

## **Die jüngsten Restaurierungsmaßnahmen am Bremer Rathaus - eine Betrachtung aus materialkundlicher Sicht –**

*Herbert Juling (MPA Bremen)*

### **1. Einleitung**

Im Frühjahr 2003 wurden die Restaurierungsmaßnahmen an der Renaissance-Fassade des mittlerweile unter dem Schutz der UNESCO als Weltkulturerbe gestellten Bremer Rathauses abgeschlossen. Im Vordergrund stand dabei nicht die Erneuerung akut gefährdeter Bereiche, sondern eine prophylaktische Schließung von Fehlstellen zur Vermeidung fortschreitender Verwitterung. Der ein oder andere Bremer mag enttäuscht gewesen sein, weil nach dem Abbau des Schutzgerüsts keine auf den ersten Blick erkennbare Fassadenerneuerung auffiel. Aus denkmalpflegerischer Sicht allerdings war der Auftrag zur Zufriedenheit erfüllt.

Für die Konsolidierung des Mauerwerks wurden ausschließlich Luftkalk gebundene Materialsysteme verwendet. Dieses Material stellt hohe Ansprüche an die Verarbeitung, weist aber bauhistorische und baustoffkundliche Vorteile gegenüber zementgebundenen oder hochhydraulischen Mörtelmaterialien auf.

Um Daten über das Langzeitverhalten der eingebrachten Mörtel zu gewinnen und eine Bewertung von Vor- und Nachteilen der durchgeführten Restaurierung auf sachlicher Basis zu gewährleisten, ist eine über das normale Maß einer rein makroskopischen Beobachtung hinausgehende systematische Untersuchung geplant.

Es sollen Daten über das Langzeitverhalten der verwendeten kalk-gebundenen Materialsysteme gewonnen werden (Monitoring). Ausgehend von der Erfassung des Ausgangszustandes der verwendeten Materialien werden zerstörungsfreie/-arme Messungen durchgeführt und bei makroskopisch sichtbaren Veränderungen Kleinproben für die mikroskopische Analyse entnommen.

Das Objektmonitoring wird durch die Ermittlung technologischer Kennwerte an Prüfkörpern im Labor abgerundet.

Durch die systematische Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Verarbeitung und Eigenschaftsentwicklung dieses historischen Materials ist ein technologischer Fortschritt insbesondere auch für die Erhaltung anderer historischer Denkmäler Bremens zu erwarten.

Durch ein rechtzeitiges Erkennen von Veränderungen am Bauwerk und hieraus resultierend, die zeitnah zu veranlassenden Wartungsarbeiten mit Verwendung geeigneter und geprüfter Restaurierungsmaterialien wird die Nachhaltigkeit der Restaurierungsmaßnahmen erzielt.

## 2. Baustoffkundliche Aspekte

Zur Erbauungszeit unserer heutigen Kulturdenkmäler kam in erster Linie als Mauer- und Verfumörtel reiner Kalkmörtel zum Einsatz. Die Erhärtung dieses Material erfolgt chemisch durch die sog. Karbonatisierung, d.h. die Bildung von Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) aus dem Calciumhydroxid ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) des gelöschten Kalkes und dem Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) der Luft. Daher bezeichnet man diesen Baustoff auch als *Luftkalkmörtel*. Die Karbonatisierung, also die Bildung eines dauerhaften Bindemittels, benötigt allerdings relativ viel Zeit.

Demgegenüber stehen sog. *hydraulische Kalkmörtel*, deren bewusster Einsatz im 19. Jahrhundert erfolgte. Im Gegensatz zu den Luftkalkmörteln wird das Bindemittel teilweise oder ganz durch die chemische Reaktion mit Wasser gebildet (Hydratation). Im Mörtelmaterial vorhandene reaktive Calciumsilikate (CS-Phasen) bilden mit Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) schwerlösliche Calciumsilikathydrate (CSH). Für diese Reaktion ist kein Kohlendioxid der Luft notwendig, so dass die Aushärtung auch unter Wasser erfolgen kann. Aus diesem Grunde spricht man von einer *hydraulischen Reaktion*, die gegenüber der Karbonatisierung sehr viel schneller verläuft.

