

1 Allgemeine Angaben

Antrag auf Gewährung einer Sachbeihilfe im Rahmen eines Paketantrages

Fortsetzungsantrag

DFG-Geschäftszeichen: Ju 354/5-1

1.1 Antragsteller

Dr.-Ing. Herbert Juling
Abteilungsleiter 'Analytische Baustoffmikroskopie'
geb. 28.10.1955, deutsch
Stiftung Institut für Werkstofftechnik
Paul-Feller-Str. 1
28199 Bremen
Tel.: 0421 / 53708-50
Fax: 0421 / 53708-10
e-mail: juling@mpa-bremen.de
privat: Platjenwerber Weg 31, 28717 Bremen
Tel.: 0421/635632
Fax: 0421/635633

Institut/Lehrstuhl

Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Mayr
Institutsleiter
geb. 03.12.1938, deutsch
Stiftung Institut für Werkstofftechnik Bremen
Badgasteiner Str. 3
28359 Bremen
Tel.: 0421 / 218-5300
Fax: 0421 / 218-5333
privat: Nachtigallweg 2, 28790 Schwanewede
Tel.: 0421/621712

1.2 Thema

Verhalten von Salzen in porösen Systemen - Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen mit Kryo-Methoden

1.3 Kennwort

Salze in porösen Systemen

1.4 Berichtszeitraum

01.10.2001 – 31.03.2003

1.5 Förderzeitraum insgesamt

01.10.2001 – 31.07.2004

Zusammenfassung

In vielen Bereichen der Geowissenschaften und der Bauschadensforschung ist das Phänomen der Salzverwitterung poröser Materialien, z.B. Naturstein, Ziegel, Beton, von grundlegender Bedeutung. Es ist bereits seit langem bekannt, daß Salzsprengung zur völligen Zerstörung des Korngefüges poröser Materialien führen kann. Der eigentliche Mechanismus des Phänomens Salzverwitterung ist jedoch bis heute nicht zufriedenstellend beschrieben.

Die Antragsteller sind der Überzeugung, daß Fortschritte nur durch grundlegende mikroskopische Untersuchungen einschließlich der Visualisierung und konsequenten thermodynamischen Behandlung des dynamischen Verhaltens von Salzen in porösen Systemen erzielt werden können.

Dieses komplexe Forschungsthema soll durch eine interdisziplinäre Kooperation im Rahmen eines Paketvorhabens bearbeitet werden, wobei dieses Teilprojekt den Part der mikroskopischen Visualisierung der Phasenumwandlungsvorgänge von Salzen im Porenraum übernimmt.

Ausgehend von den bisherigen Versuchen im ersten Teil dieses Projektes werden weitere systematische Untersuchungen des Phasenverhaltens von Salzen in porösen Materialien vorgeschlagen. Die zentrale Rolle spielt der Einsatz von Kryo-Methoden in der Rasterelektronenmikroskopie, die es ermöglichen, Phasenumwandlungsprozesse verfälschungssicher fixiert bis in den submikroskopischen Bereich hochauflösend zu studieren. Damit soll ein wesentlicher Beitrag zum Verständnis der dem Phänomen der Salzverwitterung poröser Materialien zugrundeliegenden Schadensmechanismen geleistet werden.

Ermöglicht, begleitet und ergänzt werden diese Untersuchungen durch die weiteren Teilprojekte dieses Paketantrages:

- des Instituts für Anorganische und Angewandte Chemie der Universität Hamburg mit der thermodynamischen Modellierung und experimentellen Untersuchungen von Phasenumwandlungen,
- des Deutschen Bergbau-Museums Bochum mit Untersuchungen der Zusammenhänge von Porenraum, Salztyp und hygrischer Dilatation,

- der Arbeitsgruppe Angewandte Optik der Universität Oldenburg mit Interferometrischen Verformungsmessungen mit hoher räumlicher Auflösung während der Kristallisation von Salzen.

2. Stand der Forschung, eigene Vorarbeiten

Im ersten Halbjahr des zur Zeit noch laufenden Projektes standen in diesem Teilprojekt organisatorische und Koordinierungsaufgaben im Vordergrund. Insbesondere die Einrichtung einer projekteigenen Internet-Domain mit Gestaltung der Webseiten und Einrichtung einer Salzdatenbank, die Einrichtung und Pflege eines Passwort-geschützten projektinternen Unterverzeichnisses und die Installation und Administration einer geschlossenen Mailingliste für die Projektpartner wurde übernommen.

