

Schweizer Sandstein

NATUR STEIN BAU

Schweizer Sandstein – ein schöner und wirtschaftlich starker Naturwerkstoff

Sandsteine der Schweiz – Geologie, Abbau und Verwendung

Salzverwitterungsschäden an Sandstein, Kalkstein und Trachyt – Konservierungsmassnahmen in der Krypta von St. Maria im Kapitol

Januar 2001. Herausgegeben von der Schweiz. Arbeitsgemeinschaft Pro Naturstein.

Redaktion Markus Kamber & Partner AG, Postfach 6922, 3001 Bern, Tel. 031/382 23 22, Fax 031/382 26 70

Impressum:

Herausgeber: Schweizerische Arbeitsgemeinschaft Pro Naturstein,
<http://www.naturstein-schweiz.ch>
Redaktion: Markus Kamber & Partner AG,
Postfach 6922, 3001 Bern, Tel. 031/382 23 22,
Fax 031/382 26 70
Grafische Gestaltung: Peter Marthaler, Bern
Fotos: Hansjakob Bärlocher, St. Gallen,
Chr. Bläuer-Böhm, Zürich, Steffen Laue
Druck: Geiger AG, Bern
Auflage: 12'000 Ex.

Dr. Dirk Dethleff: als Geologe eng mit dem Naturstein verbunden.



Vorwort

Seit Jahrhunderten, vielmehr seit Jahrtausenden, wird der Schweizer Sandstein als Baustoff verwendet. Schon die Römer erkannten die hervorragenden Eigenschaften dieses einmaligen Naturwerkstoffes. Je nach Beschaffenheit und Zusammensetzung des Sandsteins wurde das Naturprodukt als Baustein für Häuser und Kirchen, aber auch für architektonisch und bildhauerisch anspruchsvolle Arbeiten wie Zinnen, Krypten oder Grabmäler verwendet.

Die vorliegende Ausgabe von NaturBauStein gibt einen thematisch interessanten und breit gefächerten Abriss über Geologie, Wirtschaftlichkeit und Verwendung von Schweizer Sandstein. Zudem beleuchtet ein Fachartikel die Problematik von Verwitterung und Konservierungsmassnahmen an Sandsteinbauten. Aus allen Beiträgen dieser Ausgabe wird deutlich, dass Sandstein, am richtigen Ort und unter adäquaten Bedingungen verwendet, auch heute noch ein attraktiver und dauerhafter Bauwerkstoff ist.

* Dr. Dirk Dethleff ist Mitarbeiter von Kamber & Partner AG, Geschäftsstelle Pro Naturstein.

Schweizer Sandstein – ein schöner und wirtschaftlich starker Naturwerk- stoff

Ein Gespräch mit Hansjakob Bärlocher,
St. Gallen.



Unser Interviewpartner: Ein von der Arbeit mit dem Schweizer Naturstein begeisterter Hansjakob Bärlocher.

Dirk Dethleff: Herr Bärlocher, wie man an den wunderschönen Bauten in Bern, Konstanz, Schaffhausen und anderen Schweizer Städten erkennen kann, ist der Schweizer Sandstein ein seit Jahrhunderten erfolgreich verwendeter, dauerhafter Bau- und Werkstoff. Wo steht die Schweizer Sandsteinbranche heute national im Vergleich zu anderen Schweizer Natursteinen und zu artefaktischen (d.h. künstlichen) Baustoffen?

Hansjakob Bärlocher: Dazu möchte ich zuerst etwas ausholen und einige Erklärungen über die Sandsteingebiete in der Schweiz abgeben. Es gibt drei bedeutende Regionen, in denen grössere Mengen Sandsteine abgebaut werden. Es sind dies die Bodenseeregion, die Region am oberen Zürichsee und die Region rund um Bern. Alle Abbaugebiete blicken auf eine lange Tradition zurück. Die Sandsteine wurden vor allem regional verbaut. Vereinzelt findet man aber auch Bauten in St. Gallen, die mit Berner Sandstein gebaut wurden oder umgekehrt. Der Hauptumsatz der Sandsteine wird sicher im Inland gemacht; im Gegensatz zu den Gneisproduzenten aus dem Tessin und Graubünden, die stark exportorientiert nach Europa, aber auch in Übersee arbeiten. Von der Technik im Abbau und der Verarbeitung sind die Schweizer Sandsteinbetriebe sehr modern und rationell eingerichtet. Das Schwergewicht liegt in der massiven Werksteinproduktion. Die Stärke ist die individuelle Auftragsabwicklung. Die Steinbrüche zeichnen sich durch sehr umweltfreundliche Abbautechniken aus, die nur ein Minimum an Abfall produzieren. Eingesetzt werden Seilsägen und Schrämmaschinen.

...und international?

International ist der Preiskampf mit Sandsteinen aus Italien und aus Ländern des ehemaligen Ostblocks sehr hart. Es sind vor allem das tiefe Lohnniveau und die billigen Transportpreise, die diese Materialien auf dem Markt stark machen. Es bestehen aber auch gute Chancen für die Schweizer Sandsteine im Ausland. Vor allem in Deutschland wurden einige grössere Objekte mit Rorschacher Sandstein gebaut; es gibt 3 Aussenanlagen in Frankfurt und in Hannover mit Liefermengen von ca. 500 Tonnen Material pro Objekt. Auch auf die Landesgartenschau in Singen konnte eine grössere Menge von Schweizer Sandsteinen geliefert werden.

Wo sehen Sie heute die wichtigsten nationalen und internationalen Absatzmärkte für Schweizer Sandstein?

Die Schweizer Sandsteine werden im Inland vor allem im Renovationsbereich sowie im Garten- und Landschaftsbau eingesetzt. Es gibt aber auch einzelne Firmen, die im Neubaubereich starke Werbung für den Sandstein machen. Diese Firmen haben rechten Erfolg mit dem Absatz von Sandstein für hinterlüftete Fassaden und im Innenausbau. Im Ausland, vor allem in Deutschland und in Österreich, wird in Grenznähe auch einiges an Schweizer Sandstein für die Renovation geliefert. Stark im Kommen ist zudem die Verarbeitung von Sandstein im Aussenbereich.

Wie sehen Sie die langfristige Perspektive des Schweizer Sandsteins – auch in Hinblick auf die internationale Konkurrenz (Stichwort: Absatzmärkte, Export- und Importzahlen, Qualitätssicherung)?

