Untersuchungen an der Grablegungsgruppe im Essener Münster

D. Kirchner & J. Zallmanzig

Einleitung

Die Grablegung in der Essener Bischofskirche befindet sich in einer Nische der Außenmauer des südlichen Seitenschiffes. Ein Vergleich der Nischenarchitektur und vor allem ihres figürlichen Schmucks mit den Figuren der Grablegung lassen einen stilistischen Unterschied zwischen beiden erkennen. Die Nischenarchitektur scheint früher entstanden zu sein als die Grablegungsgruppe. Der nach beiden Seiten ausschwingende Grabunterbau legt außerdem den Schluß nahe, daß die „Grablegung" erst später an die heutige Stelle gekommen ist, wahrscheinlich erst im 18. Jahrhundert (Küppers 1976). Wer die steinerne Grablegungsgruppe von Essen um 1520 geschaffen hat, ist bis heute unbekannt.

Die Gruppe besteht aus 7 Steinfiguren, von denen fünf als Halbfiguren auf einem Sockel stehen. Die Figuren sind alle farblich gefaßt und um den Leichnam Jesu auf dem Sarkophag angeordnet. Die letzte bekannte Restaurierungsmaßnahme hat etwa 1950 stattgefunden. Vorrangig sind hierbei Reinigungsarbeiten und eine Überarbeitung der vorhandenen Farbfassungen durchgeführt worden.

Beobachtungen in den letzten Jahren zeigen, daß die Farbfassungen deutlich verblassen, einzelne Partien absanden und sich teilweise schuppenförmig vom Untergrund lösen. Einige Figuren zeigen besonders im Bereich der Gesichter dunkle Flecken. Es wurden daher vom zuständigen Domkapitel in Essen Untersuchungen angeregt, bei denen der Zustand der Gruppe, seine Schadensbilder und wenn möglich die Schadensursachen erfaßt werden sollten. Im August 1994 wurden an verschiedenen Stellen der Grablegungsgruppe lose aufliegende Staub- und Schmutzablagerungen beprobt und untersucht. Hierbei konnte festgestellt werden, daß die Staub- und Schmutzablagerungen bis zu 30 M.-% Natriumnitrat enthielten.

Es wurde daher vermutet, daß die zu beobachtenden Zerstörungen der Malschichten an einigen Figurenteilen (Aufblättern der Schichten, unterschiedliche Verfärbungen) durch dauernd wechselnde Umkristallisations- und Lösungsreaktionen des Natriumnitrats aufgrund wechselnder Temperatur- und Feuchtebelastung hervorgerufen werden. Hierbei treten Kristallisationsdrücke auf, die das Gefüge der Malschichten auflockern können. Reines Natriumnitrat ist ein hygroskopisches Salz und besitzt eine Gleichgewichtsfeuchte von 73,9 % bei 25 °C, d. h., erst wenn die Luftfeuchtigkeit unter diesen Wert sinkt, kann Natriumnitrat auskristallisieren. Steigt die Luftfeuchtigkeit über diesen Wert, geht das Salz wieder in Lösung.

In der Praxis liegen oft Salzgemische vor, oder die Konzentration der Salzlösungen ist stark überhöht, so daß die tatsächliche Gleichgewichtsfeuchte deutlich vom theoretischen Wert abweichen kann. Darüberhinaus wird der Salztransport durch die verschiedensten thermodynamischen Vorgänge (Wärmeübertragung, Luftbewegung) beeinflußt.

Zehnder, Arnold und Spirig (1985) haben den Zerfall von Wandmalereien durch lösliche Salze (Natriumnitrat, Natriumchlorid) in Abhängigkeit des Innenklimas über einen längeren Zeitraum hin untersucht. Sie konnten dabei feststellen, daß das Natriumnitrat in Abhängigkeit von der Jahreszeit periodisch ausblühte. Als kritische Feuchtewerte wurden hier 55 % rel. Feuchte genannt. Sank die rel. Feuchte unter diesen Wert , so konnte die Bildung von Natriumnitrat an der Wandoberfläche beobachtet werden. Bei einem Anstieg der rel. Feucht über 60 % wurde dann wieder eine Auflösung der Salze beobachtet. Für den zeitlichen Verlauf der Ausblühphase geben sie mehrere Tage und sogar bis zu 2 Monate an.

Dies veranlaßte uns, im Nahbereich der Figurengruppe Temperatur- und Feuchtemessungen durchzuführen. Gleichzeitig sollte das wechselnde Erscheinungsbild der einzelnen Figuren beobachtet und beurteilt werden.

Durchführung der Messungen und Untersuchungsergebnisse

Es wurden innerhalb der Figurengruppe und als Vergleich im Innern der Kirche kontinuierlich aufzeichnende Temperatur- und Feuchtemeßeinrichtungen (Thermohygrographen, Sekonic ST-100 SE und Temperatur- u. Feuchtesensoren, Tynitalk der Fa. Geotron,

Pirna) aufgestellt. Der nachfolgende Plan (Abb.1) und die tabellarische Darstellung (Tab. 1) zeigen die einzelnen Positionen der Meßeinrichtungen und die Geräteart.

Die Temperatur- und Feuchtesensoren (Tynitalk TT u. TH) haben die Form und die Größe einer Filmdose, wobei der Boden jeweils mit einem Temperatur- bzw. einem Feuchtefühler versehen ist. Alle 12 Minuten wird die Temperatur und die relative Feuchte gemessen und gespeichert. Die gespeicherten Daten wurden alle zwei Wochen abgefragt und auf einer Diskette zur weiteren Verarbeitung übertragen. Die