Danach wurden die von den Projektpartnern vorgeschlagenen verschiedenen keramischen Materialien im Rasterelektronenmikroskop untersucht. Es folgten Untersuchungen zu den beobachteten Einfrierartefakten mit verschiedenen Salzen abhängig von deren Lösungskonzentrationen, die in der Anfangsphase von den Projektpartnern benutzt wurden.

Die Handhabung der Versuchsführung zur erfolgreichen Darstellung der Porenlösungen mit Hilfe der Kryo-Fixierung und –Mikroskopie wurden im ersten Teil des Projektes erarbeitet. Auch die Frage der alternativen Probenpräparation mit Hilfe der Kryo-Trocknung konnte zu Gunsten der in-situ-Kryo-Mikroskopie beantwortet werden, weil die dabei eintretenden Verfälschungen der Vorgänge im Porenraum eine reale Abbildung der tatsächlichen Gegebenheiten verhindern.

Es war im Vorfeld bekannt, dass auch bei der Kryo-Fixierung Präparationsartefakte auftreten, die (das hat sich in diesem Projekt bestätigt) von der Konzentration der Salzlösungen abhängen. Zum jetzigen Zeitpunkt des Projektes allerdings besteht die Meinung, dass die Kenntnis dieser Probenveränderungen gezielt als zusätzliche Informationen über Konzentrationsschwankungen im Porenraum genutzt werden kann.

Im nächsten Schritt wurde aufgrund der Erfahrungen aus Bochum bezüglich verschiedener Trocknungszeitpunkte in Dilatometerversuchen ein einfacher Versuchsstand aufgebaut, der durch Temperaturmessungen an der Oberfläche der Proben erste Anhaltspunkte für gezielte Probennahmen bei verschiedenen Trocknungszuständen zuließ. Im Rahmen dieser Vorversuche wurde auch überprüft, in wieweit eine Kryo-Trocknung im Rahmen dieses

Projektes benutzt werden kann, mit dem Vorteil des weniger großen Untersuchungsaufwandes verglichen mit der in-situ-Mikroskopie an kryo-fixierten Proben.

Im Verlaufe des Projektes wurden mehrere Materialkombinationen aus Substrat und Salz untersucht, wobei die Vorgaben aus den thermodynamischen Betrachtungen und den Dilatometerversuchen und Salzsprengtests der Projektpartners gemacht wurden. Insbesondere mit der Kombination Glasfritte als Substrat und Belastung mit Magnesiumsulfatlösung konnten erstmals die Phasenumwandlungsprozesse während der Trocknung kryo-mikroskopisch festgehalten werden. Diese Ergebnisse scheinen auch mit den thermodynamischen Überlegungen, den Dilatometer- und Korrosionsversuchen und den laserinterferometrischen Verformungsmessungen der Projektpartner korrelierbar zu sein. Andere Materialkombinationen sind zur Zeit in Arbeit. Für die Deliqueszenzuntersuchungen in Hamburg wurden dort vorbereiteten Proben mit Salz getränkt und anschließend kryo-getrocknet (siehe Ergebnisbericht Hamburg).

Die geplanten gezielten Probennahmen beim Projektpartner in Oldenburg im Laufe der dort durchgeführten Verformungsmessungen konnten zum bisherigen Zeitpunkt noch nicht erfolgen. Erst in jüngster Zeit sind aber auch dort entsprechende Versuche gelungen (siehe Bericht Oldenburg).

Ein ausführlicher Zwischenbericht über die bisherigen Ergebnisse ist als Anlage beigefügt.

3. Ziele und Arbeitsprogramm

3.1 Ziele

Das generelle Ziel des Teilprojektes des Instituts für Werkstofftechnik ist weiterhin, durch hochauflösende Abbildung von Phasenumwandlungsvorgängen im Porenraum bei Feuchtewechseln einen wesentlichen Beitrag zum Verständnis der Schädigungsprozesse durch lösliche Salze zu leisten. Es soll erreicht werden, die Salzkristallisation aus Porenlösungen darzustellen und Vorgänge bei Phasenwechseln zu visualisieren. Dabei werden bereits im ersten Teil des Projektes erarbeitete grundlegende Erkenntnisse über Lösungsvorgänge und morphologische Veränderungen der Salzmasse im Porenraum erweitert.

Im Rahmen dieses Paketprojektes wird zur Erreichung dieser Ziele die intensive inhaltliche und logistische Abstimmung mit den Projektpartnern fortgeführt.