Es gibt *natürlich hydraulische Mörtel*, die bereits im Rohstoff des Kalksteins hydraulische Faktoren wie z.B. tonige Einschlüsse enthalten. Aber auch Kalk aus gebrannten Muscheln kann durch tonige Verunreinigungen während des Brennprozesses leicht hydraulisch sein. Trasskalk, der gemahlenes puzzolanisches Vulkangestein enthält, zählt ebenfalls zu den natürlich hydraulischen Kalken.

Ende des 19. Jahrhunderts wurden den Mörteln aber auch durch die Zugabe von Zement bewusst hydraulische Anteile zugegeben, wobei sich bei diesen *Kalk-Zement-Mörteln* die Aushärtzeit weiter erniedrigte und die Festigkeit erhöhte. Die in den damaligen Zementen vorhandene Alkalien riefen allerdings häufig unerwünschte chemische Reaktionen mit der originalen Bausubstanz hervor (Treiberschäden), weshalb die Verwendung von Zement bis heute in der Denkmalpflege mit Argwohn betrachtet wird. Allerdings sind in den heutigen modernen Zementen weniger Alkalien enthalten, als in vielen natürlichen Kalken, so dass der Vorbehalt bezüglich dieses Argumentes nicht mehr begründbar ist.

Für die Erhaltung und Pflege historischer Bauwerke kommen heute überwiegend moderne Kalk-Zement-Mörtel oder hydraulische Kalke zum Einsatz. Der Vorteil dieser Systeme liegt in der schnellen Abbinde- und Verarbeitungszeit, die den Forderungen der heutigen Bautechnik entsprechen. Nachteilig sind aber bei historischen Gebäuden oftmals die gegenüber den ursprünglichen Materialien sehr viel höheren Endfestigkeiten, weshalb es durch mechanische und thermisch/hygrische Wechselwirkung mit dem Mauerwerk zu erheblichen Problemen kommen kann. Grundsätzlich besteht in der bautechnischen Sichtweise die Auffassung, dass der eingebrachte Mauer- oder Fugmörtel (das gilt auch für aufgetragene Putze) eine geringere Festigkeit als die Mauersteine aufweisen sollten. Das spielt insbesondere bei im norddeutschen Raum häufig verwendetem Ziegelmauerwerk eine Rolle, weil der Anteil des Fugenmaterials im Mauerwerk relativ hoch ist. Außerdem weisen historische Ziegel gegenüber der heutigen Herstellung geringere Rohdichten und Festigkeiten auf. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, Fugenmaterial mit vergleichbarer Endfestigkeit zu verwenden, was bei zementgebundenen Systemen schwer zu erreichen ist.

Darüber hinaus besteht auch bei der Denkmalpflege Wunsch, ein ursprünglich verwendetes Materialsystem (in den meisten Fällen auf reiner Luftkalk gebundener Basis) zu verwenden.

Die Dauerhaftigkeit von Kalkmörteln und damit die Nachhaltigkeit einer Sanierung sind bisher jedoch nur unzureichend untersucht. Hinzu kommt, dass die Verarbeitung dieses historischen Materials hohe handwerkliche Ansprüche an die ausführende Firma stellt. Um so erfreulicher ist die Tatsache, dass sich jetzt mit der Beobachtung der Rathausfassade die Möglichkeit von systematischen Untersuchungen zu diesen Aspekten bietet.

Die bisherige Erfahrung bei der Verwendung von reinen Kalkmörtelsystemen zeigt, dass im mikroskopischen Gefügebild eine charakteristische Entwicklung von Schrumpfrissen beobachtet werden kann. Abb. 2 zeigt das Gefügebild eines mit modernen Methoden hergestellten Sumpfkalkmörtels (Dünnschliff im Lichtmikroskop) mit einem ausgeprägten Netzwerk an Schrumpfrissen in der Bindemittelmatrix, das die Eigenschaften des Mörtels negativ beeinflusst.

Dieser Befund steht im Widerspruch zu den ebenfalls zu beobachtenden rissfreien und dichten Gefügen von zum Teil mehreren hundert Jahren alten historischen Kalkmörteln. In Abb. 1 ist zum Vergleich ein solches Gefügebild gezeigt. Es zeichnet sich durch ein dichtes karbonatisches Bindemittel ohne nennenswerte Rissbildungen aus.