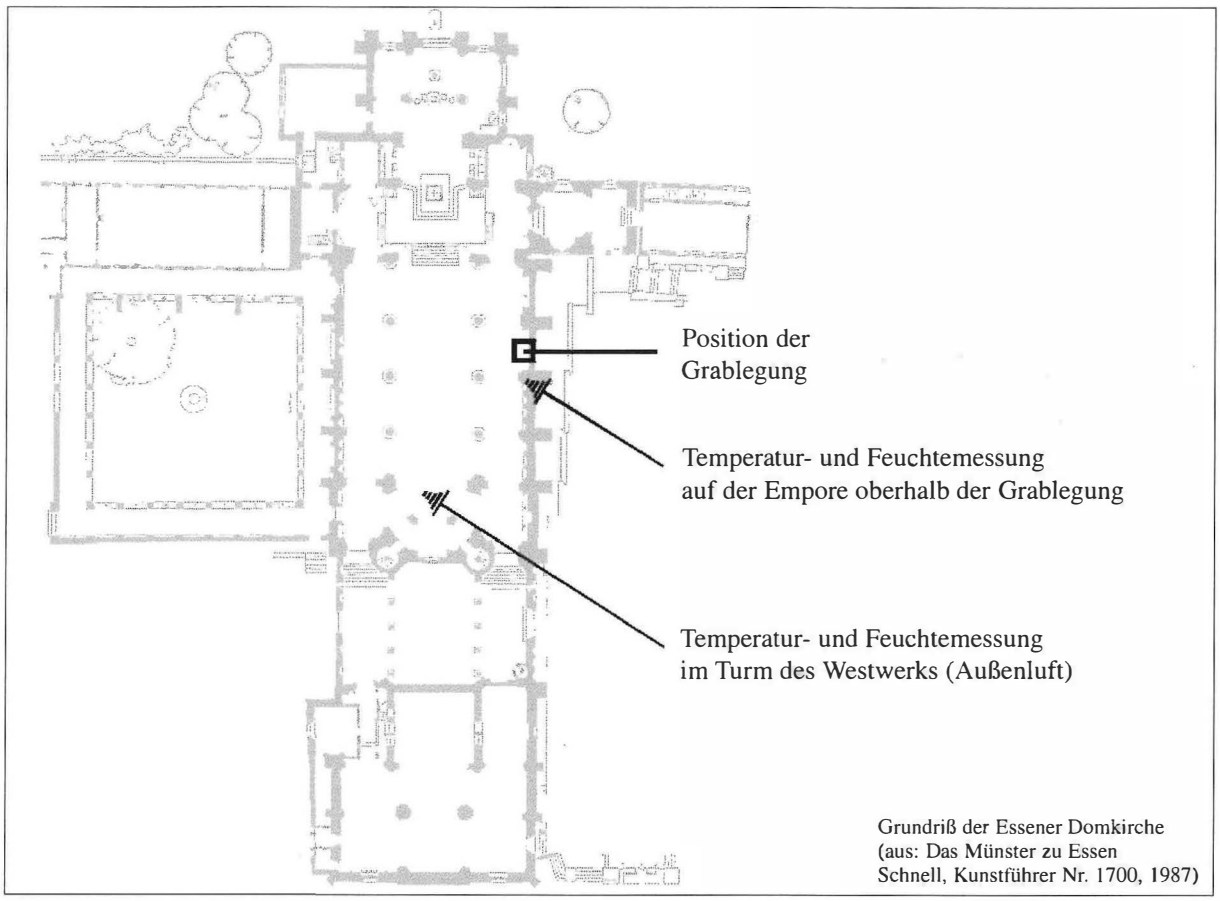


Abb. 1: Plan der Klimameßstellen.

Meßgerät	Position	Temp	Feuchte	Meßzeitraum	
				vom	bis
Tinytalk TT-1	hinter der linken Schulter von Figur Nummer 6 (Maria, die Mutter d. jüngeren Jakobus)	x		25.04.95	05.12.95
Tinytalk TT-2	hinter der linken Schulter von Figur Nummer 2 (Maria Magdalena)	x		25.04.95	05.12.95
Tinytalk TT-3	hinter dem Grab Jesu, unterhalb der Deckelplatte	x		25.04.95	05.12.95
Tinytalk TT-4	im Fußbereich hinter der Figur Nummer 1 (Nikodemus)	x		25.04.95	05.12.95
Tinytalk TT-5	im Fußbereich hinter der Figur Nummer 7 (Josef von Arimathäa)	x		25.04.95	05.12.95
Tinytalk TH-1	hinter der linken Schulter von Figur Nummer 6 (Maria, die Mutter d. jüngeren Jakobus)		x	25.04.95	05.12.95
Tinytalk TH-2	hinter der linken Schulter von Figur Nummer 2 (Maria Magdalena)		x	25.04.95	05.12.95
Tinytalk TH-3	hinter dem Grab Jesu, unterhalb der Deckelplatte		x	25.04.95	05.12.95
Tinytalk TH-4	im Fußbereich hinter der Figur Nummer 1 (Nikodemus)		x	25.04.95	05.12.95
Tinytalk TH-5	hinter der linken Schulter von Figur Nummer 6 (Maria, die Mutter d. jüngeren Jakobus)		x	25.04.95	05.12.95
Sekonic ST-100SE	Aufschlag der Empore direkt oberhalb der Grablegungsgruppe	x	x	01.05.95	27.10.95
Sekonic ST-100SE	im Turm des Westwerkes Aufschlag der Höhe der Schallöcher (Außenlufteinfluß)	x	x	01.06.95	31.10.95

Tab. 1: Aufstellung der Klimameßgeräte.

Meßgeräte selbst wurden dann neu programmiert und für weitere zwei Wochen eingesetzt. Insgesamt wurden diese Messungen in einem Zeitraum von 25.04.1995 bis zum 05.12.1995 durchgeführt. In der Abbildung 2 ist die Position der Temperatur- und Feuchtesensoren dargestellt.
Die gleichzeitig aufgestellten Thermohygrographen dienten zur Messung der Temperatur und Feuchte im Kircheninneren und im Außenbereich:
- Ein Meßgerät stand auf der Empore oberhalb der Grablegungsgruppe und
- ein weiteres Gerät war im Turm des Westwerkes untergebracht. Über die Schallöffnungen ist hier der Einfluß des Außenklimas maßgebend.