Im hier beantragten Fortsetzungszeitraum sollen die Erkenntnisse an weiteren Substrat-Salz-Kombinationen vertieft werden, so dass der Schritt von idealisierten zu reale Bedingungen erfolgen kann. Insbesondere die Parameter Konzentration der Salzlösungen, Salzgemische, Porengrößenverteilungen und reale Luftfeuchtezyklen sollen mit einbezogen werden.

Im einzelnen werden aufbauend auf die bisherigen Versuche folgende konkreten Ziele verfolgt:

- Abschluss der Kryo-Versuche zur Darstellung des Trockungsverhaltens der Salze nach Befeuchtung mit Wasser
- Kryo-Untersuchung nach gezielter Präparation zu in Dilatationsmessungen festgelegten Zeitpunkten
- Erweiterung der Substratmaterialien mit größeren und kleineren Porenradien und verschiedenen Festigkeits- und Elastizitätseigenschaften
- Kryo-Versuche mit Variation der relativen Luftfeuchtigkeit
- In-situ-Probennahmen in Oldenburg
- Darstellung der Ergebnisse im Internet

3. Weiteres Vorgehen und Arbeitsplan

Im laufenden Projekt wurden die grundsätzlichen Fragen bezüglich der mikroskopisch-analytischen Methoden weitgehend geklärt. Es wurde gezeigt, dass die kryo-mikroskopischen Untersuchungen in Kombination mit den Dilatations- und Verformungsmessungen aufbauend auf thermodynamische Vorgaben einen großen Fortschritt zum Verständnis der Wirkungsweise von Salzen im Porenraum erbringen.

Kryo-Versuche zur Darstellung des Trockungsverhaltens der Salze

In den bisherigen Versuchen konnte sehr erfolgreich das Trockungsverhalten der Salzmasse nach Befeuchtung frischer Bruchflächen mit Wasser mit Hilfe der Kryo-Präparation zu verschiedenen Trocknungszeitpunkten dargestellt werden. Diese Versuche

sollen im ersten Teil des Verlängerungszeitraums an weiteren Materialien und Salzen nach Vorgabe des Projektpartners aus Bochum fortgeführt werden. Bisher ist das System Glasfritte + Magnesiumsulfat intensiv untersucht worden. Magnesiumsulfat erwies sich mit seinen vielen (weitgehend noch wenig beschriebenen) Hydratstufen als besonders ergiebig, insbesondere auch wegen des überraschenden Dehnungsverlaufs während eines Trocknungszyklusses. Die Glasfritten waren aus mikroskopischer Sicht gut für die Visualisierung der Salze geeignet, da diese bereits in den verschiedenen Abbildungsmodi gut vom Glassubstrat unterschieden werden konnten. Neben Magnesiumsulfat mit seinen vielen Hydratstufen soll Natriumsulfat mit den bereits gut beschriebene Hydraten mit einbezogen werden. Auch Natriumchlorid als hygroskopisches Salz ohne Hydratstufen (zumindest im zu vergleichenden Temperaturbereich) soll verwendet werden, um die wesentlichen Unterschiede des Trocknungsverhaltens auch mikroskopisch nachvollziehen zu können.

Die sich daraus ergebenden weiteren Substrat-Salz-Kombinationen werden auf die gleiche Weise wie im ersten Teil des Projekte aus den Dilatometerversuchen und Salzsprengtests in Bochum geliefert und vor der Kryo-Fixierung mit reinem Wasser betropft.

Kryo-Untersuchung nach gezielter Präparation zu in Dilatationsmessungen festgelegten Zeitpunkten

Bei der Befeuchtung mit Wasser und dem daran anschließenden Trocknungsprozess treten an der Oberfläche durch Lösungsfilme und Ausblühungen starke Veränderungen auf, die die laserinterferometrischen Verformungsmessungen stark stören. Es stellte sich allerdings im ersten Teil des Projektes heraus, dass bereits während der Dilatationsmessungen in Bochum im Laufe eines Trocknungszyklusses in relativ engen zeitlichen Rahmen die Zeitpunkte, an denen Umwandlungsprozesse einsetzen, bestimmt werden können. Es ist daher geplant, dies zu nutzen, um die Beprobungszeitpunkte weiter eingrenzen zu können. Das kann durch Probennahme in Bochum geschehen, oder auch an einem im Hause IWT vorhandenen baugleichen Dilatationsmessstand erfolgen.

Auch diese Versuche sollen mit den anderen bereits oben Salzen erfolgen.

