

# Grundlagenforschung zur Erhaltung von Kulturdenkmälern

*Seit langem suchten diejenigen Stellen, die sich mit Fragen des Denkmalschutzes und der Denkmalpflege befassen, nach einer geeigneten Einrichtung, die sich ausschließlich mit den hier anfallenden technischen und naturwissenschaftlichen Problemen und Fragestellungen befassen sollte und — ungebunden an Ländergrenzen, Kompetenzen oder streng vorgegebene Forschungsaufträge — frei wissenschaftlich tätig werden konnte. Bestenfalls war der Rückgriff auf irgendwelche, meist völlig anders orientierten Trägern untergeordnete Laboratorien möglich, die solche Aufträge oft nur mehr oder weniger aus Gefälligkeit und auch nicht immer mit dem erhofften Engagement ausführen konnten.*

*Jahrelang bemühten sich daher die verschiedensten Stellen intensiv, eine solche Einrichtung zu schaffen, die allen interessierten Kreisen uneingeschränkt zur Verfügung stehen sollte, um sie mit brauchbaren und spezifizierten Ratschlägen — basierend auf technisch-naturwissenschaftlichen Arbeits- und Untersuchungsmethoden — bei der Dokumentation, Pflege, Restaurierung und Erhaltung von Kulturdenkmälern zu unterstützen.*

*Diese Bemühungen trugen schließlich ihre Früchte: Mit Mitteln der Stiftung Volkswagenwerk konnten — unter anderem wegen des großen Umfanges der in der Denkmalpflege anstehenden Probleme — in kurzem Abstand gleich zwei derartige Institutionen geschaffen werden: Mitte 1978 begann der Aufbau des Zentrallaboratoriums des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, das zur Zeit aus räumlichen Gründen im Geologischen Institut der Technischen Universität München untergebracht ist. 1979 erfolgte die Gründung des Zollern-Instituts beim Deutschen Bergbau-Museum, über das hier ausführlich berichtet werden soll.*

*Um unnötige Doppelarbeit zu vermeiden, gibt es eine gewisse Verteilung der Arbeitsschwerpunkte. So ist, ohne daß jedoch eine strenge Abgrenzung erfolgt, das Zollern-Institut vorwiegend für physikalisch-chemische Untersuchungen, immissionsbedingte Korrosion und auch Technische Denkmäler zuständig, während der Schwerpunkt des Münchener Zentrallaboratoriums bei den natürlich bedingten Korrosionen, Denkmälern allgemein und besonders den mineralogischen Problemen liegt, für die es speziell durch seine apparative und personelle Ausstattung — es arbeiten dort zwei promovierte Mineralogen mit ihren Mitarbeitern — prädestiniert ist.*

## **Das Zollern-Institut**

Die Gründung des Zollern-Instituts für Grundlagenforschung zur Erhaltung von Kulturdenkmälern wurde dadurch ermöglicht, daß das Deutsche Bergbau-Museum und die Stiftung Volkswagenwerk bereit waren, auf diesem Gebiet Neuland zu betreten. Auf diese Weise wurde das Zollern-Institut im früheren Verwaltungsgebäude (Abb. 1, 2) der ehemaligen, unter Denkmalschutz stehenden Schachanlage Zollern II<sup>1</sup> in Dortmund-Bövinghausen untergebracht. Der neugotische Bau aus der Zeit um die Jahrhundertwende, in den letzten Jahren mit Mitteln des Bundes und des Landes Nordrhein-Westfalen restauriert, erwies sich für die Installation der für ein naturwissenschaftliches Institut notwendigen Einrichtungen als geradezu ideal. Als ein Beispiel sei hier nur das große Chemische Laboratorium (Abb. 3) erwähnt, das sich ohne viel baulichen Aufwand in der ehemaligen Steiger-Weißkaue einrichten ließ.