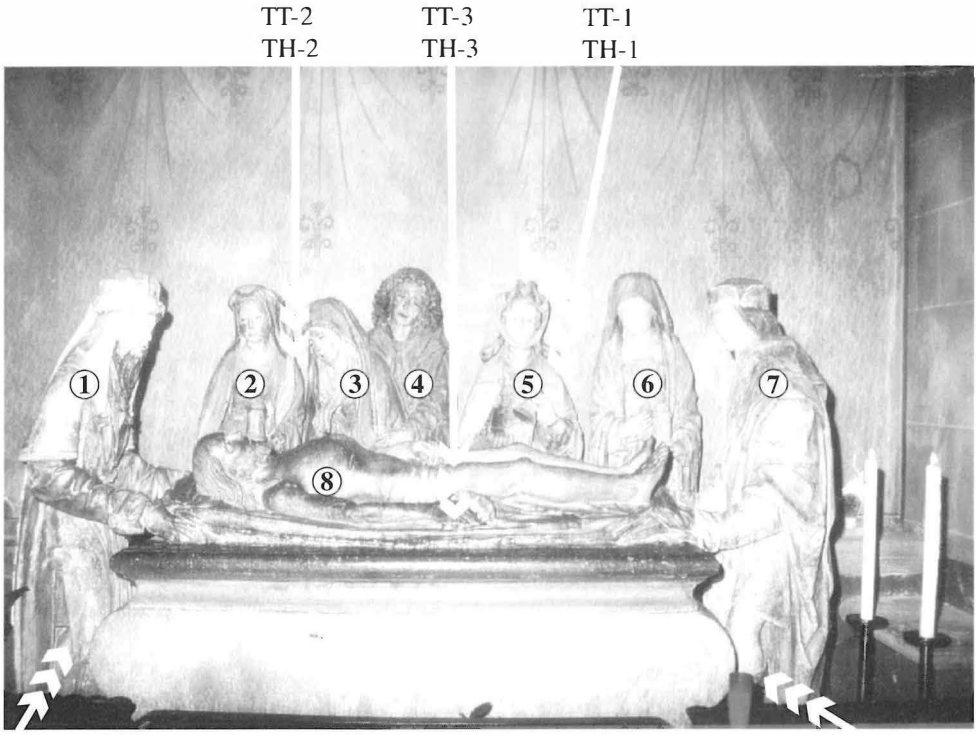
In Zusammenarbeit mit der Fa. HÖROTRON, Elmshorn wurde versucht, mit Hilfe von IR-Aufnahmen (die Meßeinrichtung wurde freundlicherweise von der Firma kostenlos zur Verfügung gestellt) unterschiedliche Temperaturbereiche innerhalb der Grablegungsgruppe zu erfassen. Wie die Messungen gezeigt haben, ist die Temperaturverteilung innerhalb der Gruppe von komplexer Struktur.

Im Fußbereich der Figuren 1 und 7 (Nikodemus u. Josef von Arimathäa) sind die Temperaturen bis zu 3° C niedriger als im Rückenbereich der Figuren 2 bis 6. Die Temperaturen nehmen von unten nach oben zu. Die Figuren, die auf den Holzbohlen stehen, weisen die höchsten Temperaturen auf.

Zu Beginn der Temperatur- und Feuchtemessungen wurden an verschiedenen Stellen der Grablegungsgruppe nochmals aufliegende Staub- und Schmutzablagerungen entnommen. Eindeutige Salzausblühungen waren zu diesem Zeitpunkt nur im Faltenwurf der Gewänder der Maria (die Mutter des jüngeren Jakobus; Figur Nr. 6) und des Josef von Arimathäa (Figur Nr. 7) festzustellen. Wie die Untersuchungen mit Hilfe der Röntgenfeinstruktur ergaben, konnte auch hier wieder eindeutig das Natriumnitrat als Salz identifiziert werden.

Bei der nächsten Gerätekontrolle ca. 4 Wochen später (am 23.05.1995) zeigte die Figur der Maria (Mutter des jüngeren Jakobus; Figur Nr. 6) im gesamten oberen Bereich feine nadelige, weiße Ausblühungen. Besonders betroffen waren hierbei die Vorderseite der Vase, der Dekolletébereich am Rande

Abb. 2: Position der Temperatur- und Feuchtesensoren an der Grablegungsgruppe und Beschreibung der Figuren.



TT-1 bis TT-5
Temperatursensoren

TH-1 bis TH-5
Feuchtsensoren

(Die Meßeinrichtungen befinden sich jeweils hinter den Figuren!)

① **Nikodemus**
② **Maria Magdalena**
③ **Maria, Mutter Jesu**
④ **Johannes**
⑤ **Maria Salome**
⑥ **Maria, die Mutter des jüngeren Jakobus**
⑦ **Josef von Arimathäa**
⑧ **Jesus**

des Halsausschnittes des Kleides und Bereiche im Faltenwurf des Kleides. Die Ausblühungen wurden mit einem weichen Pinsel entfernt. Wie die anschließende Untersuchung ergab, handelte es sich hier ebenfalls um Natriumnitrat. Neue Ausblühungen dieser Art konnten erst wieder ab Ende Oktober nur an der Figur der Maria (Nr. 6) beobachtet werden.

Zur Herkunft der Salze lassen sich mehrere Überlegungen anführen:

a) Das leicht wasserlösliche Natriumnitrat wird durch aufsteigende Bodenfeuchte hochtransportiert. Dem widersprechen unsere Beobachtungen; zumindestens an der Mauerwerksoberfläche und im Sockelbereich der Figuren war keine Feuchtigkeit zu beobachten. Ob im Mauerwerksinneren Salze vorhanden sind, soll nach dem Abbau der Grablegungsgruppe durch Bohrkernentnahmen im Bereich des Mauerwerkes geklärt werden, da eine Probenahme an den wertvollen Figuren nicht durchgeführt werden sollte.

b) Die Nitrate sind Reaktionsprodukte eventuell vorhandenen Luftschadstoffe mit den Materialoberflächen, oder wurden durch Staubablagerungen herangetragen.
Hierbei ist daraufhinzuweisen, daß auch eine Figur im Wandbereich in ca. 4 m Höhe neben der Grablegungsgruppe Salzausblühungen aus Nitrat aufwies.

