, blieb unklar. Oberhalb des Sockels sind wie an den anderen Fassadenflächen Gipsmörtel im Mauerwerk nachweisbar.

3.1.2 Ergebnisse von Untersuchungen an Proben aus Bohrkernen

Der Schwerpunkt der Untersuchungen an Teilproben aus den Bohrkernen bestand in der Erfassung der „fiktiven Gips“-Gehalte in Mörtelproben. Aus den Bohrkernen konnte zwickelfreies Material gewonnen werden.

Tabelle 3.1.2.1: Materialfeuchten, „HF-Anteile“ und „fiktive Gips“-Gehalte in Proben aus von Anlagerungen und Mörtelresten auf den Natursteinoberflächen

Probe NDH-R-	Materialfeuchte bei 40°C in M.-%	Materialfeuchte bei 105°C in M.-%	berechneter „HF-Anteil“ in %	„fiktiver Gips“- Gehalt in M.-%
	A	B	C	
O-BK1.2	0,08	21,21	100	101,0
O-BK1.3	0,15	20,98	99	99,5
O-BK3.2	0,19	20,12	99	95,2
O-BK4	0,11	19,99	99	95,0
O-BK5	0,77	2,81	72	9,7
O-BK6.1	0,76	5,80	87	24,1
O-BK6.2	0,78	1,54	49	3,6
S-BK7.1	0,93	4,84	81	18,7
S-BK7.2	0,10	20,80	100	98,9
S-BK7.3	0,11	17,44	99	82,8
S-BK8.1	0,55	3,32	84	13,3
S-BK8.2	0,65	1,44	55	3,8
W-BK9.1	1,59	6,32	75	22,6
W-BK9.2	0,28	19,67	99	92,7
W-BK10.1	0,83	2,58	68	8,4
W-BK10.2	0,04	19,06	100	90,8
S-BK11.1	1,02	3,13	67	10,1
S-BK11.2	3,07	6,13	50	14,6
S-BK12B	3,74	25,70	85	105,0

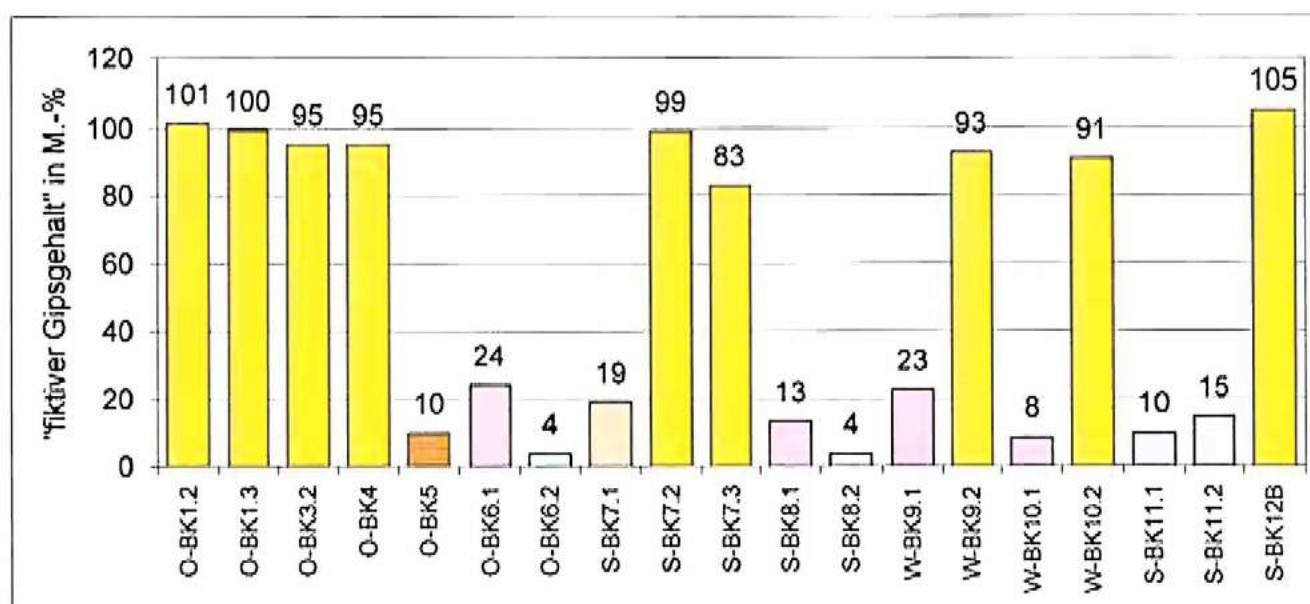


Abb. 3.1.2.1: Berechnete „fiktive Gips“-Gehalte in Mörtelproben aus Bohrkernmaterial

In allen Proben mit „fiktiven Gips“-Gehalten > 80 M.-% ist davon auszugehen, dass es sich um Gipsmörtel aus dem historischen Mauerwerksbestand handelt.

Vor allem in Proben aus nachträglichen Verfügen (O-BK5, O-BK6.1, S-BK7.1, S-BK8.1, W-BK9.1, W-BK10.1, S-BK11.1 und S-BK11.2) verringern sich die Werte deutlich. Ob es sich bei den berechneten Werten um Gipsanteile handelt oder eher um höhere Anteile an hydraulischen Bindemitteln muss über ergänzende Untersuchungen geklärt werden.

Für die Proben O-BK6.2 und S-BK8.2 ergeben sich noch geringere Werte. Bei beiden Proben handelt es sich um Mauermörtel aus höheren Wandbereichen. Diese Mörtel wurden vermutlich im Zusammenhang mit Reparaturen und der Beseitigung von Kriegsschäden eingesetzt. Auch hier sind ergänzende Untersuchungen erforderlich.

3.1.3 Ergebnisse von Untersuchungen an Oberflächenbildungen und Beschichtungsresten

An verschiedenen Steinoberflächen befanden sich Reste von Mörteln und beschichtungsartige Anlagerungen. Aus diesen waren Proben entnommen worden. Der Schwerpunkt der Untersuchungen bestand in der Erfassung der „fiktiven Gips“-Gehalte.

Tabelle 3.1.3.1: Materialfeuchten, „HF-Anteile“ und „fiktive Gips“-Gehalte in Proben von Anlagerungen und Mörtelresten auf den Natursteinoberflächen

Probe NDH-R-	Materialfeuchte bei 40°C in M.-%	Materialfeuchte bei 105°C in M.-%	berechneter „HF-Anteil“ in %	„fiktiver Gips“- Gehalt in M.-%
	A	B	C	
O-A1	1,22	5,53	78	20,6
S-A1	0,25	6,85	96	31,6
S-A2	0,10	4,39	98	20,5
O-OF1	0,00	19,74	100	94,3
O-OF2	0,00	19,41	100	92,7
S-OF3	0,19	19,77	99	93,6
W-OF4	0,19	19,86	99	94,0

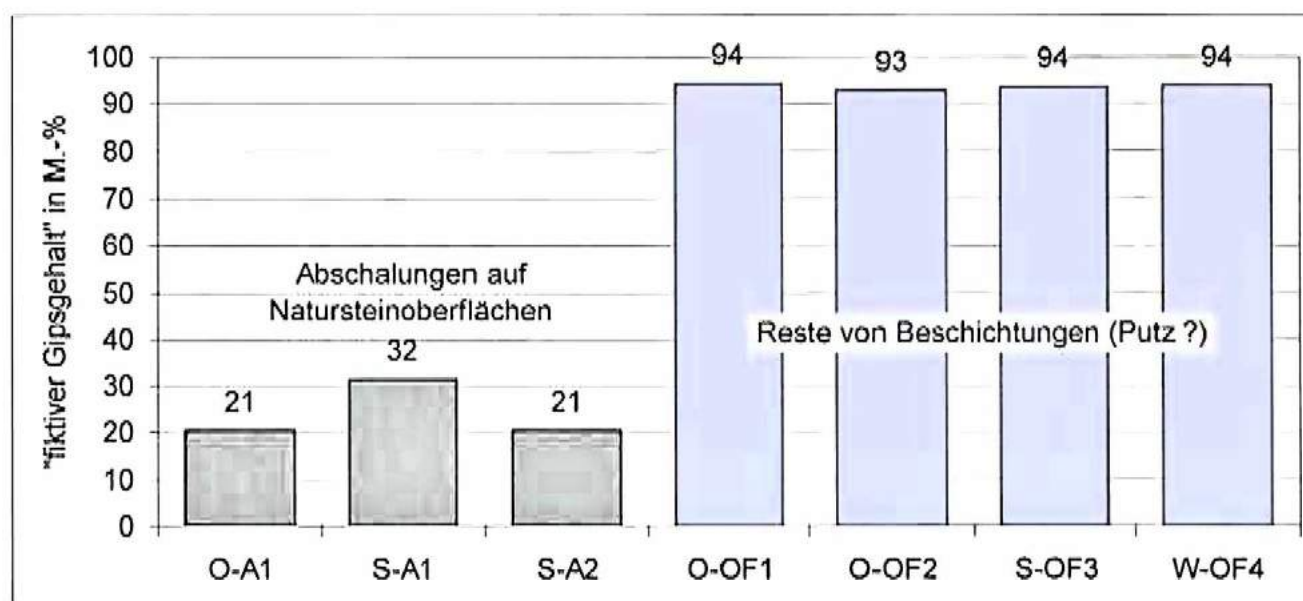


Abb. 3.1.3.1: Berechnete „fiktive Gips“-Gehalte in Anlagerungen und Mörteln auf Natursteinoberflächen

Anhand der Untersuchungen ergeben sich zwei Gruppen. Für die hier untersuchten Anlagerungen wurden „fiktive Gips“-Gehalte zwischen 20 und etwa 30 M.-% berechnet. Da die Materialien dünnsschichtig auflagen, können bei der Probenentnahme auch Steinabschalungen mit erfasst worden sein. Für die Putzreste konnten nahezu gleichmäßige „fiktive Gips“-Gehalte berechnet werden.

3.1.4 Ergebnisse für Proben aus dem Bereich der „Entfeuchtungsanlage“

Bei der Angebotserstellung für die Untersuchungen am Rathaus lagen keine Informationen für das Vorhandensein einer alten „Entfeuchtungsanlage“ an der Nordfassade vor. Nachfolgend sind einige Ergebnisse für eine geringe Probenauswahl aus dem Bereich dieser Anlage zusammengestellt. Der Schwerpunkt der Untersuchungen bestand in der Erfassung der „fiktiven Gips“-Gehalte.

Tabelle 3.1.4.1: Materialfeuchten, „HF-Anteile“ und „fiktive Gips“-Gehalte in Proben aus Materialproben, die in Nähe der „Entfeuchtungsanlage“ an der Nordfassade entnommen wurden

Probe NDH-R-	Materialfeuchte bei 40°C in M.-%	Materialfeuchte bei 105°C in M.-%	berechneter „HF-Anteil“ in %	„fiktiver Gips“-Gehalt in M.-%
	A	B	C	
N-T1.1	1,14	22,41	95	101,6
N-T1.2	5,26	14,52	64	44,2
N-T2.1.1	2,41	10,34	77	37,9
N-T2.1.2	0,10	23,59	100	112,3
N-T2.2	1,74	11,20	84	45,2

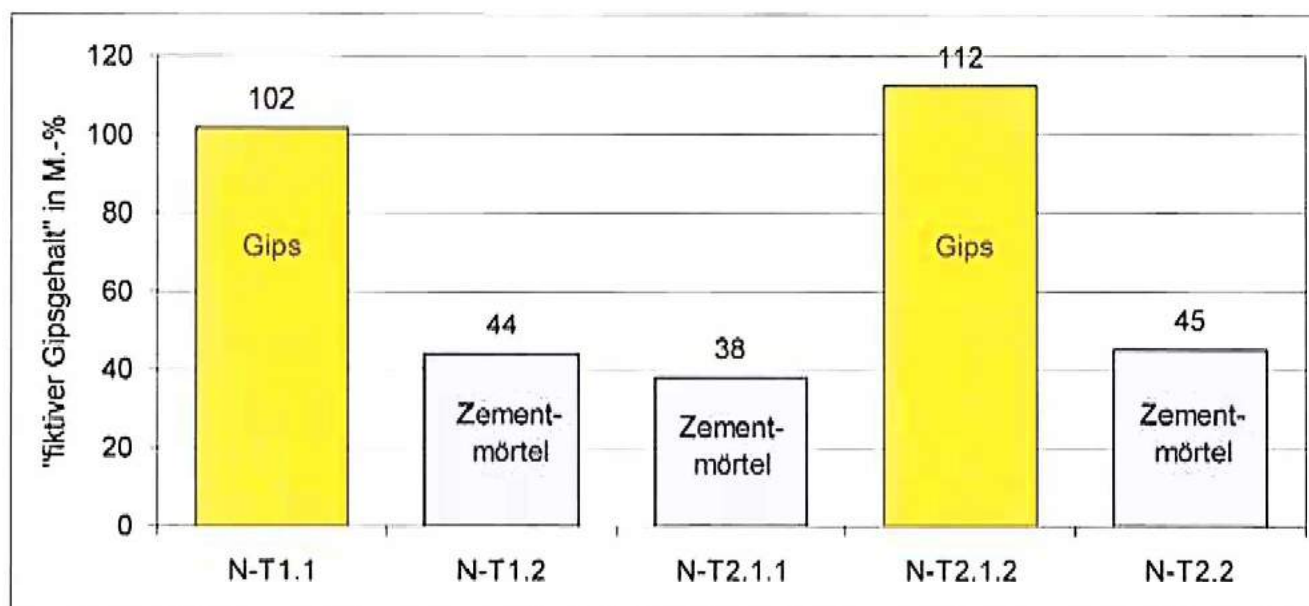


Abb. 3.1.4.1: Berechnete „fiktive Gips“-Gehalte in Mörtelproben, die in unmittelbarer Nähe der „Entfeuchtungsanlage“ entnommen wurden

Es fällt auf, dass sich „fiktive Gips“-Gehalte von > 100 M.-% ergeben. Auszugehen ist davon, dass möglicherweise andere hydratwasserreiche Verbindungen neben Gips zu diesem Ergebnis führten. Es ist davon auszugehen, dass die für die Zementmörtel berechneten Werte real nicht dem Gips zuzuordnen sind.

3.2 Wasserlösliche Salze in den Proben und Salzverteilungen im Mauerwerk

Für die Untersuchungen wurden vor allem Bohrmehlproben ausgewählt. Während der Probenentnahme fiel die „Entfeuchtungsanlage“ an der Nordfassade auf. Hier sind zusätzlich Proben für Untersuchungen ausgewählt worden.

Zur Eluatherstellung sind die bei 105°C getrockneten und < 125 µm aufgemahlene Proben mit der 20fachen Menge destillierten Wassers versetzt worden. Die Eluationsdauer betrug 24 Stunden. Während dieser Zeit wurden die Proben mehrfach aufgeschüttelt.

Nach 24 Stunden sind zur Abschätzung der Größenordnung möglicher Salzbelastungen zunächst der pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit bei 25°C im Eluat gemessen worden.

Anschließend wurden Chlorid, Sulfat und Nitrat mit Anionen-Chromatographie bestimmt und Calcium, Magnesium, Natrium sowie Kalium mittels ICP-OES.

Folgende Untersuchungsverfahren kamen zur Anwendung:

- Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser – DIN 38414-4:1984-10 (in Anlehnung)
- Bestimmung des pH-Wertes – DIN 38404-5:2009-07
- Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit – DIN EN 27888:1993-11
- Bestimmung der gelösten Anionen mittels IC – DIN EN ISO 10304-1:2009-07
- Bestimmung von ausgewählten Elementen durch induktiv gekoppelte Plasma-Atom-Emissionsspektroskopie (ICP-OES) – DIN EN ISO 11885:2009-09

Um erste Aussagen zu Salzgehalten zu erhalten, wurden elektrochemische Messungen in Eluaten aus den Proben durchgeführt.

Als Maß für die Größenordnung von Gehalten an löslichen Salzen in den Proben kann die elektrische Leitfähigkeit im Eluat verwendet werden. Die elektrische Leitfähigkeit korreliert mit der Summe der Ladungsträger in der Lösung.

Hohe elektrische Leitfähigkeiten entstehen aber auch in Eluaten mit hohen pH-Werten. Deshalb wurden die pH-Werte ebenfalls gemessen. Sehr hohe pH-Werte in den Eluaten signalisieren z. B. das Vorhandensein von zementhaltigen Mörteln oder noch nicht oder unvollständig carbonatisierten Kalkmörteln.

Werte für die elektrische Leitfähigkeit im Eluat von etwa 2,2 bis 2,3 mS/cm zeigen das Erreichen einer gesättigten Gipslösung an.

3.2.1 Ergebnisse von Untersuchungen an Bohrmehlproben

In den nachfolgenden Tabellen sind Kennzeichnungen zu Belastungsstufen enthalten. Die Sulfatanteile wurden, da sie überwiegend aus den Bindemitteln der Mörtel stammen, nicht als Schadsalzbestandteile gekennzeichnet.

Tabelle 3.2.1.1: pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit (LF) in Eluaten aus den Bohrmehlproben aus Fugenbereichen sowie wasserlösliche An- und Kationen (in M.-%)
[Belastungsstufe nach Tabelle 3.2.1.3]

Probe NDH-R-	pH- Wert	LF in mS/cm	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Probenahmestellen an der Ostfassade									
O-F1.1	10,21	2,192							
O-F1.2	8,6	2,746	0,855 [IV]	0,354 [III]	1,130	0,152	0,585	0,558	0,009
O-F1.4	10,58	2,68							
O-F2.1	8,79	4,46	1,17 [IV]	0,253 [III]	2,668	0,144	0,745	1,165	0,028
O-F2.2	8,66	1,804							
O-F2.4	8,25	0,65							
O-F3.1	10,9	3,61							
O-F3.2	10,08	3,02							
O-F3.4	8,8	2,618	0,086 [II]	0,064 [II]	8,633	0,078	0,075	3,435	0,02
O-F4.1	11,51	2,493							
O-F4.2	8,29	2,189							
O-F4.3	8,48	2,651	0,023 [I]	0,028 [I]	7,498	0,028	0,019	2,987	0,067
O-F5.1	11,94	2,727							
O-F5.2	9,5	2,768	0,027 [I]	0,064 [II]	5,836	0,044	0,024	2,358	0,037
O-F5.4	8,76	0,94							
O-F6.1	8,5	2,351	0,011 [I]	0,018 [I]	8,088	0,094	0,015	3,163	0,043
O-F6.2	8,3	2,273							
O-F6.4	8,25	2,303							
O-F7.1	9,06	1,201							

O-F7.2	8,73	1,096							
O-F7.3	8,98	2,348	0,010 [I]	0,006 [0]	4,069	0,051	0,025	1,622	0,013
O-F8.1	9,97	2,99	0,106 [III]	0,077 [II]	6,915	0,128	0,061	2,965	0,007
O-F8.2	9,06	2,119							
O-F8.3	8,11	1,976							
Probenahmestellen an der Ostfassade									
S-F1.1	7,79	3,07	0,009 [0]	0,028 [I]	8,299	0,067	0,027	3,389	0,022
S-F1.2	7,9	2,357							
S-F1.4	8,28	2,412							
S-F2.1	8,58	2,256							
S-F2.2	8,05	2,522	0,038 [II]	0,093 [II]	8,122	0,097	0,062	3,276	0,039
S-F2.3	8,07	2,219							
S-F3.1	9,06	2,098							
S-F3.2	8,28	2,4							
S-F3.3	7,88	2,484	0,027 [I]	0,089 [II]	8,52	0,074	0,053	3,444	0,043
S-F4.1	7,99	2,47	0,027 [I]	0,038 [I]	6,478	0,062	0,044	2,525	0,057
S-F4.2	8,6	2,374							
S-F4.3	8,49	2,436							
S-F5.1	9,13	2,17							
S-F5.2	8,51	2,452							
S-F5.4	8,55	2,486	0,050 [II]	0,097 [II]	7,552	0,078	0,065	3,003	0,062
S-F6.1	7,84	2,49	0,029 [II]	0,062 [II]	12,136	0,209	0,119	5,375	0,033
S-F6.2	8,32	2,324							
S-F6.4	8,22	2,303							
S-F7.1	11,62	1,861	0,154 [III]	0,144 [II]	0,791	0,135	0,043	0,685	0,003
S-F7.2	10,96	1,58							
S-F7.3	10,03	1,125							
S-F8.1	9,32	1,199							
S-F8.2	8,24	2,536	0,012 [I]	0,026 [I]	7,757	0,313	0,158	2,962	0,02
Probenahmestellen an der Westfassade									
W-F1.1	8,47	3,35	0,013 [I]	0,035 [II]	8,063	0,083	0,038	3,321	0,018
W-F1.2	8,64	1,584							
W-F1.4	9,21	1,022							
W-F2.1	8,53	2,999	0,022 [I]	0,017 [II]	6,027	0,085	0,038	2,47	0,019
W-F2.2	8,4	0,51							
W-F3.1	8,29	3,9	0,133 [III]	0,382 [III]	7,206	0,143	0,131	2,907	0,10
W-F3.2	8,28	1,035							
W-F4.1	9	2,14							
W-F4.2	8,54	2,284							
W-F4.5	8,04	2,192	0,021 [I]	0,020 [I]	9,182	0,071	0,079	3,721	0,01

Tabelle 3.2.1.2: pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit (LF) in Eluaten aus den Bohrmehlproben aus Natursteinen sowie wasserlösliche An- und Kationen (in M.-%)
[Belastungsstufe nach Tabelle 3.2.1.3]

Probe NDH-R-	pH-Wert	LF in mS/cm	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Probenahmestellen an der Ostfassade									
O-S1.1	8,28	1,66							
O-S2.1	8,43	1,807	0,538 [IV]	0,130 [II]	0,476	0,058	0,37	0,29	0,022
O-S2.2	8,53	0,808							
O-S2.3	8,68	0,549							
O-S3.1	8,33	1,306							

O-S3.2	8,36	0,578							
O-S3.3	8,38	0,382							
O-S4.1	8,19	2,494	0,042 [II]	0,094 [II]	3,63	0,042	0,042	1,457	0,082
O-S5.1	7,99	1,116	0,025 [I]	0,043 [I]	0,956	0,03	0,012	0,434	0,02
O-S5.2	8,73	0,309							
O-S6.1	8,38	1,63	0,025 [I]	0,026 [I]	2,485	0,012	0,02	1,019	0,055
O-S6.2	8,66	0,459							
O-S7.1	8,16	1,149	0,015 [I]	0,026 [I]	1,3	0,007	0,011	0,553	0,009
Probenahmestellen an der Südfassade									
S-S1.1	8,43	2,045	0,020 [I]	0,018 [I]	3,913	0,011	0,014	1,553	0,063
S-S1.2	8,7	0,422							
S-S2.1	8,39	0,38	0,044 [II]	0,187 [III]	0,075	0,026	0,037	0,026	0,052
S-S2.2	8,58	0,425							
S-S3.1	8,36	1,781	0,058 [II]	0,094 [II]	2,335	0,043	0,033	0,836	0,092
S-S4.1	8,21	0,869	0,037 [II]	0,052 [II]	0,762	0,038	0,013	0,353	0,009
S-S4.2	8,55	0,34							
S-S4.3	8,59	0,293							
S-S5.1	8,38	1,155	0,024 [I]	0,023 [I]	1,572	0,007	0,01	0,603	0,057

Tabelle 3.2.1.3: Belastungsstufen mit bauschädlichen Salzen - hier auf lösliche Anionen bezogen
(nach: C. Arendt & J. Seele: „Feuchte und schädliche Salze in Gebäuden“, Verlagsanstalt Alexander Koch, Leinfelden-Echterdingen, 2000)

Sulfat in M.-%	Chlorid in M.-%	Nitrat in M.-%	Konzentration in mmol/kg	Wertung
bis 0,024	bis 0,009	bis 0,016	bis 2,5	unbelastet - Stufe 0
bis 0,077	bis 0,028	bis 0,050	bis 8,0	gering belastet – Stufe I
bis 0,24	bis 0,09	bis 0,16	bis 25,0	mittel belastet – Stufe II
bis 0,77	bis 0,28	bis 0,50	bis 80,0	hoch belastet – Stufe III
ab 0,77	ab 0,28	ab 0,50	ab 80,0	extrem belastet – Stufe IV

Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse der elektrochemischen Messungen an Eluaten zeigen die Verteilung von spezifischen Mörteln im untersuchten Mauerwerksprofil und geben Hinweise auf mögliche Belastungen mit wasserlöslichen Salzen.

In den nachfolgenden Abbildungen sind die pH-Werte und die elektrischen Leitfähigkeiten in den Eluaten aus den Materialproben über den mittleren Entnahmetiefen der Proben für die hier untersuchten Probenahmestellen dargestellt. Berechnet wird die „mittlere Tiefe“ als arithmetischer Mittelwert aus der minimalen und maximalen Tiefe der Probenahme für die jeweilige Teilprobe.

Probenahmestellen – Bohrmehlproben aus Fugenbereichen – an der Ostfassade des Rathauses:

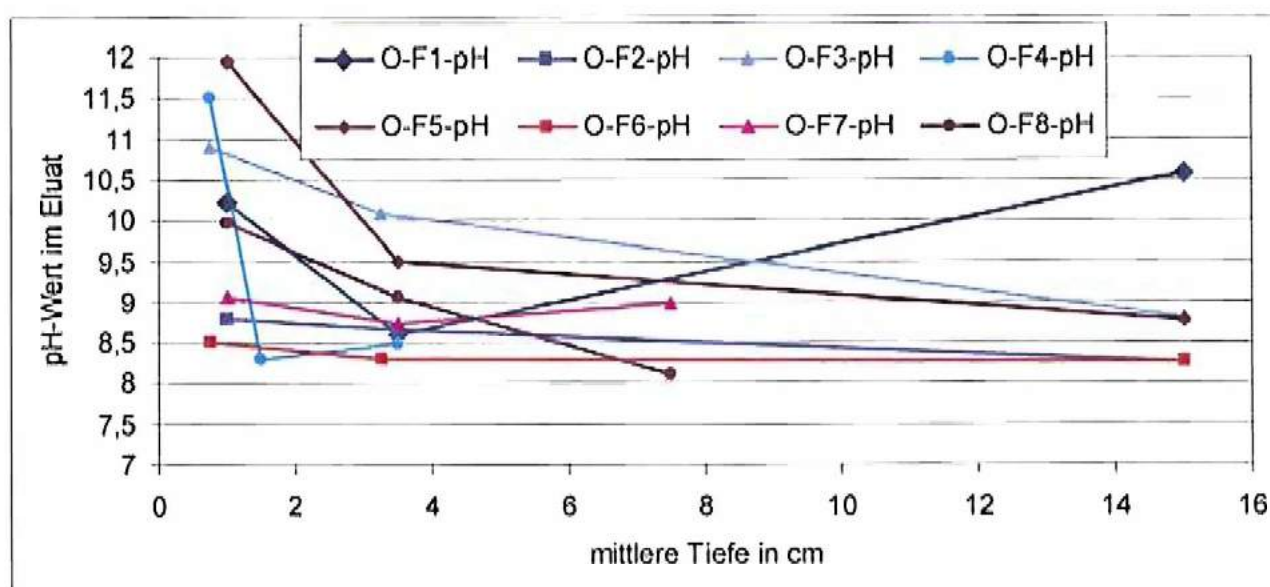


Abb. 3.2.1.1: pH-Werte in Eluaten aus Bohrmehlproben der Ostfassade – Mörtel aus Fugenbereichen

Hohe pH-Werte in den Eluaten von > 10 werden bevorzugt oberflächennah (Bereiche der Neuverfugung) und an der Stelle O-F1-pH auch in einer Tiefe von etwa 15 cm nachgewiesen. Auch hier sind Mörtel mit hydraulischen Bindemitteln aus jüngeren Reparatur- und Wiederaufbauphasen möglich. Für die Eluate mit pH-Werten $< 10,5$ können die elektrischen Leitfähigkeiten in den Eluaten als Maß für die Gesamtsalzbelastungen verwendet werden.

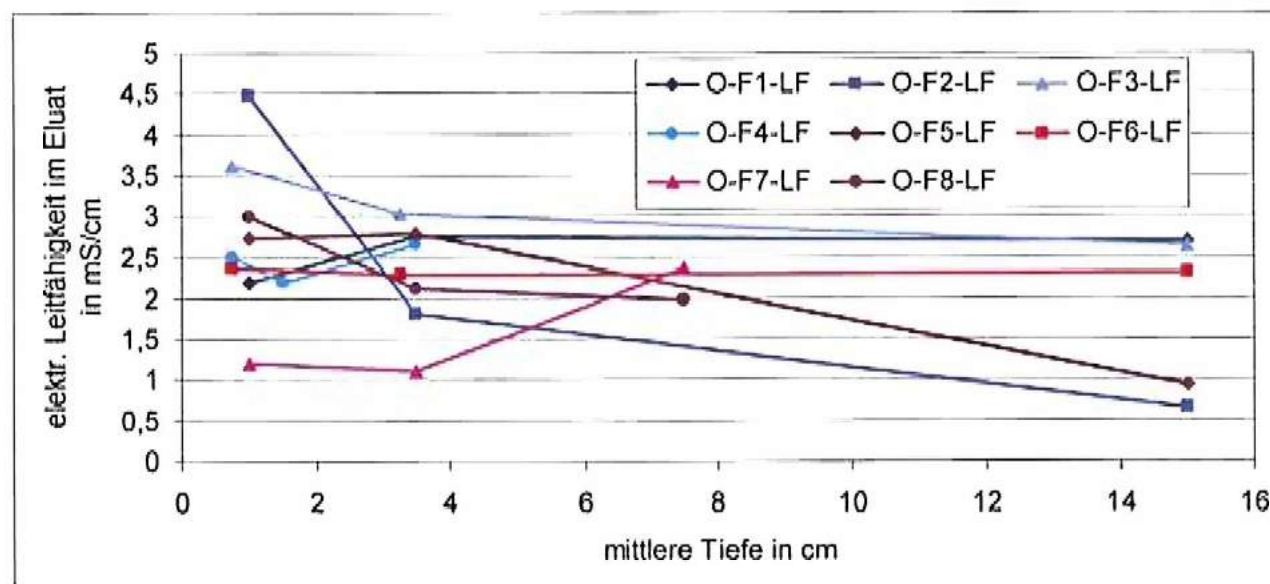


Abb. 3.2.1.2: Elektrische Leitfähigkeiten in Eluaten aus Bohrmehlproben der Ostfassade – Mörtel aus Fugenbereichen

Es deutet sich für die Bohrmehlproben aus den Fugenbereichen der Ostfassade eine Dominanz von elektrischen Leitfähigkeiten zwischen 2 und 3 mS/cm im Eluat an. Höhere Werte an den Oberflächen (z.B. O-F4-LF) sind teils auf hydraulische Bindemittelanteile zurückzuführen. Andererseits muss aber auch oberflächennah mit extremen Salzbelastungen (z.B. O-F2-LF) gerechnet werden.

Es ist von überwiegend gipshaltigen Mörteln im Inneren des Mauerwerks auszugehen. Bei Überschreiten der Werte für die elektrischen Leitfähigkeiten von etwa 2,2 mS/cm bei pH-Werten < 10,5 muss zusätzlich mit Salzbelastungen gerechnet werden. Diese Situation ist häufig anzutreffen.

Ein Abfall der Werte für die elektrischen Leitfähigkeiten im Eluat unter 2,2 mS/cm kann auch bedeuten, dass neben Mörtelbestandteilen höhere Anteile an Steinmaterial von den Fugenflanken oder Material von Zwickeln in der Probe mit enthalten sind.

Probenahmestellen – Bohrmehlproben aus Fugenbereichen – an der Südfassade des Rathauses:

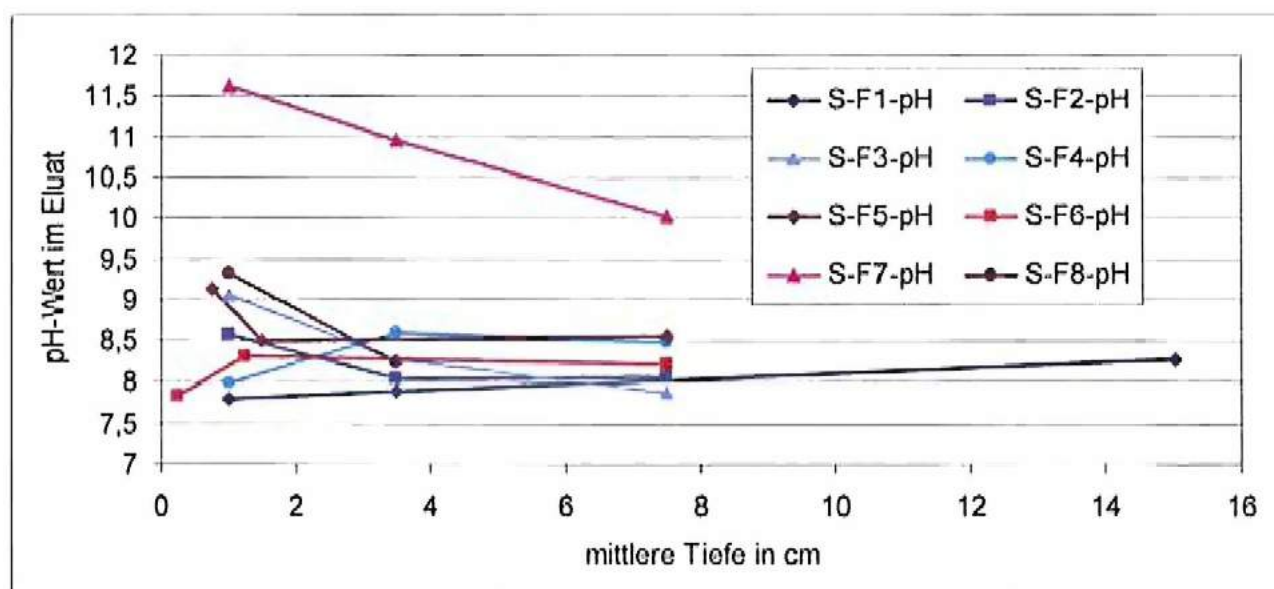


Abb. 3.2.1.3: pH-Werte in Eluaten aus Bohrmehlproben der Südfassade – Mörtel aus Fugenbereichen

Für die hier untersuchten Bohrmehlproben aus Fugenbereichen der Südfassade zeigen die pH-Werte in den Eluaten fast aller Proben (außer S-F7-pH) an, dass die elektrischen Leitfähigkeiten in den Eluaten als Maß für die Gesamtsalzbelastungen verwendet werden können.

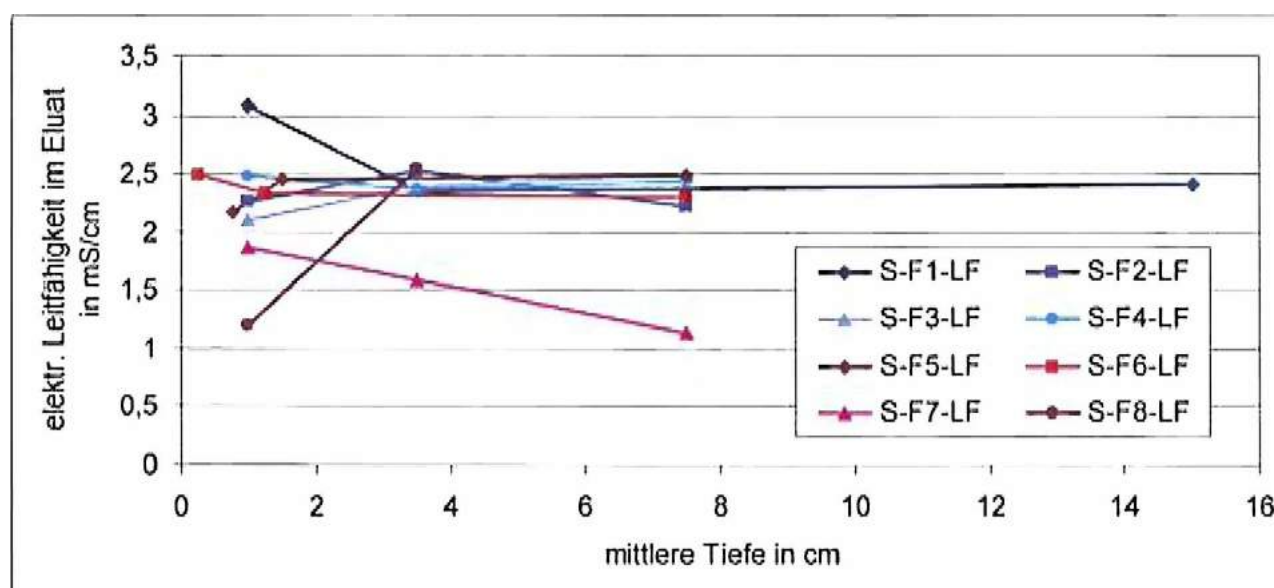


Abb. 3.2.1.4: Elektrische Leitfähigkeiten in Eluaten aus Bohrmehlproben der Südfassade – Mörtel aus Fugenbereichen

Die elektrischen Leitfähigkeiten fast aller Proben (außer S-F7-LF) erreichen Leitfähigkeitswerte zwischen 2 und 2,5 mS/cm. Oberflächennah kommt es zu Abweichungen zu höheren (S-F1-LF) und zu niedrigeren Werten (S-F8-LF)

Außer an der Stelle S-F7 muss auf der Südfassade an allen hier untersuchten Probenahmestellen mit gipshaltigen Mörteln im Mauerwerk gerechnet werden. Zusätzlich ist von Salzbelastungen in relevanten Größenordnungen auszugehen.

Probenahmestellen – Bohrmehlproben aus Fugenbereichen – an der Westfassade des Rathauses:

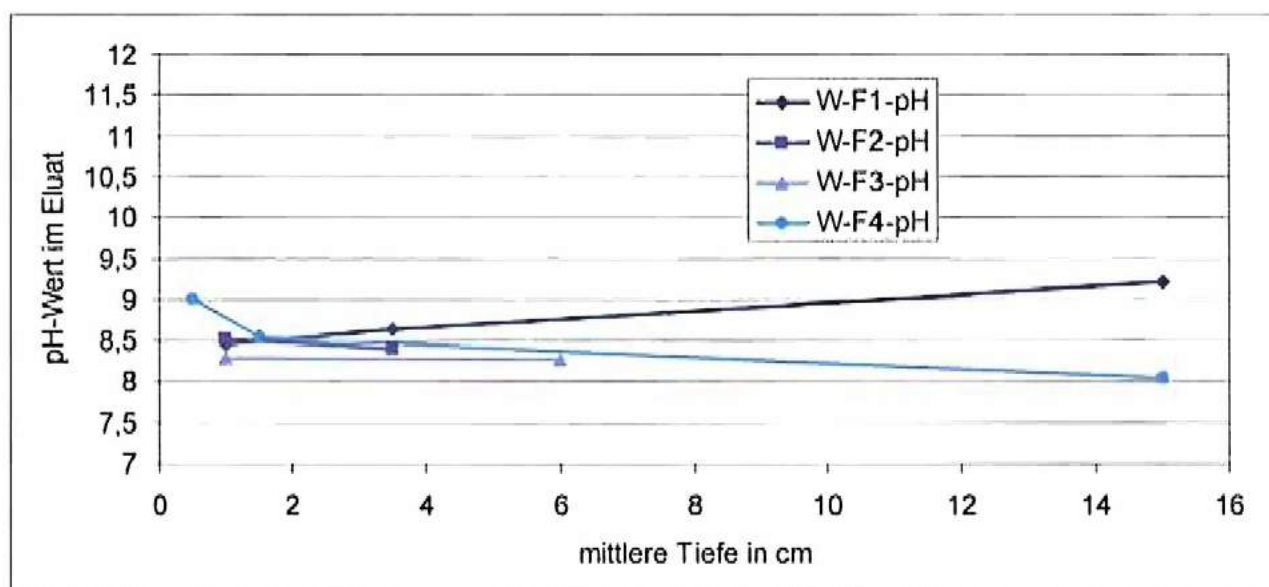


Abb. 3.2.1.5: pH-Werte in Eluaten aus Bohrmehlproben der Westfassade –
Mörtel aus Fugenbereichen

Für die hier untersuchten Bohrmehlproben aus Fugenbereichen der Westfassade zeigen die pH-Werte in den Eluaten aller Proben an, dass die elektrischen Leitfähigkeiten in den Eluaten als Maß für die Gesamtsalzbelastungen verwendet werden können.

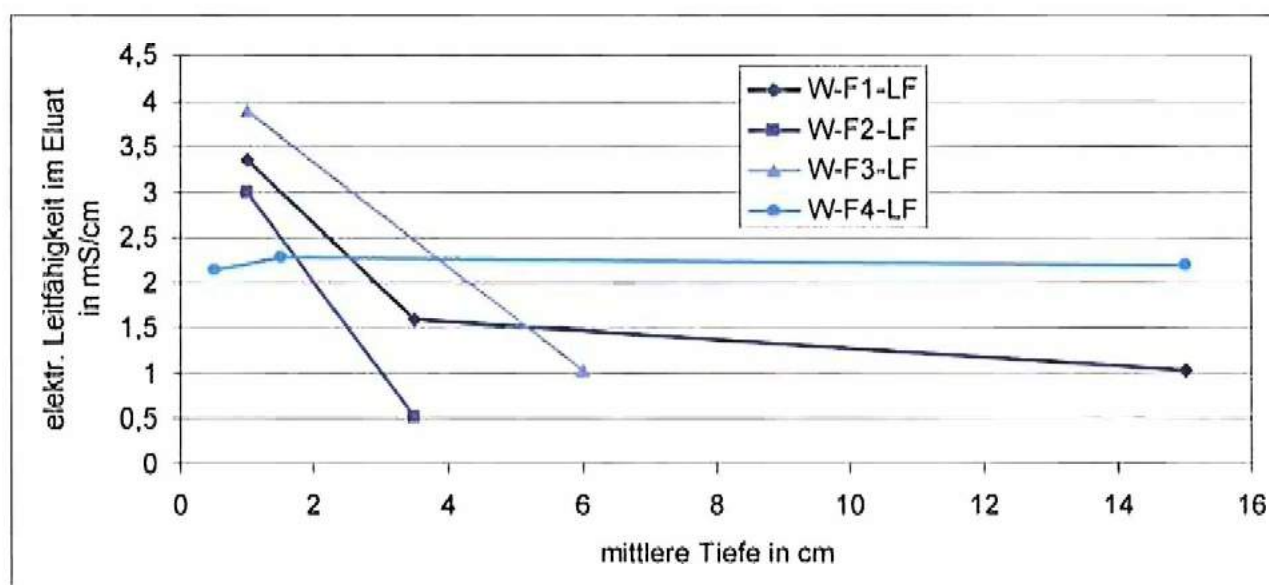


Abb. 3.2.1.6: Elektrische Leitfähigkeiten in Eluaten aus Bohrmehlproben der Westfassade –
Mörtel aus Fugenbereichen

Für die Bohrmehlproben aus dem Sockelbereich (W-F1-LF bis W-F3-LF) werden ab etwa 2 cm Tiefe unter der Wandoberfläche in den Eluaten elektrische Leitfähigkeiten deutlich unter 2,2 mS/cm gemessen. In den Eluaten der Proben W-F4-LF werden Werte von etwa 2,2 bis 2,3 mS/cm erreicht. Somit ist dort von gipshaltigen Mörteln auszugehen. In den unteren Wandbereichen (Sockel) waren im hier untersuchten Tiefenbereich die Mörtel stark ausgewittert. Möglich ist, dass hier erst in größerer Tiefe Gipsmörtel vorhanden sind oder andere Mörtel zum Einsatz kamen. Oberflächennah ist an den Probenahmestellen des Sockels mit hohen Gipsgehalten und / oder Salzbelastungen in den Verfugmörteln zu rechnen.

