

NATURSTEIN – LABOR

Dr. Wolfgang Schneider
Diplom-Geologe

SCHADENSANALYSE – DOKUMENTATION – BAUCHEMIE – DENKMALPFLEGE – BERATUNG

Freiligrathstr. 78
80807 München
Tel. 089 / 3594207
Fax. 089 / 35893905

Untersuchungsbericht zur Sapi- Niederdruck - Reinigung von Naturwerksteinen
mittels SAPI „Vario“ Niederdruck - Wirbelstrahltechnik

Auftraggeber : Fa. Sapi GmbH

Industriegebiet
Enkingenstr. 4
86753 Möttingen

Datum : 7.04.2004

Vorbemerkungen

Gebäude und Bauelemente aus Naturwerksteinen weisen im Laufe der Jahre/Jahrzehnte, je nach Material und Exposition immer eine mehr oder weniger starke Verschmutzung der Oberflächen auf.

Diese Verschmutzung, häufig auch als "Patina" bezeichnet, kann ein dünner Oberflächen-film, aber auch eine mm-dicke harte Oberflächenkruste sein.

Je nach Situation haben diese Verschmutzungen unterschiedliche Ursachen und Zusammensetzungen:

- **Ablagerungen von Staub, Ruß ...**
- **Immissionen aus der Luft**
- **mikrobiologischer Schleim**
- **Bewuchs von Moos und Flechten**
- **Sinterbildung durch Auslaugung des Baumaterials**
- **Krustenbildung durch Kombination der einzelnen, oben genannten Parameter**

Die komplexe Zusammensetzung derartiger Verschmutzungen und Krustenbildungen kann aber nur durch entsprechende naturwissenschaftliche Untersuchungen geklärt werden.

Untersuchungen

Neben einer makroskopischen/mikroskopischen Begutachtung der Verschmutzungen, bzw. Krustenbildungen am Objekt müssen wenigstens folgende Untersuchungen durchgeführt werden:

- Salz-/Mineralanalysen mittels Röntgen-Diffraktometrie (XRD-Diagramm)
- quantitative Analysen mittels Spektralphotometrie
- Prüfung der Wasseraufnahme der Natursteinoberflächen vor und nach der Reinigung

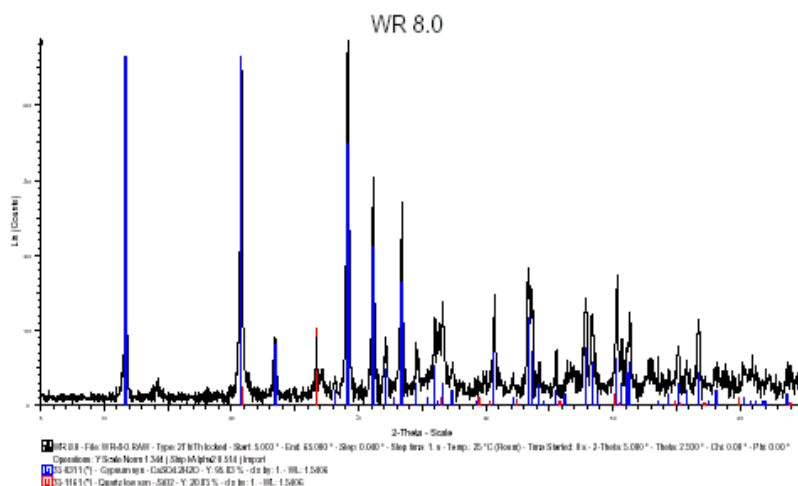


Abb.1 XRD-Diagramm einer Gipskruste

Tab. 1 Naßchemische quantitative Spektralanalyse
(Angabe in %)

Proben.-Nr.	Cl	NO ₃	SO ₄	NH ₄	pH
KS. 5	0,25	0,87	6,46	0,002	6,5

Diese naßchemische quantitative Spektralanalyse zeigt, daß hier neben Calciumsulfat (Gips) in Oberflächenkrusten auch noch Salze enthalten sein können, die unter der röntgeno-graphischen Nachweisgrenze liegen !

Dies sind nur zwei Beispiele der hier durchgeführten Untersuchungen .
Je nach Objekt und Problemstellung muß entschieden werden , ob noch detailliertere Untersuchungen z.B. mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM /EDX) erforderlich sind .

Reinigung

Die Oberflächenverschmutzungen / Krustenbildungen auf Mauerwerksoberflächen haben in den seltensten Fällen den schützenden Charakter einer "echten Patina" !