Die Schweizer Sandsteinbetriebe müssen technisch immer auf dem neuesten Stand sein, damit die Produkte mit marktgerechten Preisen verkauft werden können. Wir müssen unser grosses Know-how und den sehr guten Bildungsstandard unserer Firmen einsetzen und ausbauen; so können wir uns jederzeit von den ausländischen Mitbewerbern abheben. Die meisten Sandsteinanbieter in der Schweiz sind ISO zertifiziert und weisen somit einen hohen Stand an Qualität und

Kundennähe aus. Ich sehe also positiv in die Zukunft.

Etwa 75 der Schweizer Natursteinbetriebe sind im Naturstein-Verband Schweiz organisiert – darunter auch etliche Sandsteinbetriebe. Gibt es z.B. einen Werbezweckverbund Schweizer Sandsteinbetriebe, der mit gebündelten Marketingstrategien nach aussen auftritt und verstärkt die Verwendung von (Schweizer) Sandstein protegert? Wäre dies wünschenswert und sinnvoll – etwa auf Messen oder in Fachzeitschriften?

Momentan geht der SNP (Schweizer Naturstein Produzenten) an der FGA (Fachmesse für den Garten- und Landschaftsbau) fast geschlossen an die Öffentlichkeit. Hier kann der Kundenkreis sehr gut angesprochen werde. Bei den Messeauftritten von PRO NATURSTEIN an der Swissbau versuchen wir immer, uns von der Vielfalt der ausländischen Steine abzuheben. Hier ist allerdings der Erfolg nicht so gross, da die Besucher aus der gesamten Baubranche kommen und so das Interesse am Naturstein wesentlich geringer ist als bei Fachmessen, die nur von Anwendern besucht werden. Ich finde, die Gruppierung von vier Tessiner Firmen zur Swiss Granit Group ist eine sehr gute Lösung für einen gemeinsamen Marktauftritt von Firmen mit gleichen oder ähnlichen Produkten. Diese Firmen sind sogar schon so weit fortentwickelt, dass jede nur noch ihre Spezialitäten produziert und sie somit gemeinsam sehr stark sind. Als Fernziel wäre eine solche Lösung auch bei den Sandsteinbrüchen denkbar. Selbstverständlich können solche Gruppierungen nur funktionieren, wenn auch eine grosse Bereitschaft der Unternehmen im Geben und Nehmen vorhanden ist.

Welches sind heute die Hauptprodukte aus Schweizer Sandstein? Zeichnen oder zeichneten sich diesbezüglich Wandel ab und wie ist es mit spezifischen nationalen und internationalen Verwendungsbereichen ausländischer Sandsteine, in denen Sie für den Schweizer Sandstein eventuell noch wirtschaftlich lohnende Einstiegs- und/oder Entwicklungsmöglichkeiten sehen?

Ich glaube, es gibt immer wieder neue Produkte im Natursteinbereich, das heisst besser gesagt, neue Anwendungs-

möglichkeiten. Hier finde ich die Zusammenarbeit mit Architekten sehr wichtig. In einer konstruktiven Zusammenarbeit entstehen die besten neuen Ideen. Von den Produkten her kann man sich nicht sehr gut von ausländischen Sandsteinen abheben, da fast aus jedem Sandstein alles gefertigt werden kann. Unterschiede gibt es sicher in der Fertigungsqualität. Marktchancen sehe ich vor allem in der modernen Fassade und im Bodenbelag. Bodenbeläge, gefertigt mit rationalen Anlagen, können zu einem guten Preis verkauft werden.

Wird der Schweizer Sandstein – insgesamt betrachtet – heute schon unter der konsequenten und flächendeckenden Berücksichtigung oder gar Einhaltung der drei Nachhaltigkeitskriterien «soziale Verträglichkeit, Ökonomie und Ökologie» abgebaut und verarbeitet?

Wer in der Schweiz, vor allem im Kanton St. Gallen, Sandsteine abbaut, muss nach diesen Kriterien arbeiten; sonst gibt es gar keine Abbaubewilligung. So benötigt man eine Umweltverträglichkeitsprüfung ab einer gewissen Abbaumenge. In dieser werden die drei obgenannten Punkte auch berücksichtigt. Unsere Produkte zeichnen sich durch die günstigen Transportwege aus und haben somit eine gute Ökobilanz. Wie es gesamtschweizerisch aussieht ist schwierig zu beurteilen. Man müsste da schon die Abbaukonzepte der einzelnen Firmen besser kennen. Im Vergleich zum Ausland ist der Abbau in der Schweiz durch die Behörden streng kontrolliert und somit gibt es weniger ökologische Missstände beim Eingriff in die Natur.

Können Sie etwas zu Renaturierungsmassnahmen Schweizer Sandsteinbrüche sagen? Gibt es von der Geologie und der Hydrogeologie des Sandsteins her favorisierte oder gar perfektionierte – d.h. routinemässig angewendete und somit wirtschaftlich lohnende – Renaturierungsmassnahmen?

Die Renaturierung ist in den meisten Fällen im Abbauplan integriert und somit festgelegt, bevor der erste Stein überhaupt abgebaut ist. Auch hier sind die Auflagen seitens der Behörden sehr streng und strikt einzuhalten, wenn man ein langfristiges Fortbestehen des Abbaus anstrebt.

Standardisierte Renaturierungskonzepte gibt es nicht. Sie müssen für jeden Standort und für jeden Steinbruch neu erarbeitet werden.

Herr Bärlocher, wir bedanken uns für dieses sympatische und informative Gespräch.

Ich bedanke mich bei Ihnen, hier einem breiten Zielpublikum mit Informationen über Schweizer Sandstein dienen zu können.

Schweizer Sandstein – Geologie, Abbau und Verwendung

Auszug aus: *Die Mineralischen Rohstoffe der Schweiz*
Schweizerische Geotechnische Kommission, Zürich, 1997, Autoren der Kapitel: Dr. Peter Eckardt, Zürich; Dr. Toni P. Labhart, Wabern; Dr. Andreas Arnold, Zürich; Dr. Martin Gerber, Üttiligen; Dr. Philipp Rück, Lenzburg; Dr. Adrian Baumer, Ascona.

Einleitung

Sandsteine sind Ablagerungsgesteine und enthalten zu mehr als 50% Partikel der Sandfraktion (0.063-2mm Durchmesser). Der Quarzgehalt von Sandsteinen beträgt zumeist über 75%. Sandsteine entstehen infolge der Verkittung und Zementation (Diagenese) von Gesteinspartikeln – zumeist Quarzkörner – durch ein mineralogisch-chemisches Bindemittel. Je nach Bindemittel unterscheidet man z.B. zwischen kieselig, tonig oder kalkig gebundenem Sandstein.