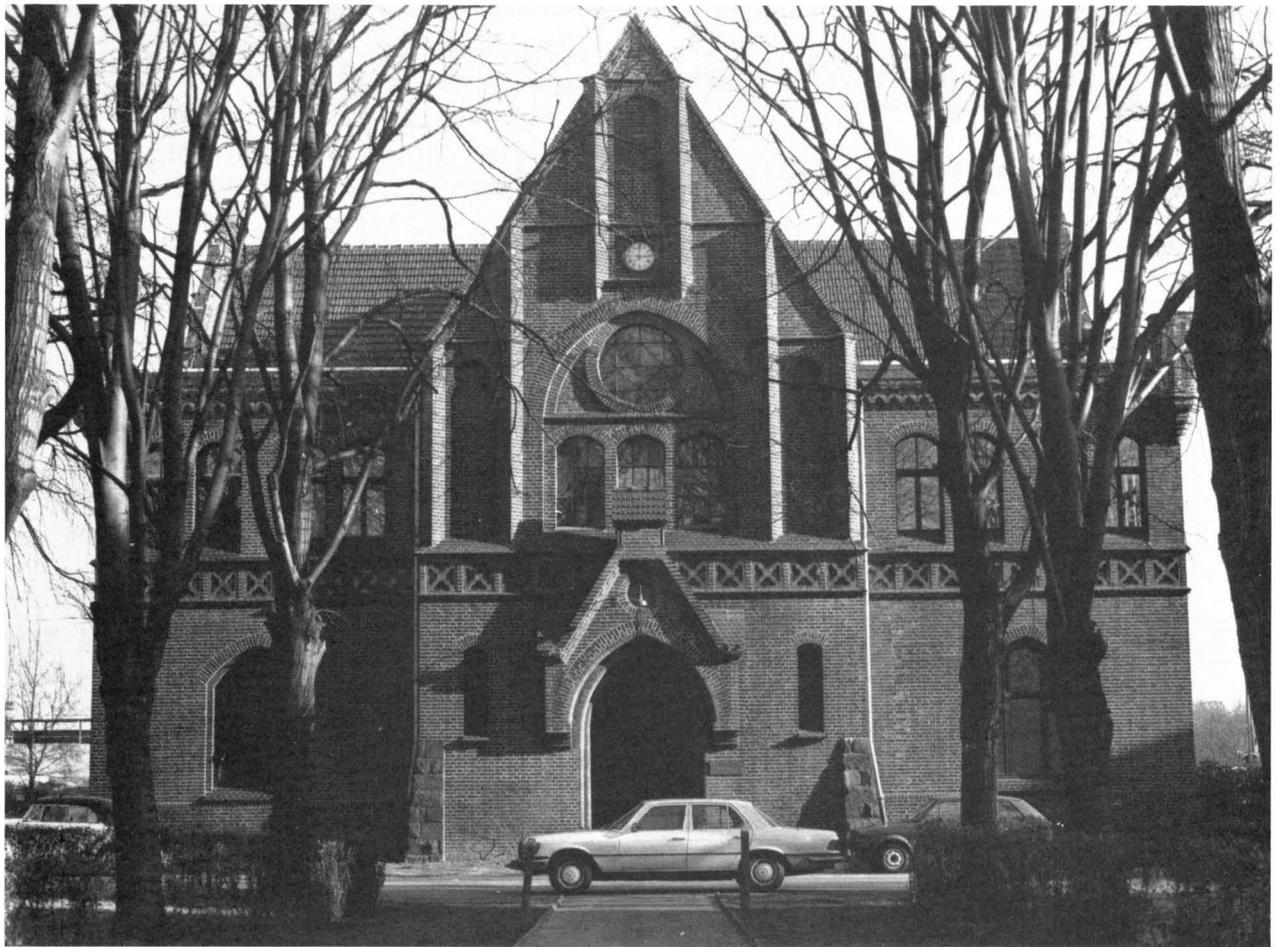


Abb. 1: Zollern-Institut, Eingang

Auf einer Nutzfläche von rund 830 m<sup>2</sup> konnten hier Laboratorien, Arbeitsräume, Dienstzimmer, ein Sitzungszimmer — gleichzeitig Handbibliothek — und sogar eine kleine mechanische Werkstatt eingerichtet werden. Neben einer umfangreichen Ausstattung für naßchemische Arbeiten stehen größere Apparaturen wie Atomabsorptionsspektrometer, Differential-Thermoanalyse, Röntgenfeinstrukturanalyse, Emissionsspektralanalyse, Infrarotspektrometer und Röntgenfluoreszenzanalyse (die letzten drei Geräte als Stiftungen) zur Verfügung. Ebenfalls sind lichtmikroskopische Einrichtungen und Geräte zur Probenvorbereitung, wie Brecher, Mühlen, Sägen, Schleif- und Poliermaschinen, vorhanden.

In seiner gegenwärtigen Strukturierung verfügt das Zollern-Institut über einen photogrammetrischen und einen physikalisch-chemisch-analytischen Fachbereich. Der erstere ist noch im Aufbau befindlich. Der letztere ist zur Zeit mit einem promovierten Chemiker, einer Chemieingenieurin (grad.), drei Chemielaboranten und einer Sekretärin besetzt. Außer diesen von der Stiftung Volkswagenwerk getragenen Stellen ist noch eine studentische Hilfskraft, finanziert aus einem Forschungsauftrag des Umweltbundesamtes, eingesetzt.

Ergänzend im interdisziplinären Sinne wurde die mineralogische Arbeitsgruppe des Deutschen Bergbau-Museums in den Räumen des Zollern-Instituts angesiedelt, so daß auch solche Fragestellungen, die sich aus den Aufgaben des Instituts ergeben, verstärkt bearbeitet werden können. Als Gegenleistung werden — soweit es die Arbeits- und Personalkapazität zuläßt — selbstverständlich chemische Untersuchungen und Analysen für die archäometrischen Forschungen des Deutschen Bergbau-Museums ausgeführt.

Im Rahmen eines in diesen Tagen anlaufenden neuen Forschungsauftrages des Umweltbundesamtes können noch im Laufe der nächsten drei Jahre — allerdings zeitlich begrenzt und gestaffelt — drei weitere Chemielaboranten in den physikalisch-chemisch-analytischen Fachbereich eingegliedert werden.