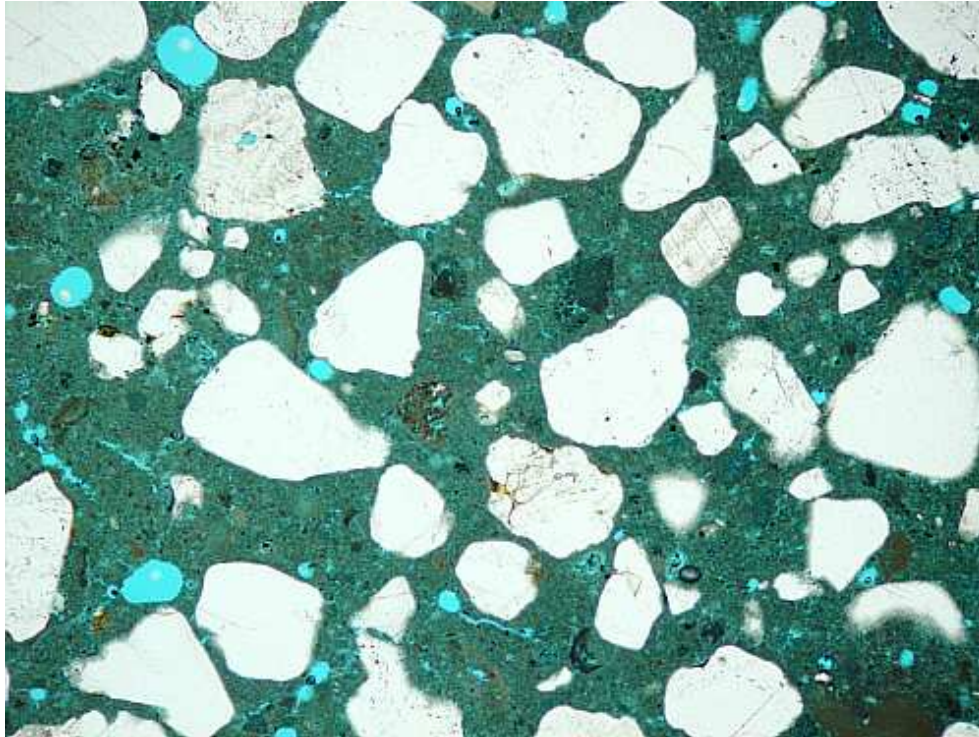


Abb. 1: Gefüge eines ca. 300 Jahre alten historischen Luftkalkmörtels im Lichtmikroskop [Bildbreite: 2,6 mm]  
Zwischen den hellen Zuschlagskörnern (Quarzsand) ist das dunkler erscheinende karbonatische Bindemittel zu erkennen.

