

Depositionsratenmeßsysteme zur Bewertung der Immissionsbelastung in Außenschutz-Verglasungen

D. Kirchner & St. Brüggerhoff

Einleitung

Bei der „trockenen“ Deposition von Immissionskomponenten (gasförmige Schadstoffe, Stäube, Aerosole) werden Schadstoffe aus der Luft in einem Werkstoff, der meist von einem Feuchtigkeitsfilm bedeckt ist, absorbiert. Die anschließende Reaktion führt in vielen Fällen zu einer Beeinträchtigung (Korrosion) des Werkstoffs. Dieser Vorgang wird dabei weniger durch die kurzfristig vorhandene Konzentration eines Schadstoffes in der Umgebungsluft als vielmehr durch die Immissionsrate, d.h. die pro Flächeneinheit auftreffende Gesamtmenge des Schadstoffes, charakterisiert. Diese wiederum wird durch die mikroklimatischen Bedingungen des Standortes beeinflusst und ist von Position zu Position unterschiedlich. Für die Erfassung „saurer“ Schadstoffe (Schwefel- und Stickoxide sowie Chloride und Fluoride) sind verschiedene „passive“ Techniken entwickelt worden, die alle weitestgehend auf der Absorption der sauren Schadstoffe in alkalischen Fängermedien basieren. Hier seien die Immissions-Raten-Meß-Apparatur (IRMA) (Luckat 1980), die Bleidioxid-Kerze (Huey 1968), das Diaverfahren (Marfels et al. 1989) oder eine Passivsammleranordnung (Dannecker 1987) genannt.

Ein einfach handhabbares und kostengünstiges System schlägt Rumpel (1984) basierend auf den Arbeiten von Wallar & Huey (1969) vor. Der als oberflächenaktive Monitor SAM (Surface Active Monitor) bezeichnete Rezeptor ist ein mit einer Alkalikarbonat-Lösung getränktes Glasfaserfilter, das in verschiedenen Halterungen über einen Zeitraum von einigen Wochen exponiert werden kann. Anschließend werden durch Elution und chemische Analyse die deponierten Schadstoffe bestimmt.

Diese SAM-Technik wurde von Kirchner & Brüggerhoff (1994) bereits erfolgreich für die Erfassung und Kartierung von unterschiedlichen Immissions-einflüssen bei komplexen Gebäudestrukturen eingesetzt. Da die Technik für den Außenbereich gute Ergebnisse zeigte, sollte überprüft werden, ob sie auch für eine Beurteilung der Wirkung von Außenschutzverglasungen einsetzbar ist.

Mit Hilfe entsprechender Schutzverglasungen wird derzeit versucht, den dramatischen Verfall wertvoller historischer Glassubstanz zu stoppen. Dabei werden die normalerweise als Einzelverglasung direkt der Außenluft ausgesetzten Scheiben ausgebaut und durch eine Normalverglasung (Schutzverglasung) ersetzt. Das historische Glasfenster wird anschließend hinter die Schutzverglasung im Kircheninneren eingebaut. Der Abstand zwischen den Scheiben und die Belüftungsöffnungen (Spalt) sind dabei entscheidend für das Klima an der originalen Scheibe. Dabei muß eine Bewertung individuell von Objekt zu Objekt vorgenommen werden (Oidtmann 1994). Eine Beurteilung der Immissionssituation zwischen Original- und Schutzverglasung wurde dabei bisher noch nicht vorgenommen.

An den Testobjekten Kölner Dom und Kloster Neuendorf wurde die Fragestellung untersucht, welche Spaltgeometrie (Spaltbreiten für die Hinterlüftung) die günstigsten Ergebnisse liefert. Die SAM-Filter wurden deshalb neben anderen Meßfühlern in unterschiedlichen Höhen in den Innenräumen der verschiedenen Verglasungen positioniert. Zum Vergleich wurden entsprechende Sammler direkt im Kircheninnenraum sowie im Außenbereich installiert. Die Untersuchungen wurden parallel zu einer Glassensor-Studie (Fuchs 1990) durchgeführt. Dabei sollte getestet werden, ob sich die SAM-Technik als kostengünstige, schadstoffspezifische Nachweismethode neben der Materialensortertechnik bewährt, die nur die Globalauswirkungen von Außenschutzverglasungen erfaßt.

Meßtechnik

Als Trägergeometrie für die SAM-Technik wurde, in Anlehnung an die ebenfalls in Außenschutzverglasungen eingesetzten Glassensoren, eine Diarahmen-Anordnung gewählt. Eine Glasfaser-Filterplatte wurde in etwa 40 x 40 mm große Stücke geschnitten. Bei der Vorbereitung der Glasfaserfilter erfolgte als erster Schritt eine Reinigung des Materials von enthaltenen Sulfat-, Nitrat- und Chlorid-Verunreinigungen. Dazu wurden die Filter

30 Min. in einer speziellen Karbonat-Lösung geschwenkt. Diese weist eine 1,8 mM Na_2CO_3 - und 1,7 mM NaHCO_3 -Konzentration auf. Die spezielle Lösung wurde gewählt, da sie den Eluenten für die nach Exposition und Elution stattfindende ionenchromatographische Bestimmung der deponierten Schadstoffe darstellt. Die gereinigten Filter wurden bei 60°C im Trockenschrank getrocknet und dann mittels Pinzette in den glaslosen Kleinbild-Diarahmen eingelegt und durch den Klappmechanismus fixiert. Die Depositionsfläche beträgt daher 24 x 36 mm auf jeder der beiden Seiten. Die zu berücksichtigende Gesamtfläche hat also ein Maß von 8,64 cm^2 . Als Alternative, um eventuell eine bessere Abscheidungsrate zu erhalten, wurden bei allen Untersuchungen auch immer Diarahmen mit zwei konditionierten Filtern eingesetzt. Alle Filter wurden mit 1,0 ml einer 10 %igen Na_2CO_3 -Lösung tropfenweise gleichmäßig getränkt. Diese relativ hohe Belegung ermöglicht eine längerfristige Exposition (mehrere Wochen), bevor eine Sättigung der Oberfläche eintritt. Anschliessend erfolgte erneut eine Trocknung bei 60 °C. Die Verwendung von Natriumkarbonat gegenüber dem üblicherweise vorgeschlagenen Kaliumkarbonat wurde bevorzugt, da bei den eingesetzten suprapur-Reagenzien geringfügig niedrigere Blindwerte gefunden wurden. Eine um etwa 7 % reduzierte Depositionsrate (in Laborversuchen ermittelt) wurde dafür in Kauf genommen.

