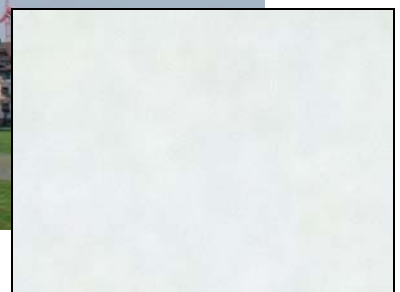
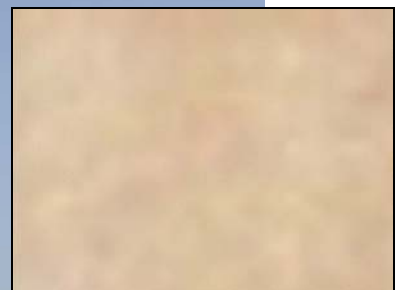


**SANDSTEIN**

**DIE RESTAURATION DER KATHEDRALE ST.GALLEN**



RLC



**JANN EBERHART / CLAUDIO NEF / PROF. DR. PETER BÜTZER**  
**SANDSTEIN – DIE RESTAURATION DER KATHEDRALE ST.GALLEN**

*Die Studierenden bestätigen mit der Abgabe der Semesterarbeit,  
diese eigenständig erarbeitet zu haben*

Sommersemester 2002  
Pädagogische Hochschule St.Gallen

# INHALTSVERZEICHNIS

|   |                 |   |
|---|-----------------|---|
| 1 | Vorwort.....    | 1 |
| 2 | Einleitung..... | 2 |

## TEIL I

### DIE GESCHICHTE DER KATHEDRALE

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Die Stiftskirche bis 1755 .....                                 | 3  |
| 1.1   | Einleitung.....   | 3  |
| 1.2   | Frühe Abbildungen der Klosteranlage.....                        | 4  |
| 2     | Die Stiftskirche seit 1755.....                                 | 4  |
| 2.1   | Neuerbauung der Stiftskirche (1755-1766) .....                  | 4  |
| 2.1.1 | Einleitung.....   | 4  |
| 2.1.2 | Planung.....  | 4  |
| 2.1.3 | Die Bauarbeiten beginnen.....                                   | 7  |
| 2.2   | Fassaden- und Mauer-Arbeiten nach 1766.....                     | 9  |
| 2.2.1 | Statische Sicherungsarbeiten (1817-1819).....                   | 9  |
| 2.2.2 | Erste Restauration (1841-1845).....                             | 9  |
| 2.2.3 | Zweite Restauration (1928-1938).....                            | 9  |
| 3     | Die Sandsteinfrage.....   | 11 |
| 3.1   | Verwendete Steine für den Bau der Stiftskirche (1755-1766)..... | 11 |
| 3.2   | Verwendete Steine für die erste Restauration (1841-1845).....   | 11 |
| 3.3   | Verwendete Steine für die zweite Restauration (1928-1938).....  | 12 |

## TEIL II

### SCHWEIZER SANDSTEINE

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Materialtechnische Daten und Verwendbarkeit..... | 13 |
| 2     | Geologie und heutige Abbaugebiete.....           | 14 |
| 2.1   | Einleitung.....                                  | 14 |
| 2.2   | Triassische Sandsteine .....                     | 14 |
| 2.2.1 | Keuper (obere Abteilung der Trias).....          | 14 |
| 2.2.2 | Buntsandstein (untere Abteilung der Trias).....  | 14 |
| 2.3   | Tertiäre Sandsteine .....                        | 15 |
| 2.3.1 | Glaukonitsandstein, Flysch (Paläozän).....       | 15 |
| 2.3.2 | Untere Meeresmolasse (Oligozän).....             | 15 |
| 2.3.3 | Untere Süsswassermolasse (Oligozän, Miozän)..... | 15 |
| 2.3.4 | Obere Meeresmolasse (Miozän).....                | 16 |

### **TEIL III**

#### **DIE RESTAURATION VON HEUTE**

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Das Projekt.....   | 17 |
| 1.1   | Einleitung.....  | 17 |
| 1.2   | Abklärungsetappe .....   | 17 |
| 1.3   | Finanzierung .....   | 18 |
| 1.4   | Geplanter Bauablauf.....   | 18 |
| 2     | Der lange Weg der Sandsteine.....  | 19 |
| 2.1   | Einleitung.....  | 19 |
| 2.2   | Jeder Stein hat seinen Platz .....                                       | 19 |
| 2.3   | Gesteinsbegutachtung, Schadensbilder verschiedener Gesteinstypen.....    | 19 |
| 2.3.1 | Typ I – Teufener Sandstein.....  | 20 |
| 2.3.2 | Typ II – Rorschacher Sandstein.....                                      | 20 |
| 2.3.3 | Typ III – Granitischer Sandstein (wahrscheinlich vom Spieltrückli) ..... | 20 |
| 2.4   | Sanierungsmassnahmen.....  | 21 |
| 2.4.1 | Reinigung.....   | 21 |
| 2.4.2 | Teilersatz.....  | 21 |
| 2.4.3 | Vollständiger Ersatz.....  | 21 |
| 2.4.4 | Reprofilierung.....  | 22 |
| 2.5   | Figürliche Bildhauerarbeiten .....                                       | 22 |
| 3     | Die Zulieferbetriebe.....  | 23 |
| 3.1   | Einleitung.....  | 23 |
| 3.2   | Oberflächennaher Abbau – Bärlocher Steinbruch und Steinhauerei AG.....   | 23 |
| 3.3   | Schachtabbauverfahren – Gebrüder Müller AG Natursteine.....              | 24 |
| 4     | Kurzer Überblick weiterer Restaurationsarbeiten .....                    | 24 |

### **TEIL IV**

#### **GESTEINSVERWITTERUNG**

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1   | Physik – Natürliche Verwitterungsprozesse..... | 25 |
| 1.1 | Einleitung.....                                | 25 |
| 1.2 | Befeuchtungs- und Trocknungszyklen .....       | 25 |
| 1.3 | Salzsprengung.....                             | 26 |
| 1.4 | Erwärmung und Abkühlung, Frostsprengung .....  | 26 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 2     | Chemie – Luftverschmutzung, saurer Regen, Staub .....                                | 26 |
| 2.1   | Einleitung.....  | 26 |
| 2.2   | Die wichtigsten Luftschadstoffe und deren Ursprung.....                              | 26 |
| 2.2.1 | Die Belastungssituation rund um das Kloster St.Gallen.....                           | 27 |
| 2.2.2 | Der Einfluss des Strassenverkehrs .....  | 27 |
| 2.3   | Deposition am Beispiel des Schwefeldioxids.....                                      | 28 |
| 2.3.1 | Trockene Deposition.....   | 28 |
| 2.3.2 | Nasse Deposition.....  | 28 |
| 2.4   | Die zwei wichtigsten Schadensbilder .....  | 29 |
| 2.4.1 | Absanden.....  | 29 |
| 2.4.2 | Schalenbildung.....  | 30 |
| 3     | Biologie – Biogene Gesteinsverwitterung  |    |
| 3.1   | Einleitung.....  | 30 |
| 3.2   | An der Gesteinsverwitterung<br>beteiligte Mikroorganismen und ihre Aktivitäten ..... | 31 |
| 3.2.1 | Algen.....   | 31 |
| 3.2.2 | 1 Pilze.....   | 31 |
|       | 2 Chemoorganotrophe Pilze .....  | 32 |
| 3.2.3 | Flechten.....  | 32 |
| 3.2.4 | Bakterien .....  | 33 |
|       | 1 Nitrifizierende Bakterien.....   | 33 |
|       | 2 Chemoorganotrophe Bakterien.....   | 34 |
| 3.3   | Voraussetzungen für die Besiedlung durch Mikroorganismen .....                       | 34 |
| 3.4   | Die Wirkung von Mikroorganismen.....   | 34 |
| 3.5   | Von Mikroorganismen verursachte Schäden.....   | 35 |

## **TEIL V**

### **ZUSAMMENFASSUNG**

|   |                                     |    |
|---|-------------------------------------|----|
| 1 | Die Geschichte der Kathedrale ..... | 36 |
| 2 | Schweizer Sandsteine .....          | 37 |
| 3 | Die Restauration von heute.....     | 37 |
| 4 | Gesteinsverwitterung .....          | 38 |

## **TEIL VI**

### **LITERATURVERZEICHNIS**

|       |    |
|-------|----|
| ..... | 39 |
|-------|----|

## **ANHANG**

|   |                       |    |
|---|-----------------------|----|
| A | Namenverzeichnis..... | 41 |
| B | Sachverzeichnis ..... | 41 |

# 1 VORWORT

Als uns Herr Prof. Dr. Peter Bützer als Thema dieser dritten Semesterarbeit an der Pädagogischen Hochschule St.Gallen die Restauration der Kathedrale St.Gallen vorschlug, konnte er damit unsere Begeisterung auf Anhieb wecken. Nach ersten Recherchen zeigte sich sehr schnell, dass der Umfang dieser Thematik den Rahmen der Arbeit bei weitem sprengen würde. Deshalb entschlossen wir uns, sie auf das – von Projektleiter Andreas Fritsche als «höchst umfassend» bezeichnete – Teilgebiet «Sandstein» zu beschränken.

Diese fächer-übergreifende Thematik motivierte und forderte uns während der ganzen Erarbeitungsphase immer wieder von Neuem und hielt uns auch in mühsameren Zeiten davon ab, die Flinte frühzeitig ins Korn zu werfen.

Wir möchten denjenigen Personen<sup>1</sup>, welche uns beim Verfassen der vorliegenden Arbeit tatkräftig zur Seite gestanden sind, einen herzlichen Dank aussprechen. In erster Linie gilt dies Herrn Prof. Dr. Peter Bützer, unter dessen Leitung wir sie erarbeiten durften, und Herrn Andreas Fritsche vom Architekturbüro Rausch Ladner Clerici AG in Rheineck, der uns viele seiner Stunden widmete und sich freundlicherweise auch dazu bereit erklärte, das Manuskript zu korrigieren. Ebenfalls zu Dank verpflichtet sind wir:

- dem Verwalter der Katholischen Administration, Herrn Rudolf Würmli;
- den beiden Archivaren des Stiftsarchivs, sowie des Staatsarchivs und der Verwaltungsbibliothek, Herrn Thomas Fuchs und Herrn Markus Kaiser, die uns bei der «Durchstöberung» der Archive unterstützt haben;
- Herrn Johannes Müller, der uns bei der mühsamen Entzifferung alter Kurentschriften behilflich war;
- der Arge «Stein Kathedrale St.Gallen» für die wertvollen Informationen, insbesondere Herrn Daniel Stoffer und der ganzen Belegschaft der Bärlocher Steinbruch und Steinhauerei AG in Staad, Herrn Rainer Müller und der ganzen Belegschaft der Gebrüder Müller AG Natursteine in Neuhaus, sowie den Bildhauern der Walter Ghenzi Natursteine AG in Uznach;
- Herrn Dr. Paul Raschle und Herrn Dr. Michael Nay von der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) in St.Gallen für die Informationsbeschaffung im Bereich der biogenen Gesteinsverwitterung;
- Herrn Prof. Dr. Oskar Keller, Herrn Reto Felix und Herrn Roman Mader für das Zur-Verfügung-Stellen benötigter Literatur.

Auch danken möchten wir Herrn Dr. Josef Grünenfelder, Bundesexperte der Denkmalpflege, Frau Katja Abegg, Frau Sabine Muff und unseren Eltern für das Lektorat.

St.Gallen, im November 2002

---

<sup>1</sup> Legaldefinition (vgl. *Richtlinien zur sprachlichen Gleichbehandlung von Frau und Mann* der Erziehungsdirektorenkonferenz der deutsch- und gemischtsprachigen Kantone und des Fürstentums Liechtenstein (D-EDK) vom 17. September 1992): Alle Personenbezeichnungen umfassen soweit sinnvoll weibliche und männliche Personen.

## 2 EINLEITUNG

Als die barocke Kathedrale St.Gallen in den Jahren 1755-1766 erbaut wurde, ahnte noch niemand, welche Bedeutung dieses Bauwerk später einmal erlangen sollte. Es ist vor allem den unter Johann Christian Wentzinger (1710-1797) ausgeführten Bildhauer-, Malerei- und Stuckaturarbeiten zu verdanken, dass der Stiftsbezirk heute zum UNESCO-Weltkulturerbe zählt.

Seit der Erbauung mussten aufgrund vielfältiger Verwitterungsschäden an den Türmen und an der Fassade bereits zwei Restaurationen durchgeführt werden. Während von 1841-1845 vor allem die Ostfassade und die Sockelverkleidungen der Türme wiederhergestellt wurden, fand in den Jahren von 1928-1938 eine universelle Restauration des Äusseren statt. Im Gegensatz zur ersten existiert aus der Zeit der zweiten Restauration bereits ein umfangreicher Baubericht des Architekten Erwin Schenker (1892-1964), unter dessen Leitung diese Erhaltungsmassnahmen in den Dreissigerjahren vonstatten gingen.

Über die jüngste, knapp unter 13 Millionen Franken budgetierte Restauration (1995 / 2000-2003) wird von der Projektleitung eine umfassende Dokumentation erstellt, sodass es in Zukunft fast keine Probleme mehr geben wird, die getätigten Arbeiten nachzuvollziehen. Letztere bestehen zum überwiegenden Teil aus Natursteinarbeiten, auf welche wir uns in dieser Publikation auch beschränken werden.

- Teil I ist der Erbauung der Stiftskirche und den Restaurationsarbeiten bis anno 1938 gewidmet. Dabei interessiert vor allem, welche Sandsteine verwendet wurden.
- In Teil II befassen wir uns mit dem Schweizer Sandstein; Geologie, Abbaugelände und Materialtechnisches stehen im Zentrum.
- Teil III beinhaltet Informationen über das heutige Restaurationsprojekt, insbesondere über die Gesteinsbegutachtung und den langen Weg, welchen die Sandsteine vom Steinbruch bis zum Ort der Verwendung zurücklegen.
- Teil IV liefert detaillierte Angaben zur physikalischen, chemischen und biogenen Gesteinsverwitterung.

Abschliessend werden die wichtigsten Erkenntnisse der vorgängig besprochenen Teile zusammengefasst und ein Ausblick auf weitere mögliche Themen im Zusammenhang mit Sandstein und der Restauration der Kathedrale gewährt.



**Abbildung 1: Die Kathedrale anno 2002**

# TEIL I

## DIE GESCHICHTE DER KATHEDRALE

Nachforschungen zur baulichen Geschichte der Klosterkirche St.Gallen sind keineswegs ein leichtes Unterfangen. Einerseits ist eine Fülle von Literatur vorhanden – angefangen bei alten Schriften aus Archiven bis und mit neueren Werken, in denen versucht wird, möglichst viele Sachverhalte aus der damaligen Zeit zusammenzufassen und zu ordnen – andererseits sind die Geschehnisse aus der Zeit des Neubaus der Stiftskirche im 18. Jahrhundert nicht lückenlos geklärt.

Die folgenden Abschnitte liefern einen groben Überblick über die Geschichte der Klosterkirche, wie sie seit Mitte des 18. Jahrhunderts das Auge des Besuchers erfreut. Im Zentrum stehen die Erbauung (1755-1766) und die verschiedenen Restaurationen, die an der Kirche vorgenommen wurden.



Vogler & Gubler, 1986, S. 15

**Abbildung 1: Die St.Galler Stiftskirche mit Otmarskirche (rechts) um 1720;  
Zeichnung von P. Gabriel Hecht**

## 1 DIE STIFTSKIRCHE BIS 1755

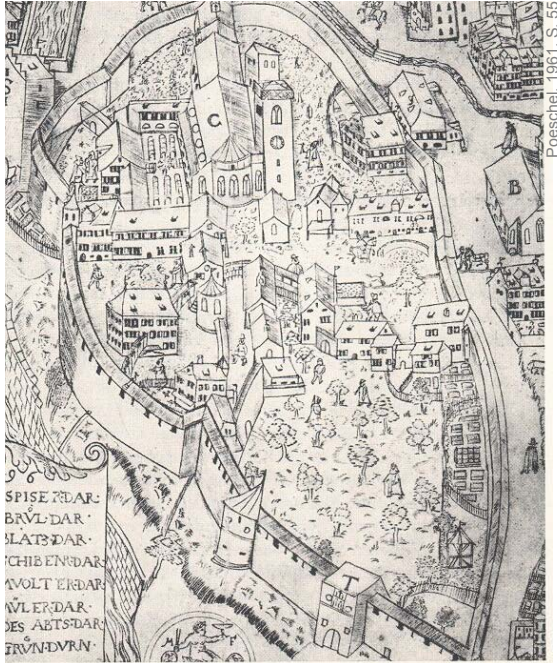
### 1.1 EINLEITUNG

Einzelansichten der Klosteranlage, und speziell der Stiftskirchen, erscheinen erst gegen Ende des 17. Jahrhunderts. Für die Bilddokumentation der Baugeschichte des Stiftes vor dieser Zeit ist man auf die Gesamtansichten der Stadt angewiesen. Jene Bilder aus der Zeit vor dem 16. Jahrhundert sind jedoch nur in sehr geringer Zahl vorhanden (vgl. Poeschel, 1961, S. 3).

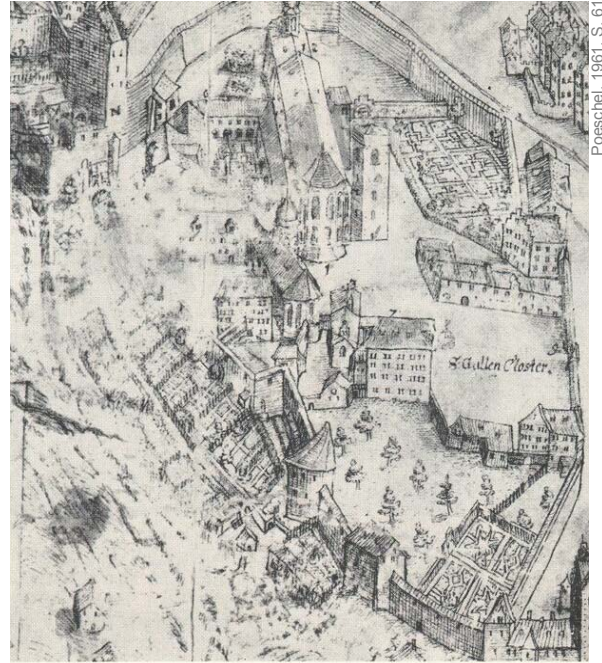


## 1.2 FRÜHE ABBILDUNGEN DER KLOSTERANLAGE

Man darf annehmen, dass die Grundzüge der Gesamtanlage geschichtlich sehr weit zurückreichen. Ein klareres Bild der tatsächlich gebauten Klosteranlage liefern erstmals die Planperspektiven von Melchior Frank (um 1596; vgl. Abbildung 2) und seiner Nachfolger. Dazu gehören auch die Skizzen und Zeichnungen von P. Gabriel Hecht (vgl. Seite 3, Abbildung 1), die allerdings erst zu Beginn des 18. Jahrhunderts entstanden sind.



**Abbildung 2: Teilstück von Melchior Frank um 1596 aus einer Planperspektive**



**Abbildung 3: Teilstück um 1666 aus einer Planperspektive**

Die Zeichnungen aus dem 17. Jahrhundert (vgl. Abbildung 3) berücksichtigen bereits die Umbauarbeiten unter Abt Gallus II in den Jahren 1666/67.

## 2 DIE STIFTSKIRCHE SEIT 1755

### 2.1 NEUERBAUUNG DER STIFTSKIRCHE (1755-1766)

#### 2.1.1 EINLEITUNG

Der Gedanke, die teilweise massiv zerstörte Stiftskirche vollständig zu erneuern, reicht geraume Zeit vor den Beginn des Neubaus zurück. Vermutlich weist bereits die Anschaffung eines Grundrissbuches im Jahre 1710 darauf hin, dass man sich schon damals mit dieser Aufgabe beschäftigte (vgl. Poeschel, 1961, S. 101).

#### 2.1.2 PLANUNG

Der Anschaffung dieses Grundrissbuches im Jahre 1710 durch Gabriel Hecht folgten viele weitere Hinweise, die auf eine konkretere Planung eines Neubaus der Stiftskirche hindeuteten. Am 10. Februar 1717, also rund sieben Jahre später, teilte der Baumeister Joh. Caspar Glattburger einem Bruder Peter in Einsiedeln die Masse der St.Galler Stiftskirche mit, anscheinend zuhänden von Caspar Mosbrugger.

1721 stellte Mosbrugger sein Projekt Abt Joseph von Rudolphi vor, seine Entwürfe blieben jedoch für die spätere Plan-Entwicklung ohne Folgen. 1725/26 trat P. Gabriel Hecht, den der Abt im Jahre 1719 zum Bauherrn gemacht hatte, mit einem in 14 Pläne gegliederten Projekt hervor, das aber ebenfalls für die spätere Entwicklung keinen Einfluss hatte – statt einer Neugestaltung plante Hecht lediglich den Umbau der alten Klosterkirche.