Meist sind diese sogar die Ursache von Schäden oder begünstigen sogar Folgeschäden .

Manchmal scheinen Krustenbildungen einen wirksamen Oberflächenschutz zu bieten (?), aber schon kleine Risse genügen , um eine verstärkte Zerstörung des Gefüges des darunter liegenden Werksteines zu bewirken .

Für anstehende Renovierungs- und Instandsetzungsmaßnahmen ist daher immer eine entsprechende Reinigung erforderlich .

Diese muß aber so schonend wie möglich, dem Objekt angepaßt, durchgeführt werden, damit die originale Bausubstanz nicht angegriffen oder gar gefährdet wird .

Aus diesem Grund wurde das Niederdruck-Wirbelstrahlverfahren und die entsprechenden Wirbelstrahl-Düsen entwickelt .

In den letzten Jahren sind diese Düsen immer weiter verbessert worden
→ Vario-Wirbelstrahl-Düsen .

Kurzbeschreibung der „Vario“ Niederdruck - Wirbelstrahl – Reinigungstechnik

Die „Vario“ Niederdruck – Wirbelstrahl – Reinigungstechnik ist eine modifizierte Niederdruck-Schonstrahltechnik für objekt- und substanzschonende Reinigung von denkmalgeschützten und empfindlichen Objekten und Oberflächen, basierend auf einer speziell entwickelten „VARIO“ Niederdruck Wirbelstrahl - Düsentechnik.

Die Niederdruck - Strahlgerätetechnik lässt sich exakt auf die entsprechenden Reinigungsanforderungen einstellen, wie z. B. Luftdruck, Granulatmenge und Art der "Vario"- Düsen .

Durch die neue „Vario“ – Niederdruck – Wirbelstrahl –Düsentechnik lassen besonders materialschonende Reinigungsergebnisse erzielen.

Das elementare Teil der Wirbelstrahldüse ist ein feststehender Wirbelstromkörper mit 4 coaxialen Bohrungen.

Der Druckluftstrom wird durch die 4 schrägen Bohrungen im Winkel von 15 Grad durch den Wirbelstromkörper geleitet, wodurch der lineare Druckluftstrom in einen hoch rotierenden Druckluftstrom umgeformt wird.

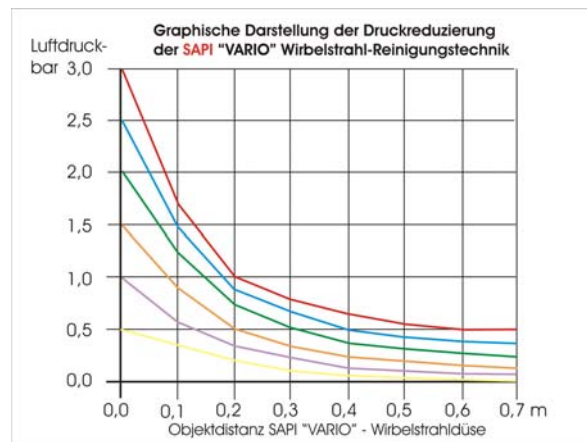
Ein sich unmittelbar an den Wirbelstromkörper anschließender Venturi-Düsenkopf beschleunigt den Druckluftstrom durch dessen konisch verjüngenden Strömungskanal und bildet beim Verlassen der Düsenmündung einen kegelartigen hoch rotierenden Reinigungsstrahl aus.

Durch die Transmission der kinetischen Energie von linearer in rotierender Druckluftströmung reduziert sich der Luftdruck nahezu proportional im Quadrat. Das heißt ein Druckluftstrom von 3 bar reduziert sich beim Verlassen der Wirbelstrahldüse in einer Distanz von ca. 40 cm auf 0,5 bar.

Dieser Effekt bewirkt, dass die feinen Strahlpartikel mit äußerst geringem Druck auf der Oberfläche auftreffen und durch die rotierende Bewegung des Druckluftstroms in einem sehr flachen Winkel, feinschleifend bis radierend, tangential über die zu reinigende Oberfläche gleiten und so einen äußerst schonenden Abtrag der Verschmutzung bzw. Verkrustung gewährleisten und die originale Oberflächenstruktur erhalten bleibt.

Die Intensität der Abtragung von Verschmutzungen bzw. Verkrustungen lässt sich besonders gut über entsprechende Strahlmittelsorten und entsprechenden Korngrößen steuern.

Graphische Darstellung: Niederdruck – Wirbelstrahl – Reinigungstechnik



Probereinigung

Primär sollten, bzw. müssen vor einer Reinigung Probeflächen angelegt werden .