Der Institutsleitung zur Seite steht ein Wissenschaftlicher Beirat, dem Vertreter der staatlichen und kirchlichen Denkmalpflege, der dem Institut nahestehenden wissenschaftlichen Disziplinen sowie sonstige Persönlichkeiten, die an der Tätigkeit des Instituts interessiert sind, angehören. Dieses Gremium berät das Institut in fachlicher Hinsicht, besonders bei der Aufstellung des Forschungsplans.



Abb. 2: Zollern-Institut, Halle

Darüber hinaus bestehen Kontakte und wissenschaftlicher Erfahrungsaustausch mit einer Reihe von Hochschulinstituten, dem Zentrallaboratorium in München und weiteren Institutionen, besonders durch die aktive Mitarbeit in der „VDI-Kommission Reinhaltung der Luft“ und dem Arbeitskreis „Naturwissenschaftliche Forschung an Kunstgütern“.

Naturgemäß stand das erste Jahr der Existenz des Zollern-Instituts noch weitgehend im Zeichen der Aufbauarbeiten, zum Beispiel dem Einfahren und Eichen der analytischen Großgeräte. Auch wurde die volle personelle Besetzung erst im April 1980 erreicht. Trotzdem konnten einige Aufgaben mit Effizienz bearbeitet werden.

#### **Forschungsaufträge des Umweltbundesamtes**

Ein Forschungsauftrag des Umweltbundesamtes mit dem Titel „Quantitative Untersuchungen des Einflusses

von Luftverunreinigung bei der Zerstörung von Naturstein“ wurde weitgehend planmäßig durchgeführt und soll noch bis Ende 1980 abgeschlossen werden. Dazu wurden an 20 ausgewählten Objekten in der Bundesrepublik Deutschland Messungen der Immissionsraten verschiedener luftverunreinigender Komponenten vorgenommen. Parallel dazu wurden besonders empfindliche Kalk- und Sandsteinarten exponiert. Die analytische Bearbeitung und Auswertung sind gegenwärtig eine der Haupttätigkeiten des Zollern-Instituts, wobei sich besonders der Einsatz der vorhandenen automatischen Analysengeräte bewährt.

Darauf aufbauend wird ein weiterer Forschungsauftrag des Umweltbundesamtes mit dem Titel „Immissionsraten und Wirkungserhebungen an ausgewählten Orten Europas zur quantitativen Zerstörung von Werkstein“ in Angriff genommen, der das Erhebungsgebiet beträcht-

lich erweitert. Diesmal werden Meßstellen an noch festzulegenden Objekten in Norwegen, Schweden, Großbritannien, den Niederlanden, Frankreich, Italien, Griechenland und den Vereinigten Staaten eingerichtet werden. Die Betreuung und Wartung der Meßgeräte, die durch das Umweltbundesamt zur Verfügung gestellt werden, erfolgen durch die beteiligten Staaten; die Koordination, Analytik und Auswertung durch das Zollern-Institut. Dieser Auftrag soll voraussichtlich bis Ende 1982 abgeschlossen sein.

Das Zollern-Institut betreibt neben den im Rahmen von Forschungsaufträgen vorhandenen Meßstellen zur Erfassung von Luftverunreinigungen Dauermeßstellen am Kölner Dom, am Ulmer Münster und an seiner Außenstelle Haus Alst (bei Burgsteinfurt im nördlichen Münsterland).

Außerdem wurde eine Reihe Prüfungen des Resistenzverhaltens von mit Steinschutz- und Konservierungsmitteln behandelten Natursteinarten gegenüber Luftverunreinigungen, entsprechend der VDI-Richtlinie 3797<sup>2</sup>, im Auftrag von Staatshochbauämtern, Kirchenbauämtern und Bauverwaltungen durchgeführt.

Das Institut ist noch jung, und so sollte man an dieser Stelle keine Aufzählung und Beschreibung bereits gewonnener Ergebnisse erwarten; sie werden zu einem günstigeren Zeitpunkt sicherlich vorgenommen werden. Um jedoch einen Einblick in die Aufgabenstellungen, die bereits vorhandenen Grundlagen und die daraus resultie-