Die Expositionszeit der Filter wurde am Kölner Dom und im Kloster Neuendorf auf je 3 Monate festgelegt, wonach ein Austausch gegen frische Systeme erfolgte. Die in diesem Zeitraum deponierte Schadstoffmenge ist einerseits so groß, daß sich die Werte beim nachfolgenden Analysenverfahren signifikant vom Blindwert unterschieden, andererseits selbst bei ungünstigen Bedingungen keine Sättigung der alkalischen Oberfläche („Passivierung“) durch die sauren Schadstoffe gegeben ist (linearer Depositionsbereich durch Vorversuche im Labor bestimmt).

Nach der Exposition wurden die Filter aus dem Diarahmen genommen und 30 Min. in 40 ml bidest. H_2O geschüttelt. Alle deponierten Schadstoffe wurden durch diesen Elutionsvorgang von der Filterunterlage getrennt. Die über ein 0,45 μm Membranfilter filtrierte Lösung wurde anschliessend für die ionenchromatographische Analyse benutzt. Die Analysen erfolgten auf die Bestandteile Sulfat und Nitrat. Für die Bestimmung wurde ein Ionenchromatograph Dionex 2000 isp mit der Hauptsäule AS 9 und der Vorsäule AG 9 benutzt (Eluent: 3,5 mM Na_2CO_3 und 1,0 mM NaHCO_3 ; Fluß 1,75 ml/Min).

Zu Beginn der Untersuchungen wurden die Lösungen auch auf die deponierten Chlorid- und Fluorid-Mengen untersucht. Bei den Chlorid-Untersuchungen zeigte sich jedoch ein deutliches Blind-

wert-Problem, das zu starken, unkontrollierbaren Schwankungen der Meßwerte führt. Hierdurch kann keine einheitliche Tendenz der Meßwerte festgestellt werden. Aus diesem Grund wurde auf eine Angabe zum Chlorid-Gehalt verzichtet. Die erfaßten Fluorid-Gehalte lagen überwiegend an oder unter der Nachweisgrenze des Verfahrens (Tab. 1). Deshalb wurde hier auf eine weitere Betrachtung ebenfalls verzichtet.

Tab. 1: Nachweisgrenzen der beschriebenen SAM-Technik [$\text{mg}/\text{m}^2\text{d}$]

SO_2	0,1
NO_2	0,01
Cl	0,03
F	0,03

Die Angabe der Immissionsraten erfolgt bezogen auf die Sammelfläche und die Expositionszeit als Mittelwert über alle Einzelfilter eines Gestells in [$\text{mg}/\text{m}^2\text{d}$]. Die Sulfat- und Nitratwerte werden in die theoretischen Größen SO_2 - und NO_2 -Gehalt umgerechnet, um auf ihren Ursprung zu verweisen. Dabei muß jedoch angemerkt werden, daß hier z.T. Verfälschungen auftreten können. Bei den Sulfatwerten kann auf dem Filter deponiertes SO_2 durch sulfathaltige Staubanlagerungen erhöht werden. Die Reaktion der Stickoxide in der Atmosphäre ist ein System hochkomplexer Prozesse, die von Schurath (1985) zusammengefaßt werden. Eine Bewertung der absoluten Höhe des Eintrages ist bei diesem komplexen System mit den einfachen Sammlern kaum möglich.

Installation der SAM-Gestelle

Zur Exposition wurden jeweils 4 Diarahmen-Filter in ein U-Profil aus Messing geschoben und an ausgewählten Positionen in Köln und Neuendorf ausgebracht (Abb. 1). Im Kölner Dom wurden diese SAM-Gestelle in drei verschiedenen Spaltsystemen der Außenschutzverglasung eines Fensters im Seitenschiff (Nordseite) installiert. Die Spaltbreite betrug <0,5 cm (keine Lüftung), 2 cm und 4 cm. Die Gestelle mit den Filtern wurden jeweils in 0,9 m, 4,3 m und 9,0 m Höhe über der Sohlbank eingebaut. Zusätzlich wurde je ein Gestell in den verschiede-

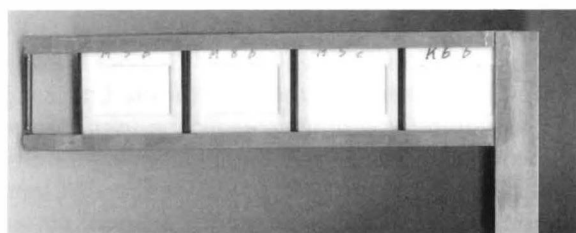


Abb. 1: SAM-Diarahmen in Messinghalterung.

nen Außenschutzbahnen im Kircheninneren und eines im Außenbereich vor dem Fenster installiert. Ein Plexiglasdach schützte das Gestell im Außenbereich vor Regen und Verschmutzung (Taubenkot).

Im Kloster Neuendorf wurden die SAM-Gestelle an vier verschiedenen Fenstern installiert. Hier wurde, neben einer Außenposition, jeweils im Spalt und vor der Schutzverglasung im Kircheninneren gemessen. Im Fenster n IV b 2 mit einer Spaltbreite von 4 cm wurde in 3,5 m vom Boden ein Gestell angebracht. Im Fenster o I c mit 2 cm Spaltbreite wurde je ein Gestell auf 3,5 m und 8 m Höhe über dem Boden installiert. Im dritten Fenster s IV b wurden die Gestelle auf 3,5 m Höhe und im vierten Fenster s II b auf 7 m Höhe über dem Boden angebracht. Beide Fenster haben eine Spaltbreite von 4 cm.