Nur durch entsprechende Reinigungsversuche am Objekt lassen sich für die jeweilige Gesteinsart, Oberfläche , sowie Art und Grad der Verschmutzung die erforderlichen Parameter ermitteln :

- Reinigung trocken oder feucht
- Luftdruck
- Art und Größe der Düse
- Art der Mikro-Strahlpartikel

Naturwerksteine , aber auch die aufliegenden Krusten, weisen durch ihre mineralogische Zusammensetzung eine unterschiedliche Härte auf .

Gerade deshalb muß das Strahlgut, entsprechend der Mohs'schen Härte und der Korngröße daraufhin ausgewählt werden, um eine möglichst schonende Reinigung zu erreichen .

Datenblatt : Strahlmittel für die Reinigung

Mineralname	Formel	Mohs'sche Härte	Rohdichte in g/cm ³
Calcit	CaCO ₃	3	2,7
Dolomit	CaMg(CO ₃) ₂	3,5 – 4	2,85 – 2,95
Glas/-Schlacke z.B. Fensterglas	Na ₂ O · CaO · 6 SiO ₂ *	ca. 5	> 2,2
Quarz	SiO ₂	7	2,65
Granat / Almandin	Fe ₃ Al ₂ (SiO ₄) ₃	6,5 – 7,5	ca. 4,2
Olivin / Peridot	(Mg,Fe) ₂ (SiO ₄)	6,5 – 7	ca. 3,4
Korund	Al ₂ O ₃	9	3,9 – 4,1

* auch K₂O · CaO · 8 SiO₂

sowie mit anderen Zusätzen , wodurch die Rohdichte deutlich ansteigen kann !

Anwendung am Objekt

Während der letzten Jahre habe ich die verschiedensten Objekte mit einer entsprechenden Bestandsaufnahme, Reinigung und Instandsetzungsmaßnahmen wissenschaftlich begleitet.

Als Beispiel sei hier nur die gotische Kapitelsakristei am Dom zu Eichstätt herausgegriffen.
(weitere Objekte, siehe Auflistung im Anhang)

Am gotischen Dom von Eichstätt, mit seinen romanischen Vorgängerbauten, ist zwischen 1460-80, von Roritzer, dem Dombaumeister des Regensburger Doms, die zweigeschoßige Kapitelsakristei angebaut worden.

Die Kapitelsakristei ist aus feinkörnigem dichten Jurakalkstein ("Jura-Marmor") erbaut.
Mit diesem sehr feinkörnigen Kalkstein war es möglich auch äußerst feingliedrige Zierelemente, wie Wimperg mit Krabben und Fialen mit Kreuzblumen herzustellen, bzw. aus dem Kalkstein herauszuarbeiten.

Die Kalksteinoberflächen waren früher mit Kalkschlämmen (farblich?) gefaßt.
Im Laufe der Zeit waren immer wieder schadhafte Stellen ausgebessert oder mit entsprechenden Vierungen ergänzt worden.
Bei der letzten umfangreichen Restaurierung (1962/63?) waren die Ergänzungen aus zementhaltiger "Steinersatzmasse", sowie die gesamte Kapitelsakristei mit einem bräunlich-grauen Anstrich versehen worden.
Dieser Anstrich ist aber inzwischen wieder weitgehend abgewittert.

Zum Zeitpunkt der Begutachtung waren die Oberflächen dieses Objektes allgemein sehr stark verschmutzt, d.h. der helle Kalkstein war "schwarz" (!) und partiell mit einer dünnen Sinterkruste überzogen. (siehe Fotodokumentation im Anhang)

In diesen schwarzen Gipskrusten (siehe Abb.1 XRD-Diagramm) waren aber auch noch erhebliche Gehalte an Chlorid- und Nitratsalzen enthalten (siehe Tab.1).

Teils waren die Oberflächen, besonders im oberen Bereich und die Dachfläche großflächig mit Flechten und Moos bewachsen.

Um weiteren Schäden vorzubeugen und um entsprechende Restaurierungsmaßnahmen durchführen zu können, war somit eine allgemeine und schonende Reinigung dringend erforderlich.

An einem Pfeiler und an den kleinen feingliedrigen Bauzierelementen wurden daher verschiedene Probestellen angelegt, um die entsprechenden Parameter bzgl. Strahlgut und Druck zu ermitteln.

Die besten Ergebnisse wurden hier mit der Vario Niederdruck-Wirbelstrahltechnik und Calcit- bzw. Steinpudermehl als Strahlgut erzielt.