Probenahmestellen – Bohrmehlproben aus Natursteinen – an der Ostfassade des Rathauses:

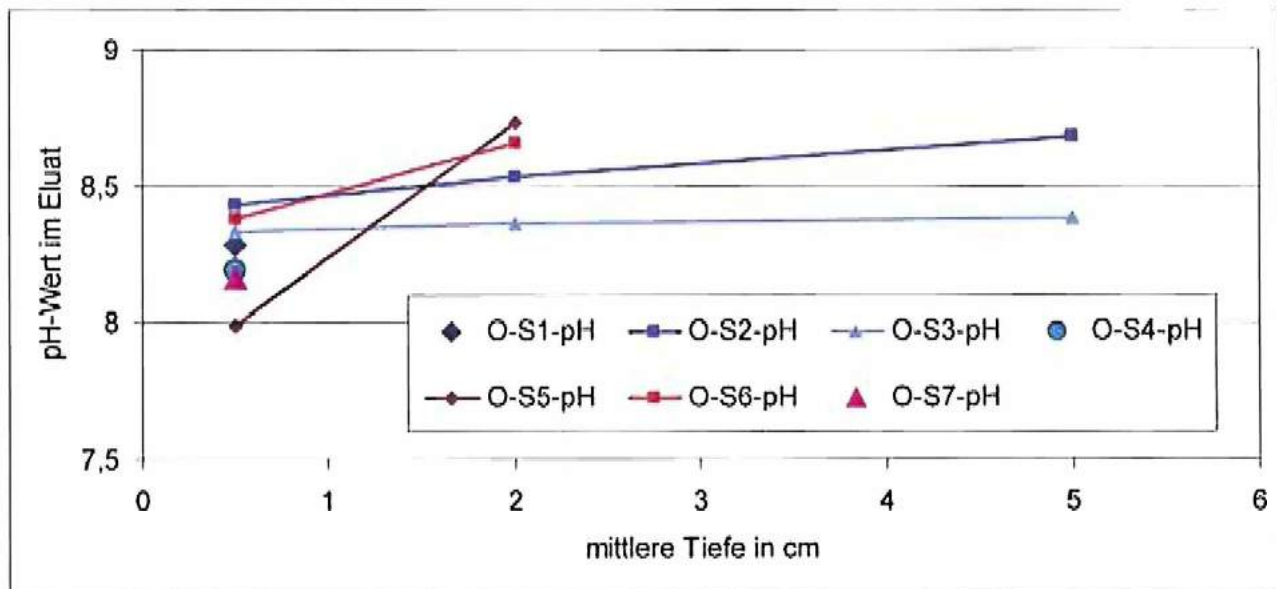


Abb. 3.2.1.7: pH-Werte in Eluaten aus Bohrmehlproben der Ostfassade – Natursteine

Für die hier untersuchten Bohrmehlproben aus Natursteinen der Ostfassade zeigen die pH-Werte in den Eluaten aller Proben an, dass die elektrischen Leitfähigkeiten in den Eluaten als Maß für die Gesamtsalzbelastungen verwendet werden können.

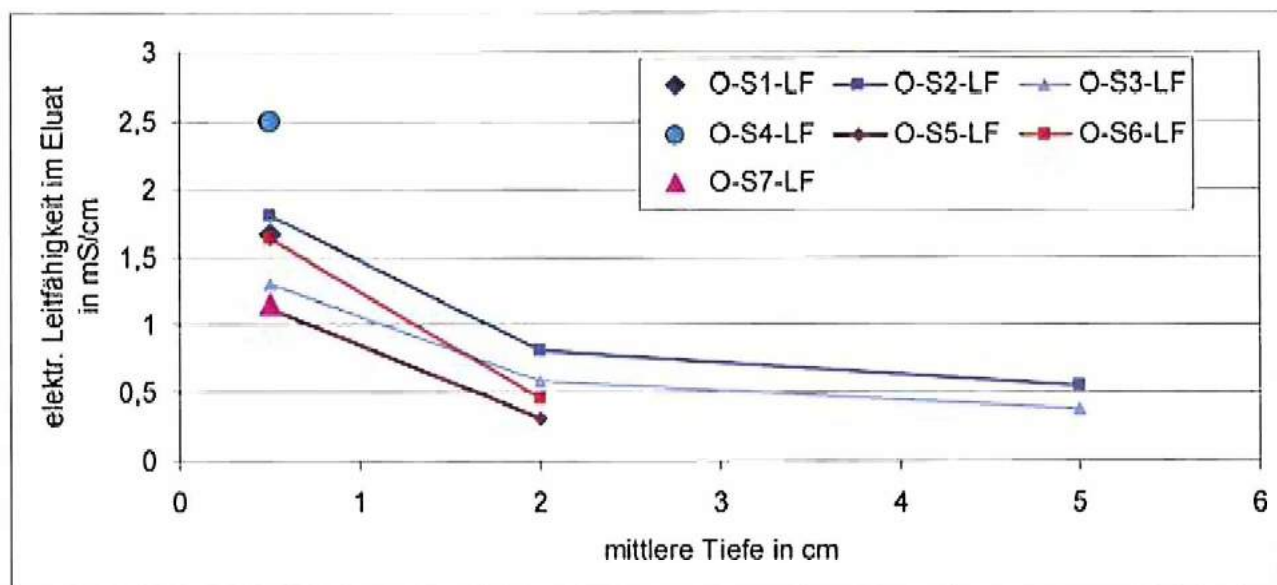


Abb. 3.2.1.8: Elektrische Leitfähigkeiten in Eluaten aus Bohrmehlproben der Ostfassade – Natursteine

Es ist festzustellen, dass die Leitfähigkeiten in Eluaten aus oberflächennah entnommenen Proben immer deutlich höher sind als die aus tieferen Stellen.

Beim Vergleich der Proben aus braunen Sandsteinen (O-S2-LF, O-S3-LF und O-S5-LF) zeigen sich Unterschiede. Die Kurven sind scheinbar parallel verschoben. Bei der Probenahme war festzustellen, dass die Oberflächen unterschiedlich stark angewittert sind (siehe auch Anlage 1). Es deutet sich ein Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Anwitterung und den Salzbelastungen an.

Auffällig ist auch, dass bei den Carbonatgesteinen in Eluaten oberflächennah entnommener Proben ähnlich hohe elektrische Leitfähigkeiten gemessen wurden. Hier besteht der Verdacht, dass es sich um Reste von gipshaltigen Putzmörteln und / oder Schlämmen, die in die Steinstrukturen eingedrungen waren, handelt.

Probenahmestellen – Bohrmehlproben aus Natursteinen – an der Südfassade des Rathauses:

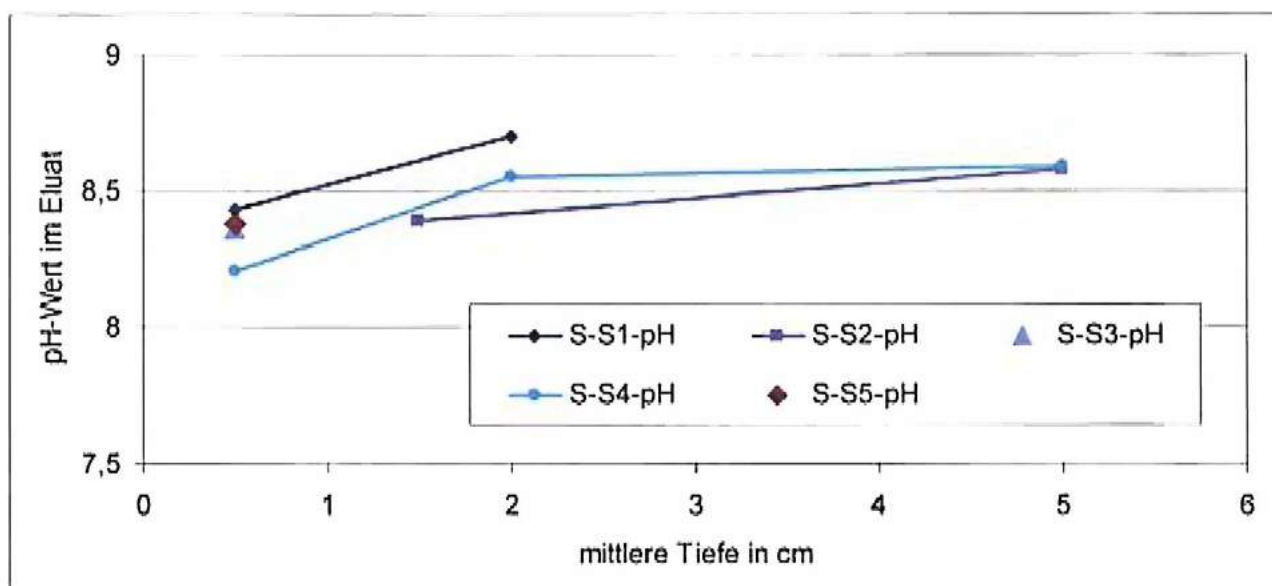


Abb. 3.2.1.9: pH-Werte in Eluaten aus Bohrmehlproben der Südfassade – Natursteine

Für die hier untersuchten Bohrmehlproben aus Natursteinen der Südfassade zeigen die pH-Werte in den Eluaten aller Proben an, dass die elektrischen Leitfähigkeiten in den Eluaten als Maß für die Gesamtsalzbelastungen verwendet werden können.

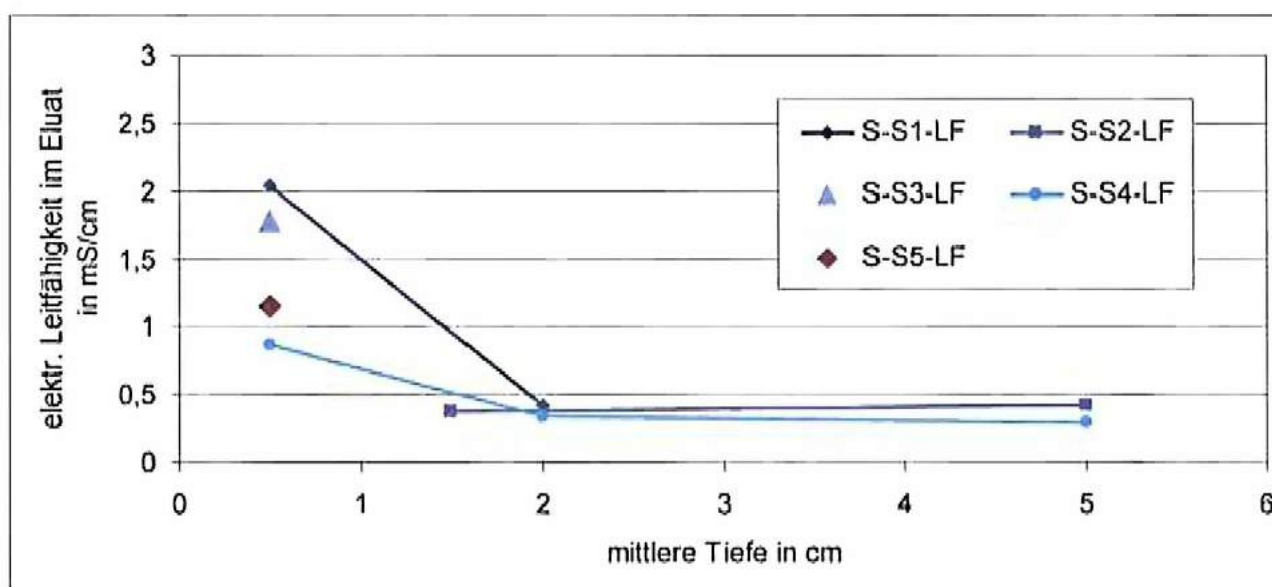


Abb. 3.2.1.10: Elektrische Leitfähigkeiten in Eluaten aus Bohrmehlproben der Südfassade – Natursteine

Die Eluate der Proben S-S2-LF und S-S4-LF stammen aus Sandsteinen. Es ist zu erkennen, dass in den Eluaten aus oberflächennah entnommenen Proben der Carbonatgesteine deutlich höhere Leitfähigkeiten auftreten. Auch hier kann davon ausgegangen werden, dass es sich um Reste von gipshaltigen Putzmörteln und / oder Schlämmen, die oberflächennah in die Steinstrukturen eingedrungen waren, handelt.

Die elektrischen Leitfähigkeiten in den Eluaten vermitteln einen orientierenden Überblick über mögliche Belastungssituation oder zum Vorhandensein von gipshaltigen Mörteln.

Für die Bestimmung konkreter Gehalte an An- und Kationen wasserlöslicher Salze erfolgte eine Probenauswahl auf der Basis von Ergebnissen der vorgestellten elektrochemischen Messungen.

In den nachfolgenden Abbildungen sind die Gehalte der An- und Kationen zur besseren Zuordnung zu Salzarten in mval/kg (Wertigkeit*mmol/kg) dargestellt.

Probenahmestellen – Bohrmehlproben aus Fugenbereichen – an der Ostfassade des Rathauses:

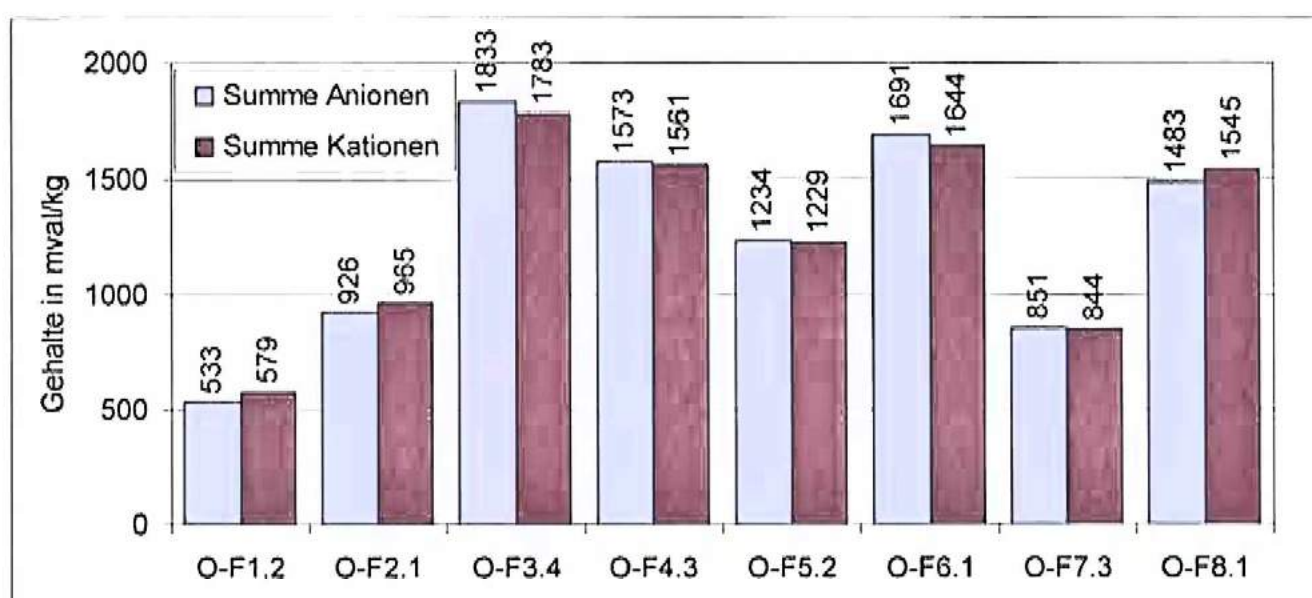


Abb. 3.2.1.11: Summen der An- und Kationen in Bohrmehlproben der Ostfassade – Fugenbereiche

Für die ausgewählten Proben aus Fugenbereichen der Ostfassade können ausgewogene Verhältnisse zwischen den Summen der wasserlöslichen An- und Kationen nachgewiesen werden. Die wesentlichen An- und Kationen sind somit analytisch erfasst worden.

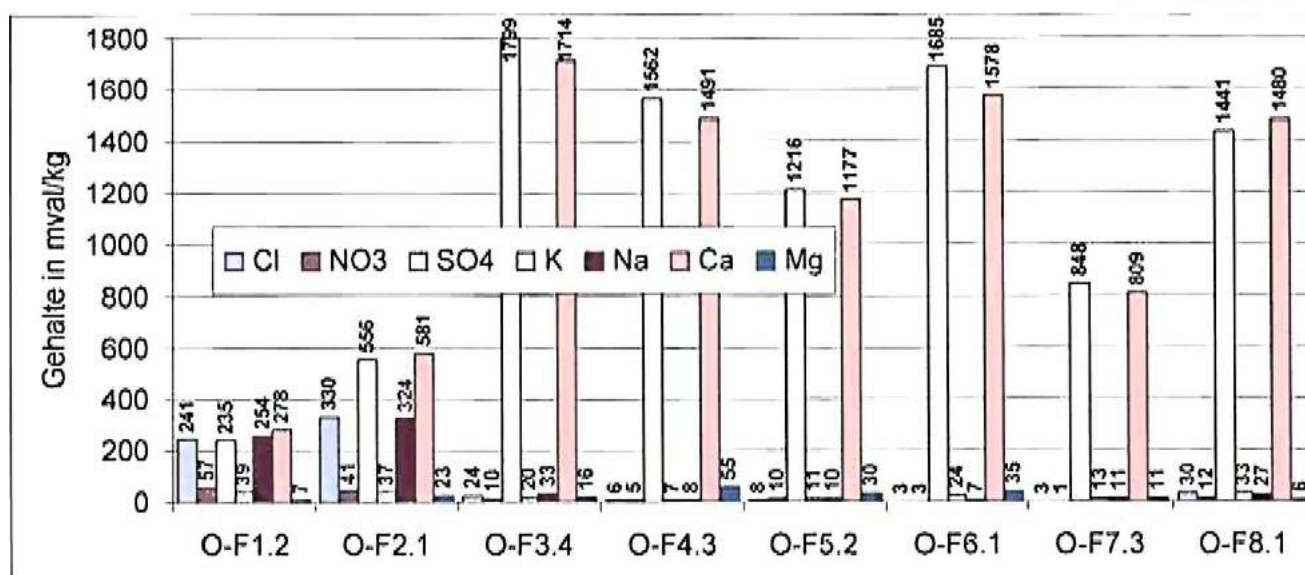


Abb. 3.2.1.12: An- und Kationen in Bohrmehlproben der Ostfassade – Fugenbereiche

In allen Proben dominieren die Calcium- und Sulfationen. Gips als Bindemittel ist in den meisten Proben vorhanden. In der Probe O-F7.3 kann Gips vom Fugenrand eines Gipssteines mit in die Probe gelangt sein. In die Proben O-F1.2 und O-F2.1 kann durch den Kontakt der Verfugmörtel zum Gipsmauermörtel Gips eingetragen worden sein. Ein gewisser Anteil des Gipses kann in den beiden genannten Proben auch aus dem als Bindemittel enthaltenen Zement stammen.

In der nachfolgenden Abbildung sind die wasserlöslichen Ionen gesondert – ohne Sulfat und Calcium – zusammengestellt.

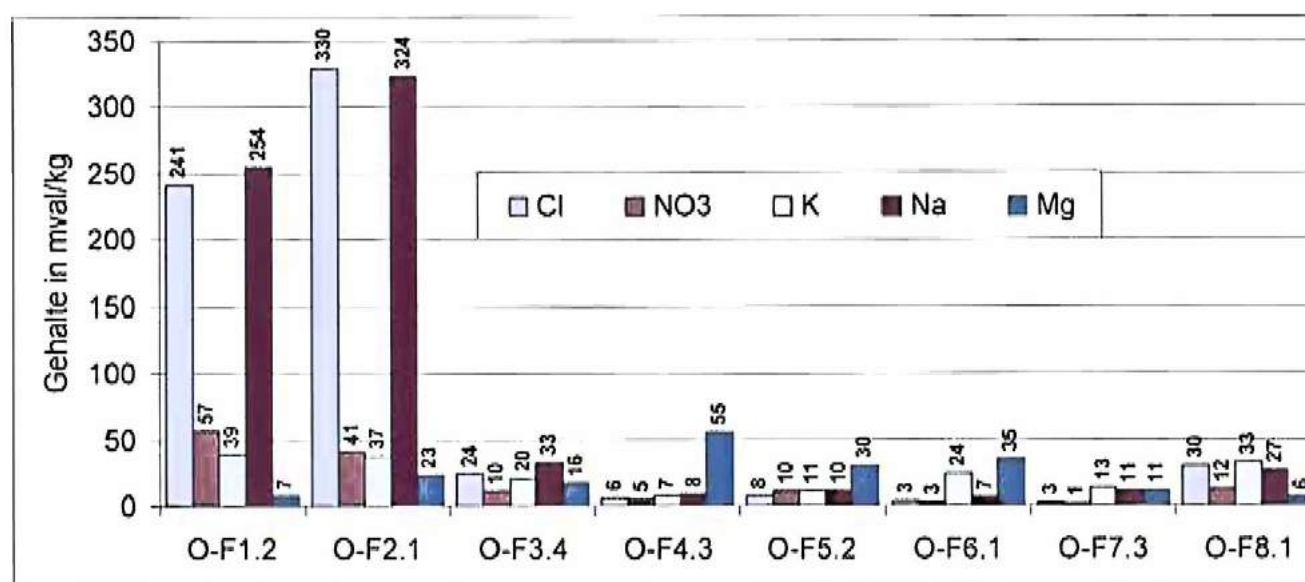


Abb. 3.2.1.13: Auswahl von An- und Kationen in Bohrmehlproben der Ostfassade – Fugenbereiche

In den Proben O-F1.2 und O-F2.1 sind extrem hohe Gehalte an Natrium und Chlorid nachweisbar. Es handelt sich um Proben von den unteren Probenahmestellen am Sockel. Hier muss von massiven Streusalzeinträgen in die Mörtel und in das Mauerwerk ausgegangen werden. Der Streusalzeinfluss ist selbst in einer Höhe von 1,5 m über dem Gelände (Probe O-F3.4) in einer Tiefe von etwa 15 cm noch nachweisbar.

Bemerkenswert ist auch, dass in der Probe O-F8.1 ein erhöhter Anteil an Alkalichloriden vorhanden ist. Die Herkunft ist hier aber nicht klar feststellbar. möglich sind Umlagerungen von Salzen aus Holzschutzmitteln aus der Dachkonstruktion. Oberhalb der Probenahmestelle waren Schäden am Dach, die einen Feuchteintrag und damit verbundenen Salzumlagerungen begünstigen, vorhanden.

In den unteren Wandbereichen (Proben O-F1.2 und O-F2.1) sind neben den bereits genannten Streusalzen (NaCl) auch relevante Gehalte an Kaliumnitrat nachweisbar. Diese Salze stammen oft aus Abwässern. Im vorliegenden Fall deutet sich aber kein aktueller Eintrag an. Möglich sind aber Alteinträge, die in der Vergangenheit stattfanden.

Auffällig sind die oft erhöhten Gehalte an wasserlöslichem Magnesium. In der Umgebung Nordhausens stehen dolomithaltige Carbonatgesteine an. Diese sind auch als Natursteinmaterial am Rathaus verbaut. Dolomitanteile können auch als Nebenbestandteile in den Gipsrohstoffen enthalten sein. Im Laufe der Zeit können die genannten Bestandteile z.B. mit Gips bei Feuchteeinwirkungen unter Bildung von leicht in Wasser löslichen Magnesiumsulfaten reagieren.

Erhöhte Gehalte an löslichem Kalium sind vor allem in Proben aus zementhaltigen Ver fugungen (O-F6.1, O-F8.1) vorhanden. Kaliumverbindungen sind in Portlandzementen als typische Bestandteile enthalten. Es kann zu Anreicherungen mit Feuchtetransporten in den Verfugmörteln gekommen sein.

Probenahmestellen – Bohrmehlproben aus Fugenbereichen – an der Südfassade des Rathauses:

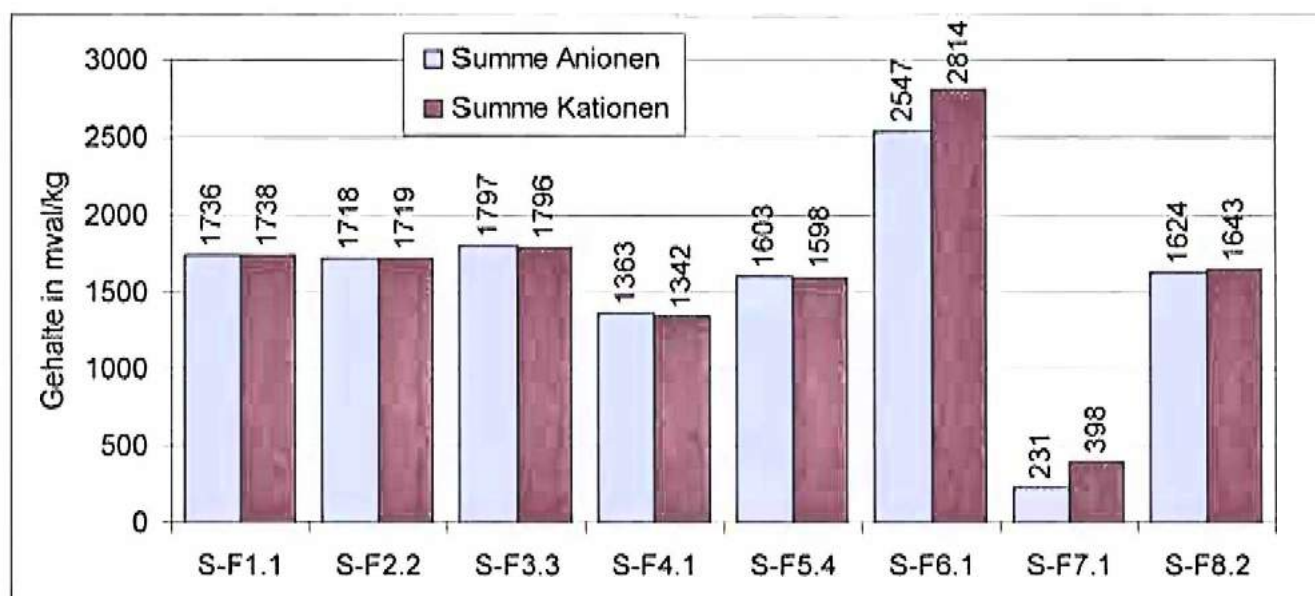


Abb. 3.2.1.14: Summen der An- und Kationen in Bohrmehlproben der Südfassade – Fugenbereiche

Für die ausgewählten Proben aus Fugenbereichen der Südfassade können überwiegend ausgewogene Verhältnisse zwischen den Summen der wasserlöslichen An- und Kationen nachgewiesen werden. Die wesentlichen An- und Kationen sind somit analytisch erfasst worden.

Für die Proben S-F6.1 und S-F7.1 ergeben sich in der Summe Kationenüberschüsse. In der Probe S-F6.1 müssen neben den hier analysierten Anionen (Sulfat, Chlorid, Nitrat) noch andere Anionen (z.B. Carbonate) vorhanden sein. In der Probe S-F7.1 ist davon auszugehen, dass hohe Gehalte an Calciumhydroxid – der pH-Wert im Eluat erreichte 11,61 – enthalten sind.

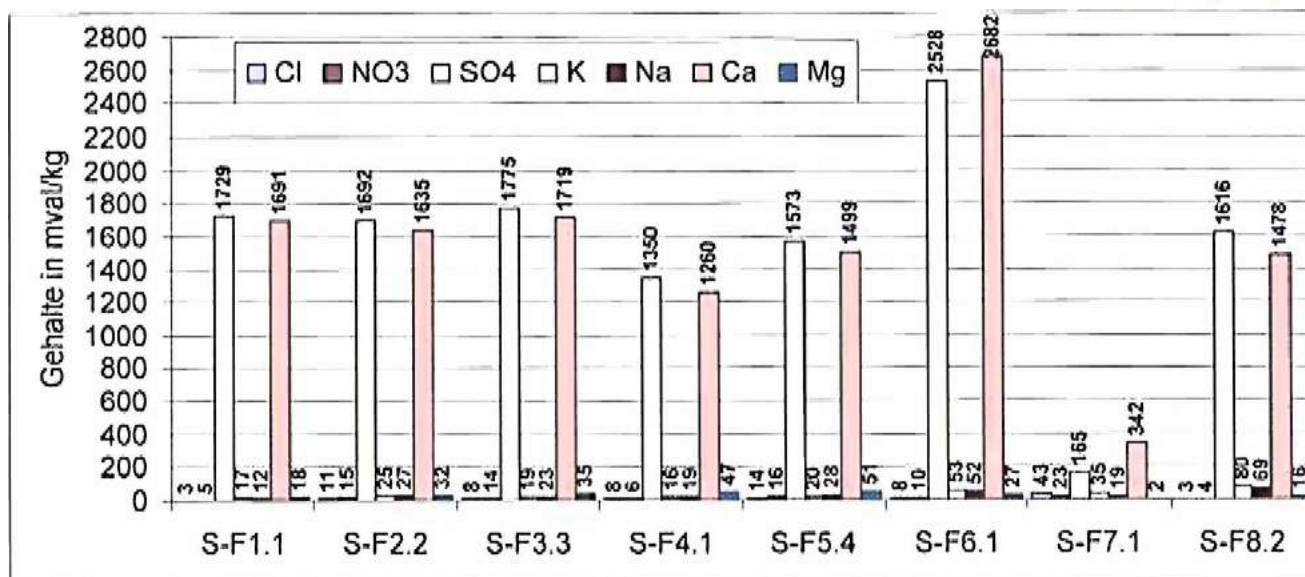


Abb. 3.2.1.15: An- und Kationen in Bohrmehlproben der Südfassade – Fugenbereiche

In allen Proben dominieren die Calcium- und Sulfationen. Gips als Bindemittel ist in fast allen Proben vorhanden. In der Probe S-F7.1 kann ein gewisser Anteil des Gipses auch aus dem als Bindemittel enthaltenen Zement stammen. Der Calciumüberschuss in dieser Probe bestätigt das Vorhandensein von Calciumhydroxid.

In der nachfolgenden Abbildung sind die wasserlöslichen Ionen ohne Sulfat und Calcium zusammengestellt.

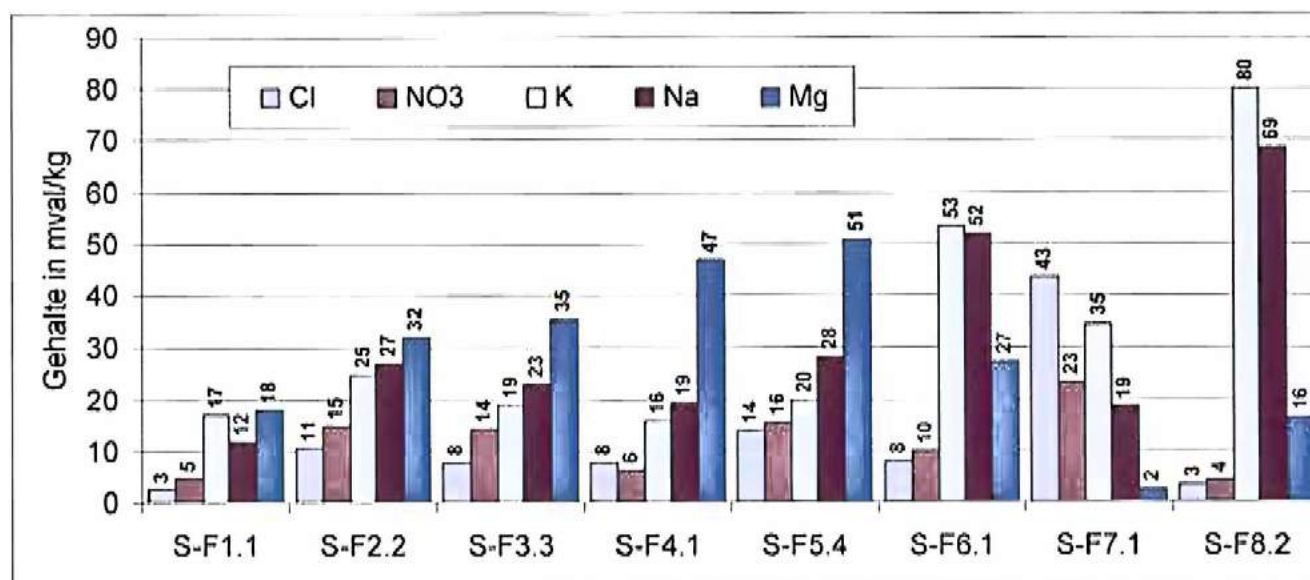


Abb. 3.2.1.16: Auswahl von An- und Kationen in Bohrmehlproben der Südfassade – Fugenbereiche

Im Vergleich zu den Proben von der Ostseite sind hier in den Proben aus dem Sockelbereich deutlich geringere Gehalte an Chloriden und Nitraten vorhanden. Im Bereich der Probenahmestellen scheinen keine oder nur geringe Streusalzeinwirkungen vorzuliegen.

Die Gehalte an wasserlöslichem Magnesium sind mit denen der Proben von der Ostseite vergleichbar. Es ist auch von einer gleichen Herkunft auszugehen.

Auffällig sind die in der Summe sehr hohen Gehalte an Alkalichloriden und -nitraten in der Probe S-F7.1. Hier deuten sich ebenfalls Parallelen zur Ostseite an. Nicht auszuschließen sind Einträge, die mit Kriegsschäden oder deren Beseitigung in Zusammenhang stehen. In diesem Zusammenhang sind auch die extrem hohen Gehalte an Alkalien in den Proben S-F6.1 und S-F8.2 zu sehen.

Probenahmestellen – Bohrmehlproben aus Fugenbereichen – an der Westfassade des Rathauses:

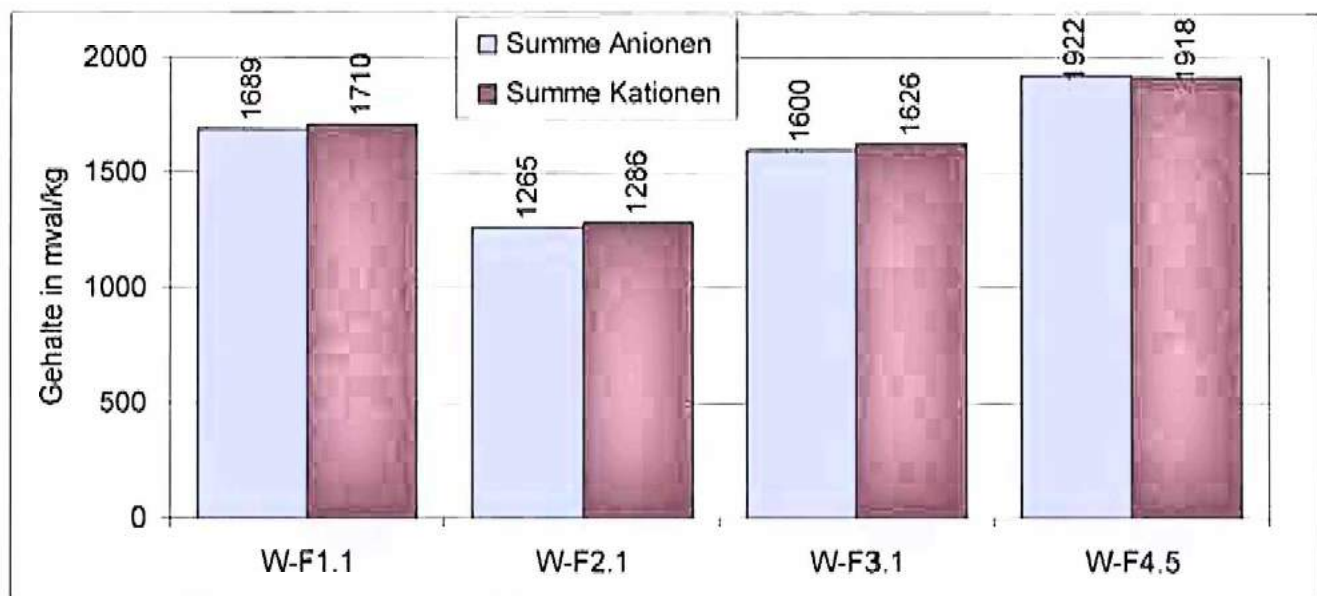


Abb. 3.2.1.17: Summen der An- und Kationen in Bohrmehlproben der Westfassade – Fugenbereiche

Für die ausgewählten Proben aus Fugenbereichen der Westfassade können ausgewogene Verhältnisse zwischen den Summen der wasserlöslichen An- und Kationen nachgewiesen werden. Die wesentlichen An- und Kationen sind somit analytisch erfasst worden.

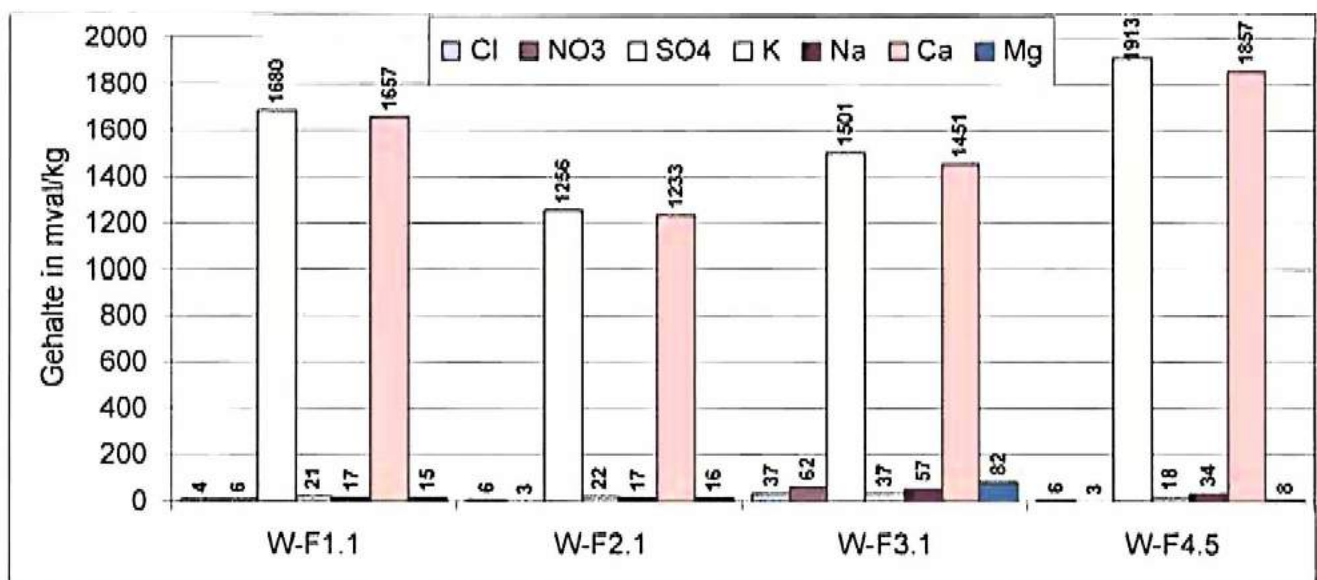


Abb. 3.2.1.18: An- und Kationen in Bohrmehlproben der Westfassade – Fugenbereiche

In allen Proben dominieren die Calcium- und Sulfationen. Gips als Bindemittel ist in den meisten Proben vorhanden.

In der nachfolgenden Abbildung sind die wasserlöslichen Ionen ohne Sulfat und Calcium zusammengestellt.

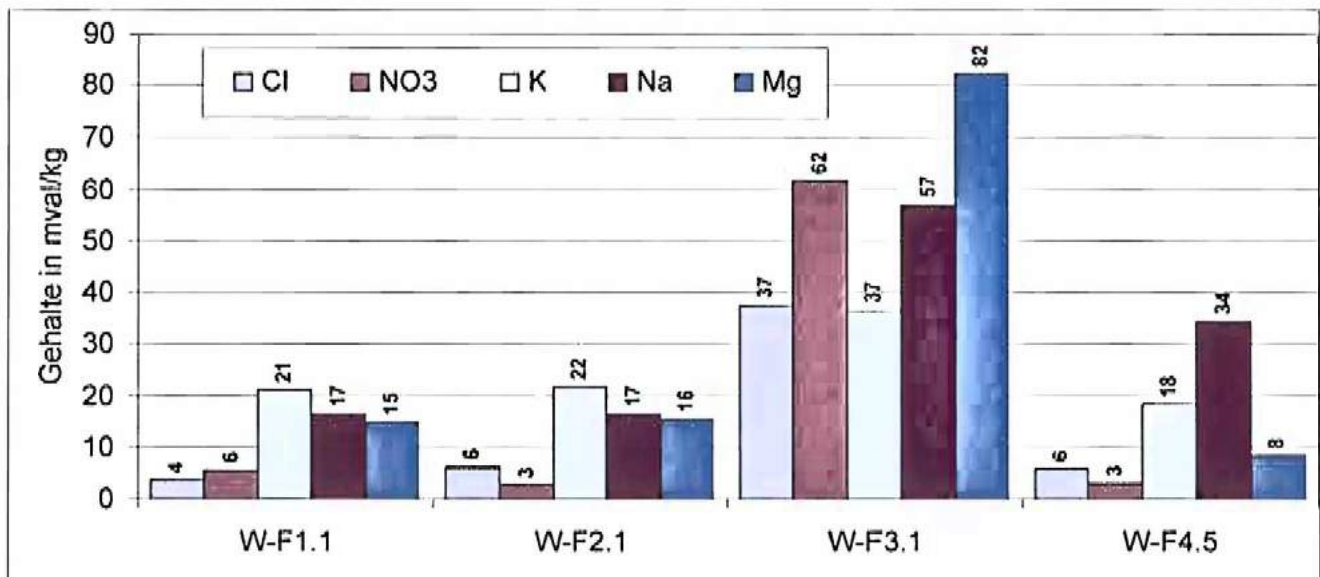


Abb. 3.2.1.19: Auswahl von An- und Kationen in Bohrmehlproben der Westfassade – Fugenbereiche

Für die Proben aus dem Sockelbereich (W-F1.1 bis W-F1.3) kann festgestellt werden, dass mit der Probenahmehöhe die Gehalte an in Wasser löslichen Ionen deutlich zunehmen. Hier zeichnen sich ein direkter Zusammenhang zu Feuchteinträgen und die Umlagerung von Salzen in Verdunstungshorizonten an Mauerwerksoberflächen ab. In der Probe W-F3.1 sind extreme Belastungen mit leicht in Wasser löslichen Salzen (Alkalichloride und -nitrate sowie Magnesiumsulfat) vorhanden.

Probenahmestellen – Bohrmehlproben aus Natursteinen – an der Ostfassade des Rathauses:

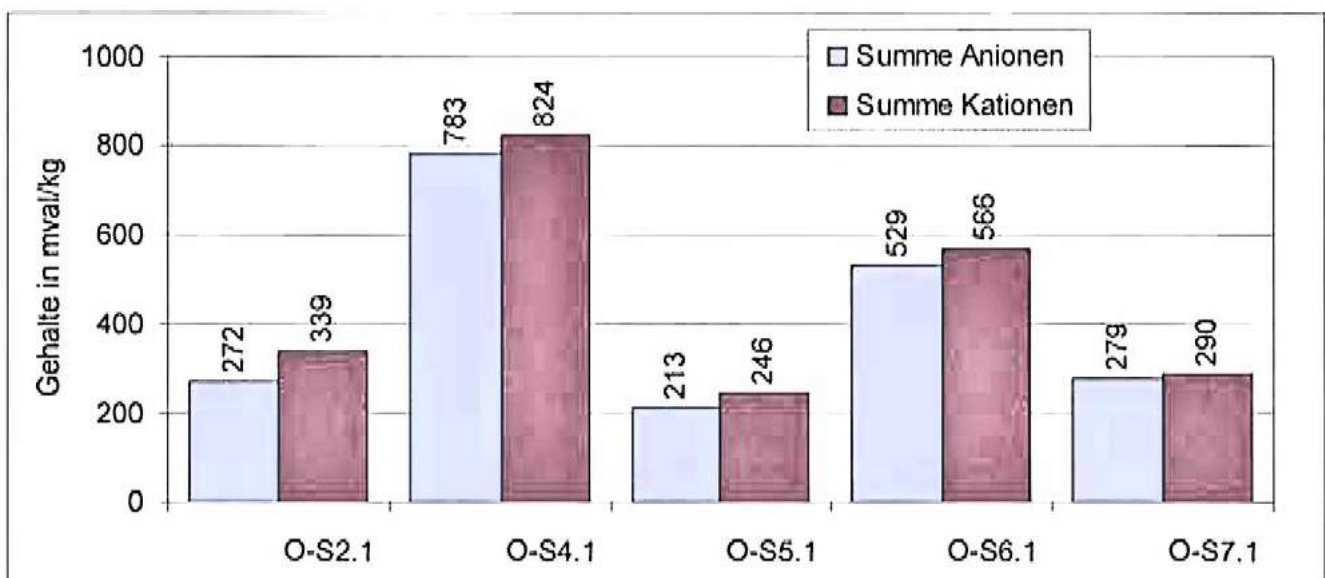


Abb. 3.2.1.20: Summen der An- und Kationen in Bohrmehlproben der Ostfassade – Natursteine

Für die ausgewählten Proben aus Natursteinen der Ostfassade können überwiegend leichte Überschüsse an Kationen nachgewiesen werden. Neben den hier analysierten Anionen (Sulfat, Chlorid, Nitrat) müssen noch andere Anionen (z.B. Carbonate) vorhanden sein.