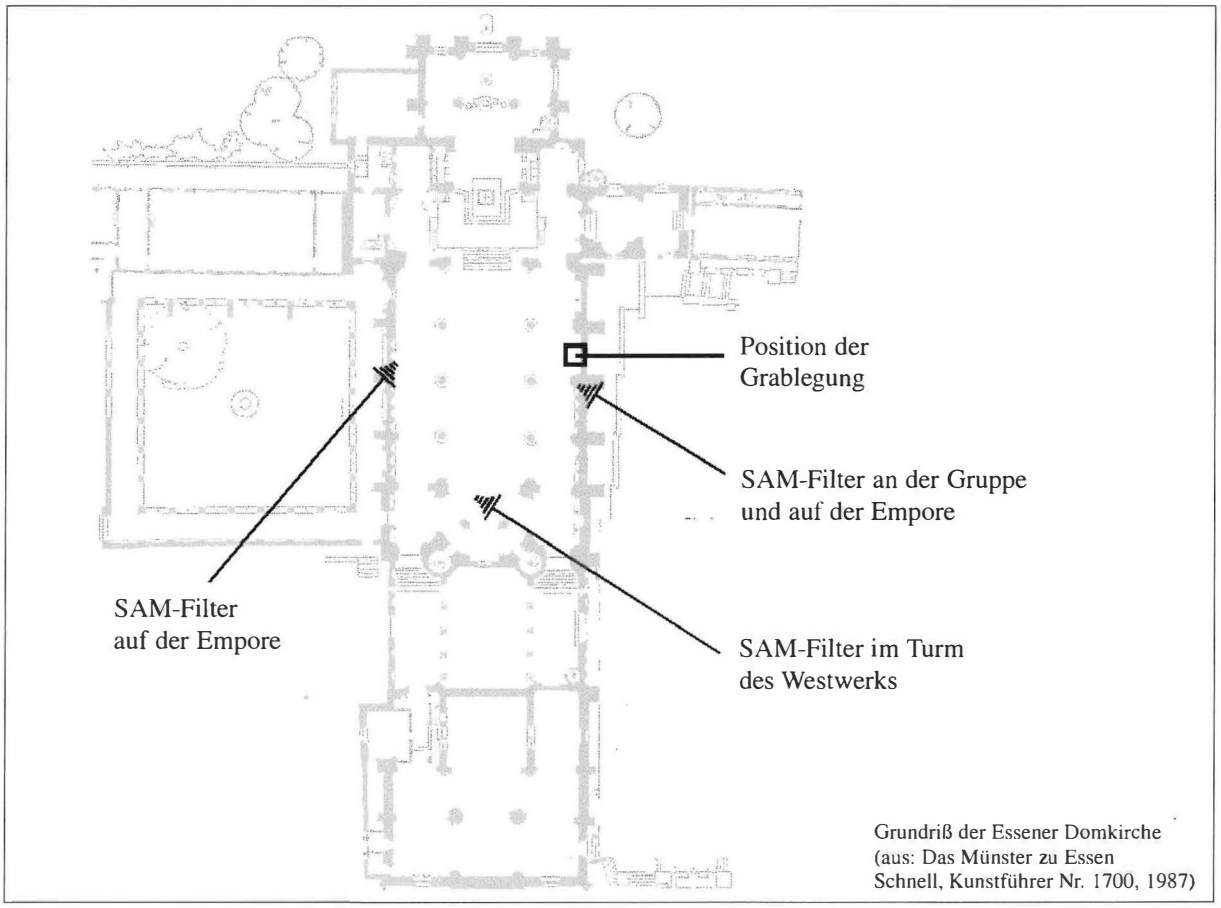
Um eventuelle Schadstoffanteile in der Luft zu erfassen, wurden daher mit dem SAM-Depositionssammler (Surface Active Monitor) die Schadstoffanteile der Luft im Inneren der Kirche, im Bereich der Grablegungsgruppe und zum Vergleich im Turm des Westwerkes gemessen (Abb. 3).

Die SAM-Technik beruht auf der Absorption der gasförmigen Luftschadstoffe (Chloride, Stickoxide und Schwefeloxide), Stäube und Aerosole an einer alkalischen Filteroberfläche.

Die so an der Filteroberfläche angereicherten Luftschadstoffe werden quantitativ als Chloride, Nitrate und Sulfate erfaßt und als Immissionsrate pro Flächeneinheit und Zeit dargestellt (Abb. 4).

Im Rahmen unserer Tätigkeiten vor Ort konnten wir beobachten, daß unmittelbar vor der Figurengruppe den ganzen Tag über größere Mengen an Kerzen (Teelichter, rote Grablichter) verbrannt wurden. Um auch dies als mögliche Quelle für die erhöhten Luftschadstoffanteile zu überprüfen, wurden in Laborversuchen die beiden Kerzenmaterialien abgebrannt und in ca. 50 cm Höhe über den Flammen (Lufttemperatur ca. 30 °C) wieder mit Hilfe der SAM-Methode die vorgenannten Luftinhaltsstoffe gemessen (Abb. 5).

Abb. 3: Position der SAM-Meßeinrichtungen.



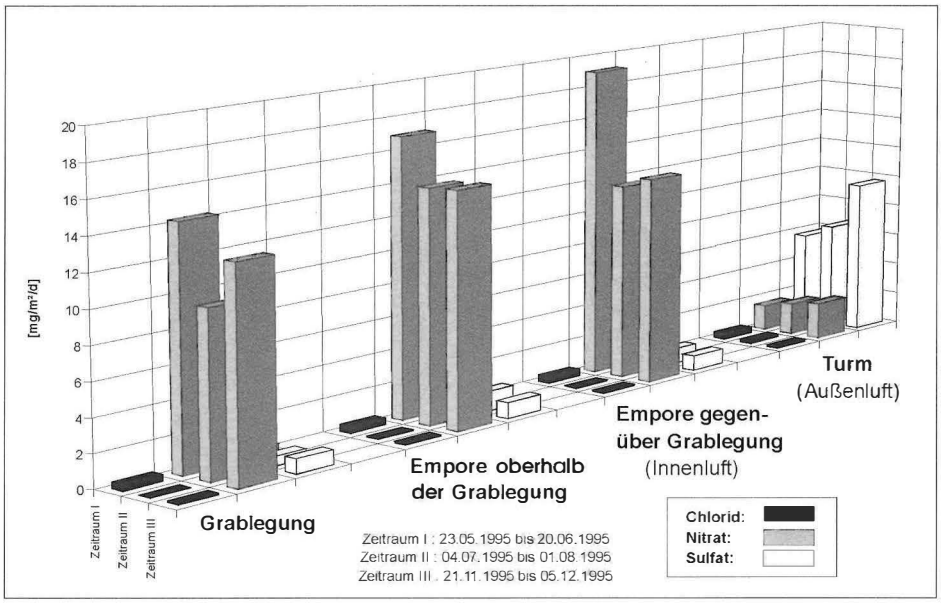


Abb. 4: Ergebnisse der Immissionsratenmessungen.

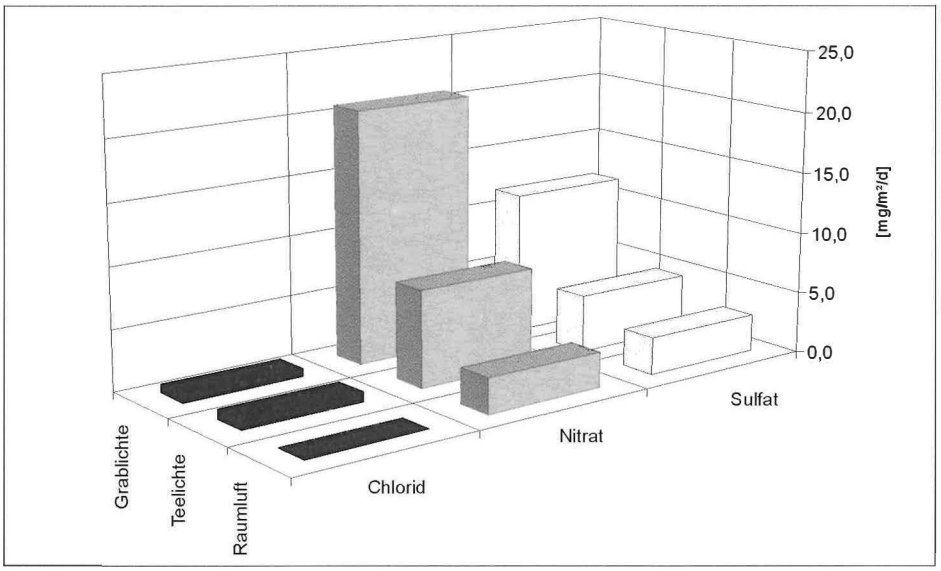


Abb. 5: Ergebnisse der Brennversuche mit Kerzen.