Da sich der bauliche Zustand der Kirche stets verschlechterte, liess Abt Joseph von Rudolphi im Jahre 1731 den Ingenieur-Hauptmann Michael Beer von Bleichten zu sich kommen. Dieser überprüfte den Zustand der Kirche, und als er 18 Jahre später am 13. September 1749 von Abt Coelestin II von Staudach (vgl. Abbildung 4) abermals nach St.Gallen berufen wurde, zeigte sich wider aller Befürchtungen, dass sich die statische Verfassung des Bauwerkes nicht verschlimmert hatte.

Im selben Jahr, allerdings einige Monate früher, liess Abt Coelestin II den Baumeister Peter Thumb<sup>1</sup> (Schwiegersohn von Michael Beer) zu sich kommen. Dieser erschien bereits «mit einigen Rissen zue einer neuen kirch» (Poeschel, 1961, S. 104).

Im Frühling 1750 trat Giov. Gasp. Bagnato, der Baudirektor des Deutschen Ordens, deutlicher in Erscheinung. In den Jahren zuvor hatte er das äbtische Kornhaus in Rorschach vollendet.

Nach einem ersten Gespräch mit dem Abt am 2. Mai 1750 fand ein weiteres Treffen am 29. Oktober 1750 zwischen den beiden statt. Bagnato hatte den Auftrag erhalten, ein neues Projekt für die zukünftige Kirche zu entwerfen, dessen Pläne er dann persönlich beim Abt ablieferte (vgl. Poeschel, 1961, S. 101-106).



Poeschel, 1961, S. 105

**Abbildung 4: Portrait des Abtes Coelestin II**

Dieses Projekt wurde indes nicht unverändert zur Ausführung in Erwägung gezogen. Darauf deutet ein Dokument im Stiftsarchiv hin, das bisher noch keine Beachtung gefunden hat. Das wohl in der äbtischen Kanzlei aufgesetzte, mit der Jahreszahl 1751 datierte Aktenstück ist nicht signiert und daher als Konzept oder Kopie zu betrachten. Der erste Teil, «Überschlag» bezeichnet, enthält eine Aufstellung der auszuführenden Arbeiten mit den Massen der Bauten, der zweite, «Bedingnusse», stellt den Entwurf eines Kontraktes mit dem Baumeister dar, dessen Name im Text nicht vorkommt<sup>2</sup>. Der einzige Hinweis persönlicher Natur besteht darin, dass vom Sohn des Meisters die Rede ist. Doch kann dies auf Bagnato wie Thumb bezogen werden, da beide mit ihren Söhnen zusammenarbeiteten. (Poeschel, 1961, S. 106).

---

<sup>1</sup> Thumb erscheint erstmals am 28. Februar in den St.Galler Archivalien. Da er an diesem Tag bereits seine Pläne dem Abt vorstellte, musste er mit diesem bereits zuvor in Verbindung gestanden sein.

<sup>2</sup> Mit «Überschlag» sind die Zimmermannskosten, mit «Bedingnusse» die Spezifikation der Materialien für den Kirchenbau gemeint. Der Kontrakt enthält u.a. Angaben zur Mauerarbeit für die Kirche, die beiden Türme, die Kuppel und den Kreuzgang.



Obwohl der zuvor erwähnte Kontrakt keinen Aufschluss über die Bauleitung liefert – Bagnato oder Thumb – so klärt er wenigstens die Frage, zu welcher Lösung man sich damals entschlossen hatte. Denn dieses Schriftstück war nicht nur ein unverbindlicher Voranschlag, sondern ein Vertrag, welcher zeigt, dass die Verwirklichung des Projektes bereits in das Stadium ernsthafter Verhandlungen getreten war.

Im Vertrag festgehalten wurde einerseits die Beseitigung des gotischen Chores sowie der Otmarskirche (vgl. Seite 3, Abbildung 1), andererseits die Errichtung einer einheitlichen Anlage mit einer zentralen Rotunde, deren Kuppel die gewaltige Spannweite von 115 Fuss (ca. 38 Meter) aufweisen sollte<sup>3</sup> (vgl. Abbildung 6).

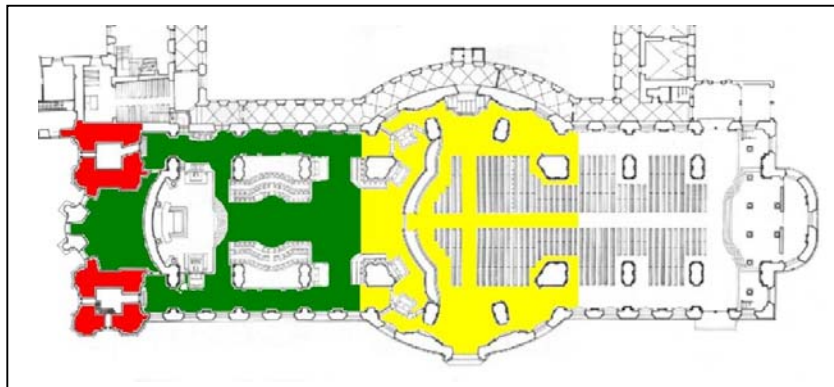
Ein in der Stiftsbibliothek befindliches Holzmodell des Ordensbruders Gabriel Loser (vgl. Abbildung 5), welches zu einem unbekanntem Zeitpunkt vor dem April 1752 entstanden ist, weist im Gegensatz zu Bagnatos Plänen denselben Kuppeldurchmesser auf, wie im Kontrakt festgehalten, d.h. ebenfalls 115 Fuss. Es macht also den Anschein, dass nicht Bagnatos Plan, sondern das Konzept von Loser zur Ausführung ausgewählt wurde (allerdings stimmt Losers Modell auch nicht vollständig mit der heutigen Kirche überein). Wessen Modell resp. Pläne



Poeschel, 1961, S. 107

**Abbildung 5: Holzmodell der Stiftskirche**

letztendlich umgesetzt wurden, ist heute keineswegs geklärt!



Eberhart, 2002 (Quelle: Poeschel, 1961, S. 115)

**Abbildung 6: Grundriss der heutigen Stiftskirche: Türme rot, Chor grün, Rotunde gelb, rechts neben der Rotunde das Schiff (weiss)**

den Auftrag, ein Projekt für die neue Stiftskirche St.Gallen zu entwerfen. Sein Projekt blieb aber ohne Folgen (abgesehen davon, dass ihn der Tod frühzeitig ereilt hatte).

<sup>3</sup> Bagnato hatte in seinen Entwürfen einen Kuppeldurchmesser von «nur» 65 Fuss (ungefähr 21.5 Meter) eingeplant.

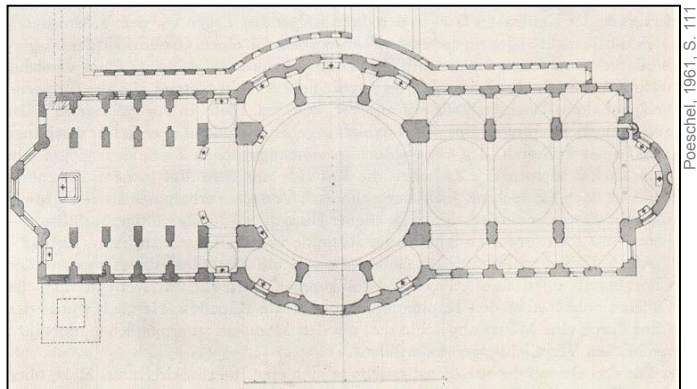
Am 17. April 1751 erschien Peter Thumb erneut beim Abt und legte ihm die neuen Pläne vor. Die Frage, ob alles abgerissen (auch der alte Chor und die Otmarskirche) und neu erbaut werden sollte, beschäftigte den Abt sehr. Darum liess er bereits am 23. September 1749 ein Kollegium einberufen, um dieses Problem zu diskutieren. Die Mehrheit dieses Kollegiums vertrat die Meinung, man solle nur das erneuern, was wirklich nötig sei.

Da aber die Diskussion über diesen Punkt dem Abt keine Ruhe liess, berief er das Kollegium am 13. September 1752 abermals ein. Auch dieses Mal sprach sich, mit Ausnahme eines Mitgliedes, die Mehrheit gegen eine Gesamterneuerung aus – der alte Chor sollte stehen bleiben (vgl. Poeschel, 1961, S. 106-110).

### 2.1.3 DIE BAUARBEITEN BEGINNEN

Zu Beginn des Jahres 1755 fühlte sich der Stift zur Ausführung der Bauarbeiten bereit. Dass der Baubeginn so lange auf sich hatte warten lassen, hatte einerseits technische, andererseits finanzielle Gründe. Das Bauholz benötigte eine gewisse Lagerzeit und das verlangte Steinmaterial musste teilweise schon vor Baubeginn abgebaut und bearbeitet werden. Die Finanzierung hätte vorher auf wackeligen Beinen gestanden, denn die Bauarbeiten am Kornhaus in Rorschach waren noch nicht ganz beendet.

Nach einem Treffen zwischen Abt Coelestin, Pater Maurus Buol von Rorschach und Peter Thumb am 5. März 1755 schien der Diskussionsgegenstand Chor erneut ungeklärt. Am 18. April fanden sich Buol, Thumb und dessen Sohn, welcher ebenfalls Peter hiess, erneut in St.Gallen ein – Thumb legte einen neuen Plan vor (vgl. Abbildung 7), mit einer ganzheitlich neuen Kirche. Kurze Zeit später, nachdem der neue Plan dem Konvent vorgelegt wurde, liess Coelestin «ein Contract mit dem Bau Mr. Thumb aufsetzen» (Poeschel, 1961, S. 111).



**Abbildung 7: Peter Thumbs Plan der neuen Klosterkirche von 1755**

Am 2. Mai 1755 wurde mit dem Abbruch des Schiffes begonnen, an Pfingsten desselben Jahres stand der Chor bereits offen da. Er wurde danach durch eine Mauer abgeschlossen, um es den Mönchen trotz Bauarbeiten zu ermöglichen, dort ihre kirchlichen Pflichten zu erfüllen.

Am 16. August 1756 konnte bereits mit dem Bau des Dachstuhles begonnen werden. Das Jahr 1757 war vollständig durch die Arbeiten für die Innen- und Aussendekoration der Kirche bestimmt. Der verantwortliche Meister für diese Arbeiten war Johann Christian Wentzinger aus Ehrenstetten (1710-1797; vgl. Seite 8, Abbildung 8). Er war zuständig für die kirchlichen Bildhauerarbeiten, Malereien und Stuckaturen. Die Steine für die grossen Statuen aus Sandstein wählte Wentzinger anscheinend im Steinbruch von Teufen selber aus.

Besonders die unter ihm stehenden Arbeiten liefen 1758 auf Hochtouren; drei Arbeiter waren voll und ganz damit beschäftigt, Gips und Wasser für die Stuckateure herbeizuschaffen.

Im Jahre 1760 erreichte der Neubau des Schiffes seine Vollendung, und am 16. November desselben Jahres fand der erste Gemeindegottesdienst in der neuen Stiftskirche statt (vgl. Poeschel, 1961, S. 110-117).

Bereits zu Beginn dieses Jahres scheint die Mehrheit des Konvents – im Widerspruch zu der früher vertretenen Auffassung – dafür gewonnen gewesen zu sein, das grossartige



Poeschel, 1961, S. 109

Werk mit einem Neubau des Chores zu krönen. Das geht daraus hervor, dass schon am 11. Februar 1760 das Bauamt mit Johannes Gschwend in St. Georgen einen Kaufvertrag über «Bauholz zum Khor» abschloss (vgl. Poeschel, 1961, S. 117).

Nachdem Johann Michael Beer von Bildstein<sup>4</sup> Abt Coelestin einen neuen Plan vorgelegt hatte, welcher vorsah, anstatt nur eines Turmes deren zwei zu bauen, entschied sich der Abt für den Vorschlag, zwei Türme zu bauen. Es wurde jedoch nicht nach dem Bauplan von Beer gebaut. Gemäss einer Tagebuchnotiz vom 19. Januar 1761 geht hervor, dass Ordensbruder Gabriel Loser, zusammen mit «Mr. Bär von Bildstein» – wobei es sich wahrscheinlich wiederum um Joh. Michael Beer von Bildstein handelt – einen neuen Plan erstellt hatte, nach welchem schlussendlich dann auch weitergebaut wurde.

**Abbildung 8: Selbstportrait von Johann Christian Wentzinger (1710-1797) um 1740**

Die Bauführung ging somit wegen der neuen Pläne von Peter Thumb auf Beer von Bildstein über, wobei ersterer ohnehin aufgrund seines hohen Alters der Aufgabe nicht mehr gewachsen war. Bereits am 31. März 1761 wurde mit den Abrissarbeiten des alten Chores, der Sakristei und des Glockenturmes begonnen.

In zwei Verträgen vom 17. und 18. Januar 1763 wurde festgelegt, dass mit der Steinbildnerei an der ganzen Ostfassade und den Türmen ein gewisser Joseph Anton Feuchtmayer beauftragt wurde<sup>5</sup>.

Im Winter 1763/64 wurden grosse Mengen Steine auf den Bauplatz geführt (vgl. Kapitel 3), sodass bei Abschluss der Bausaison der Rohbau des Chores fertig da stand; dies geht aus dem Verbrauch an Dachziegeln hervor.

Auch zu Jahresbeginn 1765 waren die Stapelplätze mit Steinen gut versorgt. Am 15. Oktober desselben Jahres wurden die Türme bis an die Kuppeln aufgemauert; es konnte der letzte Stein gelegt werden. Im Jahre 1766 wurden noch die letzten Arbeiten an den Türmen vollendet: die Kuppeln und Kreuze wurden aufgesetzt, die Verträge für die Uhrwerke signiert und die Malarbeiten am Chorgewölbe abgeschlossen<sup>6</sup> (vgl. Poeschel, 1961, S. 117-124).

<sup>4</sup> Johann Michael Beer von Bildstein darf nicht mit Johann Michael Beer von Bleichten, dem Schwiegervater von Peter Thumb, verwechselt werden.

<sup>5</sup> Nebst diesen Aufträgen wurde ihm auch die Arbeit am neuen Chorgestühl anvertraut.

<sup>6</sup> In den folgenden Jahren wurde nur noch an Gegenständen der Innendekoration gearbeitet: Chororgel, Chorgitter, Orgel und Altäre.



## 2.2 FASSADEN- UND MAUER-ARBEITEN NACH 1766

### 2.2.1 STATISCHE SICHERUNGSARBEITEN (1817-1819)

Nach der Klosteraufhebung 1805 war der bauliche Zustand der Stiftskirche Sache der Behörden<sup>7</sup>. 1816 zeigten sich erstmals Risse im Kuppelgewölbe, die auf den Schub des Dachstuhles zurückzuführen waren. Diese Risse waren dann bald auch an den Wänden sichtbar. Man begegnete dem Übel mit Erfolg, indem man gekreuzte Querbalken einzog. Es wurden auch eiserne Klammern angebracht, die das Grösser-Werden der Risse erfolgreich verhinderten (diese statischen Sicherungsarbeiten betrafen jedoch hauptsächlich nur die Innenwände der Stiftskirche; vgl. Poeschel, 1961, S. 126-129).

### 2.2.2 ERSTE RESTAURATION (1841-1845)

Zwischen 1841 und 1845 wurde eine Restauration der Ostfassade durchgeführt. An den Türmen wurden neue Sockelverkleidungen aus Quadersteinen angebracht, die nun nicht mehr aus St.Georgen und Teufen, sondern aus dem Haslentobel zwischen Teufen und Haslen kamen (es könnte damit auch wieder derselbe Teufener Bruch gemeint sein). Auch die Plastiken und Figuren<sup>8</sup> an der Ostfront waren derart zerstört, dass sie restauriert oder gar ersetzt werden mussten (vgl. Poeschel, 1961, S. 126-129).

### 2.2.3 ZWEITE RESTAURATION (1928-1938)

Während rund zehn Jahren, von 1928 bis 1938, fand eine umfassende Restauration des Äusseren unter der Leitung von Dipl.-Architekt Erwin Schenker (1892-1964) aus St.Gallen statt. Die verwitterten Steine der Kathedrale mussten ersetzt, der ganze Verputz erneuert, statische Sicherungsmassnahmen am Westchor vorgenommen und diverse Plastiken und Figuren ersetzt werden (vgl. Poeschel, 1961, S. 126-129).

Restaurieren ist einerseits eine rückschauende Tätigkeit, die von der Absicht ausgeht, von den Vorfahren übernommenes, wertvolles Kulturgut den Nachkommen zu erhalten; andererseits ist Restaurieren aber eine positive schöpferische Tätigkeit, dort, wo es sich darum handelt, Zerstörtes sinngemäss zu ersetzen. (Schenker, 1939, S. 3).



**Abbildung 9: Die besonders stark verwitterten Sandsteine an den korinthischen Säulen vor 1928**

Im Baubericht Schenkers aus dem Jahre 1939 finden sich auch noch folgende Zitate, welche die Restaurationsarbeiten unter seiner Leitung prägten:

<sup>7</sup> Nach der Aufhebung des Stifts durch den Grossratsbeschluss vom 8. Mai 1805 wurde die ehemalige Klosterkirche zur katholischen Hauptkirche des Kantons.

<sup>8</sup> Die Figuren wurden von Johann Jakob Oechslin (1802-1875) im Jahre 1842 geschaffen.

Alle Kunst ist in ihren Ausdrucksmitteln zeitgebunden und sie ist nur dann ächt, wenn Inhalt und Form die Sprache ihrer Entstehungszeit sprechen. Alle früheren Zeiten fühlten sich stark in ihrer Gegenwart, sie besaßen ein reiches künstlerisches Eigenleben, das ihnen viel selbstverständlicher und auch viel lebenswichtiger war, als die bloße Erhaltung alter, wenn auch noch so bedeutender Werte. Und weil sie sich geistig und handwerklich stark genug fühlten, wertvolles Neues zu schaffen, brauchten sie auch nicht so ängstlich auf die Erhaltung alten Kulturgutes zu achten, wie dies die heutige Zeit tun muss, der eben gerade diese Stärke und die selbstverständliche Sicherheit in künstlerischen Grundfragen fehlt. (Schenker, 1939, S. 3-4).

Erst seitdem der schöpferische Eigenwille verschüttet wurde, seitdem die Gegenwart die Kraft zu eigener Kunstschöpfung nicht mehr besaß, wuchs in früher nie gekanntem Masse das Interesse für die Kunst der Vergangenheit. Je schwächer eine Zeit in der eigenen Schöpfung ist und je mehr sie sich dieser Schwäche bewusst ist, desto mehr blickt sie nach rückwärts, sich an den Leistungen der früheren Jahrhunderte zu erbauen und zu freuen. (Schenker, 1939, S. 4).

Diejenigen Kunstwerke, deren Zustand noch so war, dass die originale Fassung erhalten werden konnte, mussten mit aller Sorgfalt repariert, ergänzt und gesichert werden.



Verwitterte und abgebrochene Stücke liessen oft noch Schlüsse auf die Originalform zu, besonders bei Ornamenten, die sich am gleichen Bauwerk mehrfach wiederholten. In diesen Fällen sah es Schenker als Pflicht an, eine Wiederherstellung des früheren Zustandes zu erreichen.

An der Kathedrale St.Gallen konnten die ganze Ostfassade, die Säulen- und Pilasterordnungen mit ihren Kapitälern und die Gesimse auf diese Art erneuert werden (vgl. Seite 9, Abbildung 9).

Schenker wollte eine gewisse Stilreinheit wiederherstellen, die unter den Renovationsarbeiten von 1841-1845 anscheinend vernichtet worden war<sup>9</sup>. Viele zerstörte Skulpturen und Verzierungen<sup>10</sup> wurden im damaligen Kunststil, unter der Einwirkung des späten Klassizismus, neu geschaffen – nach Schenkers Empfinden höchst unpassend zum barocken Stil der Klosterkirche. Da aber die Originale (aus dem

**Abbildung 10: Die Kathedrale im Gerüstkleid (1928-1938)**

18. Jahrhundert) unauffindbar waren, sollte etwas Neues, im Sinne «unserer Zeit» (der damaligen Dreissigerjahre) geschaffen werden.

Wichtig für Schenker war einerseits, dass die Erneuerung wieder ein Kunstwerk darstellt, andererseits musste sich das Neue makellos ins Alte eingliedern lassen. (vgl. Schenker, 1939, S. 4-7).

<sup>9</sup> An Stelle des Verdorbenen muss Neues gesetzt werden und dieses Neue kann sich schon aus dem einen Grund nicht auf das bloße Kopieren beschränken, weil wesentliche Teile des Originals fehlen oder durch eine vorhergegangene Restauration entstellt sind (vgl. Schenker, 1939, S. 7).

<sup>10</sup> Dabei handelte es sich um Schmuckstücke, die nur in einer einzigen Ausführung vorhanden und derart zerstört waren, dass ein Reparieren nicht mehr zulässig war.

### 3 DIE SANDSTEINFRAGE

#### 3.1 VERWENDETE STEINE FÜR DEN BAU DER STIFTSKIRCHE (1755-1766)

Gemäss Recherchen, die Schenker vor Beginn der Restaurationsarbeiten 1928 hatte durchführen lassen, kamen die Sandsteine für das Gemäuer der Stiftskirche (für deren Bau 1755-1766) einerseits aus der Gegend um Teufen, andererseits aus den Steinbrüchen im «Spieltrückli» (südöstlich St.Georgen) und Rorschach (vgl. Schenker, 1939, S. 14).