Das technische Verhalten des Sandsteins, und somit dessen generelle Verwendbarkeit als Baustoff, hängt vornehmlich von seiner Korngrößenverteilung, der Art des Bindemittels sowie der Grösse und Verteilung der Porenräume ab. Die Porosität von Sandsteinen schwankt nach Grad der Diagenese und Art des Bindemittels zwischen 1 und 25 Vol.%. Je nach Porenraumanteil liegen die Rohdichten von Sandsteinen zwischen 2000 und 2650 g/dm³, während die Reindichten (d.h. ohne Berücksichtigung des Porenvolumens) bei 2640 bis 2720 g/dm³ liegen. Porenarme Sandsteine besitzen eine Druckfestigkeit von 1'000 bis 3'000 N/mm², während porenreichere Sandsteine bei einer Druckfestigkeit von unter 100N/mm² liegen können.

Druckfestigkeit und Verwitterungsresistenz eines Sandsteins bestimmen in engerem Sinne dessen Eignung als Bau- oder Werkstoff. Tonig gebundene Sandsteine sind z.B. frostanfällig, wohingegen Kalksandsteine chemischen Angriffen wässriger Rauchgaslösungen («saurer Regen») unterliegen. Stärker quarzhaltige, kieselig gebundene Sandsteine werden häufig als Architekturstein verwendet. Weniger quarzhaltige und somit weichere Sandsteine finden Verwendung bei Steinmetz- und Steinbildhauerarbeiten.

Geographische Lage, erdgeschichtliche Stellung, Abbau und Verwendung

Es gibt drei bedeutende Schweizer Gebiete, in denen grössere Mengen Sandstein abgebaut werden bzw. wurden. Es sind dies die Bodenseeregion, die Region am oberen Zürichsee und die Region rund um Bern. Untergeordnet können noch die Gebiete des nördlichen Rheintals und des nordschweizer Tafeljuras genannt werden. Die meisten der Abbaugie-

te blicken auf eine lange Tradition zurück. Die Sandsteine wurden vor allem regional verbaut.

Die heute noch abbauwürdigen Sandsteinvorkommen entstammen im Wesentlichen zwei verschiedenen erdgeschichtlichen Epochen (Tab. 1). Diese beschränken sich zeitlich auf die Trias und das Tertiär. Die wichtig-

sten Sandsteine der Schweiz werden nachfolgend erdgeschichtlich chronologisch sowie hinsichtlich ihres Abbaus und ihrer Verwendung beschrieben. Hauptaugenmerk wird dabei auf die tertiären Sandsteine des Mittellandes gelegt. Die Sandsteine aus der Kreidezeit werden heute nicht mehr abgebaut.

Tab. 1:
Stratigraphische Stellung abbauwürdiger Sandsteinvorkommen der Schweiz

| Zeitalter | System | ca. Alter System | Regionen |
|------------|---------|------------------|-------------------------------------|
| Känozoikum | Tertiär | 2–70 Mill. J. | Berner Mittelland, oberer Zürichsee |
| Mesozoikum | Trias | 200–240 Mill. J. | Nordschweiz, Rheintal |

Sandsteine der Trias

Entsprechend ihrer Oberflächenverbreitung sind triassische Sandsteine nur in der Nordschweiz von Bedeutung.

Buntsandstein (untere Trias)

Zwei verschiedene Ausprägungen des Buntsandsteins sind von besonderer Wichtigkeit: Der diagonalgeschichtete, blassrote bis fast weissliche Sandstein des mittleren Buntsandsteins ist auf Schweizergebiet nur am Rheinufer zwischen Rheinfeldern und Augst aufgeschlossen und wurde hier bereits von den Römern abgebaut. Dieser Stein ist für einfachere Bauobjekte wie Mauerquader und Stufen verarbeitet worden und hatte in der Stadt Basel vom 10. bis ins 19. Jahrhundert Bedeutung (später untergeordnet). Das Hauptkontingent für die Erstellung von Bauwerken jedoch bezog die Stadt Basel aus den Brüchen von Degerfelden auf badischem Territorium.

Der sogenannte Plattensandstein des oberen Buntsandsteins ist gleichmässiger und feiner gekörnt und von dunklerem Rot als der des mittleren Buntsandsteins. Er diente in Basel vom 11. bis ins 19. Jahrhundert zur Erstellung von Mauerwerk, aber auch zur Fertigung feinerer Steinmetz- und Bildhauerarbeiten. Brüche geringerer Bedeutung befanden sich in Riehen, Maisprach und Buus. Für beide Gesteine finden sich viele hervorragende Anwendungen in der Basler Altstadt, vorab natürlich am Münster.

Keuper (obere Trias)

An einem einzigen Ort in der Nordschweiz, bei Gansingen AG, wird noch ein dunkelkarminfarbiger Sandstein mit lebhafter gelbbraunlicher Zeichnung aus dem Keuper abgebaut. Der kleine Steinbruch, als Nische am Hang angelegt, erlaubt keinen Abbau von grossen Blöcken. Der Keupersandstein hat seine lokale Bedeutung in der Verwendung als Mauerstein, Chemineestein und als Grundstoff für kleinere Werkstücke. Bekannt ist dieser Steinbruch unter Geologen, weil über dem Sandstein der «Gansinger Dolomit» aufgeschlossen ist.

Sandsteine des Tertiärs

Allen Gesteinen der Molasse ist eigen, dass sie als ehemalige «Locker-gesteine» (Sand, Schotter oder Fossil-trümmer) durch Kalk zementiert wurden. Dieser Kalk ist säurelöslich, was insbesondere bei nur schwach zementierten Sandsteinen zu einem raschen Zerfall durch Wassereinwirkung führen kann (s.o.). Mit konstruktiven Massnahmen lassen sich jedoch auch im Freien viele Schäden verhüten. Die Molassegesteine sind auch heute noch sehr gefragte Natursteine und es findet in vielen Steinbrüchen ein mengenmässig bedeutender Abbau statt (Tab. 2). Dazu werden moderne Methoden eingesetzt: Fast überall sind Diamantseilsägen und Schrämmaschinen (Kettensägen) im Einsatz, welche die Blöcke direkt vom Anstehenden abtrennen.