Ergebnisse

Folgende detaillierte Aussagen lassen sich zu den beiden Objekten machen:

Köln:

Wie in Abb. 2 ersichtlich ist, liegen die SO₂-Depositionsraten im Spalt zwischen Außenschutzverglasung und Originalverglasung für den Zeitraum Oktober '92 bis Januar '93 im Bereich zwischen 0,5 und 0,8 mg/m²d, im Sommer dagegen fallen sie auf Werte zwischen 0,2 und 0,1 mg/m²d ab. Den Vergleich zur Situation im Kircheninneren und zur Außenluft zeigen die beiden Diagramme auf der rechten Seite von Abb. 2.

Vergleicht man die Depositionsraten für den Spalt mit der Außenluft, so findet man im Spalt nur noch ein 20stel bis 40stel der Deposition in der Außenluft. Die Meßwerte im Spalt sind sogar noch geringer als im Kircheninnenraum.

Abb. 3 zeigt in entsprechender Weise die Werte für NO₂, die bis auf die Außenwerte alle unter 0,2 mg/m²d liegen. Hierbei ist das für Stickoxide typische Sommermaximum deutlich zu erkennen. Im Vergleich zur Außenluft ist die Deposition von NO₂ im Spalt auf ein 10tel reduziert. Die Depositionsraten im Kircheninneren liegt geringfügig unter den Werten im Spalt.