Mit dem Auftraggeber wurde vereinbart, daß auch während der Reinigungsmaßnahmen die festgelegten Parameter immer wieder überprüft werden müssen!

Im Anhang ist eine kleine Fotodokumentation zusammengestellt, die die Kapitelsakristei vor und nach der erfolgreichen Reinigung zeigt.
Gerade bei den feingliedrigen Zierteilen konnte die äußerst schonende Reinigung mit der Vario Wirbelstrahltechnik dargestellt werden.

Schlußbemerkung

Die "Vario"-Wirbelstrahltechnik eignet sich besonders für eine materialschonende Entfernung von verschiedensten Verschmutzungen / Verkrustungen, sowie Verfärbungen auf Sand - und Kalkstein , Ziegelstein, Terrakotta ..usw.

Materialschonende Abnahme von harten Verkrustungen auf verwitterten Steinoberflächen .

Der gewünschte Grad der Reinigung , d.h. die Entfernung von Verschmutzungen und Verkrustungen kann auf das Objekt individuell abgestimmt werden .

Falls erforderlich und gewünscht, ist auch der Erhalt von alten Farbfassungen und "Patina" möglich.

Eine Reinigung kann trocken oder feucht, d.h. mit nur 10 - 30 l Wasser / h durchgeführt werden.

Eine weitere gute Einsatzmöglichkeit bietet das Vario-Wirbelstrahlverfahren auch bei der Entfernung von Rußbeaufschlagung auf den verschiedensten Oberflächen nach Bränden.

Anmerkung:

Grundsätzlich ist es empfehlenswert, am jeweiligen Objekt Probeflächen anzulegen um die entsprechenden Parameter bzgl. Strahlgut, Luftdruck und Düsengröße usw. zu ermitteln .

Die am Objekt erstellte Musterflächen sollen im Regelfall auch als Referenzflächen für die ausführende Fachfirma dienen , damit die Qualität der Reinigung gewährleistet ist !

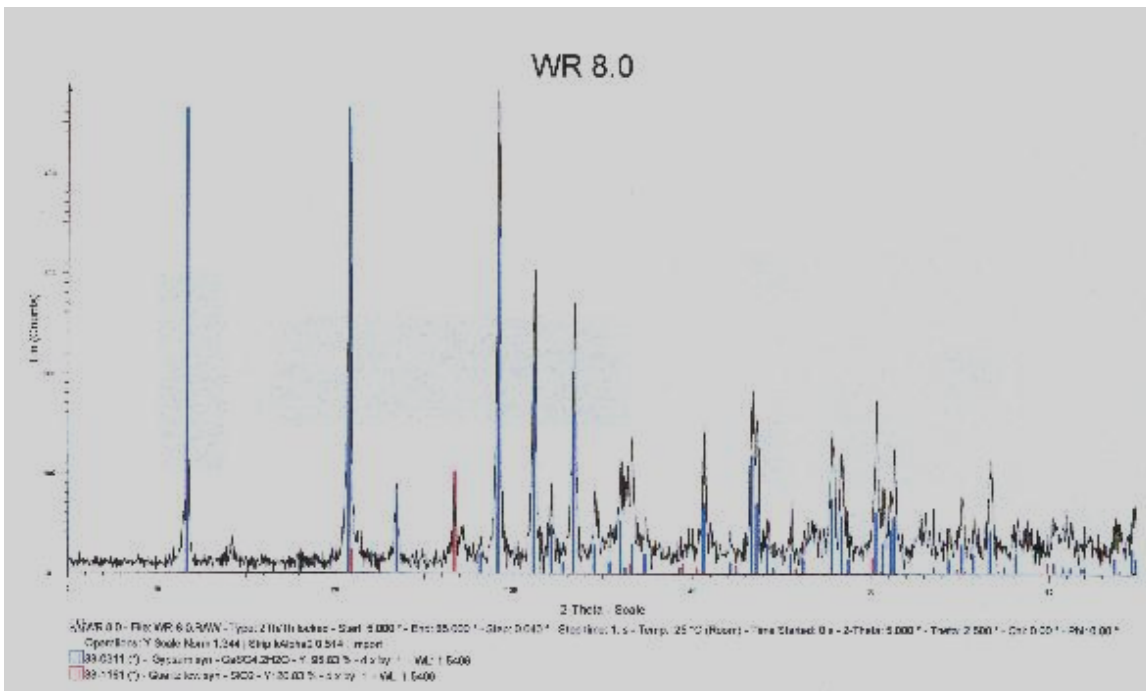
Die Sapi "Vario" Niederdruck-Wirbelstrahl-Reinigungstechnik ist eine der schonendsten Reinigungsmethoden für Natursteinmauerwerk, Ziegelmauerwerk und viele andere mineralische Baustoffe.