Die Sandsteine des tertiären Molassebeckens sind gesamthaft gesehen die bedeutendsten Bausteine der Schweiz. Sie waren und sind leicht zu gewinnen und zu bearbeiten und sie stehen in grossen Steinbrüchen nahe bei den Siedlungen des Mittellandes in ausreichenden Mengen zur Verfügung. Die Steinbruchaktivität reicht von der Römerzeit bis in die Gegenwart. Die Hauptabbauperiode lag zwischen 1200 und 1900, eine ausgesprochene Blütezeit in der Verwendung tertiärer Sandsteine lag in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts. Im Folgenden werden einige der wichtigsten Sandsteine des alpinen Tertiärs näher vorgestellt.

Glaukonitsandstein, Flysch (Paleozän, unteres Alt-Tertiär)

Aus der Flyschzone der Nordalpen hat sich hauptsächlich der Glaukonitsandstein als sehr guter Baustoff erwiesen. Dieser erhält seine charakteristische bläulich-grüne Farbe durch das Glimmermineral Glaukonit. Sandsteine der Flyschzone werden heute vorwiegend noch als Pflastersteine verwendet (z.B. Steinbruch Guben).

Untere Meeresmolasse (Oligozän; oberes Alt-Tertiär)

Die Sandsteine der flachen Molasse waren im Genferseegebiet – hier «Molasse grise» genannt – bis etwa ins 18. Jahrhundert von grosser Wichtigkeit; später wurden sie durch beständigere Sandsteinarten völlig verdrängt. Bedeutende Brüche befanden sich im Gebiet von Lausanne; sie belieferten neben der Stadt auch die weitere Umgebung. Bei Morges und am Westende des Lac Léman wurden einige Vorkommen direkt am Seeufer abgebaut, so dass die Brüche nur zur Winterzeit bei Niedrigwasser betrieben werden konnten.

In der zentralen und östlichen Schweiz (Kantone Luzern, Aargau, Zürich, Thurgau und St. Gallen) sind Sandsteine der flachen Molasse zwischen dem 12. und der Mitte des 19. Jahrhunderts vielerorts in kleinem Massstab abgebaut worden. Hergestellt wurden Mauerquader, Ofenplatten und Haussteinobjekte. So kann man den Stein etwa am Kirchturm Baar (12. Jahrhundert), der Klosterkirche Kappel (13/14. Jahrhundert) sowie am Südturm der Stadtkirche Winterthur (15. Jahrhundert) und auch an vielen

jüngeren Bauten dieser Stadt bewundern.

Untere Süswassermolasse (Oligozän/Miozän)

Die granitischen Sandsteine der Unteren Süswassermolasse sind hauptsächlich in der Umgebung von St. Margrethen, beidseits des Zürcher Obersees (Bollingen, Jona, Neuhaus, Uzsnaberg, Buchberg) sowie bei Ägeri und bei Lothenbach am Zugersee abgebaut worden. Der Ausdruck «granitisch» kommt daher, dass in diesen Sandsteinen gut erkennbar kleine rote Feldspatkörnchen vorkommen (ähnlich den roten Feldspäten in Graniten). Die granitischen Sandsteine sind kompakt und massig; sie lassen sich nicht in Platten spalten. Die Farbe ist gräulich mit gelegentlich schwachen Tönungen ins Grünliche, Bläuliche oder bei Eisenimprägnation ins Gelbliche. Qualitativ sind sie die besten heute gewonnenen Molassesandsteine; sie sind auch sehr «steinmetzfreundlich». Ihre Wetterbeständigkeit ist bei richtiger Verwendung des Steins gut, jedoch reagieren sie wie alle Sandsteine auf Salze empfindlich.

Noch zu Beginn des 20. Jahrhunderts waren zum Teil sehr grosse Steinbrüche in Betrieb. Die massigen, rechteckigen und beständigen Sandsteine werden zurzeit noch in mehreren Steinbrüchen in grosser Menge abgebaut (vergl. Tab. 2). Der granitische Sandstein, welcher sich maschinell und steinmetztechnisch gut bearbeiten lässt und sich auch ausgezeichnet für die Bildhauerei eignet, wurde am häufigsten für Fassaden in reichem Haustein, für Sockel, Säulen und Pfosten verwendet.

Hauptverbauungsgebiet des granitischen Sandsteins sind die grösseren Ortschaften der östlichen Schweiz. In Zürich, welches das Material seit der

Römerzeit auf dem Wasserweg vom Obersee beschaffte, dominieren granitische Sandsteine beim mittelalterlichen Quadermauerwerk und sie blieben auch im 16. und 17. Jahrhundert fast einziger Sichtbaustein. Nach einer schwer erklärbaren, fast hundertjährigen Unterbrechung erscheinen sie ab 1750 wieder im Stadtbild. Sie bilden auch das Material der vielen, zwischen 1860 und 1910 erstellten, repräsentativen Steinfassaden Zürichs. Seit dem Mittelalter waren granitische Sandsteine auch das weitaus wichtigste Baumaterial der Stadt Zug. Sie wurden lange Zeit aus dem Gebiet von Lothenbach bezogen; erst im 19. Jahrhundert wurde Ägeri bedeutsam. Nach der Erstellung des Bahnnetzes weitete sich das Verwendungsgebiet der granitischen Sandsteine aus, vor allem gegen Westen (z.B. Parlamentsgebäude und andere Bundesbauten wie Bundesarchiv und Eidg. Münzstätte in Bern, alle zwischen 1896 und 1905). Bekannte historische Bauwerke aus granitischem Sandstein sind ferner St. Oswald in Zug (1478-83 und spätere Bauetappen), die Stiftskirche und Kloster Einsiedeln (ab 16. Jahrhundert), Grossmünster, Fraumünster und Zunfthaus zur Meisen (1752-57) in Zürich oder die Plastiken an der Stiftskirche St. Gallen (1755-66, Stein von Teufen).

Obere Meeresmolasse (Miozän; unteres Jung-Tertiär)

Der Plattensandstein der oberen Meeresmolasse ist geologisch nur wenig jünger als der granitische Sandstein und ihm, zwischen Rorschach und dem Entlebuch, direkt nördlich vorgeklagert. Der Plattensandstein verdankt seinen Namen der guten Spaltbarkeit, die bis in den Zentimeterbereich gehen kann. Dies ermöglicht die Herstellung von Platten, Stufen, Bordsteinen und auch Blöcken mit bruchrauen Flächen. Die Werkstücke wer-

den vielfach im Gartenbau verwendet. Der Plattensandstein ist weniger kompakt und massig als der granitische Sandstein und steht ihm auch in der Wetterbeständigkeit etwas nach. Die Farbe des Plattensandsteins ist ähnlich der des granitischen Sandsteins, jedoch sind seine grau-grünlichen Tönungen ausgeprägter. In einem Vorkommen (Steinbruch) kann es erhebliche Variationen in der Ausprägung des Plattensandsteins geben. Der Steinbruchbetreiber kennt diese jedoch genau und kann somit je nach bauwerklicher Anforderung die richtige Gesteinsvariation abbauen und liefern. Auch der Plattensandstein ist salzempfindlich.