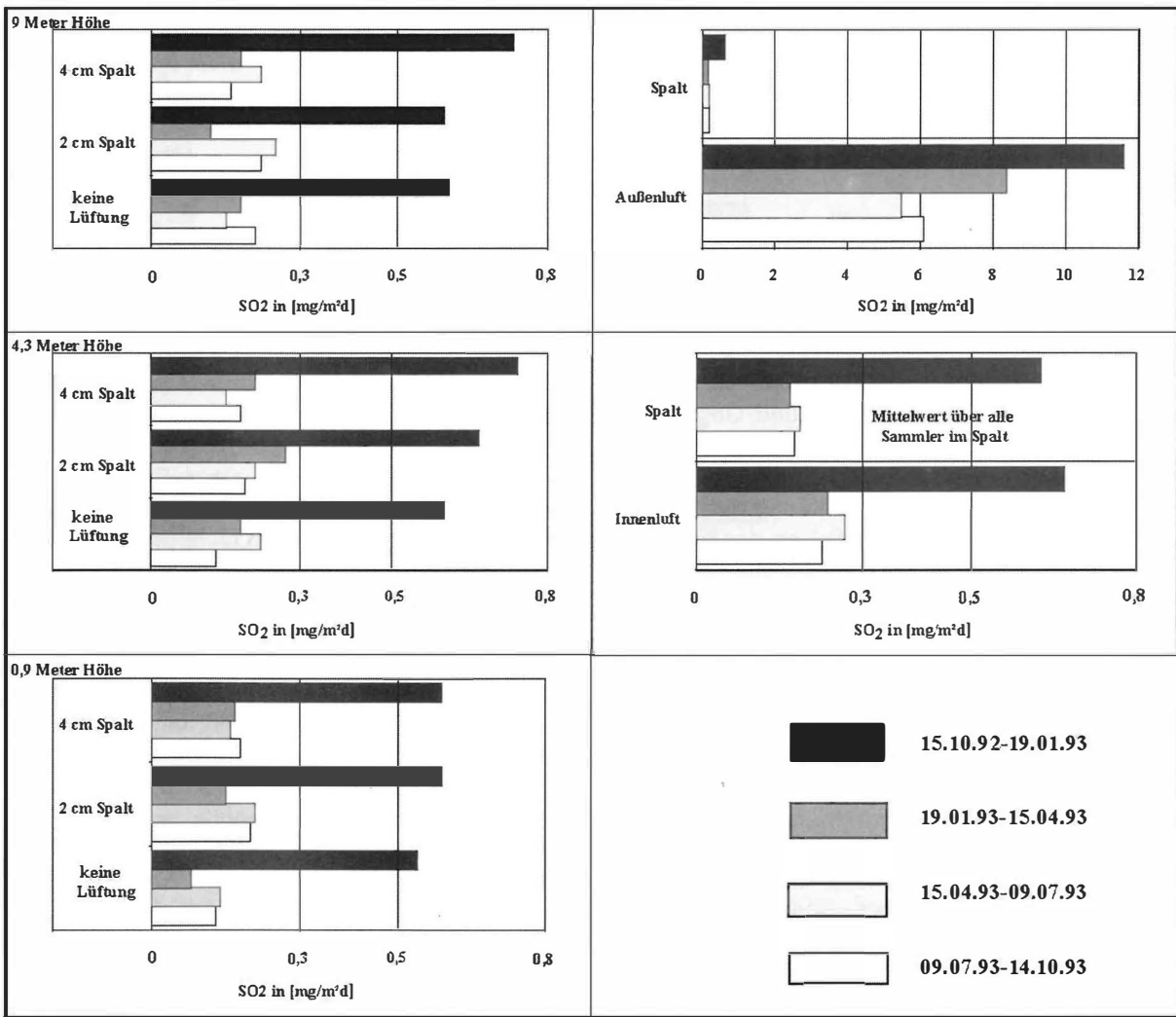


Abb. 2: SO₂-Depositionsraten (SAM-Technik) am Kölner Dom, Seitenschiff Nordseite

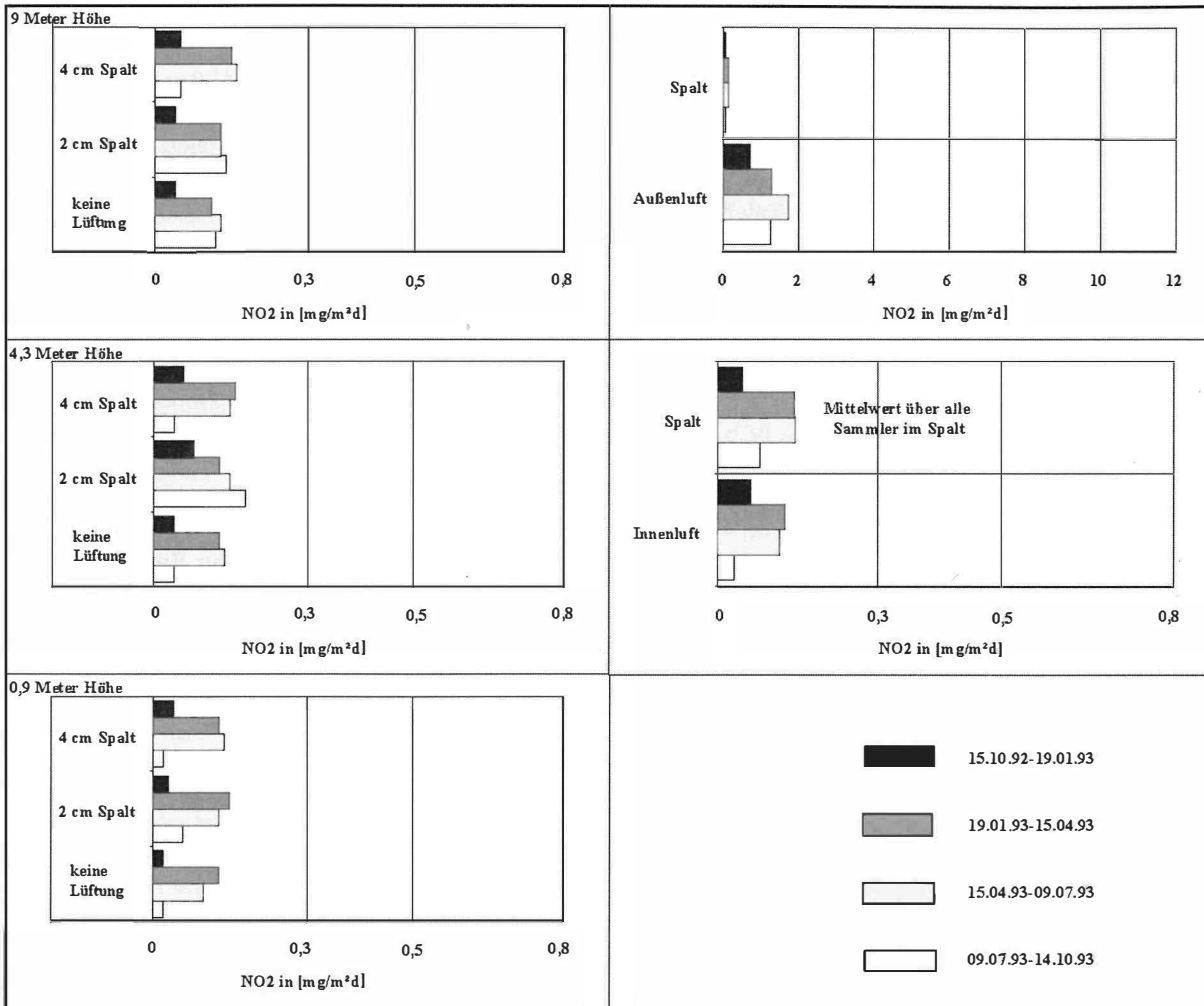


Abb. 3: NO_2 -Depositionsraten (SAM-Technik) am Kölner Dom, Seitenschiff Nordseite.

Die Beeinflussung der Depositionsraten durch den Abstand zwischen Außenschutz- und Originalverglasung sowie die Abhängigkeit von der Höhe ist aus Abb. 4 abzuleiten. Hier sind exemplarisch für Köln jeweils für einen Meßzeitraum (3 Monate) die Depositionswerte (SO_2 und NO_2) an den verschiedenen Positionen dargestellt. Abgesehen von dem SO_2 -Maximum im Winter und dem NO_2 -Maximum im Sommer erkennt man die Tendenz, daß die Depositionswerte auf mittlerer Fensterhöhe (4,3 m über Sohlbank) über den Werten an der Basis des Fensters (0,9 m über Sohlbank) und im Bereich des Maßwerks (9 m über Sohlbank) liegen. Abb. 5 zeigt diese Tendenz noch deutlicher. Diese Darstellung stellt ein „Fenster mit Außenschutzverglasung“ dar, wobei die Spaltbreite von links (keine Lüftung) nach rechts (4 cm Lüftung) zunimmt. Man erkennt, daß die niedrigsten SO_2 -Depositionsraten im unteren Fensterbereich bei fehlender Lüftung zu finden sind. Mit zunehmender Spaltbreite, aber auch mit zunehmender Fensterhöhe steigt die Depositionsrate an. Bei einer mittleren Spaltbreite (1 bis 2 cm)

kommt es auf halber Fensterhöhe (4,3 m) jedoch zu einer erhöhten Depositionsrate. Möglicherweise gibt es hier Temperatureffekte, die zu stärkeren Turbulenzen und damit zu einer Erhöhung der Depositionsrate führen. Dieser Effekt kann ab einer Spaltbreite von ca. 3 bis 4 cm nicht mehr beobachtet werden, d.h. die Depositionsrate steigt wieder mit der Fensterhöhe an. Bei größeren Spaltbreiten werden nach Oidtmann (1994) auch höhere Luftgeschwindigkeiten gemessen. Das vorliegende Datenmaterial reicht jedoch nicht aus, um Angaben über die Zusammenhänge zwischen Strömungsgeschwindigkeit und Depositionsrate an den SAM-Systemen im Spalt herzustellen. Auch für die NO_2 -Deposition können entsprechende Beobachtungen gemacht werden.

Kloster Neuendorf:

Die SO_2 -Depositionsrate in der Außenluft liegt für Kloster Neuendorf im Bereich von $16 \text{ mg/m}^2\text{d}$ im Winter und $2 \text{ mg/m}^2\text{d}$ im Sommer. Die Werte können nur eingeschränkt mit denen vom Kölner Dom

