

**Amtliche Materialprüfungsanstalt
der Freien Hansestadt Bremen***
ein Geschäftsbereich der
Stiftung Institut für Werkstofftechnik Bremen



Paul-Feller-Str. 1 28199 Bremen ☎ 0421 / 53708 0 📠 0421 / 53708 10
mail@mpa-bremen.de http://www.mpa-bremen.de

Abschlußbericht

DBU-Projekt

AZ 14964-45

Modellhafte Entwicklung von Schutzkonzepten und passiven Anlagen zum Raumklimaausgleich am Beispiel der national wertvollen umweltgeschädigten Wandmalereien im Schloss Rossewitz



**Bearbeitung:
Dr. Frank Schlütter
Sven Wallasch (im Auftrag IWT)**

Berichtsstand 17.07.05

**gefördert durch:
Deutsche Bundesstiftung Umwelt**



DAP-PL-3451.00

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAP Deutsches Akkreditierungssystem
Prüfwesen GmbH akkreditiertes Prüflaboratorium.

Die Anforderungen der DIN EN ISO 9001:1994 werden erfüllt.
Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren.

*errichtet am 1. Januar 1987 per Erlass über die Errichtung einer Amtlichen Materialprüfungsanstalt der Freien Hansestadt Bremen bei der Stiftung Institut für Werkstofftechnik, veröffentlicht im Amtsblatt der Freien Hansestadt Bremen 1986, Nr. 79, S. 603

Inhalt

1	Einleitung und Problemstellung	4
2	Vorbereitende Untersuchungen	9
2.1	Putze und Wandmalereien im Festsaal	9
2.1.1	Stratigraphische Untersuchungen (Putze und Wandmalerei)	9
2.1.2	Zustand und Schäden	10
2.2	Raumklima	13
2.3	Anforderungen an injektionsfähige Hinterfüllmörtel	14
3	Konservierungsmaterialien	15
3.1	KSE-gebundenes System	15
3.2	Dispergiertes Weißkalkhydrat (CalXnova)	15
3.3	Injektionsmörtel PLM- A	15
4	Laborprüfkörper	16
4.1	Materialien	16
4.2	Herstellung der Verbundprüfkörper	16
4.2.1	Prüfkörper 25x20 cm für Penetrationsversuche	16
4.2.2	Verbundprüfkörper 6x6 cm für Laborkennwerte	17
4.2.3	Mehrlagige Putzprüfkörper	18
5	Laboruntersuchungen	19
5.1.	Vorversuche an den Injektionsmassen	19
5.1.1	Vorbemerkungen	19
5.1.2	Fließfähigkeit	19
5.1.2.1	KSE-Modulsystem	19
5.1.2.2	CalXnova-Injektionsmörtel	20
5.1.2.3	PLM-AL-Injektionsmörtel	21
5.1.3	Sedimentation und Penetration – Versuchsreihe 1	22
5.1.4	Sedimentation und Penetration – Versuchsreihe 2	24
5.2	Haftzugfestigkeit an Verbundprüfkörpern	30
5.3	Mikroskopische Untersuchungen an Verbundprüfkörpern	31
6.	Objektmusterflächen an den Wandmalereien im Festsaal	38
6.1	Vorbemerkungen	38
6.2	Restauratorische Maßnahmen an Objektmusterflächen	38
6.3	Bewertung der Objektmusterflächen	45
6.3.1	Probefläche A – CalXnova-Basis	45
6.3.2	Probefläche B – PLM-AL-Basis	51
6.3.3	Probefläche C – KSE-System-Basis	53

7	Bauklimatische Untersuchungen und Maßnahmen zur Klimastabilisierung	56
7.1	Bauklimatische Ausgangssituation	56
7.2	Bauklimatische Untersuchungen	57
7.2.1	Messprogramm	57
7.2.2	Charakteristik des Eigenklimas	60
7.3	Maßnahmen zur Klimastabilisierung und Klimakontrolle	66
7.3.1	Klimastabilisierung durch Feuchtesorption	66
7.3.2	Aufbau der Feuchtepuffer	67
7.3.3	Wirkungsweise der Feuchtepuffer	68
7.4	Begleitende Untersuchungen	74
7.5	Variantenvergleich und Ausblick	74
8	Zusammenfassung und Bewertung	76
9	Anlagen	78
	Anlage I: Beschreibung der zur Konservierung der Wandmalereien im Schloss Rossewitz verwendeten Materialien	78

1 Einleitung und Problemstellung

Das frühbarocke Schloss Rossewitz gehört zu den architekturgeschichtlich wertvollsten Schloßanlagen im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern und ist, vor allem in Bezug auf seine Wandmalereien, von inzwischen anerkannt übernationaler Bedeutung. Der zentrale Festsaal mit seinen außergewöhnlichen - die Qualität der Schlossarchitektur nahezu in den Schatten stellenden - Wandmalereien aus der Entstehungszeit der Anlage war lange Zeit – wie auch der Baukörper allgemein – extremen Witterungseinflüssen ausgesetzt.