Eigene Nachforschungen in Rechnungsbüchern des Stiftsarchivs St.Gallen haben ergeben, dass noch weitere Steinbrüche, beispielsweise St.Georgen, Wald, im Watt<sup>11</sup>, Trogen und



**Abbildung 11: Steinmetz-Bauhütte auf dem Klosterplatz in den Jahren 1928-1938**

Speicher, beteiligt gewesen sein müssen. Inwiefern diese Steinbrüche aber Mauersteine geliefert haben, kann nicht definitiv belegt werden.

Fest steht jedoch, dass die Klosterverwaltung am 12.6.1758 einem Johannes Gschwend ein Stück des Steinbruches «Spieltrückli» abgekauft hat – und zwar für insgesamt 200 Gulden (vgl. Stiftsarchiv, Band C 440, S. 30).

Weiter steht fest, dass grosse Mengen Sandstein im Steinbruch zu Teufen gebrochen worden sein

müssen; für die Türme und die freistehenden Säulen an den Türmen, wie es in einem Eintrag im Rechnungsbuch des Abtes heisst (vgl. Stiftsarchiv, Band C 440, S. 77). Aufgrund der Untersuchungen, die im Vorfeld der Restauration (1928-1938) durchgeführt worden waren, wurde im 18. Jahrhundert beim Bau der Ostfassade für den unteren Drittel hauptsächlich Rorschacher Sandstein verwendet, für die oberen zwei Drittel Teufener Sandstein<sup>12</sup> (vgl. Schenker, 1939, S. 14; Teil III, Kapitel 2.3).

#### 3.2 VERWENDETE STEINE FÜR DIE ERSTE RESTAURATION (1841-1845)

Für das Ersetzen der zerstörten Sockelpartien der Ostfassade wurde für die zweite Restauration St.Margrether Sandstein verwendet. Für die anderen zu ersetzenden Partien wurden auch wieder, wie zur Zeit der Erbauung, Sandsteine aus dem «Spieltrückli» und aus dem Haslentobel (zwischen Teufen und Haslen) bezogen (vgl. Schenker, 1939, S. 14).

---

<sup>11</sup> Dieser Steinbruch befand sich wahrscheinlich in der Nähe von Mörschwil.

<sup>12</sup> Auf einer Strukturuntersuchung basierende Erkenntnisse; wer diese Untersuchungen durchgeführt hat, und wie daraus auf die beiden Steinbrüche geschlossen werden konnte, ist in Schenkers Baubericht nicht beschrieben.



### 3.3 VERWENDETE STEINE FÜR DIE ZWEITE RESTAURATION (1928-1938)

Nach einer Untersuchung durch die Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) wurde festgestellt, dass der St.Margrether Sandstein hinsichtlich der Druckfestigkeit und Wetterbeständigkeit bessere Resultate lieferte als beispielsweise der Teufener oder der Rorschacher. Die für die erste Restauration verwendeten St.Margrether Sandsteine zeigten sich an der Klosterkirche aber als am meisten verwittert; selbst der 80 Jahre ältere Rorschacher Sandstein war noch in besserem Zustand (vgl. Schenker, 1939, S.14-15). Dennoch wurde ein anderer Stein für die Restauration verwendet:

Das in Teufen vorhandene Material erwies sich in Struktur, Körnung und Farbe als dem am Grossteil der Ostfassade verwendeten sehr ähnlich. Sein ziemlich helles, gelblichgrünes Grau dunkelt in wenigen Jahren etwas nach, sodass schon nach kurzer Zeit die neueingesetzten Steine nicht mehr von den alten zu unterscheiden sind. Die Untersuchungsergebnisse für die Druckfestigkeit und den Abfall derselben waren auch beim Teufener-Stein für die Praxis noch absolut genügend. Die Vorteile in den Bearbeitungsmöglichkeiten und in der Farbe sowie die guten, praktischen Erfahrungen hinsichtlich Wetterbeständigkeit führten nach allen Prüfungen dazu, den Teufener-Stein zu verwenden. (Schenker, 1939, S. 15).

Um Geld zu sparen und um sich die notwendige Menge Sandsteine zu sichern, kaufte der Katholische Administrationsrat im Sommer 1928 von den Besitzern, der Familie Tobler, das alleinige Ausbeutungsrecht des Teufener Steinbruches (vgl. Abbildung 12). Der Preis hierfür betrug pauschal 9000 Franken<sup>13</sup>.



Abbildung 12: Steinbruch in Teufen (um 1930)

Da im Steinbruch seit 1914 kein Sandstein mehr abgebaut wurde, mussten zuerst noch Werkhütten, Krananlagen und Transportgeleise neu erstellt oder repariert werden. Am 1. Oktober 1928 konnten die Arbeiten im Steinbruch beginnen, bereits einen Monat später nahmen die Steinhauer in ihren Bauhütten die Arbeit auf (vgl. Schenker, 1939, S. 15-20).

Erwähnenswert an dieser Stelle ist noch, dass im Vorfeld der Restauration die Frage über eine allfällige Verwendung von Kunststein (zementhaltige Steine) diskutiert wurde. Dieser hätte eine bedeutende Einsparung gegenüber jedem Naturstein bedeutet. Es wäre nämlich möglich gewesen, einen Stein herzustellen, der zwischen den Natursteinen farblich kaum aufgefallen wäre. Weil aber bei den Kunststeinen nach gewisser Zeit Verfärbungen auftreten (das Aussehen kann dann wesentlich anders sein), und weil sich der reichliche Zementgehalt der Kunststeine ungünstig auf benachbarte Sandsteinpartien auswirken kann, indem er die chemische Struktur des Sandsteines zerstört, und dies wiederum zu Absanden führt, wurde schliesslich darauf verzichtet (vgl. Schenker, 1939, S. 13).

---

<sup>13</sup> Dieser Betrag erscheint im Vergleich zu den totalen Restaurationskosten (CHF 1'860'334.88) geradezu minim.

# TEIL II

## SCHWEIZER SANDSTEINE

Vor Millionen von Jahren, lange vor der letzten Eiszeit – vom Mensch noch gar nicht zu sprechen – lagerten sich Sand, Schotter und Fossiltrümmer auf den Meeres- und Seeböden der Ur-Schweiz ab. Durch Verkittung und Verfestigung mit den hydraulischen Bindemitteln Kalk, Kies oder Ton (Diagenese) formten sich im Laufe der Zeit die Sandsteine, welche wir heute als Baumaterial verwenden.

In diesem Teil werden zuerst einige materialtechnische Daten von Sandstein besprochen und anschliessend die verschiedensten Schweizer Gesteine dieser Art und deren geologische Hintergründe kurz vorgestellt. Ausführlicher werden dabei die bei der Kathedrale St.Gallen verwendeten granitischen und Plattensandsteine behandelt.

### 1 MATERIALTECHNISCHE DATEN UND VERWENDBARKEIT

Sandsteine haben – wie der Name bereits besagt – einen beträchtlichen Anteil an Sandpartikeln<sup>1</sup>; sie bestehen zu mehr als der Hälfte aus dieser Fraktion. Wer sich darunter einen

|                                      | <b>Bollinger Sandstein</b> | <b>Ø CH Sandstein</b> | <b>Beton B 35/25</b> |
|--------------------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------|
| Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]       | 2404                       | 2000-2650             | 2000-2800            |
| Druckfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ] | 77.8                       | <100                  | 25                   |

Quellen: Dethleff, 2001, S. 6;  
 EMPA, 1991; Büchel, 2001

brüchigen und leichten Stein vorstellt, irrt aber beträchtlich. Die Rohdichten von Sandstein und einem Beton liegen in etwa der gleichen

**Abbildung 1: Vergleich zwischen Sandstein und Beton**

Bandbreite (vgl. Abbildung 1); die Druckfestigkeit von Sandstein ist aber deutlich höher, variiert jedoch stark in Abhängigkeit von dessen Porosität (Lufteinschlüsse usw.). Ohne Berücksichtigung dieses Porenvolumens würde seine Dichte (Reindichte) 2640kg/m<sup>3</sup> bis 2720kg/m<sup>3</sup> betragen.

Der Quarzgehalt [SiO<sub>2</sub>] 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 zwischen kieselig [H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>], tonig [Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>] oder kalkig [CaCO<sub>3</sub>] gebundenem Sandstein. (Dethleff, 2001, S. 6).

Die Verwendbarkeit eines Sandsteins als Baustoff hängt vor allem von seiner Korngrössenverteilung, der Art des Bindemittels – also Kalk, Kies oder Ton – und der Grösse und Verteilung der Porenräume ab.

Druckfestigkeit und Verwitterungsresistenz eines Sandsteins bestimmen im engeren Sinne dessen Eignung als Bau- und Werkstoff. Tonig gebundene Sandsteine sind z.B. frostanfällig, wohingegen Kalksandsteine chemischen Angriffen wässriger Rauchgaslösungen («saurer Regen») unterliegen [vgl. Teil IV, Kapitel 2]. Stärker quarzhaltige und somit weichere Sandsteine finden Verwendung bei Steinmetz- und Steinbildhauerarbeiten. (Dethleff, 2001, S. 6).

<sup>1</sup> Sandpartikel: Gesteinsteilchen, welche über einen Durchmesser zwischen 0.0632mm und 2mm verfügen.

## 2 GEOLOGIE UND HEUTIGE ABBAUGEBIETE

### 2.1 EINLEITUNG

In der Schweiz gibt es drei bedeutende Gebiete, in welchen grössere Mengen an Sandstein abgebaut werden können. Es sind dies der Bodenseeraum (Rorschacher, St.Margrether und Teufener Sandstein), die Region am Oberen Zürichsee (Bollinger, Buchberger und Guntliweider Sandstein) und die Region rund um Bern bis nach Freiburg (Berner und Freiburger Sandstein). Untergeordnet können noch die Gebiete des nördlichen Rheintals und des Nordschweizer Tafeljuras genannt werden (vgl. Dethleff, 2001, S. 6).

Die heute noch abbauwürdigen Gesteinsvorkommen entstammen alle zwei erdgeschichtlichen Epochen: hauptsächlich dem Tertiär (vor ca. 2 bis 65 Millionen Jahren; älteste Formation des Känozoikums / Erdneuzeit), aber auch der Trias (vor ca. 200 bis 240 Millionen Jahren; älteste Formation des Mesozoikums).

Es sollen nun die wichtigsten Sandsteine aus diesen zwei Epochen kurz vorgestellt werden.

### 2.2 TRIASSISCHE SANDSTEINE

Die folgenden zwei Sandsteine der Trias sind entsprechend ihrer Oberflächenverbreitung nur in der Nordostschweiz von Bedeutung, werden aber auch dort kaum mehr abgebaut. Dazu ist praktisch keine wirtschaftliche Grundlage mehr vorhanden.

#### 2.2.1 KEUPER (OBERE ABTEILUNG DER TRIAS)

Trotzdem wird der dunkelkarmin-farbige Keuper noch heute in einem kleinen Steinbruch bei Gansingen AG abgebaut. Er fand vor allem regional als Mauer- und Cheminée-Stein Verwendung.

#### 2.2.2 BUNTSANDSTEIN (UNTERE ABTEILUNG DER TRIAS)

Der Buntsandstein wurde bereits von den Römern in der Region zwischen Rheinfeldern und Augst (Augusta Raurica) abgebaut. Zusammen mit dem feineren Plattensandstein des Oberen Buntsandsteins gewann der diagonal-geschichtete rötliche Stein zwischen dem 10. und 19. Jahrhundert in der Stadt Basel, vorab natürlich am Münster, abermals an Bedeutung. Der genannte Plattensandstein ist hingegen gleichmässiger und feiner gekörnt und von dunklerem Rot (vgl. Dethleff, 2001, S. 6).

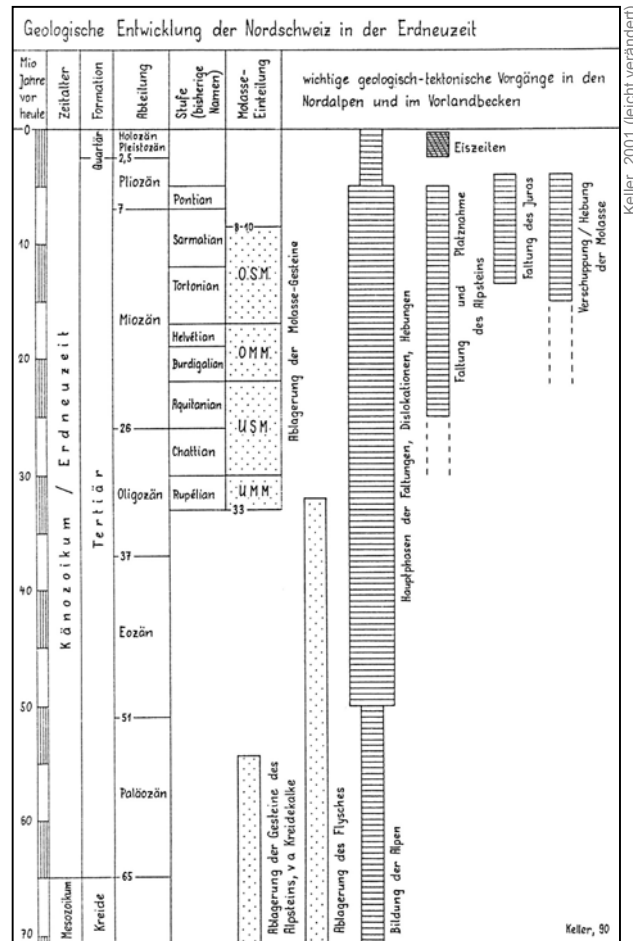


Abbildung 2: Ablagerung des Flysches und der Molasse-Gesteine im Tertiär (vgl. Kapitel 2.3)

Keller, 2001 (leicht verändert)

## 2.3 TERTIÄRE SANDSTEINE

Die Sandsteine des Tertiär wurden entweder in der Flyschzone der Nordalpen (Glaukonit-sandstein; vor ca. 51 bis 65 Millionen Jahren) oder aber in der Unteren und Oberen Meeresmolasse, resp. in der Unteren Süsswassermolasse (vor ca. 17 bis 33 Millionen Jahren; vgl. Seite 14, Abbildung 2) abgelagert und später mit Kalk zementiert, was sie besonders säure-anfällig macht (vgl. Teil IV).

Gesamthaft gesehen sind die folgenden tertiären Sandsteine die bedeutendsten Bausteine der Schweiz. Auch sie wurden – wie die triassischen Sandsteine – zwischen dem 12. und 19. Jahrhundert am meisten abgebaut, geniessen aber noch heute einen uneingeschränkt guten Ruf.

### 2.3.1 GLAUKONITSANDSTEIN, FLYSCH (PALÄOZÄN)

Der bläulich-grüne Glaukonitsandstein stammt als einziger Vertreter des Tertiär nicht aus den Molassebecken, sondern aus der Flyschzone der Nordalpen. Er wird heute vorwiegend als Pflasterstein verwendet.

### 2.3.2 UNTERE MEERESMOLASSE (OLIGOZÄN)

Bis ins 18. Jahrhundert waren diese Sandsteine der flachen Molasse in der Region rund um den Genfersee – bekannt als «Molasse grise» – und in der östlichen Schweiz (in den Kantonen Luzern, Aargau, Zürich, Thurgau und St.Gallen) von grosser Bedeutung, wurden aber später durch beständigere Sandsteinarten völlig verdrängt.

### 2.3.3 UNTERE SÜSSWASSERMOLASSE (OLIGOZÄN, MIOZÄN)

Die granitischen Sandsteine der Unteren Süsswassermolasse wurden hauptsächlich in der Umgebung von St.Margrethen über Berneck bis Teufen, beidseits des Oberen Zürichsees (Bollingen, Jona, Neuhaus, Uzna-berg, Buchberg) sowie bei Ägeri und Lothenbach am Zugersee abgebaut. In diesen Regionen sind noch heute mehrere Steinbrüche erfolgreich in Betrieb (vgl. Abbildung 3). Der Ausdruck «granitisch» kommt von den gut erkennbaren, kleinen roten Feldspatkörnchen (ähnlich den roten Feldspäten in Graniten). Die gräulichen – mit gelegentlich schwachen Tönungen ins Grünliche, Bläuliche oder bei Eisen-impregnation<sup>2</sup> ins Gelbliche – Sandsteine sind kompakt, massig und lassen sich nicht in Platten spalten. Qualitativ gehören sie zu den besten heute gewonnenen Molassesandsteinen und sind auch sehr «steinmetz-freundlich». Ihre Wetterbeständigkeit ist – bei richtiger Verwendung – gut, doch reagieren auch granitische Sandsteine wegen ihrer Kalkhaltigkeit auf Salze empfindlich.



**Abbildung 3: Bollinger Sandstein (granitischer Sandstein) zwischen Schmerikon und Eschenbach SG; Gebrüder Müller AG, Neuhaus**

<sup>2</sup> Eisenimpregnation: Feine Verteilung von Eisen in den Poren des Sandsteins (vgl. Duden (2000). *Die deutsche Rechtschreibung*. Mannheim: Dudenverlag).

Hauptverbauungsgebiet des granitischen Sandsteins sind die grösseren Ortschaften der östlichen Schweiz. In Zürich, wo man 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 und bilden auch das Material der vielen, zwischen 1860 und 1910 erstellten, repräsentativen Steinfassaden Zürichs.

Nach der Erstellung des Bahnnetzes weitete sich das Verwendungsgebiet dieser Gesteine aus der Unteren Süsswassermolasse vor allem gegen Westen aus. Bekannte historische Bauwerke aus granitischem Sandstein sind das Bundesarchiv, die Eidgenössische Münzstätte in Bern, die Stiftskirche und das Kloster in Einsiedeln, das Grossmünster und das Fraumünster in Zürich und natürlich der obere Teil der Fassade sowie die Plastiken an der Kathedrale St.Gallen (vgl. Teil I, Kapitel 3).

#### 2.3.4 OBERE MEERESMOLASSE (MIOZÄN)

Der Plattensandstein der Oberen Meeresmolasse ist geologisch nur wenig jünger als der granitische Sandstein (vgl. Seite 14, Abbildung 2) und ihm – zwischen Rorschach und dem Entlebuch – direkt nördlich vorgelagert. Der Plattensandstein verdankt seinen Namen der guten Spaltbarkeit, die bis in den Zentimeter-Bereich gehen kann. Dies ermöglicht die Herstellung von Platten, Stufen, Bordsteinen und auch Blöcken mit bruchrauen Flächen,



**Abbildung 4: Rorschacher Sandstein (Plattensandstein) zwischen Buechen und Wienacht; Bärlocher AG, Staad**

welche vielfach im Gartenbau eingesetzt werden. Der Plattensandstein ist weniger kompakt und massig als der granitische und steht ihm auch in der Wetterbeständigkeit etwas nach, jedoch sind seine graugrünlischen Tönungen etwas ausgeprägter. In einem Steinbruch kann es erhebliche Variationen in der Ausprägung des Plattensandsteins geben. Der Steinbruchbetreiber kennt diese jedoch genau und kann

je nach bauwerklicher Anforderung die richtige Gesteinsvariation abbauen und liefern. Wie der granitische ist auch der Plattensandstein salzempfindlich. Bekannte historische Bauwerke aus letzterem sind Teile des Münsters von Konstanz, der Munot in Schaffhausen, die Treppenanlage vor der Uni Zürich-Irchel und teilweise die Stiftskirche St.Gallen.

Der Berner Sandstein entstammt ebenfalls der Oberen Meeresmolasse. Seine Farbe ist grünlich-grau bis grünlich-blau, oft mit einem kräftigen Stich ins Oliv und Gelblich-Grüne. Sein Vorkommen ist auf ein breites geographisches Band beschränkt, das sich etwa von Schaffhausen gegen Lausanne hinzieht. Grösste Mächtigkeit erreicht es im Raum Bern bis westlich Freiburg. Der Berner Sandstein ist weniger stark «kompaktiert» (diagenetisch verfestigt) und deshalb poröser und weicher als etwa der granitische und der Plattensandstein. Entsprechend ist seine Witterungsbeständigkeit als eher mässig einzustufen. Gerade diesem gesteinsphysikalischen Umstand ist es jedoch zu verdanken, dass auch heute noch ein aktiver Abbau des Berner Sandsteins stattfindet, sind doch vielerorts grosse Gesteinsmengen für den Erhalt verwitterter Bausubstanz notwendig (vgl. Dethleff, 2001, S. 6f)!



# TEIL III

## DIE RESTAURATION VON HEUTE

Anno 1983 wurde der Stiftsbezirk von St.Gallen in die Liste der mittlerweile 563 schützenswerten Stätten des UNESCO-Weltkulturerbes<sup>1</sup> aufgenommen und seitdem in einem Satz mit der Grossen Mauer, der Vatikanstadt, dem Schloss von Versailles, dem Tadsch Mahal, der Freiheitsstatue oder Stonehenge genannt. Die mit knapp unter 13 Millionen Franken veranschlagte Restauration der barocken Kathedrale wird dadurch mehr als gerechtfertigt!