Auswertung der Klimamessungen

Vergleich der Klimamessungen im Außen- und Innenbereich der Kirche

Die Klimamessungen im Turm des Westwerkes (Aussenbereich) in der Zeit von Juni bis Oktober 1995 wurden mit den Messungen im Innern der Kirche verglichen. Eine Gegenüberstellung der Temperaturdaten Innen und Außen (Abb. 6) zeigt, daß der Temperaturverlauf beider Meßstellen ähnlich ist. Der Anstieg der Außentemperatur ist auch bei den Messungen im Inneren wiederzuerkennen. Allerdings tritt er leicht verzögert ein, und eine Temperaturdifferenz von 10 °C außen macht sich im Inneren durch eine Erhöhung von max. 3 °C bemerkbar. Der im Außenbereich deutliche Tages- und Nachtgang der Temperatur ist im Innenbereich weniger deutlich erkennbar.

Auch die unterschiedliche Nutzung durch Konzerte und Gottesdienste beeinflussen den Temperaturverlauf nur geringfügig.

Betrachtet man den Verlauf der rel. Feuchte Innen und Außen (Abb. 7), so zeigen sich auch hier im Innenbereich deutlich niedrigere Werte als im Turm. Die Tages- und Nachtgänge sind gegenüber der Außenmessung zwar abgeschwächt, aber dennoch deutlich erkennbar. In der Aufstellung (Tab. 2) sind die Monatsmittelwerte im Innenbereich der Kirche für die Temperatur und die rel. Feuchte mit ihren entsprechenden Streuungen aufgeführt.

Auswertung der Klimamessungen innerhalb der Figurengruppe

Auswertung der Temperaturmessungen

Zur Messung des Nahklimabereiches innerhalb der Grablegungsgruppe wurden die bereits beschriebenen Temperatursensoren in verschiedenen Höhen aufgestellt (Abb. 2). Die Sensoren waren innerhalb der Gruppe in 20 cm, 100 cm und 170 cm Höhe über dem Boden installiert. Wie aus den Kurven (Abb. 8) zu entnehmen ist, nimmt die Temperatur mit der Höhe

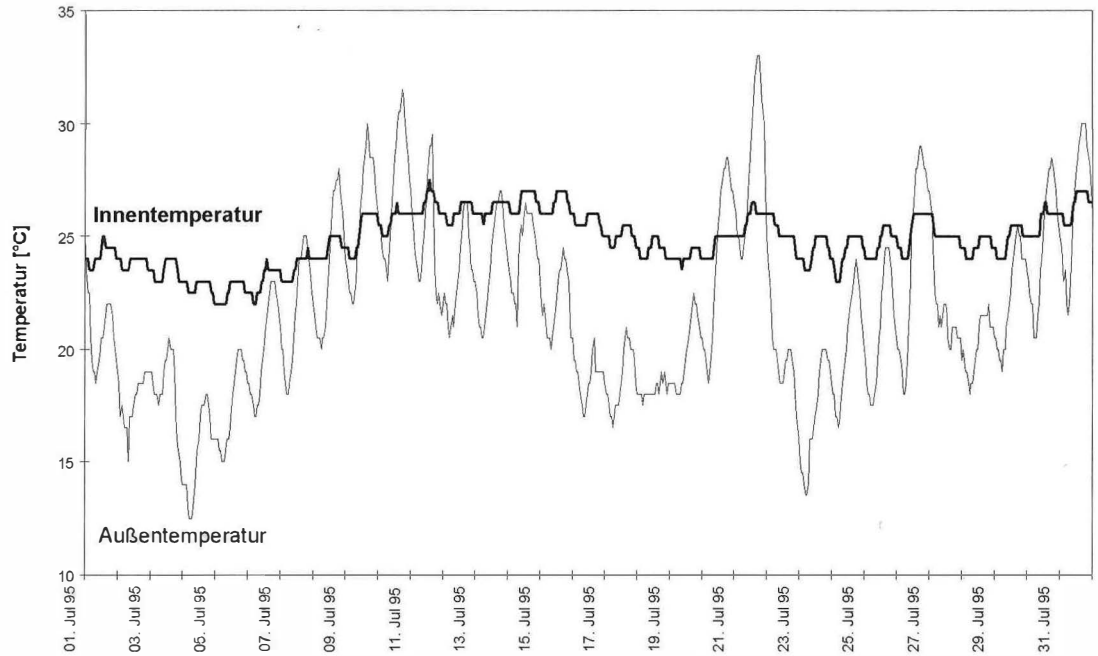


Abb.6: Vergleich der Innen- und Außentemperatur für den Monat Juli 1995.