Der Berner Sandstein entstammt ebenfalls der oberen Meeresmolasse. Seine Farbe ist grünlichgrau bis grünlichblau, oft mit einem kräftigen Stich ins Oliv und Gelblich-grüne. Die Vorkommen der Sandsteine sind auf ein breites geographisches Band beschränkt, das sich etwa von Schaffhausen gegen Lausanne hinzieht. Grösste Mächtigkeit erreichen die Vorkommen im Raum Bern bis westlich Freiburg. Der Berner Sandstein ist weniger stark «kompaktiert» (diagenetisch verfestigt) und deshalb poröser und weicher als z.B. der granitische Sandstein und der Plattensandstein. Entsprechend ist deshalb seine Witte-rungsbeständigkeit als eher mässig einzustufen. Gerade diesem gesteinsphysikalischen Umstand ist es jedoch zu verdanken, dass auch heute noch ein aktiver Abbau des Berner Sandsteins stattfindet (Tab. 2), sind doch jährlich vielerorts grosse Gesteinsmengen für den Erhalt alter, verwitternder Bausubstanz notwendig.

Tab. 2: Abbaudaten Schweizer Sandsteine des Tertiärs

| Steinbruch/Ort | Handelsname | Geologie | Farbe des Gesteins | Abbau/a (m³) |
|-------------------|------------------------|-----------------------------------|------------------------|--------------|
| Ostermundigen | Berner Sandstein | Burdigalium | graugrün, graugelblich | 1500 |
| Köniz-Gurten | Berner Sandstein | Burdigalium | graugrün, graugelblich | 200 |
| Villarold | Freiburger Sandstein | Burdigalium | graugrün, gelblich | 200 |
| Eschenbach-Brand | Bollinger Sandstein | Aquitanium/Granitischer Sandstein | grau, graugelblich | 2000 |
| Bollingen-Leholz | Bollinger Sandstein | Aquitanium/Granitischer Sandstein | grau, graubeige | 800 |
| Nuolen-Guntliweid | Buchberger Sandstein | Aquitanium/Granitischer Sandstein | grau, graugelblich | 800 |
| Nuolen-Guntliweid | Guntliweider Sandstein | Aquitanium/Granitischer Sandstein | grau (rötlich) | 1800 |

Salzverwitterungsschäden an Sandstein, Kalkstein und Trachyt – Konservierungsmassnahmen in der Krypta von St. Maria im Kapitol

Expert-Center für Denkmalpflege,
Hardturmstrasse 181
8005 Zürich
Tel.: 01/272 01 66



* Frau Dr. Bläuer Böhm ist eine langjährig erfahrene Expertin auf dem Gebiet der Natursteinrestaurierung.

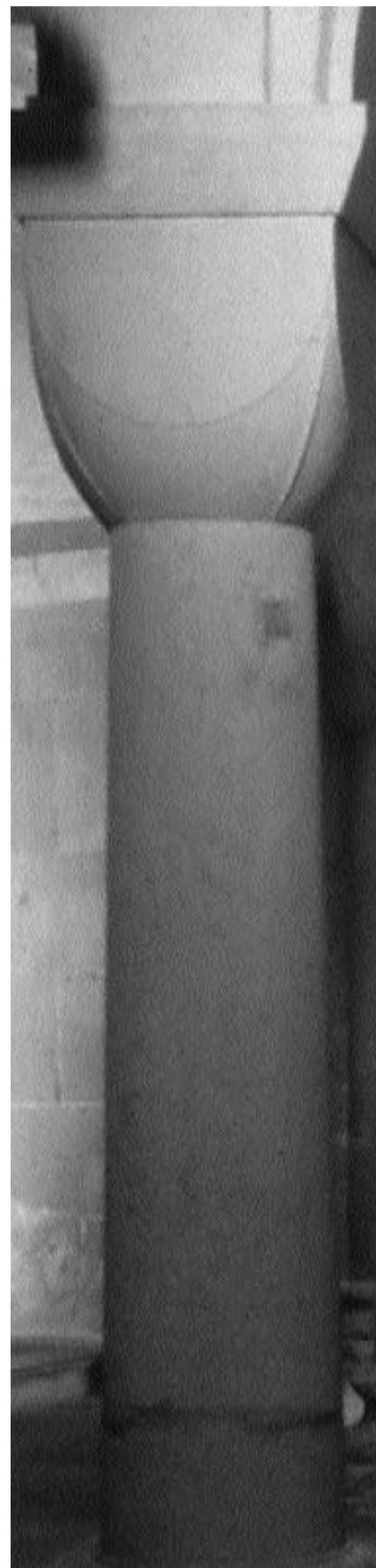
Die Autorin: Hat sich die Auseinandersetzung mit der Natursteinrestaurierung zur wissenschaftlichen Lebensaufgabe gemacht – Christine Bläuer Böhm.

1. Zusammenfassung

Das Ausmass von Schäden an Naturwerksteinen wird stark von ihrer Fähigkeit beeinflusst, Flüssigkeiten aufzunehmen, zu transportieren und wieder abzugeben. Viele Konservierungsmassnahmen, wie zum Beispiel Kompressenentsalzungen, Reinigungen oder Steinfestigungen sind mit dem Einbringen von Flüssigkeiten in den Porenraum der Steine verbunden, so dass die Porosität über Erfolg oder Misserfolg der Massnahme entscheidet. Am Beispiel einer Krypta (St. Maria im Kapitol, Köln) wird gezeigt, wie drei Naturbausteine (Sandstein, Kalkstein, Trachyt), welche den gleichen Umweltbedingungen ausgesetzt waren, hauptsächlich aufgrund ihrer verschiedenen Porenstruktur in Folge von Versalzung unterschiedlich

stark verwittert sind. Entsprechend wird für jedes der drei Gesteine eine individuell angepasste Konservierungsmassnahme vorgestellt. Die Konservierungsmassnahmen (hier: Entsatzung) sollen wertvolle historische Objekte möglichst lange authentisch erhalten, indem sie den Verfall der Bausubstanz hinauszögern oder stoppen.

Foto 1:
Krypta von St. Maria im Kapitol, Köln (Bild von Steffen Laue).