München, den 7. 4. 2004

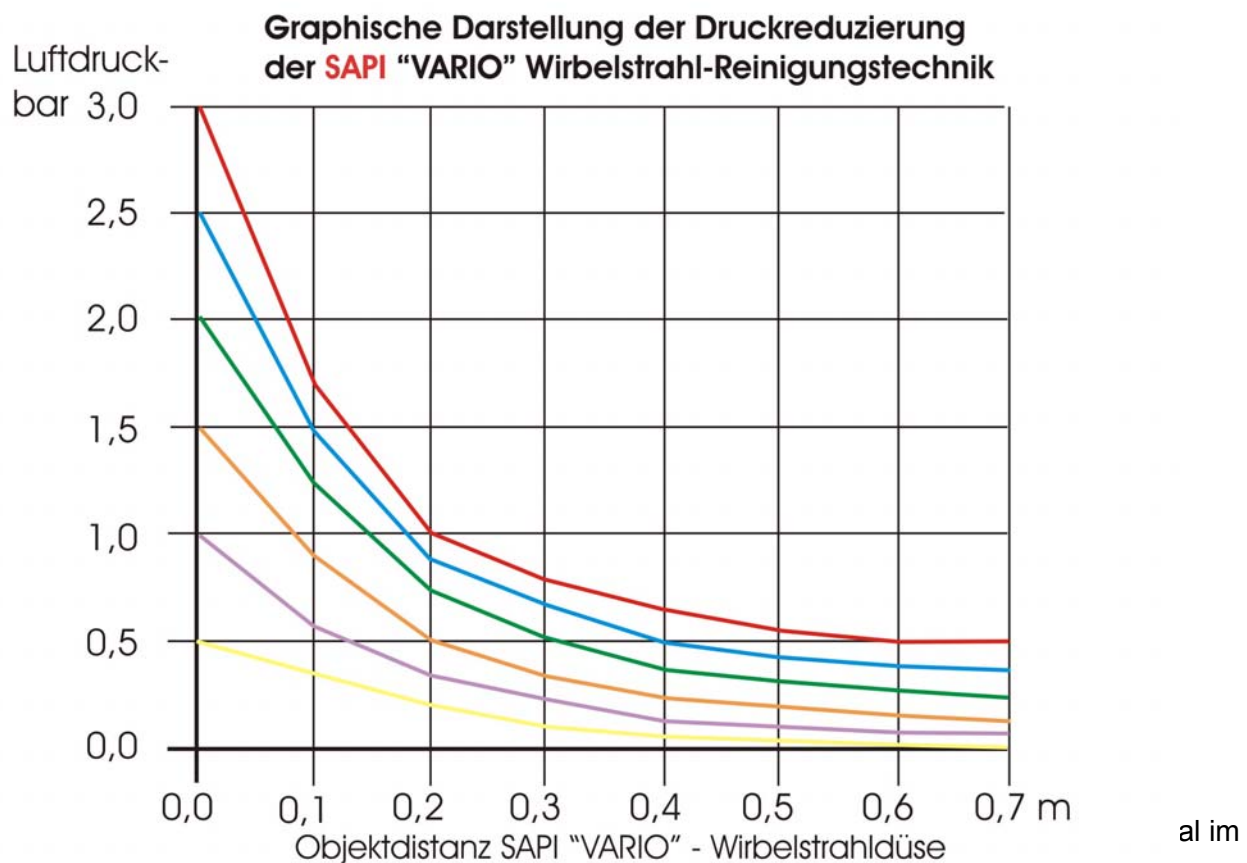
Dr. W. Schneider

Anhang

- XRD - Diagramm einer Gipskruste
- Grafische Darstellung der Druckreduzierung bei der Vario-Wirbelstrahltechnik
- Fotodokumentation
- Referenzliste



XRD-Diagramm einer Gipskruste



der Wirbelstrahldüse in einer Distanz von ca. 50 cm auf ca. 0,5 bar. Die feinen Reinigungs-partikel werden in einem sehr flachen Winkel tangential über die zu reinigende Oberfläche geführt und bewirken eine feine abrasive Reinigungswirkung wodurch die Texturen der Stein-oberflächen nicht geschädigt werden.