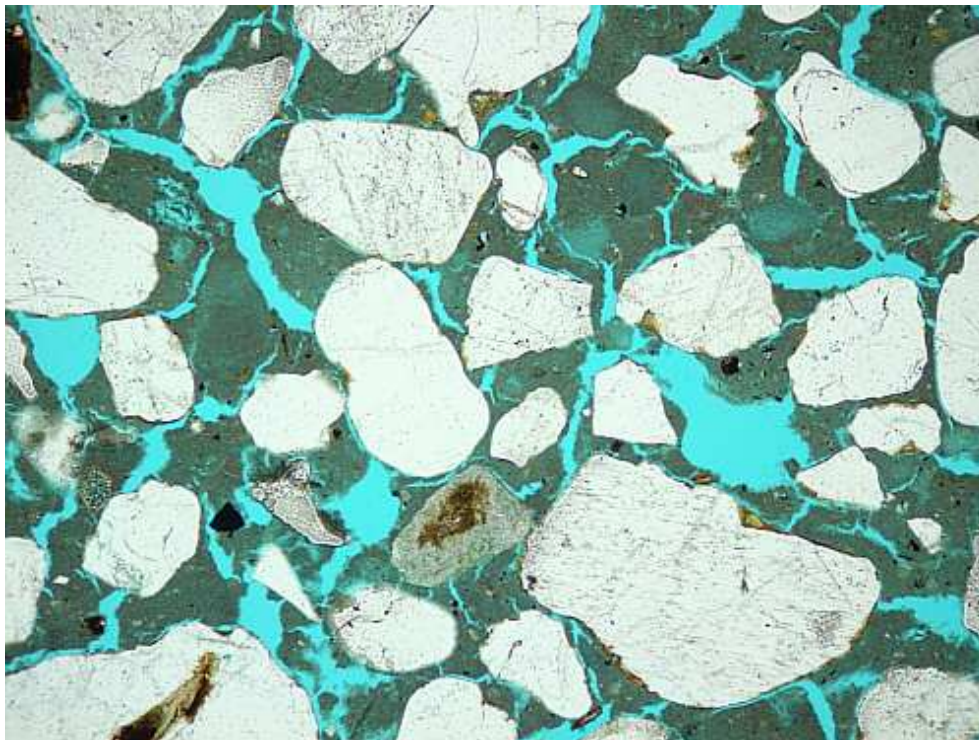


Abb. 2: Gefüge eines neu hergestellten Sumpfkalkmörtels im Lichtmikroskop [Bildbreite: 2,6 mm]  
Das Bindemittel weist ein ausgeprägtes Netz an Schrumpfrissen auf.



Erste mikroskopische Untersuchungen an den am Bremer Rathaus verwendeten Mörteln zeigen eine erstaunlich gute Bindemittelentwicklung ohne übermäßige Schrumpferscheinungen. Der verwendete Kalk ist mit geringen Anteilen an natürlichen Zusätzen versetzt (Ziegelmehl, Talkum, u.a.), die die Bindemittelentwicklung offenbar positiv beeinflusst haben. Systematische Untersuchungen zu diesen Effekten liegen allerdings noch nicht vor.