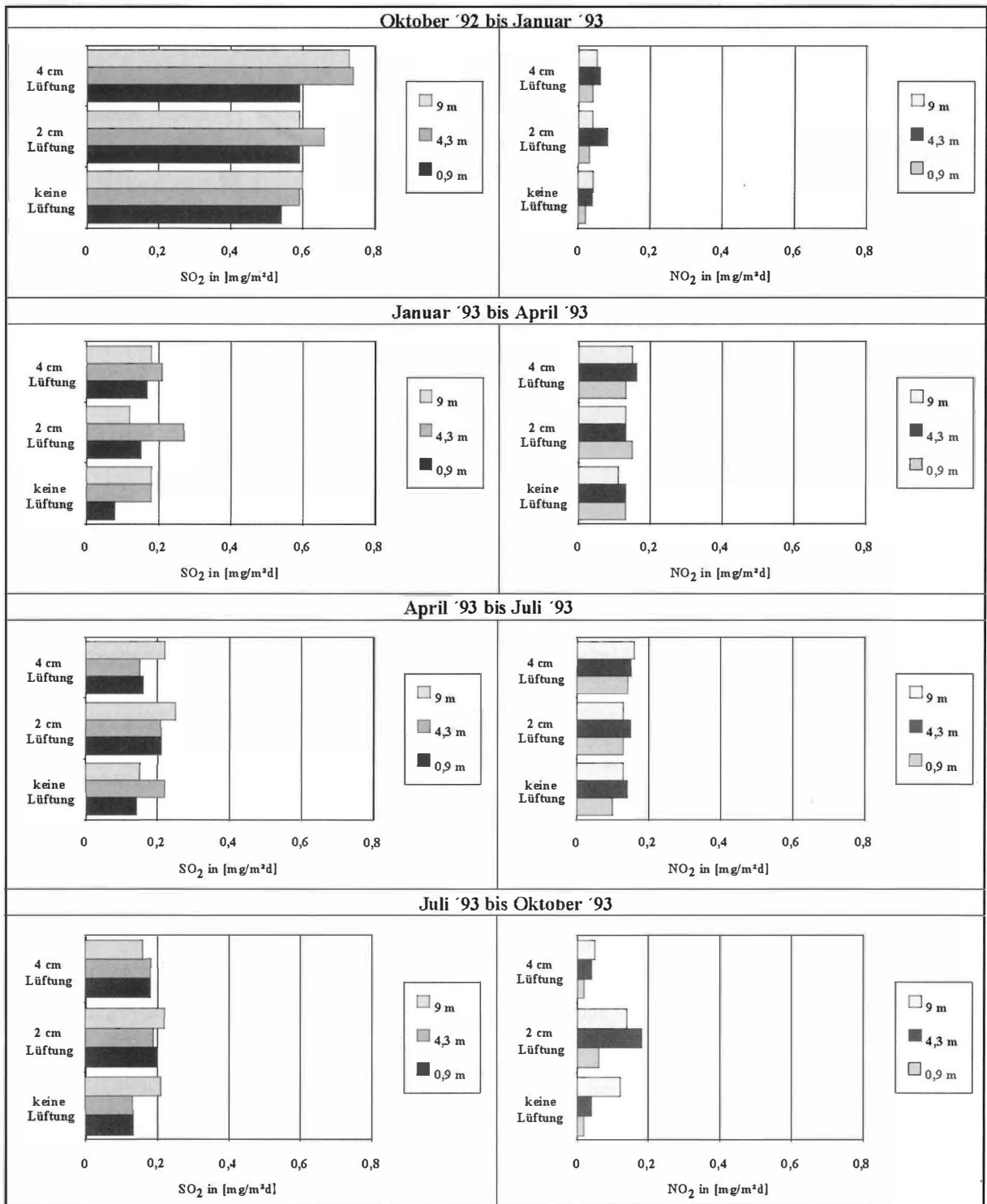


Abb. 4: Schadstoff-Deposition in Abhängigkeit von Fensterhöhe und Spaltbreite am Kölner Dom, Seitenschiff Nordseite.

verglichen werden, da die Meßzeiträume nicht identisch sind. Sowohl in den verschiedenen Spaltsystemen wie auch im Kircheninneren sind die SO_2 -Depositionsraten doppelt so hoch wie in Köln. Die höchsten Depositionsraten im Spalt finden sich beim Fenster o l c mit einer Spaltbreite von 2 cm. Die niedrigste Depositionsrate konnte im Fenster n IV b mit 4 cm Spaltbreite gemessen werden. In fast

allen Fällen liegt jedoch die Depositionsrate im Spalt unterhalb der Depositionsrate im Kircheninneren. Das in Köln beschriebene SO_2 -Maximum im Winter läßt sich auch hier beobachten.

Die NO_2 -Depositionsraten im Kircheninneren und im Spalt weisen wie in Köln ein Sommermaximum auf. Die NO_2 -Werte der Außenluft zeigen jedoch eine entgegengesetzte Charakteristik.