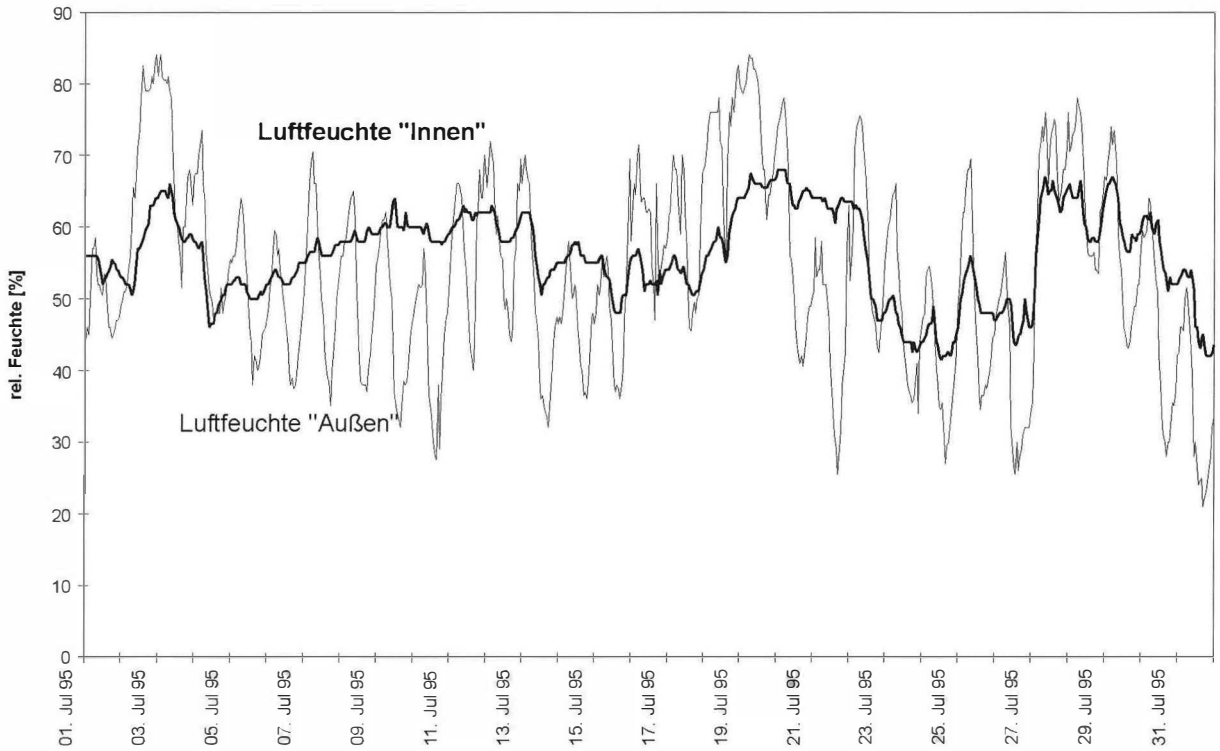


Abb.7: Vergleich des Feuchteverlaufs Innen/Außen für den Monat Juli 1995.

Tab. 2: Monatsmittelwerte von Temperatur und relativer Feuchte im Inneren der Kirche.

Monat	Mittlere Temperatur [°C] und Streuung	Mittlere rel. Feuchte [%] und Streuung
Juni	19,9 ± 1,7	59,7 ± 4,6
Juli	24,8 ± 1,2	56,2 ± 6,3
August	25,1 ± 1,8	47,6 ± 5,9
September	19,6 ± 1,0	59,1 ± 3,9
Oktober	18,8 ± 1,1	64,2 ± 5,7

geringfügig zu. In den Monaten Juni bis August beträgt der Temperaturunterschied vom Bodenbereich (20 cm) bis zu den Figuren in Schulterhöhe (170 cm) max. 3 °C.

Auswertung der Feuchtemessungen

Wie bereits dargestellt, ist vor allem die wechselnde Feuchtigkeit verantwortlich für die Auskristallisation bzw. das wieder Lösen des Salzes. Unsere Untersuchungen der Salzausblühungen haben ergeben, daß es sich hierbei um Natriumnitrat handelt. Für reines Natriumnitrat wird eine Gleichgewichtsfeuchte von 75 % angegeben. Beobachtungen und Erfahrungen aus der Praxis (Zehnder et al. 1985) zeigen, daß die Gleichgewichtsfeuchte durchaus auch bei 60 - 50 % liegen kann.

Bei der Auswertung unserer Feuchtemeßwerte werden daher folgende kritische Feuchtewerte berücksichtigt:

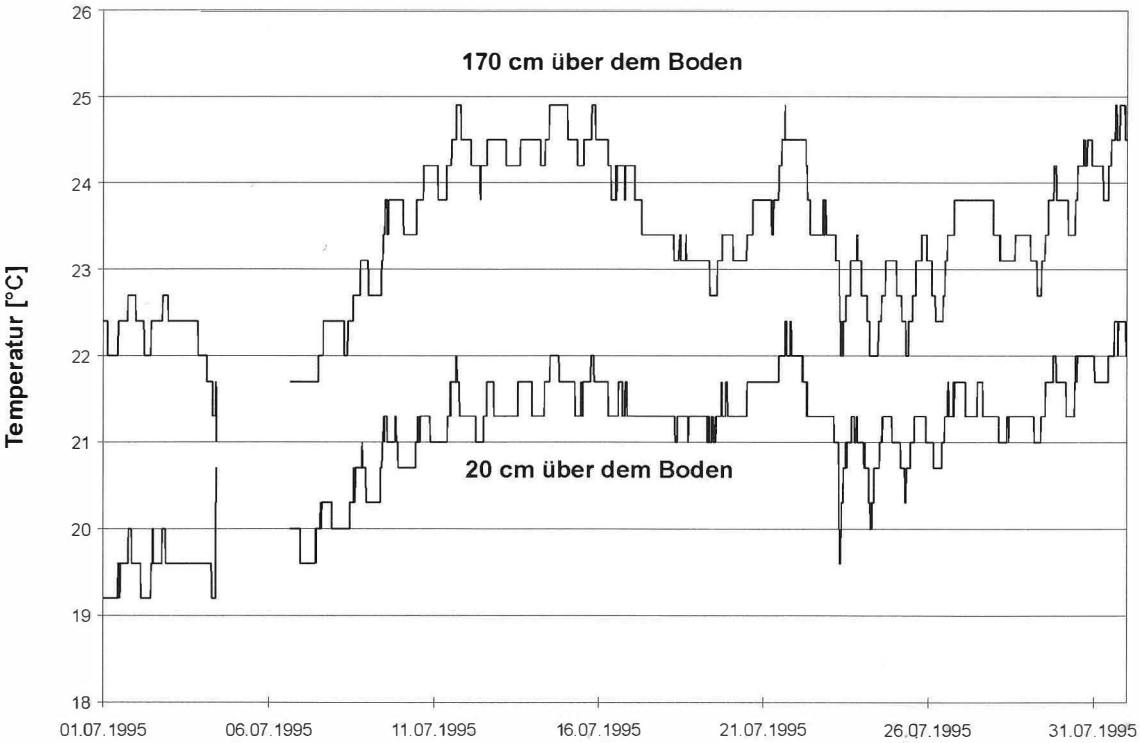
- Für die Auskristallisation Messwerte in den Bereichen 55 - 50 % und < 50 % rel. Feuchte.
- Für die Lösungsvorgänge 60 - 75 % und > 75 % rel. Feuchte.