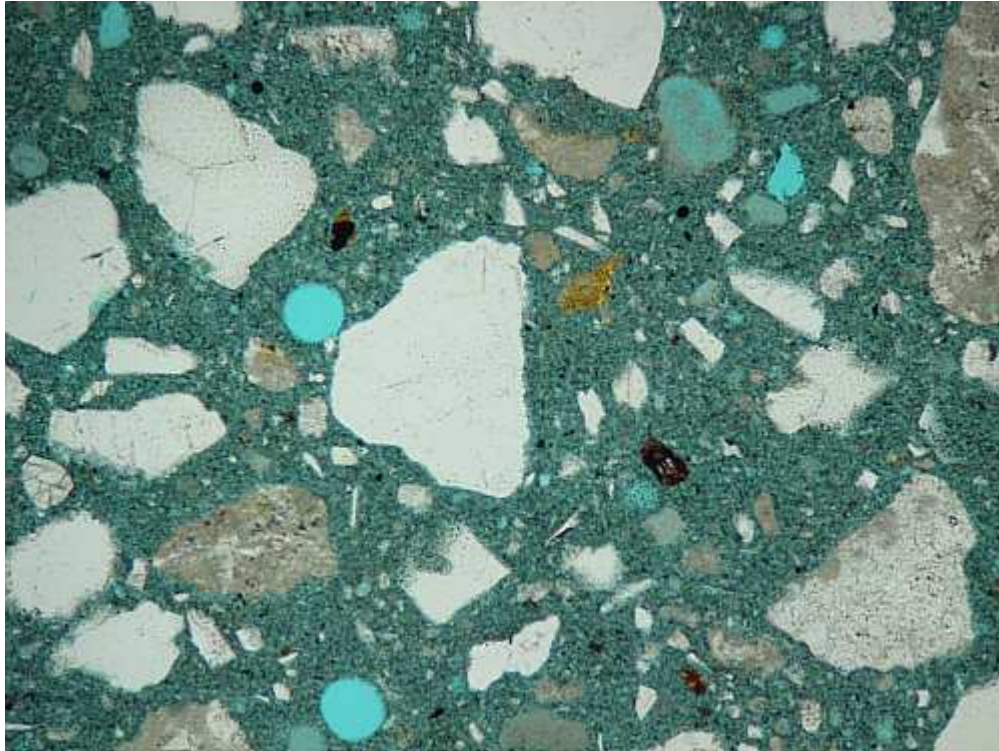


Abb. 3: Gefüge des am Bremer Rathaus verwendeten Kalkmörtels im Lichtmikroskop [Bildbreite: 2,6 mm]  
Das Bindemittel ist frei von Schrumpfrissen. Auch die geringen Mengen natürlicher Zusätze (z.B. Ziegelmehl) sind als rote Partikel im karbonatischen Bindemittel erkennbar. Außerdem zeichnet sich der Mörtel kreisrunde Luftporen aus (hier während der Präparation mit blauem Kunstharz gefüllt), ähnlich wie beim historischen Mörtel in Abb. 1.

Durch solche mikroskopischen Untersuchungen können wesentliche Eigenschaftsmerkmale von Mörteln definiert und interpretiert werden. Im konkreten Fall des Bremer Rathauses ist es darüber hinaus möglich, im Gefügebild eindeutig zu erkennen, ob die entstehenden Haarrisse durch Schrumpfung des Mörtels oder durch mechanische Beeinflussung (z.B. Erschütterungen der nahe vorbeifahrenden Straßenbahnen) entstanden sind.

Es existieren bislang kaum systematische Untersuchungen, auf welche Weise natürliche Zusätze und die handwerkliche Verarbeitung die Erhärtung des Frischmörtels und die Festmörteleigenschaften beeinflussen. Aus den Kalkmörteln heutiger Fertigung heben sich

nur in Ausnahmefällen einige durch ein schwindrissfreies Gefüge hervor. Der Einfluss der Verarbeitungsmethoden ist dabei jedoch noch nicht hinreichend untersucht.

### **3. Monitoring der Mörtelmaterialien**

Seit 2003 besteht eine Kooperationsvereinbarung zwischen dem Landesamt für Denkmalpflege Bremen, der Amtlichen Materialprüfungsanstalt (MPA) Bremen und dem Zentrum für Materialkunde im Kulturgüterschutz (ZMK) Hannover. Im Rahmen dieser Zusammenarbeit stehen die Kooperationspartner dem Landesamt für Landesdenkmalpflege für materialkundliche Fragenstellungen zur Seite. Ein erstes Vorhaben war dabei die Langzeitbeobachtung (Monitoring) der bei der jüngsten Restaurierung eingebrachten Mörtelmaterialien in das Mauerwerk des Bremer Rathauses.

Die Fassade des Bremer Rathauses zeichnet sich durch eine große Anzahl neuerer und alter Ver fugungen aus. Zum Teil können selbst die in der jüngsten Sanierungsmaßnahme ein- oder aufgetragenen Fugenmörtel von dem historischen Material bzw. den Maßnahmen vorheriger Restaurierungen kaum unterschieden werden (Abb. 4).



Abb. 4: Detailaufnahme eines Mauerwerksbereichs des Bremer Rathauses  
Das Fugennetz zeichnet sich durch eine große Vielzahl verschiedener  
Materialien aus älteren und jüngeren Restaurierungsmaßnahmen aus.



Es wurden z. T. großflächige, bis einige Zentimeter tiefe, Fehlstellen mit mehrlagigem Kalkputzauftrag neu aufgebaut. Dabei wurde dieser Mörtel pigmentiert oder die Farbigkeit durch Auftrag von Kalkschlämmen als Retuschen erreicht. Auf diese Weise wurden sowohl rote Ziegelsteine als auch schwarz glasierten Steine nachgestellt. Auch breite Risse im Mauerwerk wurden durch Mörtelergänzungen geschlossen und farblich angepasst (Abb. 5). Dabei hat zunächst insbesondere die schwarze Pigmentierung Probleme bereitet.



Abb. 5: In einigen Bereichen sind größere Fehlstellen durch mehrlagigen Auftrag von Kalkmörtelmaterial geschlossen worden. Dabei ist die Originalfarbigkeit durch Pigmentierung des Mörtels selbst oder durch Auftrag einer dünnen farbigen Schlämme erreicht worden

Bereits nach kurzer Zeit traten teilweise an einigen Fugenflanken Haarrisse auf. Hierbei ist allerdings noch zu klären, ob diese Risse auf Grund einer Schrumpfung des Mörtelmaterials oder durch mechanische Schwingungen, insbesondere durch die häufig vorbeifahrenden Straßenbahnen direkt am Bremer Rathaus, entstanden sind.