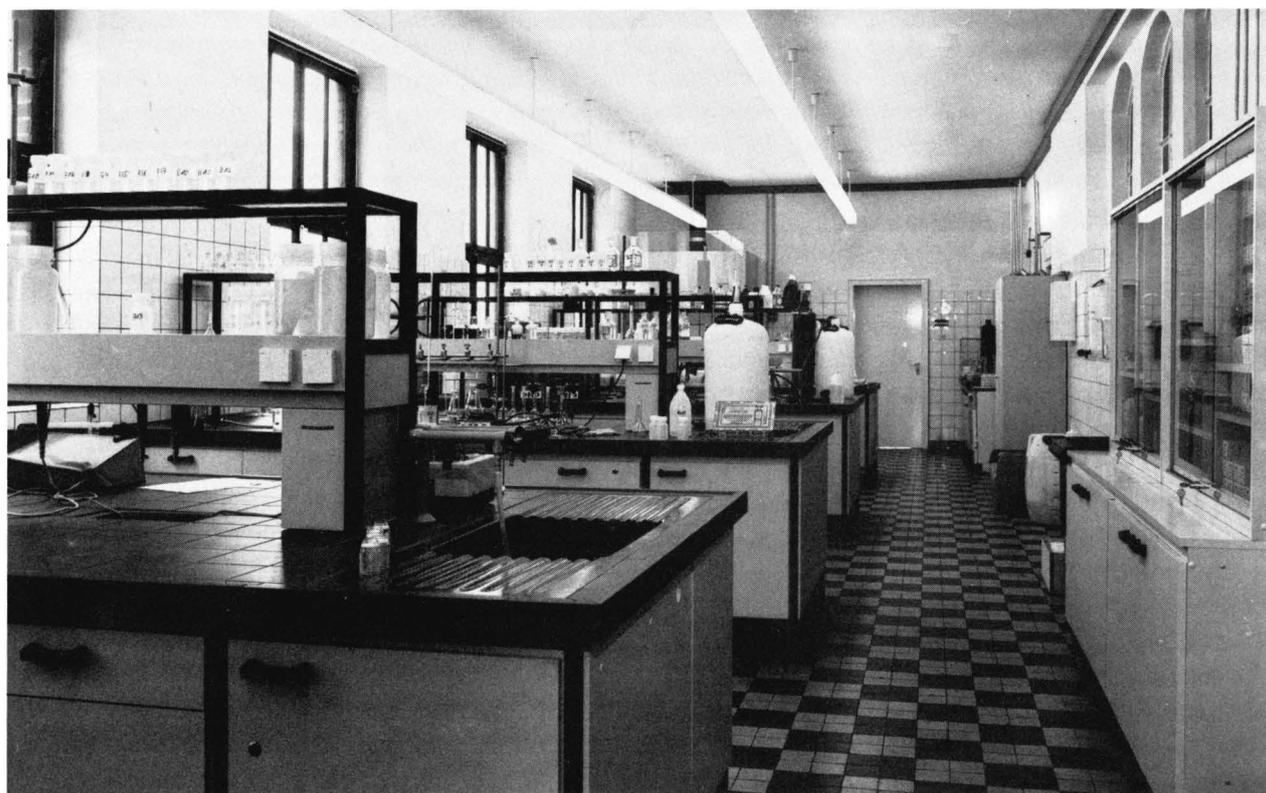
rende Arbeitsmethodik des Instituts zu geben, sollen hier einige ausgewählte Ergebnisse aus früheren Arbeiten wiedergegeben werden<sup>3</sup>. Daß dabei als Untersuchungsobjekt der Kölner Dom besonders erwähnt wird, hat seinen Grund allein darin, daß es sich hier um ein besonders gefährdetes Bauwerk handelt, das wegen seiner Vielfalt von Steinarten und spezieller Probleme von größtem wissenschaftlichen Interesse ist: Aus den hier gewonnenen und noch zu gewinnenden Erkenntnissen werden sich auch Empfehlungen zur Erhaltung anderer Bauwerke ableiten lassen.

### Die Situation

Als man am 15. Oktober 1880 in Köln das Dombau-Vollendungsfest, verbunden mit der Schlußsteinsetzung auf dem Südturm, feierte, herrschte allgemein die Ansicht, daß nun ein Bauwerk fertiggestellt worden sei, welches — von geringfügigen Reinigungs- und Instandsetzungsarbeiten abgesehen — das nächste Jahrhundert, wenn nicht sogar einen längeren Zeitraum unbeschadet überstehen würde.

Leider erwies sich diese Hoffnung jedoch als trügerisch. Wie an anderen Bauten und Naturdenkmälern aus Naturstein zeigten sich auch am Kölner Dom auffällige Schäden, die etwa seit der Jahrhundertwende bis in die heutige Zeit progressiv zunehmen. Schon bald vermutete man

Abb. 3: Zollern-Institut, großes Chemisches Laboratorium



einen Zusammenhang dieser Schäden mit in der Atmosphäre enthaltenen aggressiven Schadstoffen. Um diese Vermutung zu bestätigen und um Ratschläge für Abhilfemaßnahmen zu erhalten, versuchten daher die jeweiligen amtierenden Dombaumeister immer wieder, Kontakte mit der Naturwissenschaft zu knüpfen. Sie stießen dabei jedoch meist auf wenig Unterstützung.

Anders als in England, wo bereits 1861 eine Expertenkommission, der unter anderen A. W. v. Hofmann und als Berater Sir William Crookes angehörten, festgestellt hatte, daß die an den gerade fertiggestellten Londoner Parlamentsgebäuden auftretenden Schäden eindeutig auf den Einfluß von aus Rauchgasen gebildeter Schwefelsäure zurückzuführen waren, wurden hierzulande derartige Ursachen als irrelevant oder zu geringfügig abgetan. Ausnahmen bildeten dabei die Untersuchungen des Geologen E. Kaiser, der schon 1907 die kausalen Zusammenhänge bei den Steinschäden am Kölner Dom in auch noch heute gültiger Weise beschrieb, und diejenigen der Chemiker Fr. Rathgen und J. Koch, die 1932 sogar Versuche zur quantitativen Erfassung der Luftverunreinigungen am Kölner Dom vornahmen und sich auch mit Steinschutzfragen befaßten.