Gleichzeitig wurden die Veränderungen - Salzausblühungen und dunkle Feuchteflecken an den Figurenoberflächen - dokumentiert. Aus den Auswertungen der Feuchtemeßdaten und den Schadensdokumentationen lassen sich nachfolgend aufgeführte Beobachtungen und Erkenntnisse ableiten:

In den Monaten Mai, teilweise im August, im Oktober und teilweise im November gibt es Tage, an denen an allen Feuchtemeßstellen (TH1 bis TH5) Werte deutlich unterhalb der Gleichgewichtsfeuchte erreicht werden, die damit im Bereich der Auskristallisation des Salzes liegen. Dabei sind nur in den Monaten Mai und Oktober deutlich erkennbare Salzausblühungen an den Figuren der Maria Salome und der Maria, der Mutter des jüngeren Jakobus feststellbar. Es zeigt sich also, daß trotz Unterschreitung der Gleichgewichtsfeuchte nicht immer direkt die zu erwartende Ausblühung der Salze sichtbar wird, sondern es tritt eine zeitliche Verzögerung auf, die dann auch auf wenige Figuren begrenzt die Salzausblühungen sichtbar werden läßt. Dies schließt nicht aus, daß derartige Salzauskristallisationen in den oberflächennahen Bereichen der Figuren stattfinden. In den Monaten Juni, Juli, teilweise im August und teilweise im November überwiegen die Feuchtemesswerte, die oberhalb der Gleichgewichtsfeuchte liegen, d. h. das Salz liegt in gelöster Form vor. In den Monaten August, Oktober und November lassen sich daher aufgrund der Messungen jeweils in einem Monat Auskristallisations- und Lösungsreaktionen prognostizieren.

Wie die Auswertung der Untersuchungsergebnisse zeigt, laufen in den oberflächennahen Bereichen der Figuren in dem gesamten Meßzeitraum von 9 Monaten eine Vielzahl von Salzauskristallisationsreaktionen und wieder Auflösungen der Salze ab. Hierbei findet nicht immer ein Salztransport an die Oberfläche statt, so daß die Ausblühungen nicht jedesmal sichtbar werden.

Abb. 8: Darstellung der Temperaturdifferenz innerhalb der Grablegungsgruppe für den Monat Juli '95.



Zusätzliche Einflußgrößen

Im Verlauf des Untersuchungsprogrammes kam die Frage auf, ob die Heizung mit ihren großen Luftaustrittsöffnungen im Innenraum der Kirche unweit der Grablegungsgruppe nicht ebenfalls als mittelbarer Schadensverursacher angesehen werden mußte? Wie die hierzu im Bereich der Heizungsanlage durchgeführten Messungen der genannten Schadstoffe mit der SAM-Methode gezeigt haben, konnten hier nur geringfügig erhöhte Stickoxidwerte nachgewiesen werden. Eine wesentliche Beeinflussung durch das Heizungssystem wurde daher ausgeschlossen.

Dagegen zeigten einige Kontrollmessungen in der Kapelle der „Goldenen Madonna", ebenfalls im Umfeld einiger Kerzen, bei den drei Immissionsraten für Chlorid, Nitrat und Sulfat im Vergleich zur Außenluft deutlich erhöhte Werte. Bei dem Vergleich mit den Meßwerten aus dem Bereich der Empore und der Grablegungsgruppe wurden aber deutlich niedrigere Werte ermittelt.

Aufgrund der Messungen läßt sich insgesamt vermuten, daß eine Beinträchtigung der Luftqualität nicht wesentlich über die Außenluft herbeigeführt wird.

Zusammenfassung

Faßt man alle Untersuchungs- und Meßergebnisse zusammen, so lassen sich folgende ursächliche Zusammenhänge für die vorgefundenen Schadensbilder an der Figurengruppe darstellen:

Das an einigen Figurenoberflächen auskristallisierte und auch in den oberflächennahen Bereichen der Figuren gebildete Natriumnitrat ist als Hauptschadensverursacher bei den sich ablösenden Malschichten anzusehen. Das Salz ist wegen seiner hygroskopischen Eigenschaften in der Lage, bei den gemessenen Feuchteverhältnissen dauernde Wechsel von Auskristallisation und Wiederauflösung zu durchlaufen. Die dadurch auftretenden Kristallisationsdrücke führen im Laufe der Zeit zu einer Gefügeschädigung der Malschichten und auch in den oberflächennahen Bereichen zu einer Schädigung des Natursteines, die sich durch Absanden einzelner Kornlagen bemerkbar macht.

Unsere Immissionsratenmessungen zeigen, daß der erhöhte Nitratanteil nicht aus der Außenluft abgeleitet werden kann. Es ist eindeutig erkennbar, daß eine Emissionsquelle im Innenbereich der Kirche für die hohen Nitratbelastungen verantwortlich gemacht werden muß. Wie die Verbrennungsversuche verschiedener Kerzenarten gezeigt haben, ist das Abbrennen dieser „Opferkerzen" in der unmittelbaren Nähe der Grablegungsgruppe als Hauptverursacher für die hohen Nitratbelastungen anzusehen. Es wird hierbei davon ausgegangen, daß die Verbrennungsgase verschiedene Stickoxide enthalten, die an der alkalischen Filteroberfläche des SAM-Gerätes absorbiert und nach einer Aufarbeitung im Labor quantitativ als Nitrat bestimmt werden.

Die Heizungsanlage als möglicher Stickoxidlieferant konnte infolge unserer Messungen ausgeschlossen werden. Wie es letztendlich zu der Bildung des Natriumnitrates an den Figurenoberflächen gekommen ist, läßt sich an Hand der nachfolgenden Hypothese deutlich machen. Anfang der 50-er Jahre soll die Figurengruppe im Rahmen einer Restaurierungsmaßnahme mit einer Sodalösung (Natriumkarbonatlösung) gereinigt worden sein. Ein Verfahren, das damals oft eingesetzt wurde. Es kann daher vermutet werden, daß Reste dieser Reinigungslösung aus den porösen Materialoberflächen nicht ganz entfernt werden konnten, und so an den Figurenoberflächen ein stark alkalische, sehr reaktionsfähige Grenzschicht gebildet wurde. Diese Oberfläche absorbiert bevorzugt saure Luftinhaltsstoffe, in unserem speziellen Fall die verstärkt gebildeten Stickoxide, die dann in einem nächsten Reaktionsschritt zu Natriumnitrat umgesetzt wurden.

Inwieweit die so gebildeten Salze aufgrund der unterschiedlichen Feuchteverhältnisse in die oberflächennahen Bereiche der Figuren eingewandert sind, kann nur durch eine spezielle Untersuchung geklärt werden. Hierzu müßte eine Materialentnahme an den Figuren im Tiefenprofil durchgeführt werden.

Sicherlich ist es bei der geplanten Restaurierung der alten Malschichten unumgänglich, den Salzanteil besonders bei den Figuren der Maria Salome und der Maria, der Mutter des jüngeren Jakobus, zu reduzieren. Hierdurch wäre eine deutliche Verzögerung der Schadensreaktionen möglich.

Eine restlose Entfernung der Salze ist kaum durchführbar, so daß man davon ausgehen muß, daß ein Gefährdungspotential erhalten bleibt. Es wäre daher empfehlenswert, die raumklimatischen Verhältnisse im Kircheninnenraum zu verbessern. Da zur Zeit eine Inneninstandsetzung der Kirche stattfindet, bei der auch der Einbau einer modernen regelbaren Heizungsanlage geplant ist, kann auch hier eine Verbesserung im klimatischen Umfeld der Figurengruppe erwartet werden.