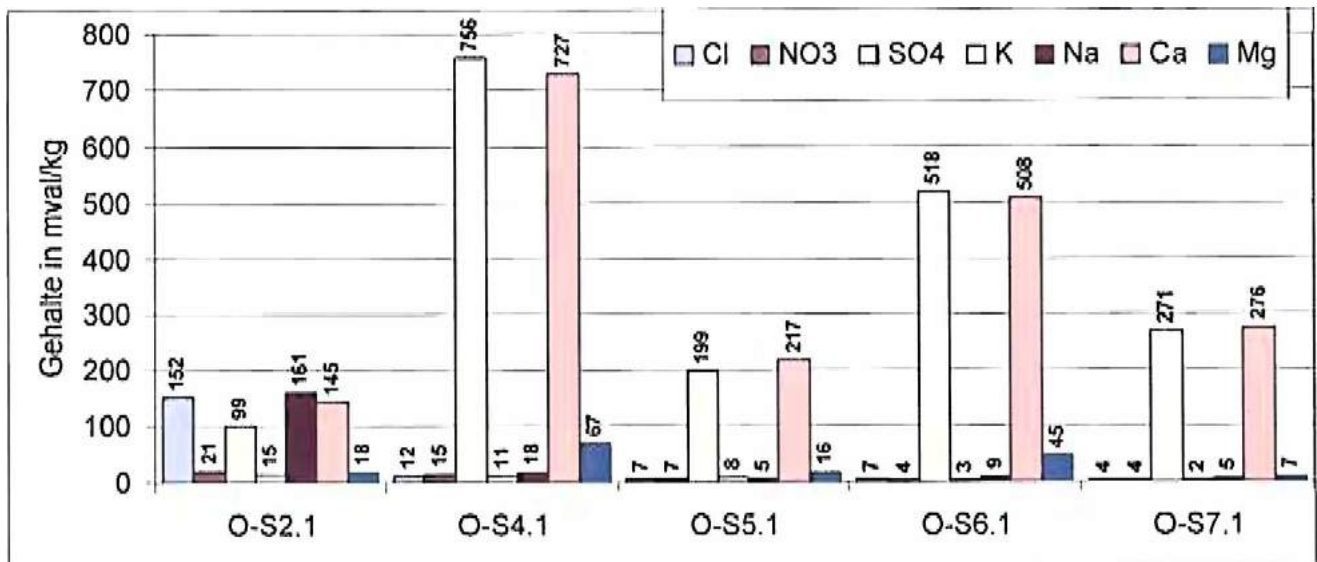


Abb. 3.2.1.21: An- und Kationen in Bohrmehlproben der Ostfassade – Natursteine

Außer in der Probe O-S2.1 dominieren in allen anderen Proben Calcium und Sulfat als wasserlösliche Ionen.

In der nachfolgenden Abbildung sind die wasserlöslichen Ionen ohne Sulfat und Calcium zusammengestellt.

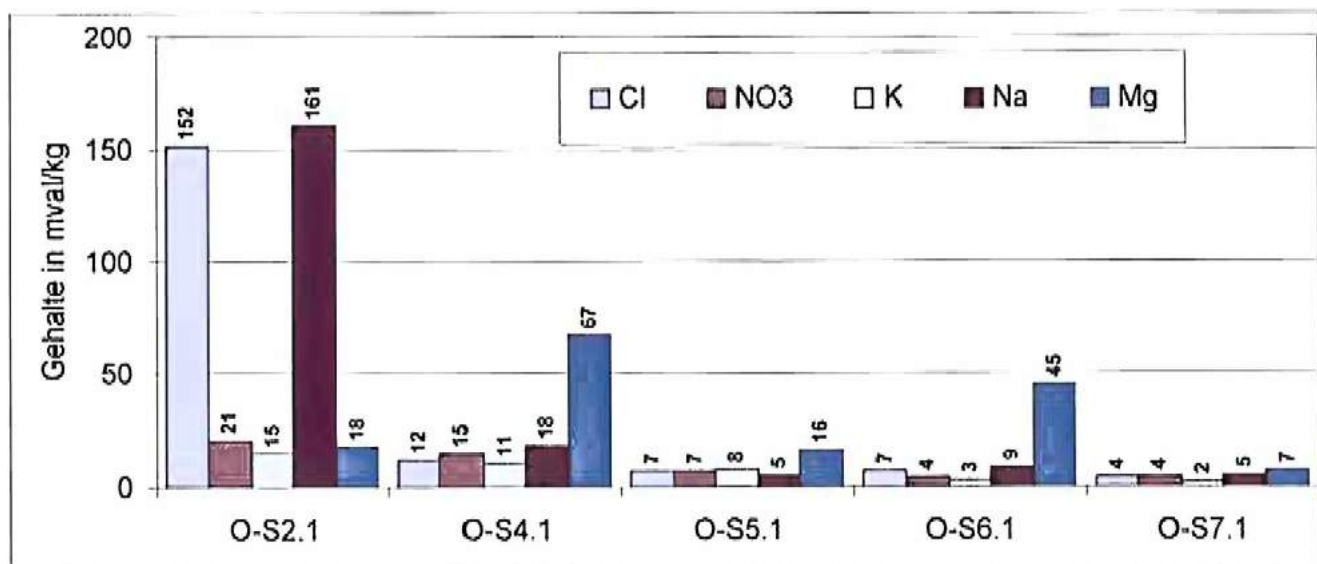


Abb. 3.2.1.22: Auswahl von An- und Kationen in Bohrmehlproben der Westfassade – Natursteine

In der Probe A-S2.1 ist ein extrem hoher Gehalt an NaCl vorhanden. Die Probe wurde aus dem Sandstein an der Oberkante des Sockels entnommen. Hier deutet sich ein sehr starker Streusalzeintrag – dieser wurde bereits in gleichen Bereich in den Mörteln nachgewiesen – an.

In den anderen Proben zeigen die teils erhöhten Gehalte an wasserlöslichem Magnesium das Vorhandensein von Magnesiumsulfaten oder Magnesiumcarbonathydraten an.

Bei den Proben mit geringeren Gehalten an wasserlöslichem Magnesium handelt es um rotbraunen Sandstein (O-S5.1) und um Naturstein des Dachgesimses (O-S7.1).

Probenahmestellen – Bohrmehlproben aus Natursteinen – an der Südfassade des Rathauses:

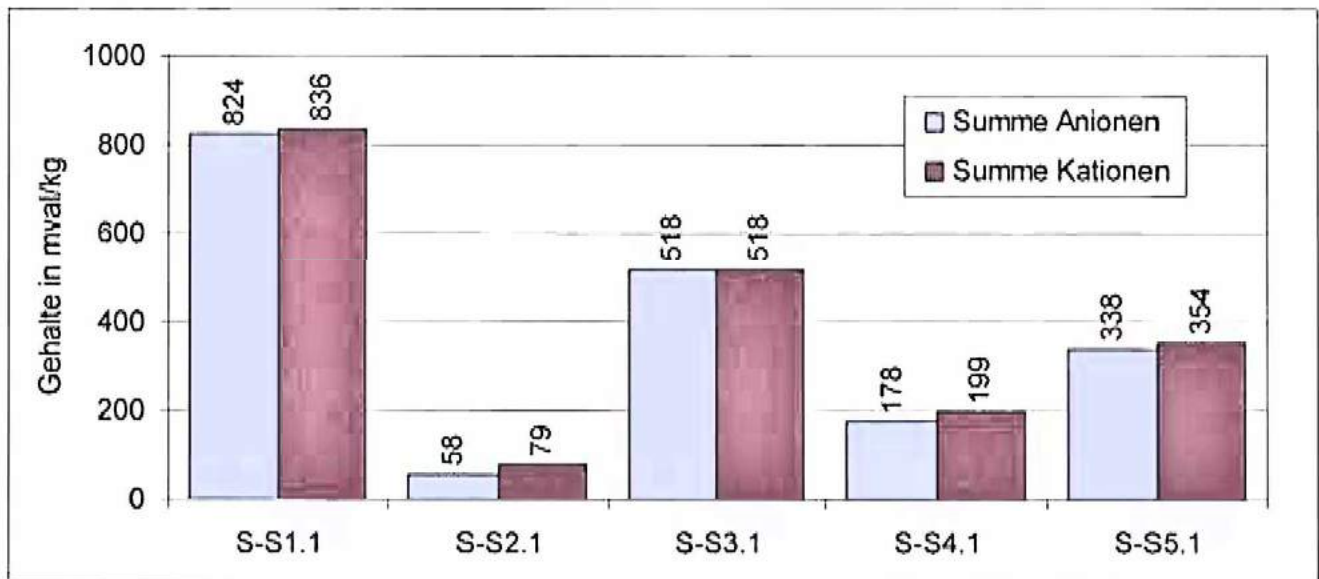


Abb. 3.2.1.23: Summen der An- und Kationen in Bohrmehlproben der Südfassade – Natursteine

Für die ausgewählten Proben aus Natursteinen der Südfassade können überwiegend geringe Überschüsse an Kationen nachgewiesen werden. Neben den hier analysierten Anionen (Sulfat, Chlorid, Nitrat) müssen noch andere Anionen (z.B. Carbonate) vorhanden sein.

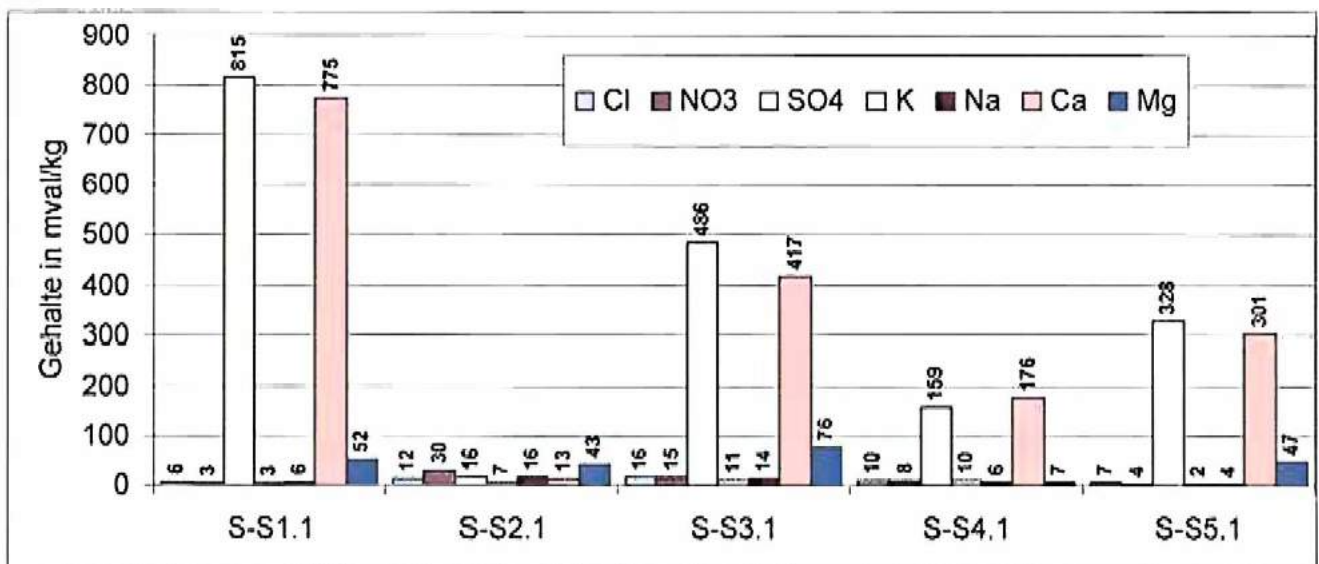


Abb. 3.2.1.24: An- und Kationen in Bohrmehlproben der Südfassade – Natursteine

Außer in der Probe S-S2.1 dominieren in allen anderen Proben Calcium und Sulfat als wasserlösliche Ionen.

In der nachfolgenden Abbildung sind die wasserlöslichen Ionen ohne Sulfat und Calcium zusammengestellt.

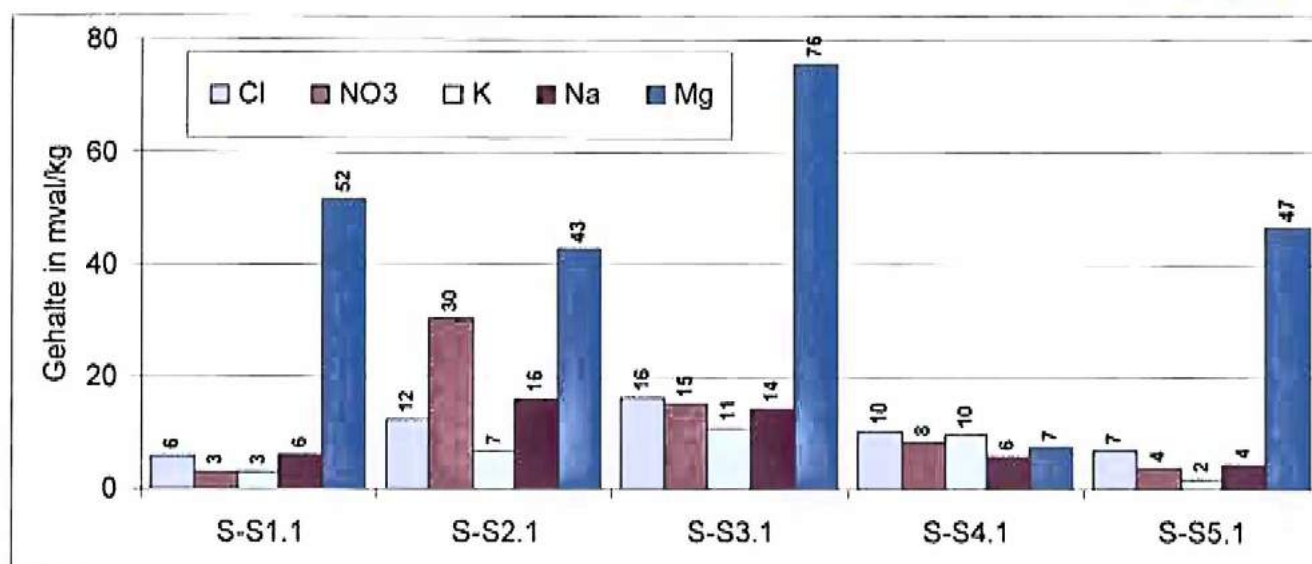


Abb. 3.2.1.25: Auswahl von An- und Kationen in Bohrmehlproben der Südfassade – Natursteine

In den Proben S-S2.1 und S-S3.1 sind erhöhte Gehalte an Nitraten und Chloriden nachweisbar. Ein Zusammenhang zu Streusalzeinträgen ergibt sich nicht. Möglich sind aber Bestandteile aus Blumendünger. Im Sommer werden auf den Fensterbänken in der Nähe der genannten Probenahmestellen Blumenkästen aufgestellt.

Außer in der Probe S-S4.1 (roter Sandstein) sind immer deutlich erhöhte Gehalte an wasserlöslichem Magnesium nachweisbar. Eine ähnliche Situation ergab sich bereits für die Natursteinproben an der Ostseite.

3.2.2 Ergebnisse von Untersuchungen an Oberflächenbildungen und Beschichtungsresten

An vielen Stellen aller Fassadenflächen sind Oberflächenbildungen und Beschichtungsreste vorhanden. Einige dieser Stellen wurden beprobt. Nachfolgend sind Untersuchungen von drei ausgewählten Proben zusammengestellt.

Tabelle 3.2.2.1: pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit (LF) in Eluaten aus Bildungen auf Natursteinen sowie wasserlösliche An- und Kationen (in M.-%)
[Belastungsstufe nach Tabelle 3.2.1.3]

Probe NDH-R-	pH-Wert	LF in mS/cm	Cl	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
O-A1	8,35	6,33	1,158 [IV]	0,229 [III]	9,18	0,297	1,053	3,667	0,03
S-A1	7,96	4,85	0,140 [III]	0,291 [III]	9,92	0,116	0,256	3,598	0,26
S-A2	8,01	3,64	0,277 [III]	0,421 [III]	7,56	0,102	0,135	3,325	0,063

In den nachfolgenden Abbildungen sind die Gehalte der An- und Kationen zur besseren Zuordnung zu Salzarten in mval/kg (Wertigkeit*mmol/kg) dargestellt.

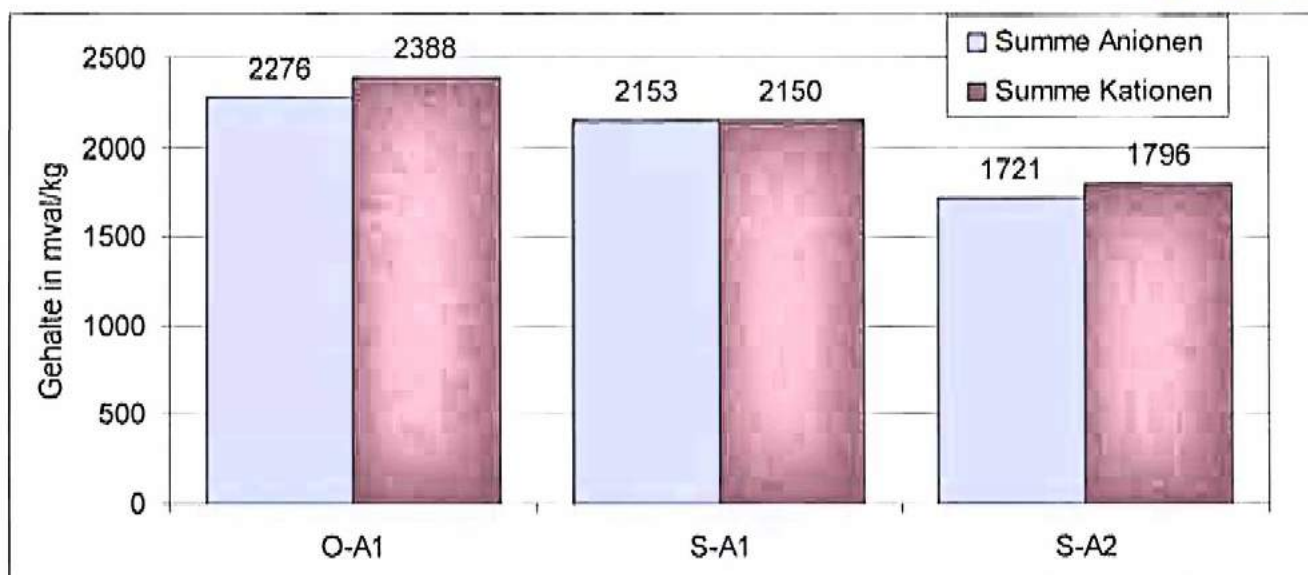


Abb. 3.2.2.1: Summen der An- und Kationen in Oberflächenbildungen und Beschichtungsresten

Für die ausgewählten Proben können überwiegend (Proben O-A1 und S-A2) geringe Überschüsse an Kationen nachgewiesen werden. Neben den hier analysierten Anionen (Sulfat, Chlorid, Nitrat) müssen noch andere Anionen (z.B. Carbonate) vorhanden sein.

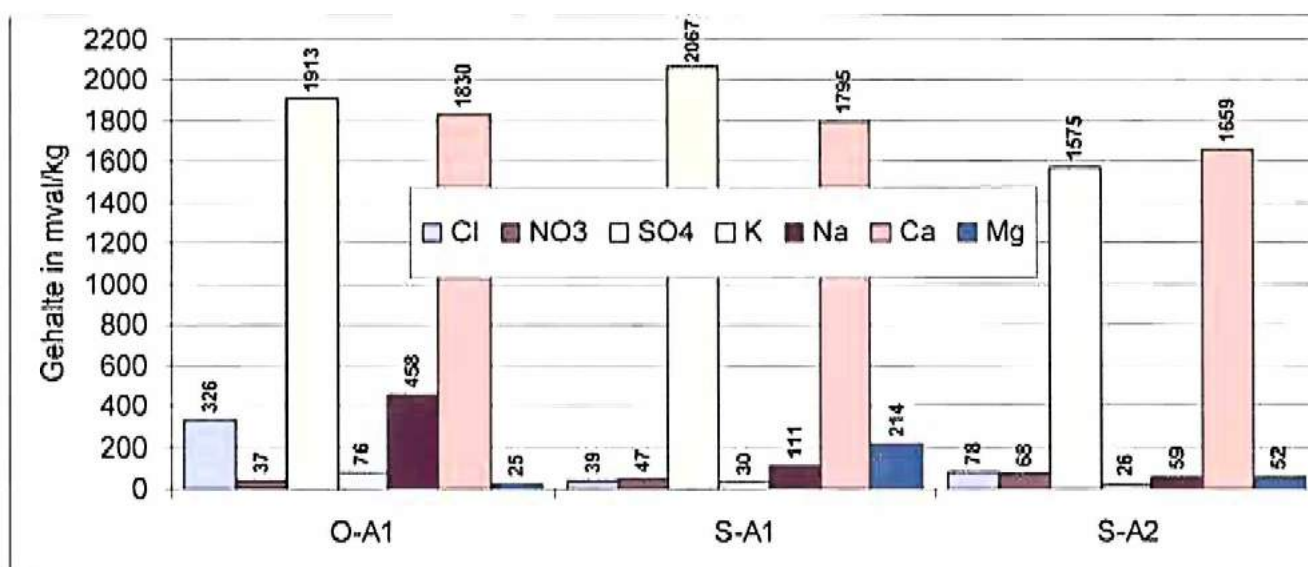


Abb. 3.2.2.2: An- und Kationen in Oberflächenbildungen und Beschichtungsresten

In allen drei Proben dominieren Calcium und Sulfat als wasserlösliche Ionen.

In der nachfolgenden Abbildung sind die wasserlöslichen Ionen ohne Sulfat und Calcium zusammengestellt.

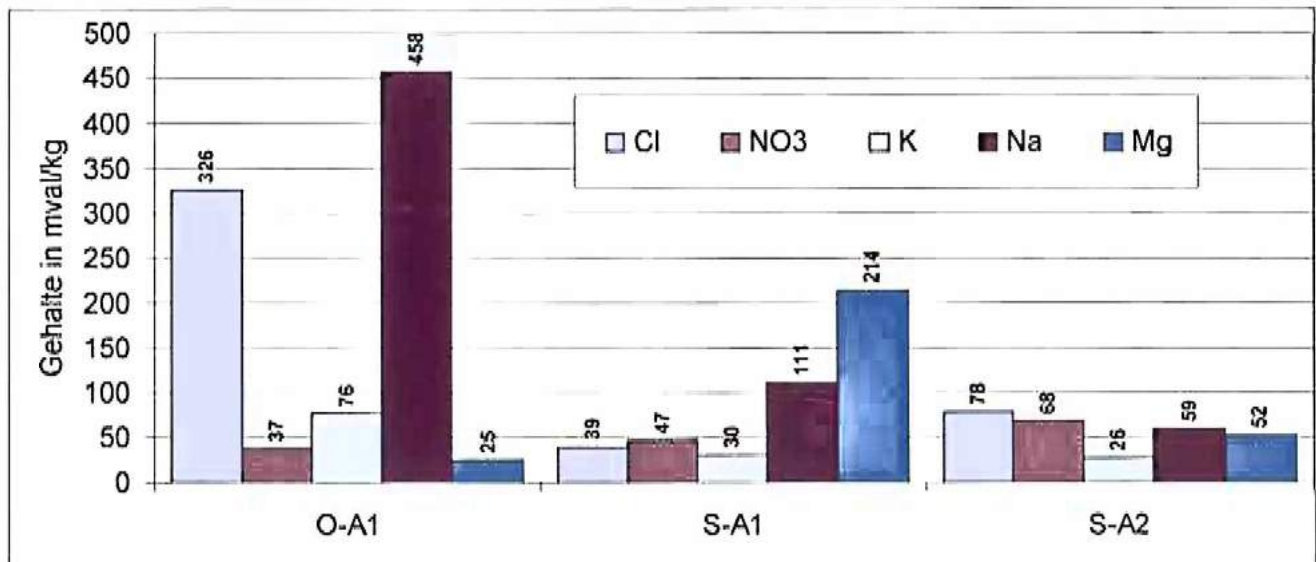


Abb. 3.2.2.3: Auswahl von An- und Kationen in Oberflächenbildungen und Beschichtungsresten

In der Probe O-A1 sind extrem hohe Gehalte an NaCl enthalten. Die Probe von der Sockeloberfläche auf der Ostseite des Rathauses ist stark mit Streusalzen (Auftaumittel) belastet.
In den Proben von der Südfassade sind in der Summe hohe bis sehr hohe Gehalte an Nitraten und Chloriden in heterogener Bindung zu unterschiedlichen Kationen nachweisbar.

3.2.3 Ergebnisse von Untersuchungen an Proben aus dem Bereich der „Entfeuchtungsanlage“

An der Nordseite befinden sich im unteren Wandbereich die Reste einer „Entfeuchtungsanlage“. Beim Betrieb in der Vergangenheit kann es zu Salzlagerungen und zur Elektrolyse von Salzen gekommen sein. Auch die unmittelbare Nähe zu im Mauerwerk vorhandenen Gipssteinen kann Salzlagerungen und -bildungen befördert haben.

Im Bereich der genannten Anlage sind orientierend Proben entnommen worden. Die nachfolgenden Untersuchungsergebnisse sind auch nur Orientierungen. Bei der Angebotserstellung für die Untersuchungen am Rathaus lagen keine Informationen zur genannten Installation vor und Untersuchungen zu den Auswirkungen waren nicht vorgesehen.

Tabelle 3.2.3.1: pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit (LF) in Eluaten aus Materialproben sowie wasserlösliche An- und Kationen (in M.-%) [Belastungsstufe nach Tabelle 3.2.1.3]

Probe NDH-R-	pH-Wert	LF in mS/cm	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
N-T-1.1	8,77	3,35	0,868 [IV]	0,829 [IV]	6,309	0,022	0,296	3,054	0,082
N-T-1.2	9,35	4,95	0,445 [IV]	0,434 [IV]	7,010	0,090	0,530	3,304	0,073
N-T-2.1.1	11,3	3,42							
N-T-2.1.2	9,52	2,09							
N-T-2.2	12,38	4,49							

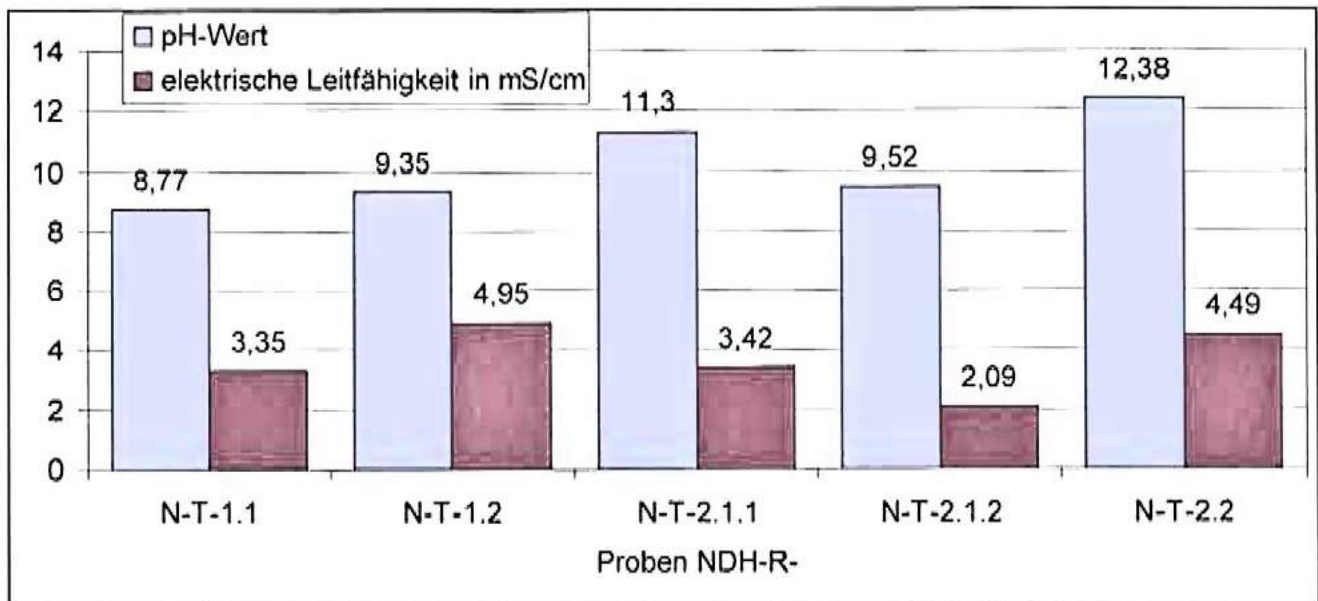


Abb. 3.2.3.1: Elektrische Leitfähigkeiten und pH-Werte in Eluaten aus Materialproben

Sehr hohe pH-Werte sind in den Eluaten der Proben N-T-2.1.1 und N-T-2.2 messbar. Beide Proben wurden aus dichten zementhaltigen Mörteln aus unmittelbarer Nähe zu den Eisenstangen der Installation entnommen.

Bei den anderen drei Proben ist davon auszugehen, dass die Salzbelastung mit den elektrischen Leitfähigkeiten in den Eluaten korreliert. Zu erwarten waren – auch wenn hohe Gipsgehalte vorliegen – mindestens hohe Belastungen mit leicht in Wasser löslichen Salzen.

Für ergänzende Untersuchungen wurden die Proben N-T-1.1 und N-T-1.2 ausgewählt.

In den nachfolgenden Abbildungen sind die Gehalte der An- und Kationen zur besseren Zuordnung zu Salzarten in mval/kg (Wertigkeit*mmol/kg) dargestellt.

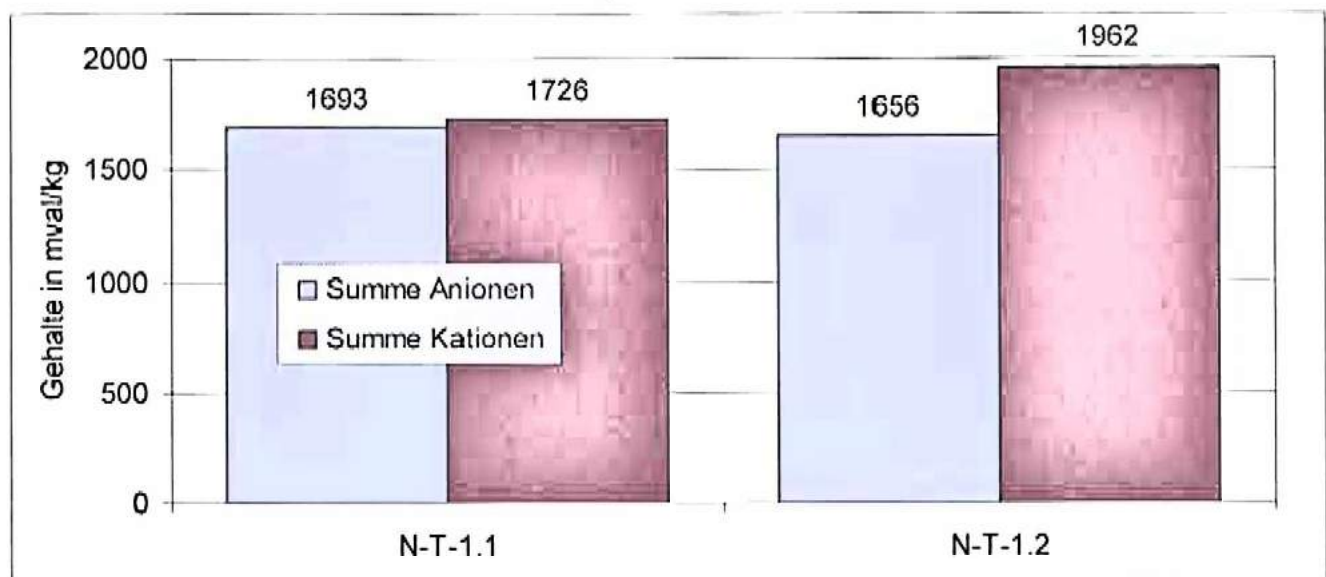


Abb. 3.2.3.2: Summen der An- und Kationen in einer Auswahl der Materialproben

In beiden Proben ergibt sich ein Überschuss an Kationen. Neben den hier analysierten Anionen (Sulfat, Chlorid, Nitrat) müssen noch andere Anionen (z.B. Carbonate) vorhanden sein.

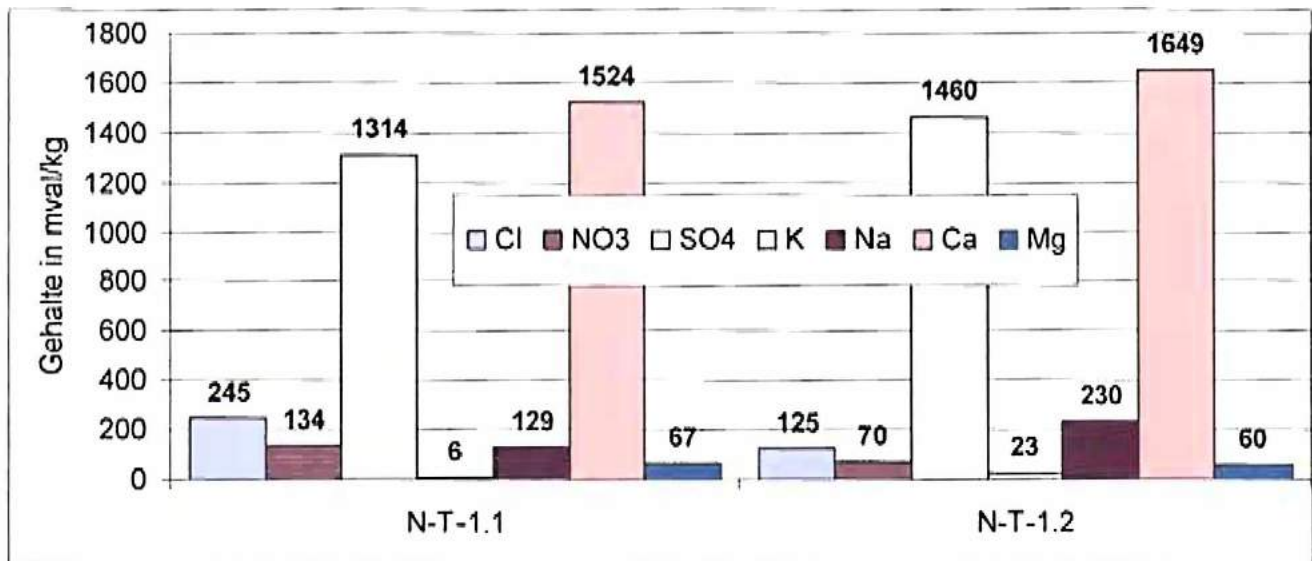


Abb. 3.2.3.3: An- und Kationen in einer Auswahl der Materialproben

In beiden Proben dominieren Calcium und Sulfat als wasserlösliche Ionen. In beiden Proben sind zusätzlich in der Summe extreme Gehalte an Nitraten und Chloriden nachweisbar. Auffällig sind die extrem hohen Gehalte an wasserlöslichem Natrium in beiden Proben.

Vor allem in der N-T-1.2 (mit Gips durchsetzter zementhaltiger Mörtel) reichen die Anionen nicht zur restlichen Bindung aller Kationen aus. Hier sind z.B. auch Anteile an Natriumcarbonat möglich.

3.3 Differentialthermoanalytische Untersuchungen (DTA) an Mörtelproben

Bei der Beprobung am Objekt und den bisher beschriebenen Untersuchungen ergaben sich Hinweise auf unterschiedliche Mörtel im Mauerwerk und der Verfugung. Zur orientierenden Einordnung sind typische Proben für Untersuchungen ausgewählt worden. Berücksichtigt worden sind Mauer- und Verfugmörtel sowie Beschichtungsreste von Steinoberflächen.

Mittels DTA (Differentialthermoanalyse) können Informationen zu Hauptbestandteilen (z.B. Gips, Hydratphasen aus hydraulischen Bindemitteln, Calciumhydroxid und Calciumcarbonat) in Bindemittel- und Mörtel- sowie Natursteinproben gewonnen werden.

Die Untersuchung wurde mit dem Gerät STA 409 PC Luxx der Fa. Netzsch Gerätebau GmbH durchgeführt. Die Aufheizgeschwindigkeit betrug 10 K/min. Als Atmosphärgase dienten Sauerstoff und Stickstoff. Die Auswertung erfolgte mittels Software „Proteus“.

Die Untersuchungen erfolgten an bei 40°C getrockneten und < 63 µm aufgemahlten Proben.

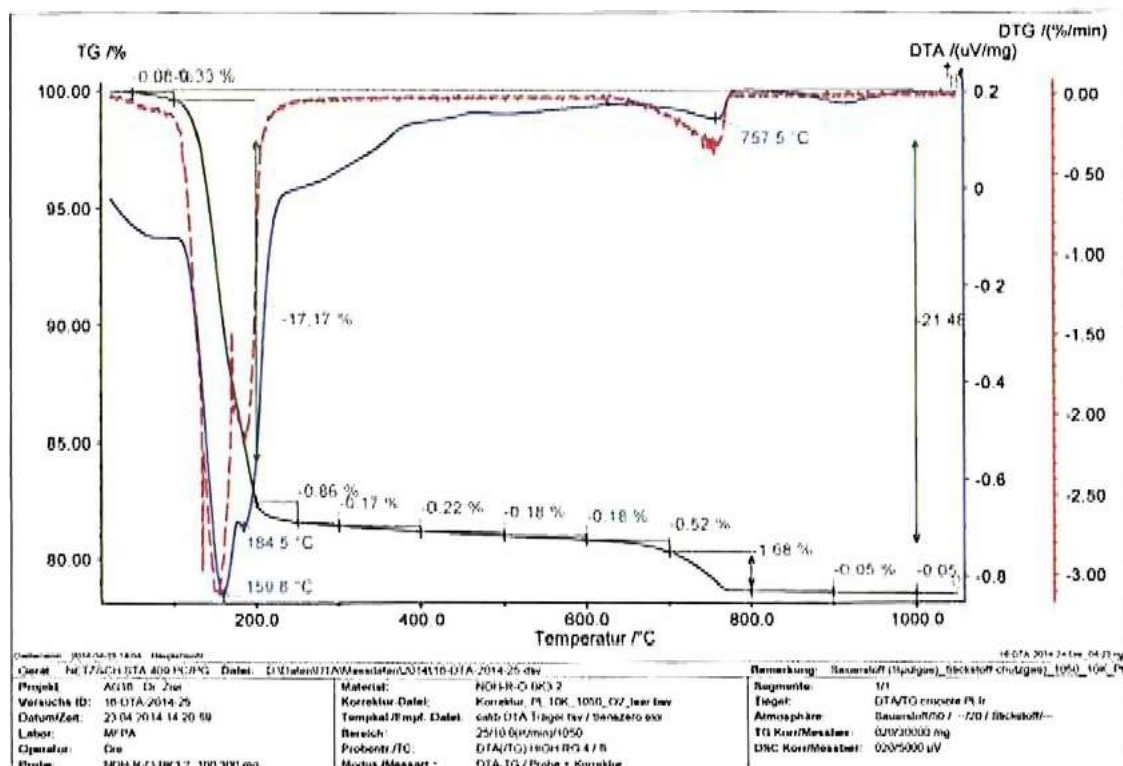


Abb. 3.3.1: DTA-, DTG- und TG-Kurven der Mauermörtelprobe NDH-R-O-BK3.2

Die sich ergebenden Kurven für die Probe NDH-R-O-BK3.2 sind durch markante Peaks gekennzeichnet. Die Kurvenverläufe sind typisch für einen Mörtel mit sehr hohem Gipsgehalt. Der Masseverlust < 100°C zeigt das mögliche Vorhandensein von löslichen Salzen an. Diese geben im genannten Temperaturbereich hygroscopische Feuchte ab. Die endothermen Peaks bei 160°C und 185°C (Doppelpeak) entstehen durch die Entwässerung von Gips über Halbhydrat zum Anhydrit. Der endotherme Peak bei 758°C entsteht durch die Abgabe von Kohlendioxid aus Calciumcarbonat. Aus dem Masseverlust zwischen 100 und 300°C kann – unter der Annahme, dass dieser durch die Entwässerung von Dihydrat entsteht – ein Gehalt von 87 M.-% Gips (Dihydrat) berechnet werden. Auf der Basis des Masseverlustes > 600°C ergibt sich ein Calciumcarbonatgehalt von 5 M.-%.

Die Extremwerte in den Kurven der Probe NDH-R-O-BK5 (siehe nachfolgende Abbildung 3.3.2) konzentrieren sich auf die Temperaturbereiche zwischen 100 und 400°C sowie > 600°C. Der endotherme Peak bei 124°C entsteht während der Untersuchung durch die Wasserabgabe aus Bindemittelhydraten. Es ist davon auszugehen, dass hydraulische und / oder latenthyaualische Bindemittelbestandteile im Mörtel enthalten sind. Der endotherme Peak bei 146°C kann ebenfalls durch diese Bindemittelbestandteile bedingt sein. Möglich sind aber auch Anteile von Gips. Eine Auftrennung und konkrete Zuordnung ist hier ohne ergänzende Untersuchungen nicht möglich. Im weiteren Kurvenverlauf der DTA deuten sich weitere Entwässerungsreaktionen mit geringer Wärme-freisetzung an. Diese gehen stetig in die Carbonatzersetzung ab etwa 600°C über. Der endotherme Peak bei 575°C entsteht durch einen Modifikationswechsel von Quarz aus Gesteinskörnungen. Quarz ist in hohen Anteilen in der Probe enthalten. Der endotherme Peak bei 763°C entsteht durch die Abgabe von Kohlendioxid aus Calciumcarbonat. Auf der Basis des Masseverlustes > 600°C ergibt sich ein Calciumcarbonatgehalt von 13 M.-%. Der kontinuierliche Masseverlust zwischen 200 und 600°C ist stofflich allein auf der Basis der DTA nicht konkret zuordenbar. Möglich sind Zersetzungen von Bindemittelhydraten mit geringen Bindungsenergien.