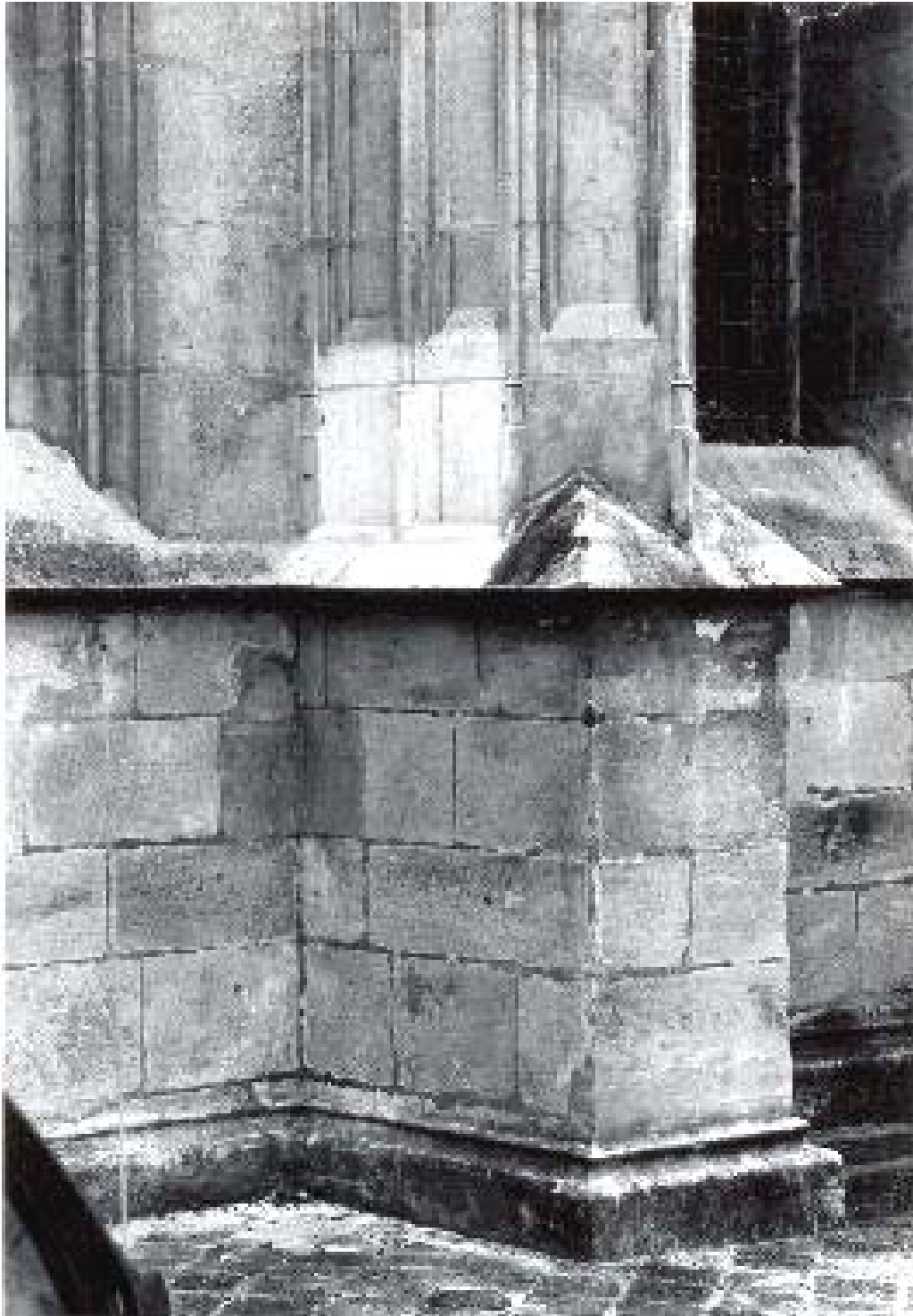
F 1 Dom Eichstätt / Chor der Kapitelsakristei
Stark verschmutzte und mit Krusten überzogene Gesteinsoberflächen .
Obere Bereiche, besonders die Dachfläche ist mit Grünalgen und Moos bewachsen.
Zustand vor der Reinigung