Dieser Teil stellt zuerst die Hintergründe des Projekts «Fassaden- und Turmrenovation» vor und erklärt den Ablauf der Natursteinarbeiten – einschliesslich der verwendeten Sandsteine – ausführlich. Anschliessend werden zwei Ostschweizer Steinbrüche und deren unterschiedliche Abbautechniken vorgestellt sowie ein kurzer Überblick weiterer Restaurationsarbeiten gewährt.

### 1 DAS PROJEKT

#### 1.1 EINLEITUNG

Nachdem sich aufgrund jahrzehntelanger Gesteinsverwitterung (vgl. Teil IV) immer offensichtlichere Schäden an der Kathedrale St.Gallen zeigten, veranlasste der Administrationsrat 1993 die Aufnahme eines Schadeninventars. Zusammenfassend stellten die Experten damals fest, dass die Schäden an der Kathedrale vielfältig und von verschiedener Intensität sind. Sie empfahlen, die Sanierung etappenweise und im Verlaufe der nächsten fünf bis acht Jahre vornehmen zu lassen.

#### 1.2 ABKLÄRUNGSETAPPE

Im Sommer und Herbst 1995 waren – als Abklärungsetappe zur Beurteilung weiterer Schritte – Restaurierungsarbeiten an der Westfassade (vgl. Abbildung 2) ausgeführt worden. Sie kosteten fast eine halbe Million Franken. Am 12. November 1996 bewilligte das Katholische Kollegium (die Legislative des Konfessionsteils) einen Projektierungskredit für die gesamte Fassaden- und Turmrenovation von 162'000 Franken. Der Planungsauftrag wurde an Urs Niedermann, Architekt HTL/STV aus St.Gallen, erteilt.

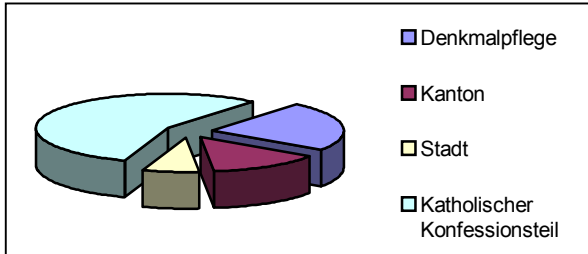
Im Laufe dieser Projektierung wurden die Sandsteinarbeiten der Südfassade (visuell), der beiden Türme und der Nordfassade (ab einer Hebebühne und einem Pneukran) vor Ort beurteilt, um die bereits gemachten Zustandsaufnahmen zu ergänzen. Die gleichzeitig von der Firma matec+ in Lenzburg durchgeführten materialtechnischen Untersuchungen am Stein – einerseits durch klassische Bohrkernanalysen, andererseits durch ergänzende Bohrhärtemessungen mit einem Spezialgerät – hatten zum Ziel, einen tieferen Einblick in die Verwitterungssituation zu erhalten. Wichtig war dabei die Antwort auf die Frage, ob oberflächlich intakt erscheinende Werkstücke auch in tieferen Schichten noch weitgehend «gesund» sind, oder ob es hier Überraschungen geben könnte (vgl. Katholische Administration, 2002; Stadler, 2001a, S. 30).

---

<sup>1</sup> vgl. O'Neill, T. (2002). Unser aller Erbe. *National Geographic (Deutsche Ausgabe)*, 10, 108-123.

### 1.3 FINANZIERUNG

Das Katholische Kollegium bewilligte am 9. November 1999 aufgrund des Untersuchungsberichts und einer ausführlichen Photodokumentation einen Kredit von knapp 13 Millionen Franken für die Ausführung der Sanierungsarbeiten. Nach Abzug der zugesicherten Denkmalpflegesubventionen des Bundes (3 Mio. Franken) und der Beiträge von Kanton und



Quelle: Kath. Administration, 2002

Stadt St.Gallen (1.8 Mio. Franken, resp. 900'000 Franken) verbleibt zulasten des Konfessionsteils eine Finanzierungslücke von insgesamt 7.2 Millionen Franken (vgl. Abbildung 1). Dieser Rest wird durch die «Renovationsreserve Kathedrale», die Katholische Kirchgemeinde St.Gallen und die Rechnungsüberschüsse aus dem Waldreservfonds (Klostererbe) finanziert. Eine

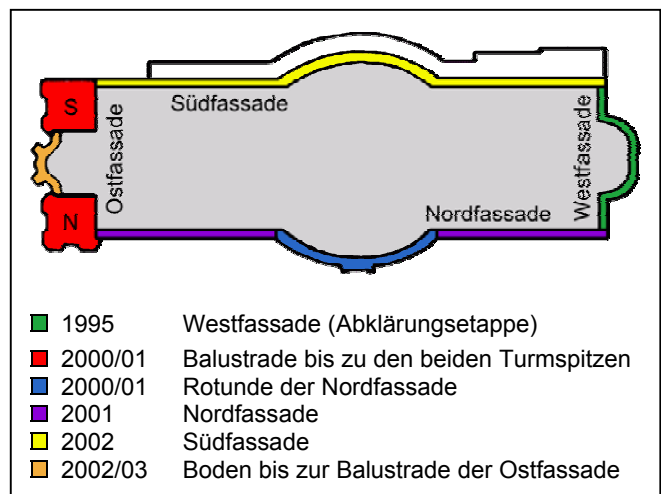
**Abbildung 1: Finanzierungsschlüssel**

weitere Million soll mit Beiträgen von Kirchgemeinden, Pfarreien und durch Spenden während der Bauzeit (Spendenkonto, Erlös aus dem Verkauf von «Otmarswein» und anderen Aktionen) zu Stande kommen, damit auf die Einführung einer eigentlichen Bausteuer verzichtet werden kann. Übrig bleibt eine Restschuld von 3.5 Millionen Franken, die als ordentlicher Kredit innerhalb von 25 Jahren getilgt werden wird (vgl. Katholische Administration, 2002; Stadler, 2001a, S. 30f).

### 1.4 GEPLANTER BAUABLAUF

Nach Abschluss aller Analysen wurde am 15. August 2000 mit der Fassaden- und Turmrenovation begonnen. Der Bauablauf sieht vor, die Restauration bis zum Herbst 2003 in fünf Etappen abzuschliessen (vgl. Abbildung 2). In den Jahren 2000 und 2001 wurde der Abschnitt von der Balustrade (franz.: Brüstung, Geländer) bis zu den Turmspitzen und die Rotunde der Nordfassade (lat.: Rundbau), anschliessend der Rest der Nordfassade ausgeführt. Im Jahre 2002 folgte die Südfassade. Noch bis in den Herbst 2003 wird die Restauration der Ostfassade vom Boden bis zur Balustrade dauern; danach wird die Kathedrale in neuem Glanz erstrahlen.

Bauherrschaft ist der Katholische Konfessionsteil des Kantons St.Gallen. Er beauftragte das Architekturbüro Rausch Ladner Clerici AG in Rheineck mit der Projekt- und Bauleitung, Planung und Dokumentation (Titus Ladner und Andreas Fritsche). Dieses zieht seiner-



Nef, 2002 (Quelle: Katholische Administration, 2002)

**Abbildung 2: Die Bauetappen im Überblick**

seits Gutachter der verschiedensten Fachgebiete bei. Vertreter der Denkmalpflege von Bund (Dr. Josef Grünenfelder), Kanton (Pierre Hatz) und Stadt (Niklaus Ledergerber) beraten die Baukommission in Fragen des Denkmalschutzes.

## 2 DER LANGE WEG DER SANDSTEINE

### 2.1 EINLEITUNG

Es galt nun, den geplanten Ablauf in die Realität umzusetzen. Allein dafür stehen im Bereich «Natursteine» rund zehn Mitarbeiter auf Platz und nochmals etwa gleich viele in den Zulieferbetrieben (vgl. Kapitel 3) zur Verfügung. Von Seiten der Arge «Stein Kathedrale St.Gallen» sind Christian Wurster (Technischer Leiter) und Wolfgang Berlinger (Baustellenleiter) für die Ausführung verantwortlich.

### 2.2 JEDER STEIN HAT SEINEN PLATZ

Bevor man mit der eigentlichen Restauration beginnen konnte, musste ein sinnvolles Koordinatensystem festgelegt werden, damit jeder entfernte Stein wieder seinen angestammten Platz finden konnte.

Zu diesem Zweck wurde die gesamte zu restaurierende Fassade photogrammetrisch aufgenommen (Aufrisse hergestellt) und jeder Stein mit Hilfe eines Koordinatensystems genau bestimmt. So zum Beispiel das Stück mit der Nummerierung «N22A/II14», welches Projektleiter Andreas Fritsche wie folgt einordnet: «N steht für Nordfassade, 22 bedeutet mittlerer Teil oben, A geschweifeter Volutenquergiebel, II zeigt die vertikale Schicht und 14 ist die Nummer des Steines in horizontaler Linie [...]» (vgl. Graf, 2001, S. 3). Damit lässt sich dieser Stein genau lokalisieren; er gehört in das Wappen des Abtes Coelestin II von Staudach, dem damaligen Bauherrn (vgl. Teil I, Kapitel 2.1).



**Abbildung 3: Das im Auftrag der Arge «Gerüst Kathedrale» durch die Nüssli Schweiz AG, Hüttwilen, ausgeführte Gerüst (August 2002)**

### 2.3 GESTEINSBEGUTACHTUNG, SCHADENSBILDER VERSCHIEDENER GESTEINSTYPEN

Nachdem die Koordinaten bekannt sind, wird der Sandstein visuell begutachtet und mit dem Spitz Eisen akustisch auf Schalenbildung getestet. Nur im Zweifelsfall wird eine kleine Bohrerprobe ausgeführt; die Erfahrung der verantwortlichen Personen ersetzt teure wissenschaftliche Analysen. Aufgrund des Ergebnisses fällt der Entscheid für die jeweilige Sanierungsmassnahme. Sie kann je nach Steintyp und Verwitterungsgrad (vgl. Teil IV) unterschiedlicher Art sein (vgl. Graf, 2001, S. 3).



**Abbildung 4: Steine aus drei Epochen**

An den zu restaurierenden Fassaden lassen sich gemäss der Expertise drei verschiedene Natursteine unterscheiden, wobei es sich in zwei Fällen um granitische (vgl. Teil II, Kapitel 2.3.3) und im dritten Fall um einen Plattensandstein (vgl. Teil II, Kapitel 2.3.4) handelt. Sie alle stammen aus der Grosse region St.Gallen.

Den grössten Teil der Fassade bildet ein Ersatzgestein, das bei der zweiten Restauration (1928-1938; vgl. Teil I, 2.2.3 & 3.3) verwendet wurde (Typ I). Dazu ist in den unteren Teilen der Ost- und Nordfassade – vor allem in den Füllungen der Schein Fenster – ein original verwendetes, feinkörniges, grünlich verwittertes Material (Typ II) anzutreffen, das im Bruchbild blaugrau ist. Als drittes Material (Typ III) tritt ein ebenfalls originaler, poröser, gelblich verwitterter Sandstein auf (vgl. Stadler, 2001a, S. 31ff).



Die Herkunft dieser drei Typen konnte man nicht genau eruieren. Trotzdem lassen sich anhand bereits weiter oben besprochener eigener Recherchen (vgl. Teil I, Kapitel 3) einige Vermutungen anstellen. So ist mit Typ I sicherlich der Teufener Sandstein gemeint, weil dieser vor allem während der zweiten Restauration in den Jahren 1928-1938 verwendet wurde. Beim Typ II müsste es sich um den einzigen Plattensandstein handeln, folglich um den Rorschacher Sandstein.

Typ III ist schon schwieriger zuzuordnen, es könnte sich dabei aber um das Material vom «Spieltrückli» südöstlich St.Georgen (Untere Süsswassermolasse; vgl. De Quervain, 1983) handeln. Eher unwahrscheinlich – aber trotzdem möglich – wäre, dass der St.Margrether Sandstein gemeint ist.

### 2.3.1 TYP I – TEUFENER SANDSTEIN

Die Verwitterungsart dieses Gesteins ist stark expositionsabhängig. Zur Wetterseite hingewandte Oberflächen sind leicht angelöst, rau und zeigen bei stärkerem Verwitterungsfortschritt eine tiefgreifende Schalenbildung. Die wetterabgewandten Expositionen zeigen dagegen kaum Schäden. Am stärksten sind die Übergänge der beiden Zonen in Mitleidenschaft gezogen. Hier lässt sich häufig ein bis zu 40cm breiter Bereich mit Verkrustung und starker oberflächlicher Gesteinsschädigung beobachten (vgl. Stadler, 2001a, S. 31).



Eberhart & Neff, 2002

**Abbildung 5: Heutige (hellgrau), bereits früher restaurierte (rötlich) und ursprüngliche Mauersteine (dunkelgrau)**

### 2.3.2 TYP II – RORSCHACHER SANDSTEIN

Dieser Sandstein ist vorwiegend an der Oberfläche verwittert. Dies äussert sich in leichtem Absanden bis zu sehr feiner Schuppen- und Pustelnbildung. Eine tiefgreifende Schalenbildung wie bei den beiden anderen Typen lässt sich hingegen nicht beobachten. Im Bereich offener Fugen kann man lokal teilweise eine etwas tiefere Abwitterung erkennen (vgl. Stadler, 2001a, S. 31).

### 2.3.3 TYP III – GRANITISCHER SANDSTEIN (WAHRSCHEINLICH VOM SPIELTRÜCKLI)

Dieses Gestein findet sich lokal an sämtlichen Fassadenteilen. Es bildet den Dachsim der Nordfassade und ist in den geschützteren Bereichen der Türme und der Nordfassade anzutreffen. Die Gesteinsoberfläche zeigt in der Regel ein leichtes bis markantes Absanden. Gleichzeitig ist an Kanten und Ecken ein allgemeiner Verlust zu beobachten. Das Gestein zeigt prinzipiell bei starker Wetterexposition dasselbe Verhalten mit Tendenz zu tiefgreifender Schalenbildung wie der Typ I. (Stadler, 2001a, S. 31ff).

## 2.4 SANIERUNGSMASSNAHMEN

Grundsätzlich kommen vier verschiedene Sanierungsmassnahmen zum Einsatz. Dies reicht von der Reinigung (und allfälligen Verfestigung) über die Reprofilierung kleiner Partien bis zum teilweisen oder vollständigen Ersatz ganzer Werkstücke. Der Grundsatz ist, so erklärt Projektleiter Andreas Fritsche, immer möglichst viel Altsubstanz zu erhalten. Vollständig ersetzt werden schätzungsweise nur etwa ein Drittel aller Steine. Auf hydrophobierende (Wasser abstossende) Imprägnierungen wird bewusst verzichtet, weil es noch keine aufschlussreichen Langzeituntersuchungen zu diesem Thema gibt und man an Bewährtem festhalten will.

Für die teilweise oder vollständig zu ersetzenden Werkstücke werden wiederum granitische oder Plattensandsteine aus der Ostschweiz verwendet. Diese werden im Auftrag der Arge «Stein Kathedrale St.Gallen» (Stutz + Rudolf AG, St.Gallen; Wurster AG, Thal und Bärlocher AG, Staad) aus verschiedenen Steinbruch- und Steinverarbeitungsunternehmen (Bärlocher AG, Staad; Gebrüder Müller AG, Neuhaus; J. & A. Kuster Steinbrüche AG, Bäch, Freienbach und Wurster AG, Thal) versetzbereit auf die Baustelle geliefert. Bei klarer Zuordnung kommt im bildhauerischen Bereich auch der Teufener Sandstein wieder zum Einsatz.

### 2.4.1 REINIGUNG

Kommt lediglich eine Reinigung in Frage, muss man sich auch deren Art überlegen. Meistens werden Niederdruckstrahl-Verfahren oder auch Wurzelbürste und Wasser angewandt (vgl. Graf, 2001, S. 3). Tests mit Trockeneisstrahlen zeigten keine ausreichende Wirkung auf Sandstein. Auch wenn der Stein nur gereinigt wird, müssen wie bei einem Ersatz alle schadhaften Fugen erneuert werden, da sie ein Eindringen von Wasser in den hinteren Bereich erfolgreich verhindern.

Unschön aussehende Sandsteine werden, sofern sie inwendig noch vollkommen «gesund» sind, nicht ersetzt denn die Erhaltung von Altsubstanz steht ja immer im Vordergrund.

### 2.4.2 TEILERSATZ

Ein Teilersatz wird vorgenommen, wenn von einem grossen Werkstück nur ein kleiner Teil verwittert ist (vgl. Abbildung 6). Dies wird vor allem im bildhauerischen Bereich angewandt, können doch so leicht Kosten eingespart und Substanz erhalten werden.



**Abbildung 7: Vorbereitete Mauerlücke**

nung, denn danach muss jeder Stein wieder genau ins Gefüge passen. Aus diesem Grund wird bei schwierigeren Steinen meist zusätzlich eine Schablone im Massstab 1:1 erstellt (die figürlichen Bildhauerarbeiten werden im Kapitel 2.5 behandelt).



**Abbildung 6: Teilersatz der Blume eines Verdachungsläufers**

### 2.4.3 VOLLSTÄNDIGER ERSATZ

Fällt der Entscheid für einen vollständigen Ersatz, muss der Stein ausgemessen und positioniert werden. Aufgrund der barocken Bauweise sind die Werkstücke sehr formverschieden; sie haben konkave und konvexe Rundungen und Bögen. Um so schwieriger gestaltet sich die Vermes-

In der Koordinationsstelle «Steinbeschaffung» werden die Informationen über jeden einzelnen Stein geprüft. Ist alles in Ordnung, kann er im Steinbruch- und Lieferwerk aufgrund der erhobenen Daten hergestellt werden. In Präzisionsarbeit wird gehauen, auf Mass geschaffen und scharriert (Bearbeiten der Ansichtsfläche, wodurch parallele Furchen entstehen). Neben der ständigen Terminüberwachung gilt es, den Transport zu organisieren.

Wenn das neue Werkstück etwa einen Monat später auf der Baustelle ankommt, wird es einer Eingangskontrolle und Qualitätsprüfung unterzogen. Nun muss der zu ersetzende Stein herausgespitzt und der neue versetzt und ausgefugt werden. Wichtig ist die Hinterfüllung aller Hohlräume (vgl. Seite 21, Abbildung 7), weil sich sonst Nässe ansammeln und eine erneute Verwitterung beschleunigen könnte. Zuletzt folgt die Abnahmekontrolle (vgl. Graf, 2001, S. 3).



Eberhart & Nef, 2002

**Abbildung 8: Der beschädigte rechte Teil dieses Bogens wurde reprofiliert**

#### 2.4.4 REPROFILIERUNG

Die Reprofilierung erlaubt es, nur kleine Teile eines Werkstücks – meist im bildhauerischen Bereich – nachzubilden. Zuerst wird dabei ein Drahtnetz aufgespannt (Armierung) und mit Schrauben befestigt; anschliessend werden über diesem die Umrisse mit einem farbechten Mörtel nachmodelliert (vgl. Abbildung 8).

### 2.5 FIGÜRLICHE BILDHAUERARBEITEN

Noch komplexer als der vollständige Ersatz eines Mauerstücks ist derjenige figürlicher Bildhauerarbeiten. Auf dem Original werden zu diesem Zweck mit einem Punktierrahmen im Abstand von wenigen Zentimetern Fixpunkte ausgemessen und anschliessend auf den noch jungfräulichen Sandsteinblock übertragen (Abpunktieren; vgl. Abbildung 9). Nach einigen Wochen kommt der Bildhauer immer näher an die ursprüngliche Form heran; es entsteht ein «neues altes Kunstwerk» mit einem – auch «frankenmässig» – grossen Wert.

Ihre Ausdruckskraft werden die teilweise vom berühmten Bildhauer Johann Christian Wentzinger geschaffenen Figuren so auch für die nächsten Generationen bewahren.



Eberhart & Nef, 2002

**Abbildung 9: Der untere Teil der linken bekrönenden Putte des Tympanons wurde reprofiliert (links), der obere musste in der Bildhauerei von Walter Ghenzi in Uznach abpunktiert werden**



### 3 DIE ZULIEFERBETRIEBE

#### 3.1 EINLEITUNG

Im Auftrag der Arge «Stein Kathedrale St.Gallen» (Stutz + Rudolf AG, St.Gallen; Wurster AG, Thal und Bärlocher AG, Staad) liefern mit den Firmen Bärlocher in Staad, Kuster in Bäch, Müller in Neuhaus und Wurster in Thal gleich mehrere Zulieferbetriebe Gesteinsmaterial für die Restauration. Dies ist einerseits auf die verschiedenen benötigten Sandsteinarten zurückzuführen, die ja nicht aus einem einzigen Steinbruch stammen können, andererseits müsste sich ein Betrieb aber auch wegen der Grösse dieses Auftrags gleich ein paar Jahre vom Markt verabschieden. Man ist also in gewissem Masse auf die anderen Natursteinunternehmungen angewiesen.

Im folgenden werden zwei sehr unterschiedliche Steinbrüche von Ostschweizer Familienbetrieben der Natursteinbranche vorgestellt. Währenddem die Firma Bärlocher in Staad einen oberflächennahen Abbau betreibt, kann die Firma Müller in Neuhaus nur im Schachtbauverfahren an ihr Rohmaterial gelangen. Bei der Verarbeitung können allerdings beide nicht auf den kombinierten Einsatz von modernsten CNC-Maschinen, Diamantwerkzeugen, grossen Baumaschinen und anspruchsvoller Handarbeit verzichten (vgl. Abbildung 10 & Seite 24, Abbildung 12).