Doch auch diese Dinge gerieten wieder in Vergessenheit. Erst in den letzten zwei Jahrzehnten, als sich nicht nur die Öffentlichkeit mehr und mehr mit Umweltproblemen konfrontiert sah, sondern auch spezielle Institute, die sich ausschließlich mit Problemen der Luftreinhaltung und des Immissionsschutzes befaßten, begründet wurden, kam es zu einer intensiveren Aktivität der naturwissenschaftlichen Arbeiten im Zusammenhang mit dem Steinzerfall.

So konnte bereits im Jahre 1972 eine intensive und fruchtbare Zusammenarbeit mit der Dombauverwaltung in Köln begonnen werden, die heute noch andauert und auch dem Zollern-Institut von großem Nutzen sein wird.

### Werkstein und Steinschäden

Aufgrund seiner Baugeschichte finden sich am Kölner Dom über fünfzig der unterschiedlichsten Natursteinarten. Die Hauptmasse des Mauerwerks besteht allerdings aus einer relativ kleinen Auswahl dieser Natursteinarten (Abb. 4).

Entsprechend ihrer Zusammensetzung und Struktur verhalten sich die verschiedenen Natursteinarten auch in ihrer Empfindlichkeit gegenüber Schäden sehr unterschiedlich. Es konnte gefunden werden, daß die Korrosionserscheinungen um so schwerer sind oder um so früher auftreten, je mehr Substanzen, die mit den in Frage kommenden Immissionen reagieren können, in dem betreffenden Material enthalten sind. In allen aus Schadstellen entnommenen Proben wurden Sulfate in zum Teil beträchtlichen Mengen nachgewiesen. Da „gesundes“ Ma-

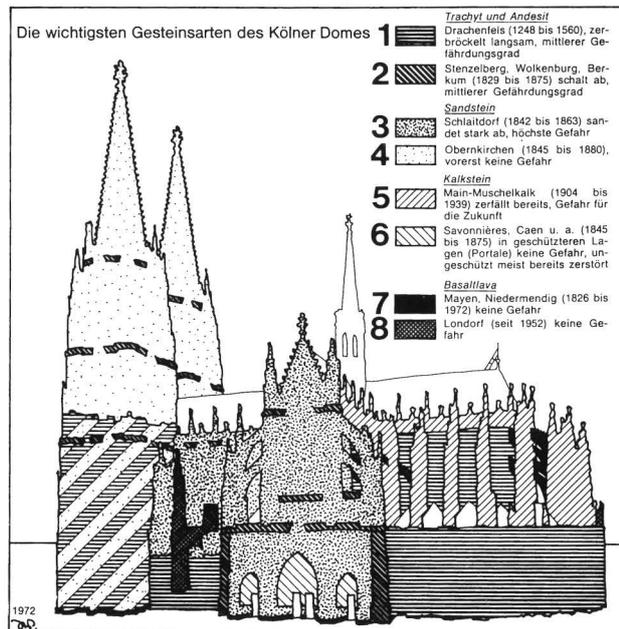


Abb. 4: Schematische Darstellung der Südseite des Kölner Domes mit Eintragung der wichtigsten Gesteinsarten

terial kein oder nur sehr wenig — entsprechend den in solchen Fällen vorhandenen sulfidischen Bestandteilen — Sulfat enthält, müssen die Sulfate durch äußere Einwirkungen, wie z. B. saure, schwefelhaltige Immissionen, gebildet worden sein.

Die wohl schwersten Schäden finden sich an Bauteilen aus Schlaitdorfer Sandstein, einem Material, das in der Zeit von 1842 bis 1865 verwendet wurde. Besonders problematisch sind hier die Schäden im Strebewerk, da sie die Statik des Bauwerkes beeinträchtigen können (Abb. 5). Die hier zu beobachtenden Zerstörungen, die sich in einer Lockerung und Auflösung des Gefüges äußern — Absandungen bis zu 10 cm Tiefe sind dabei keine Seltenheit —, erklären sich durch das Vorliegen dolomitischer Bindemittel, die dann mit den erwähnten Immissionen zu Calcium- und Magnesiumsulfaten reagieren. Aus dem gegenüber den ursprünglich vorhandenen Carbonaten abweichenden Kristallisationsvolumen, dem veränderten thermischen Ausdehnungskoeffizienten und der besseren Wasserlöslichkeit der Reaktionsprodukte resultieren dann die Schäden. Wegen seiner grobkörnigen und porösen Struktur ist das Schlaitdorfer Material für das Eindringen von Wasser und Schadstoffen natürlich besonders empfänglich.