Als Grundlage für eine Langzeitbeobachtung liegen umfangreiche Dokumentationen des Ausgangszustandes hinsichtlich der zu konsolidierenden Schäden und die daraus abgeleiteten Instandsetzungsmaßnahmen aus dem Jahre 2002 vor.

Zusätzlich liegen Ergebnisse aus Untersuchungen von unterschiedlich pigmentierten Kalkmörtel verschiedener Körnungen (0,1; 0,2 und Staubkalk) der West- und Südfassade vor.

Die MPA Bremen hat bereits in Zusammenarbeit mit dem Landesamt für Denkmalpflege Fotodokumentationen von ausgewählten Monitoringfeldern in den Jahren 2003 und 2004 auf der Grundlage der vorliegenden Unterlagen durchgeführt. In Abb. 7 ist eine Stelle gezeigt, die nach einem Jahr deutliche Feinrisse in der Fuge zeigte.

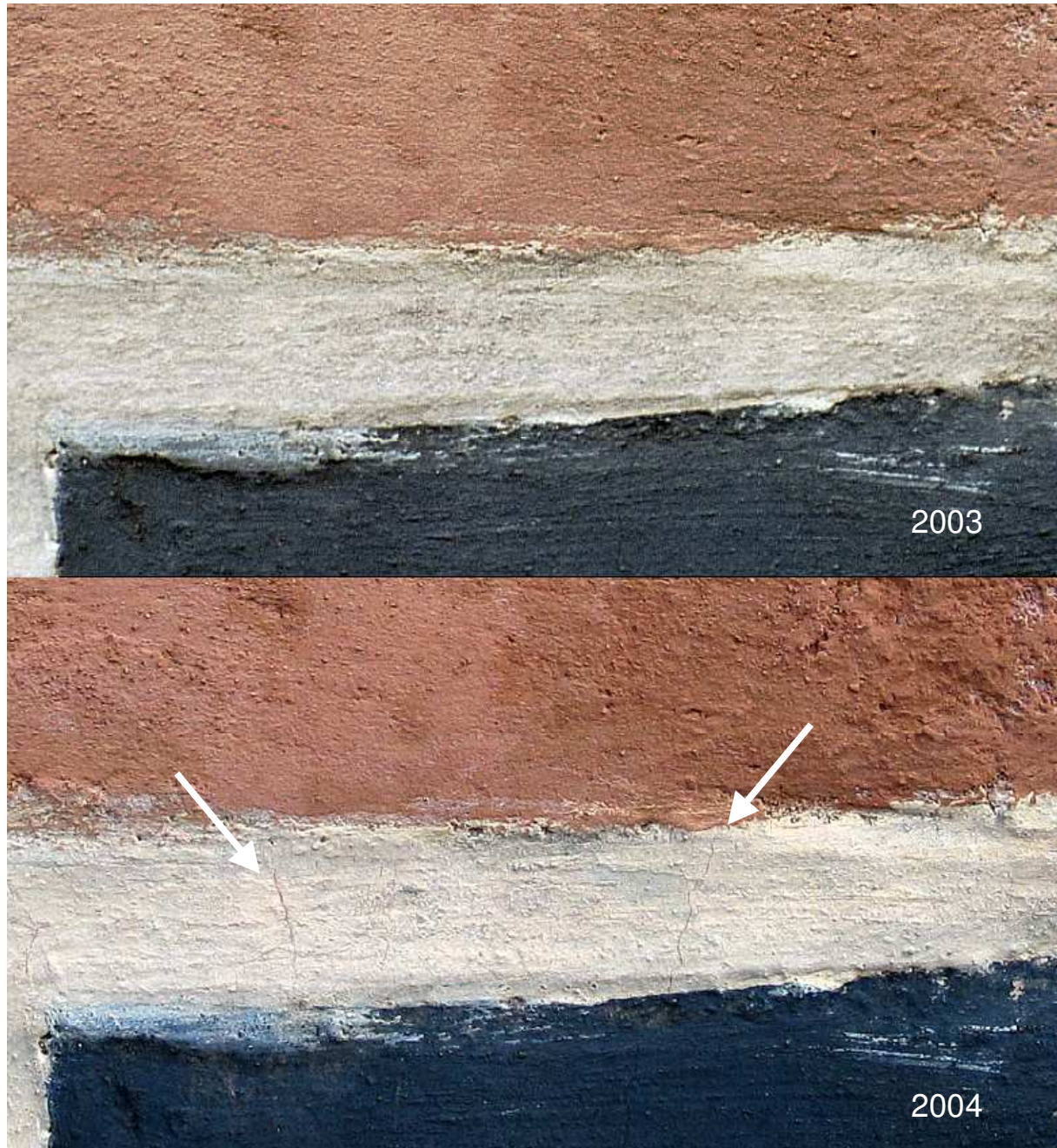


Abb. 7: Vergleich einer neuen Fuge durch Makroaufnahmen derselben Stelle aus den Jahre 2003 und 2004. Es sind deutliche Haarrisse entstanden (Pfeile), deren Ursache durch mikroskopische Untersuchungen geklärt werden kann.

Neben den Rissentwicklungen sollen auch Farbveränderungen in die Beurteilung des Monitorings mit einbezogen werden. Dazu bedarf es zusätzlich zu den Fotografien mehrmaliger Kartierungen an ausgewählten Partien. Mit derartigen in der Denkmalpflege üblichen gezeichneten Detaildarstellungen, werden Veränderungen und Entwicklungen mit



restauratorischen Interpretationen festgehalten, die den reinen Fotografien nur schwer zu entnehmen sind.