**Abbildung 10: Modernste CNC-Maschinen; Bärlocher AG, Staad**

#### 3.2 OBERFLÄCHENNAHER ABBAU – BÄRLOCHER STEINBRUCH UND STEINHAUEREI AG

Der Steinbruch der Firma Bärlocher liegt idyllisch inmitten des Krienwaldes oberhalb der Rorschacher Bucht, zwischen Buechen und Wienacht. Er wird seit mehr als 100 Jahren bewirtschaftet und erschliesst ein Sandsteinvolumen, das noch Material für mehrere Generationen liefern wird. Der rund 30 Mitarbeiter zählende Familienbetrieb baut pro Jahr etwa  $10^7 000 \text{ m}^3$  Rorschacher Sandstein aus der Oberen Meeresmolasse (vgl. Teil II, Kapitel 2.3.4) ab. Diese für Nordschweizer Verhältnisse enorme Abbaumenge ist nur möglich, weil sich das Sandsteinvorkommen direkt unter der Erdoberfläche befindet (vgl. Abbildung 11).



**Abbildung 11: Dieses Sandsteinvorkommen liegt nur wenige Meter unter dem Humus**

Wöchentlich werden mit der Diamantseiltechnik um die 250 Kubikmeter Gestein abgebaut. Dabei werden zuerst mit einem In-Loch-Hammer dort Bohrungen angebracht, wo der Stein geschnitten werden soll. Durch diese Bohrlöcher wird ein mit kleinen Diamantsplitttern bestücktes Drahtseil gefädelt und mit Hilfe eines Antriebs in Drehung versetzt. So kann der Stein ziemlich einfach «geschnitten» werden.

Der nicht mehr benötigte untere Teil des Steinbruches wird jeweils renaturiert (wieder aufgeforstet und zum Teil sogar mit Biotopen versehen).

### 3.3 SCHACHTABBAUVERFAHREN – GEBRÜDER MÜLLER AG NATURSTEINE

Auf dem bewaldeten Hügelzug zwischen Schmerikon und Eschenbach, nördlich des Oberen Zürichsees, baut die Gebrüder Müller AG aus der Unteren Süsswassermolasse (vgl. Teil II,



Eberhart & Nef, 2002

**Abbildung 12: Fertigung der korinthischen Kapitelle für die Kathedrale St.Gallen; Gebrüder Müller AG, Neuhaus**

Kapitel 2.3.3) Bollinger Sandsteine ab. Seit jeher wird das besonders naturschonende Schachtabbauverfahren angewandt. Steinbrüche, die während mehrerer Jahre ausgebeutet werden, erreichen eine Tiefe von gegen 60 Meter (vgl. Seite 15, Abbildung 3).

Schräm-Maschinen und die bereits zuvor besprochene Diamantseiltechnik erlauben den Abbau von bis zu 25 Tonnen ( $10\text{m}^3$ ) schweren Rohblöcken. Deren Verarbeitung erfolgt im nahe gelegenen Natursteinwerk in Neuhaus (vgl. Abbildung 12). Nachteil

dieser Methode ist, dass viel weniger Material gefördert werden kann als beim oberflächennahen Abbau; jedoch ist die benötigte Landfläche auch viel kleiner.

Im Winter werden die Steinbrüche geflutet, damit das im Gestein eingeschlossene Wasser nicht gefrieren kann. Vollständig ausgebeutete Schächte werden mit Geröll aufgefüllt und an der Erdoberfläche renaturiert.

## 4 KURZER ÜBERBLICK WEITERER RESTAURATIONSARBEITEN

Weitere Restaurationsmassnahmen wie die Spenglerarbeiten an den 235 Jahre alten barocken, welschen Turmzwiebeln stehen – natürlich auch in dieser Publikation – immer etwas im Schatten der Natursteinarbeiten. Insgesamt umfasst die «Fassaden- und Turmrenovation» (eigentlich müsste man ja von einer «Turm- und Fassadenrestauration» sprechen) nämlich beinahe einhundert verschiedene Aufträge in unterschiedlichen Arbeitsgattungen.

An dieser Stelle sollten besonders die Sanierung der Holzfenster, die äusseren Malerarbeiten, die Sanierung der Feuervergoldungen von Turmbekrönungen und Kugeln, die Erneuerung der Schallläden der Klostertürme, die Schlosserarbeiten, die Sanierung der elf Kirchenglocken und Läutmaschinen, die Sanierung der Kunstverglasungen sowie die Bedachungs-, Zimmer- und Verputzarbeiten kurze Erwähnung finden (vgl. Stadler, 2001a, S. 33).

Doch was wäre die Restauration ohne die Elektroanlagen oder das äusserst imposante Gerüst (vgl. Abbildung auf der Titelseite), welches im Auftrag der Arge «Gerüst Kathedrale St.Gallen» durch die Nüssli Schweiz AG, Hüttwilen, ausgeführt wurde? So könnte diese Aufzählung wahrscheinlich noch lange fortgeführt werden.

# TEIL IV

## GESTEINSVERWITTERUNG

Die Verwitterung von Sandstein ist prinzipiell eine natürliche Erscheinung. Sie beginnt mit dem Abbau im Steinbruch und kann als Anpassung an die physikalischen und chemischen Bedingungen an der Erdoberfläche verstanden werden. Daneben werden die Natursteine aber auch durch den chemischen Einfluss von Luftschadstoffen und durch die biogene Gesteinsverwitterung (Mikroorganismen) angegriffen. Das Vorhandensein von Feuchtigkeit ist dabei immer Grundvoraussetzung. Durch die genannten Prozesse entsteht ein mehrschichtiger Körper, welcher die verschiedensten stofflichen Eigenschaften aufweist.

In diesem Teil sollen die drei verschiedenen Arten der Gesteinsverwitterung (physikalisch, chemisch und biologisch) genauer unter die Lupe genommen werden. Es wäre allerdings überheblich zu glauben, dies sei eine abschliessende Zusammenstellung. Momentan kann die Forschung Zusammenhänge zwischen Ursachen und Schäden nur schwer beweisen.

### 1 PHYSIK – NATÜRLICHE VERWITTERUNGSPROZESSE

#### 1.1 EINLEITUNG

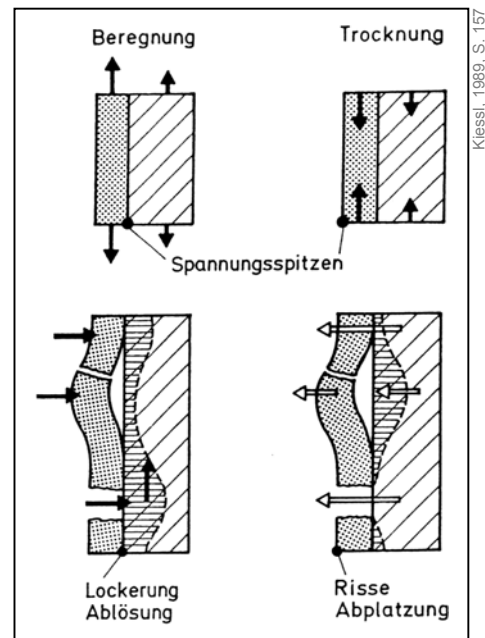
Natürliche Verwitterungsprozesse rühren von Anpassungen der Gesteine an die physikalischen und chemischen Bedingungen an der Erdoberfläche her, und zwar nur von solchen, die «schon immer möglich waren» (Esenwein, 1976, S.67). Schäden durch die – im Vergleich zu den Millionen Jahre alten Sandsteinen – moderne Luftverschmutzung, «sauren Regen» und Staub werden vorerst ausgeklammert und im Kapitel 2 detaillierter betrachtet.

Somit bleiben uns drei wichtige Prozesse, namentlich Beregnungs- und Trocknungszyklen, Salzsprengung und Frostsprengung. Sie alle werden durch den Einfluss von Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Sonne, Regen und Wind auf das Gestein hervorgerufen.

#### 1.2 BEFEUCHTUNGS- UND TROCKNUNGSZYKLEN

Infolge natürlicher Befeuchtungs- und Trocknungszyklen (durch Regen oder Luftfeuchtigkeit) treten in oberflächennahen Gesteinszonen Verformungen und somit Eigenspannungszustände auf, die nach Jahren zu Gefüge-Lockerung, Festigkeitsverlust und – im Extremfall – zu Rissen, Ablösungen oder Abplatzungen führen (vgl. Abbildung 1; Kiessl, 1989, S. 56).

Diese flächenartige Verwitterung wird durch gleichzeitige chemische (vgl. Kapitel 2) und biogene (vgl. Kapitel 3) Gesteinsverwitterung zusätzlich gefördert, weil die in der Abbildung 1 ersichtliche Oberflächenkruste dann schneller gebildet wird. Beregnungs- und Trocknungszyklen selbst begünstigen wiederum die Salzsprengung und Frostsprengung, welche nun genauer erklärt werden sollen.



**Abbildung 1: Verformungen durch Befeuchtungs- / Trocknungszyklen**

### **1.3 SALZSPRENGUNG**

Bei der im vorhergehenden Kapitel besprochenen Trocknung ergibt sich ein starker Feuchtgradient zur Aussenfläche hin. Feuchtigkeit und darin gelöste Salze werden so von innen nach aussen transportiert. Dadurch erhöht sich die Salzkonzentration in der äusseren Kruste. Durch Auskristallisieren verstärkt sich das Spannungsgefüge noch mehr und ruft nun selbst Gefüge-Lockerungen hervor (vgl. Seite 25, Abbildung 1; Kiessl, 1989, S. 58).

### **1.4 ERWÄRMUNG UND ABKÜHLUNG, FROSTSPRENGUNG**

Auch Volumenänderungen durch Erwärmung und Abkühlung erzeugen ein erhöhtes Spannungsgefüge, was zu Lockerungen, Ablösungen und Rissen führen kann (vgl. Kapitel 1.2). Zudem fördert Wärme die Austrocknung an der Gesteinsoberfläche und damit wiederum die Salzsprengung (vgl. Kapitel 1.3).

Das Gefrieren von Porenwasser bei sehr tiefen Temperaturen führt des Öfteren zu Rissen im Gestein. Insbesondere trifft dies zu, wenn bereits vorhandene Risse und Abplatzungen ein «Hinterspülen» erlauben, sich also unter der Kruste ein Wasserreservoir gebildet hat.

## **2 CHEMIE – LUFTVERSCHMUTZUNG, SAURER REGEN, STAUB**

### **2.1 EINLEITUNG**

Wie bei den physikalischen Verwitterungsprozessen ist auch bei den chemischen die Präsenz von Feuchtigkeit zentral. Erst die natürliche Gesteinsfeuchte ermöglicht einen Angriff aggressiver Gase im Gesteinsporenraum.

Im Gegensatz zu den – für Nicht-Geologen – sehr langsamen natürlichen Verwitterungsprozessen bereitet der Zerfall durch antropogene, also vom Mensch erzeugte Schadstoffe in der Luft und in «saurem Regen» immer grössere Probleme. Vor allem Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) und Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ), aber auch andere Schadstoffe lagern sich auf dem Gestein ab und greifen es später an.

In Folge dessen sandet die Gesteinsoberfläche ab oder es bilden sich Schalen (vergleichbar mit einer Zwiebelhaut), die abgesprengt werden.

### **2.2 DIE WICHTIGSTEN LUFTSCHADSTOFFE UND DEREN URSPRUNG**

Die wichtigsten Luftschadstoffe sind Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ), Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ; Summe aus  $\text{NO}$  und  $\text{NO}_2$ ), Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ), die Halogen-Ionen von Chlor und Fluor ( $\text{Cl}^-$  und  $\text{F}^-$ ) und Schwebestäube (feinverteilte Schwebestoffe). Im Zusammenhang mit der Gesteinsverwitterung spielen hauptsächlich  $\text{SO}_2$  und  $\text{NO}_x$  eine Rolle, den anderen Stoffen wird nur ein geringer Einfluss nachgesagt (vgl. Mirwald & Zallmanzig, 1986, S. 9-10).

Schwefeldioxid entsteht bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe (zum Beispiel Heizöl, Dieselöl, Holz oder Kohle). Die  $\text{SO}_2$ -Belastung nimmt gegenwärtig vor allem wegen der zunehmenden Verwendung von schwefelarmen Brennstoffen ab.

Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ) entstehen insbesondere bei Verbrennungen unter hohen Temperaturen, zum Beispiel in Motoren. Zuerst wird Stickstoffmonoxid ( $\text{NO}$ ) gebildet, welches durch Sauerstoff in der Luft zum giftigen Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) oxidiert.

### 2.2.1 DIE BELASTUNGSSITUATION RUND UM DAS KLOSTER ST.GALLEN

Der Stationenbericht 2001 über die Luftqualität in der Ostschweiz und in Liechtenstein liefert von der Messstation Gallusplatz, die unmittelbar neben der Kathedrale St.Gallen liegt, nur den Stickstoffdioxid-Jahresmittelwert (Ostluft, 2002, S. 46). Dieser lag in den Jahren 1996-2001 immer zwischen  $30\mu\text{g}/\text{m}^3$  und  $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ , wobei der Immissionsgrenzwert der Luftreinhalte-Verordnung  $30\mu\text{g}/\text{m}^3$  beträgt. Letzterer wurde also in allen vorliegenden Jahren erreicht, resp. sogar übertroffen.

Zu den übrigen Luftschadstoffen liegt keine neuere Messreihe als diejenige von 1992 vor (vgl. Abbildung 2); ein Rückschluss auf die heutige Situation ist damit nur schwer zu ziehen, da sich die Verkehrssituation rund um den Gallusplatz stark verändert hat. Weil aber die  $\text{SO}_2$ -Belastung seit Jahren abnimmt und der Grenzwert von  $30\mu\text{g}/\text{m}^3$  bereits damals weit unterschritten wurde, kann die Situation heute kaum anders sein. Ähnlich verhält es sich mit dem CO-Ausstoss.

### 2.2.2 DER EINFLUSS DES STRASSENVERKEHRS

In Zusammenhang mit der Durchfahrtsperre am Gallusplatz in Folge eines Grossbrandes konnte der Einfluss des Verkehrs auf die Luftbelastung gemessen werden, hatte man doch nun die Messwerte der Monate April und Mai ohne Verkehr und diejenigen von Juni und Juli mit täglich 12'000 Fahrzeugen. Mit Hilfe einer nahe gelegenen Vergleichsstation (Volksbad) konnten natürliche Schwankungen ausgeglichen werden.

Aussagekräftig sind nur die Messwerte von Stickoxid (+24%), Stickstoffdioxid (+9%) und Kohlenmonoxid (+30%). Die Konzentration von Stickstoffmonoxid muss ebenfalls stark angestiegen sein, da  $\text{NO}_x$  nichts anderes als die Summe von NO und  $\text{NO}_2$  ist. Keine Interpretation lässt

| Schadstoff                                 | April / Mai | Juni / Juli |
|--|-------------|-------------|
| $\text{NO}_x$ [ppb]                        | 27.8        | 30.4        |
| $\text{NO}_2$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | 34.7        | 35.3        |
| CO [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]              | 0.62        | 0.73        |
| Schwebestaub [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]  | 21.2        | 33.9        |
| Dieselschmutz [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | 1.8         | 1.7         |
| $\text{O}_3$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]  | 45.9        | 41.6        |
| $\text{SO}_2$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | 10.6        | 5.6         |

Quelle: Schumann, 1993, S. 54

**Abbildung 2: Schadstoffbelastung während (April / Mai 1992) und nach (Juni / Juli 1992) der Durchfahrtsperre am Gallusplatz**

die Messung des Schwebestaubes zu, da durch die Umbauarbeiten viel Staub produziert wurde und auch eine hohe Pollenkonzentration die Resultate verfälschte. Zudem ist die Abnahme der Schwefeldioxid-Belastung nicht auf den Strassenverkehr zurückzuführen, stösst er doch kaum  $\text{SO}_2$  aus; Messungen von  $\text{SO}_3$  liegen keine vor (vgl. Schumann, 1993).

Erstaunlicherweise waren vor der Restauration von 1928-1938 die grössten Schäden nicht wie heute zumeist an der Westfassade, sondern an der windgeschützten Ostfassade der Kathedrale feststellbar. Offenbar war die von den Heizöfen der Altstadtwohnungen herrührende hohe Konzentration an Russ- und Staubpartikeln (erkennbar an der schwarzen Verfärbung der Fassade) dafür verantwortlich. Diese Partikel wurden an der windgeschützten Seite abgelagert, konnten aber wenig bis gar nicht vom Schlagregen weggewaschen werden.

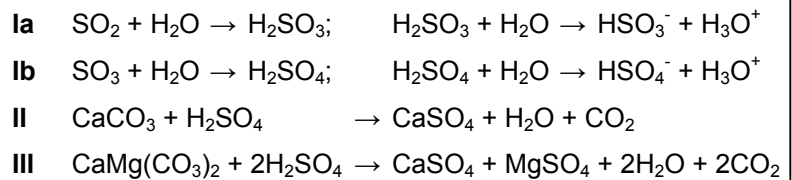
Zusammengefasst kann gesagt werden, dass die Belastung mit Stickoxiden und Kohlenmonoxid durch den Strassenverkehr ansteigt. Ihm in irgendeiner Weise die Schuld an den Schäden der Kathedrale St.Gallen zuzuweisen, wäre aber sicherlich falsch; über die Jahre betrachtet haben zum Beispiel auch die enormen  $\text{SO}_2$ -Ausstösse der Heizöfen in Altstadtwohnungen dazu beigetragen. Zudem könnte man ja aus den Messresultaten interpretieren, dass gerade der Strassenverkehr den  $\text{SO}_2$ -Ausstoss um fast 50% gesenkt habe!



## 2.3 DEPOSITION AM BEISPIEL DES SCHWEFELDIOXIDS

Die Möglichkeit einer Deposition (Ablagerung von Luftschadstoffen) hängt von der Zusammensetzung des Sandsteins (Kalk ist besonders kritisch), dem Porengefüge (Grösse, Volumen und Oberfläche des Porenraums) und dessen Durchlässigkeit ab.

Es wird zwischen zwei Arten des Schadstofftransports in der Luft unterschieden: der trockenen und der nassen Deposition. Trockene Deposition findet vor allem in Belastungsgebieten statt, während die viel schnellere nasse Deposition hauptsächlich in Gebieten mit hohen Niederschlagsmengen oder vielen Nebeltagen für Schäden verantwortlich ist (vgl. Mirwald & Zallmanzig, 1986, S. 15).



Diese beiden Depositionstypen sollen im Folgenden am Beispiel des Schwefel-

**Abbildung 3: In der Luft bilden sich  $\text{H}_2\text{SO}_3$  (Ia) /  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (Ib) mit Feuchtigkeit; Volumenzunahme von Calcit (II) und Dolomit (III)**

dioxidis genauer erklärt werden;  $\text{SO}_2$  gilt, so zeigt ein Versuch von Mirwald und Zallmanzig (1986, S. 14), als schlimmster direkt angreifender Schadstoff, da die  $\text{SO}_2$ -Deposition in Naturstein im Gegensatz zu derjenigen von  $\text{NO}_x$  und  $\text{Cl}^-$  um eine Grössenordnung höher ist. Die Deposition von Stickoxiden reicht aber aus, um mit Wasser genügend Nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) und Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) für die Ernährung nitrifizierender Bakterien zu bilden (vgl. Kapitel 3.2.4.1); man bezeichnet dies als Luftdüngung.

### 2.3.1 TROCKENE DEPOSITION

Bei der trockenen Deposition lösen sich die gasförmigen Schadstoffe direkt im Porenwasser der oberflächennahen Zonen des Gesteins.

Bei mittlerer und höherer Luftfeuchtigkeit liegt die im Gestein enthaltene Feuchtigkeit zum erheblichen Anteil in Form von Porenwasser vor. Das  $\text{SO}_2$  wird im Porenwasser gelöst. Bei der anschliessenden Protolyse werden Hydrogensulfid und Sulfid gebildet, die zu  $\text{SO}_4$ -Ionen weiterreagieren. Die so entstandene Säure kann anfällige Mineralbestandteile, wie z.B. Calcit, Dolomit und Plagioklas [Kalknatronfeldspäte; ...], auflösen bzw. zersetzen. Es können sich aber auch bei einer chemischen Umsetzung mit den Mineralbestandteilen selbst neue Salze bilden. Diese werden in Form von Lösungen in den Oberflächenbereich des Werksteinmaterials transportiert und kristallisieren dort aus, wenn das Wasser verdunstet. (Mirwald & Zallmanzig, 1986, S. 15).

Nitrite und Nitrate führen dann wiederum durch Gefügeveränderungen, Sulfite und Sulfate zusätzlich durch Volumenzunahme, zu Salzsprengung (vgl. Abbildung 3; Kapitel 1.3). Die beiden erstgenannten sind neben  $\text{NH}_4^+$  die Stickstoffdünger der Mikroorganismen.

### 2.3.2 NASSE DEPOSITION

Wie beim trockenen oxidiert beim nassen Depositionsvorgang ein Teil des  $\text{SO}_2$  mit  $\text{O}_2$  zu  $\text{SO}_3$  und reagiert dann mit Wasser zu Schwefelsäure (vgl. Abbildung 3), welche sich in Form von Aerosolpartikeln<sup>1</sup> in den Regenwolken sammelt und darauf als «saurer Regen» zur Erde fällt, oder aber durch den Nebel zur Gesteinsoberfläche transportiert wird.