Ebenso empfindlich und besonders rasch reagiert somit auch der nicht sehr dichte Krensheimer Muschelkalk, der in den Jahren 1925 bis 1944 vor allem im Strebewerk des Chores eingesetzt wurde. Hier findet sich schon jetzt, nach einer relativ kurzen Expositionsdauer, eine erhebliche und auch weiter fortschreitende Korrosion der Oberfläche.

Dieses Material wurde daher für die, weiter oben schon erwähnten, Forschungsaufträge des Umweltbundesamtes ausgewählt. Es kommt in Form von 2—3 mm starken, 60 × 60 mm großen Täfelchen zur Exposition.

Das klassische Baumaterial des Kölner Domes, der Drachenfels-Trachyt, verbaut in der Zeit von 1248 bis 1560, zerbröckelt zu einem mehr oder weniger grobkörnigen Granulat. Da in diesem Werkstoff kaum für eine Reaktion mit Immissionen relevante Bestandteile vorliegen, dürften diese Schäden durch das Eindringen von Fremdsalzen zu erklären sein, die z. B. durch Reaktion zwischen Staubniederschlägen und gasförmigen Luftverunreinigungen entstanden sind, oder aus in unmittelbarer Nachbarschaft versetzten reaktiven Materialien, wie das gera-

de im Bereich des Chores der Fall ist. Die materialspezifischen Haarrisse, die auch meist den Grenzflächen der eingebetteten Sanddine folgen, sind dabei sicherlich noch förderlich. Erwähnenswert ist die Tatsache, daß Bauteile aus Drachenfels-Trachyt, die vom 13. Jahrhundert bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts der Atmosphäre ausgesetzt waren und erst dann in den Innenraum miteinbezogen wurden, nur geringe, die weiterhin im Freien verbliebenen Teile dagegen schwerste Schäden aufweisen.

Der Obernkirchener Sandstein, schon 1845 verwendet, aber erst von 1863 bis 1880 in erheblichen Mengen verbaut, zeigt bisher so gut wie keine Korrosion: Das Bindemittel ist quarzitisches, und damit fehlen reaktive Bestandteile weitgehend.

Abb. 5: Typischer Schaden am Schlaitdorfer Sandstein im Strebewerk des südlichen Langhauses am Kölner Dom



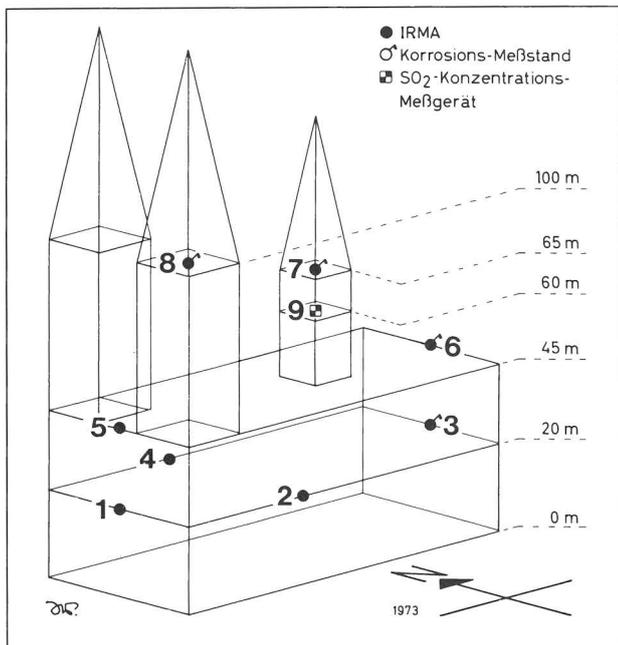


Abb. 6: Verteilung der Meßgeräte für die Untersuchungen zur Einwirkung von Luftverunreinigungen am Kölner Dom (Schema)

Hervorragend resistent sind die seit 1952 fast ausschließlich für die Wiederherstellungsarbeiten verwendete Londerdorfer Basaltlava und auch die schon im vorigen Jahrhundert für besonders beanspruchte Teile benutzten Basaltlaven aus der Eifel.

Selbstverständlich finden sich neben den hier ausschließlich behandelten „immissionsbedingten“ Schäden auch „naturbedingte“ Schäden, wobei im allgemeinen verschiedene auslösende Momente komplex zusammenwirken, deren Einzeleinflüsse nicht immer scharf zu trennen sind.

### Immissionsbelastung

Da für Schäden durch Einwirkung von Luftverunreinigungen auf Materialien weniger die momentane Schadstoffkonzentration als vielmehr die Immissions- oder Aufnahme rate, also die von der Flächeneinheit in der Zeiteinheit aufgenommene Schadstoffmenge, von Bedeutung ist, wurden an verschiedenen Orten des Kölner Domes Immissions-Raten-Meß-Apparate (IRMA)<sup>4</sup> aufgestellt (Abb. 6). Zu Vergleichszwecken wurden an einigen der Punkte auch noch die Korrosionsraten unlegierter Stahlbleche bestimmt. Mit Hilfe dieser wirkungsbezogenen Meßverfahren konnte gezeigt werden, daß — und im Vordergrund stehen hier die für Steinschäden in erster Linie verantwortlichen Schwefeloxide — die Belastung des Kölner Domes durch Immissionen Größenordnungen erreicht, wie sie auch in den Schwerpunkten des Ruhrgebietes gemessen wurden. Die Immissionsraten nehmen dabei mit steigender Höhe des Meßortes über dem Boden zu, eine Erscheinung, die mit der ebenfalls zuneh-

menden mittleren Windgeschwindigkeit zusammenhängt; darüber hinaus korrelieren sie weitgehend mit den beobachteten Schäden sowie mit den Korrosionsraten.