Literatur

Küppers, L. (1976): Die Grablegung im Essener Münster, Recklinghausen.

Zehnder, K., Arnold, A. & Spirig, H. (1985): Zerfall von Wandmalerei durch lösliche Salze am Beispiel der Krypta des Grossmünsters Zürich. Historische Technologie und Konservierung von Wandmalerei Selbstverlag der Schule für Gestaltung, Bern, Seite 15 - 39.

metallum, i, n:
Grube, Bergwerk (oft pl.);
Metall, auch Gestein, Mineral

μεταλλον, το:
Grube, Stollen;
bsd. a) Bergwerk (meist pl.)
b) Steinbruch

DMT

Inhalt

Seite

D. Kirchner & J. Zallmanzik
Untersuchungen an der Grablegungsgruppe im Essener Münster 5

S. Brüggerhoff
Was verträgt ein Denkmal? - Möglichkeiten und Grenzen eines transparenten Oberflächenschutzes für Industriedenkmäler aus Eisen und Stahl 15

R. Slotta
Erhaltung von Industriedenkmälern - Was können wir (uns) leisten? 21

F. Zeithammer
Völklinger Hütte, Weltkulturerbe - und was nun? 29

J. Forßmann
Erhaltungskonzept für das Hochofenwerk Meiderich im Landschaftspark Duisburg-Nord 33

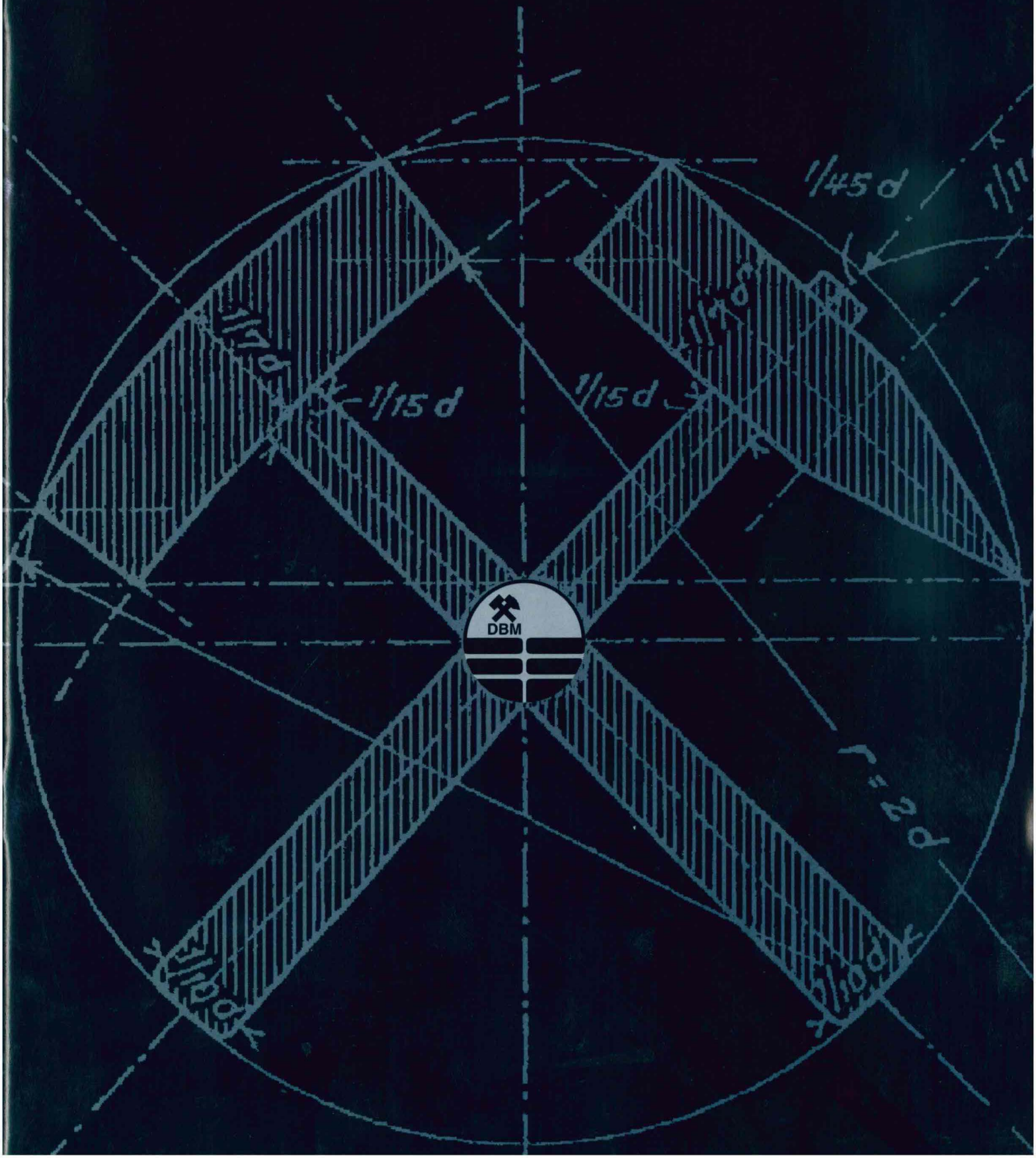
K.-Chr. Glaeser & J. Bach
Erhaltungsmaßnahmen an Industriedenkmälern aus der Sicht des Bautenschützers 39

ISSN 0947-6229

Nr. 4.1 Bochum 1997

METALLA

Forschungsberichte des Deutschen Bergbau-Museums



METALLA (Bochum)
Forschungsberichte des Deutschen Bergbau-Museums erscheint in zwei Heften jährlich.

Bezugspreis DM 50,- pro Jahr incl. Porto und Verpackung, Bestellungen formlos an das Deutsche Bergbau-Museum Bochum
Am Bergbaumuseum 28
D-44791 Bochum

Wissenschaftliche Beratung:
Dr. G. Eggert, Bonn
Dr. St. Fitz, Berlin
Dr. L. Klappauf, Goslar
Dr. H. Leisen, Köln
Dr. B. Ottaway, Sheffield
Dr. G. Schneider, Berlin

Impressum

Herausgeber:
Deutsches Bergbau-Museum Bochum
Museumsdirektor: Dr. phil. Rainer Slotta

Schriftleiter:
Dr. rer. nat. Thilo Rehren
Layout: Dipl.-Ing. Angelika Friedrich

Druck und Verarbeitung:
DMT-LB, Bochum

ISSN 0947-6229