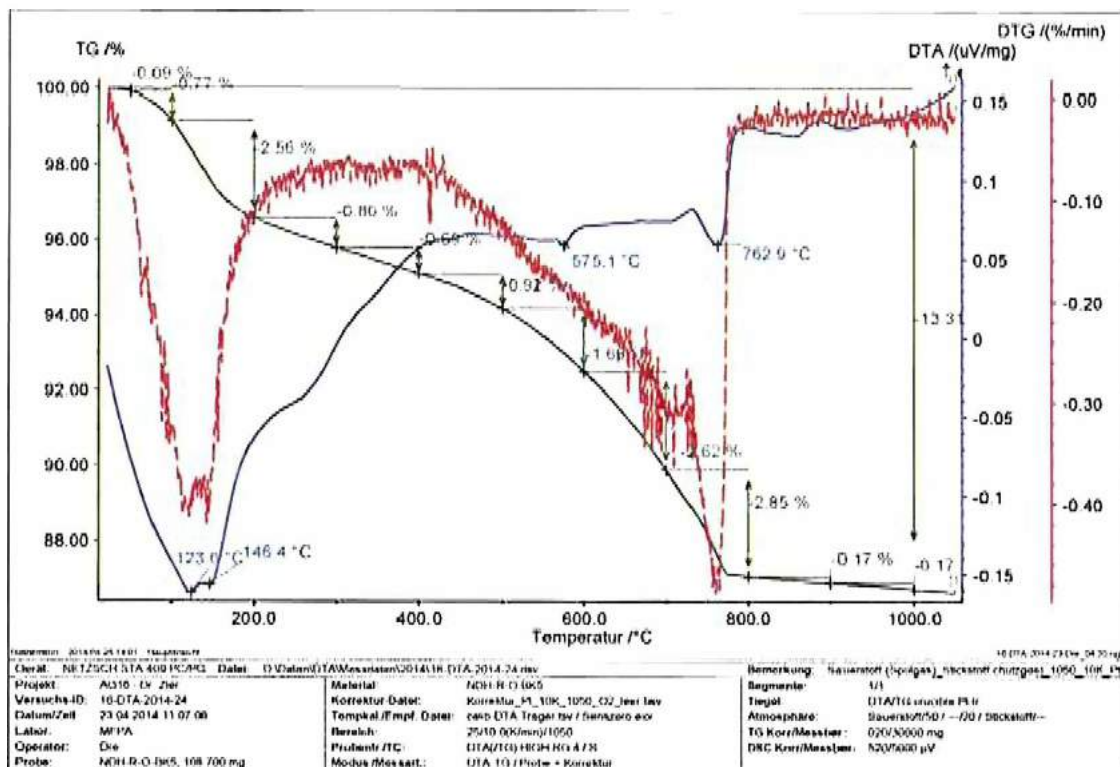


Abb. 3.3.2: DTA-, DTG- und TG-Kurven der Verfugmörtelprobe NDH-R-O-BK5

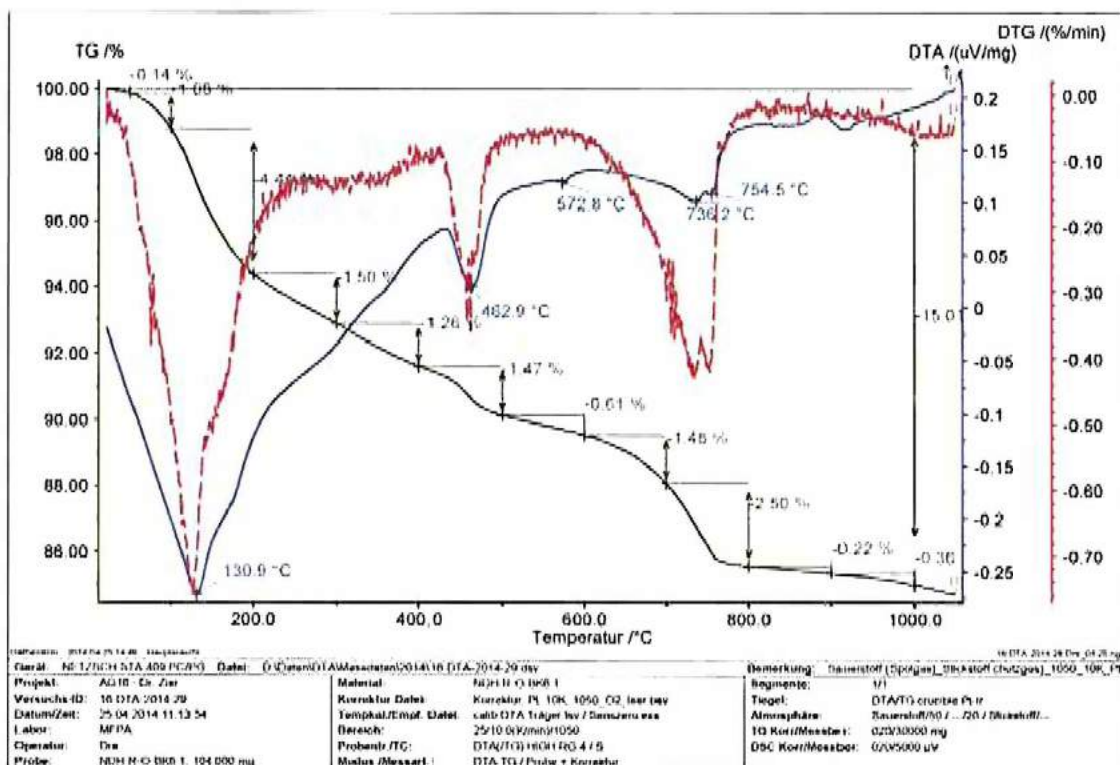


Abb. 3.3.3: DTA-, DTG- und TG-Kurven der Verfugmörtelprobe NDH-R-O-BK6.1

Die Extremwerte in den Kurvenverläufen für die Probe NDH-R-O-BK6.1 konzentrieren sich auf die Temperaturbereiche zwischen 100 und 300°C, 400 bis 600°C sowie > 600°C.

Der endotherme Peak bei 131°C entsteht durch die Wasserabgabe aus Hydraten während der Untersuchung. Es ist davon auszugehen, dass hydraulische und / oder latenthyaualische Bindemittelbestandteile im Mörtel enthalten sind.

Im weiteren Kurvenverlauf der DTA fällt ein starker endothermer Peak bei 463°C auf. Dieser entsteht durch die Wasserabgabe aus Calciumhydroxid. Calciumhydroxid entsteht während der Hydratation von Zementen oder ist aus Zusätzen von Kalk im Mörtel enthalten. Das Vorhandensein von Calciumhydroxid im Verfugmörtel deutet auf eine sehr dichte Mörtelstruktur hin. Diese verhinderte die vollständige Carbonatisierung. Die Exposition der Probenahmestellen unter einem Dachüberstand verhinderte häufige Durchfeuchtungen und trug somit ebenfalls zu einer Verlangsamung der Carbonatisierungsprozesse bei. Aus dem zum Peak zuordenbaren Masseverlust ergibt sich ein Calciumhydroxidgehalt von etwa 4 M.-%. Der endotherme Peak bei 573°C entsteht durch einen Modifikationswechsel von Quarz aus Gesteinskörnungen. Diese sind in hohen Anteilen in der Probe enthalten.

Die endothermen Peaks bei 736 und 755°C entstehen durch die Abgabe von Kohlendioxid aus Calciumcarbonaten. Auf der Basis des Masseverlustes > 600°C ergibt sich ein Calciumcarbonatgehalt von etwa 10 M.-%.

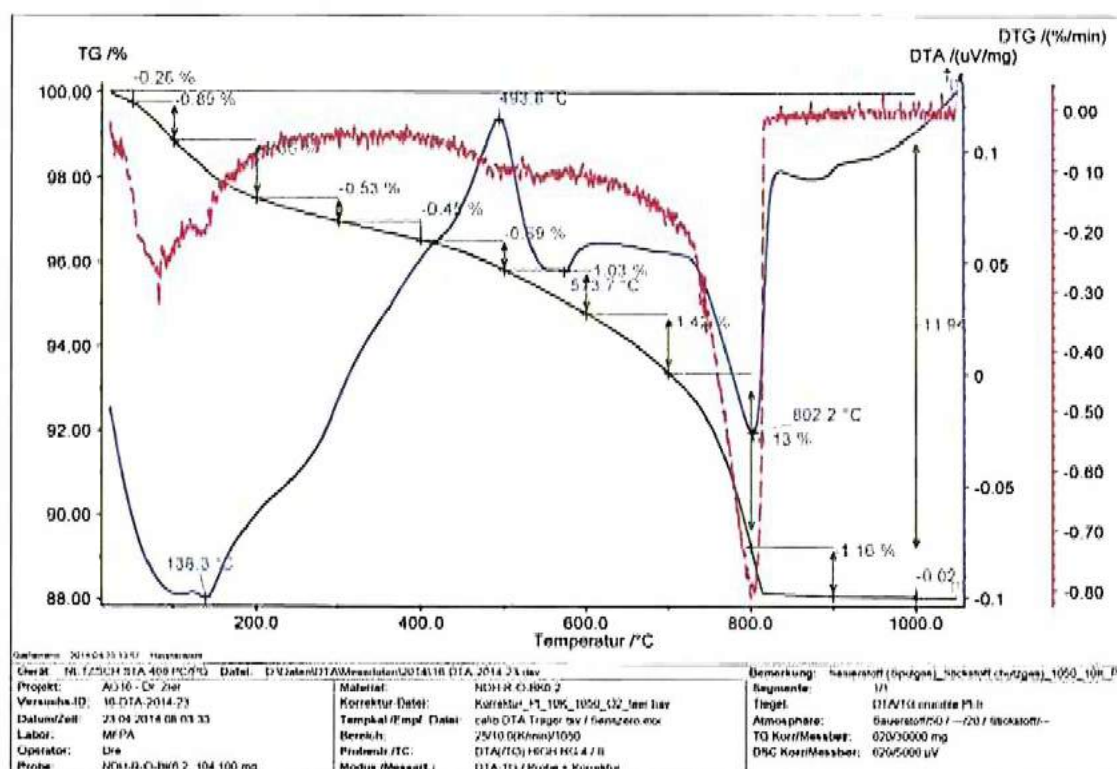


Abb. 3.3.4: DTA-, DTG- und TG-Kurven der Mauermörtelprobe NDH-R-O-BK6.2

Die Extremwerte in den Kurvenverläufen der Probe NDH-R-O-BK6.2 konzentrieren sich auf die Temperaturbereiche zwischen 100 und 200°C sowie > 450°C.

Der endotherme Peak bei 138°C entsteht durch die Wasserabgabe aus Hydraten während der Untersuchung. Es ist davon auszugehen, dass hydraulische und / oder latenthyaualische Bindemittelbestandteile im Mörtel und / oder geringe Gipsanteile enthalten sind.

Im weiteren Kurvenverlauf der DTA fällt ein starker exothermer Peak bei 493°C auf. Eine Zuordnung ist ohne ergänzende Analysen nicht möglich. Es kann sich Umwandlungen von Gesteinskörnungsbestandteilen oder von spezifischen Zusätzen zu den Bindemitteln handeln.

Der endotherme Peak bei 574°C entsteht durch einen Modifikationswechsel von Quarz aus Gesteinskörnungen. Diese sind in hohen Anteilen in der Probe enthalten.

Der endotherme Peak bei 802°C entsteht durch die Abgabe von Kohlendioxid aus Calciumcarbonaten. Auf der Basis des Masseverlustes > 600°C ergibt sich ein Calciumcarbonatgehalt von etwa 15 M.-%.

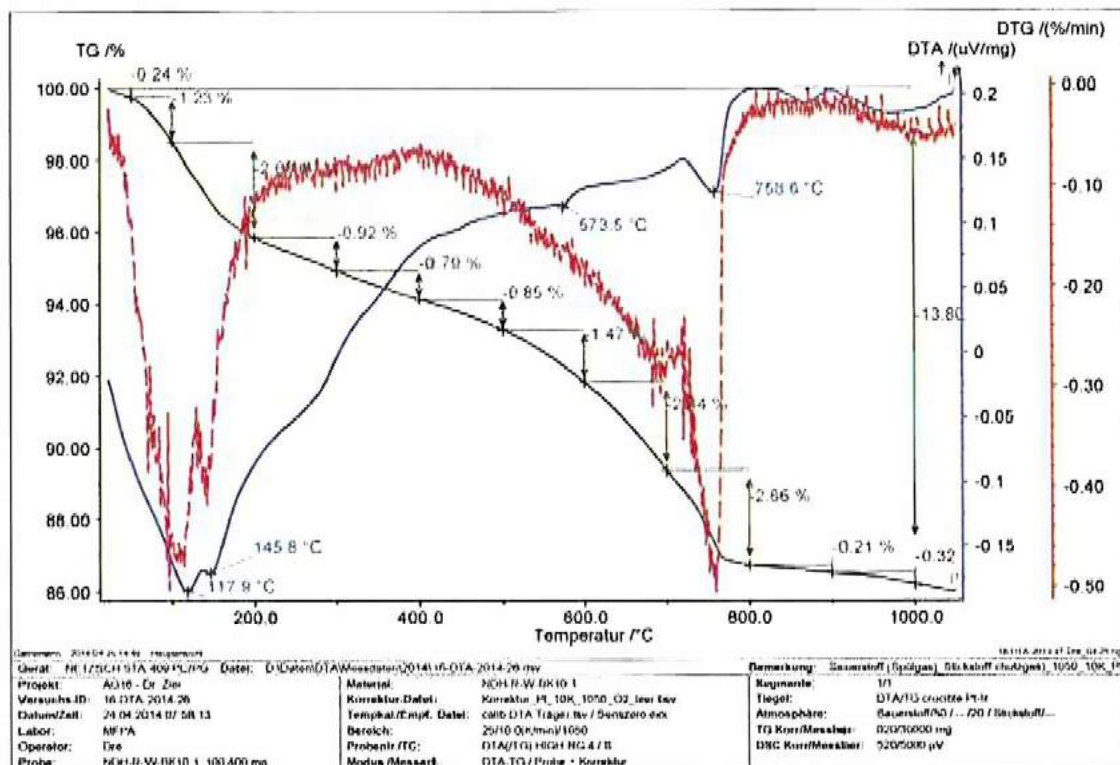


Abb. 3.3.5: DTA-, DTG- und TG-Kurven der Verfugmörtelprobe NDH-R-W-BK10.1

Die Extremwerte in den Kurvenverläufen der Probe NDH-R-W-BK10.1 konzentrieren sich auf die Temperaturbereiche zwischen 100 und 300°C sowie > 600°C.

Der endotherme Peak bei 118°C entsteht durch die Wasserabgabe aus Bindemittelhydraten während der Untersuchung. Es ist davon auszugehen, dass hydraulische und / oder latenthyadraulische Bindemittelbestandteile im Mörtel enthalten sind. Der endotherme Peak bei 146°C kann ebenfalls durch diese Bindemittelbestandteile bedingt sein. Möglich sind aber auch Anteile von Gips. Eine Auftrennung und konkrete Zuordnung ist hier ohne ergänzende Untersuchungen nicht möglich.

Der endotherme Peak bei 574°C entsteht durch einen Modifikationswechsel von Quarz aus Gesteinskörnungen. Diese sind in hohen Anteilen in der Probe enthalten.

Der endotherme Peak bei 759°C entsteht durch die Abgabe von Kohlendioxid aus Calciumcarbonaten. Auf der Basis des Masseverlustes > 600°C ergibt sich ein Calciumcarbonatgehalt von etwa 12 M.-%. Es ergeben sich große Übereinstimmungen mit der Probe NDH-R-O-BK5.

Die Extremwerte in den Kurven der Probe NDH-R-S-BK11.1 (siehe nachfolgende Abbildung) konzentrieren sich auf die Temperaturbereiche zwischen 100 und 200°C sowie > 600°C.

Der endotherme Peak bei 149°C entsteht durch die Wasserabgabe aus Hydraten während der Untersuchung. Es ist davon auszugehen, dass hydraulische und / oder latenthyadraulische Bindemittelbestandteile im Mörtel und / oder Gipsanteile enthalten sind.

Der endotherme Peak bei 574°C entsteht durch einen Modifikationswechsel von Quarz aus Gesteinskörnungen. Diese sind in hohen Anteilen in der Probe enthalten.

Der endotherme Peak bei 794°C entsteht durch die Abgabe von Kohlendioxid aus Calciumcarbonaten. Auf der Basis des Masseverlustes > 600°C ergibt sich ein Calciumcarbonatgehalt von etwa 21 M.-%.

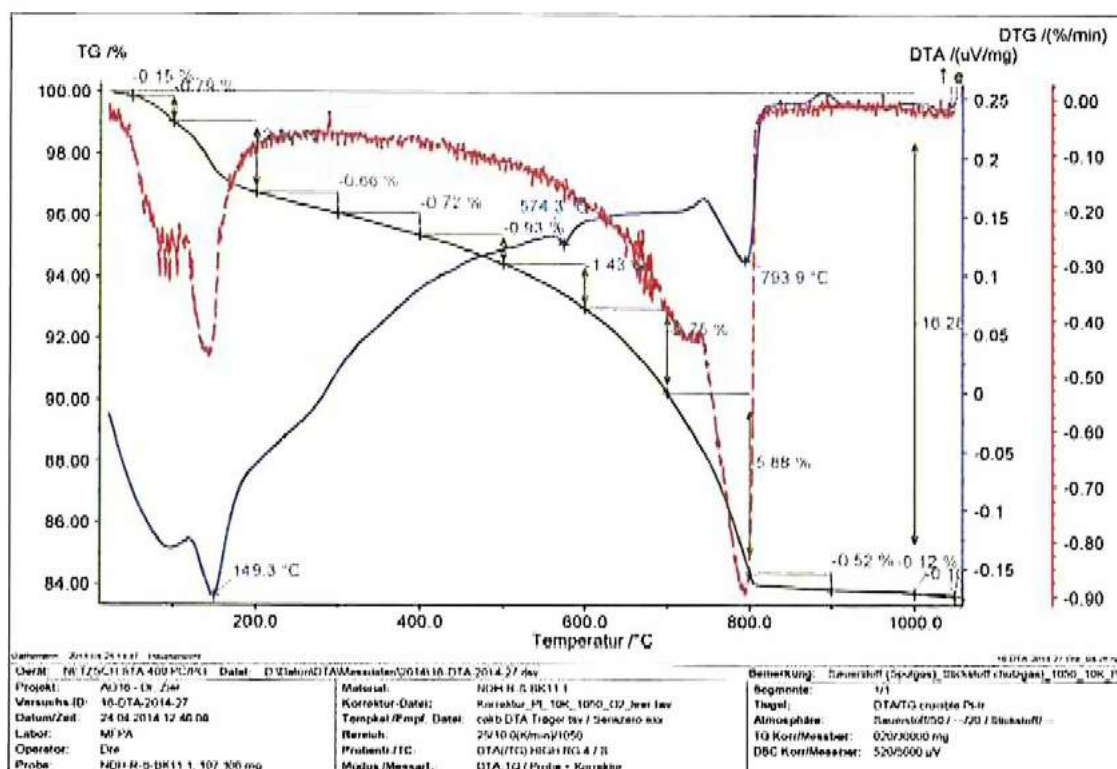


Abb. 3.3.6: DTA-, DTG- und TG-Kurven der Verfugmörtelprobe NDH-R-S-BK11.1

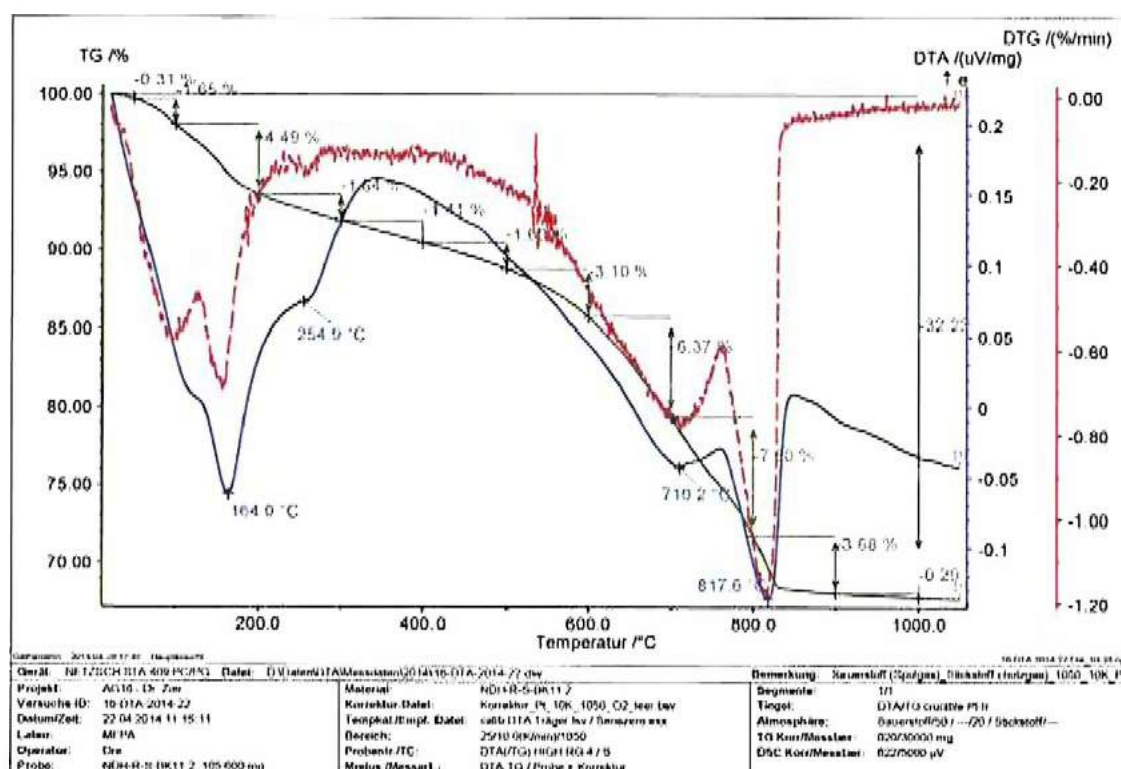


Abb. 3.3.7: DTA-, DTG- und TG-Kurven der Verfugmörtelprobe NDH-R-S-BK11.2

Die Extremwerte in den Kurvenverläufen der Probe NDH-R-S-BK11.2 konzentrieren sich auf die Temperaturbereiche zwischen 100 und 300°C sowie > 500°C.

Der endotherme Peak bei 164°C entsteht durch die Wasserabgabe aus Hydraten während der Untersuchung. Es ist davon auszugehen, dass hydraulische und / oder latenthyadraulische Bindemittelbestandteile im Mörtel und / oder Gipsanteile enthalten sind.

Auffällig ist ein endothermer Peak bei 255°C. Dieser war nur in der Probe NDH-R-S-BK11.2 vorhanden. Es ist davon auszugehen, dass es sich – im Vergleich zu den anderen Verfugmörtelproben – um einen anderen Bindemitteltyp handelt.

Es fehlen auch Hinweise auf quarzsandhaltige Gesteinskörnungen (Zuschläge).

Im Vergleich zu den restlichen Proben sind im Temperaturbereich > 600°C zwei deutliche Peaks bei 710°C und 818°C ausgebildet. Beide Peaks entstehen durch die Abgabe von Kohlendioxid. Im Mörtel sind wahrscheinlich dolomitische Bestandteile aus Carbonatgesteinen und / oder entsprechenden Bindemitteln enthalten.

Wird angenommen, dass der endotherme Peak bei 710°C durch die Abgabe von Kohlendioxid aus Magnesiumcarbonaten entsteht, ergibt sich aus dem Masseverlust zwischen 500 und 700°C ein Gehalt von 18 M.-%.

Wird angenommen, dass der endotherme Peak bei 818°C durch die Abgabe von Kohlendioxid aus Calciumcarbonaten entsteht, ergibt sich aus dem Masseverlust > 700°C ein Gehalt von 26 M.-%.

Möglichweise handelt es sich bei der Probe um einen Mörtel aus dolomitischem Kalk als Bindemittel mit Zusätzen von dolomitischen Kalksteinmehlen und -brechprodukten.

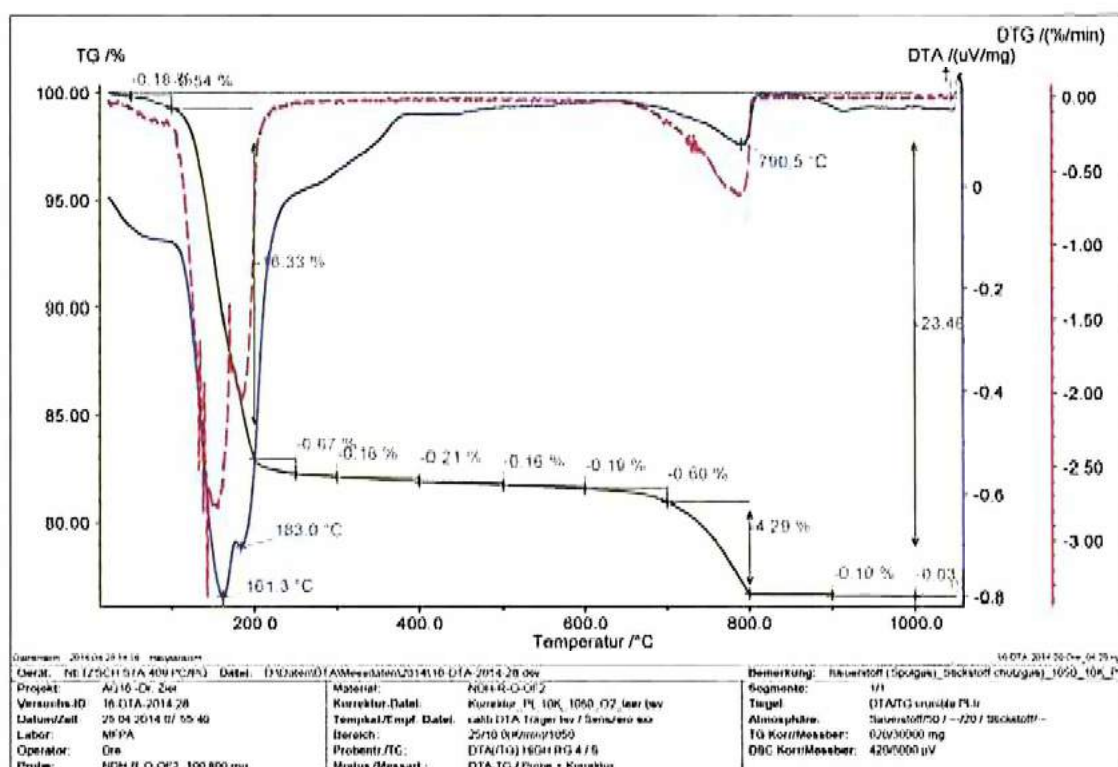


Abb. 3.3.8: DTA-, DTG- und TG-Kurven der Beschichtung NDH-R-O-OF2

Die sich ergebenden Kurvenverläufe der Probe NDH-R-O-OF2 sind durch markante Peaks gekennzeichnet. Die Kurvenverläufe sind typisch für einen Mörtel mit sehr hohem Gipsgehalt. Der Masseverlust < 100°C zeigt das mögliche Vorhandensein von löslichen Salzen an. Diese geben im genannten Bereich hygroskopische Feuchte ab. Die endothermen Peaks bei 161°C und 183°C (Doppelpeak) entstehen durch die Entwässerung von Gips. Der endotherme Peak bei 790°C entsteht durch die Abgabe von Kohlendioxid aus Calciumcarbonat. Aus dem Masseverlust zwischen 100 und 300°C kann – unter der Annahme, dass dieser durch die Entwässerung von Dihydrat entsteht – ein Gehalt von 81 M.-% Gips (Dihydrat) berechnet werden. Auf der Basis des Masseverlustes > 600°C ergibt sich ein Calciumcarbonatgehalt von 11 M.-%.

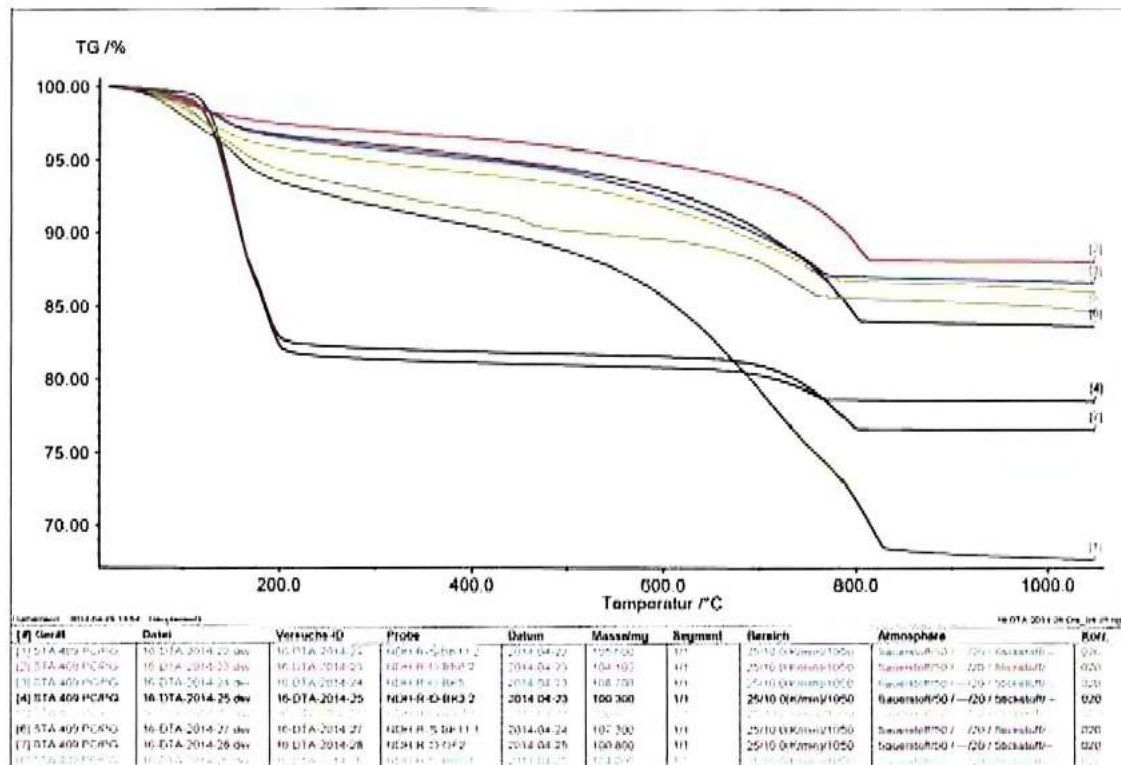


Abb. 3.3.9: TG-Kurven – vergleichende Zusammenstellung

Nach den TG-Kurven ergeben sich Gruppen von Mörtelproben mit ähnlichem Verhalten während der Untersuchung.

Sehr deutlich heben sich die Proben **NDH-R-O-BK3.2** und **-O-OF1** ab. Beide Proben sind als Gipsmörtel einzustufen. Sie repräsentieren als typische Vertreter die Mauer- und Verfugmörtel (O-BK3.2) im Bestand sowie die auf Steinoberflächen vorhandenen Reste von Beschichtungen (O-OF1). Bestätigt wird die bereits während der Probenahme vorgefundene Situation zum historischen Bestand. Das Mauerwerk wurde mit Gipsmörtel errichtet und verfugt. Unebenheiten in den Steinoberflächen sind mit Gipsmörteln ausgeglichen worden. Die Oberflächen waren mit Gipsmörtel verputzt und / oder mit gipshaltigen Schlämmen versehen.

Die Probe **NDH-R-S-BK11.2** unterscheidet sich ebenfalls deutlich von den restlichen Proben. Bereits bei der Auswahl wurde vermutet, dass quarzhaltige Gesteinskörnungen fehlen. Der sehr hohe Masseverlust zeigt an, dass es sich überwiegend um Carbonate (Mg- und Ca-Carbonate) handelt. Gipsanteile sind in dieser Probe ebenfalls möglich. Mit hoher Wahrscheinlichkeit handelt es sich um ein Bindemittel regionaler Herkunft, wie sie ab etwa Mitte des 19. Jahrhunderts untergeordnet für spezielle Anwendungen zum Einsatz kamen.

Sehr große Gemeinsamkeiten bestehen bei den Proben **NDH-R-O-BK5**, **-W-BK10.1** und **-S-BK11.1**. Als Bindemittel sind hydraulische Kalke oder Mischungen aus Kalk und Zement anzunehmen. Die Unterschiede resultieren möglicherweise aus der Verarbeitung als Baustellenmischungen mit entsprechenden Toleranzen bei der Dosierung der Ausgangsstoffe.

Die Probe **NDH-R-O-BK6.1** (Verfugmörtel) ist als hochhydraulischer Mörtel mit hohen Zementanteilen oder einem hochhydraulischen Kalk als Bindemittel einzustufen.

Von der gleichen Probenahmestelle stammt die Mauermörtelprobe **NDH-R-O-BK6.2**. Diese ist als Kalkmörtel mit geringeren hydraulischen Anteilen einzustufen.

Die nachfolgende vergleichende Zusammenstellung der DTA-Kurven bestätigt die getroffenen Eingruppierungen der Proben.

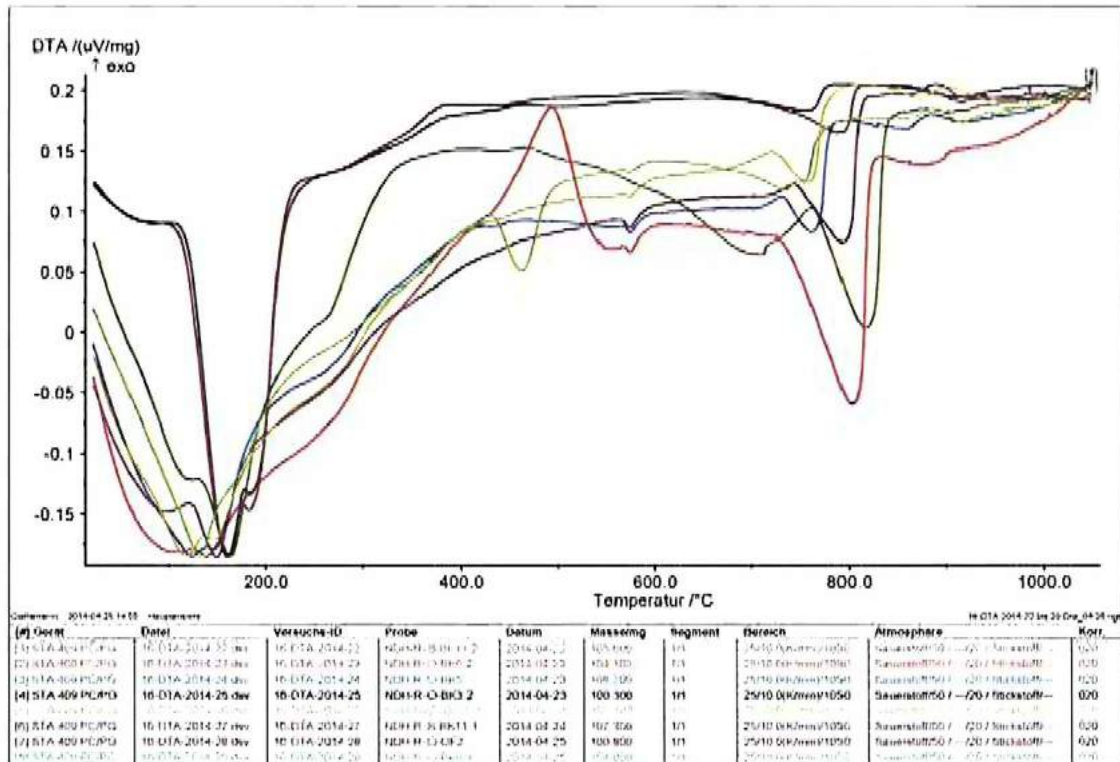


Abb. 3.3.10: DTA-Kurven – vergleichende Zusammenstellung

Tabelle 3.3.1: Angaben zu Mörtelinhaltsstoffen nach der DTA

Probe NDH-R-	Gips	hydraulische Anteile	quarzhaltige Körnungen	Calcium- carbonat	sonstige Bestandteile
O-BK3.2	87 M.-%	nein	nein	5 M.-%	
O-BK5	möglich	ja	ja	13 M.-%	
O-BK6.1	möglich	ja	ja	10 M.-%	4 M.-% Calciumhydroxid
O-BK6.2	möglich	möglich	ja	15 M.-%	starker exothermer Peak bei 494°C
W-BK10.1	möglich	ja	ja	12 M.-%	
S-BK11.1	möglich	ja	ja	21 M.-%	
S-BK11.2	möglich	möglich	nein	26 M.-%	18 M.-% Magnesiumcarbonat
O-OF2	81 M.-%	nein	nein	11 M.-%	

Die Untersuchungen zeigen, dass die am Objekt verbauten Mörtel einer gewissen Vielfalt unterliegen. Bedingt ist diese durch verschiedenste Umbau- und Reparaturphasen.

In einigen Proben fanden sich Hinweise auf mögliche Gipsanteile. Da während der Untersuchungen Überlagerungen mit Entwässerungsreaktionen hydraulischer Bestandteile vorkommen können, sind ergänzende Untersuchungen (siehe Abschnitt 3.4) vorgenommen worden.

3.4 Gesamt-SO₃-Gehalte in Mörtelproben

Zur Ergänzung der DTA-Untersuchungen sind die Gesamt-SO₃-Gehalte bestimmt worden. Vor Beginn der Untersuchungen wurden die bei 40°C vorgetrockneten Proben < 63 µm zerkleinert.

Für die Berechnung der Gipsgehalte wird das in den Proben enthaltene Gesamt-SO₃ genutzt. Andere Verbindungen, in denen ebenfalls Anteile des Gesamt-SO₃ enthalten sein können, werden hier nicht berücksichtigt.

Die Bestimmung des Gesamt-SO₃ erfolgte nach „Chemische Analyse von Gips und gipshaltigen Stoffen“ (Richtlinie des Deutschen Gipsvereins e.V.).

Tabelle 3.4.1: Gesamt-SO₃-Gehalt in den Mörtelproben und daraus berechnete Gipsgehalte und ergänzende Informationen aus der DTA (Angaben in M.-%)

Probe NDH-R-	Gesamt-SO ₃ -Gehalt	berechneter Gipsgehalt (Dihydrat)	Gips nach DTA	Wasserbindung im Gips	Masseverlust DTA 100 – 300°C	Differenz F = E - D
	A	B	C	D	E	F
O-BK3.2	42,8	92,0	87 M.-%	19,3	18,03	
O-BK5	2,57	5,5	möglich	1,2	3,36	2,16
O-BK6.1	1,69	3,6	möglich	0,8	5,91	5,11
O-BK6.2	0,5	1,1	möglich	0,2	2,24	2,04
W-BK10.1	1,37	2,9	möglich	0,6	3,91	3,31
S-BK11.1	3,19	6,9	möglich	1,4	2,98	1,58
S-BK11.2	4,53	9,7	möglich	2,0	6,13	4,13
O-OF2	38,5	82,8	81 M.-%	17,3	17	

Die Untersuchungen bestätigen die bei der DTA festgestellten sehr hohen Gipsgehalte in den Proben O-BK3.2 und O-OF2. Beide Proben sind als Gipsmörtel einzuordnen.

Wird angenommen, dass der in den restlichen Proben enthaltene Gips im Temperaturbereich zwischen 100 und 300°C entwässert, ergeben sich zusätzlich relevante Anteile an hydraulischen Bindemittelbestandteilen.

Im Vergleich zu den beiden eingangs genannten Proben sind die Gipsgehalte in den Proben O-BK6.2, O-BK6.1 (Mauer- und Verfugmörtel im Bereich unter dem Dachgesims) und W-BK10.1 (Verfugung) deutlich geringer.

Der Mörtel in der Probe O-BK6.2 (Mauermörtel) ist als Kalkmörtel einzustufen. Er kam wahrscheinlich bei Arbeiten zur Beseitigung von Kriegsfolgen nach dem 2. Weltkrieg zum Einsatz.

Der gleichen Bauphase ist der Mörtel O-BK6.1 (Verfugmörtel) zuzuordnen. Der höhere Gipsgehalt kann aus anderen Bindemittelzusätzen resultieren oder wurde sekundär von gipshaltigen Oberflächen oder durch Luftschadstoffe eingetragen. Die Bindemittel in diesem Mörtel besitzen im Vergleich zur Probe O-BK6.2 höhere Anteile hydraulischer Komponenten (Differenz „E - D“).

In der Probe W-BK10.1 können auch sekundäre Gipseinträge vorliegen. Die Gehalte an hydraulischen Bestandteilen sind etwas höher als in der Probe O-BK6.2.

In den Proben O-BK5 (Verfugung), S-BK11.1 (Verfugung) und S-BK11.2 (Mauermörtel) werden Gipsgehalte zwischen 5 und 10 M.-% erreicht.

In der Probe S-BK11.2 ist davon auszugehen, dass der Mörtel im Kontakt zu Gipsmörteln aus dem Altbestand stand und daraus der erhöhte Gipsanteil resultiert. Einträge von Fugenflanken an denen Gipsmörtelreste anhaften sind auch im Fall der Proben S-BK11.1 und O-BK5 möglich.

Die Untersuchungen zeigen, dass auch in den Verfugungen mit hydraulisch gebundenen Mörteln aus der jüngeren Vergangenheit höhere Gipsgehalte durch Kontakte mit Gipsmörteln aus den Fugenbereichen, Gipsmörteln an Steinoberflächen und / oder durch Sekundäreinträge aus Luftschadstoffen gerechnet werden muss.

3.5 Thermographimetrische (TG) und röntgendiffraktometrische Untersuchungen (XRD) an Natursteinproben

In der äußeren Schicht des Mauerwerks dominieren Carbonatgesteine aus regionalen Vorkommen. Es ist bekannt, dass diese sich in ihrer Zusammensetzung unterscheiden können. Aus diesem Grund sind drei typische Vertreter ausgewählt worden.

Neben Carbonatgesteinen waren Gipssteine in unterschiedlicher Erscheinungsform und Häufigkeit vorhanden. Durch Verschmutzung der Oberflächen sind sie aber nicht immer eindeutig erkennbar. Wegen der relativ einfachen Zuordnung nach der visuellen Erscheinung der Gipssteine wurden an diesen keine Laboruntersuchungen durchgeführt.

Von den ausgewählten Natursteinproben wurden Röntgendiffraktogramme aufgenommen. Vor der Untersuchung sind die Proben < 63 µm zerkleinert worden.

Die Untersuchungen erfolgten mittels Röntgendiffraktometer XRD 3003 TT (GE Inspection Technologies GmbH) mit Szintillationsdetektor und Cu-Anoden Röhre. Zur Auswertung der Röntgendiffraktogramme wurde die Software „Rayflex Analyse“ verwendet.

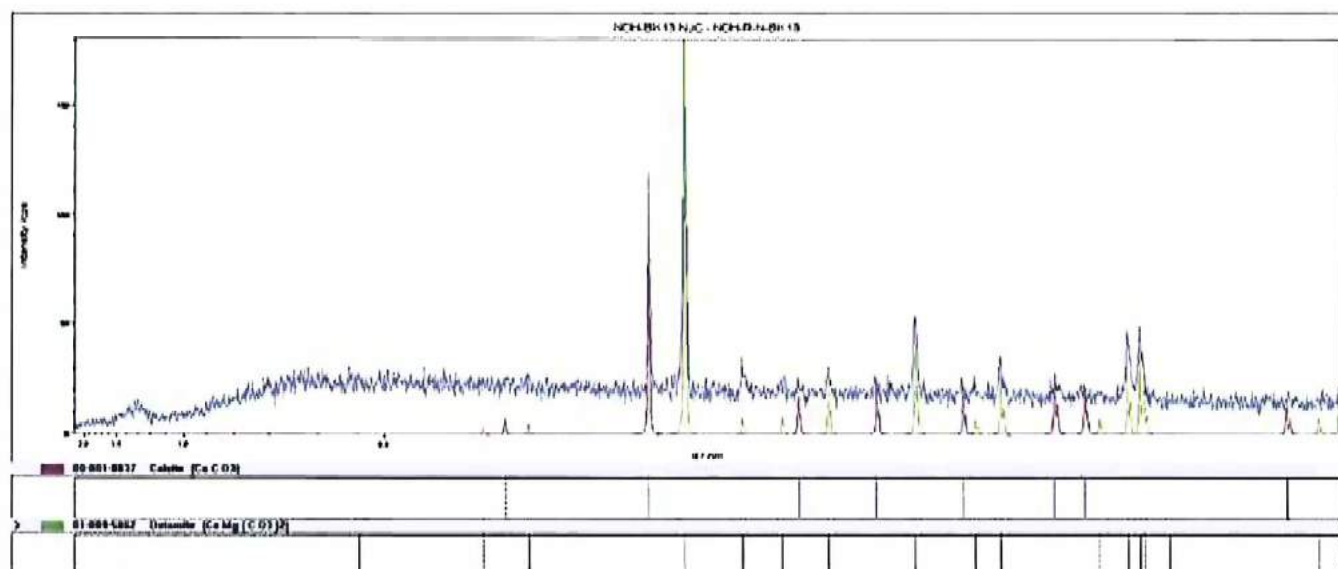


Abb. 3.5.1: Röntgendiffraktogramm der Probe NDH-R- N-BK13

In der Steinprobe N-BK13 sind Dolomit und Calcit enthalten.

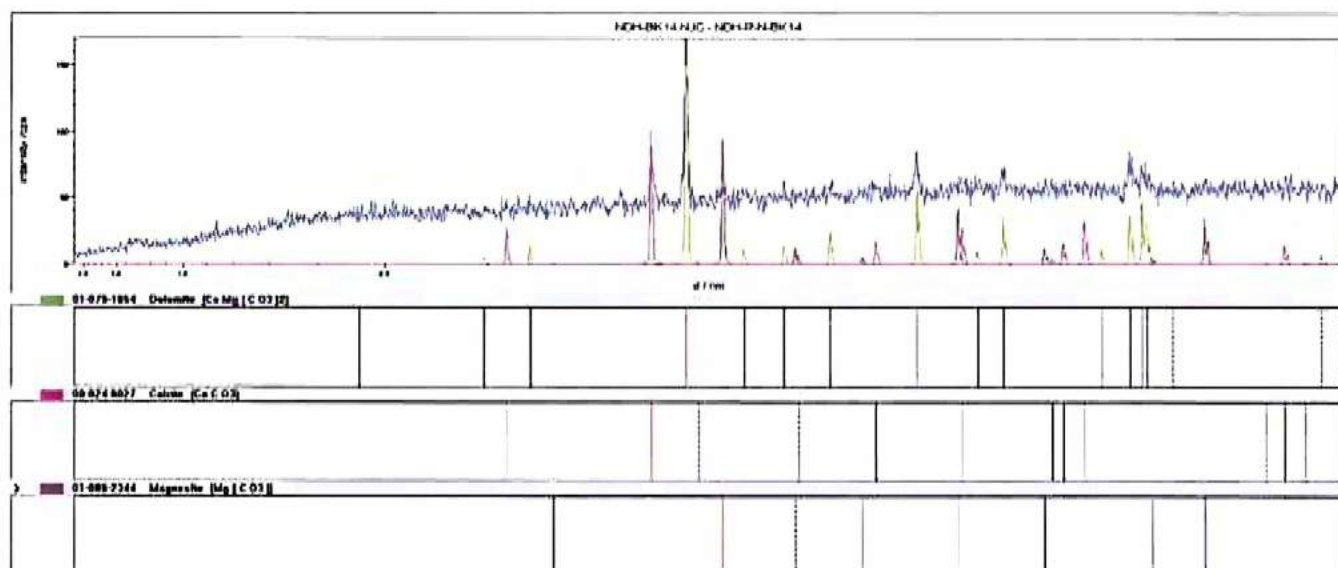


Abb. 3.5.2: Röntgendiffraktogramm der Probe NDH-R-N-BK14

In der Steinprobe N-BK14 sind Dolomit, Calcit und Magnesit enthalten.