Erweiterung der Substratmaterialien mit größeren und kleineren Porenradien und verschiedenen Festigkeits- und Elastizitätseigenschaften

Im weiteren Verlauf des Projektes sollen zusätzlich weitere Substrate mit einbezogen werden. Insbesondere sollen dabei die Festigkeits- und Elastizitätseigenschaften variiert werden. Korund-Keramik ist dafür geeignet und ist auch bereits in die bisherigen Versuchen vergleichend mit einbezogen worden. Allerdings bestand das Problem, dass eine gleichbleibende Qualität des Materials bisher vom Lieferanten nicht garantiert werden konnte (siehe Bericht aus Bochum).

Sowohl bei den Glasfritten, als auch bei den Korund-Proben wurde eine Verdichtung der Oberfläche unter den in Bochum praktizierten Trocknungsbedingungen beobachtet, und zwar sowohl bei der Verwendung von Magnesiumsulfat als auch bei Natriumsulfat. Daher sollen Substrate mit anderen Porengrößenverteilungen (größere oder kleinere Porendurchmesser) in diese Versuche mit einbezogen werden, da davon ausgegangen werden kann, dass die beobachtete Verdichtung der Außenzone der Proben wesentlich von der Porosität des Substrats beeinflusst wird. Das Probenmaterial wird vom Projektpartner in Bochum geliefert, die mikroskopischen Untersuchungen erfolgen in Bremen.

Außerdem haben die Untersuchungen in Hamburg ergeben, dass die Kinetik der Phasenumwandlungsprozesse offenbar durch die Porengrößen beeinflusst wird. Die mikroskopische Visualisierung stellt dabei eine unverzichtbare Interpretationshilfe dar. Im bisherigen Verlauf des Projektes hat sich ergeben, dass die in Bremen angewandte Methode der Kryo-Trocknung der in Hamburg mit Deliqueszenz-Messungen zu untersuchenden Proben von großem Vorteil ist. Diese Zusammenarbeit wird deshalb auch im Fortsetzungszeitraum weitergeführt.

Schließlich sollen auch Versuche an komplexeren Materialien (z.B. einfache Natursteinvarianten) vorgenommen werden, wobei allerdings wegen der zur erwartenden mikroskopisch unübersichtlichen Materialstruktur zunächst ein möglichst einfaches System gewählt werden soll (z.B. Obernkirchener Sandstein).

Versuche mit Variation der relativen Luftfeuchtigkeit

Im bisherigen Verlauf des Projektes wurden Trocknungszyklen an dem zur Verfügung stehenden Probenmaterial durchgeführt. Dabei wurde die Befeuchtung durch Betropfen der

Proben mit flüssigem Wasser, bzw. Salzlösung vorgenommen. Nach Literaturbeschreibungen zeigt Natriumsulfat bei reiner Erhöhung der Luftfeuchtigkeit keine oder nur geringe Umwandlungsdynamik. Die neuesten Ergebnisse der laserinterferometrischen Verformungsmessungen in Oldenburg an Glasfritten mit Magnesiumsulfat zeigen allerdings deutliche Effekte. Für den Beantragungszeitraum sollen daher (De-)Hydratationsvorgänge durch gezielte Erhöhung/Erniedrigung der relativen Luftfeuchtigkeit initiiert werden. Dabei werden die Umwandlungsprozesse durch reine Hydratation des niedrig hydratisierten Salzes in Porenraum zum Hochhydrat (und umgekehrt) mit kryo-mikroskopischen Methoden visualisiert. Es gab bei den Projektpartnern bisher Anzeichen dafür, dass dieser Vorgang bei Magnesiumsulfat gelingt, bei Natriumsulfat dagegen nicht.

Dies soll zunächst durch Vorversuche in Bremen erfolgen, aber insbesondere auch durch in-situ-Beprobung während der Messungen in Oldenburg. Damit wird der ursprüngliche Plan aufrechterhalten, die entscheidenden Zeitpunkte der Phasenumwandlungsprozesse in den Proben mit Hilfe der laserinterferometrischen Verformungsmessungen zu bestimmen.

Darstellung der Ergebnisse im Internet

Zum Abschluss des Projektes sollen die Ergebnisse des Gesamtpaketes auf der eigens dafür eingerichteten Internet-Domain dargestellt werden. Dazu gehört die bereits bestehende Salz-Datenbank, die detaillierte Beschreibung der Untersuchungsmethoden und die Darstellung der wichtigsten Ergebnisse. Ausführliche Ergebnisberichte sollen dort zum Download freigegeben und zur Diskussion gestellt werden.