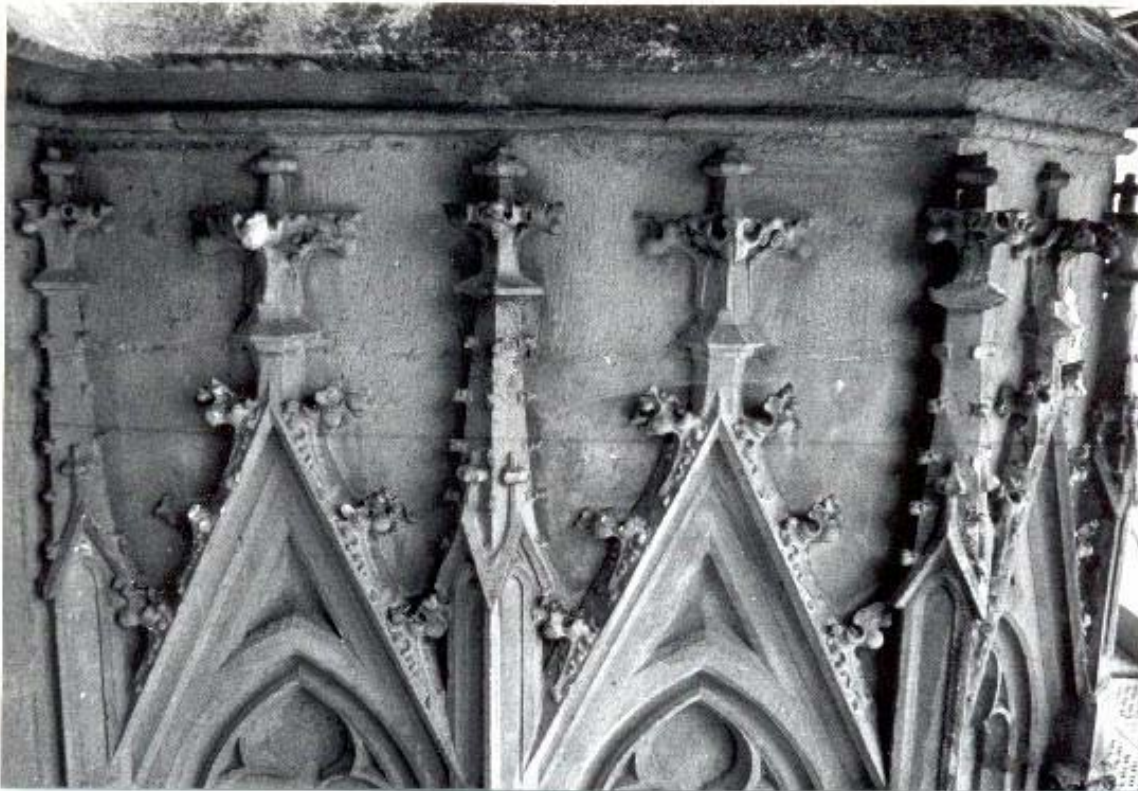
F 2 Dom Eichstätt / Chor der Kapitelsakristei
Ergebnis nach der Reinigung mit dem "Vario"-Wirbelstrahlverfahren .
Im unteren Wandbereich ist die Restaurierung noch nicht abgeschlossen.



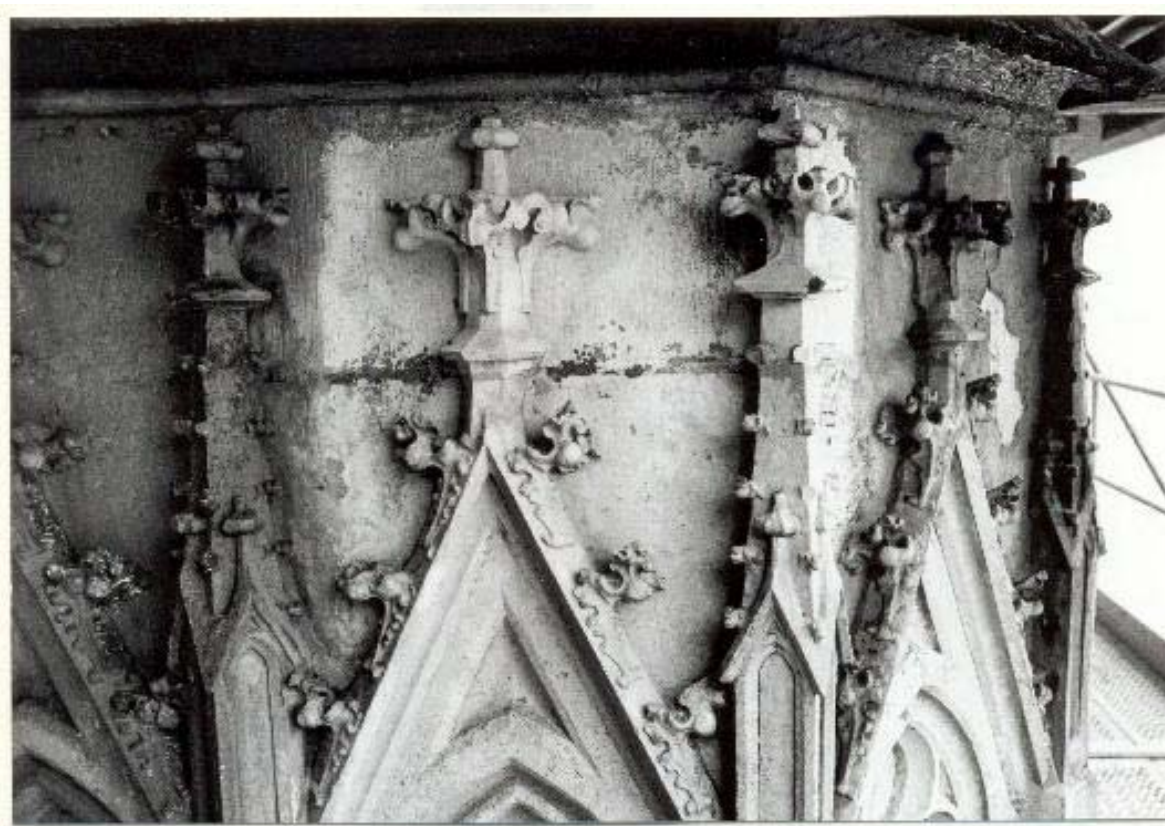
F 3 Diese Bruchfläche zeigt deutlich eine ca. 1 mm dicke Schmutz-/Gipskruste auf der Kalksteinoberfläche.