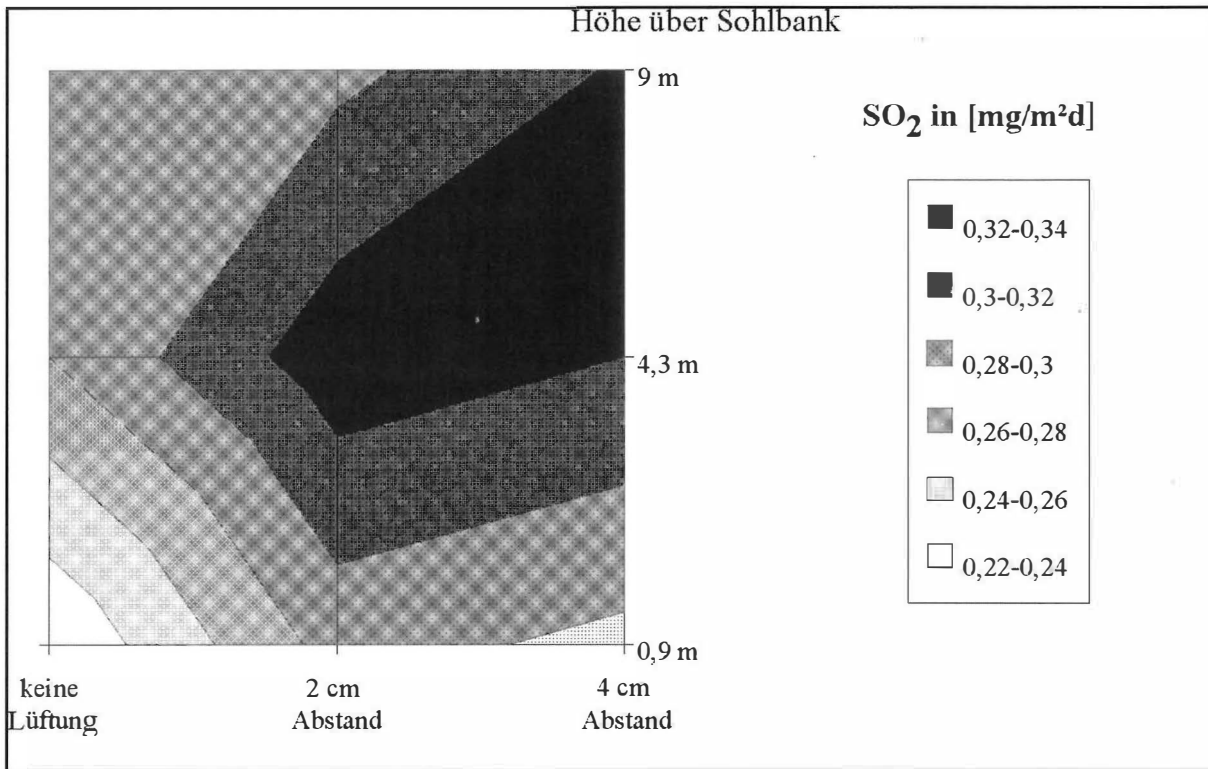


Abb. 5: Unterschiede in der SO_2 -Deposition (SAM-Technik) in Abhängigkeit von Fensterhöhe und Spaltbreite; Mittelwerte für den Meßzeitraum 15.10. 1992 bis 14.10. 1993 am Kölner Dom, Seitenschiff Nordseite.

Allgemeine Zusammenfassung

In den Spaltsystemen der Außenschutzverglasungen werden Immissionsraten vergleichbar der Innenraumbelastung festgestellt, die um ein Vielfaches kleiner als die Belastung außen sind. Für die SO_2 -Deposition sinkt der Wert um das 15- bis 40fache. Beim NO_2 ist die Reduktion geringer, d.h. sie sinkt hier etwa um das 10fache. Aus Immissionsgesichtspunkten ist der Einsatz der Schutzverglasung daher als sehr positiv zu bewerten. Der jahreszeitliche Gang für SO_2 - und Stickoxid-Immissionen läßt sich sowohl an den in der Außenluft installierten SAM-Systemen wie auch an den SAM's im Kircheninnenraum und zwischen den Glasscheiben wiederfinden. So gibt es in den Wintermonaten ein SO_2 -Maximum, hingegen steigen die Stickoxid-Werte im Sommer an und fallen zum Winter hin wieder ab. Diese Beobachtung läßt sich an fast allen urbanen Standorten machen und ist mit der Heizperiode im Winter (für SO_2) und photo-oxidativen Prozessen im Sommer (für NO_2) eng verknüpft.

Am Beispiel einer Schutzverglasung am Kölner Dom konnte gezeigt werden, daß die Schadstoffdeposition mit zunehmender Spaltbreite geringfügig ansteigt. Der Anstieg erfolgt mit zunehmender Fensterhöhe und ist vermutlich in einer verstärkten Zufuhr von Luft aus dem Kircheninneren begrün-

det. Ein Überschreiten der Depositionsrate im Spalt gegenüber dem Kircheninnenraum wird in der Regel nicht beobachtet, was vermutlich durch verstärkte Schadstoff-Adsorption an den Eintrittsöffnungen begründet werden kann.

Vergleich mit den Glassensor-Studien

Die Depositionsratenmessung mittels SAM-Technik wurde in Köln und Neuendorf als Ergänzung zu Korrosionsmessungen an Glassensoren durchgeführt. Während die SAM-Filter reine Schadstoff-Meßsysteme darstellen, werden die Glassensoren von der gesamten Umgebungssituation (z.B. Feuchte und Temperatur) zusätzlich beeinflusst. Da bei den Glassensoren die durch diese Einflüsse bedingte Änderung der Extinktion (ΔE -Wert, Fuchs 1990) und bei den SAM-Filtern die Depositionsrate (in $[\text{mg}/\text{m}^2\text{d}]$) gemessen wird, ist ein direkter Vergleich nur qualitativ möglich. Der Vergleich sollte zeigen, ob mittels SAM-Technik die unterschiedlichen Außenschutzverglasungssysteme vergleichbar gut wie bei den inzwischen etablierten Glassensoren beurteilt werden können. In Abb. 6 sind die Ergebnisse der SAM-Technik und der Glassensorstudien am Beispiel des Kölner Doms gegenübergestellt. Die ΔE -Werte der M I-Sensoren wurden mit dem Faktor 60 multipliziert, um eine vergleichbare Größenordnung zu erreichen. Man erkennt, daß die

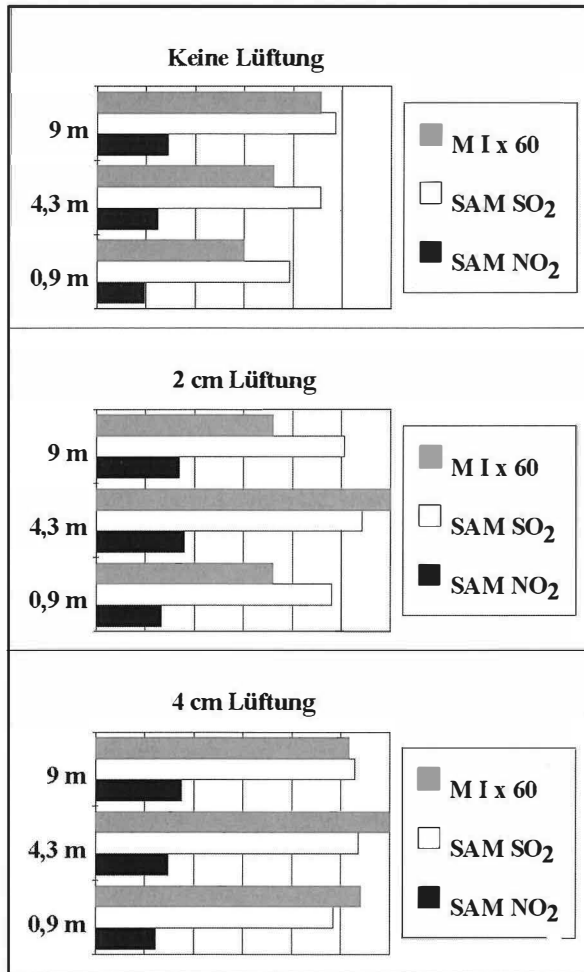


Abb. 6: Vergleich der Glassensoren mit den SAM-Systemen „Sulfat und Nitrat“. Die Extinktionswerte der MI-Glassensoren sind mit 60 multipliziert worden. Die SAM-Werte stellen die SO₂- und NO₂-Depositionen dar.