Auch am Ulmer Münster und am Schloß Neuschwanstein finden sich Bauteile aus dem in Köln so stark angegriffenen Schlaitdorfer Sandstein. Vergleichende Messungen ergaben, daß die relevanten Immissionsraten im Jahresmittel in Ulm rund 35 %, in Neuschwanstein nur etwa 6 % der Kölner Werte erreichen. Das deckt sich mit dem schon von E. Kaiser im Jahre 1907 gemachten und noch heute geltenden Befund, daß es bei dem zu vergleichenden Material am Ulmer Münster nur mäßige, am Schloß Neuschwanstein so gut wie keine immissionsbedingten Schäden gibt.

Diese erste Untersuchung des Verhaltens von vergleichbaren Steinarten an Orten unterschiedlicher Immissionsbelastung war übrigens einer der wichtigsten Gründe für die Planung der erwähnten Forschungsvorhaben. Durch Vergleich der mit IRMA gemessenen Immissionsraten der Schadstoffkomponenten Schwefeldioxid, Chlorid, Fluorid und Stickoxid mit den Schadstoffanreicherungen bzw. Veränderungen der an den gleichen Orten exponierten Steintäfelchen wird versucht werden, den Zusammenhang zwischen Immissionen und Steinerfall exakter als das bisher möglich war, zu beschreiben.

Bemerkenswert erscheint noch, daß eine Wiederholung der weiter oben erwähnten Messungen von Rathgen und Koch am Kölner Dom im Frühjahr 1974 — soweit es technisch möglich war, die Methode nachzuvollziehen — ergab, daß sich die Immissionsbelastung gegenüber dem Jahre 1932 praktisch nicht geändert hat. Der damals als Hauptimmissionsquelle angesprochene Kölner Hauptbahnhof dürfte wegen der Elektrifizierung der Eisenbahn heute kaum noch ins Gewicht fallen. Das aber bedeutet, daß die Emission anderer, wenn auch weit entfernt liegender Quellen zugenommen hat, so daß die gleichen Immissionsverhältnisse wieder erreicht wurden.

### Immissionsschutz

Um kulturhistorisch wertvolle Baudenkmäler und unersetzliche Kunstgüter vor der Einwirkung von Immissionen zu schützen, gibt es grundsätzlich zwei Wege:

Der aktive Immissionsschutz, die Minderung oder besser noch völlige Verhinderung der Emissionen bereits an der Quelle, erscheint zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur schwer realisierbar, wenn nicht utopisch.

Das Hauptinteresse muß sich daher vorerst auf die Methoden des passiven Immissionsschutzes konzentrieren. Man kann z. B. besonders wertvolle Objekte, wie Skulpturen usw., von ihrem ursprünglichen Standort entfernen, in Museen überführen und an ihrer Stelle eine perfekte Kopie installieren — ein Weg, der auch schon häufig beschritten wird. Eine solche Möglichkeit entfällt jedoch bei unbeweglichen Objekten und größeren Architekturteilen.

Hier bietet aber der Einsatz von Steinschutz- und Konservierungsmitteln eine Chance.

Seit Ende des vorigen Jahrhunderts sind vielfältige Vorschläge für Präparate und Methoden — meist auf der Basis von Leinöl, Wachsen oder auch Flußsäureverbindungen — gemacht und auch realisiert worden. Durch immer andersartige Rezepturen hat das Angebot solcher Mittel auch weiterhin zugenommen und ist heute kaum noch überschaubar.

Aus diesem Angebot wurden in Abstimmung mit der Dombauverwaltung 44 Präparate ausgewählt, mit denen jeweils 8 verschiedene Natursteinarten des Kölner Domes behandelt und dann auf ihre Resistenz gegenüber Immissionen untersucht wurden.

Da es besonders darauf ankam, in kürzester Zeit zu vertretbaren Ergebnissen zu kommen, wurden verschiedene Schnelltests angewendet, die für die spezielle Problemstellung noch modifiziert bzw. weiterentwickelt wurden. Eines dieser Verfahren ist heute Gegenstand der schon erwähnten VDI-Richtlinie 3797.

Aus den Versuchen ergab sich, daß es — zumindest unter den bisher untersuchten Mitteln — kein Universalheilmittel gibt, welches bei allen getesteten Prüflingen eine annehmbare Schutzwirkung ausübt. Wohl aber fanden sich Präparate, die sich für bestimmte Steinarten als besonders geeignet erwiesen.