<sup>1</sup> Aerosol: Gas, in welchem feste oder flüssige Stoffe in Form feinsten nebelartig verteilter Partikelchen schweben (vgl. Duden (2000). *Die deutsche Rechtschreibung*. Mannheim: Dudenverlag).

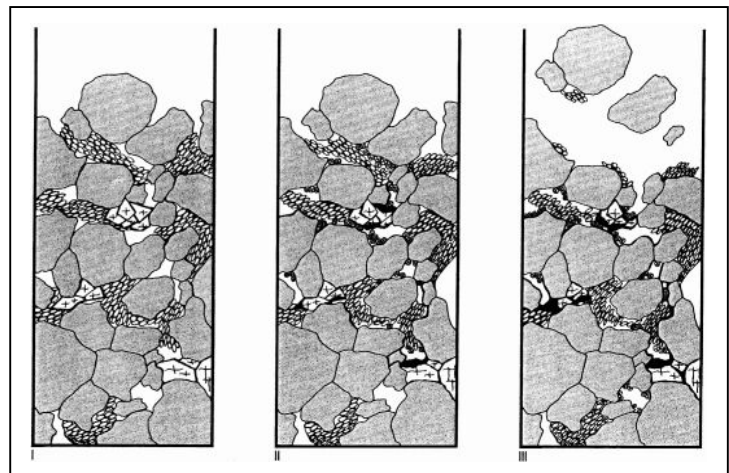
Bestimmend für die Aggressivität des Regenwassers ist der Anteil an Schwefelsäure, also sein pH-Wert (vgl. Mirwald & Zallmanzig, 1986). Nasse Deposition ist weniger schlimm als trockene, da Regen und Nebel im Allgemeinen nur von kurzzeitiger Dauer sind. Trockene Deposition ist hingegen immer möglich.

## 2.4 DIE ZWEI WICHTIGSTEN SCHADENSBILDER

Gesteinsverwitterung äußert sich auf zwei verschiedene Arten: durch Absanden der Oberfläche oder durch Ablösen von ganzen Gesteinsschichten (die sogenannte Schalenbildung). Es wird nun versucht, diese beiden Schadensbilder anhand des Schlaittdorfer Sandsteins zu erläutern. Letzterer ist ein grobkörniger, heller, sehr inhomogener Stein aus dem Neckargebiet (unweit von Stuttgart) und wurde – im Gegensatz zu Schweizer Sandsteinen – bereits gut erforscht (vgl. Mirwald & Zallmanzig, 1986, S. 16-17).

### 2.4.1 ABSANDEN

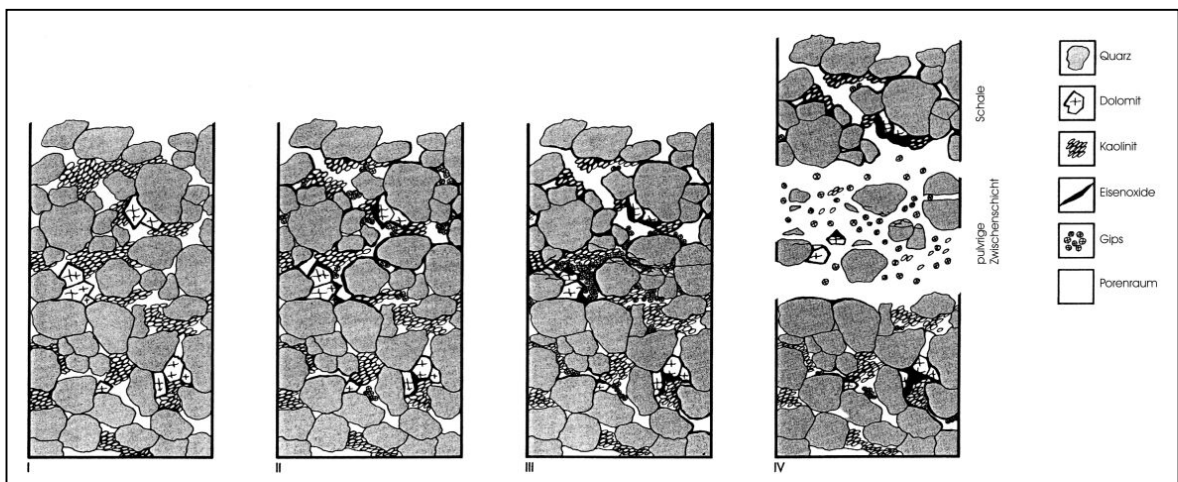
Absanden (auch Abschuppen) ist eine kontinuierliche Rückstufung der Gesteinsoberfläche und wird in drei verschiedene Stadien unterteilt (vgl. Abbildung 4).



**Abbildung 4: Schematische Darstellung der kontinuierlichen Oberflächen-Rückstufung (Absanden)**

- I Am Anfang steht das intakte Gesteinsgefüge.
- II Durch trockene oder nasse Deposition angelagerte Schwefelverbindungen zersetzen Calcit ( $\text{CaCO}_3$ ) oder Dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) und führen zur Bildung von Gips im Oberflächenbereich ( $\text{CaSO}_4 / \text{MgSO}_4$ ; vgl. Seite 28, Abbildung 3).
- III In Zusammenhang mit physikalischen oder biologischen Verwitterungsmechanismen kommt es zur Zerstörung der Gesteinsoberfläche.

Die Verwitterung durch Absanden ist also nicht nur auf das Vorhandensein von Luftschadstoffen zurückzuführen, diese ebnen aber das Feld für andere Mechanismen.



**Abbildung 5: Schalenbildung mit oberflächenparalleler Abspregung (vgl. Kapitel 2.4.2)**

## 2.4.2 SCHALENBILDUNG

Das unter dem Begriff «Abschalung» bekannte Phänomen der schalenhaften Bruchstellen in Zentimetertiefe wird durch die Wirkung von Mikroorganismen und durch chemische und physikalische Einflüsse im Innern des Gesteines hervorgerufen. Es vollzieht sich in den folgenden Stadien (vgl. Seite 29, Abbildung 5):

- I Intaktes Gesteinsgefüge.
- II Die umweltbedingte  $\text{SO}_2$ -/ $\text{SO}_3$ -Deposition führt zu Gipsablagerungen in einer bis zu mehreren Zentimetern tiefen Zone. Sie ist begleitet von Eisenoxid- und Quarzbildung aus gesteinsinnerer Stoffmobilisation.
- III Im Laufe der Zeit teilt sich die relativ mächtige Gipsanreicherungszone in eine obere verfestigte Zone und einen zunehmend brüchiger werdenden Zwischenraum (Hohlraumbildung, vgl. Abbildung 6).
- IV Die obere Schale kann durch die pulvrige, salzangereicherte Zwischenschicht nicht mehr stabilisiert werden, dies führt zur oberflächenparallelen Absprengung der verfestigten Zone. Die Zwischenschicht wird durch Wind und Regen abgetragen.



**Abbildung 6: Schalenbildung an einem granitischen Sandstein der Kathedrale von 1928-1938**

Dieser Schadensprozess kann danach von neuem beginnen, im Extremfall in Perioden von lediglich fünf bis sieben Jahren (Schlaitdorfer Sandstein am Kölner Dom; vgl. Mirwald & Zallmanzig, 1986, S. 17). Bei der Kathedrale St.Gallen ist dies nicht derart schnell zu erwarten, mehr als 20 Jahre sind schon eher realistisch.

## 3 BIOLOGIE – BIOGENE GESTEINSVERWITTERUNG

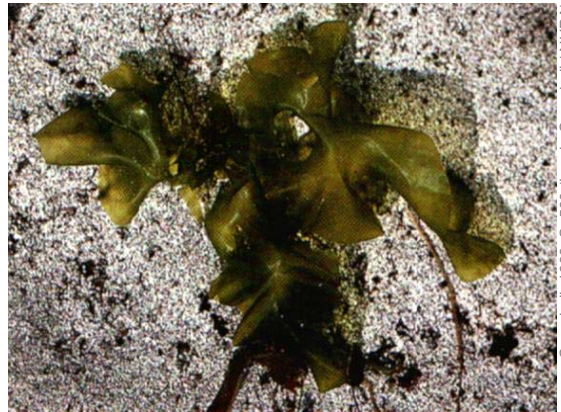
### 3.1 EINLEITUNG

Der Einfluss von Mikroorganismen bei der Gesteinsverwitterung ist heutzutage unumstritten. Da aber viele Mikroorganismen, speziell Bakterien, oftmals nur schwer nachzuweisen sind, können Untersuchungen diesbezüglich im Allgemeinen recht lange dauern. Ein Grund hierfür kann der verhältnismässig langsame Stoffwechsel mancher Mikroorganismen sein. Bakterien sind grundsätzlich dafür bekannt, eine hohe Stoffwechselrate zu besitzen (Gesamt-Energieverbrauch eines Organismus in einer bestimmten Zeit). Aber auch bei den Bakterien gibt es solche, die nur sehr langsam Stoffe umsetzen; dies erschwert den Nachweis des Vorhandenseins dieser Organismen erheblich.

In den folgenden Abschnitten wird einerseits auf die an Gebäuden vorkommenden bekannteren Gruppen von Mikroorganismen eingegangen, die erfahrungsgemäss Schäden anrichten können, andererseits auf Schadensbilder und Symptome, die Mikroorganismen verursachen können.

### 3.2 AN DER GESTEINSVERWITTERUNG BETEILIGTE MIKROORGANISMEN UND IHRE AKTIVITÄTEN

Seit mehreren Jahrzehnten ist bekannt, daß Mikroorganismen [...] an der Verwitterung von Ziegeln, Naturstein und Beton beteiligt sind. [...] Bei mikrobiologischen Bestandesaufnahmen wurden Grünalgen, Pilze, Flechten, chemoorganotrophe Bakterien und Cyanobakterien sowie lithoautotrophe Bakterien regelmäßig angetroffen. Pilze und chemoorganotrophe Bakterien leben vom Abbau organischer Substanzen, Grünalgen und Cyanobakterien benötigen Sonnenlicht und Kohlendioxid der Luft. Lithoautotrophe Bakterien verwenden anorganische Substanzen zur Energiegewinnung und Kohlendioxid der Luft zum Aufbau von Zellmaterial. (Bock & Krumbein, 1989, S. 34).



Campbell, 1998, S. 590 (Laurie Campbell / NHPA)

#### 3.2.1 ALGEN

Grünalgen (Chlorophyta; vgl. Abbildung 7) tragen ihren Namen aufgrund der grasgrünen Chloroplasten<sup>2</sup>. Sie können Einzeller oder Vielzeller sein. Bisher sind mehr als 7000 Arten von Grünalgen bekannt (vgl. Campbell, 1998, S. 589-590). Neben CO<sub>2</sub> benötigen Grünalgen, wie andere Algen auch, N-Verbindungen zum Aufbau ihrer Zellsubstanz. Als Lebensräume dienen der Grünalge neben Meer- und Süßwasser belichtete Bodenschichten und Bäume, sowie Putze und Anstriche von Gebäuden.

Abbildung 7: Grünalge am Mauerwerk

Algen scheiden organische Substanzen aus (z.B. Alginsäure; teilweise aber auch NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), die als Nahrung anderen Mikroorganismen dienen können (vgl. DEHEMA, 1989, S. 7-10).

#### 3.2.2.1 PILZE

Fadenpilze sind Eukaryoten, d.h. sie besitzen einen echten Zellkern. Ihre Zellen sind etwa zehnmal dicker als jene der Bakterien. Sie bilden Zellgeflechte und meist morphologisch hochdifferenzierte Fruchtkörper. Ihre Lebensweise ist heterotroph<sup>3</sup>, Sauerstoff wird immer benötigt.

Pilze decken ihren Energie- und Kohlenstoff-Bedarf aus organischen Substanzen. Als Stoffwechselprodukte bilden viele von ihnen organische Säuren<sup>4</sup>. Manche Pilzarten, beispielsweise der Hausschwamm, bilden hochspezialisierte Mycelstränge (Zellgeflechte), die den Wasser- und Salztransport über weite Distanzen (z.B. vom Keller bis in den Dachstock) gewährleisten können (vgl. Campbell, 1998, S. 635).

---

<sup>2</sup> Chloroplasten enthalten den grünen Farbstoff Chlorophyll, welcher der photosynthetischen Nährstoffproduktion dient. Alle grünen Teile einer Pflanze, auch grüne Stengel und unreife Früchte enthalten Chloroplasten (vgl. Campbell, 1998, S. 201).

<sup>3</sup> Ein heterotropher Organismus kann den lebensnotwendigen Kohlenstoff nicht aus CO<sub>2</sub> gewinnen, sondern nur aus organischen Verbindungen, die andere Lebewesen erzeugt haben; deshalb bezeichnet man heterotrophe Organismen auch als Konsumenten (vgl. Campbell, 1998, S. 201).

<sup>4</sup> Organische Säuren (R-COOH): Sind trotzdem genügend stark, um Carbonate oder Silicate auflösen zu können (vgl. Seite 33, Abbildung 9).



### 3.2.2.2 CHEMOORGANOTROPHE PILZE

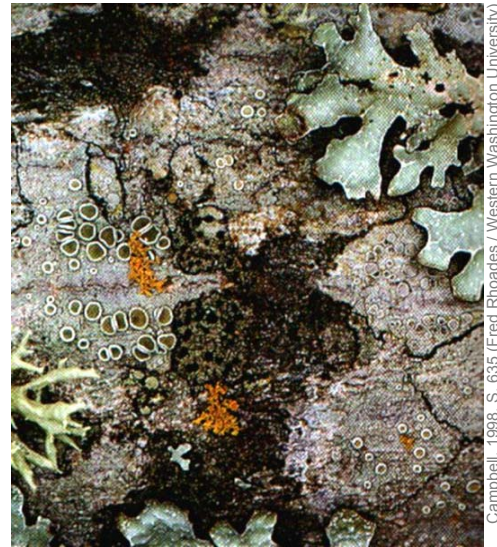
Im Gegensatz zu den Nitrifikanten (vgl. Kapitel 3.2.4.1) benötigen chemoorganotrophe Pilze organische Kohlenstoffverbindungen als Energie- und Kohlenstoffquelle (vgl. auch Kapitel 3.2.4.2). Diese beziehen sie aus Überresten abgestorbener Algen, von Pflanzenresten, von organischen Substanzen im Gestein und von Kohlenwasserstoffen aus der Luft. Die chemoorganotrophen Mikroorganismen scheiden organische Säuren aus, welche die Bindemittel von Sandstein angreifen und durch eine Komplexbildung<sup>5</sup> dieser Säuren mit dem Mineralverbund der Gesteine wichtige essentielle Kationen (positiv geladene Ionen; z.B.  $\text{Ca}^{2+}$  oder  $\text{Mg}^{2+}$ ) herauslösen können (Gitterfehlstellen; vgl. Bock & Krumbein, 1989, S. 36).

Die Stabilität der gesteinsbildenden Minerale wird zudem durch die Aktivität Eisen und Mangan reduzierender und oxidierender Pilze auf Grund des damit verbundenen Valenzwechsels<sup>6</sup> im Kristallverbund beeinträchtigt. (Bock & Krumbein, 1989, S. 36).

### 3.2.3 FLECHTEN

Flechten sind symbiontische<sup>7</sup> Gebilde aus photosynthetisch aktiven Mikroorganismen, die in ein Netz von Pilzhyphen (einzelne Fadenstücke eines Pilzes) eingelagert sind (vgl. Abbildung 8). Die Pilzkomponente besteht meistens aus einem Ascomyceten (Schlauchpilz). Die phototrophen Partner sind meist einzellige Grünalgen oder Cyanobakterien. Die Gestalt der Flechten hängt in manchen Fällen vom Bau der Alge ab, zumeist jedoch von demjenigen des Pilzes (vgl. Campbell, 1998, S. 635).

Der Pilz bezieht von den Algen organische Nährstoffe, die aus der  $\text{CO}_2$ -Fixierung stammen; der Pilz versorgt die Alge mit Wasser sowie Mineralstoffen und schützt sie vermutlich vor Austrocknung. (DECHEMA, 1989, S. 10).



**Abbildung 8: Flechten auf der Borke eines Ahorns**

---

<sup>5</sup> Komplexverbindungen: Verbindungen, in denen ein Zentralatom oder Zentralion von mehreren anderen Atomen, Ionen oder Molekülen (so genannten Liganden) in räumlich regelmässiger Anordnung umgeben ist (vgl. Duden (1999). *Grundwissen Chemie*. Mannheim: Dudenverlag).

<sup>6</sup> Valenzelektronen (Aussenelektronen) können verschoben werden (entweder dem Eisen, resp. Mangan entzogen oder an diese abgegeben werden; z.B.  $\text{Fe}^{3+} + 1e^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ ).

<sup>7</sup> Symbiose (symbiontisch): Lebensgemeinschaft von zwei oder mehreren Organismen, die gegenseitig voneinander profitieren.

### 3.2.4 BAKTERIEN

Bakterien unterscheiden sich von allen anderen Lebewesen durch das Fehlen eines echten Zellkerns (Prokaryoten) – das Kernmaterial ist ohne Abgrenzung zentral im Plasma verteilt –, durch eine chemisch spezifisch zusammengesetzte Zellwand und durch ihre geringe Grösse. Sie sind morphologisch meist wenig differenziert, können aber durch Geisseln beweglich sein und Schleimstoffe ausscheiden. Die Mehrzahl der Bakterien lebt heterotroph, d.h. sie nutzen organische Stoffe als Kohlenstoff- und Energiequelle. Einige gewinnen ihre Energie zur Assimilation von CO<sub>2</sub> (für den Aufbau der Zellsubstanz) aus der Oxidation organischer Verbindungen, d.h. diese leben autotroph<sup>8</sup> (vgl. DECHEMA, 1989, S. 6).

Als Energiequelle dienen einigen Gruppen von Bakterien anorganische, oxidierbare Verbindungen: CO, S<sup>-</sup>, S<sup>0</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Fe<sup>++</sup> und H<sub>2</sub> werden oxidiert und die gewonnene Energie für die Reduktion von CO<sub>2</sub> zu organischen C-Verbindungen und für die Aufrechterhaltung des Stoffwechsels verwendet (Chemolithotrophie). Die Endprodukte dieses Stoffwechsels sind CO<sub>2</sub>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Fe<sup>3+</sup> und H<sub>2</sub>O. Die Mehrzahl dieser Bakterien lebt aerob, d.h. sie benötigen Sauerstoff, einige können NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, N<sub>2</sub>O oder CO<sub>2</sub> bei Fehlen von Sauerstoff reduzieren. (DECHEMA, 1989, S. 7).

#### 3.2.4.1 NITRIFIZIERENDE BAKTERIEN

Nitrifizierende Bakterien wandeln Ammoniak<sup>9</sup> über salpetrige Säure zu Salpetersäure um (vgl. Abbildung 9). Vertreter der Gattungen Nitrosovibrio und Nitrobacter (vgl. Seite 34, Abbildung 10) sind als Verursacher der biologischen Salpetersäurebildung identifiziert worden.

|            |                              |                                 |   |  |                     |
|------------|------------------------------|---------------------------------|---|--|---------------------|
| <b>I</b>   | 2R-CH <sub>3</sub><br>KW     | + 3O <sub>2</sub><br>Sauerstoff | → | 2R-COOH<br>Carbonsäure                         | + 2H <sub>2</sub> O |
| <b>Ila</b> | 2NH <sub>3</sub><br>Ammoniak | + 3O <sub>2</sub><br>Sauerstoff | → | 2HNO <sub>2</sub><br>Salpetrige Säure (Nitrit) | + 2H <sub>2</sub> O |
| <b>Ilb</b> | 2HNO <sub>2</sub><br>Nitrit  | + O <sub>2</sub><br>Sauerstoff  | → | 2HNO <sub>3</sub><br>Salpetersäure (Nitrat)    |                     |

Die Versorgung dieser Bakterien mit Nährstoffen erfolgt über trockene und nasse Deposition von gasförmigen und partikulären Substanzen auf Gesteinsoberflächen (vgl. Kapitel 2.3). Dabei handelt es sich hauptsächlich um vom Menschen verursachte Luftschadstoffe wie Ammoniumsalze (Salze, welche das Ion NH<sub>4</sub><sup>+</sup> enthaltenden), Stickoxide (NO<sub>x</sub>), Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), langkettige Kohlenwasserstoffe und andere organische Verbindungen. Die Schadstoffe NO<sub>x</sub> und SO<sub>2</sub> werden als klassische Verursacher chemischer Gesteinszerstörung angesehen («saurer Regen»). Langkettige Kohlenwasserstoffe werden partiell zu organischen Säuren umgewandelt und Ammoniumsalze wie Ammoniak zu Salpetersäure oxidiert (vgl. Abbildung 9). Bei den atmosphärischen Ammonsalzen ist seit Beginn der Achtzigerjahre des 20. Jahrhunderts ein massiver Anstieg festzustellen. Dieser Anstieg ist überwiegend auf die Intensiv-Tierhaltung und zu einem geringeren Teil auf Mineraldünger zurückzuführen (vgl. Bock & Krumbein, 1989, S. 34).