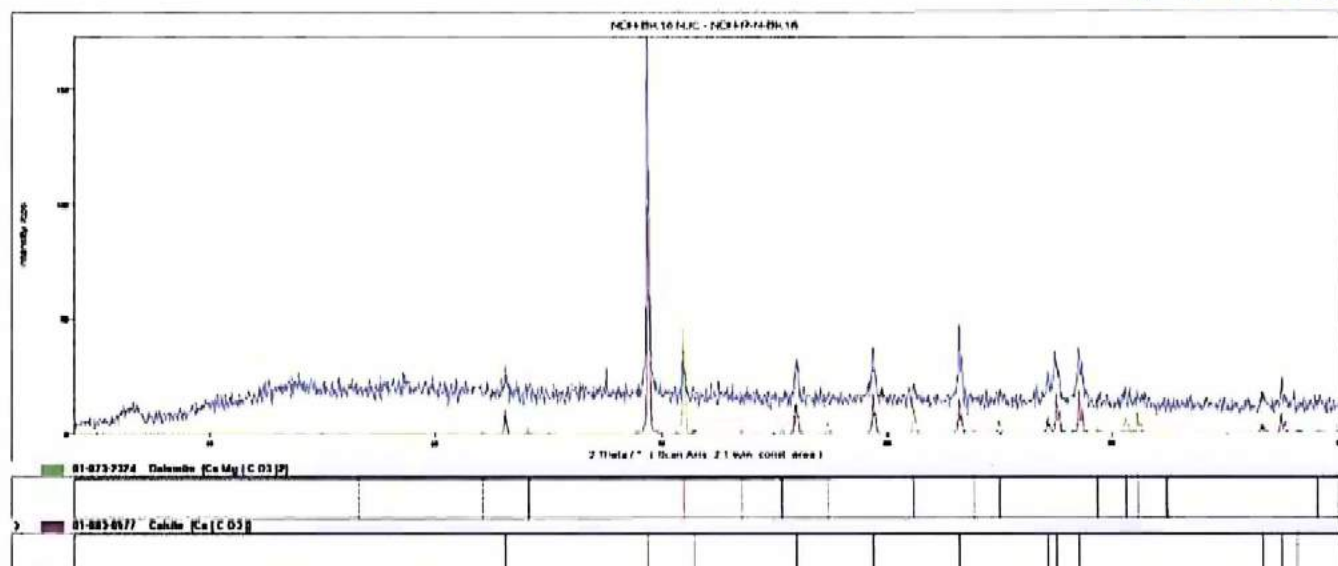


Abb. 3.5.3: Röntgendiffraktogramm der Probe NDH-R-N-BK16

In der Steinprobe N-BK16 sind Calcit und nur sehr wenig Dolomit enthalten.

Die Ergebnisse zeigen, dass calcium- und magnesiumhaltige Carbonate in allen drei Gesteinsproben enthalten sind. Es sind aber variierende Anteile enthalten.

Ergänzend zu den beschriebenen Untersuchungen wurden thermogravimetrische Untersuchungen (TG) durchgeführt. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Abbildung zusammengestellt.

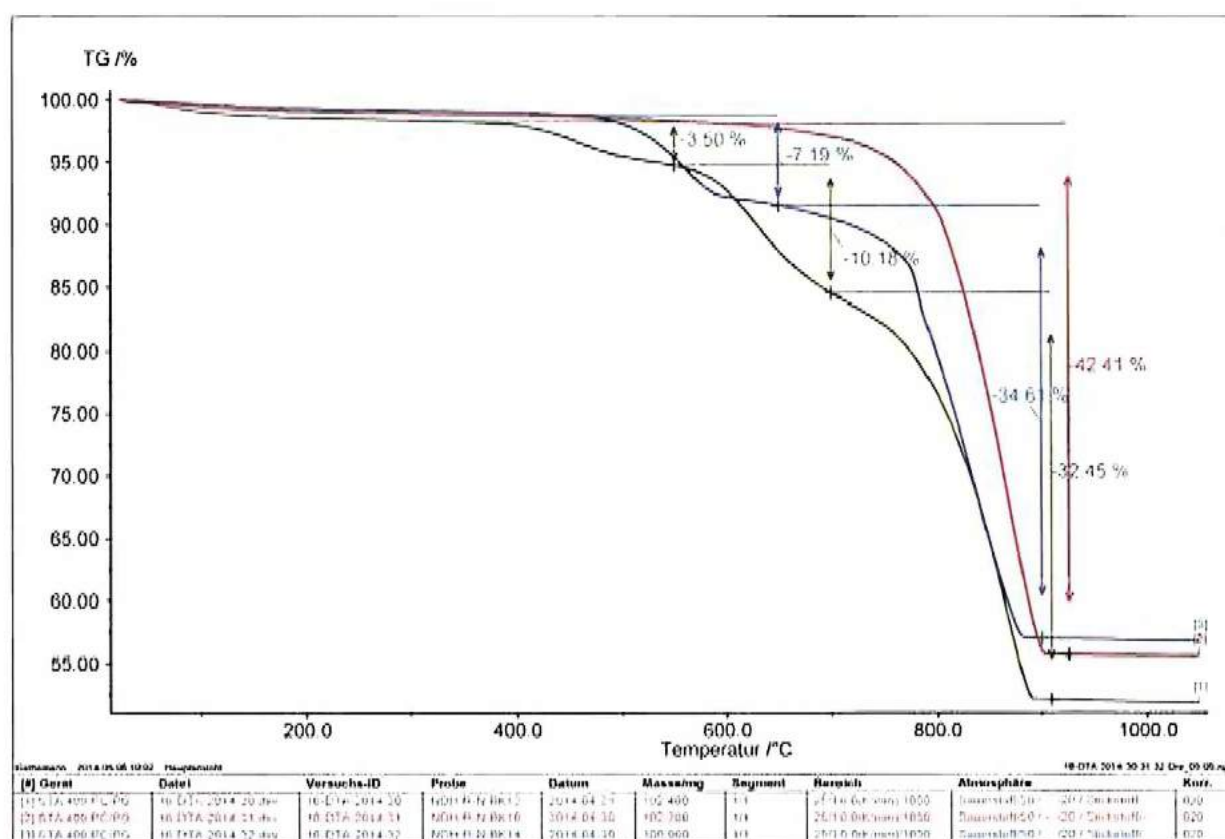


Abb. 3.5.4: TG-Kurven der Proben NDH-R-N-BK16, N-BK14 und N-BK13

Die TG-Kurven der drei Natursteinproben unterscheiden sich deutlich. Aus den Masseverlusten in spezifischen Temperaturbereichen können orientierend folgende Zusammensetzungen berechnet werden:

- Probe NDH-R-N-BK13 – 57 M.-% Dolomit [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] und 43 M.-% Calcit [CaCO_3]
- Probe NDH-R-N-BK14 – 30 M.-% Dolomit [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] und 62 M.-% Calcit [CaCO_3]
- Probe NDH-R-N-BK16 – 95 M.-% Calcit [CaCO_3] und < 5 M.-% Dolomit [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$]

Die Untersuchungen an den drei Proben zeigen, dass die Zusammensetzungen der Carbonatgesteine, die im Mauerwerk des Rathauses verbaut sind, in einem breiten Spektrum variieren können.

Nach der Oberflächenerscheinung (siehe auch Anlage 2) der Steine im Einbauzustand ist keine Differenzierung nach der Zusammensetzung möglich.

Mit starken Variationen muss auch bei den Steineigenschaften gerechnet werden.

3.6 Ermittlung von Festigkeitskennwerten – Auswahl von Ersatzgesteinen

Aus den Bohrkernen von Natursteinen wurden in der ursprünglich im Einbauzustand vorhandenen Belastungsrichtung Bohrkern quer herausgebohrt und Zylinder zur Druckfestigkeitsprüfung und Dichtebestimmung hergestellt.

Die Prüfungen erfolgten in Anlehnung an DIN EN 1926:2007-03 Prüfverfahren für Naturstein – Bestimmung der einachsigen Druckfestigkeit.

Bilder zu den Bohrkernen und zu den Entnahmebereichen der Teilproben sind in Anlage 3 zusammengestellt.

Tabelle 3.6.1: Geometrische Angaben zu den Prüfkörpern, Rohdichten und Druckfestigkeiten

Probe	Teilprobe	Ø in mm	Höhe in mm	Masse in g	Rohdichte in kg/m^3	Bruchlast in kN	Festigkeit in N/mm^2
O-BK1	1	49,1	49,0	209,3	2255,9	99,68	52,64
O-BK2	1	49,0	48,0	214,5	2369,8	143,79	76,25
N-BK13	1	49,0	48,0	195,4	2158,7	37,17	19,71
	2	49,0	49,0	209,2	2264,0	62,42	33,10
	3	49,0	49,0	219,2	2372,3	118,16	62,66
N-BK14	1	49,0	49,0	213,2	2307,3	45,44	24,10
	2	49,0	49,0	210,6	2279,2	62,49	33,14
N-BK15	1	49,0	49,0	202,6	2192,6	201,03	106,61
	2	49,0	49,0	202,0	2186,1	175,15	92,88
N-BK16	1	49,0	48,0	188,1	2078,1	41,72	22,12
	2	49,0	49,0	230,5	2494,5	150,59	79,86

In den nachfolgenden Abbildungen sind die Ergebnisse zusammengestellt.

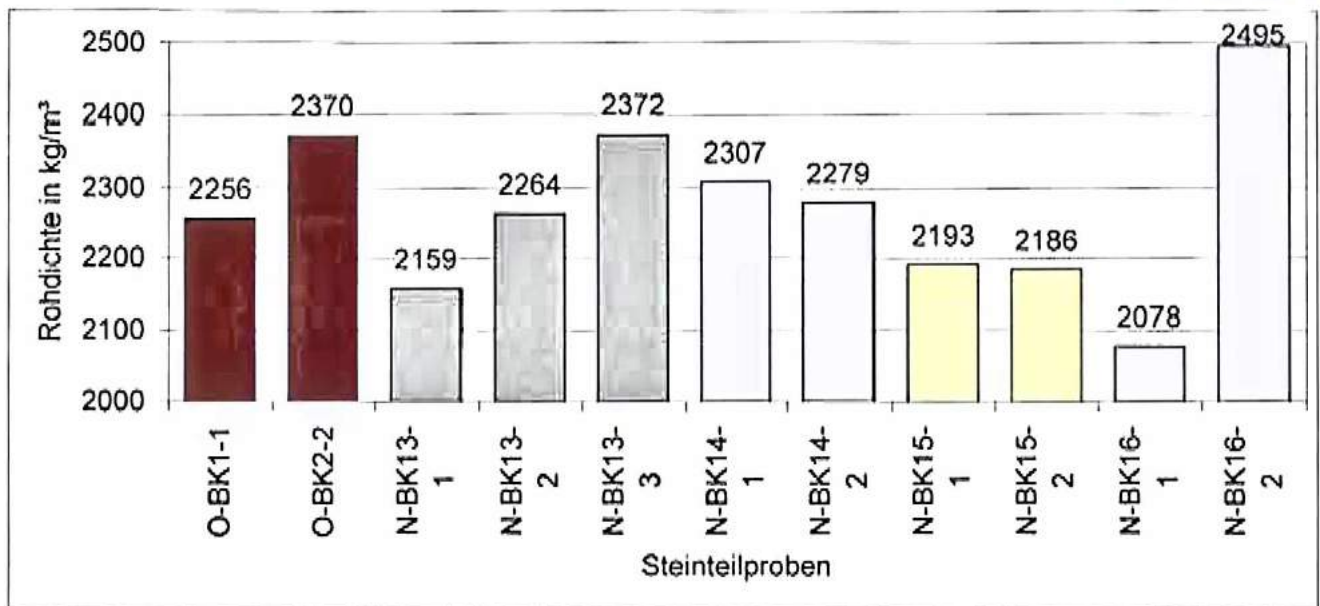


Abb. 3.6.1: Rohdichten von Natursteinproben

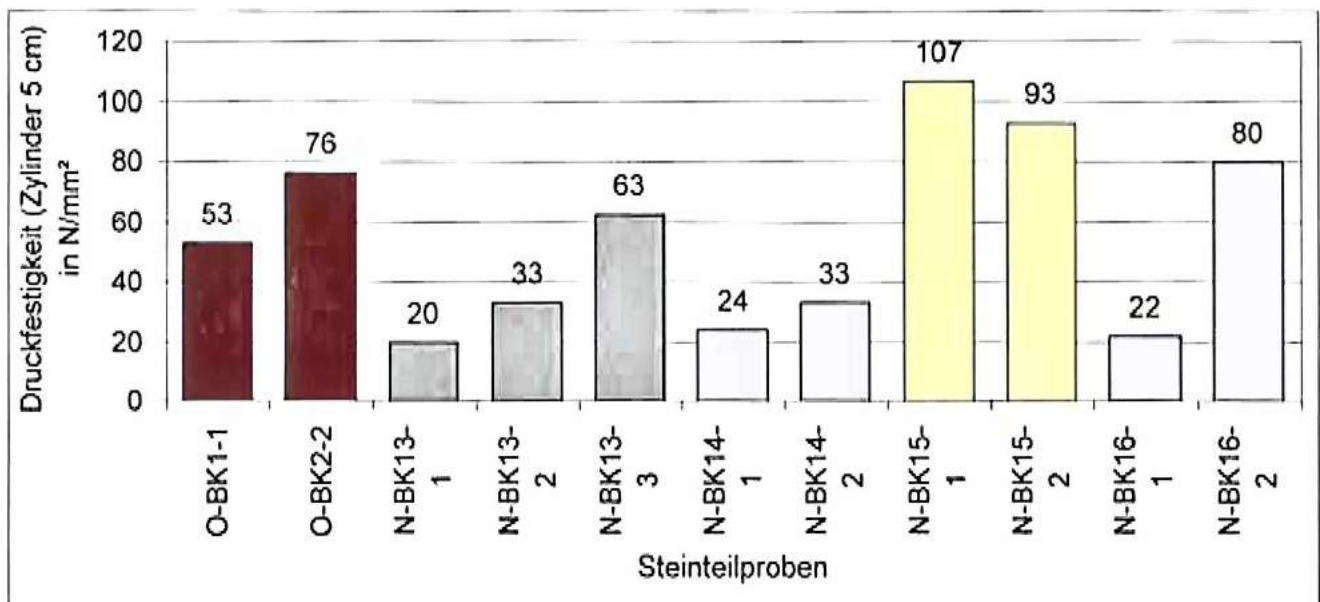


Abb. 3.6.2: Druckfestigkeiten von Natursteinproben

Insgesamt unterliegen die Rohdichten und die Druckfestigkeiten einer starken Schwankungsbreite. Trotz starker Anwitterungen an den Oberflächen ergeben sich für die Sandsteinproben O-BK1-1 und -2 mit den Carbonatgesteinen vergleichbare Druckfestigkeiten.

Erstaunlich ist die starke Variation der Druckfestigkeiten mit extremen Unterschieden bei den Einzelwerten der Teilproben aus den Proben N-BK13 und N-BK16. Die Druckfestigkeiten der genannten Steine sind in Nähe der Oberflächen (von der Einbausituation her) deutlich geringer als wenige Dezimeter tiefer. Die Ursachen dafür können mit den hier durchgeführten Untersuchungen allein nicht geklärt werden.

Im Vergleich zu den Carbonatgesteinen hohe Festigkeiten waren für den feinkörnigen Sandstein der Probe N-BK15 festgestellt worden.

In der einschlägigen Literatur werden die in Tabelle 3.6.2 zusammengestellten Bereiche für Druckfestigkeitswerte für Carbonatgesteine angegeben.

Tabelle 3.6.2: Kennwerte charakteristischer Carbonatgesteine (aus Langbein, R., Peter, H. & Schwahn, H.-J.: „Karbonat- und Sulfatgesteine“.- VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1982)

Gesteinsbezeichnung	Rohdichte in g/cm³	einachsige Würfeldruckfestigkeit in N/mm²
Wellenkalk u. Schaumkalk (Unterer Muschelkalk)	2,16 ... 2,72	18,5 ... 195
Travertine	2,25 ... 2,77	25 ... 130
Flaser- und Knollenkalke (Thüringer Schiefergebirge)	2,69 ... 2,74	30 ... 178
Massenkalk (Harz)	2,68 ... 2,73	37 ... 181
Marmore (Erzgebirge)	2,71 ... 2,82	37 ... 226

Die an den Carbonatgesteinsproben aus dem Mauerwerk des Rathauses festgestellten Druckfestigkeiten und Dichten bewegen sich in Größenordnungen, wie sie z.B. für Wellen- und Schaumkalke angegeben werden. Sollten Ersatzgesteine erforderlich werden, können geeignete Werksteine aus zur Verfügung stehenden Vorkommen verwendet werden.

Bei der Beprobung der Sandsteine an den Gesimsen und Fenstergewänden wurden nur scheinbar bauzeitliche Bereiche beprobt. Die Eingriffe durch die Bohrkernentnahmen sollten nur begrenzt sein. Festzustellen waren mindestens zwei weitere Sandsteine aus Reparaturphasen. Diese heben sich teils farblich ab oder sind wegen der deutlich geringeren Rückwitterung zu erkennen. an diesen sind keine Untersuchungen durchgeführt worden.

Mit den Originalgesteinen direkt vergleichbar Ersatzgesteine sind in der unmittelbaren Region keine im Abbau.

Nach Recherchen konnte der Uder Sandstein ermittelt werden. Dieser kommt den Steinen im Bestand in Farbigkeit und Eigenschaften nahe. Relevante Eigenschaften zu diesem Sandstein sind in der Tabelle 3.6.3 enthalten.

Tabelle 3.6.3: Angaben zum Uder Sandstein (Quelle: Firmenprospekt der Fa. Natursteinwerk Schubert – Industriestraße 12 - D 96120 Bischberg-Trosdorf)

Rohdichte	2,11 kg/dm³
Druckfestigkeit	54,00 N/mm²
Biegezugfestigkeit	4,00 N/mm²
Ausbruchfestigkeit	301,00 N
Wasseraufnahme	7,30 Gew.-%

3.7 Kapillare Wasseraufnahme von Natursteinen

Vor der Ermittlung der Wasseraufnahmekoeffizienten wurden scheibenförmige Probekörper herstellt und bei 40°C 7 Tage vorgetrocknet. Informationen zu Einbaulage in den Bohrkernen aus denen die Scheiben gewonnen wurden enthält Anlage 1.

Die Ermittlung der kapillaren Wasseraufnahmekoeffizienten erfolgte in Anlehnung an DIN EN ISO 15148:2003-03 Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen bei Umgebungsbedingungen von 23°C und 65 % relativer Luftfeuchte.

In den beiden folgenden Bildern sind die Ansichten der Saugflächen und der Oberflächen der Proben dargestellt.



Bild 1: Ansichten der Saugflächen – diese Fläche wurde während der Prüfung in Wassergetaucht – ausgewählten Probekörper von

Bild 2: Ansichten der Oberflächen der Probekörper

Bei den Proben N-BK16A und –B befanden sich in der Saugfläche größere Lunker. Es war davon auszugehen, dass diese Teilflächen – die Tiefe der Lunker war größer als die Eintauchtiefe – sich nicht am kapillaren Saugen beteiligen. Die Saugflächen für die Berechnung der kapillaren Wasseraufnahmekoeffizienten wurden deshalb auf 95 % (N-BK16A) bzw. 90 % (N-BK16B) reduziert.

Bei den Proben N-BK16B und N-BK15 waren die Oberfläche die originalen Steinoberflächen.

Tabelle 3.7.1: Geometrische Angaben zu den Probekörpern

NDH-R-	O-BK1.1	O-BK2	N-BK15	N-BK13A	N-BK13B	N-BK14	N-BK16A	N-BK16B
Durchmesser in m	0,104	0,103	0,105	0,105	0,105	0,105	0,096	0,096
Höhen in cm	2,8	2,5	2,7	3,9	2,8 – 3,2	4,8	2,1	4,3

In den beiden nachfolgenden Tabellen sind die auf die Saugflächen bezogenen kapillaren Wasseraufnahmen über der Saugdauer zusammengestellt.

Tabelle 3.7.2A: Kapillare Wasseraufnahmen für Natursteinproben

NDH-R-	O-BK1.1	O-BK2	N-BK15	N-BK13A
Saugdauer in h	Angaben in kg/m ²			
0	0,000	0,000	0,000	0,000
0,083	0,263	0,228	0,579	1,076
0,167	0,333	0,310	0,762	1,447
0,25	0,390	0,376	0,910	1,727
0,5	0,524	0,528	1,258	2,341
0,75	0,629	0,647	1,534	2,725
1	0,718	0,745	1,738	2,959
1,5	0,875	0,921	1,852	3,238
2	1,003	1,067	1,879	3,391
3	1,223	1,315	1,897	3,575
4	1,411	1,531	1,909	3,685
6	1,736	1,882	1,921	3,785

8	2,009	2,149	1,927	3,823
24	2,950	3,113	1,963	3,920

Tabelle 3.7.2B: Kapillare Wasseraufnahmen für Natursteinproben

NDH-R- Saugdauer in h	N-BK13B	N-BK14	N-BK16A	N-BK16B
Angaben in kg/m ²				
0	0,000	0,000	0,000	0,000
0,083	0,689	1,449	0,275	1,598
0,167	0,962	1,595	0,294	2,250
0,25	1,165	1,717	0,308	2,699
0,5	1,595	1,954	0,334	3,102
0,75	1,848	2,079	0,337	3,161
1	1,962	2,172	0,352	3,204
1,5	2,024	2,290	0,369	3,236
2	2,039	2,386	0,384	3,273
3	2,057	2,471	0,404	3,293
4	2,067	2,602	0,420	3,317
6	2,082	2,744	0,435	3,340
8	2,093	2,850	0,444	3,368
24	2,149	3,127	0,470	3,495

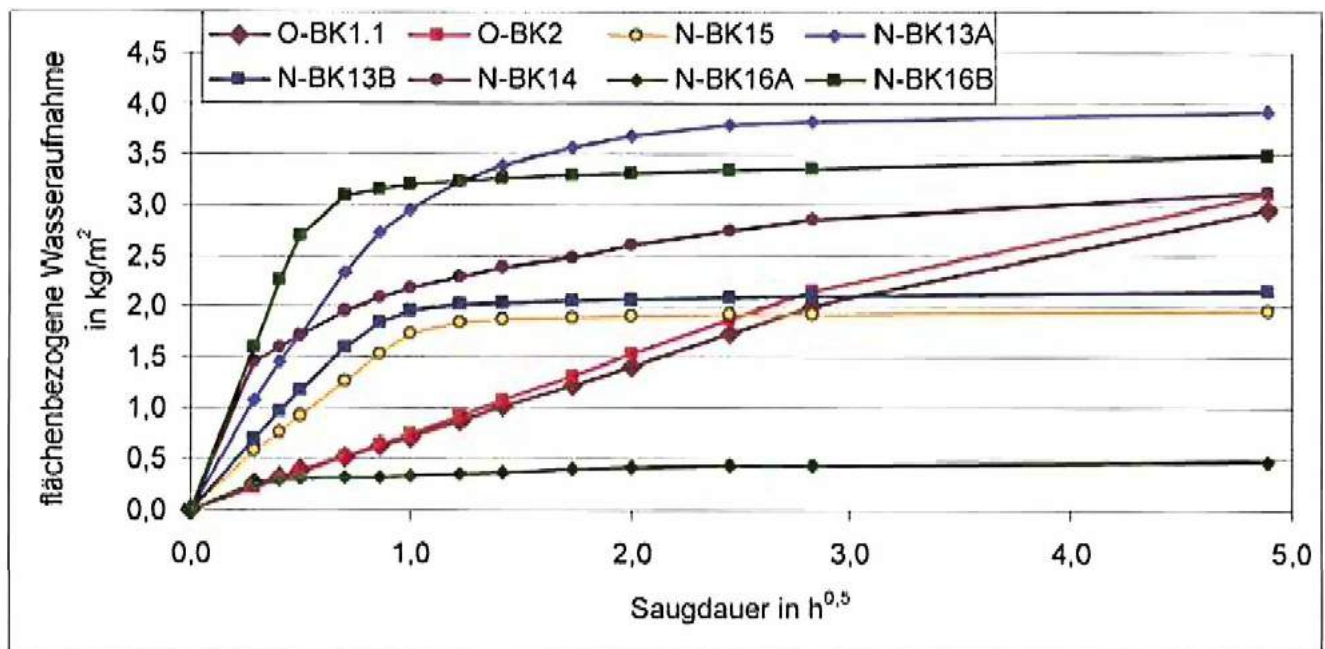


Abb. 3.7.1: Kapillare Wasseraufnahmen für Natursteinproben

Die Grafik zeigt, dass es sehr große Unterschiede im Saugverhalten zwischen den Proben gibt. Erstaunlich ist, dass die Carbonatgesteinsproben überwiegend stärker und schneller Wasser aufsaugen als die Sandsteinproben (N-BK15, O-BK1.1, O-BK2).

Aus den linearen Bereichen der Saugkurven (siehe auch Abb. 3.7.1) wurden die nachfolgend angegebenen kapillaren Wasseraufnahmekoeffizienten berechnet.

Tabelle 3.7.3: Kapillare Wasseraufnahmekoeffizienten für Natursteinproben

NDH-R-	O-BK1.1	O-BK2	N-BK15	N-BK13A	N-BK13B	N-BK14	N-BK16A	N-BK16B
Wasseraufnahmekoeffizient in $\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}$	0,40	0,46	1,05	1,96	1,40	0,66	0,08	2,69

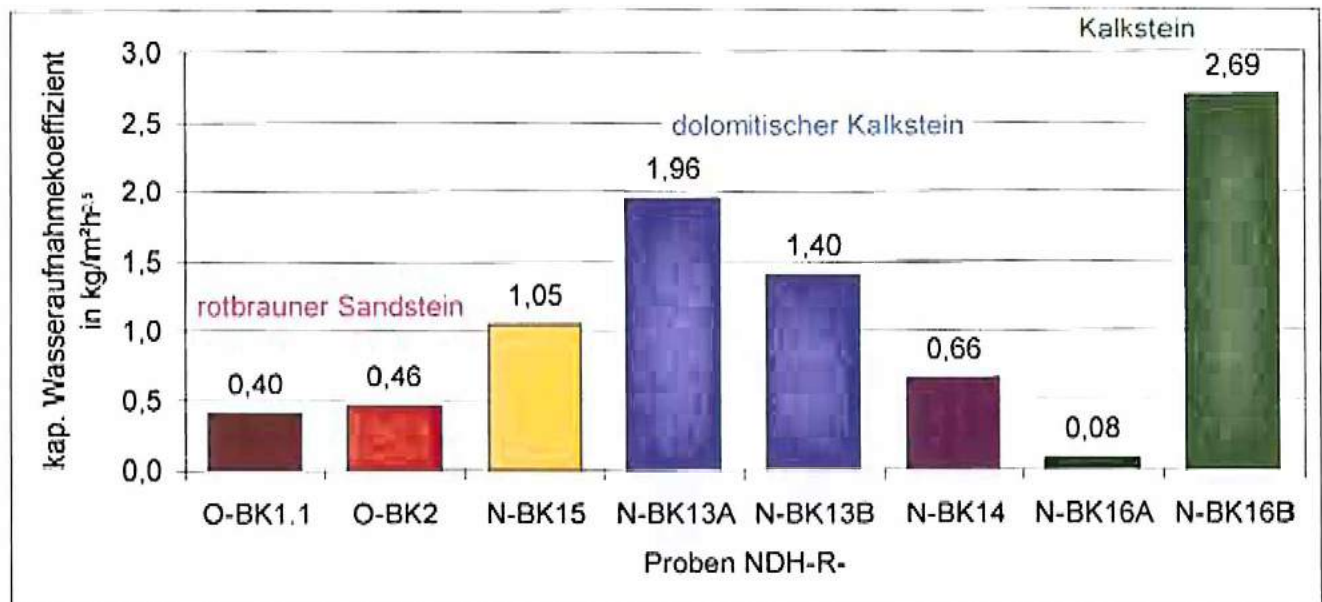


Abb. 3.7.2: Kapillare Wasseraufnahmekoeffizienten für Natursteinproben

Die Werte zeigen, dass keine eindeutigen Zusammenhänge zu den Steinarten herstellbar sind. Es ist somit von einer großen Schwankungsbreite bei den einzelnen Steinarten auszugehen und auch von großen Wertebereichen steinartübergreifend.

Möglich erscheint, dass sich durch die Kriegsschäden strukturelle Störungen, die die kapillare Wasseraufnahme begünstigen, in den Steinen gebildet haben.

3.8 Lichtmikroskopische Untersuchungen an Natursteinen und Mörteln

Eine Bildauswahl der mikroskopischen Untersuchungen ist in Anlage 4 zusammengestellt.

3.8.1 Ergebnisse der Untersuchungen an Anschliffpräparaten von Natursteinen

Von den Proben N-BK13, N-BK14, O-BK1 und O-BK2 wurden typische Bereiche aus oberflächennahen Probenteilen präpariert.

Das Steinmaterial der Proben O-BK1 und O-BK2 ist dazu bei 40°C vorgetrocknet und in transparentes Epoxidharz eingebettet worden. Durch Anschleifen wurden die oberflächennahen Steinstrukturen sichtbar. Bei den Proben N-BK13 und N-BK14 konnte auf das Einbetten verzichtet werden. Die Steine waren für das Anschleifen ausreichend fest.

Im Oberflächenbereich der Probe N-BK13 (Carbonatgestein) sind kleinere Risse, die oberflächenparallel in Tiefen von bis zu 5 mm verliefen, nachweisbar. Die Risse können durch äußere Beanspruchungen entstanden sein. Im Material sind aber auch Rissysteme, die bereits im Ausgangsmaterial (nach der Gewinnung im Steinbruch) vorhanden gewesen sein können. Teilweise sind diese Risse wieder mit Material ausgefüllt. Die Struktur des Steines ist sehr inhomogen. Bereiche mit hohen Anteilen feiner Poren wechseln im cm mit dichteren Bereichen. (siehe auch Anlage 4 Bilder A4.1 bis A4.6)

In der Probe N-BK14 (Carbonatgestein) ist eine sehr inhomogene Struktur erkennbar. Dichtere Bereiche gehen unmittelbar in weniger dichte Bereiche über. Die Steinoberfläche ist stark strukturiert. Chemische Veränderungen an den Oberflächen durch Einwirkungen von Sulfaten deuten sich an. (siehe auch Anlage 4 Bilder A4.7 bis A4.10)

An den Präparaten der Proben O-BK1 und O-BK2 ist erkennbar, dass auch an scheinbar festen Oberflächen der rotbraunen Sandsteine oberflächenparallel feine kurze Risse, die das Gefüge schädigen, auftreten. (siehe auch Anlage 4 Bilder A4.11 bis A4.14)

3.8.2 Ergebnisse der Untersuchungen an Dünnschliffpräparaten von Natursteinen und Mörteln

Von den Natursteinproben O-BK1, O-BK2 und O-BK6, den Proben aus Oberflächenbeschichtungen O-OF2, W-OF4 und S-OF3 sowie den Mörtelproben O-BK1.2, W-BK10.1, W-BK10.2, O-BK3.1 und N-NT2.2 wurden Dünnschliffpräparate angefertigt und untersucht. Die Präparation erfolgte zunächst wie bei den in Epoxidharz eingebetteten Anschliffpräparaten. Die angeschliffenen Proben wurden dann auf gläserne Objektträger geklebt, abgesägt und auf Schichtdicken $< 30 \mu\text{m}$ geläppt (dünn geschliffen).

An den Proben der braunroten Sandsteine O-BK1 und O-BK2 bestätigten sich die Erkenntnisse aus den Untersuchungen an Anschliffen. Die Rissbreiten betragen bis 0,1 mm. Die Risse verlaufen in der Bindemittelstruktur des Sandsteines. Nach der Erscheinungsform handelt es sich um Sandsteine aus der geologischen Formation des Buntsandsteins. Nordhausen liegt in dieser Formation. Die Sandsteine können also aus unmittelbarer Nähe stammen. Größere Mengen dieser Sandsteine sind z.B. in der Kyffhäuser-Region bis etwa Mitte des 20sten Jahrhunderts abgebaut worden. Der Bereich der Windleite kommt ebenfalls als Liefergebiet infrage. (siehe auch Anlage 4 Bilder A4.15 bis A4.19)

Bei der Probe O-BK6 handelt es sich um das Präparat eines fein geschlossenporigen Carbonatgesteins. Auffällig an dieser Probe waren anhaftende Gipsmörtelreste. Zwischen der Steinoberfläche und den Mörteln fanden sich keine Hinweise auf vorherige Anwitterungen. Somit muss der Mörtel zeitnah nach der Mauerwerksausführung aufgetragen worden sein. (siehe auch Anlage 4 Bilder A4.20 bis A4.22)

Um eine auf der Steinoberfläche aufliegende Beschichtung handelt es sich bei der Probe O-OF2. Bei den mikroskopischen Untersuchungen war erkennbar, dass an der ehemaligen Kontaktfläche zum Untergrund Natursteinreste (Art wie bei Probe O-BK6) anhaften. Es gelten die gleichen Aussagen wie bei der vorhergehend beschriebenen Probe. (siehe auch Anlage 4 Bilder A4.23 bis A4.25)

Ebenfalls aus einer Beschichtung auf Naturstein stammt die Probe W-OF4. Die Struktur entspricht der eines historischen Gipsmörtels und zeigt Ähnlichkeiten mit den beiden zuvor diskutierten Proben. (siehe auch Anlage 4 Bilder A4.26 bis A4.28)

Strukturelle Gemeinsamkeiten mit der Probe W-OF4 besitzt die Probe S-OF3. Auch hier handelt es sich um einen historischen Gipsmörtel. An der Rückseite haften Carbonatgesteinsreste an. Auffällig sind die durch Anwitterungen bedingten optischen Veränderungen der oberflächennahen Mörtelbereiche. Es ist erkennbar, dass oberflächennah noch erkennbare Feuchtefronten nach Schlagregenereignissen scheinbar nie oder nur sehr selten die Kontaktbereiche zum Stein erreichten. Damit war ein stabiler Verbund über Jahrzehnte gegeben. (siehe auch Anlage 4 Bilder A4.29 und A4.30)

Die Probe O-BK1.2 ist ein Mauermörtel aus dem historischen Bestand des Mauerwerks. Dieser Mörtel besitzt für einen historischen Gipsmörtel typische Strukturen. (siehe auch Anlage 4 Bilder A4.31 und A4.32)

Am Verfugmörtel der Probe W-BK10.1 mit hydraulischem Bindemittel und rötlichen Gesteinskörnungen (nachträgliche Überarbeitung) haften aus dem tiefen Fugenbereich ebenfalls Reste eines Mauermörtels mit Strukturen wie im vorher beschriebenen Mörtel an. Zwischen den beiden Mörteln befindet sich ein feiner Riss. Es ist nicht zu klären ob dieser bei der Probeentnahme entstanden ist oder bereits vorher vorhanden war. Die bereits erwähnte Neuverfugung ist in zwei Schichten nass in nass ausgeführt worden. Möglich ist hier die Verwendung unterschiedlicher Mischungsanteile von Bindemitteln bei Einsatz gleichartiger Gesteinskörnungen. (siehe auch Anlage 4 Bilder A4.33 bis A4.37)

Die Mauermörtelprobe W-BK10.2 besitzt für einen historischen Gipsmörtel typische Strukturen. (siehe auch Anlage 4 Bilder A4.38 und A4.39)

Ebenfalls ein Verbund zwischen Gipsmauermörtel und jüngerer Verfüguung besteht in der Probe O-BK3.1. Ähnlich wie bei der Probe W-BK10.1 ist die Verfüguung zweilagig nass in nass ausgeführt. Zum Einsatz kamen Mörtel mit unterschiedlichen Gesteinskörnungen. Die untere Mörtelschicht diente dem groben Abgleich und die äußere, mit scheinbar gezielt ausgewählten Sanden, diente der Oberflächen-gestaltung. An Kontaktbereichen zwischen den Verfügmörteln und dem Gipsmörtel aus dem Fugenbe-reich deuten sich Reaktionssäume an. Diese zeigen, dass chemische Reaktionen zwischen den beiden Mörteln stattgefunden haben. (siehe auch Anlage 4 Bilder A4.40 und A4.45)

An der Probe N-NT2.2 sind Rosteinlagerungen aus dem Kontakt zu einem Eisenstab der „Entfeuch-tungsanlage“ auf der Nordseite des Rathauses erkennbar. Es handelt sich um einen bindemittelreichen Mörtel mit feinen Quarzsanden. Als Bindemittel ist ein hüttensandhaltiger Zement verwendet worden. An einem Teilbereich der Probe zeigen Reaktionssäume Veränderungen in Kontaktbereichen zum Mauer-werksbestand an. (siehe auch Anlage 4 Bilder A4.46 bis A4.48)

4 Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Bereits während der Probung der äußeren Wandflächen des Rathauses wurden zahlreiche Informatio-nen zu den verbauten Materialien, zu Umbauten und Schäden aufgenommen. Durch gezielte Laborun-tersuchungen an ausgewählten Proben konnten zusätzliche Informationen zur Gesamtsituation erhalten werden. Die Einbeziehung vorhandener Kenntnisse zu regionalen Bauweisen, Baustoffen und Rohstof-fen ermöglicht es, Antworten auf die eingangs gestellten Fragen zu finden.

- Welche Steinmaterialien (Fenstergewände, Gesimse, Mauerwerk) wurden verbaut?

In der äußeren Steinschicht der Fassade dominieren Carbonatgesteine (Kalksteine). Die Untersuchun-gen zeigen, dass neben Calciumcarbonaten Dolomitanteile in unterschiedlichsten Konzentrationen in den Steinen vorhanden sind. Die Dolomitanteile sind ein Hinweis auf die unmittelbare regionale Herkunft der Steine. Eine große Schwankungsbreite bei den Festigkeiten zeichnet sich ab.

Im Bereich der gesamten Mauerkrone konnte ein sehr grobporiges einheitliches Carbonatgestein, das sich deutlich von den restlichen Carbonatgesteinen im Mauerwerk unterscheidet, nachgewiesen werden. Wahrscheinlich wurde nach den schweren Schäden im zweiten Weltkrieg das gesamte Dachgesims mit frischem Steinmaterial erneuert.

An der Ost-, Süd- und Westfassade sind vereinzelt auch Gipssteine verbaut. Eine gewisse Zunahme der Verwendung ist mit der Wandhöhe zu verzeichnen. Möglich ist hier eine Verwendung bei Reparaturen. Es finden sich aber auch Hinweise für einen bauzeitlichen Einsatz. Der Verbau erfolgte dann mit Gips-mörteln.

An der Nordseite ist im unteren Bereich des Mauerwerks eine deutlich stärkere Anwendung von Gips-steinen im Mauerwerk festzustellen. Es ist nahezu die gesamte Palette der regional vorkommenden Va-rianten an Gipssteinen verbaut. Besonders im Bereich einer an der Nordwand vorhandenen Anlage zur Mauerwerksentfeuchtung (nicht mehr in Betrieb) treten partiell starke Schäden an Gipssteinen auf. Hier ist ein Steinaustausch erforderlich.

Neben den genannten Gesteinen sind partiell Sandsteine, teils mit übermörtelten Oberflächen, vorhan-den. Es ist anzunehmen, dass diese teils für Reparaturen verwendet wurden.

Die Bewertung der Verteilung der Steinarten und deren Erhaltungszustand an den Mauerwerksoberflä-chen werden durch die Verschmutzung der Wandoberflächen stark eingeschränkt.

An den Gesimsen und Fenstergewänden dominieren Sandsteine. Im Originalbestand ist rotbrauner Buntsandstein aus regionalen Vorkommen und / oder naheliegenden Vorkommen (z.B. Kyffhäuser Re-gion) verbaut worden. Feststellbar sind aber auch andere Sandsteinarten aus Reparaturphasen.

Die noch originalen Sandsteine sind an den Gesimsen teils sehr stark zurückgewittert. An den verblie-benen Reststeinen sind häufig Anzeichen für Abschalungen und Absandungen feststellbar.

Steine aus Reparaturphasen an den Gesimsen und Gewänden sind besser erhalten, zeigen aber auch Anzeichen für Anwitterungen und Rückwitterungen der Oberflächen.

Wenige Teilabschnitte der Gesimse scheinen mit einem quarzitisches gebunden Sandstein ausgebessert worden zu sein.

- **Welche Mörtel (Mauer- und Verfugmörtel) kamen im historischen Bestand und bei Reparaturmaßnahmen zum Einsatz?**

Im historischen Mauerwerk aller vier Außenwände kamen Gipsmörtel zum Einsatz. Die Gipsmauermörtel wurden nachweisbar randlich von den Fugen ausgehend über die Steine gezogen und dienten gleichzeitig zur Glättung der Wandoberfläche.

Gipsmörtel dienten weiterhin zum Ausgleich von Lunkern, Vertiefungen und Unebenheiten auf Steinoberflächen. In ehemalige Gerüstlöcher wurden Steine mit Gipsmörteln eingesetzt. Auf den Steinoberflächen finden sich Gipsmörtelreste, die von einem ursprünglich vorhandenen Putz stammen können. Es fanden sich im historischen Bestand keine Hinweise auf die Ausführung einer nachträglichen Verfugung. Die Fugen wurden bündig mit den angestrebten glatten Oberflächen bei der Mauerwerkserrichtung ausgearbeitet.

Andere Mörtelarten finden sich in Reparaturphasen. Im Zusammenhang mit dem Wiederaufbau nach dem zweiten Weltkrieg kommen zur Erneuerung der Dachgesimse und partiell auch der angrenzenden Wandbereiche im Mauerwerk Kalkmörtel mit geringen hydraulischen Anteilen als Mauermörtel zum Einsatz.

Für die Ausbesserung von Fugen kamen mit höheren Anteilen hydraulischer Bindemittel – Kalk und Zement oder höher hydraulischer Kalk – zum Einsatz. Eine zeitliche Zuordnung der Anwendungen ist ohne zusätzlich Informationen zu allgemeinen Reparaturphasen nicht möglich.

An mehreren Stellen war feststellbar, dass die Verfugung bei den Reparaturen in zwei Arbeitsgängen nass in nass und teils auch mit gleichzeitiger Anwendung unterschiedlicher Mörtel erfolgte. Vermutlich wurde eine einheitliche äußere Erscheinung der Verfugung angestrebt und in tieferen Schichten darunter (wenige Zentimeter) musste das dafür erforderliche Material gespart werden.

Insgesamt sind die Verfugmörtel bindemittelreich und sehr dicht. Bei Zutritt von Wasser zu den Kontaktbereichen zwischen Gipsmörteln und jüngeren Verfugungen aus Reparaturen kann es zu chemischen Wechselwirkungen und zur Bildung von Treibmineralen gekommen sein. Diese Wechselwirkungen haben eine Minderung des Verbundes, eine Vorwölbung von Mörtelschichten direkt neben den Fugenrändern oder einer Zermürbung der Kontaktzonen zur Folge. Voraussetzung ist das gleichzeitige Eindringen von Wasser in die Kontaktzonen zwischen den Mörteln.

- **Liegen Belastungssituationen (Feuchte, Salze, Staub) vor, die ursächlich zu Schäden an den Steinoberflächen bzw. Verfugmörteln führten?**

An allen Wandflächen sind in den unteren Mauerwerksbereichen Feuchtebelastungen nachweisbar. An den hier untersuchten Stellen sind vor allem Bereiche bis in Sockelhöhe betroffen. An der Nordseite erfolgten keine Untersuchungen. Es ist aber von einer ähnlichen Situation auszugehen.