2. Einleitung

Verwitterungsvorgänge geschehen im Zusammenspiel zwischen Umgebungsbedingungen und Materialeigenschaften. Sie werden angetrieben durch das Bestreben der Materialien, sich möglichst in ein Gleichgewicht mit ihrer Umgebung zu begeben. Weit aus der grösste Teil der Verwitterungserscheinungen an Natursteinen entsteht unter Mitwirkung von Wasser in flüssiger, dampfförmiger oder fester Form. Wasser spielt eine Rolle bei der chemischen Lösung, bei Frost- oder Salzsprengung sowie beim Bewuchs mit Pflanzen, Pilzen und Algen u.s.w.

Entscheidend für die Art der sich bildenden Verwitterungsformen sind einerseits die an einem bestimmten Ort herrschenden spezifischen Umgebungsbedingungen (beregnet, regengeschützt etc.) und andererseits die dem Naturstein innewohnenden chemischen und physikalischen Eigenschaften (Löslichkeit, Porosität etc.). Die Fähigkeit eines Steins, Flüssigkeiten aufzunehmen, zu transportieren oder zurückzuhalten ist dabei von zentraler Bedeutung. So wird zum Beispiel die Menge an Material, das in einer bestimmten Situation gelöst wird, nicht nur von der Löslichkeit des Materials abhängen, sondern sie wird vor allem auch dadurch bestimmt, wie lange der Kontakt zwischen dem Wasser (Lösungsmittel) und dem Material andauert. Ein Stein, welcher Wasser lange in seinen Porenräumen zurückhält (z.B. Marmor), kann folglich besser angelöst werden als ein Stein mit der gleichen chemischen Zusammensetzung, aber schlechtem Rückhaltevermögen für Wasser (z.B. Kalktuff). Auch für die Aktivität verschiedener Verwitterungsprozesse – und damit für die Ausbildung verschiedener Verwitterungsformen wie Salz- oder Frostsprengung – kommt es auf die innere Struktur des Materials an. So werden Materialien bei gleicher Salzbelastung ganz unterschiedlich stark verwittern, je nachdem, ob die Salze beim Austrocknen unter oder auf der Oberfläche des Materials kristallisieren. Der Ort des Kristallisierens wird entscheidend durch die Art und Geschwindigkeit des Wasser- und Lösungstransports beeinflusst.

Die Kenntnisse, wie ein Stein Flüssigkeiten aufnimmt, zurückhält und wieder an die Umgebung abgibt, sind somit notwendig zum Verständnis der Verwitterungsvorgänge. Sie sind andererseits aber auch zur Entwick-

lung geeigneter Konservierungsmassnahmen unabdingbar, denn weit aus die meisten Massnahmen sind damit verbunden, dass Flüssigkeiten in den Porenraum eingesogen (z.B. Natursteinfestigung) oder daraus entzogen werden müssen (z.B. Massnahmen zur Salzreduktion oder gegen Grundfeuchte). Ziel des vorliegenden Fachartikels ist es, anhand eines Fallbeispiels (Krypta von St. Maria im Kapitol, Köln) die Salzverwitterung dreier verschiedener Naturbausteine (Sandstein, Kalkstein, Trachyt) zu beschreiben und entsprechende Konservierungsmassnahmen darzustellen.

3. Grundlagen zum Flüssigkeitstransport im Porenraum

Der Porenraum eines Gesteins kann mit Hilfe eines Mikroskops (Rasterelektronen-, Durchlicht- oder Auflichtmikroskop) visuell semi-quantitativ abgeschätzt werden. Zudem können mittels physikalischer Versuche (Aufsaugen von Flüssigkeiten, Trocknen) und mathematisch-geometrischer Modelle Rückschlüsse auf den Porenraum gezogen werden (quantitative Erfassung des Porenraums). Der Vergleich der Resultate aus beiden Verfahren ist schwierig, da die Beobachtungen unter dem Mikroskop nur schwer in Zahlen zu fassen sind und die physikalischen Messdaten nur über teilerrealistische Modellvorstellungen auf die Wirklichkeit des räumlichen Gefüges übertragbar sind (Jeannette, 1997).

3.1 Kapillartransport

Die Geschwindigkeit, mit welcher Natursteine Flüssigkeiten einsaugen, ist abhängig von ihrer Porengrösse. Grobporöse Natursteine saugen Flüssigkeiten schnell auf, feinporöse dagegen langsam. Die Aufsauggeschwindigkeit ist eine Wurzelfunktion der Zeit und wird somit, unabhängig von der Porengrösse, mit der Dauer immer langsamer (exponentiell abnehmend). Wenn in einem bestimmten Stein die Flüssigkeit nach 10 Minuten 1cm tief eingedrungen ist und der Stein weiter saugen kann, beträgt die Eindringtiefe der Flüssigkeit nach weiteren 10 Minuten 1.4 cm und nach noch einmal 10 Minuten 1.7 cm.

Bei horizontalem Eindringen ist das kapillare Saugen theoretisch unendlich. Dringt die Flüssigkeit aber von

unten in ein Porensystem ein, so wirkt die Schwerkraft der Kapillarkraft entgegen. Wenn Kapillarkraft und Schwerkraft sich die Waage halten, ist die maximale Steighöhe erreicht. Die Kapillarkraft ist umso grösser, je feiner die Poren des Materials sind. Das bedeutet, dass Flüssigkeiten in feinporösen Materialien höher aufsteigen können als in grobporösen.

Beim kapillaren Aufsaugen von Flüssigkeiten in Porenräume wird nie der ganze Porenraum mit Flüssigkeit gefüllt. Da das Wasser die Luft verdrängen muss, wird Luft in Form von Blasen in den grösseren Poren eingeschlossen. Dies gilt entsprechend auch für das Eindringen von Festigungsmitteln, welche nie den ganzen Porenraum ausfüllen.

3.2 Kondensation

Oberflächen von Feststoffen tragen eine gewisse Oberflächenladung. Befindet sich der Feststoff an feuchter Luft, so fixiert er je nach seinen Oberflächeneigenschaften sowie der herrschenden Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf seiner (inneren) Oberfläche eine oder mehrere Moleküllagen Wasser. Wenn diese adsorbierten Wasserlagen in sehr feinen Poren auftreten, können sich die Poren ganz mit Wasser füllen, was als Kapillarkondensation bezeichnet wird. Die Menge an derartig aufgenommenen Flüssigkeit ist bei feinporösen Steinen grösser als bei grobporösen und sie ist umso grösser, je feuchter die Umgebungsluft ist. Sind im Porenraum zusätzlich Salze vorhanden (Arnold, 1992), so wird die aufgenommene Kondensationsfeuchte in der Regel um ein Vielfaches erhöht. Aufgrund ihrer hygroskopischen Eigenschaften können Salze bereits bei relativ niedrigen Luftfeuchtigkeiten mehr als ihr Eigen-gewicht an Wasser aus der Umgebungsluft aufnehmen.