Derartige Mittel sind in erster Linie Kieselsäureester, die in den entsprechenden Alkoholen oder auch in Ketonen gelöst sind. Durch diese Lösungsmittel wird eine gewünschte hohe Eindringtiefe erreicht. Eingeleitet durch z. B. Säurezusatz oder auch durch die Luftfeuchtigkeit werden die Ester dann hydrolysiert. Die ausfallende Kieselsäure verkittet dann die lockere Steinsubstanz, ersetzt also das zerstörte, ursprüngliche Bindemittel. Ein wesentlicher Vorteil ist darin zu sehen, daß der als zweites Reaktionsprodukt anfallende Alkohol sich verflüchtigt und daß keine unerwünschten Nebenprodukte auskristallisieren, wie es z. B. bei der Verwendung von Wassergläsern als Verfestigungsmittel der Fall ist. Als besonders zweckmäßig erwies sich eine anschließende Hydrophobierung des Steinmaterials mit siliciumorganischen Verbindungen, die den Transport wäßriger Fremdsalzlösungen bzw. die Schwefelsäure- und Sulfatbildung aus Immissionen verhindert. Zum prophylaktischen Schutz genügt daher bei noch nicht angegriffenen Partien eine Hydrophobierung ohne vorhergehende Festigung.

Präparate auf der Basis von gelösten Kunstharzen oder ähnlichen Erzeugnissen waren wenig zufriedenstellend, da sie meist zu einer Filmbildung auf oder in unmittelbarer Nähe der Oberfläche neigen und durch die damit verbundene Verstopfung der Poren die Wasserdampfdurchlässigkeit des Materials beeinträchtigen. Es kann dabei der Fall eintreten, daß dadurch die zu schützenden

Steine früher zerstört werden, als es ohne Anwendung der betreffenden Mittel der Fall gewesen wäre.

Wenn auch der Einsatz von nach dem gegenwärtigen Stand der Erkenntnisse brauchbaren Produkten am Kölner Dom berechtigten Anlaß zu Hoffnungen gibt — der Zerfall der Steinsubstanz kann damit nicht auf unbegrenzte Zeit hinausgeschoben werden. Je nach Präparat ist allenfalls ein Aufschub von zwanzig, vielleicht auch mehr Jahren zu erwarten. Dann müßte eine erneute Behandlung folgen, oder aber es könnten bis dahin — der modernen Chemie soll ja so gut wie nichts unmöglich sein — neue und noch bessere Steinschutz- und Konservierungsmittel zur Verfügung stehen.

### **Aufgaben für das Zollern-Institut**

Wenn auch schon eine Reihe von Erfahrungen und Erkenntnissen vorliegt, bleibt doch noch vieles offen oder ist näher zu untersuchen. So wird es zu den vorrangigen Aufgaben des Instituts gehören, Schnelltestmethoden zu optimieren — z. B. mit Hilfe von Klimakammern oder Bewitterungseinrichtungen. Des weiteren weniger aufwendige Untersuchungsmethoden zu entwickeln, die eine zuverlässige Aussage darüber erlauben, welches Konservierungsmittel für ein bestimmtes Material anzuwenden ist oder nicht, — es hat sich nämlich in der Vergangenheit gezeigt, daß ein Steinschutz- oder Konservierungsmittel, welches bei einer bestimmten Steinart ein gutes Verhalten zeigte, bei einer anderen Steinart die Zerstörung nicht aufhielt, ja im Extremfall sogar beschleunigte. Zu einem späteren Zeitpunkt ist natürlich auch an eine Entwicklung neuer Konservierungsmittel und -methoden zu denken, und das nicht nur für Naturstein, sondern auch für andere Materialien. Die aus den erwähnten Forschungsaufträgen zu erwartenden Ergebnisse werden bei allen diesen Plänen eine unentbehrliche und wertvolle Grundlage sein.

### **ANMERKUNGEN**

1. Vgl. Becher, Bernd und Hilla/Conrad, Hans Günter/Neumann, Eberhard G.: Zeche Zollern 2. Aufbruch zur modernen Industriearchitektur und Technik, München 1977 (= Studien zur Kunst des 19. Jh. 34).
2. VDI 3797 — Prüfung des Resistenzverhaltens von konservierten und nicht konservierten Natursteinen gegenüber Immissionen. Salzsprengtest, Düsseldorf 1980.
3. Vgl. Luckat, Siegbert: Der Kölner Dom — Steinschäden, Umweltbelastung und Immissionschutz, in: Nachr. Chem. Techn., 24, 1976, S. 283—285; ders.: Die Einwirkung von Luftverunreinigungen auf die Bausubstanz des Kölner Domes (4 Teile), in: Kölner Domblatt, 36/37, 1973, S. 65—74; 38/39, 1974, S. 95—106; 40 (1975), S. 75—108; 42, 1977, S. 151—188.
4. Dazu vgl. ders.: Ein Verfahren zur Bestimmung der Immissionsrate gasförmiger Komponenten, in: Staubreinhaltung Luft, 32, 1972, S. 484—486.