Ursächlich für die Belastungen sind Feuchteinträge in die erdberührten Teile des Mauerwerks und der Feuchtetransport innerhalb des Mauerwerks. Oberhalb der Sockelzone nehmen die Feuchtebelastungen im Mauerwerk deutlich ab und das Mauerwerk ist als weitestgehend „trocken“ anzusehen.

Partiell können Feuchtebelastungen im Mauerwerk unmittelbar unter der Mauerkrone auftreten. Hier sind sie durch Schäden an der Dacheindeckung (an der Ostseite konnte eine derartige Stelle lokalisiert werden) bedingt. Es ist in solchen Situationen zu bedenken, dass neben dem Mauerwerk auch Feuchteinträge in die hölzerne Dachkonstruktion mit entsprechenden Folgen (Fäulnis, Pilzbefall) stattfinden konnten. Ebenso können aus der hölzernen Dachkonstruktion Salze (die zur Konservierung oder zur Verbesserung des Brandschutzes zum Einsatz kamen) ausgelöst und in die Mauerkronenbereiche transportiert werden.

Extreme Salzbelastungen infolge von Streusalzeinträgen wurden im Mauerwerk der Sockelzone an der Ostseite nachgewiesen. Wahrscheinlich ist mit derartigen Einträgen an und in der Nähe aller ständig genutzter Eingangsbereiche zu rechnen. An Teilflächen ohne Eingang (z.B. östlicher Teil der Südfassade) waren Streusalzeinträge nur gering oder nicht vorhanden.

Bedingt durch die Verwendung der Gipsmörtel im Mauerwerk und auch auf den Wandoberflächen (Putz, Schlämme, Glätte) und durch Wechselwirkungen mit Reparaturmörtel (alkalihaltige hydraulische Bindemittel) und mit Gesteinsbestandteilen (Dolomitanteile in Carbonatgesteinen) kann es durch Feuchteinträge (z.B. Schlagregen) zur Bildung von Alkali- und Magnesiumsulfaten kommen. Nicht auszuschließen sind auch Salzeinträge und -bildungen aus Luftschadstoffen.

Im Sommer sind die Fassaden mit Blumenkästen geschmückt. Es fanden sich Hinweise auf mögliche lokale Einträge von Düngesalzen unterhalb der Fenster, die mit Blumenkästen geschmückt werden. Die sehr hohen Salzbelastungen konzentrierten sich vor allem auf die oberflächennahen Wandbereiche. Erstaunlich war, dass auch in den Carbonatgesteinen Salzeinlagerungen nachweisbar waren. An den Wandoberflächen sind partiell sehr starke Verschmutzungen vorhanden. Es ist nicht immer klar erkennbar ob es sich um sekundäre Anlagerungen (z.B. Luftschadstoffe) oder um Umwandlungen bzw. Umlagerungen bereits vorhandener Stoffe handelt. So können stark angewitterte Gipsputzreste eine ähnliche optische Erscheinung haben wie Anlagerungskrusten aus Luftschadstoffen. Während der Beprobung war feststellbar, dass es besonders an der Südfassade in Wandbereichen mit stark geschwärzten Oberflächen zu sehr hohen Oberflächentemperaturen kommt. Nach Erfahrungswerten ist hier im Sommer bei direkter Sonneneinstrahlung mit Temperaturen bis 80°C zu rechnen. Diese Temperaturen reichen für eine thermische Schädigung der oberflächennahen Gipsmörtel unter diesen Schwärzungen aus.

- Liegen Materialunverträglichkeiten zwischen Bestandsmaterialien und Materialien aus älteren Sanierungsmaßnahmen vor?

Aufgrund des Vorhandenseins der Gipsmörtel im historischen Bestand und der Kontakte zu Reparaturmörteln mit hydraulischen Bindemitteln sind alle Reaktionskomponenten für die Bildung von Treibmineralen vorhanden. Das Wirksamwerden ist aber abhängig von Zutritt des Reaktionsmediums Wasser. Dort wo alle drei Komponenten zusammentreffen kommt es zu Schäden. In z.B. dauerhaft trockenen Bereichen laufen die Reaktionen nicht oder nur sehr langsam ab.

An Teilflächen der Nordwand muss zusätzlich mit einer verstärkenden Wirkung durch die ehemals betriebene „Entfeuchtungsanlage“ gerechnet werden.

- Welche Schädigungstiefen ergeben sich in Abhängigkeit von der Exposition der Flächen und der daraus resultierenden Belastung?

Die jetzt vorhandenen Schadbilder sind durch direkte (z.B. Schlagregen) oder indirekte Feuchtezutritte (im Mauerwerk aufsteigend, über die Mauerkrone eindringend, Gießwasser von Blumen) bedingt. Überlagerungen treten dann auf, wenn durch Schmutzablagerungen (Staub, Ruß) der Wasserzutritt verschlechtert wird. Ebenso spielt expositionsbedingt das Abtrocknungsverhalten der Oberflächen eine Rolle. Somit können die Schädigungstiefen (z.B. Anreicherungen von leichtlöslichen Salzen in den Querschnitten) auf kleinen Teilflächen sehr stark variieren.

An allen Wandflächen muss in den Steinflächen mit bis zu 10 cm Tiefe mit erhöhten Salzbelastungen gerechnet werden. Häufig handelt es sich dabei um Gips, der aus ehemals vorhandenen gipshaltigen Beschichtungen (Putz oder Schlämme) und auch aus den Mauermörteln mit Feuchteinträgen über Jahrzehnte in die Steine eingedrungen ist.

- Welche Mörtelsysteme sind für die Erneuerung bzw. Ausbesserung von Fugen oder als Steinerfüllungssysteme an den vorhandenen Natursteinen einsetzbar?

Eine Erneuerung der Verfugung unter Beibehaltung der Steinsichtigkeit der Fassade ist sehr schwierig und kann unter unterschiedlichen Aspekten gesehen werden.

Soll ein steinsichtiges Mauerwerk mit einheitlicher Verfugung erreicht werden, kann einerseits der Gipsmörtel als Basismaterial für die Erneuerung angenommen werden. Vor dem Einsatz müssten alle späteren Verfugungen rückstandsfrei entfernt und durch geeignete Gipsmörtel ersetzt werden. Gegen diese Variante sprechen das Vorhandensein von leicht löslichen Salzen (Alkali- und Magnesiumsulfate, partiell Nitrate und Chloride) und mögliche Reste hydraulischer Mörtel, die in den Fugen zurückbleiben.

Gegen die einheitliche Neuverfugung mit hydraulischen Bindemitteln sprechen einerseits die Unverträglichkeiten zum Gipsmörtel im Bestand bei einfacher Ausführung mit direktem stofflichen Kontakt zu den Gipsmörteln im Bestand bzw. extreme Aufwendungen für eine stoffliche Entkopplung der Systeme bei gezielter Verhinderung von Schadreaktionen zwischen den unterschiedlichen Mörtelarten.

Weiterhin besteht bei den genannten Vorgehensweisen die Gefahr der Vernichtung wertvoller historischer Befunde an noch vorhandenen bauzeitlichen Fugenoberflächen.

Aus den genannten Gründen und basierend auf vorliegenden Befunden sollten die Wandflächen oberhalb der Sockel mit einem geeigneten Putzsystem versehen werden. Hierbei sollte auf Erfahrungen, die aus Sanierungsmaßnahmen am Dom zu Nordhausen vorliegen, zurückgegriffen werden.

Im Bereich des Sockels sollten vor einer Sanierung der Wandoberflächen Maßnahmen zur Reduktion der Feuchte- und Salzeinträge vorgenommen werden. Die Fugen in den Sockelzonen sind teils tief ausgewittert und die Auffüllung muss mit geeigneten Mörteln erfolgen. Gegebenenfalls sind auch Teilrückbauten zur Sicherung erforderlich. Konkretisierungen können hier erst mit Detailplanungen erfolgen. Bei den Maßnahmen müssen direkte Kontakte zwischen Gipsmörteln im Bestand und neuen Mörteln für die Sanierung verhindert werden. Möglich sind Entkopplungen über kunststoffgebundene Mörtelzwischen-schichten und / oder geeignete trennende Lagen stofflich inerter Materialien.

Für Steinrestaurierungen am Sockel können acrylatgebundene Steinerfüllungsmörtel verwendet werden. Es sollten geeignete konfektionierte Systeme (frei von hydraulischen Kalken und von Zementen) eingesetzt werden. Baustellenmischungen variieren sehr stark in ihren Eigenschaften und sollten deshalb von einer Anwendung ausgeschlossen werden.

Aufgrund der Belastungssituation am Sockel muss auch nach Sanierungsmaßnahmen mit einem erhöhten Pflegeaufwand und mit kürzeren Instandsetzungsintervallen gerechnet werden.

- Welche aktuell verfügbaren Natursteine sind als Austauschmaterial oder als Material für Vierungen geeignet?

Für Vierungen an den Gesimsen scheint der Uder Sandstein geeignet. Vor einem Einsatz müssen hier aber Bemusterungen und Festlegungen zu speziellen Bänken (Horizonte im Steinbruch) erfolgen.

Die Originalgesimse sind in Gipsmörtel versetzt. Ein vollständiger Austausch sollte vermieden werden. Mit angepassten Technologien können über Stein-Stein-Kontakte Verbindungen (Klebmörtel unter Verwendung von Dübeln) erreicht werden. Die Oberflächen der Gesimse mit einer geeigneten Verblechung einen Schutz vor Bewitterung erhalten.

Für Ausbesserungen in Wandflächen, die überputzt werden, bestehen keine ästhetischen Anforderungen an das Steinmaterial. Lediglich in statisch relevanten Bereichen sollten die erforderlichen Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften vorgegeben werden.

- Welche Anforderungen sind an Reinigungsverfahren zu stellen?

Die Reinigungsverfahren müssen auf Belastungssituationen im Mauerwerk und auf die Vielfalt der Erscheinungsformen sowie Eigenschaften der Oberflächen abgestimmt werden.

Wird von einem Putz auf den Wandflächen oberhalb der Sockelzone ausgegangen, müsste zum Erreichen eines tragfähigen Untergrundes dieser sehr stark gereinigt werden. In der Folge bestünde die Gefahr des Verlustes wertvoller historischer Befunde.

Aus dem genannten Grund sollte mit Reinigungsverfahren nur ein minimaler Eingriff erfolgen. Die Voraussetzung für einen Putzauftrag sollte über geeignete Trägersysteme, die an geeigneten Stellen in Fugen und Steinen des Mauerwerks zu verankern sind, realisiert werden.

Für erforderliche Reinigungsverfahren sollte solche, die mit minimalem Wasserbedarf auskommen oder trocken erfolgen, ausgewählt werden. Es können sich für unterschiedliche Reinigungsmaßnahmen (Fugenoberflächen, Steinoberflächen) unterschiedliche Ansätze (Strahldruck, Strahlmaterial) ergeben. Die Technologien müssen vor der Anwendung an den Fassaden an relevanten Teilflächen erprobt werden.

Über die eingangs formulierten Fragen hinaus ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

- Durch Undichtheiten am Dach kann es zu Schäden an den Hölzern der Dachkonstruktionen gekommen sein. Hier sollten gezielt Untersuchungen durch einen Holzschutzgutachter erfolgen.
- An der Nordwand des Gebäudes sind eine Steinplatte mit Text in das Mauerwerk integriert und eine Grabplatte aus Calciumsulfatgestein vorgehängt. Bei beiden Platten scheint dringender Restaurierungsbedarf zu bestehen. Im Fall der Platte aus Calciumsulfatgestein (eventuell Gips) sollte eine vor Bewitterung geschützte Unterbringung in Betracht gezogen werden.
- Die Eisenstäbe einer Installation in der Nordwand (im Bericht als „Entfeuchtungsanlage“ bezeichnet) und die sie umhüllenden zementhaltigen Mörtel sollten entfernt werden. In diesen Bereichen muss außerdem mit erhöhten Salzbelastungen und auch Schäden an den verbauten Gipssteinen gerechnet werden.

werden. Ergänzende Untersuchungen zur weiteren Erfassung der Situation werden empfohlen. In den genannten Bereichen ist partiell ein Steinaustausch (vor allem Gipssteine) erforderlich. Als Austauschmaterial bieten sich Kalksteine an. Die Auswahl des Steinmaterials muss auch unter statischen Gesichtspunkten erfolgen. Beim Neueinbau von Steinen muss ein geeigneter Mörtel, der auf den Bestand (Gipsmörtel bei Gipsmörtel im Bestand) abgestimmt ist, eingesetzt werden. Die Eigenschaften der Mörtel sind nach statischen Erfordernissen festzulegen.

- Auf das Vorhandensein von Befunden für flächige Beschichtungen auf den Fassadenoberflächen wurde bereits verwiesen und Vorteile einer verputzten Fassade erläutert. Bei den durchgeführten Untersuchungen an den Steinen sind sehr unterschiedliche Werte für die kapillare Wasseraufnahme festgestellt worden. An einer gereinigten und neu verfugten steinsichtigen Fassade wäre die Konsequenz ein stark variierendes Wasseraufnahmevermögen bei Schlagregenbeanspruchungen. Daraus würde sich auch eine stark differierende Belastung mit Feuchtigkeit in den oberflächennahen Steinbereichen ergeben. Damit verbunden wären unterschiedliche Mobilisierungsszenarien und Umlagerungsmöglichkeiten von bereits vorhandenen Salzen.
- Entsalzungsmaßnahmen an Wandflächen über dem Sockel wären wenig erfolgreich. Eine Reduktion der auf den Oberflächen vorhandenen Belastungen (in Stäuben, Russ, Krusten) mit Reinigungsverfahren, die keine Feuchtigkeit in das Mauerwerk eintragen, erscheint sinnvoll und möglich. Eine Anwendung von Kompressen in mehreren Zyklen zur Salzreduktion in den Steinen führt effektiv zu keiner dauerhaften Verbesserung der Situation. Lediglich im Bereich der Sockelzone können Kompressenanwendungen (nach vorherigen Maßnahmen zur Minderung der Feuchteinträge) zur Vorbereitung von Steinkonservierungsmaßnahmen (Steinfestigung, Mörtelergänzungen am Stein) erforderlich werden.
- Auch nach der Durchführung von Reinigungsmaßnahmen muss mit Resten von Gips auf Steinoberflächen gerechnet werden. Es werden Verfugungen mit Gipsmörteln verbleiben. Die Bereiche mit gipsmörtelhaltigen Fugen können vor dem Verputz „entkoppelt“ werden (über eine streifenförmige Abdeckung). Für flächige Kontakte lässt sich das Reaktionsrisiko über die Bindemittelarten in den Putzen reduzieren. Es dürfen nur Bindemittel mit hohem Sulfatwiderstand und niedrigem wirksamen Alkaligehalt in den Putzsystemen zum Einsatz kommen. Der Witterungsschutz des Putzes muss das Eindringen von Wasser in die Kontaktzone zwischen Putz und Mauerwerksoberflächen verhindern.
- Die Salzbelastungen in den Sockelzonen werden vor allem in der Nähe von Gebäudeeingängen im Winter durch Streusalze (Auftausalze) ständig erhöht. Die Wege zum Gebäude sollten so gestaltet werden, dass der Salzeintrag in Mauernähe nicht mehr erfolgt bzw. erheblich reduziert wird.
- Bei den Probenentnahmen fielen etwa senkrecht verlaufende Risse in der West- und Ostwand neben den Nordecken auf. Hier sollte vor Beginn der Sanierung der Fassaden überprüft werden, ob statische Sicherungsmaßnahmen erforderlich werden.
- Sollten im Rahmen von Sicherungsmaßnahmen im Mauerwerk Nadeln und Anker kraftschlüssig eingebaut werden, dürfen keine hydraulischen Bindemittel (Zemente, hydraulische Kalke, NHL, Muschelkalk) in den mit Gipsmörteln errichteten Mauerwerksbereichen verwendet werden. Bei der Anwendung von Reaktionsharzen sollten nur nachweislich bewährte Systeme eingesetzt werden.

Vor Beginn von Sanierungsmaßnahmen und zur Vorbereitung konkreter Planungen müssen die technologischen Ansätze zur Vorbereitung der Untergründe, für Steinkonservierungen und für die Gestaltung der Oberflächen an repräsentativen Testflächen erprobt werden.

- Anlagen:
- 1 – Fotodokumentation zur Probenahme –
Bohrmehlproben und Ablagerungen bzw. Abschalungen an Steinoberflächen
 - 2 – Fotodokumentation zur Probenahme –
Bohrkernproben und Ablagerungen bzw. Abschalungen an Steinoberflächen
 - 3 – Fotodokumentation zur visuellen Charakterisierung von Bohrkernproben
 - 4 – Fotodokumentation zu lichtmikroskopischen Untersuchungen

Ende des Untersuchungsberichtes

Anlage 1 zum Untersuchungsbericht der MTPA Weimar Nr. B 16.14.007.01

Untersuchungen an den Natursteinfassaden – Objekt: Rathaus in Nordhausen

Fotodokumentation zur Probenahme –
Bohrmehlproben und Ablagerungen bzw. Abschalungen an Steinoberflächen

Probenahmestellen an der Ostfassade des Rathauses



Bilder A1.1 bis A1.4: Probenahmestellen an der Ostfassade des Rathauses mit Kennzeichnung der Bohrmehlentnahmen in den unteren Wandbereichen und Detailansichten zu den Stellen O-F1, O-S1 bis –S3, O-F2 und O-F3: Die Natursteinoberflächen sind überwiegend stark verkrustet. Spuren mehrfacher Überarbeitungen mit Mörteln sind in den Fugenbereichen sichtbar. Bei der Beprobung wurde die Gesamthöhe des Sockels, Fugenbereiche und unterschiedliche Steinarten berücksichtigt.

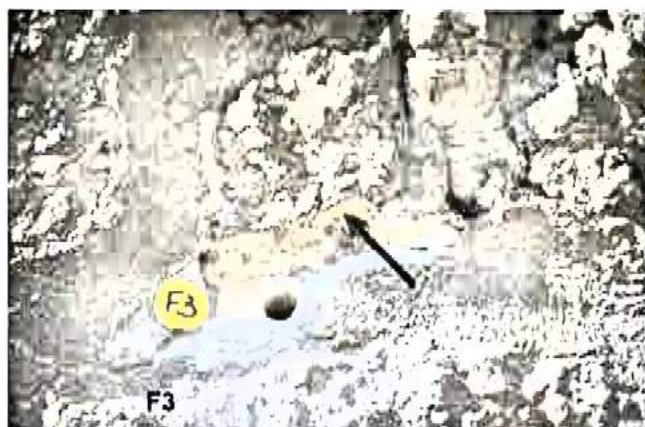


Bild A1.5: Detailansicht zu Bild A1.2: Fugen- und Natursteinoberflächen sind im Bereich der Probenahmestelle O-F3 stark verschmutzt. Die Verschmutzung nimmt Ausmaße einer schalenförmigen Verkrustung (siehe z.B. Pfeil) an.

Auffällig ist, dass unter der Verkrustung eine nahezu weiße Schicht vorhanden ist. Es kann sich um Reste alter Verfumgmrötel, um Reste von Reparaturen oder alter Beschichtungen handeln.



Bilder A1.6 bis A1.8: Probenahmestellen O-S2 und O-S3 in Sandsteinen des Sockelabschlusses – siehe auch Bild A1.1:

Der rote Sandstein im Bereich der Stelle O-S2 („S2“) der Gesimsabdeckung ist stark zurückgewittert. Unmittelbar daneben ist der Stein weniger stark zurückgewittert. Entweder handelt es sich um unterschiedliche Steinqualitäten oder um eine Erneuerung an der Stelle „S3“.

Beide Steine sind im Vergleich zur neueren Verfumg (Pfeil) bereits wieder stark zurückgewittert.



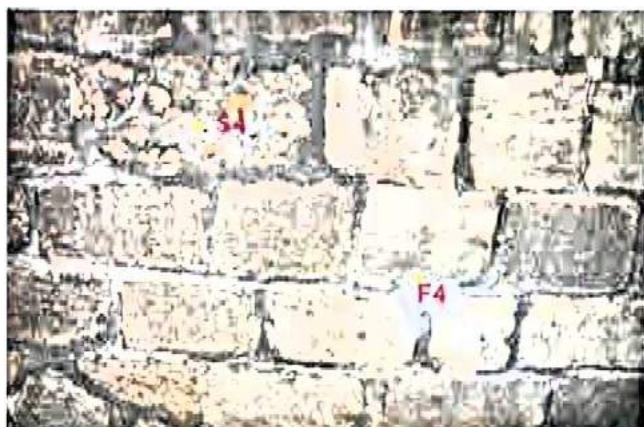


Bild A1.9: Übersicht zum Probenahmebereich mit den Stellen O-F4 und O-F5: Die Steinoberflächen sind vom Erscheinungsbild her sehr verschieden. Im Bereich der Stelle „S4“ sind an der Oberfläche größere lunkerartige Vertiefungen vorhanden. Andere Steine sind gleichmäßig verschmutzt und wieder andere erscheinen insgesamt heller.

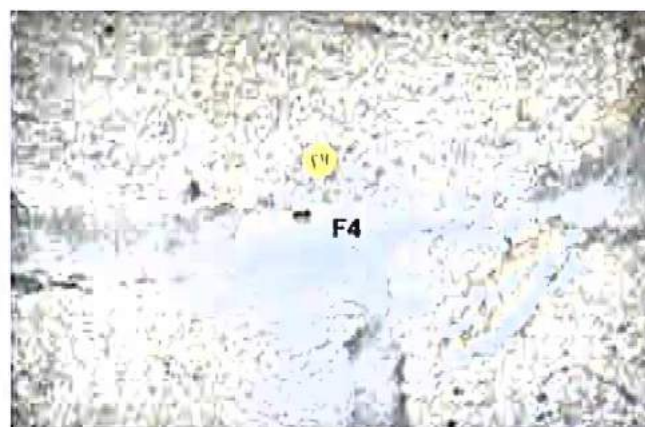
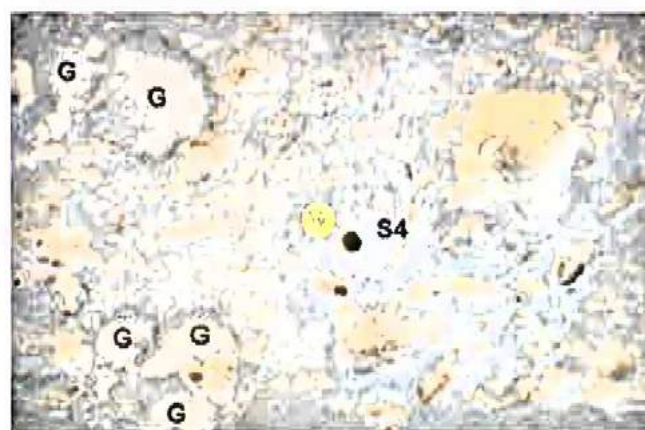
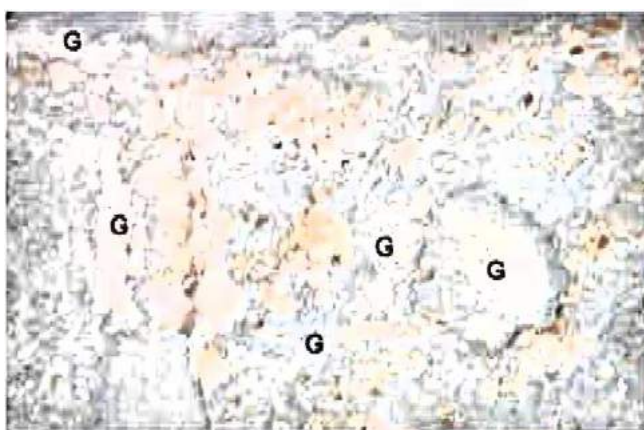
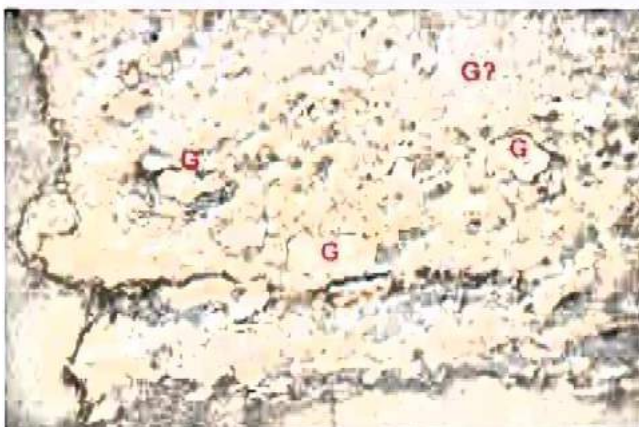
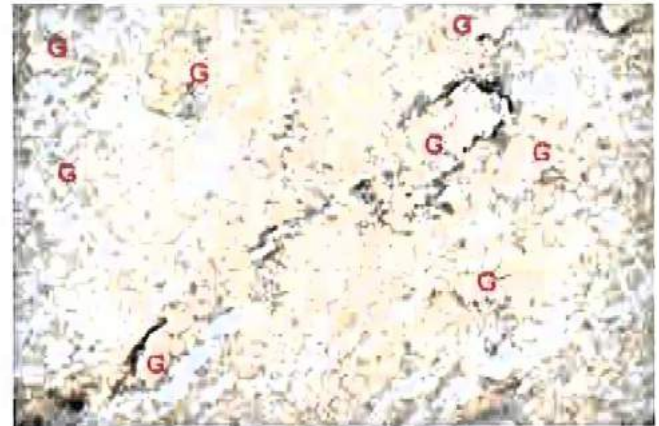
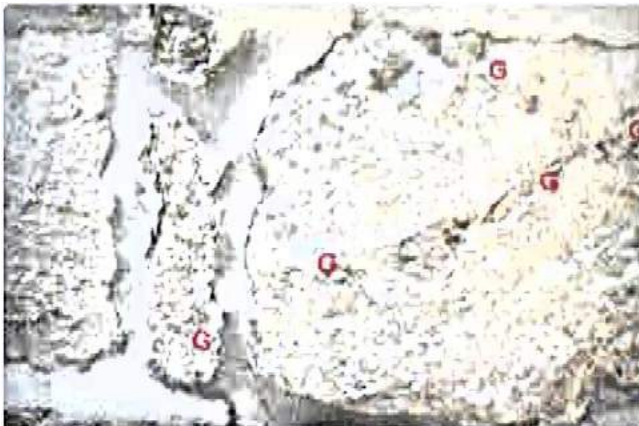


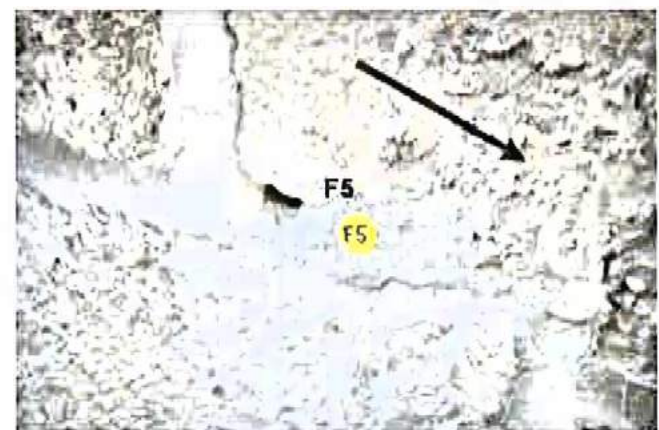
Bild A1.10: Detailansicht zu Bild A1.19: Die Fuge an der Probenahmestelle O-F4 („F4“) ist bereits mit einem vermutlich zementhaltigen Mörtel erneuert worden. Unmittelbar darunter befindet sich ein weißer vermutlich gipshaltiger Mörtel. Bereits während der Probenahme konnte festgestellt werden, dass Zwickelmateriale in den Fugen neben Mörtel enthalten war. Dadurch können „Verdünnungen“ der Mörtel während der Bohrmehlentnahmen auftreten.



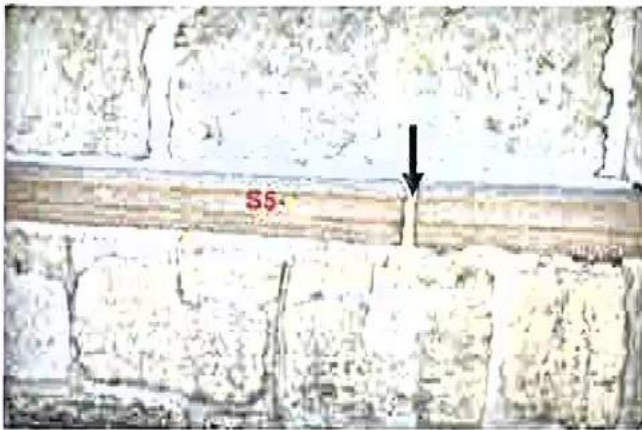
Bilder A1.11 und A1.12: Größere Lunker in der Natursteinoberfläche sind mit Gipsmörteln (mit „G“ gekennzeichnet) verschlossen. Über diesen Weg wurde eine Glättung der Natursteinoberfläche angestrebt. Die Probenentnahme an der Stelle O-S4 („S4“) erfolgte ausschließlich im Natursteinmaterial.



Bilder A1.13 bis A1.16: Oberflächen von Steinen an anderen Flächen der Ostfassade:
An vielen Stellen sind Fehlstellen im Stein (z.B. auch Risse, Klüfte, Lunker) mit Gipsmörteln („G“) verschlossen worden. Ziel war vermutlich das Erreichen einer gleichmäßig geschlossen erscheinenden Wandoberfläche.



Bilder A1.17 und A1.18: Die Fuge an der Probenahmestelle O-F5 („F5“) ist bereits mit einem zementhaltigen Mörtel erneuert worden. Unter dieser „neuen“ Verfugung befindet sich ein Gipsmörtel. Unmittelbar neben der Probenahmestelle (Pfeil) befinden sich beschichtungsartige Reste auf der Steinoberfläche. Deren Struktur unterscheidet sich deutlich von der Verfugung.



Bilder A1.19 und A1.20: Im Vergleich zur Fuge (Pfeil) aus einem sehr festen zementhaltigen Mörtel sind die Gesimse im Bereich der Probenahmestelle O-S5 („S5“) etwa um 1 bis 1,5 cm zurückgewittert. Die Sandsteinoberflächen neigen zum feinschichtigen Abblättern und zum Absanden.

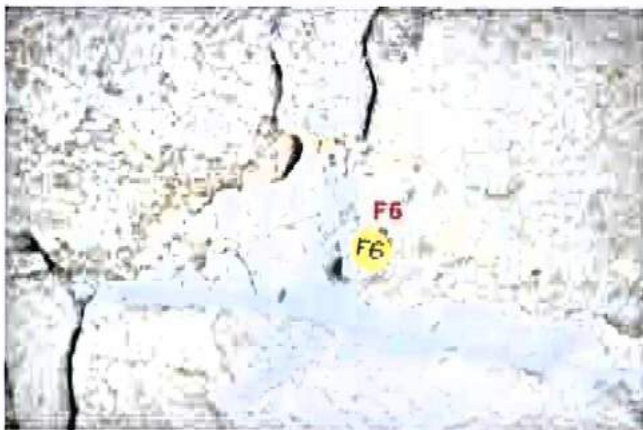
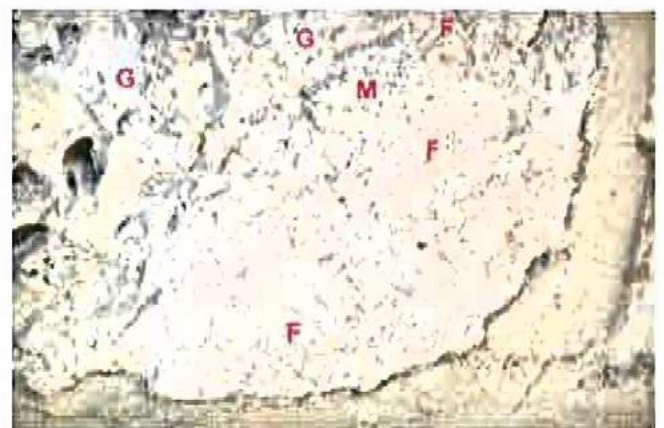
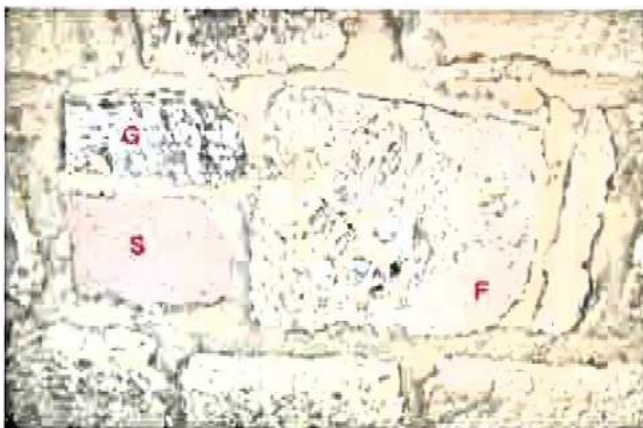


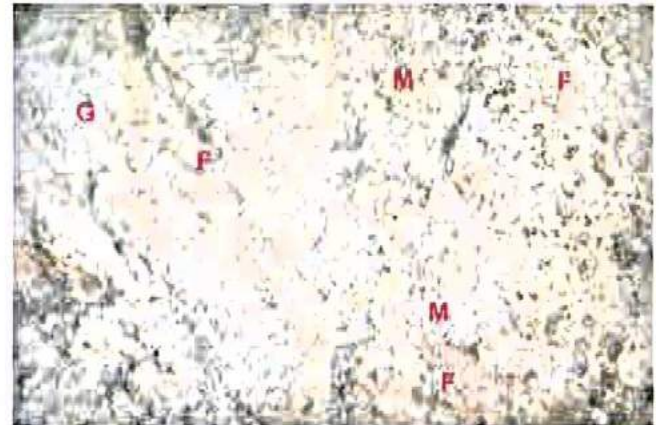
Bild A1.21: An der Probenahmestelle O-F6 („F6“) ist die Verfugung bereits mit einem grauen zementhaltigen Mörtel erneuert. In der Fuge selbst steht ein gipshaltiger Mörtel an.



Bild A1.22: Die Probenahmestelle O-S6 („S6“) befindet sich an einem Naturstein mit stark angewitterter Oberfläche



Bilder A1.23 und A1.24: Wandbereich oberhalb der Stelle „S6“:
Neben Carbonatgesteinen sind auch Sandsteine („S“) und Gipssteine („G“) Im Mauerwerk verbaut.
An der mit „F“ gekennzeichneten Stelle sind Reste einer leicht rötlichen Beschichtung erkennbar. In diesem Bereich sind auch Mörtelreste („M“) unter der Beschichtung erkennbar.



Bilder A1.25 und A1.26: Stein im Wandbereich unter dem schützenden Dachüberstand mit Mörtel- („M“) und Anstrichresten („F“) auf der Oberfläche



Bild A1.27: Probenahmestelle O-F7 („F7“) in der Fuge unmittelbar unter dem Dachgesims. Das Steinmaterial des Dachgesimses unterscheidet sich vor allem in der äußerlich sichtbaren Porigkeit deutlich von den Carbonatgesteinen im restlichen Mauerwerk.



Bild A1.28: Probenahmestelle O-F8 („F8“) in der Fuge unmittelbar unter dem Dachgesims. Vermutlich wurde nach dem 2. Weltkrieg das komplette Gesims mit dem Steinmaterial erneuert. Direkt unter der Probenahmestelle ist ein Gipsstein („G“) verbaut.



Bild A1.29: Probenahmestelle O-S7 („S7“) im Naturstein des Dachgesimses

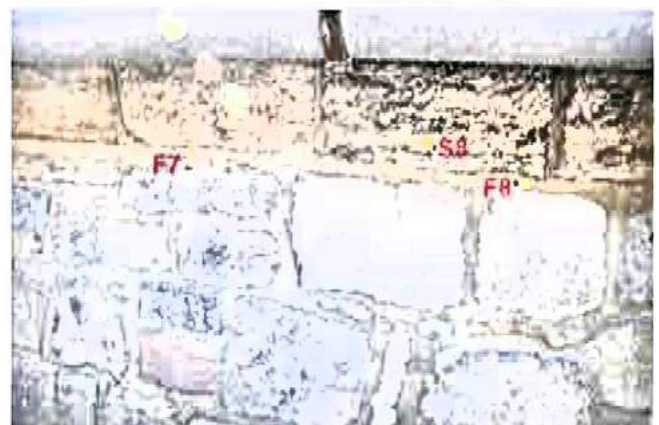


Bild A1.30: Übersicht zum Wandbereich mit den Probenahmestellen F7, F8 und S8



Bilder A1.31 und A1.32: Übersichten zur Ostfassade mit Kennzeichnung der Lagen der Probenahmestellen

Probenahmestellen an der Südfassade des Rathauses



Bilder A1.33 bis A1.35: Übersicht zu Probenahmestellen im Bereich des Sockels und unmittelbar darüber sowie Detailansichten zu den Probenahmestellen S-S2 („S2“) und S-F3 („F3“):

Die Fugen sind teils ausgewittert bzw. mit zementhaltigen Mörteln ausgebessert. Der Sandstein an der Sockeloberkante ist weniger stark zurückgewittert als der in vergleichbarer Höhe an der Ostseite. Dafür sind die Oberflächen stärker geschwärzt. Die Steinoberflächen darüber (Probenahmestelle S-F3 - „F3“) sind ebenfalls stark geschwärzt. An der genannten Probenahmestelle erfolgte bereits eine Erneuerung der Verfugung mit einem schwarzen zementhaltigen Mörteln. Darunter folgt Gipsmörtel.

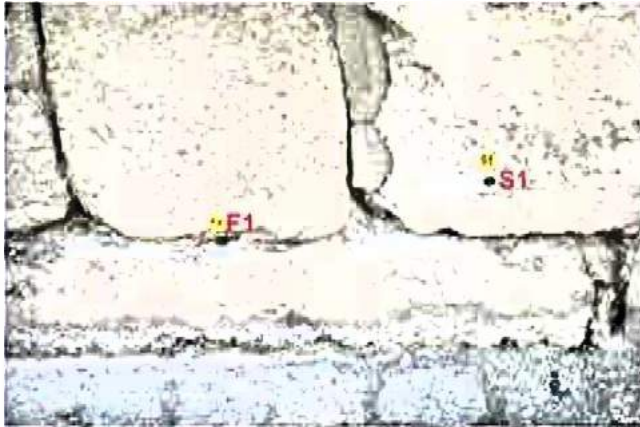
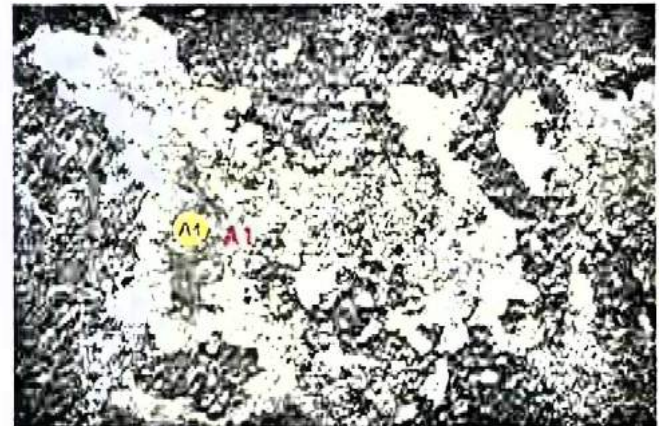


Bild A1.36: Die Probenahmestellen S-F1 („F1“) und S-S1 („S1“) befinden sich dicht über dem Gelände. Die Verfugung scheint bereits mehrfach ausgebessert worden zu sein. Die Steinoberflächen sind abgewittert und es fehlt im Vergleich zu den Flächen über dem Sockel die Schwärzung.



Bild A1.37: Die Probenahmestelle S-F2 („F2“) befindet sich in einer mit einem schwarzen Mörtel verschlossenen Fuge. Hinter diesem Mörtel befindet sich ein weißer Gipsmörtel.



Bilder A1.38 und A1.39: Die Probe S-A1 („A1“) wurde aus der auf der Steinoberfläche aufliegenden und abschalenden Schicht entnommen.



Bild A1.40: Die Probe S-A2 („A2“) wurde aus der auf der Steinoberfläche aufliegenden 5 mm dicken Verkrustung entnommen.

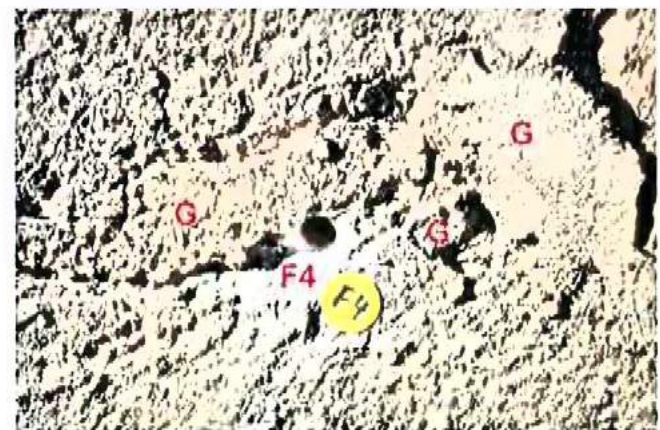


Bild A1.41: Im Bereich der Probenahmestelle S-F4 („F4“) füllt ein Gipsmörtel die Fuge bis zur Oberfläche und gleicht die Steinflanken ab.

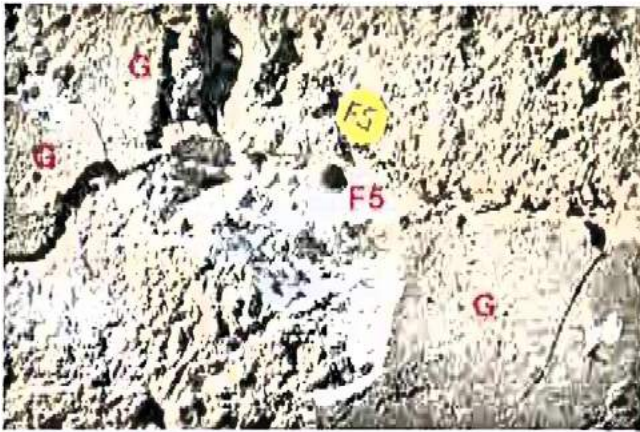


Bild A1.42: Im Bereich der Probenahmestelle S-F5 („F5“) ist die Fuge mit einem zementhaltigen Mörtel überarbeitet worden. Darunter steht Gipsmörtel an.

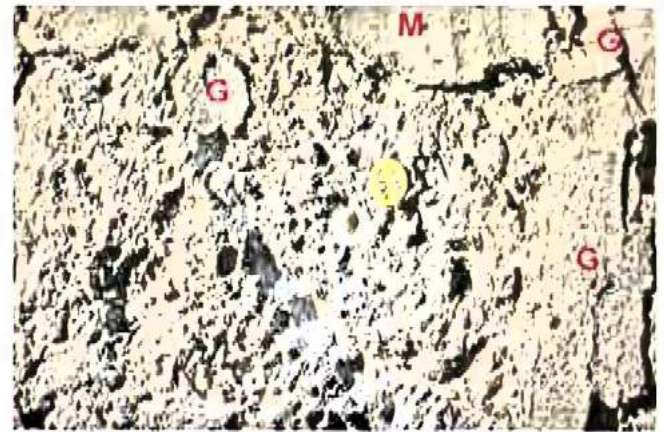


Bild A1.43: Die Probenahmestelle S-S3 („S3“) befindet sich auf einer unebenen Steinoberfläche. Partiiell sind noch Verschlüsse von Vertiefungen mit Gipsmörteln („G“) und Gipsmörtel (rechter Bildrand) der Verfügung bis über die Steinflanken erkennbar. In unmittelbarer Nachbarschaft („M“) finden sich aber auch Ausbesserungen mit zementhaltigen Mörteln.



Bild A1.44: Wandfläche über dem zuvor genannten Bereich: Unter dem abschalenden zementhaltigen Mörtel („M“) wird ein Gipsmörtel, der trotz Anwitterung noch mit den Steinkanten abschließt, sichtbar.



Bild A1.45: Übersicht zur Wandfläche im Umfeld der Probenahmestelle S-S3 („S3“)



Bild A1.46: Übersicht zum Wandbereich mit den Probenahmestellen S-A2 („A2“), S-S3 („S3“), S-F4 („F4“) und S-F5 („F5“): Es sind Gipsmörtelverfugungen noch in größerem Umfang vorhanden. Vermutlich begünstigte die Südexposition (schnelle Trocknung nach Durchfeuchtung) die Erhaltung dieser Mörtel.