SAM-Filter eine analoge Tendenz wie die Glassensoren für die Bewertung der Schutzverglasung liefern.

Schlußfolgerungen

Die SAM-Technik kann als kostengünstige Methode zur Durchführung von Depositionsmessungen auch in Außenschutzverglasungen eingesetzt werden. Sie liefert ein schadstoffbezogenes Belastungsprofil und bestätigt die Werte von Glassensorstudien. Die Methode der SAM-Technik kann überall da eingesetzt werden, wo innerhalb kurzer Zeiten Informationen zur Schadstoffbelastung gefordert sind. Da es sich nicht um Korrosionsmessungen handelt, müssen die Einflüsse von Temperatur und Feuchte unberücksichtigt bleiben. Ein Ersatz komplizierter und damit nur in Ausnahmefällen einsetzbarer Temperatur- und Feuchtesensoren sowie Strömungsmesser kann hier natürlich nicht erreicht werden.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit werden Messungen zur Erfassung der Deposition saurer Luftschadstoffe (speziell SO₂ und NO₂) in Außenschutzverglasungen historischer Kirchenfenster vorgestellt. Ziel der Arbeit war es, die Reduktion der Schadstoff-Deposition bei wertvoller Glassubstanz durch diese konstruktive Schutzmaßnahme quantitativ beschreiben und Angaben zur Wirksamkeit verschiedenartiger Schutzverglasungen treffen zu können. Als Bestimmungsmethode wurde die SAM (Surface Active Monitoring)-Technik eingesetzt, bei der die Schadstoffe an alkalisch imprägnierten Glasfaserfiltern, die in Kleinbild-Diarähmchen eingespannt waren, absorbiert werden. Die Diarähmchen konnten über Befestigungsschienen in verschiedenen Höhen in den Spaltbereich zwischen Schutzverglasung und Originalscheibe eingeschoben werden und verblieben dort für ein Expositionsintervall von drei Monaten (Gesamtmeßzeit: ein Jahr). Parallel dazu wurden entsprechende Sammler im Kircheninnenraum und außerhalb der Kirche installiert. Nach Beendigung der Depositionsphase wurden die Filter eluiert und die Schadstoff-Gehalte ionenchromatographisch analysiert.

Für die beiden untersuchten Fallbeispiele - Nordfenster im Kölner Dom und verschiedene Fenster des Klosters Neuendorf - konnte im Spalt eine deutliche Reduktion der Schadstoffdeposition gegenüber der Außenluft beobachtet werden. Für die Komponente SO₂ ging die Depositionsrate um den Faktor 15 bis 40 zurück, NO₂ wurde etwa um den Faktor 10 reduziert. Damit stellt sich im Spalt bezogen auf die Schadstoffdeposition ein vergleichbarer Zustand wie im Kircheninnenraum ein. Eine Bewertung von unterschiedlichen Spaltbreiten mit der Zielsetzung einer Optimierung der Schutzverglasung gestaltete sich wegen der geringen Meßwertunterschiede schwierig. Es zeichnete sich jedoch die Tendenz ab, daß mit steigender Belüftungsöffnung auch ein schwacher Anstieg der Schadstoffdeposition einhergeht. Durch den Vergleich der SAM-Ergebnisse mit den Resultaten einer parallel durchgeführten Glassensorstudie konnten diese Aussagen bestätigt werden.

Abstract

The present paper describes research work dealing with the measurement of deposited acidic pollutants inside the protective glazing of historic glass windows. The aim of the investigation was to get quantitative statements on the degree of reduction for these immission components due to the constructive measure, thus enabling to optimize the construction (especially the slit width) itself. SAM

(Surface Active Monitoring) technique was employed using a glass-fibre paper impregnated with an alkaline solution. The papers were fixed in slide frames (candid size) and introduced by small bars in different heights into the slit between the protective and the original glazing. Comparative measurements were performed in the interior and outside the churches. After three months, the loaded samples were eluted with water and analyzed for sulfate and nitrate by ionchromatography. The whole campaign lasted one year.

The investigations performed exemplarily at a north faced window of Cologne Cathedral and at different windows of Neuendorf monastery yielded a distinct reduction of the immission components inside the slit compared to the deposition situation outside of the objects. The deposition rate for SO₂ was decreased by a factor of 15 to 40, NO₂ was reduced to about a tenth. Thus there was an immission situation inside the slit comparable to the interior situation of the churches. An evaluation of the effects produced by different slit widths was problematic due to only slight differences in the values measured. There was however a coarse trend that the deposition rate is slightly increased with enlarged slit openings. A comparison of the SAM results with those of a comparative study with special glass sensors demonstrated the accuracy of the technique.

Literatur

- Dannecker, W. (1987): Einsatz eines neuartigen Passiv-Sammler-Systems an Kulturbauten zur Messung sauer reagierender Schadgase in der Atmosphäre. Bautenschutz + Bausanierung, Sonderheft zum 1. Statusseminar des BMFT-Projektes „Steinzerfall/ Konservierung“, S. 46-50.
- Fuchs, D. (1990): Die Sensoren aus Würzburg: Schwaches Glas ganz stark.- Der Fraunhofer 1, 3-5.
- Huey, N.A. (1968): The Lead Dioxide Estimation of Sulfur Dioxide Pollution.- J. Air Poll. Contr. Ass. 18, 610-611.
- Kirchner, D. und Brüggerhoff, St. (1994): Die Katharinenkirche in Oppenheim - Klimatische und Immissionseinflüsse auf Stein- und Glassubstanz.- Metalla 1, 15-54.
- Luckat, S. (1980): Über die Immissions-Raten-Meßanlage.- Staub-Reinhalt. Luft 40, 425-427.
- Marfels, H, Fritsch, U. und Hochrainer, D. (1989): Entwicklung eines neuen Gerätes für die Immissionsratenmessung.- In: Immissions-Ratenmessung und Materialkorrosion, VDI-KRdL Schriftenreihe 11, 93-106.
- Oidtmann, S. (1994): Die Schutzverglasung - eine wirksame Schutzmaßnahme gegen die Korrosion an wertvollen Glasmalereien.- Technische Universität Eindhoven, 1-255.
- Rumpel, K. (1984): Ein Verfahren zur Feststellung potentieller Immissionsraten: Oberflächenaktive Monitore SAM (Surface active monitor). Monatsberichte aus dem Meßstellennetz des Umweltbundesamtes 7, S. 2-15.
- Schurath, U. (1985): Chemische Reaktionen von SO, NOx und organischen Verbindungen. in Becker, K.H.; Löbel, J. (Hrsg.): „Atmosphärische Spurenstoffe und ihr physikalisch-chemisches Verhalten“. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, S. 59-76.
- Wallar, M.A. & Huey, N.A. (1969): Evaluation of a Static Monitor of the Atmospheric Activity of Sulfuric Oxides, Nitrogen Dioxide and Chloride.- Proc. 62. Ann Meet. of APCA, Cincinnati.