**Abbildung 9: Umwandlung von langkettigen Kohlenwasserstoffen (KW) zu organischen Säuren (I); Nitrifikation (II)**

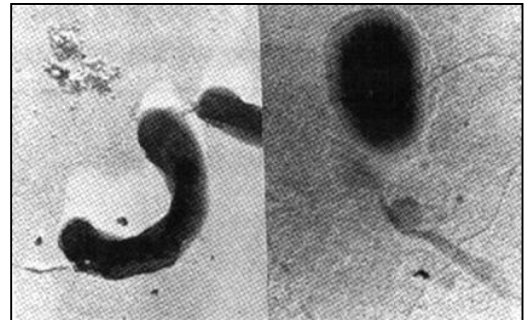
Die Versorgung dieser Bakterien mit Nährstoffen erfolgt über trockene und nasse Deposition von gasförmigen und partikulären Substanzen auf Gesteinsoberflächen (vgl. Kapitel 2.3). Dabei handelt es sich hauptsächlich um vom Menschen verursachte Luftschadstoffe wie Ammoniumsalze (Salze, welche das Ion NH<sub>4</sub><sup>+</sup> enthaltenden), Stickoxide (NO<sub>x</sub>), Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), langkettige Kohlenwasserstoffe und andere organische Verbindungen. Die Schadstoffe NO<sub>x</sub> und SO<sub>2</sub> werden als klassische Verursacher chemischer Gesteinszerstörung angesehen («saurer Regen»). Langkettige Kohlenwasserstoffe werden partiell zu organischen Säuren umgewandelt und Ammoniumsalze wie Ammoniak zu Salpetersäure oxidiert (vgl. Abbildung 9). Bei den atmosphärischen Ammonsalzen ist seit Beginn der Achtzigerjahre des 20. Jahrhunderts ein massiver Anstieg festzustellen. Dieser Anstieg ist überwiegend auf die Intensiv-Tierhaltung und zu einem geringeren Teil auf Mineraldünger zurückzuführen (vgl. Bock & Krumbein, 1989, S. 34).

<sup>8</sup> Autotrophe Organismen (Selbsternährer): Können am Leben bleiben, ohne andere Lebewesen zu fressen oder zu zersetzen. Sie stellen ihre organischen Moleküle aus anorganischen Rohstoffen her, die sie aus der Umwelt beziehen (vgl. Campbell, 1998, S. 199).

<sup>9</sup> Einige Prokaryoten, darunter auch die Cyanobakterien, sind in der Lage, atmosphärischen Stickstoff (N<sub>2</sub>) als Stickstoffquelle zu nutzen. Dabei wird N<sub>2</sub>-Gas zu Ammoniak (NH<sub>3</sub>) umgewandelt (so genannte Stickstoff-Fixierung). Dieser Ammoniak kann als Nahrung für nitrifizierende Bakterien dienen (vgl. Campbell, 1998, S. 554).

### 3.2.4.2 CHEMOORGANOTROPHE BAKTERIEN

Chemoorganotrophe Bakterien besitzen dieselben Energie- und Kohlenstoffquellen wie die chemoorganotrophen Pilze (vgl. Kapitel 3.2.2.2). Durch das Ausscheiden von Schleimen verursachen sie eine Verringerung des freien Porenraumes. Dadurch werden die physikalischen Verwitterungsprozesse beträchtlich verstärkt (vgl. Kapitel 1). Die Verstopfung des freien Porenraumes erschwert ausserdem das Eindringen von gesteinschützenden Stoffen (aber auch von Säuren!). Die Schleimausscheidung dient den Mikroorganismen einerseits als «Luftstaubfänger», andererseits hält die Schleimschicht die für die Mikroorganismen lebenswichtige Feuchtigkeit auch bei Trockenwetterperioden im Gestein (vgl. Bock & Krumbein, 1989, S. 36-37).



Bock & Krumbein, 1989, S. 34

**Abbildung 10: Elektronenmikroskop-Aufnahmen von Nitrosovibrio (links) und Nitrobacter (vgl. Kapitel 3.2.4.1)**

### 3.3 VORAUSSETZUNGEN FÜR DIE BESIEDLUNG DURCH MIKROORGANISMEN

Neben umweltrelevanten Parametern wie Feuchtigkeit, Temperatur und Nährstoffeintrag wird der Bewuchs von Natursteinen mit Mikroorganismen auch durch die Art des Gesteines, seines Mineralbestands, die Art des Bindemittels und seiner Porosität beeinflusst. Während kieselig gebundene Sandsteine nur eingeschränkt einem mikrobiellen Befall unterliegen, begünstigen verwitterungslabile Karbonat- und insbesondere glimmer- und tonmineralhaltige Sandsteine den Aufwuchs biokorrosiver Mikroorganismen. Grobporige Sandsteine fördern durch ihre schnelle Feuchtigkeitsaufnahme und -abgabe nur temporär die mikrobiologische Besiedlung. Dagegen scheinen feinporige Sandsteine durch anhaltende Feuchtigkeitsbindung langfristig günstige Lebensbedingungen für gesteinsbesiedelnde Mikroorganismen zu erzeugen. Treten hinsichtlich der Mineralzusammensetzung des Sandsteines noch nennenswerte Feldspat- und Tonmineralanteile (z.B. Illit und Chlorit) zur Gesteinsmatrix hinzu (z.B. Schilfsandstein), sind durch das damit verbundene Angebot an angreifbaren Mineralien sowie durch die Vergrößerung der inneren Oberfläche optimale Bedingungen für den Bewuchs und eine biokorrosive Aktivität von chemoorganotrophen Mikroorganismen gegeben. (Bock & Krumbein, 1989, S. 36).

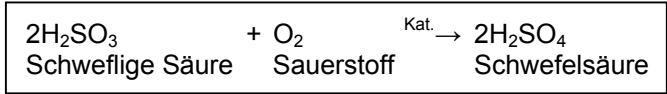
Sandstein enthält basische Mineralien wie Kalk oder Dolomit, welche Säuren aus dem «sauren Regen» neutralisieren können. Das Porenwasser hat somit einen «lebensfreundlichen» pH-Wert. Damit wird aus der starken Salpetersäure  $\text{HNO}_3$  ein Salz (Nitrat), das als Stickstofflieferant dienen kann. Die Neutralisation ist somit Voraussetzung für Bewuchs.

Aufgrund dieser Erkenntnisse sind auch im Falle der Kathedrale St.Gallen – je nach Art des Sandsteins – Voraussetzungen für eine Besiedlung gegeben, werden jedoch durch die eher kühle und trockene Witterung relativiert.

### 3.4 DIE WIRKUNG VON MIKROORGANISMEN

Mikroorganismen wirken einerseits direkt, aber auch indirekt auf die Gesteinsverwitterung. Direkt wirken sie, weil sie mineralische und organische Säuren produzieren, die ihrerseits kalkhaltige Bindemittel in Sedimentgesteinen umwandeln und damit das Gesteinsgefüge schwächen.

Indirekt wirken die Mikroorganismen durch ihre Einflussnahme auf die Veränderung des Porenvolumens (Bewuchs und Schleimausscheidung). Aus Untersuchungen mit Reinkulturen kann geschlossen werden, dass scheinbar trockene Steine das ganze Jahr hindurch hinreichend feucht sind, da sie ein Leben für Mikroorganismen ermöglichen.



Nitrit (vgl. Kapitel 3.2.4.1) beschleunigt die Umwandlung von schwefliger Säure zu Schwefelsäure (Katalysator;

**Abbildung 11: Mit NO<sub>x</sub> katalysierte Umwandlung von schwefliger Säure zu Schwefelsäure**

vgl. Abbildung 11). Die Schwefelsäure selbst gilt als wichtigster chemischer Faktor für die Natursteinverwitterung (vgl. Kapitel 2.2 & 2.3; Bock & Krumbein, 1989, S. 37).

Die mikrobiologischen Untersuchungen der gesteinsbesiedelnden, chemoorganotrophen Mikroflora hat gezeigt, daß sie auf den Sandsteinen kulturhistorischer Monumente

- ein ausreichendes Nahrungsangebot für Wachstum und ihre biokorrosive Aktivität vorfinden [...];
- organische Säuren mit Bindemittel lösender Wirkung ausscheiden. Eine Karbonatauflösung durch gesteinsbesiedelnde Pilze liess sich nachweisen [...];
- im Zusammenhang mit Redoxreaktionen an Metallen die Stabilität der Kristallgitter gesteinsbildender Minerale beeinträchtigen.

(Bock & Krumbein, 1989, S. 37).

### 3.5 VON MIKROORGANISMEN VERURSACHTE SCHÄDEN

Grundsätzlich wird das Schadensbild an Natursteinen in drei Zonen eingeteilt: der Materialantrag (Besiedlung durch Pflanzen und Mikroorganismen) auf der Oberfläche, die



Blaschke, 1989, S. 27

**Abbildung 12: Biomatte und Entmineralisierungszone**

von Mikroorganismen und wegen chemischer und physikalischer Einflüsse in Zentimetertiefe, im Innern des Gesteines (vgl. auch Kapitel 2.4.2).

Entmineralisierungszone direkt unter der Gesteinsoberfläche und die Zone in Zentimetertiefe. Alle diese Zonen müssen im Zusammenhang gesehen werden. Abbildung 12 zeigt in eindrucklicher Weise den von Krumbein vor über dreissig Jahren geprägten Begriff der Biomatte<sup>10</sup>. Sehr gut erkennbar ist auch der Bereich der Entmineralisierungszone. Das Gefüge scheint rund 2mm tief aufgeweicht (vgl. Blaschke, 1989, S. 26).

Das unter dem Begriff «Abschalung» bekannte Phänomen der schalenhaften Bruchstellen bei Naturgesteinen geschieht aufgrund der Wirkung

Inwiefern Mikroorganismen an der Verwitterung des Sandsteins der Kathedrale St.Gallen beteiligt sind, konnte noch nicht festgestellt werden (die EMPA führt diesbezüglich Untersuchungen durch, die bisher allerdings keine eindeutigen Ergebnisse geliefert haben).

<sup>10</sup> Biomatten: Eng miteinander verflochtene, sich in Wechselbeziehung mit dem Substrat organisierende Mikrobengemeinschaften. Sie nehmen starken Einfluss auf die Gesteine, auf denen sie wachsen. Biomatten sind auch bekannt unter dem Namen «Mikrobenmatten» (vgl. Krumbein & Schönborn-Krumbein, 1987, S. 80).



# TEIL V

## ZUSAMMENFASSUNG

In den vorangehenden Kapiteln wurden die verschiedensten Bereiche im Zusammenhang mit Sandstein und der Restauration der Kathedrale St.Gallen besprochen. Einige Themen würden sich für weitere Studien aufdrängen, so etwa die Spenglerarbeiten an den 235 Jahre alten, in Europa einzigartigen welschen Turmzwiebeln (welche auch bei der UNO-Task-Force «ICP Material» für Aufsehen sorgten), die Sanierung der Feuervergoldungen der Turmbekrönungen und Kugeln oder die Sanierung der elf Kirchenglocken. Tiefgreifender könnten auch noch allfällige biogene Faktoren untersucht werden, die zur Gesteinsverwitterung beitragen.

### 1 DIE GESCHICHTE DER KATHEDRALE

Es hat den Anschein, dass bereits anfangs des 18. Jahrhunderts über den Neubau der Klosterkirche diskutiert wurde. Ein sich in der Stiftsbibliothek befindliches Holzmodell deutet darauf hin, dass der Ordensbruder Gabriel Loser massgeblich an den Plänen für die neue Kathedrale beteiligt gewesen war (das von ihm gebaute Modell stimmt jedoch nicht bis ins letzte Detail mit der tatsächlich gebauten Kirche überein).

Im Jahre 1755 wurde mit dem Abbruch des alten Kirchenschiffes begonnen. Der Chor – welcher bis dahin schon oft Diskussionsgegenstand war – und der Turm wurden vorerst nicht abgerissen. 1756 wurde mit dem Bau des Dachstuhls begonnen; das Jahr darauf war unter der Leitung von Johann Christian Wentzinger ganz den Malerei-, Stuckatur- und Bildhauerarbeiten gewidmet. Im Verlaufe des Jahres 1760 erreichte der Neubau des Schiffes seine Vollendung.

Zu Beginn desselben Jahres entschied sich die Mehrheit des Konvents auf Drängen des Abtes Coelestin II von Staudach, das grossartige Werk mit dem Neubau des Chores zu krönen. Letzterer entschloss sich kurze Zeit später, nachdem ihm ein entsprechender Plan vorgelegt wurde, auch den Turm durch zwei neue zu ersetzen. 1761 wurde mit den Abbrucharbeiten des Chores, der Sakristei und des Turmes begonnen. Der Rohbau des Chores war im Winter 1763/64 vollendet. Zwei Jahre später wurde der letzte Stein für die Türme gelegt, sodass im Jahre 1766 die äusserlichen Bauarbeiten abgeschlossen werden konnten.

Die Mauersandsteine für den Bau der neuen Klosterkirche wurden einerseits in der Gegend um Teufen, andererseits in den Steinbrüchen im «Spieltrückli» (südöstlich St.Georgen) und in Rorschach abgebaut.

In den Jahren 1817-1819 mussten statische Sicherungsarbeiten vorgenommen werden. Um das Grösser-Werden von Rissen in den Wänden zu verhindern, wurden gekreuzte Querbalken eingezogen und eiserne Klammern angebracht.

Während einer ersten Restauration (1841-1845) mussten dann Teile der Ostfassade, vor allem die Sandsteinplastik des Tympanons wiederhergestellt werden. Die dafür benötigten Steine wurden im Haslentobel bei Teufen, im «Spieltrückli» und evtl. nahe St.Margrethen gebrochen.

Eine zweite Restauration wurde zwischen 1928 und 1938 vorgenommen. Die verwitterten Steine der Kathedrale mussten ersetzt, der ganze Verputz erneuert, statische Sicherungsarbeiten am Westchor vorgenommen und diverse Figuren und plastische Bildhauerarbeiten neu angefertigt werden. Nach Untersuchungen durch die ETH hinsichtlich Druckfestigkeit und Wetterbeständigkeit entschied sich die Bauleitung für die Verwendung von Teufener Sandstein. Um Geld zu sparen und um sich die notwendige Menge Sandsteine zu sichern, kaufte der Katholische Administrationsrat im Sommer 1928 das alleinige Ausbeutungsrecht des Teufener Steinbruches von den damaligen Besitzern.

## **2 SCHWEIZER SANDSTEINE**

Während Millionen von Jahren bildeten sich durch Verkittung und Verfestigung von abgelagertem Sand, Schotter und Fossiltrümmern mit Hilfe der hydraulischen Bindemittel Kalk, Kies und Ton die Schweizer Sandsteine heran.

Bereits die Alten Römer waren von der Schönheit dieses Baumaterials überzeugt, seine Blütezeit erlebte es jedoch zwischen dem 10. und 19. Jahrhundert, als in vielen Städten historische Bauwerke errichtet wurden. Die heute noch abbauwürdigen Sandsteinvorkommen entstammen hauptsächlich zwei erdgeschichtlichen Epochen. Währenddem die triassischen Gesteine (Keuper und Buntsandstein) kaum mehr verwendet werden, haben von Seiten der tertiären Gesteine vor allem die Ablagerungsgesteine der Unteren Süswassermolasse (granitische Sandsteine; etwa St.Margrether, Teufener und Bollinger, um nur deren drei zu nennen) und der Oberen Meeresmolasse (Platten- und Berner Sandstein; zum Beispiel Rorschacher Sandstein) immer noch einen grossen Stellenwert inne. So werden auch bei der heutigen Restauration der Kathedrale wieder tertiäre Gesteine eingesetzt.

## **3 DIE RESTAURATION VON HEUTE**

Anno 1993 veranlasste der Katholische Administrationsrat die Aufnahme eines Schadeninventars, da die Verwitterung der Stiftskirche seit der letzten Instandsetzung in den Jahren 1928-1938 bereits weit fortgeschritten war. Verschiedene Expertisen und eine Abklärungsetappe im Jahre 1995 lieferten das Grundwissen, um die heutige Restauration zu planen. Auch konnte die Finanzierung der Baukosten in Höhe von knapp unter 13 Millionen Franken durch Bundessubventionen, den Kanton und die Stadt St.Gallen sowie den Katholischen Konfessionsteil des Standortkantons sichergestellt werden. Am 15. August 2000 wurde unter dem Segen von Bischof Ivo Fürer mit dem Projekt « Fassaden- und Turmrenovation » begonnen, das bis im Herbst 2003 fertig gestellt sein sollte.

Im Bereich der Natursteinarbeiten werden alle Werkstücke zuerst visuell begutachtet und dann mit dem Spitz Eisen akustisch auf mutmassliche Schalenbildung geprüft. Aufgrund dessen fällt der Entscheid für die jeweilige Sanierungsmassnahme. Jeder der drei vorhandenen Gesteinstypen zeigt ein anderes Schadensbild, wobei die zwei granitischen Sandsteinarten zu Schalenbildung neigen; im Gegensatz dazu sanden Plattensandsteine strukturbedingt eher ab oder bilden Schuppen und Pusteln.

Falls ein Werkstück noch « gesund » ist, wird es gereinigt und allenfalls verfestigt. Andernfalls hat man die Möglichkeiten einer Reprofilierung oder eines teilweisen, resp. vollständigen Ersatzes. Auch die meisten Fugen müssen « aufgehauen » und erneuert werden.

Für die teilweise oder vollständig zu ersetzenden Werkstücke werden wiederum granitische oder Plattensandsteine aus der Ostschweiz verwendet. Diese werden im Auftrag der Arge «Stein Kathedrale St.Gallen» (Stutz + Rudolf AG, St.Gallen; Wurster AG, Thal und Bärlocher AG, Staad) aus verschiedenen Steinbruch- und Steinverarbeitungsunternehmen (Bärlocher AG, Staad; Gebrüder Müller AG, Neuhaus; J. & A. Kuster Steinbrüche AG, Bäch, Freienbach und Wurster AG, Thal) versetzbereit auf die Baustelle geliefert.

## 4 GESTEINSVERWITTERUNG

Die Verwitterung von Sandstein ist eine natürliche Erscheinung, welche mit der Anpassung an die chemischen und physikalischen Bedingungen an der Erdoberfläche in Zusammenhang steht und mit dem Abbau im Steinbruch beginnt.

Als Faktoren für die physikalische Verwitterung gelten Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Sonne, Regen und Wind. Sie verursachen zum einen Verformungen und Eigenspannungszustände, die ihrerseits zu Gefügelockerungen, Festigkeitsverlust und im Extremfall zu Rissen führen können. Zum anderen rufen sie Salz- und Frostsprengungen hervor.

Chemische Verwitterung wird durch trockene oder nasse Deposition von antropogenen Luftschadstoffen (vor allem SO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub>) verursacht und äussert sich – analog den übrigen Verwitterungsformen – vor allem durch Schalenbildung oder Absanden des Gesteins. Wie im Fall der Stiftskirche teilweise geschehen einzig dem Strassenverkehr die Schuld daran zuzuschreiben, wäre ein zu einfacher Lösungsansatz; viel zu komplex sind die Zusammenhänge rund um Luftschadstoffe.

Die biogene Verwitterung (verursacht durch Mikroorganismen) ist heutzutage unumstritten. Inwiefern sie jedoch an der Verwitterung des Sandsteins der Kathedrale St.Gallen beteiligt ist, konnte noch nicht festgestellt werden (die EMPA führt diesbezüglich Untersuchungen durch, die bisher allerdings keine eindeutigen Ergebnisse geliefert haben). An anderen Kulturobjekten konnte man aber negative Auswirkungen, verursacht durch Algen, Pilze, Flechten und Bakterien, klar nachweisen.

# TEIL VI

## LITERATURVERZEICHNIS

ANONYMUS. *Band C 440*. St.Gallen: Stiftsarchiv.

BAUDEPARTEMENT DES KANTONS ST.GALLEN (1993). *Luftschadstoff-Belastung im Kanton St.Gallen: Messergebnisse 1992*. St.Gallen: Amt für Umweltschutz.

BLASCHKE, R. (1989). *Typische Verwitterungsprofile von Gesteinsproben im mikroskopischen Bild*. In Bausubstanzerhaltung in der Denkmalpflege: 2. Statusseminar des Bundesministeriums für Forschung und Technologie (BMFT) «Untersuchung und Eindämmung der Gesteinsverwitterung an Baudenkmalern» vom 14. und 15. Dezember 1988 in Wuppertal (S. 26-31). Köln: Rudolf Müller.

BOCK, E., & KRUMBEIN, W.E. (1989). *Aktivitäten von Mikroorganismen und mögliche Folgen für Gestein von Baudenkmalern*. In Bausubstanzerhaltung in der Denkmalpflege: 2. Statusseminar des Bundesministeriums für Forschung und Technologie (BMFT) «Untersuchung und Eindämmung der Gesteinsverwitterung an Baudenkmalern» vom 14. und 15. Dezember 1988 in Wuppertal (S. 34-37). Köln: Rudolf Müller.

BÜCHEL, F. & DIETRICH, W. (2001). *Taschenbuch für Bauführer und Poliere*. Olten: Schweizerischer Baukaderverband SBKV.