Ausgehend von den dokumentierten Ausgangszuständen werden Restaurierungsschritte wie Rissinjektagen, Hinterfüllungen, Anböschungen/Steinergänzungen, Retuschen und Neuverfugungen makroskopisch beobachtet. Bei sichtbaren Veränderungen sollen Kleinproben für die mikroskopische Analyse entnommen werden. Frühjahr und Herbst sind dafür die bevorzugten Beprobungsquartale.

Bei den geplanten Monitoring-Aktivitäten soll insbesondere die Entwicklung der feinen Risse in den Neuverfugungen beobachtet werden. Sobald makroskopisch neue Risse entstehen bzw. Änderungen beobachtet werden, sollen kleine Proben zur mikroskopischen Untersuchung entnommen werden.

Außer zur Beurteilung der Gefügeentwicklung bringt die mikroskopische Untersuchung auch Aussagen über den Karbonatisierungsfortschritt. Des Weiteren kann die fortschreitende Verwitterung in den ersten paar Jahren nach Erstellung des Mörtels erfasst und beurteilt werden. Am Ende der mikroskopischen Untersuchungen soll ein Vergleich mit gleichzeitig hergestellten Laborprüfkörpern erfolgen. Diese werden mit Originalmaterial verschiedener Körnung hergestellt, und zwar in der Weise, wie sie auch am Bremer Rathaus Verwendung gefunden haben. Daraus werden Mörtelprismen und dünne Zweiplattenkörper gefertigt, mit denen Hinterfüllungen und Anböschungen simuliert werden sollen.

#### **4. Forschungsprojekt**

Seit Anfang 2005 wird das Monitoring des Bremer Rathauses durch ein von der Bremer Innovationsagentur (BIA) gefördertes Forschungsprojekt ergänzt. Dabei handelt es sich um eine Forschungskooperation zwischen der MPA Bremen und der Restaurierungsfirma Seefried.