4. Beantragte Mittel

Ein detaillierter Kostenplan ist in der Anlage 2 beigefügt.

4.1 Personalbedarf

Für das **IWT Bremen** ist im Rahmen dieses Projektes die Beschäftigung eines wissenschaftlichen Mitarbeiters der Vergütungsgruppe BAT IIa für drei Jahre vorgesehen (mikroskopische Untersuchungen, Versuchsplanung und Auswertung).

Des weiteren wird eine studentische Hilfskraft für 40 h/Monat zur Versuchsauswertung beantragt.

4.2 Wissenschaftliche Geräte

entfällt

4.3 Verbrauchsmaterial

Die in den Kostenplänen in Anhang 3 dargestellten Verbrauchsmaterialien ergeben sich für die mikroskopischen Aktivitäten anhand der Nutzung der Mikroskope. Dabei werden bei der Elektronenmikroskopie für Präparationsmaterial, Probenhalter, Gase und Chemikalien, etc. Gesamtjahreskosten von € 1.500,-- in Ansatz gebracht. Für die Arbeiten am Kryo-REM kommen als nicht unerheblicher Aufwand die Kosten für flüssigen Stickstoff, der mit 25 Litern pro Versuch kalkuliert werden muß, hinzu.

Für die Berichterstellung werden Kopierkosten, Datendisketten und Bürobedarf in Ansatz gebracht.

4.4 Reisen

Für vierteljährliche Projektbesprechungen und Beratungen der Projektpartner werden Reisen

- von Bremen nach Hamburg (IC 2.Klasse + ÖPNV + Tagesspesen für eintägige Reisen),
- von Bremen nach Bochum (IC 2.Klasse + ÖPNV + Tagesspesen für eintägige Reisen)
- von Bremen nach Oldenburg (105 km Dienstwagen ohne Tagesspesen)

angenommen. Diese Besprechungen werden wechselseitig bei den Projektpartnern durchgeführt. Für die Beprobungen in Oldenburg werden zusätzlich 5 Fahrten angesetzt.

Außerdem wird eine Reise zu einem internationalen Kongress mit aktiver Teilnahme zur Darstellung der Projektergebnisse beantragt und mit € 1.300,-- veranschlagt.

4.5 Sonstige Kosten

entfällt

5. Voraussetzungen für die Durchführung des Vorhabens

5.1 Zusammensetzung der Arbeitsgruppe

Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Mayr

Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Herbert Juling, Projektleiter

Dipl.-Krist. Frank Schlütter

Petra Meier, Technikerin

Manfred Gaertner, Technischer Assistent

Volker Koch, Mechaniker

5.2 Zusammenarbeit mit anderen Wissenschaftlern

entfällt

5.3 Auslandsbezug

entfällt

5.4 Apparative Ausstattung

Im IWT Bremen steht folgende mikroskopische Ausstattung zur Verfügung:

- Feldemissionsrasterelektronenmikroskop (FE-REM) HITACHI SEM 4004 mit EDX-System EDAX PV 9900 UTW und Kryo-Transfer/Präparationseinheit BALZERS
- Rasterelektronenmikroskop PHILIPS XL 30 mit EDX-System EDAX PV 9800
- Rasterelektronenmikroskop PHILIPS SEM 535 mit EDX-System EDAX PV 9900 ECON 4
- Rasterelektronenmikroskop JEOL 6400 mit EDX-System TRACOR Series 2
- Rasterelektronenmikroskop CAMSCAN 4 mit EDX-System EDAX PV 9900 ECON 4
- Transmissionselektronenmikroskop PHILIPS CM 12
- Präparationseinrichtungen
- Diverse Lichtmikroskope

5.5 Laufende Mittel für Sachausgaben

Hier werden die erforderlichen Anteile der Haushaltsmittel der in die Abwicklung des Vorhabens mit einbezogenen Abteilungen des IWT Bremen zur Verfügung gestellt.

6. Verwertungen

entfällt

7. Erklärungen

Ein Antrag auf Finanzierung dieses Vorhabens wurde bei keiner anderen Stelle eingereicht. Wenn wir einen solchen Antrag stellen, werden wir die Deutsche Forschungsgemeinschaft unverzüglich benachrichtigen.