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

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



Inhalt

Seite

B. Brunke, H.-J. Kunkel & St. Brüggerhoff

Das Sprengstoff-Ladegerät SLG 100

Betrachtungen zu Korrosion und Korrosionsschutz bei der Erhaltung von Technischem Kulturgut

3

D. Kirchner & St. Brüggerhoff

Depositionsratenmeßsysteme zur Bewertung der Immissionsbelastung in

Außenschutz-Verglasungen

11

Th. Rehren & L. Klappauf

... ut oleum aquis

Vom Schwimmen des Silbers auf Bleiglätte

19

M. Prange & H.-J. Götze

Analyse früher Kupfer- und Eisenschlacken mittels optischer Atomspektrometrie (ICP-OES)

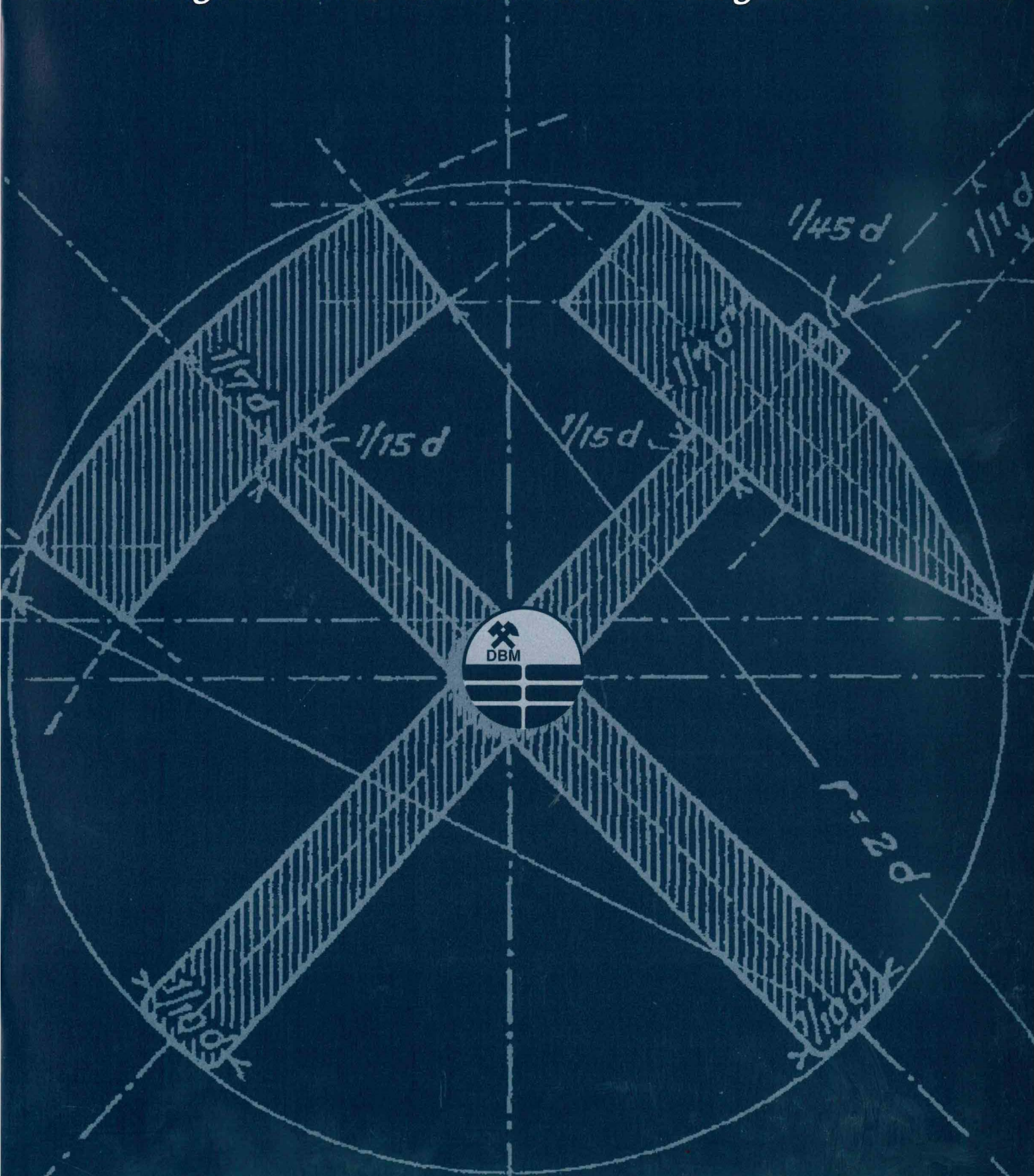
29

Nr. 2.1

Bochum 1995

METALLA

Forschungsberichte des Deutschen Bergbau-Museums



Impressum

Herausgeber:
Deutsches Bergbau-Museum Bochum
Museumsdirektor: Dr. phil. Rainer Slotta
Schriftleiter: Dr. rer. nat. Thilo Rehren
Layout- und Titelgestaltung:
Dipl.Des. Karina Schwunk/Dr. Thilo Rehren

Am Bergbaumuseum 28
D-44791 Bochum

ISSN 0947-6229