Bilder A1.47 bis A1.49: Probenahmestellen S-F6 („F6“) und S-S4 („S4“):

An der Oberfläche der Stelle „F6“ befand sich ein rot pigmentierter Mörtel. In der Fuge ab etwa 0,5 cm Tiefe war ein weißer Mörtel vorhanden. Auf den Flächen über der Probenahmestelle schimmert ebenfalls eine rötliche Oberfläche hindurch.

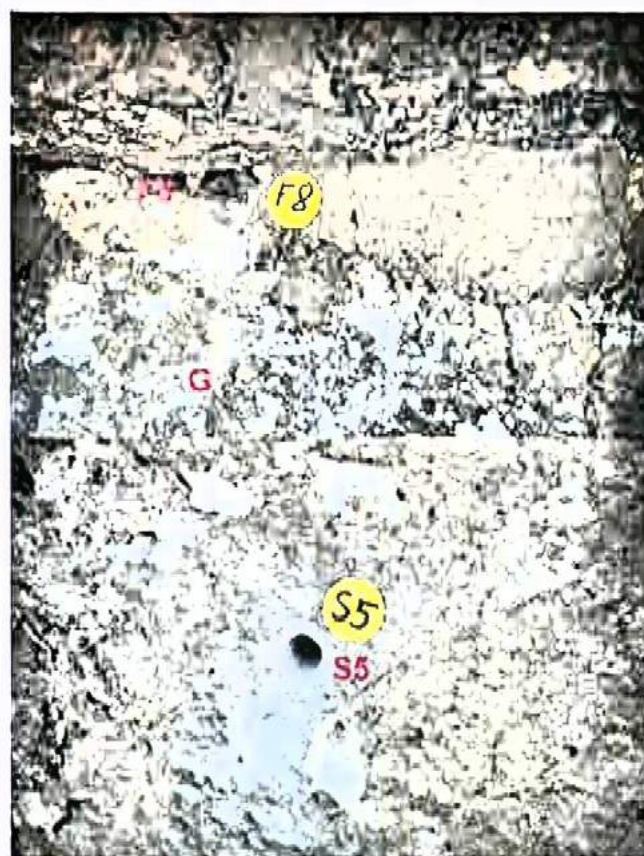
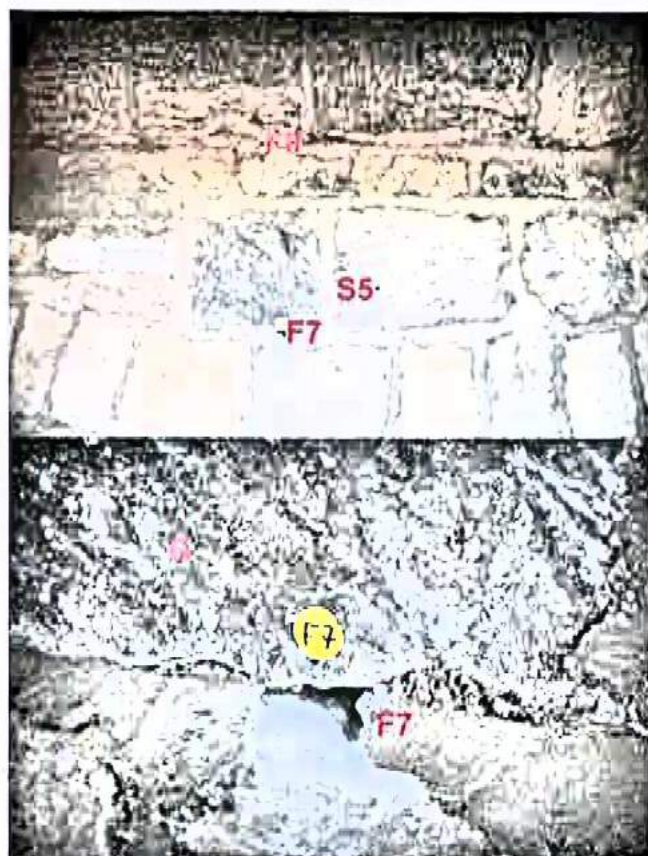
Die Stelle „S4“ befindet sich an einem nur wenig angewitterten roten Sandstein.



Bild A1.50: Übersicht zum Wandbereich der Probenahmestellen S-F6 („F6“) und S-S4 („S4“)



Bilder A1.51 und A1.52: Die Oberfläche eines Steines neben einem Fenster im 2. OG ist mit mehreren Beschichtungen versehen. Es kann sich um einen bereits vor dem Einbau beschichteten Austauschstein handeln oder um Reste einer älteren Beschichtung.

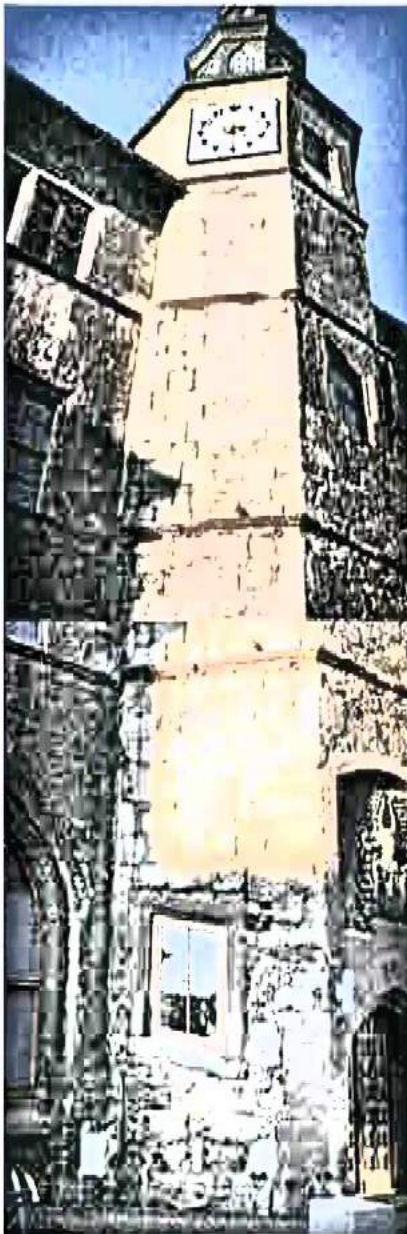


Bilder A1.53 bis A1.56: Wandbereich unter dem Dachgesims mit den Probenahmestellen S-S5 („S5“), S-F7 („F7“) und S-F8 („F8“): Wie an der Ostfassade wurde auch hier Gipsstein („G“) – vermutlich im Zusammenhang mit Reparaturmaßnahmen – im Mauerwerk verbaut. Während der Probenentnahmen fanden sich an den Stellen „F7“ und „F8“ keine eindeutigen Hinweise für das Vorhandensein gipshaltiger Mörtel im Mauerwerk.



Bilder A1.57 und A1.58: Übersichten zur Lage der Probenahmestellen an der Südfassade des Rathauses

An der mit „x“ gekennzeichneten Stelle befindet sich der in Bild A1.51 dargestellte beschichtete Stein.



Bilder A1.59 bis A1.62: Ansichten des Treppenturmes vor der Südfassade: Die Anwitterungssituationen entsprechen denen der Wandflächen des Rathauses: Die nach Süden exponierte Fläche ist am stärksten verschmutzt und die nach Westen exponierte Fläche am stärksten abgewittert. Gut erkennbar sind die Ablagerungen (rötlich) von Abwitterungsmaterial der roten Sandsteingesimse auf den hellen Steinoberflächen der Westseite des Turmes.

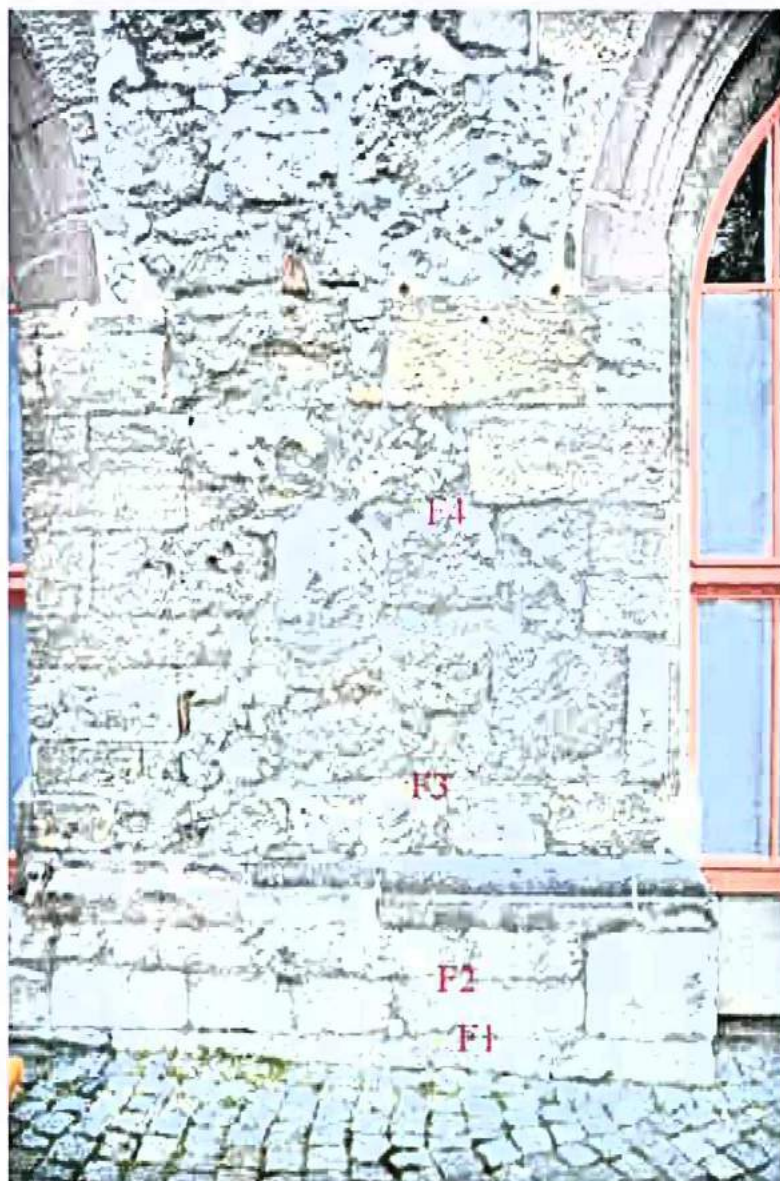


Bilder A1.63 und A1.64: An einer Fuge auf der Ostseite neben dem Turmeingang ist erkennbar, dass auch hier (Pfeil) Gipsmörtel für die Errichtung des Mauerwerks zum Einsatz kamen.

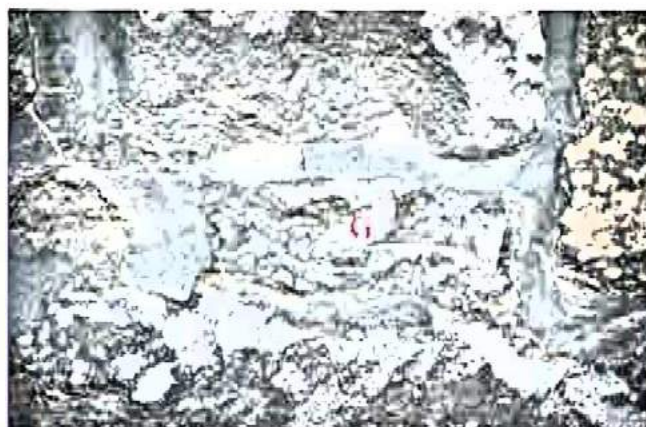


Bild A1.65: Die Situation am westlichen Teil der Südfassade gleicht der am östlichen Teil.

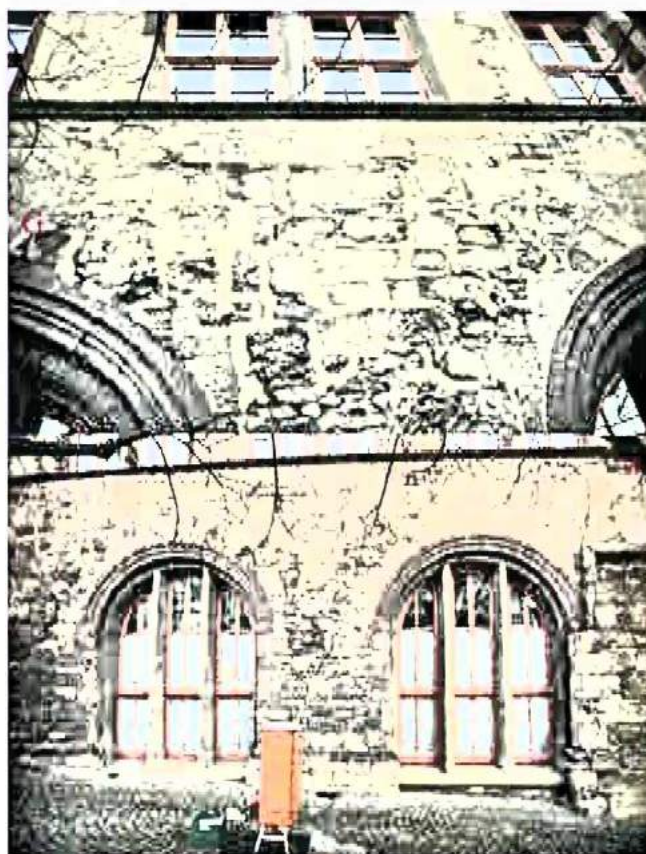
Probenahmestellen an der Westfassade des Rathauses



Bilder A1.66 bis A1.69: Probenahmestellen W-F1 („F1“) bis W-F4 („F4“) an der Westfassade: Im Probenahmebereich sind alle Fugen mit zementhaltigen Mörteln überarbeitet. Die Mörtel im Mauerwerk bis zur Stelle „F3“ waren sehr sandig und bindemittelarm bzw. stark verwittert. An der Stelle „F4“ sind Gipsmörtel im Mauerwerk verbaut.



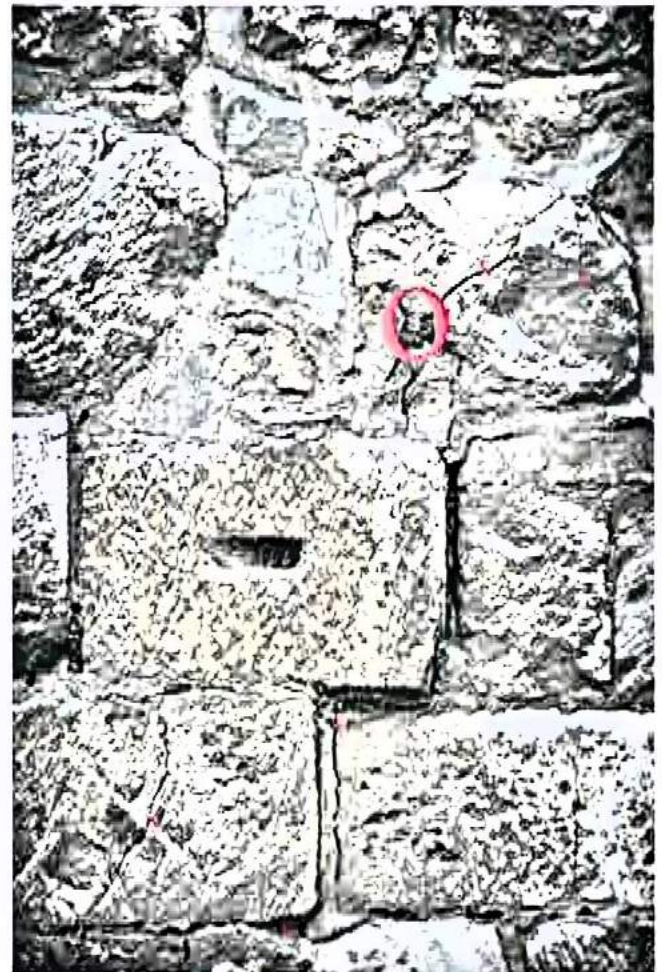
Bilder A1.70: An den Oberflächen der Westfassade ist erkennbar, dass Gipssteine („G“) mit verbaut wurden. Partiiell sind Gipssteinstücke („G“) als Zwickelmateral erkennbar. Ebenfalls sichtbar sind Reste von Glättmörteln (vermutlich auf Gipsbasis, die sich auf einigen Steinoberflächen („x“) befinden.



Bilder A1.71 bis A1.73: Ansichten der Westfassade des Rathauses:

An den mit „x“ gekennzeichneten Stellen sind Reste von Verfugmörteln auf Gipsbasis vorhanden.

Sofern wegen der Verschmutzung erkennbar, wurden auch in den Wandbereichen oberhalb der Fensterbögen des EG Gipssteine im Mauerwerk verbaut (z.B. „G“).



Bilder A1.74 und A1.75: Im Eckbereich der Westfassade zur Nordwand sind Rissbildungen, die mindestens über die Höhe des Erdgeschosses verlaufen, sichtbar. Erkennbar ist auch ein gewisser Versatz des Eckbereiches. Schuld allein an dieser Situation kann nicht der gesondert gekennzeichnete Eisenkeil im Mauerwerk sein.

Da im Bereich der Nordecke der Ostfassade eine ähnliche Erscheinung sichtbar ist, sollten diese Situationen hinsichtlich statischer Konsequenzen gesondert betrachtet werden.

Untersuchungen an den Natursteinfassaden – Objekt: Rathaus in Nordhausen

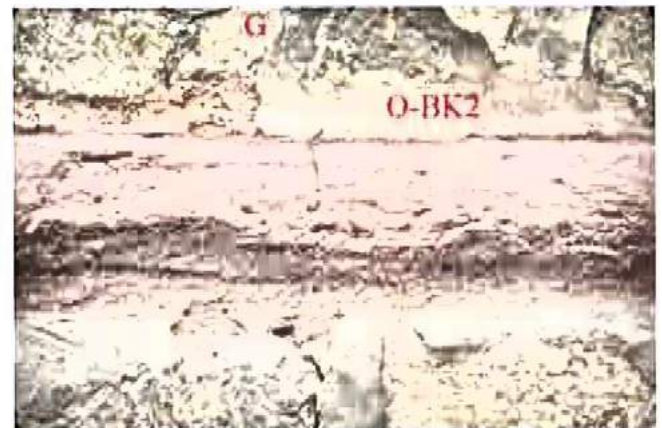
Fotodokumentation zur Probenahme –
Bohrkernproben und Ablagerungen bzw. Abschalungen an Steinoberflächen

Probenahmestellen an der Ostfassade



Bilder A2.1 bis A2.5: Entnahmestellen der Bohrkernproben O-BK1 und O-BK2 aus einem stark zurückgewitterten Teil des Gesimses über dem EG an der Ostfassade neben der Nordecke: Im Vergleich zum Gesims unmittelbar unter dem Fenster ist eine starke Rückwitterung vorhanden. Es kommt zu dünn-schichtigen Abschalungen und Absandungen der Oberflächen.

Nach der Kernentnahme wurde festgestellt, dass die Einbindung in das Mauerwerk mit einem Gipsmörtel erfolgte. Ziegelstücke dienen als Abstandshalter bzw. zur Ausrichtung der Gesimssteine während des Einbaus.





Bilder A2.6 und A2.7: Entnahmestelle der Bohrkernprobe O-BK3: Unmittelbar unter der Verfugung mit einem zementhaltigen Mörtel steht Gipsmörtel an. Als Abstandshalter sind Schieferstücke vorhanden.



Bilder A2.8 und A2.9: Entnahmestelle der Bohrkernprobe O-BK4: Die Probenahmestelle wurde gewählt um den Kalkstein zu beproben. Während der Bohrung stellte sich heraus, dass es sich um ein sehr heterogen verfülltes Loch, das an der Oberfläche sehr gut mit Mörtel und Steinmaterial retuschiert ist, handelt. Möglich ist hier die Verfüllung eines ehemals als Gerüsthaltung verwendeten Loches im Mauerwerk.

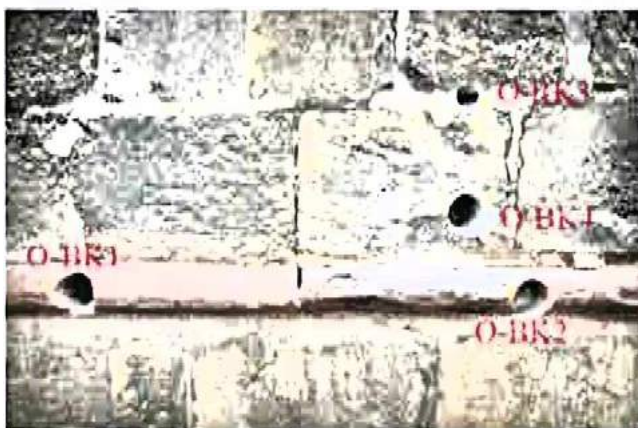


Bild A2.10: Übersicht zum Bereich mit den Probenahmestellen O-BK1 bis O-BK4



Bild A2.11: Entnahmestelle der Bohrkernprobe O-BK5: An der Probenahmestelle deutete die Verfugungsbreite eine sehr breite dahinter liegende Fuge an. Es war aber nur eine sehr schmale Mörtelfuge im Mauerwerk vorhanden.



Bild A2.12: Entnahmestelle O-OF1 wenige cm über der Stelle O-BK5: Auf der Natursteinoberfläche sind Reste einer Beschichtung (mit „x“ gekennzeichnet) erkennbar. Von diesen wurde Probenmaterial entnommen.



Bild A2.13: Übersicht zu den Probenahmestellen O-BK5 und O-OF1

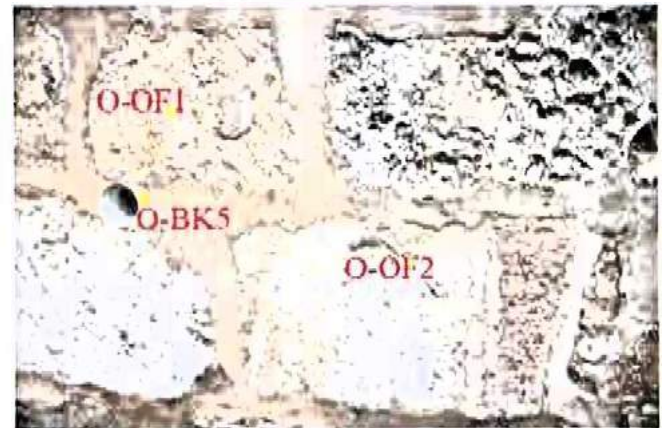


Bild A2.14: Übersicht zu den Probenahmestellen O-BK5, O-OF1 und O-OF2



Bilder A2.15 und A2.16: Die Probe O-OF2 (Entnahmestelle mit „x“ gekennzeichnet) wurde aus einer neben der Fuge auf der Steinoberfläche aufliegenden dünnen Mörtelschicht entnommen. Darüber befindet sich eine jüngere Verfugung, die im Rahmen von Reparaturmaßnahmen ausgeführt wurde. Das Material in der Probe muss danach älter sein.



Bilder A2.17 bis A2.19: Entnahmestellen der Bohrkernproben O-BK6 und O-BK6A unmittelbar unter dem Dachgesims: An der Stelle O-BK6 ergab sich eine mit der Stele O-BK5 vergleichbare Situation. Unter einer an der Oberfläche scheinbar breiten Fuge folgte eine sehr schmale Fuge. Es ist partiell auch von Stein-Stein-Kontakten in der Fuge auszugehen. Zur Gewinnung von Mörtelmaterial wurde 30 cm südlich die Bohrung O-BK6A eingebracht.

Probenahmestellen an der Südfassade



Bilder A2.20 und A2.21: Entnahmestelle der Bohrkernprobe S-BK7; Im Bereich der Probenahmestelle ist noch scheinbar originaler Gipsmörtel („G“) an der Wandoberfläche vorhanden. Der Mörtel ist breit über die Steinkanten gezogen.



Bilder A2.22 und A2.23: Weiterer Wandbereich mit Gipsmörteln („G“) in Fugen an der Wandoberfläche: Die Mörtel dienen auch zum Abgleich der Wandoberflächen an den Steinkanten („S“) (Pfeil).

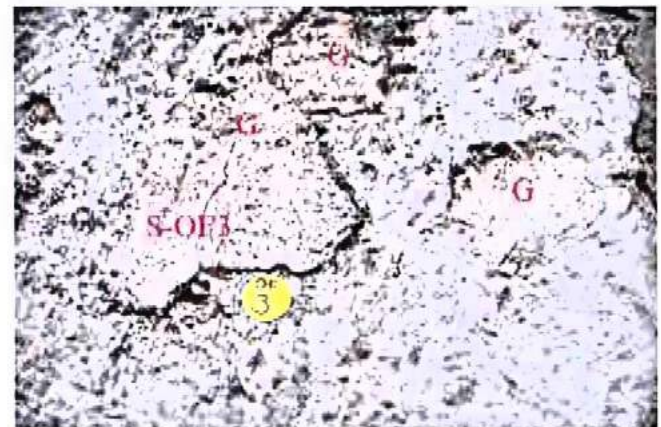
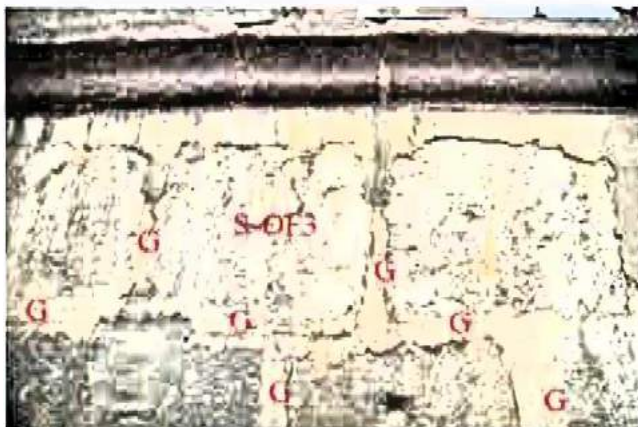
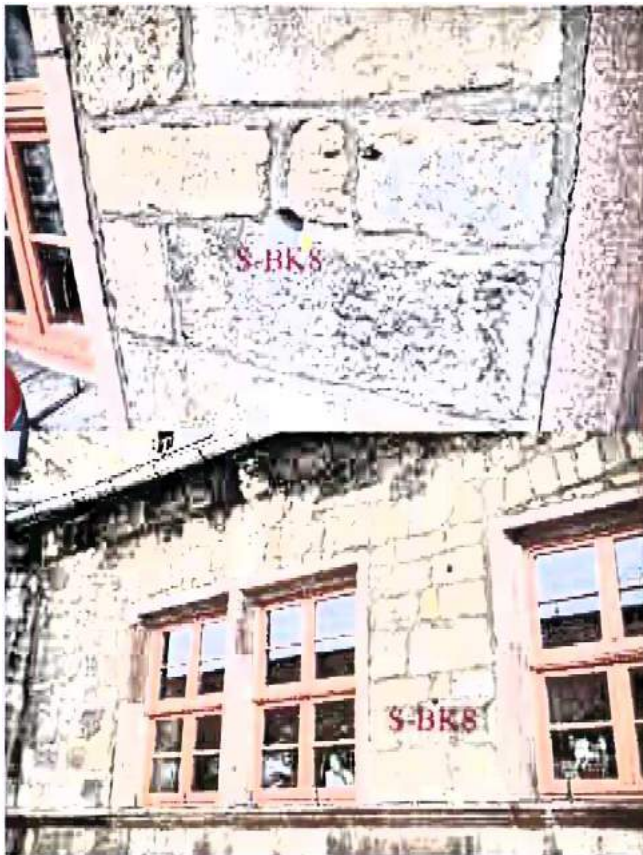


Bild A2.24 und A2.25: Die Probe S-OF3 wurde aus Mörteln („G“) entnommen, die zum Verschluss von größeren Vertiefungen an der Natursteinoberfläche dienen. Die leicht rötliche Verfärbung der Oberfläche ist durch absandendes und umgelagertes Material aus dem über der Probenahmestelle befindlichen Gesims bedingt.



Bilder A2.26 bis A2.28: Entnahmestelle der Bohrkernprobe S-BK8: Die Verfugung besteht aus einem sehr festen zementhaltigen Mörtel. Der Mauermörtel darunter enthält gröbere Gesteinskörnungen und unterscheidet sich somit von Gipsmörteln des Altbestandes.

Möglicherweise sind ab dem Gesims größere Teile des Mauerwerks nach Kriegsschäden erneuert worden. Darauf deuten auch die Sandsteine in den Fensteröffnungen hin.

Probenahmestellen im Bereich der Westfassade



Bilder A2.29 bis A2.31: Entnahmestellen der Bohrkernprobe W-BK9 und der Probe W-OF4 aus Mörteln auf der Natursteinoberfläche:

Unter der Verfugung aus zementhaltigen Mörteln befindet sich Gipsmörtel im Mauerwerk. Als Zwickelmaterial im Mauerwerk kamen Kalksteinstücke zum Einsatz.

An der Oberfläche des Steines sind kleinflächig Gipsmörtel („G“) vorhanden. Diese dienen zum Verschluss von Löchern und zur Ebnung der Steinoberfläche.



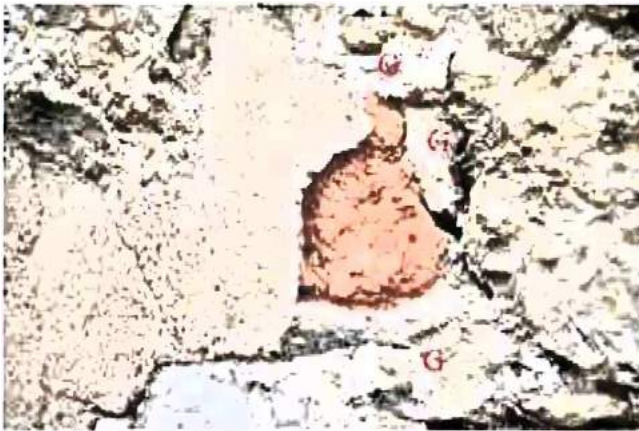


Bild A2.32: Wandbereich an der Westfassade: An vielen Stellen sind Gipsmörtel („G“) als Mauer-
mörtel sichtbar.

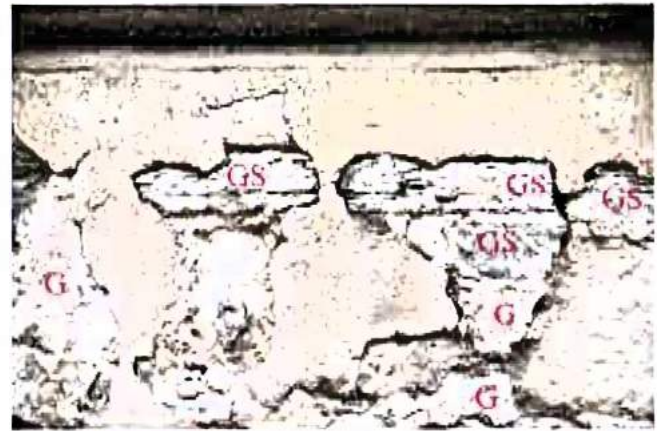


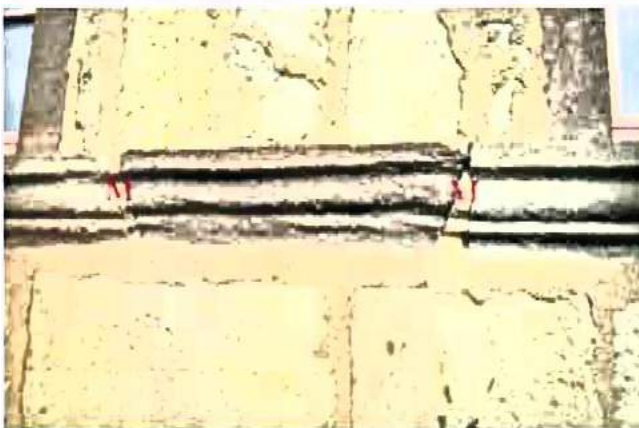
Bild A2.33: An verschiedenen Stellen (hier unter einem Gesims) der Fassade ist erkennbar, dass Gipssteine (GS“) im Mauerwerk verbaut sind. Der Einbau mit Gipsmörteln („G“) zeigt an, dass es sich vermutlich um bauzeitliche Anwendungen handelt.

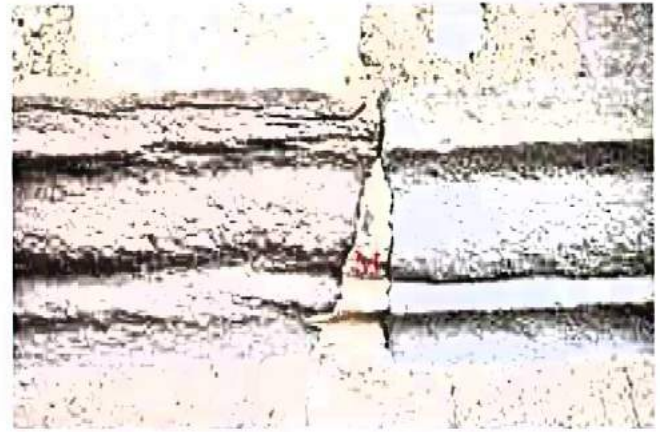
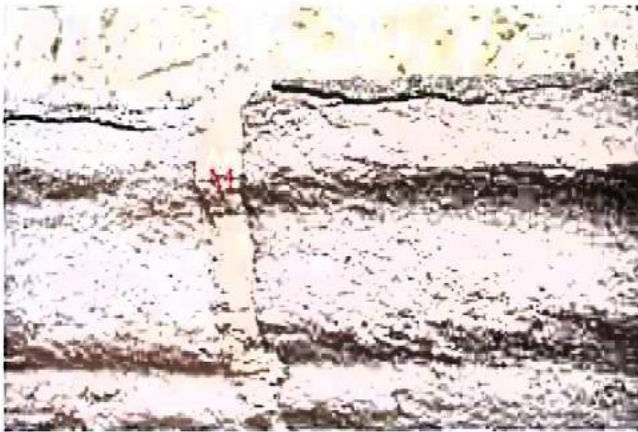


Bilder A2.34 und A2.35: Entnahmestelle der Bohrkernprobe W-BK10: Unter der Verfugung aus zementhaltigen Mörteln befindet sich Gipsmörtel im Mauerwerk. Als Zwickelmaterial im Mauerwerk kamen auch Sandsteinstücke zum Einsatz.



Bild A2.36: In den Gesimsen und den Gewänden der Fenster- und Türöffnungen wurden unterschiedlichste Sandsteine verbaut. Die Vielfalt ist eine Folge von häufigem Austausch der Steine nach Rückwitterungen.





Bilder A2.37 und A2.38: Detailansichten zu Bild A2.36: Die Ansichten zeigen, dass beim hellen und dunkleren roten Sandstein gleiche Schadbilder auftreten. An der Oberseite schalen Steinschichten ab. Verstärkt wird dieser Prozess durch die Verfugung („M“) mit einem sehr festen zementhaltigen Mörtel. Keine signifikanten Schäden sind bisher am grauen Naturstein (rechts in Bild A2.38) erkennbar.



Bild A2.39: Übersicht zu einem Wandbereich mit unterschiedlichen Sandsteinen in den Gesimsen und Fenstergewänden



Bild A2.40: Gipssteine („G“) im Mauerwerk der Westfassade unmittelbar unter dem Dachgesims



Bild A2.41: Einzelne Gipssteine (z.B. „G“) befinden sich auch in anderen Teilen des Mauerwerks

Probenahmestellen am Treppenturm an der Südfassade



Bilder A2.42 bis A2.44: Probenahmestelle S-BK11 an der Westecke des Treppenturms: Die Eckquaderung besteht aus stark angewitterten rötlichen Sandsteinen. Es finden sich verschiedene Mörtel, die für Fugenausbesserungen verwendet wurden. Im Bestand sind Gipsmörtel ursprünglich vorhanden.

Probenahmestellen an der Nordfassade



Bilder A2.45 bis A2.49: Übersicht zum Erscheinungsbild der Nordfassade



Bilder A2.50 bis A2.52: Entnahmestelle der Bohrkernprobe N-BK13 an der Nordfassade:
Im Wandbereich sind bis etwa 3 m über dem Gelände verschiedenartige Gipssteine (z.B. „GS“) verbaut. Aufgrund der starken Oberflächenverschmutzung sind diese nur schwer wahrzunehmen. Über der Probenahmestelle sind mehrere Steine ohne ausreichenden Verband („x“) vermauert. Die Fugen sind mit zementhaltigen Mörteln überarbeitet. Gipsmörtel ist im historischen Bestand als Mauermörtel vorhanden.



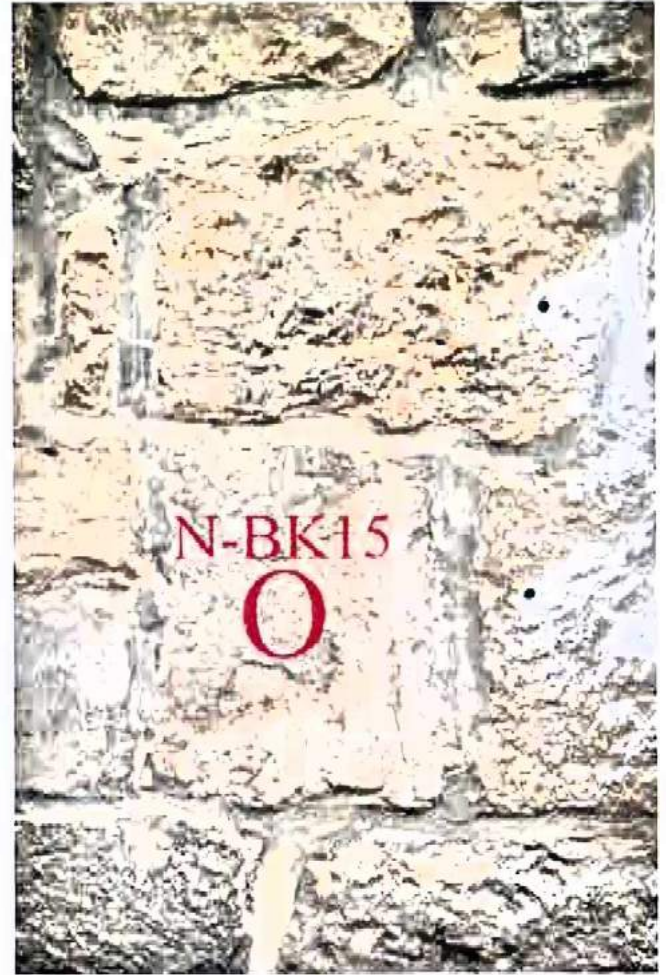
Bilder A2.53 bis A2.55: Entnahmestelle der Bohrkernprobe N-BK14 an der Nordfassade: Die Situation ist vergleichbar mit der an der Probenahmestelle N-BK13.
An der Wand befestigt ist eine Natursteinplatte. Nach der äußeren Erscheinung handelt es sich um ein Calciumsulfatgestein (Gips oder Anhydrit). Ein Verbleib der Platte im Außenbereich wird zu weiteren Schädigungen führen.



Bilder A2.56 bis A2.58:

Die Bilder zeigen typische an der Nordfassade bis etwa 3 m über Gelände vorkommende Situationen:

- von der Oberfläche her abschalende bzw. flächig abplatzende helle Gipssteine (Bild A2.56 – „GS“)
- Gipsmauermörtel (Bild A2.57 – „G“)
- sehr glatte mehr oder weniger geschichtete Steine (Gips, Anhydrit – Bild A2.58 – „GS“)

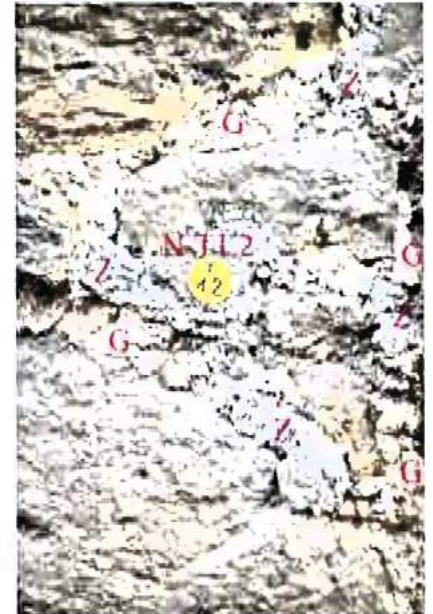
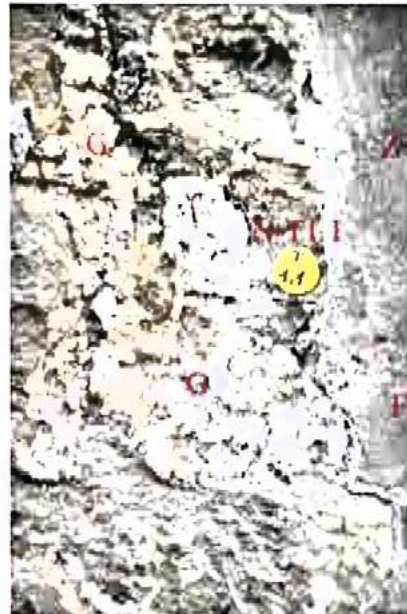


Bilder A2.59 und A2.60: Entnahmestelle der Bohrkernprobe N-BK15 an der Nordfassade: Die Situation ist vergleichbar mit der an den Probenahmestellen N-BK13 und N-BK14.



Bilder A2.61 und A2.62: Entnahmestelle der Bohrkernprobe N-BK16 an der Nordfassade: Die Situation oberhalb der Probenahmestelle ist vergleichbar mit der an den Probenahmestellen N-BK13 bis N-BK15.

Unterhalb der Probenahmestelle sind gleichmäßig angeordnete Mörtelstreifen („F“) einer alten „Mauerwerksentfeuchtungsanlage“ erkennbar.



Bilder A2.63 bis A2.65: Die Probenahmestelle N-T1 befindet sich unterhalb der Stelle N-BK16 unmittelbar neben den senkrecht angeordneten Mörtelstreifen. Mit je einem Mörtelstreifen wurde ein senkrecht in einem Schlitz angeordneter Eisenstab fixiert. Dieser diente als Elektrode zum Aufbau eines elektrischen Feldes im Mauerwerk. Im Inneren des Gebäudes könnten ebenfalls Elektroden angeordnet sein. Das Bestandsmauerwerk ist mit Gipsmörtel („G“) errichtet. Scheinbar mit der Installation der erwähnten Anlage wurden Fugenbereiche mit zementhaltigen Mörteln („Z“) überarbeitet.



Bild A2.66: Übersicht zum Entnahmebereich der Teilproben N-T1.1 und N-T1.2



Bilder A2.67 bis A2.69: Probenahmeort N-T2 im östlichen Teil der Nordfassade über einem Teil der „Entfeuchtungsanlage“ („F“): Der Gipsstein über der Anlage schalt flächig und tief ab. Es ist hier bereits von einer Querschnittsminderung der äußeren Mauerwerksschicht auszugehen.

Die Probenentnahme erfolgte in unmittelbarer Nähe des Eisenstabes der Installation. Die ober sich abschalende Mörtelschicht (N-T-2.1) besaß eine hellbraungraue Färbung. Der Mörtel darunter war dunkelanthrazitfarben mit einem bläulichen Farbton. Wahrscheinlich handelt es sich um einen hüttensandreichen Mörtel.



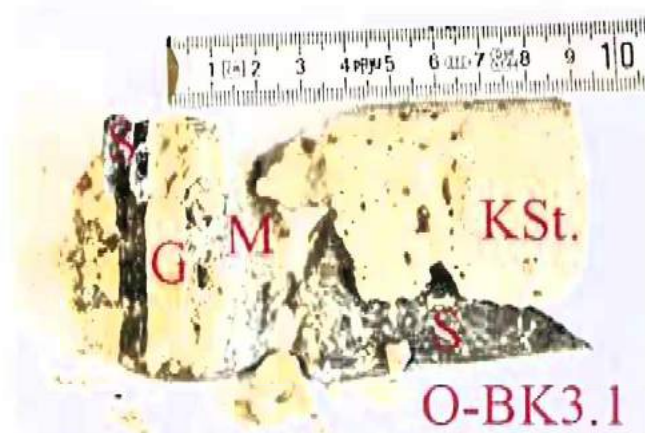
Bilder A2.70 und A2.71: Detailansichten zu Bild A2.67: Der Gipsstein ist oberhalb vom Eisenstab („x“) in bis etwa 1 cm dicken Schichten mehrfach abgeschalt und hat so eine deutliche Querschnittsverminderung erfahren. Der noch vorhandene Stein ist zusätzlich stark geschädigt.