CAMPBELL, N.A. (1998). *Biologie*. Dt. Übers. hrsg. von J. Markl. Heidelberg: Spektrum.

DECHEMA-ARBEITSAUSSCHUSS «MIKROBIOLOGISCHE MATERIALZERSTÖRUNG UND MATERIALSCHUTZ» (1989). *Mikrobiologische Materialzerstörung und Materialschutz: Grundlagen – Schädigungsvorgänge – Materialschutz – Forschungs- und Entwicklungsbedarf*. Frankfurt am Main: Deutsche Gesellschaft für Chemisches Apparatewesen, Chemische Technik und Biotechnologie e.V.

DE QUERVAIN, F. (1983). *Gesteinsarten an historischen Bau- und Bildwerken der Schweiz. Band 3*. Zürich: Institut für Denkmalpflege, ETH Zürich.

DETHLEFF, D. (2001). Schweizer Sandstein: Geologie, Abbau und Verwendung. *NaturBaustein, Januar*, 6-7.

EIDGENÖSSISCHE MATERIALPRÜFUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALT EMPA (1991). *Untersuchungsbericht vom 07. August 1991: Natursteinkörper aus Bollinger Sandstein*.

ESENWEIN, P. (1976). Schädliche Umwelteinflüsse auf Natur- und Kunststeine. *Material und Technik*, 2, 67-70.

GRAF, E. (2001). Der lange Weg der Sandsteine: Ein Augenschein auf dem Bauplatz der Kathedrale St.Gallen. *Pfarrei Forum – Pfarrblatt im Bistum St.Gallen*, 8, 2-3.

KATHOLISCHE ADMINISTRATION ST.GALLEN. *Kathedrale St.Gallen: Fassaden- und Turmrenovation*. <http://www.klostertuerme-stgallen.ch/> (27. Juni 2002; 14. Oktober 2002).

KELLER, O. (2001). *Geologie, Geomorphologie (Script zur Vorlesung)*. St.Gallen: Pädagogische Hochschule.

- KIESSL, K. (1989). *Feuchtetechnische Eigenschaften von Naturwerksteinen und bauphysikalische Konsequenzen für ihre Erhaltung*. In Bausubstanzerhaltung in der Denkmalpflege: 2. Statusseminar des Bundesministeriums für Forschung und Technologie (BMFT) «Untersuchung und Eindämmung der Gesteinsverwitterung an Baudenkmalern» vom 14. und 15. Dezember 1988 in Wuppertal (S. 56-60). Köln: Rudolf Müller.
- KRUMBEIN, W.E. & SCHÖNBORN-KRUMBEIN, C.E. (1987). Biogene Bauschäden: Anamnese, Diagnose und Therapie in Bautenschutz und Denkmalpflege. *Bautenschutz – Bausanierung*, 1, 14-23 & 2, 110-117.
- MIRWALD, P.W. & ZALLMANZIG, J. (1986). Der Einfluss von Schadstoffen auf Naturstein. *Goldschmidt informiert*, 64 (1), 9-18.
- OSTLUFT (2002). *Stationenbericht 2001: Die Luftqualität in der Ostschweiz und in Liechtenstein*. St.Gallen: Ostluft.
- POESCHEL, E. (1961). *Die Kunstdenkmäler des Kantons St.Gallen. Band III. Die Stadt St.Gallen: Zweiter Teil. Das Stift*. Basel: Birkhäuser.
- SCHENKER, E. (1939). *Das Werk im Bild*. St.Gallen.
- SCHUMANN, T. (1993). *Messungen am Gallusplatz, St.Gallen, im Zusammenhang mit der Durchfahrtssperre*. In Amt für Umweltschutz des Kantons St.Gallen (Hrsg.), Luftschadstoff-Belastung im Kanton St.Gallen: Messergebnisse 1992 (S. 49-58). St.Gallen: Amt für Umweltschutz.
- STADLER, R. (2001a). «Restaurieren ist eine positive schöpferische Tätigkeit». Im Gespräch mit Projektleiter Andreas Fritsche. *Schweizer Baublatt*, 55, 33-34.
- STADLER, R. (2001b). Kathedrale St.Gallen im Gerüstkleid: Anspruchsvolle Restaurierung eines Weltkulturerbes. *Schweizer Baublatt*, 55, 30-33.
- VOGLER, W. & GUBLER, H.M. (1986). *Der St.Galler Stiftsbezirk in den Plänen von P. Gabriel Hecht 1720-1726. Tafelband*. Rorschach: E. Löpfe-Benz.



## A NAMENVERZEICHNIS

- |                                   |                                   |                              |
|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| Bagnato, Giov. Gasp. 5f           | Gallus II, Abt 4                  | Loser, Gabriel 6, 8, 36      |
| Beer, Johann Michael 5, 8         | Glattburger, Joh. Caspar 4        | Mosbrugger, Caspar 4f        |
| –, von Bildstein 8                | Grünenfelder, Josef 18            | Niedermann, Urs 17           |
| –, von Bleichten 8                | Gschwend, Johannes 8, 11          | Oechslin, Johann Jakob 9     |
| Berlinger, Wolfgang 19            | Gugger, Coelestin II von Staudach | Peter, Bruder 4              |
| Buol, Maurus, von Rorschach 7     | 5 (A), 7f, 11, 19, 36             | Poeschel, Erwin 3ff          |
| Coelestin II, Abt, von Staudach   | Hatz, Pierre 18                   | Rueff, Johannes 6            |
| →Gugger, Coelestin II v. Staudach | Hecht, P. Gabriel 3ff             | Schenker, Erwin 2, 9ff       |
| Feuchtmayer, Joseph Anton 8       | Josef, Abt, von Rudolfs 5         | Thumb, Peter 5ff             |
| Frank, Melchior 4                 | Krumbein, Wolfgang E. 31ff, 35    | Wentzinger, Johann Christian |
| Fritsche, Andreas 1, 18f, 21      | Ladner, Titus 18                  | 2, 7, 8 (A), 22, 36          |
| Fürer, Ivo, Bischof 37            | Ledergerber, Niklaus 18           | Wurster, Christian 19        |

## B SACHVERZEICHNIS

- |                                  |                                  |                                    |
|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Abbau 11f, 25                    | Balustrade 18 (A)                | Cyanobakterien 31f                 |
| –, Gebiete 14, 16                | Bärlocher 16 (A), 21, 23 (A), 38 | Dachstuhl 7, 36                    |
| –, oberflächennaher 23, 24 (A)   | Bau 7ff, 17ff                    | Denkmalpflege 18                   |
| →Schachtabbauverfahren           | –, Bericht 2, 9                  | Deposition 28f, 38                 |
| →Steinbruch                      | →Erbauung                        | –, nasse 28f, 33                   |
| Abklärungsetappe 17, 18 (A), 37  | –, Etappen 18 (A)                | –, Schwefeldioxid 28f              |
| Abkühlung 26                     | →Finanzierung                    | –, trockene 28, 29, 33             |
| Ablösen                          | –, Herrschaft 18, 19             | Diagenese 13, 16                   |
| →Schalenbildung                  | –, Kommission 18                 | Diamantseiltechnik 23f             |
| Abplatzung                       | –, Leitung 18, 24                | Dichte 13                          |
| →Schalenbildung                  | →Projekt                         | Dolomit 28f (A), 34                |
| Abpunktieren 22 (A)              | Befeuchtungszyklus 25 (A)        | Dom                                |
| Absanden 12, 20, 26, 29 (A), 37f | Beton 13 (A), 14                 | →Kathedrale                        |
| Abschalung                       | Bildhauerarbeiten                | Druckfestigkeit 12, 13f (A), 37    |
| →Schalenbildung                  | 2, 7f, 13, 21, 22 (A), 36f       | Eigenspannung 25, 38               |
| Abschuppen                       | Bindemittel 13, 32, 34f, 37      | Eisenimprägnation 15               |
| →Absanden                        | –, kalkiges 13, 15, 34, 37       | Entmineralisierungszone 35 (A)     |
| Administration, Kath. 12, 17, 37 | –, kieseliges 13, 34, 37         | Erbauung 1755-1766; 3ff, 7, 11, 36 |
| Aerosol 28                       | –, mineralogisch-chemisches 13   | –, Finanzierung 7                  |
| Algen 31, 32, 38                 | –, toniges 13, 34, 37            | –, Leitung 6                       |
| →Grünalgen                       | Biomatte 35 (A)                  | →Modell                            |
| Alginsäure 31                    | Bohrkernanalyse 17, 19           | –, Projekt 4ff, 36                 |
| Archive 3, 5f                    | Brennstoff, fossiler 26          | –, Sandstein 11                    |
| Arge «Gerüst» 19 (A), 24         | Buntsandstein 14, 37             | –, Verträge 6, 8                   |
| Arge «Stein» 19, 21, 23, 37      | Calcit 28f (A)                   | Erdneuzeit                         |
| Ascomyceten                      | Carbonate 31                     | →Känozoikum                        |
| →Schlauchpilze                   | Carbonsäure 33 (A)               | Ersatz 21                          |
| Austrocknung 26                  | Chlor 26                         | –, teilweiser 21 (A), 37f          |
| Bakterien 30, 33f, 38            | Chlorophyll 31                   | –, vollständiger 21, 37f           |
| –, chemoorganotrophe 31, 34      | Chlorophyta                      | Erwärmung 26                       |
| →Cyanobakterien                  | →Grünalgen                       | Eukaryoten 31                      |
| –, lithoautotrophe 31            | Chloroplasten 31                 | Fadenpilze 31                      |
| –, nitrifizierende 33            | Chor 6ff (A), 36f                |                                    |

- Fassade 2, 9, 19f  
 –, Nord 17, 18ff (A)  
 –, Ost 8ff, 18f (A), 27  
 →Renovation  
 –, Süd 17, 18 (A)  
 –, West 17, 18 (A), 27  
 Feldspat 15, 34  
 Feuchtigkeit 22, 25ff; 28 (A), 34f  
 Figur 2, 7, 9f, 21, 22 (A), 37  
 Finanzierung 18 (A), 37  
 Flechten 31, 32 (A), 38  
 Fluor 26  
 Flysch 14 (A), 15  
 Fossilrümmer 13, 37  
 Frostsprengung 25, 26, 38  
 Fuge 20ff, 37  
 Gallusplatz 27 (A)  
 Gefüge 26, 28, 38  
 Geologie 14ff  
 Gerüst 10 (A), 19 (A), 24  
 Gestein  
 →Sandstein  
 Ghenzi 22 (A)  
 Gips 29f  
 Glaukonitsandstein 15  
 Glimmer 34  
 Grünalgen 31 (A)  
 Grundrissbuch 4  
 Halogen-Ionen 26  
 →Chlor  
 →Fluor  
 Hausschwamm 31  
 Heterotrophie 31, 33  
 Hohlraum 22, 30  
 Holz 6f (A), 10, 24, 36  
 Immissionsgrenzwert 27  
 Imprägnierung,  
 hydrophobierende 21  
 Kalk 15  
 Känozoikum 14 (A)  
 Kanzlei, äbtische 5  
 Kapitell 24 (A)  
 Katalysator 35 (A)  
 Kathedrale  
 –, nach 1755;  
 2 (A), 4f, 6 (A), 7ff (A),  
 10 (A), 16f, 19 (A), 27, 36ff  
 –, vor 1755; 3 (A), 4ff (A), 36  
 Keuper 14, 37  
 Klassizismus 10  
 Kloster  
 –, Aufhebung 9  
 →Stift, Bezirk  
 –, Verwaltung 11  
 Kohlenstoff 31ff  
 –, Dioxid 26, 28 (A), 31ff  
 –, Monoxid 27 (A), 33  
 Kohlenwasserstoffe 32, 33 (A)  
 Komplexbildung 32  
 Konfessionsteil, Kath. 17f, 37  
 Koordinatensystem 19  
 Korngrößenverteilung 12f  
 Kornhaus Rorschach 5, 7  
 Kristallisation 26, 28  
 Kruste, äussere 26  
 Kunststein 12  
 Kuppel 6, 8f  
 Kuster 21, 23, 38  
 Luft 31  
 –, Feuchtigkeit 25, 28, 38  
 –, Luftreinhalte-Verordnung 27  
 –, Qualität 27  
 →Schadstoffe  
 –, Temperatur 25f, 34, 38  
 –, Verschmutzung 26ff  
 Malerarbeiten 2, 7ff, 24, 36  
 matec+ 17  
 Materialantrag 35  
 Mauerarbeiten 9, 21  
 Meeresmolasse  
 –, Obere 15, 16 (A), 23 (A), 37  
 –, Untere 15  
 Mesozoikum 14  
 Mikroorganismen 25, 28, 30ff; 38  
 →Algen  
 →Bakterien  
 –, Besiedlung 34  
 –, biokorrosive 34  
 –, chemoorganotrophe 32, 34f  
 →Flechten  
 →Pilze  
 –, Schäden 35  
 –, Wirkung 34f  
 Miozän 15f  
 Modell 6 (A), 36  
 Molasse 14f (A), 37  
 –, flache 15  
 –, «grise» 15  
 →Meeresmolasse  
 →Süsswassermolasse  
 Müller 15 (A), 21, 23, 24 (A), 38  
 Mycelstränge 31  
 Nährstoffe 34  
 –, anorganische 31  
 –, organische 31f  
 Naturstein  
 →Sandstein  
 Nebel 28f  
 Neubau  
 →Erbauung  
 Niederdruckstrahl-Verfahren 21  
 Niederschlag  
 →Regen  
 Nitrate 28, 31, 33f (A)  
 Nitrifikanten 32  
 Nitrifikation 33 (A)  
 Nitrite 28, 31, 33 (A), 35  
 Nitrobacter 33, 34 (A)  
 Nitrosovibrio 33, 34 (A)  
 Nordfassade  
 →Fassade, Nord  
 Nüssli 19 (A), 24  
 Oberflächenkruste 25  
 Oligozän 15f  
 Ostfassade  
 →Fassade, Ost  
 Otmarskirche 3 (A)  
 Ozon 27 (A)  
 Paläozän 15  
 Photogrammetrie 19  
 pH-Wert 29, 34  
 Pilze 31, 35, 38  
 –, chemoorganotrophe 32, 34  
 →Fadenpilze  
 –, Hyphen 32  
 →Schlauchpilze  
 Plagioklas 28  
 Planperspektive 4 (A)  
 Plastik 2, 7, 9, 16, 36f  
 Plattensandstein  
 14, 16 (A), 19ff, 37f  
 –, Buntsandstein, Oberer 14  
 –, Meeresmolasse, Obere 16 (A)  
 Poren 28, 34  
 →Porosität  
 –, Raum 13, 26  
 –, Volumen 13, 35  
 –, Wasser 26, 28, 34  
 Porosität 13, 16, 28, 34  
 Projekt 17  
 –, Leitung 2, 18f, 21  
 Prokaryoten 33  
 Protolyse 28  
 Pustelnbildung 20, 37  
 Putte 22 (A)  
 Quarz 13  
 Rausch Ladner Clerici 18  
 Rechnungsbuch 11  
 Regen 25, 28ff, 38  
 –, «saurer» 13, 26ff, 33f  
 Reindichte 13  
 Reinigung 21  
 Renaturierung 23f  
 Renovation 17f, 24, 37  
 Reprofilierung 21, 22 (A), 37  
 Restauration 2, 9f, 24  
 –, erste 1841-1845; 2, 9ff, 36  
 –, zweite 1928-1938;  
 2, 9f (A), 11f, 19f, 36  
 –, dritte 1995 / 2000-2003;  
 2, 17ff, 37

- Risse 9, 25f, 36, 38
- Rohdichte 13f (A)
- Rotunde 6 (A), 18 (A)
- Russ 27 (A)
- Sakristei 8, 36
- Salpetersäure 33f (A)
- Salz 15f, 26, 28, 30f, 33f
  - , Salzsprengung 25, 26, 28, 38
  - , Transport 31
- Sand 13, 37
- Sandstein 7, 9 (A), 13f (A), 16f, 19ff, 25, 32, 36ff
  - Abbau
  - , Berner 14, 16, 37
  - , Bollinger 14, 15 (A), 24, 37
  - , Eigenschaften 13, 16
  - , Freiburger 14
  - , granitischer 15f (A), 19ff, 37f
  - , Guntliweider 14
  - , Kathedrale 17, 19ff
  - , Oberfläche 26
  - Plattensandstein
  - , Rorschacher 11f, 14, 16 (A), 20, 23 (A), 37
  - , St. Margrether 11f, 14f, 20, 37
  - Schadensbilder
  - , Schlaitdorfer 29
  - , Schweizer 13ff (A), 29, 37
  - Tertiär
  - , Teufener 11f, 14, 20, 37
  - , triassischer
    - Trias
  - , Typen 19f, 37
  - Verwitterung
- Sanierungsmassnahmen 18f, 21, 37
- Säulen 9 (A), 10f
- Säure 28, 32ff
  - Alginsäure
  - Carbonsäure
  - , organische 31f, 33ff (A)
  - Salpetersäure
  - , salpetrige 33 (A)
  - Schwefelsäure
  - , schweflige 28 (A), 35 (A)
- Schachtabbauverfahren 15 (A), 23, 24
- Schadeninventar 17, 19, 37
- Schadensbilder 17, 19, 27, 29f, 37
  - Absanden
  - , Mikroorganismen 35
  - Schalenbildung
- Schadstoffe 26ff, 33
  - , antropogene 26, 38
  - , Kathedrale 27 (A)
  - , Transport 28
- Schalenbildung 19f, 25f (A), 29 (A), 30 (A), 35, 37f
- Scharrieren 22
- Schiff 6ff (A), 36
- Schlauchpilze 32
- Schleimstoffe 33, 35
- Schlosserarbeiten 24
- Schuppenbildung
  - Absanden
- Schwebestäube 26, 27f (A)
- Schwefeldioxid 26, 27(A), 28f, 33
- Schwefelsäure 28f (A), 35 (A)
- Sicherungsarbeiten,
  - statische 9, 36f
- Silicate 31
- Sockelverkleidung 9
- Sonne 25, 31, 38
- Spannungsgefüge 26
- Spenglerarbeiten 24, 36
- Staub
  - Schwebestäube
- Steinbruch 11, 15 (A), 16 (A), 20ff, 23ff (A), 38
  - Abbau, Gebiete
  - , Flutung 24
  - , Haslentobel 9, 11, 36
  - , Rorschach 11, 36
  - , St. Georgen 9, 11
  - , Speicher 11
  - , «Spielrückli» 11, 20, 36
  - , Teufen 7, 9, 11, 12 (A), 36f
  - , Trogen 11
  - , Wald 11
  - , Watt, im 11
- Steinmetzarbeiten 13, 21f, 37f
- Stickoxide 26, 27f (A), 33, 38
- Stickstoff 34
  - , Dioxid 26, 27 (A)
    - Immissionsgrenzwert
  - , Dünger 28
  - , Monoxid 26, 27 (A)
- Stift 3, 7
  - , Archiv 5, 11
  - , Bezirk 2, 17
  - , Bibliothek 6, 36
  - , Kirche
    - Kathedrale
- Stilreinheit 10
- Stoffmobilisation 30
- Stoffwechsel 30
- Strassenverkehr 27, 38
- Stuckaturen 2, 7, 36
- Stutz + Rudolf 21, 23
- Südfassade
  - Fassade, Süd
- Sulfate 28
- Sulfite 28
- Süsswassermolasse 15f (A), 24, 37
- Symbiose 32
- Task-Force «ICP Material» 36
- Temperatur 25f, 34
- Tertiär 14 (A), 15f, 37
  - Flysch
  - Glaukonitsandstein
  - Meeresmolasse
  - Süsswassermolasse
- Trias 14, 37
  - Buntsandstein
  - Keuper
- Trockeneisstrahlen 21
- Trocknungszyklus 25f (A), 34
- Türme 2, 5, 6 (A), 8f, 11f, 17f, 19f (A), 36
  - , Bekrönungen 24, 36
  - , Kugeln 24, 36
  - Renovation
  - , Zwiebeln 24, 36
- Tympanon 22 (A), 36
- UNESCO
  - Weltkulturerbe
- Untersuchungen,
  - materialtechnische 17
- Verdachungsläufer 21 (A)
- Verdunstung 28
- Verfestigung 13, 16, 21, 37
- Vergoldung 24, 36
- Verkehr
  - Strassenverkehr
- Verkittung 13, 37
- Verkrustung 20
- Verputz 9, 24, 37
- Verwitterung
  - 10, 17, 19ff, 25ff, 29, 37f
  - , biogene 25, 30ff, 36, 38
  - , biologische
    - Verwitterung, biogene
  - , chemische 25, 26ff, 29, 35, 38
  - , flächenartige 25
  - , Kathedrale 17, 19ff
  - , natürliche
    - Verwitterung, physikalische
  - , physikalische 24, 25f, 29, 35, 38
  - , Resistenz 13
- Volumenänderung 26, 28 (A)
- Wärme 26
- Wassertransport 31
- Weltkulturerbe 2, 17
- Westfassade
  - Fassade, West
- Wetter 12, 15f, 20, 37
- Wind 25, 30, 38
- Wurster 21, 23, 38
- Zementation 12f, 15
- Zulieferbetriebe 21, 23f, 38
- Zustandsaufnahme 17