F 4 Probereinigung am Pfeiler 6 der Kapitelsakristei
Die helle Fläche zeigt deutlich die erfolgreiche und schonende Reinigung mit der "Vario" Wirbelstrahltechnik.



- F 5 Sehr starke Verschmutzung der feingliedrigen Zierteile (gotischer Wimperg mit Krabben, sowie Fialen mit Kreuzblumen / Höhe einer Kreuzblume 15 cm !)
Diese Zierelemente sind aus dem dahinter liegenden Kalkstein heraus gearbeitet worden.
Zustand vor der Reinigung



- F 6 Probereinigung dieser Wandfläche mit den feingliedrigen Zierelementen. Deutlich erkennbar ist die gute und schonende Reinigung mit der Wirbelstrahltechnik. Als Feinstrahlmittel wurde Calcit/Steinpudermehl mit einer Körnung von 200 µm verwendet.



F 7 Wandfläche nach der Reinigung
Die Reinigung mit dem "Vario" Wirbelstrahlverfahren wurde so sorgfältig und schonend durchgeführt, daß an den feingliedrigen Zierelementen auch keine Schäden aufgetreten und partiell sogar noch Reste einer "Patina" erhalten sind.

Referenzliste

Gumbertuskirche, Ansbach
Pfarrkirche St. Alban, Wallerstein
Spitalkirche, Weißenburg
Liebfrauen-Münster Wolframs-Eschenbach
Pfarrkirche St. Antonius Mörsach

Ulmer – Münster, Ulm
Nürnberger Burg, Nürnberg
Nürnberger Oper, Nürnberg
Kaufhof, Nürnberg
Kaufhof, Rosenheim
Kaufhof, München
Glaspalast, Augsburg
Wohnsiedlung, Bad Soden
Asylantenwohnheim, Kassel
Opernhaus, Wiesbaden
Musikhochschule, Mannheim
Kaufhaus Whörl, Würzburg
Pfarramt, Andechs
Finanzamt, Offenbach
Krankenhaus Haar, München
Iduna Haus, München
Senatsverwaltung für Finanzen, Berlin
Finanzamt, Offenbach
Schiller Denkmal, Salzburg

Universität, Ljubljana, SL
The British Museum, London UK
The Ayyubid Wall, Cairo
Massachusetts Historical Society, Boston, MA
The First Baptist Church, Newton, MA
High Point Monument, Sussex, NJ
Princeton Chapel, Princeton, NJ
Rockefeller Center, New York, NY
The Atlantic Bank, New York, NY
The Church of St. Vincent Ferrer, New York, NY
The Federal Reserve Bank, New York, NY
The Helmsley Building, New York, NY
Grey Towers National Historic Landmark, Milford, PA
The Historical Society of Pennsylvania, Philadelphia, PA
The Mellon Bank, Philadelphia, PA
Arlington National Cemetery, Arlington, VA