Bild A3.1: Bohrkern O-BK1 (Ø 110 mm):
Zur Ermittlung von Orientierungswerten für die Druckfestigkeit wurde ein kleiner Bohrkern (Ø 50 mm) quer entsprechend der Einbausituation (Belastungsrichtung) am Objekt herausgebohrt. Aus dem vorderen Teil des Kernes („A“) ist eine Steinscheibe zur Ermittlung der kapillaren Wasseraufnahme herausgesägt worden.



Bild A3.2: Bohrkern O-BK2 (Ø 110 mm):
Zur Ermittlung von Orientierungswerten für die Druckfestigkeit wurde ein kleiner Bohrkern (Ø 50 mm) quer entsprechend der Einbausituation (Belastungsrichtung) am Objekt herausgebohrt. Aus dem vorderen Teil des Kernes („A“) ist eine Steinscheibe zur Ermittlung der kapillaren Wasseraufnahme herausgesägt worden.



Bilder A3.3 bis A3.5: Bohrkern O-BK3 (Ø 70 mm):
Bereits bei der Entnahme zerfiel der Kern. Als Steinmaterial ist ein sehr poröser Kalkstein („KSt.“) vorhanden. In der Fuge ist als Abstandshalter Schiefer („S“) eingelegt. Gipsmörtel („G“) diente zum Vermauern der Steine. Eine nachträgliche (Reparatur-) Verfugung erfolgte mit einem zementhaltigen Mörtel.
Der Verfugmörtel war an der Oberfläche („A“) glatt auf die Steinoberfläche abgestrichen.





Bilder A3.6 und A3.7: Bohrkern O-BK4 (Ø 110 mm): An der Oberfläche als homogener Naturstein angenommen, stellte sich nach der Entnahme des Kernes heraus, dass mehrere Kalksteinstücke („KSt.“) mit einem Gipsmörtel („G“) verbunden sind. Die Mörteloberfläche ist an die Oberfläche des Kalksteines glatt angearbeitet.



Bild A3.8: Bohrkern O-BK5 (Ø 70 mm): Die Fuge war mit einem zementhaltigen Mörtel verschlossen. Durch rotbraune Gesteinskörnungen im Mörtel entsteht eine entsprechende Eigenfarbe.

Bild A3.9: Bohrkern O-BK6 (Ø 70 mm): An der Oberfläche im Fugenbereich (links im Bild) war nur eine dünne Schicht Mörtel vorhanden. In der Fuge selbst war auch nur sehr wenig Mörtel („M“) enthalten. Die Bohrung wurde als O-BK6A wiederholt.

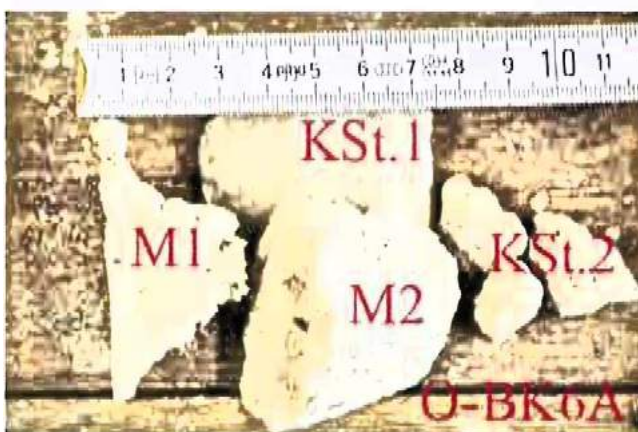


Bild A3.10: Bohrkern O-BK6A (Ø 70 mm): An der Oberfläche befindet sich eine tief reichende (bis 3 cm) Verfugung mit einem grauen, zementhaltigen Mörtel („M1“). Im Vergleich zum historischen Bestandsmauerwerk ist kein Gipsmörtel als Mauer- mörtel („M2“) vorhanden. Der Mörtel enthält Gesteinskörnungen bis etwa 8 mm Größtkorn. Im Bohrkern sind weiterhin dichter Kalkstein („KSt.1“) aus dem unteren Teil der Bohrung und sehr poröser Stein („KSt.2“) aus dem Dachgesims enthalten.

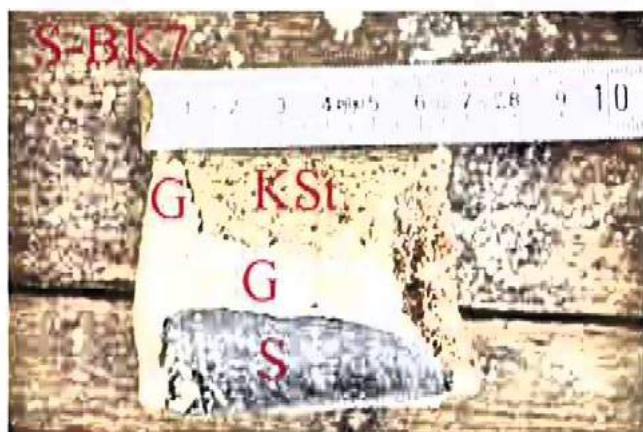


Bild A3.11: Bohrkern S-BK7 (Ø 70 mm): Der Gipsmörtel der Verfugung („G“) geht übergangslos (die Ablösung ist durch die Probenahme entstanden) in den Mauermörtel über. Die Gestaltung der Fuge und der angrenzenden Steinoberflächen könnte zeitgleich mit der Errichtung des Mauerwerks erfolgt sein.

Als Steinmaterial ist ein poröser Kalkstein („KSt.“) vorhanden. Schiefer („S“) dient als Abstandhalter in der Fuge.

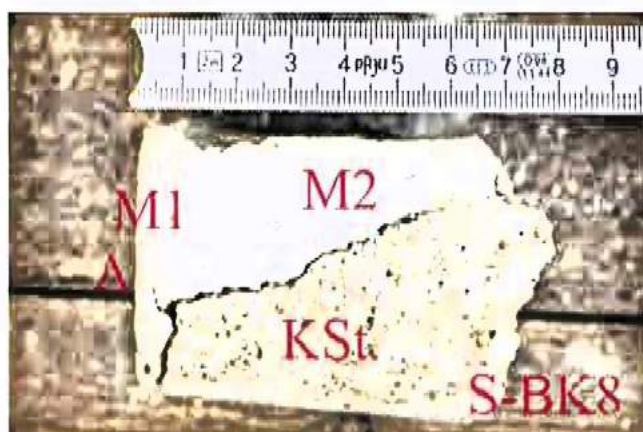


Bild A3.12 und A3.13: Bohrkern S-BK8 (Ø 70 mm): Unter einem feineren zementhaltigen Verfugmörtel („M1“) befindet sich ein grober Mörtel (Größtkorn etwa 8 mm – „M2“). Der Kalkstein („KSt.“) im Bereich der Probenahmestelle ist sehr porös.

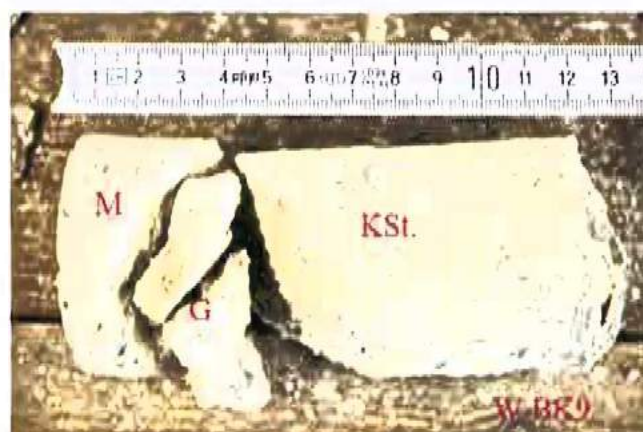


Bild A3.14: Bohrkern S-BK9 (Ø 70 mm): An der Oberfläche der Fuge befindet sich ein zementhaltiger Mörtel („M“). Darunter sind Reste eines Gipsmörtels („G“) vorhanden. Als Steinmaterial ist Kalkstein mit größeren Poren angetroffen worden.



Bild A3.15: Bohrkern S-BK10 (Ø 70 mm): An der Oberfläche der Fuge befindet sich ein zementhaltiger Mörtel („M“). Darunter ist als Mauermörtel Gipsmörtel („G“) vorhanden. Im Gipsmörtel befindet sich als Zwickelmaterial roter Sandstein („SSt.“). Als Steinmaterial ist Kalkstein („KSt.“) angetroffen worden.



Bild A3.16: Bohrkern O-BK13 (Ø 110 mm):
Zur Ermittlung von Orientierungswerten für die Druckfestigkeit wurden drei kleine Bohrkern (Ø 50 mm) quer entsprechend der Einbausituation (Belastungsrichtung) am Objekt herausgebohrt. Aus dem vorderen und hinteren Teil („W“) des Kernes sind Steinscheiben zur Ermittlung der kapillaren Wasseraufnahme herausgesägt worden.



Bild A3.17: Bohrkern O-BK14 (Ø 110 mm):
Zur Ermittlung von Orientierungswerten für die Druckfestigkeit wurden zwei kleine Bohrkern (Ø 50 mm) quer entsprechend der Einbausituation (Belastungsrichtung) am Objekt herausgebohrt. Aus dem vorderen Teil („W“) des Kernes ist eine Steinscheibe zur Ermittlung der kapillaren Wasseraufnahme herausgesägt worden.



Bild A3.18: Bohrkern O-BK15 (Ø 110 mm):
Zur Ermittlung von Orientierungswerten für die Druckfestigkeit wurden zwei kleine Bohrkern (Ø 50 mm) quer entsprechend der Einbausituation (Belastungsrichtung) am Objekt herausgebohrt. Aus dem vorderen Teil („W“) des Kernes ist eine Steinscheibe zur Ermittlung der kapillaren Wasseraufnahme herausgesägt worden.



Bild A3.19: Bohrkern O-BK16 (Ø 110 mm):
Zur Ermittlung von Orientierungswerten für die Druckfestigkeit wurden zwei kleine Bohrkern (Ø 50 mm) quer entsprechend der Einbausituation (Belastungsrichtung) am Objekt herausgebohrt. Aus dem vorderen und hinteren Teil („W“) des Kernes sind Steinscheiben zur Ermittlung der kapillaren Wasseraufnahme herausgesägt worden.



Bild A4.1: Anschlifffläche des Teilabschnittes 1 des Querschnittes (Oberfläche oben im Bild) der Natursteinprobe N-BK13; Von der Oberfläche beginnen sich bis zu 1,5 mm dicke Schichten abzuschalen. Rissartige Hohlräume sind mit bräunlichem Material gefüllt. (mit Pfeilen gekennzeichnete Stellen – siehe nachfolgende Bilder mit Detailansichten) Im Stein ist mehr Hohlräumigkeit vorhanden als von den Steinoberflächen zu erwarten wäre.



Bild A4.2: Detail 1 zu Bild A4.1: In die scheinbar beginnende Abschalung sind gut ausgebildete Kristalle (Pfeile) hineingewachsen. Somit war der Abriss mit hoher Wahrscheinlichkeit bereits im Ausgangsmaterial vorhanden und ist nicht während der Nutzung im Einbauzustand entstanden. die oberflächennahen Strukturen des hier dargestellten Steines erlauben einen schnellen Wassereintrag bei Schlagregenereignissen.



Bild A4.3: Detail 2 zu Bild A4.1: Ein Riss ist mit bräunlichem Material gefüllt. Auch hier ist davon auszugehen, dass die Füllung bereits im Ausgangsgestein vorhanden war. An der Oberfläche (Pfeil) befinden sich gut ausgebildete Kristalle.

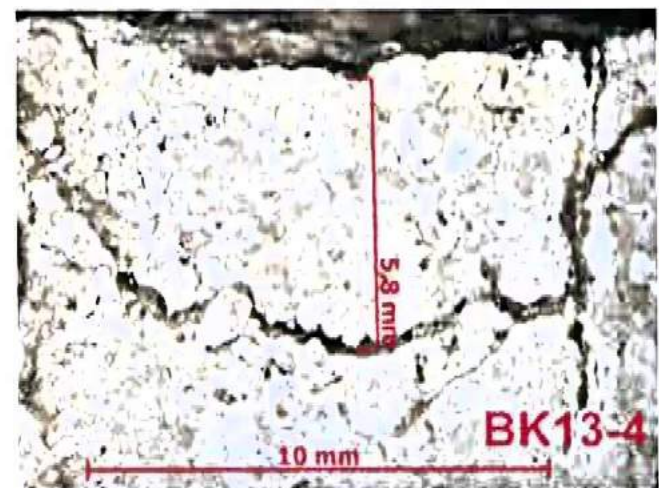


Bild A4.4: Anschlifffläche des Teilabschnittes 2 des Querschnittes (Oberfläche oben im Bild) der Natursteinprobe N-BK13: Ein Riss im dargestellten Teil reicht bis in etwa 6 mm Tiefe unter die Oberfläche. Die Entstehung ist möglicherweise durch die Bearbeitung vor dem Einbau in das Mauerwerk bedingt.



Bild A4.5: Anschließfläche des Teilabschnittes 3 des Querschnittes (Oberfläche oben im Bild) der Natursteinprobe N-BK13: Breitere Risse (teils mit Material gefüllt) sind oberflächennah vorhanden. Auffällig ist auch die partiell vorhandene größere Porigkeit (Pfeil).



Bild A4.6: Anschließfläche des Teilabschnittes 4 des Querschnittes (Oberfläche oben im Bild) der Natursteinprobe N-BK13: Der Porenanteil ist noch etwa größer als im vorherigen Bild. Das Gesamtpräparat hatte eine Länge von 10 cm. Die dargestellten Strukturen wechseln untereinander im Abstand weniger cm.



Bild A4.7: Anschließfläche des Teilabschnittes 1 des Querschnittes (Oberfläche oben im Bild) der Natursteinprobe N-BK14: Die Struktur des Steines ist sehr heterogen. Neben dichteren Bereichen befinden sich scheinbar (weiß bis gelblich) lockere Strukturen. Sichtbar sind auch größere Poren. Nach den sichtbaren Strukturen ist von einem erhöhten Wasseraufnahmevermögen bei Schlagregeneinflüssen auszugehen. An der Oberfläche aufliegende starke Verschmutzungen scheinen den Wasserzutritt aktuell etwas zu mindern.

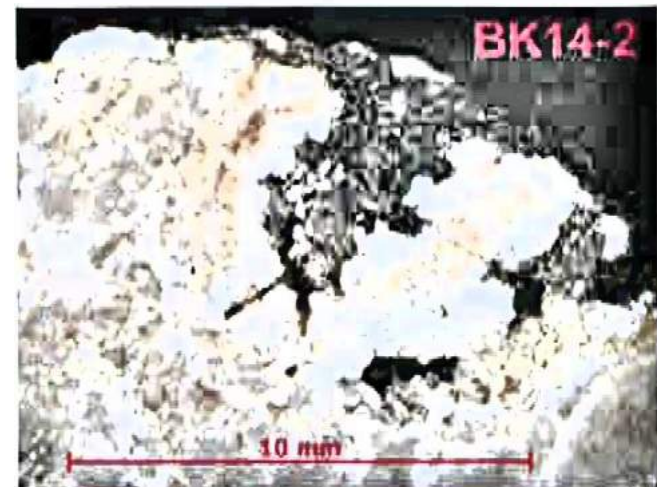


Bild A4.8: Anschließfläche des Teilabschnittes 2 des Querschnittes (Oberfläche oben im Bild) der Natursteinprobe N-BK14: Durch Anwitterung haben sich Oberflächenvergrößerungen ergeben. An den Oberflächen (helle Ränder) zeichnen sich Materialveränderungen ab. Möglich sind Umkristallisationen durch Kontakte mit Sulfaten aus Niederschlägen und / oder ehemals vorhandenen gipshaltigen Beschichtungen.

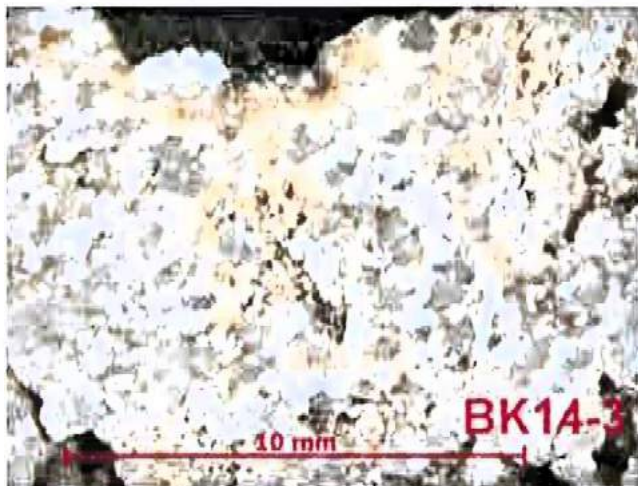


Bild A4.9: Anschlifffläche des Teilabschnittes 3 des Querschnittes (Oberfläche oben im Bild) der Natursteinprobe N-BK14; siehe Bild A4.7

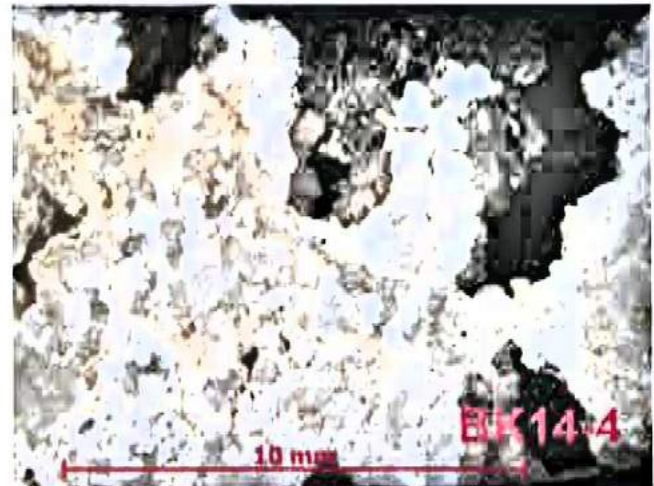


Bild A4.10: Anschlifffläche des Teilabschnittes 4 des Querschnittes (Oberfläche oben im Bild) der Natursteinprobe N-BK14; siehe Bilder A4.7 und A4.8

Das Gesamtpräparat hatte eine Länge von 10 cm. Die dargestellten Strukturen wechseln untereinander im Abstand weniger cm.



Bild A4.11: Anschlifffläche des Teilabschnittes 1 des Querschnittes (Oberfläche oben im Bild) der Natursteinprobe O-BK1 (rotbrauner Sandstein): Bereits bei der Probenahme lösten sich aufgrund von Instabilitäten mehrere dünne Schichten von den Sandsteinoberflächen. Erkennbar (z.B. an den mit Pfeilen gekennzeichneten Stellen) sind kurze Risse die scheinbar oberflächenparallel verlaufen und zu strukturellen Schwächen führen.



Bild A4.12: Anschlifffläche des Teilabschnittes 2 des Querschnittes (Oberfläche oben im Bild) der Natursteinprobe O-BK1 (rotbrauner Sandstein); siehe Bild A4.11



Bild A4.13: Anschlifffläche des Teilabschnittes 1 des Querschnittes (Oberfläche oben im Bild) der Natursteinprobe O-BK2 (rotbrauner Sandstein); siehe Bild A4.11



Bild A4.14: Anschlifffläche des Teilabschnittes 2 des Querschnittes (Oberfläche oben im Bild) der Natursteinprobe O-BK2 (rotbrauner Sandstein); siehe Bild A4.11

Auswahl typischer Bilder von Dünnschliffpräparaten (Dunkelfeldaufnahmen) – Natursteine



Bild A4.15: Dünnschliffpräparat aus dem rotbraunen Sandstein der Probe O-BK1: Bis zu Tiefen von etwa 4 mm sind hier feine, etwa oberflächenparallel verlaufende Risse vorhanden, siehe auch bild A4.16



Bild A4.16: Detail zu Bild A4.15: Die Rissverläufe sind mit Pfeilen gekennzeichnet. Rissbreiten bis etwa 0,1 mm werden erreicht. Die Art und das Ausmaß der Risse zeigen an, dass auch nach dem Entfernen von sehr lockeren Schichten noch mit Steinschäden gerechnet werden muss.



Bild A4.17: Dünnschliffpräparat aus dem rotbraunen Sandstein der Probe O-BK2: siehe Bild A4.15



Bild A4.18: Detail 1 zu Bild A4.17: siehe Bild A4.16



Bild A4.19: Detail 1 zu Bild A4.17: Die Einzelkörner im Sandstein erreichen Durchmesser bis zu 0,5 mm. Die rotbraune Färbung ist durch das ferritische Bindemittel im Sandstein bedingt.

Auswahl typischer Bilder von Dünnschliffpräparaten (Dunkelfeldaufnahmen) – Reste von Beschichtungen auf Steinoberflächen

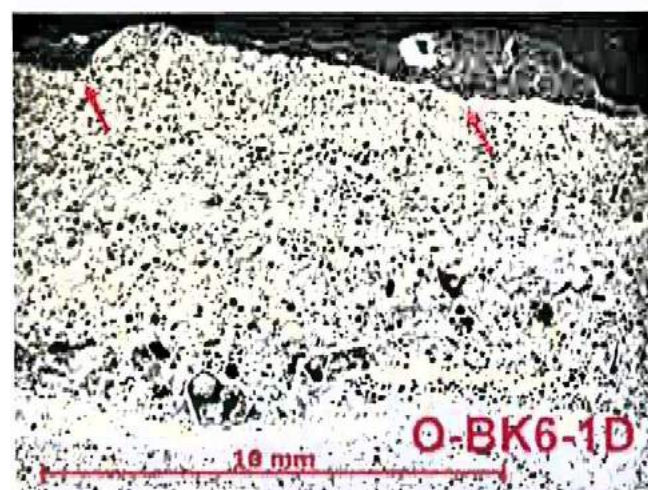


Bild A4.20: Dünnschliffpräparat aus dem Naturstein der Probe O-BK6: Das Carbonatgestein besitzt überwiegend eine sehr feine geschlossenporige Struktur. Diese wechselt lagenweise auch mit dichteren Strukturen. An der Steinoberfläche befinden sich Reste (siehe Pfeile) von Beschichtungen.



Bild A4.21: Detail 1 zu Bild A4.20: In einer Vertiefung an der Oberfläche der Probe O-BK6 befindet sich der Rest eines Gipsmörtels.



Bild A4.22: Detail 2 zu Bild A4.20: wie Bild A4.21



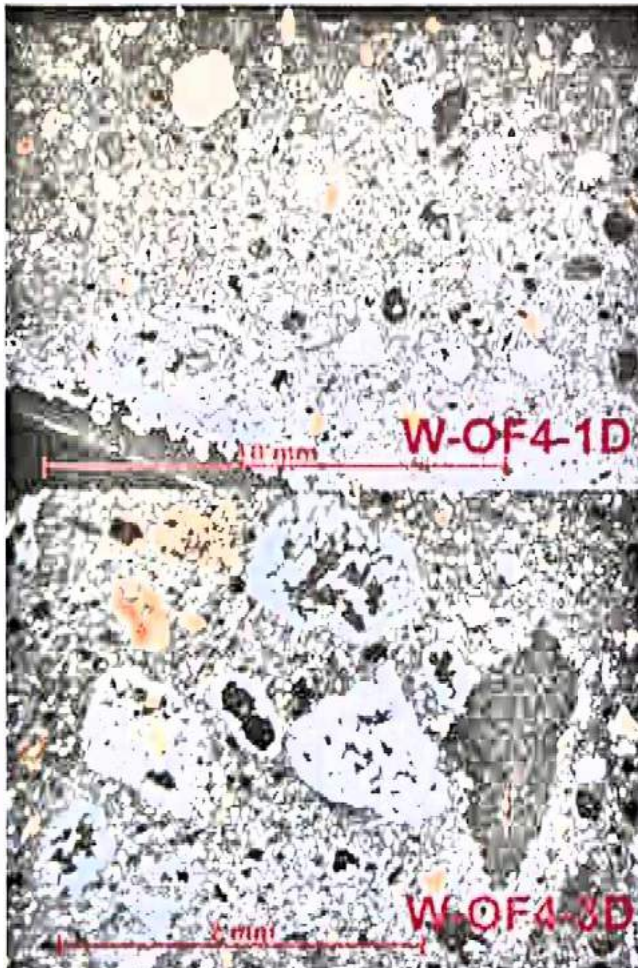
Bild A4.23: Dünnschliffpräparat Teilprobe 1 aus der Probe O-OF2: Die Probe stammt aus einer von einer Kalksteinoberfläche entnommenen Beschichtung. Die Beschichtung ist nach der Erscheinungsform als Gipsmörtel einzuordnen.



Bild A4.24: Dünnschliffpräparat Teilprobe 2 aus der Probe O-OF2: wie A4.23



Bild A4.25: Dünnschliffpräparat Teilprobe 3 aus der Probe O-OF2: wie A4.23



Bilder A4.26 bis A4.28: Dünnschliffpräparat aus der Probe W-OF4: Die Probe stammt aus einer Beschichtung, die von einer Kalksteinoberfläche entnommen wurde. Die Beschichtung ist nach der Erscheinungsform als Gipsmörtel einzuordnen,

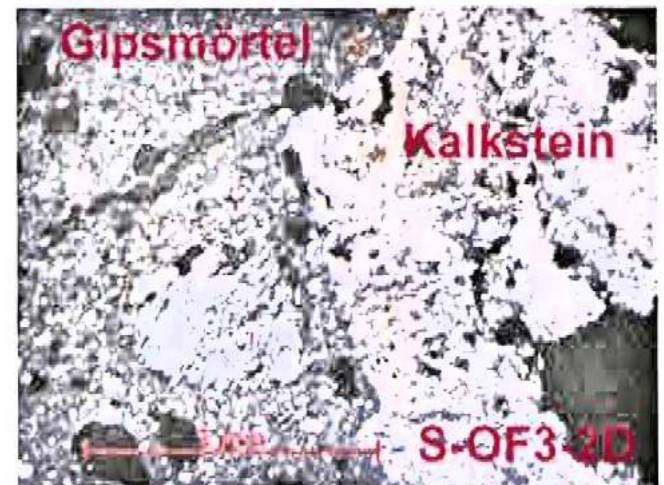


Bild A4.29: Dünnschliffpräparat der Probe S-OF3: Es handelt sich um einen Gipsmörtel. Auffällig sind die farblichen Veränderungen bis zu einer Tiefe von etwa 5 mm (ehemalige Oberfläche links im Bild). Es davon auszugehen, dass dieser Tiefenbereich häufiger durchfeuchtet war (Westexposition) und dadurch die Veränderungen bedingt sind. Der Kontaktbereich zur Steinoberfläche (rechts im Bild) wurde scheinbar nicht oder nur selten durchfeuchtet.

Bild A4.30: Detailansicht zu Bild A4.29: Bei der Probeentnahme erfolgte der Abbruch unter der Steinoberfläche (recht im Bild). Somit ist von einem guten Verbund auszugehen. Schwächen zeigt hier eher der Stein oberflächennah.

Auswahl typischer Bilder von Dünnschliffpräparaten (Dunkelfeldaufnahmen) – Mörtel



Bilder A4.31 und A4.32: Dünnschliffpräparat der Mauermörtelprobe O-BK1.2: Die Probe stammt aus dem Bereich unmittelbar hinter einem Sandsteingesims. Anhaftend (rechts im rechten Bild) sind noch Reste des Sandsteines. Es handelt sich um einen Gipsmörtel mit sehr hohen Gipsanteilen. Gesteinkörnungen (Zuschläge) wurden dem Mörtel nicht zugesetzt. Die sichtbaren gröberen Partikel (bis etwa 2,5 mm Durchmesser) stammen aus dem Bindemittel.

Die hier dargestellte Mörtelstruktur ist typisch für die meisten Mauermörtel des historischen Bestandsmauerwerkes am Rathaus. Unterschiede können sich durch unterschiedliche Brenncargen, durch Kohleanteile oder andere Anteile gröberer Partikel ergeben.

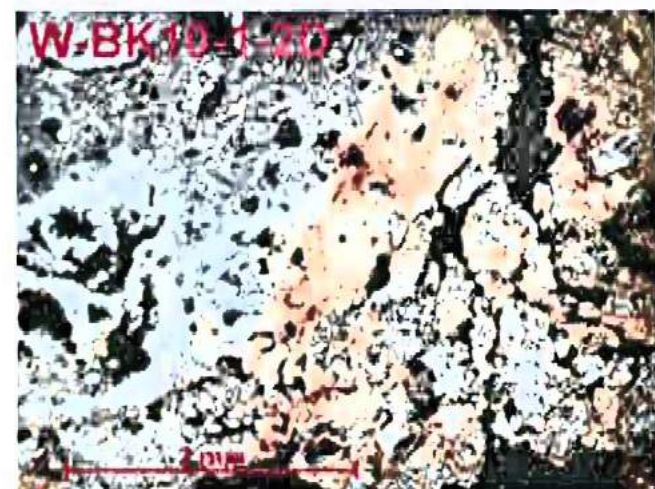
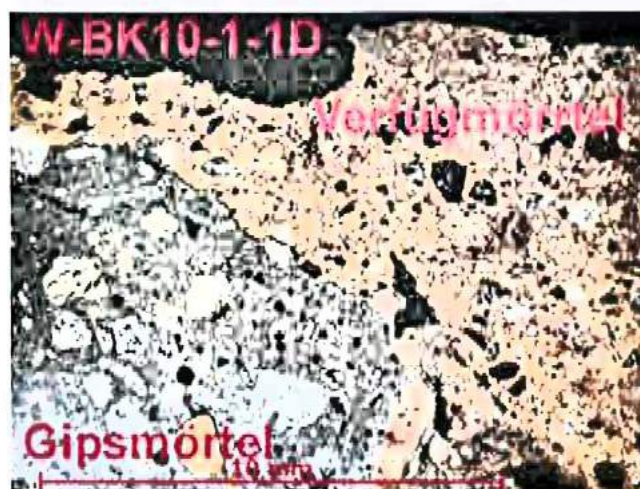


Bild A4.33: Dünnschliffpräparat Teilbereich 1 der Probe W-BK10.1: Ein Gipsmörtel in einer Fuge (links unten im Bild) wurde mit einem anderen Mörtel überarbeitet. Im Kontaktbereich zwischen den beiden Mörteln befindet sich ein Riss. Ob dieser Abriss bereits vorhanden war oder durch die Probenentnahme entstand, ist unklar.

Bild A4.34: Detail zu Bild A4.33: Detailansicht zu Bild A4.33: Die partiell vorhandene rote Färbung stammt von Sandsteinmaterial, das im Probenahmebereich als Zwickel vorhanden war.

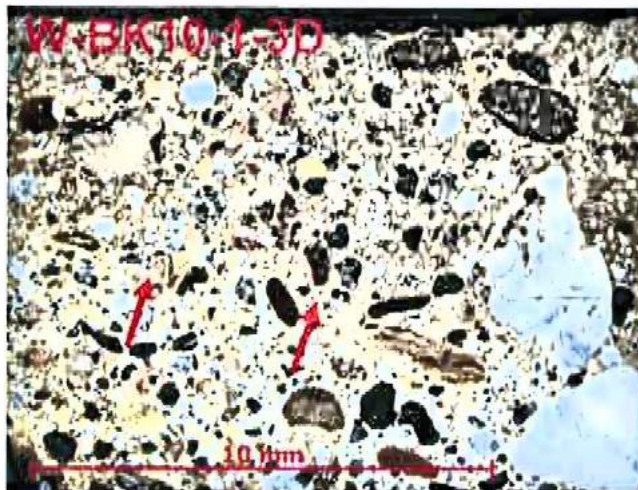


Bild A4.35: Dünnschliffpräparat Teilbereich 2 der Probe W-BK10.1: Im Verfugmörtelprofil deutet sich eine Zweilagigkeit an.

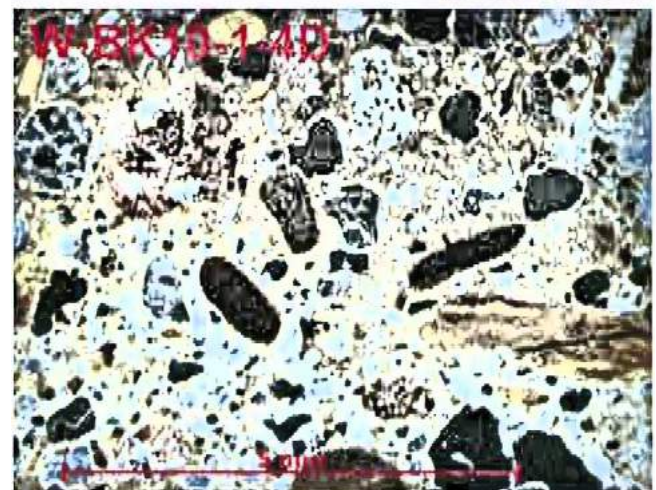


Bild A4.36: Detailansicht 1 zu Bild A4.35: Zwischen den beiden farblich unterschiedlichen Bereichen ist keine Schichtgrenze erkennbar. Somit ist der Effekt durch Anwitterung entstanden oder verarbeitungsbedingt. Eine Zweilagigkeit liegt nicht vor.

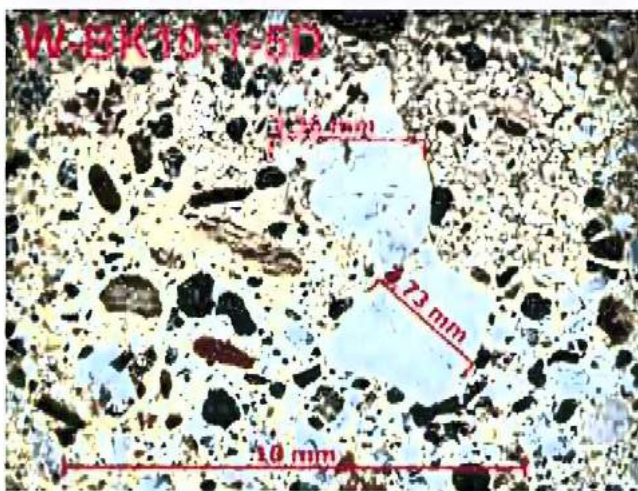


Bild A4.37: Detailansicht 1 zu Bild A4.35: In beiden Bereichen sind gleiche Gesteinskörnungen im Mörtel vorhanden. Diese erreichen etwa 3 bis 4 mm Größtkorndurchmesser.



Bilder A4.38 und A4.39: Dünnschliffpräparat Teilbereiche 1 und 2 der Mauermörtelprobe W-BK10.2: Die Probe besitzt typische Merkmale historischer Gipsmörtel.



Bild A4.40: Dünnschliffpräparat Teilbereich 1 der Probe O-BK3.1: Ein Gipsmörtel (links oben im Bild) in einer Fuge wurde mit einem anderen Mörtel überarbeitet. Im linken unteren Bildteil sind Schieferreste eines Abstandshalters vorhanden. Die ehemalige Oberfläche ist am rechten Bildrand erkennbar. Es deuten sich zwei Mörtelschichten an. Die äußere Schicht reicht bis etwa 5 mm Tiefe.

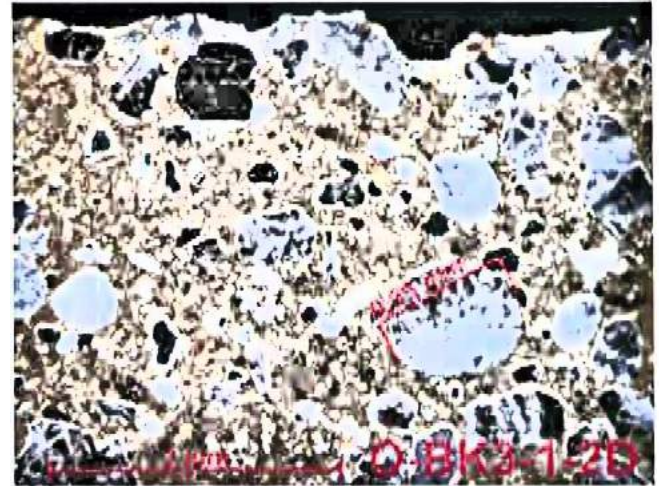


Bild A4.41: Detail 1 – obere Mörtelschicht – zu Bild A4.40: Die Gesteinskörnungen erreichen ein Größtkorn von etwa 1 mm und bestehen überwiegend aus Quarzsanden.

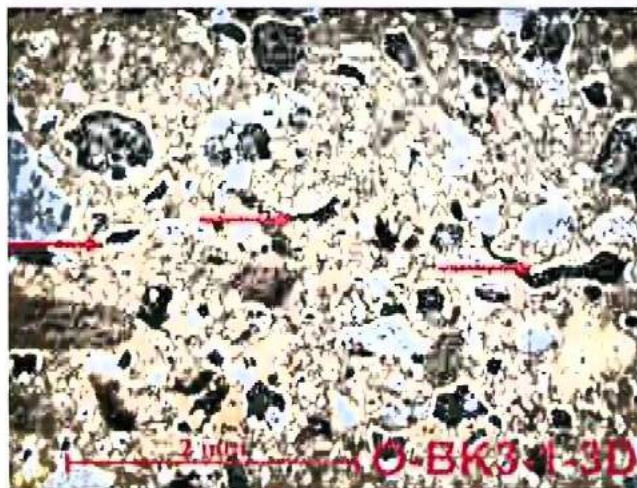
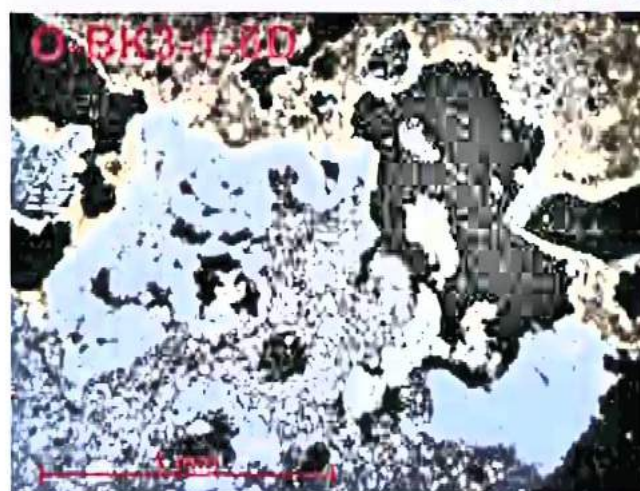
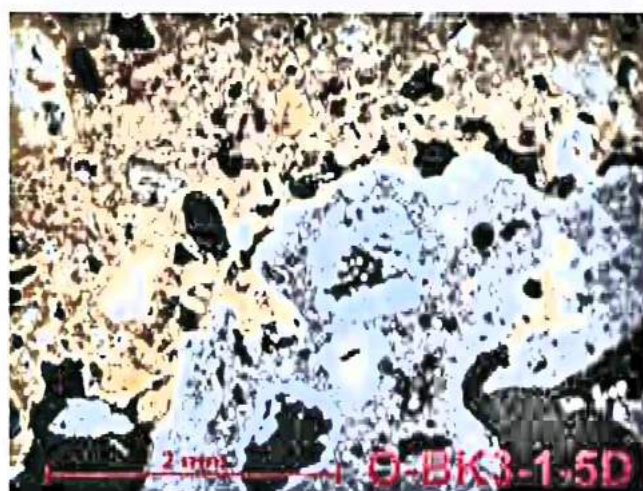


Bild A4.42: Detail 2 – Übergang zwischen den Mörtelschichten – zu Bild A4.40: Zwischen den Mörtelschichten befinden sich längliche Poren. Grenzschichten am unteren Mörtel, die auf längere Standzeiten vor der weiteren Überarbeitung hindeuten, sind nicht erkennbar. Somit erfolgte die Verarbeitung der Mörtel frisch in frisch.



Bild A4.43: Detail 3 – untere Mörtelschicht – zu Bild A4.40: Die Gesteinskörnungen erreichen ein Größtkorn von etwa 2 mm und enthalten hohe Anteile unterschiedlicher farbiger Gesteinskrönungen. Damit unterscheidet sich der Mörtel signifikant vom Mörtel darüber. (siehe auch Bild A4.41)



Bilder A4.44 und A4.45: Detailansichten zum Verbund zwischen Gipsmörtel und Neuverfugung – Probe O-BK3.1: Erkennbar sind nur punktuelle Anbindungen und partiell veränderte Strukturen im Gipsmörtel. Chemische Wechselwirkungen zwischen beiden Mörtelarten sind nicht auszuschließen.

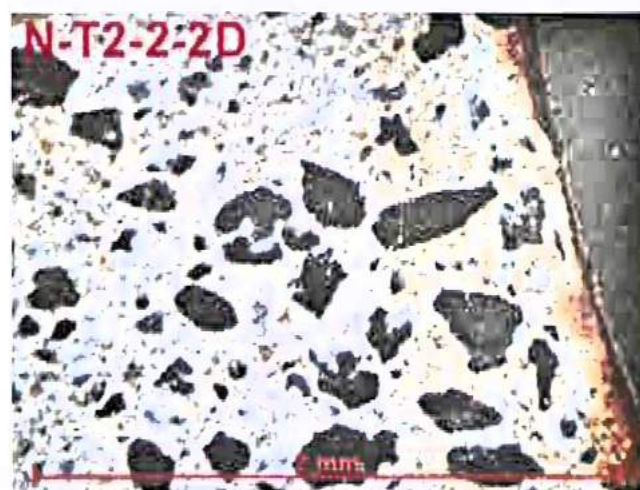
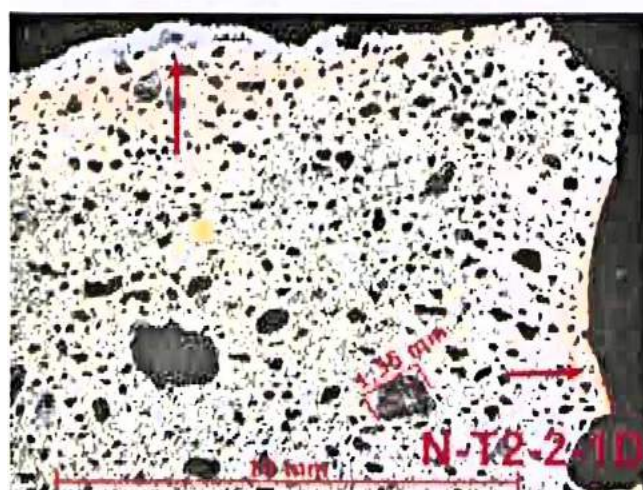


Bild A4.46: Dünnschliffpräparat der Zementmörtelprobe N-T2.2: Der Mörtel ist sehr bindemittelreich. Einige strukturelle Veränderungen (oben und rechts im Bild) zeigen die nachfolgenden Details.

Bild A4.47: Detail 1 zu Bild A4.46: Der rechts Teil stand im Kontakt zu einem Eisenstab der „Entfeuchtungsanlage“. Eisenverbindungen sind auch in den Mörtel eingedrungen. Es deuten sich strukturelle Veränderungen im Mörtel mit Zunahme des Abstandes von der Kontaktzone an.

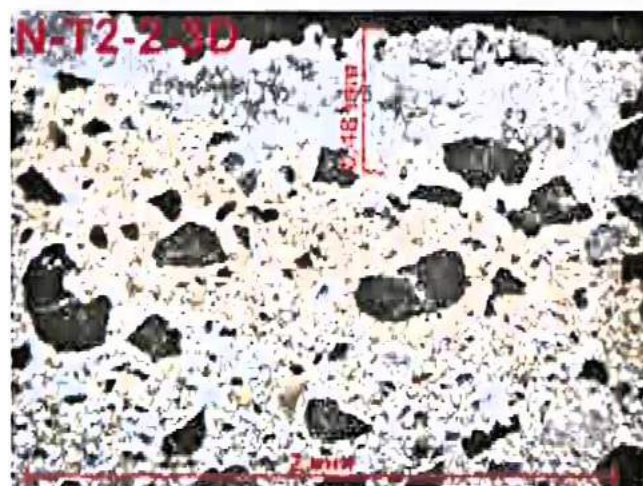


Bild A4.48: Detail 2 zu Bild A4.46: Am oberen Rand des Mörtels hat sich eine stark veränderte Zone gebildet. Sie erreicht eine Dicke von etwa 0,5 mm. Es ist davon auszugehen, dass Wechselwirkungen zwischen Zementmörtelbestandteilen und Bestandsmörteln stattgefunden haben. Möglich sind aber auch Veränderungen durch den Betrieb (elektrisches Feld) der genannten Anlage.