3.3 Verdunstung respective Trocknung

Die Geschwindigkeit der Austrocknung poröser Materialien wird einerseits von den Umgebungsbedingungen wie Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Intensität der Luftbewegung bestimmt. Andererseits entscheidet die Beschaffenheit des Porensystems darüber, wie rasch eine Flüssigkeit vom Innern an die trocknende Oberfläche nachströmen kann und damit, ob die Flüssigkeit vor allem an der

Oberfläche oder im Inneren des Materials verdunstet. Grundsätzlich werden Flüssigkeiten in feinen Poren stärker zurückgehalten als in groben. Feinkörnige Materialien haben in der Regel feinere Poren als grobkörnige. Deshalb kann z.B. bei Sandsteinen mit einer Wechsellagerung von feinkörnigen und grobkörnigen Lagen davon ausgegangen werden, dass die feinen Lagen nach einer Durchfeuchtung länger feucht bleiben als die groben.

Werden Prismen poröser Materialien zuerst mit Wasser getränkt, anschliessend an fünf der sechs Seiten luft- und wasserdicht verschlossen und dann bei konstanter Luftfeuchtigkeit und Windstille zum Trocknen aufgestellt, so zeigen die Trocknungskurven zwei meist gut unterscheidbare Abschnitte. Im ersten Trocknungsabschnitt verläuft die Trocknung linear mit der Zeit. In diesem Abschnitt wird die Lösung kapillar aus dem Steininneren an die Oberfläche transportiert, wo sie verdunstet. Dann folgt ein Abschnitt, in welchem die Menge an verdunstender Flüssigkeit mit der Zeit immer geringer wird. In dieser Phase zieht sich die Flüssigkeitsfront immer stärker ins Materialinnere zurück, die Oberfläche ist also nicht mehr feucht. Die Trocknung verläuft über eine immer grössere Wegstrecke durch Dampfdiffusion, weshalb sie viel langsamer ist als während des ersten Trocknungsabschnitts. Der Wassergehalt im Moment des Wechsels zwischen kapillarer und diffusiver Trocknung im Verhältnis zum Ausgangswassergehalt heisst kritischer Wassergehalt (Sc). Je kleiner Sc ist, desto rascher zieht sich die Verdunstungsfront in das Materialinnere zurück, respektive desto grösser ist das Wasserrückhaltvermögen des Materials.

4. Fallstudie Maria im Kapitol

Die Auswirkungen verschiedener Transportvorgänge und Versalzungen im Porensystem von Naturbausteinen sollen anhand der Studie über die Krypta von St. Maria im Kapitol (Foto 1) dargestellt werden (Laue et al., 1996). Es handelt sich um Teile der Untersuchungen, welche im Rahmen des BMBF-Forschungsprojektes (Bundesministerium für Bildung und Forschung) «Erhaltung historischer Wandmalereien» an der Fachhochschule Köln durchgeführt wurden. Das Projekt sollte Grundlagen zur Erhaltung von Wandmalereien und deren Umsetzung in die Praxis liefern und stand unter der Leitung von

Prof. Dr. K.L. Dasser und Prof. Dr. E. Jägers.

Die Krypta der romanischen Kirche von St. Maria im Kapitol in Köln liegt im Grundfeuchtebereich. Sie wurde im 19. Jahrhundert als Salzlageraum benutzt. Nach starken Kriegsschäden wurden viele Wiederaufbauarbeiten mit zementhaltigen Mörteln erstellt. Dies sind die beiden Hauptgründe für die starke Versalzung der Bausteine in der Krypta.

4.1 Zerstörungsmechanismen

Beobachtungen haben gezeigt, dass die Verwitterung der Steine hauptsächlich durch die Klimaverhältnisse in der Krypta angetrieben wird. Im Winterhalbjahr wird die Krypta beheizt und die relative Luftfeuchtigkeit sinkt so stark ab, dass die Salze auskristallisieren. Im Sommer steigt die Luftfeuchtigkeit wieder an, die Salze nehmen Feuchtigkeit aus der Luft auf und ziehen sich als Salzlösung tiefer in den Porenraum zurück. Als Bausteine kommen in der Krypta Sandstein, bioklastischer Kalkstein sowie Trachyt vor, welche trotz gleicher Exposition sehr verschiedene Verwitterungsformen zeigen. Der Sandstein wittert durch Absanden langsam zurück (Foto 2), der Kalkstein (Foto 3) wird flächig von einer Millimeter dicken Kochsalz-Natriumnitratkruste überzogen und der Trachyt zerbröckelt zu 1 bis 20 mm dicken und bis handgrossen Stücken (Foto 4).

Das unterschiedliche Verwitterungsverhalten der drei Gesteine lässt sich anhand der verschieden ausgebildeten Porositäten und somit anhand der Unterschiede in der Wasseraufnahme und -abgabe erklären:

Sandstein

Der Sandstein besitzt einen relativ hohen Gehalt an groben Poren, welche auch mikroporöse Bereiche miteinander verbinden. Deshalb wird die Verdunstung von Wasser aus dem Stein durch Dampfdiffusion dominiert, was zur Kristallisation der Salze in den mikroporösen Bereichen und damit zum Abstossen von oberflächlichen Sandkörnern führt.

Kalkstein

Der Kalkstein besitzt ein sehr engmaschiges und sehr gut verknüpftes Netzwerk aus feinen Kapillarporen. Das führt dazu, dass Wasser vor allem auf der äussersten Oberfläche verdunstet, so dass die Salze auch dort

kristallisieren, eine durchgehende Kruste bilden und nur wenig Schaden anrichten.

Trachyt

Der Trachyt hat eine heterogene Porenstruktur, welche durch enge Risse gebildet wird, die oft in unmittelbarer Nachbarschaft zu verwitterten grossen Sanidinen (Feldspäte) auftreten. Im Trachyt findet Wassertransport fast ausschliesslich gasförmig statt. Das führt dazu, dass die Salze, welche generell in der flüssigen Phase transportiert werden, nur sehr punktuell und oft hinter grossen Phänokristallen im Stein auskristallisieren. Durch diesen Mechanismus lässt sich das beobachtete grossflächige Abbröckeln erklären.



Foto 2: Durch das Absanden treten die Sedimentstrukturen des Sandsteins deutlich hervor. Bildbreite ca. 80cm.