8. Unterschriften

Bremen, den 30.04.2003

Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Herbert Juling

9. Verzeichnis der Anlagen

Anlage 1: Balkenplan

Anlage 2: Kostenplan

Anlage 3: Literatur der letzten 5 Jahre

Anlage 4: Zwischenbericht zum ersten Förderzeitraum (JU 354/5-1)

Anlage 1: Balkenplan IWT Bremen

	1. Quartal	2. Quartal	3. Quartal	4. Quartal
Abschluss der Kryo-Versuche zur Darstellung des Trockungsverhaltens der Salze nach Befeuchtung mit Wasser. (Korund- und andere Keramiken nach Vorgabe aus Bochum, Salze: Natriumsulfat und Natriumchlorid)	←→			
Kryo-Untersuchung nach gezielter Präparation zu in Dilatationsmessungen festgelegten Zeitpunkten	←→			
in-situ-Beprobung beim Projektpartner in Oldenburg zum Zeitpunkt der ersten Dehnung an ausgewählten Proben, Transport nach Bremen und Kryo-Mikroskopie		←→		
Kryo-Untersuchung salzbelasteter Proben nach Konditionierung in vorgegebenen Luftfeuchten (nach Vorgaben aus Hamburg)	←→			
Übertragung und Verifizierung der bisherigen Ergebnisse auf einfache Natursteinsysteme			←→	
Entwicklung von Modellvorstellungen zum Prozeß der Phasenumwandlungen anhand der gewonnenen Erkenntnisse in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern.				←→

Anlage 2: Kostenplan

	1 Jahr
4.1 Personalbedarf	
- Wissenschaftler(in)	BAT IIa
- Studentische Hilfskraft	480 Std.
4.3 Verbrauchsmaterial	
- REM-Bedarf (Kathoden, Probenhalter, Präparationsmaterial, Chemikalien, etc.)	1.500 €
- Fotolabor	250 €
- Flüssiggase (Stickstoff)	1.300 €
- Literatur	150 €
- Bürobedarf	200 €
Summe 4.3	3.400 €
4.4 Reisen	
- Hamburg	50 €
- Oldenburg	180 €
- Bochum	85 €
- Kongressreise	1.300 €
Summe 4.4	1.615 €

Anlage 3: Literatur der letzten fünf Jahre

SCHLÜTTER F.; JULING H.: Mikroskopische Untersuchungen an Testflächen, In: *Domstiftung Sachsen-Anhalt (Hrsg.): Kalksteinkonservierung am Westportal des Halberstädter Domes St. Stephan und St. Sixtus*, Abschlußpublikation, Leitzkau, 2002, S. 129-159

JULING H.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen an Lackschichten der Terrakottaarmee, in *"Die Terrakottaarmee des Ersten Chinesischen Kaisers Qin Shihuang"*, (in Deutsch, Englisch und Chinesisch) *Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege*, München, 2001, S. 522-534

SCHLÜTTER F.; JULING H.; HILBERT G.: Mikroskopische Untersuchungsmethoden in der Analytik historischer Putze und Mörtel, in *"Historische Fassadenputze - Erhaltung und Rekonstruktion"*, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart (Hrsg. Andreas Boué), 2001, S. 45-68

NEUMANN H.-H.; KUNZE N.; PACHE T.; SCHLÜTTER F.; JULING H.: Mikroskopische Untersuchungen an historischen Kalkmörteln von Feldsteinkirchen in Brandenburg, *Arbeitshefte des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege* 9 (1998), S. 56-86.

SCHLÜTTER F.; BLASCHKE R.; JULING H.: Zerstörungsarme Untersuchungen an Kalkmörteln vor Ort - Erfahrungen mit dem Labormobil, *Publikationen des EUROLIME-Treffens, 1.-2. 5.1998*, Mainz (Hrsg.: Inst. f. Steinkonservierung e.V., Mainz).

SCHLÜTTER F.; NEUMANN H. H.; JULING H.: Mikroskopische Untersuchungen zu den Putzfestigungen an der Feldsteinkirche Schönwalde. *Arbeitshefte des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege* 9 (1998), S. 111-130.

JULING H.: Cryo-Methoden für die mikroskopische Analyse von Baustoffen. *Seminar der Universität Münster, WWU 052190, Licht - und Elektronenmikroskopie im Anwenderverbund*, 25.2.1998, Münster.

JULING H.: The German Part of the European Network for the Promotion and Development of Diagnostic Techniques and Technologies for the Study, Research and Conservation of Historical Wall paintings. *First General Meeting of the Euronet for Diagnosis and Conservation of Icons*, 14.12.1998, Venedig, Italien.