Das größte Problem bei der Anwendung rein kalkgebundener Mörtel ist die handwerkliche Umsetzung. Aus historischen Befunden ist bekannt, dass fachgerecht applizierter und optimal abgebundener Kalkmörtel eine hohe Dauerhaftigkeit aufweist. Jedoch scheint das technische Know-how zur fachgerechten Anwendung weitestgehend verloren gegangen zu sein, so dass diese Arbeiten von vielen heutigen Handwerksbetrieben nicht mehr ausgeführt werden kann. Hinzu kommt die in der modernen Bautechnik andere Baulogistik, insbesondere bezogen auf die zeitlichen und damit wirtschaftlichen Vorgaben. Aushärtzeiten von mehreren Wochen bis zur möglichen Weiterbehandlung von Mauerwerksoberflächen

sind in der modernen Profanbauweise nicht mehr akzeptabel. Allerdings gelten in diesem Bereich auch andere Vorstellungen von Nachhaltigkeitszeiträumen (Gewährleistungsfrist). Im Bereich der denkmalpflegerisch relevanten Baumaßnahmen werden jedoch andere Maßstäbe erwartet, die nicht wirtschaftlichen, sondern denkmalpflegerischen und kulturhistorischen Grundsätzen folgen müssen.

Aus diesen Gründen lassen sich nur wenige handwerkliche Betriebe auf dieses Risiko ein, so dass sich allenfalls restauratorische Fachfirmen auf derartige Ausführungen spezialisieren.

Die oben beschriebenen reinen Monitoring-Aktivitäten sollen mit diesem Projekt durch systematische baustoffkundliche Untersuchungen ergänzt werden. So sollen an den Laborprüfkörpern Druck- und Biegezugfestigkeiten bestimmt werden. Wenn möglich, werden auch an Originalproben vom Bremer Rathaus die flächenbezogene kapillare Wasseraufnahme (w-Wert), der Wasserdampfdiffusionswiderstand ( $\mu$ -Wert) und die Sorptionsfeuchten bestimmt. Die Kenntnis dieser hygrischen Kenngrößen sind für die Beurteilung der Eigenschaftsentwicklung der Mörtel von großer Bedeutung. An ausgesuchten Proben und als weiterer Ausblick soll auch eine Prüfung auf Frostbeständigkeit mit einbezogen werden.

Am Anfang des Projektes steht eine Aus- und Bewertung der vorliegenden Kartierungsunterlagen, entstanden im Rahmen der Restaurierungsmaßnahme im Sommer/Herbst 2002 ff. Daraus ergibt sich eine Festlegung der zu beobachtenden Bereiche unter den verschiedenen Materialaspekten (Fugenmörtel, Pigmentierungen, Hinterfüllungen, Farbauftrag, usw.)

Es ist ebenfalls festzulegen, ob das Anlegen weiterer Testflächen nach Absprache mit dem Landesamt für Denkmalpflege sinnvoll und wünschenswert ist.

Die visuelle Beobachtung der ausgewählten Fassadenbereiche soll, soweit möglich, durch Substanz schonende mechanische Vor-Ort-Prüfungen ergänzt werden (Bohrwiderstandsmessungen, Farbmessung, evtl. Schwingungsmessungen hinsichtlich des Straßenbahnverkehrs, etc.) aber auch durch Nutzung anderer Quellen (z.B. Auswertung des Schadstoffmessnetzes der Stadt Bremen).

Die ermittelten Kennwerte werden mit den Prüfkörpern im Labor verglichen und bewertet.

Von den im Jahre 2002 benutzten Materialien sind Prüfkörper (Prismen nach DIN) angefertigt worden, die zur Zeit im Normklimaraum der MPA Bremen lagern und zu systematischen Untersuchungen genutzt werden können.

Die Erkenntnisse aus den erzielten Ergebnissen der Beobachtung der Fassaden werden genutzt, um den Einfluss der handwerklichen Verarbeitung der Mörtelmaterialien zu ergründen. Dabei sollen neben den am Rathaus verwendeten Produkten auch andere Ausgangsmaterialien mit einbezogen werden (Sumpfkalk, Weißkalkhydrat, Traßkalk, andere hydraulische Kalke und Restauriermörtel).

Mit den Ergebnissen dieser Untersuchungen wird ein weiterer wichtiger Schritt der Nachhaltigkeit von Restaurierungsmaßnahmen zum Erhalt der historischen Originalsubstanz gemacht.

Auf der Jahrestagung der Vereinigung der Landeskonservatoren 2003 in Hannover wurde der hier beschriebene Ansatz eines systematischen Monitorings der eingebrachten Luftkalkmörtel am Bremer Rathaus zur Diskussion gestellt. Die Ergebnisse werden bundesweite Beachtung finden.