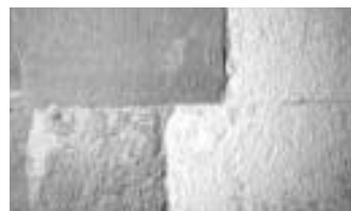


Foto 3: Stelle in der Wand der Krypta, an der die drei Steine räumlich nebeneinander verbaut sind. Der Kalkstein ist vollständig von einer weissen Salzkruste überzogen. Bildbreite ca. 1m.



Foto 4: Abbröckelnder Trachyt. Bildbreite ca. 30 cm.

4.2 Konservierungsmöglichkeiten

Bei der Erhaltung von Natursteinobjekten können präventive Massnahmen und direkte Eingriffe als zwei grundsätzlich verschiedene Ansätze herausgestellt werden. Für geplante Massnahmen müssen in jedem Fall Prognosen über die zu erwartenden Auswirkungen erstellt werden.

Bei den sogenannten präventiven Massnahmen werden die Umgebungsbedingungen derart verändert, dass der weitere Schadensverlauf möglichst reduziert wird. Bei der Krypta von St. Maria im Kapitol könnte dies unter anderem dadurch geschehen, dass die Krypta im Winter nicht mehr beheizt würde. Dadurch würde die relative Feuchte der Raumluft weniger stark absinken und die schädliche Salzkristallisation würde deutlich reduziert, wenn nicht sogar vollständig verhindert. Als negative Folge müsste in der kalten Krypta mit sehr viel Feuchtigkeitsniederschlag und entsprechend starker Korrosion von Metallteilen (Rohre der elektrischen Leitungen u.v.a.m.) sowie mit vermehrtem biologischem Bewuchs gerechnet werden. Diese beiden Erscheinungen waren die Hauptgründe, die zum Einbau der Heizung führten.

Bei den direkten Eingriffen (z.B. Festigung) werden die Baumaterialien so verändert, dass sie eine bessere Resistenz gegen die Verwitterungsbedingungen aufweisen oder es werden schädliche Substanzen (z.B. Salze) aus den Materialien entfernt. Im vorliegenden Beispiel kommen die Schäden vor allem dadurch zustande, dass die Steine sehr hohe Salzgehalte aufweisen. Es wäre also naheliegend zu versuchen, diese hohen Salzgehalte zu reduzieren.

Sandstein

Der Sandstein könnte mit Hilfe von Entsalzungskompressen behandelt werden. Dabei werden feuchte Zellstoffkompressen auf die Oberfläche gebracht. Das Wasser in der Kompressen wird beim Aufbringen leicht ausgedrückt und vom Stein kapillar aufgesogen. Durch Diffusion der Salzionen stellt sich zwischen dem feuchten Bereich des Steins und der Kompressen ein Gleichgewicht ein, d.h. die Ionen wandern zum Teil in die Kompressen hinüber und werden mit ihr zusammen entfernt und somit im Stein reduziert. Diese Behandlung ist beim Sandstein erfolgversprechend, weil hier die Salze hauptsächlich in den äusseren Zentimetern

angereichert sind und weil die Feuchtigkeit kapillar gut aufgesogen werden kann. Ein anschliessender Feuchte- und Salznachschub würde in diesem Stein wohl mit der Zeit zu einer erneuten Anreicherung von Salzen im Oberflächenbereich führen, so dass die Behandlung wiederholt werden müsste.

Kalkstein

Beim Kalkstein befinden sich die Salze zum grössten Teil als Kruste auf der Oberfläche und könnten von dort mechanisch entfernt werden. Da der Feuchte- und Salzlösungstransport in diesem Gestein hauptsächlich kapillar erfolgt, ist auch bei Feuchtenachschub aus dem Steininneren mit einer erneuten Krustenbildung auf der Oberfläche zu rechnen. Diese müsste wiederum entfernt werden.

Trachyt

Eine Entsalzungsmassnahme, wie sie beim Sandstein beschrieben wurde,

dürfte beim Trachyt keinen Erfolg haben respektive gar nicht durchführbar sein, denn dieser Stein saugt Wasser viel zu langsam auf. Zur Reduzierung der Salze müsste hier am ehesten an das Aufbringen eines langfristig wirksamen Kompressenmantels oder Opferputzes gedacht werden. Ein solcher Putz sollte, um einen zusätzlichen Salzeintrag zu vermeiden, als reiner Kalkputz ausgeführt werden. Er soll bewirken, dass aus dem Steininneren nachgesaugte Flüssigkeit nicht mehr in der Tiefe des Steins, sondern im Putz selbst verdunstet und sich auch dort die Salze anreichern. Dies hat ästhetische Probleme zur Folge, welche aber in Anbetracht der ansonsten grossen Verluste an Originalmaterial möglicherweise als zweitrangig zu bewerten sind. Beobachtungen an einer Säule haben ergeben, dass dieses Objekt einen Materialverlust von über 2 kg Stein pro Jahr erlitten hat.

Es sei noch angefügt, dass die beiden gut kapillar saugenden Materialien Sandstein und Kalkstein mit Festigungsmitteln behandelt werden könnten, falls dies notwendig sein sollte. Der Trachyt dagegen sollte einer solchen Behandlung nicht unterzogen werden, da der Festiger nicht in nützlicher Frist in das Material eindringen würde.

5. Synthese und Ausblick

Wie in den meisten Fällen, so wäre auch im Falle der Krypta von St. Maria im Kapitol eine Kombination von präventiven und direkten Massnahmen als optimal anzusehen. Es wäre dabei anzustreben, das Raumklima in der Krypta so einzustellen, dass im Winter die Luftfeuchtigkeit nicht unter ein gewisses Mass absinkt, jedoch auch nicht über ein bestimmtes Mass ansteigt. Des Weiteren könnte eine

Reduzierung der Salze dazu führen, dass die Schäden nicht noch weiter zunehmen.

Ähnliche Probleme, wie die für St. Maria im Kapitol zu Köln dargestellten, zeigen sich fast immer dann, wenn unbeheizte, wenig benutzte Räume eine Nutzungsänderung erfahren, welche eine Beheizung notwendig macht (z.B. Umwandlung von Gewölbekellern zu Restaurants). Die Beheizung führt bei solchen Räumen dazu, dass die Luftfeuchtigkeit stark absinkt, was zu Schäden durch Salzausblühungen führen kann. Folglich sollten bei der Nutzungsänderung von Gebäudeteilen bereits im Voraus mögliche Bauwerksschäden sowie deren Verhinderung bzw. Korrektur bedacht werden.