Abb. 1: Schloss Rossewitz: Illusionistische Architekturmalerei des Festsaaes, nach 1654, Zustand um 1970

Die nachfolgende Chronologie der Ruinenwerdung wie auch der begonnenen Sicherung und Rekonstruktion steht exemplarisch für eine Vielzahl ähnlich gefährdeter Objekte der Neuen Bundesländer.

1968	größere Bereiche der Dacheindeckung zerstört
1971	Leerstand
1973	Notkonservierung der Malereien im Festsaal im Zusammenhang mit Dreharbeiten zum Defa-Film 'Wahlverwandtschaften' (Acrylatüberzug, damit Bezug zu AZ 18049 / Barbarakapelle Grabstejn)
1982	Einsturz des Originaldaches, Zertrümmerung Saaldecke und -fußboden
1982	Sprengung erwogen
1986	1. Notdach
1991/1992	2. Dacheinsturz: Winterstürme zerstören das Notdach, herabstürzende Dachteile durchschlagen weitere Decken
1993/1994	2. Notdach
1995/1996	Deckeneinbau (Fußboden Festsaal und Weitere)

- 2000 Rekonstruktion des historischen Dachtragwerkes nach Bestandsplänen und Eindeckung nach örtlichen Befunden zur Dacheindeckung
- 2000 Einbau Lehmeinschubdecke Festsaal (projektbegleitend, DSD-Förderung, Eigenanteil)
- Treppenanlagen rekonstruiert, Fenstereinbau (projektbegleitend, DSD-Förderung, Eigenanteil)

Die in Folge der beschriebenen Umstände akut gefährdeten Malereien (insgesamt 400 qm) zeigten zu Beginn des Projektes im Jahre 2000 folgende Hauptschäden, die insgesamt als typisch für derart beanspruchte und gealterte Wandmalereien anzusehen sind:

- Ablösung (Blasen- und Hohlraumbildung) der verschiedenen, mehrlagigen und teils malschichttragenden Putze vom Mauerwerk als auch untereinander durch mechanische Entkopplung der Schichten
- Extreme Verblässung der Raumausmalung in Kombination mit Bindemittelabbauprozessen in der Malerei



Abb. 2: Schloss Rossewitz: Gleicher Wandbereich wie Abb. 1. Zustand der Raumausmalung 1995

Die voranschreitende Schädigung der Malereien forciert durch den im Jahre 2000 auch mittelfristig weiter absehbaren Leerstand des Festsaales – bei gleichzeitiger baulicher Sicherung - und damit auch weiterhin – wenn auch gedämpft - schroffen Temperatur- und Luftfeuchtewechseln im Innenraum führten zu folgenden Schwerpunkten der Projektbearbeitung:

- Suche nach geeigneten Technologien und Materialien der Hohlrauminjektage zur Wiederanbindung gefährdeter Putzlagen an den jeweiligen Untergrund (Sicherung des Bestandes) unter besonderer Berücksichtigung des KSE-Modulsystems

- Suche nach wartungsarmen, passiven – also energieunabhängigen – technischen Anlagen und Möglichkeiten einer Klimastabilisierung (‘Feuchtepuffer’)

Die besondere Modellhaftigkeit des Vorhabens liegt in folgenden Kriterien begründet:

- Wirkungsanalyse und –nachweis von Stoffkomponenten des KSE-Modulsystem für die Hinterfüllung von Putzblasen (aufbauend auf bisherigen positiven Erfahrungen im Bereich der Hinterfüllung)
- Wirkungsanalyse und –nachweis der im Festsaal zu installierenden „Feuchtepuffer“ (kulissenartig verschiebliche Großvorhänge aus spezialbefüllten Säcken) und damit Beitrag zur Klimastabilisierung in großdimensionierten, unbeheizten historische Räumen ohne klimapuffernde Ausstattungen
- Zeitliche Parallelität restauratorischer Maßnahmen (Musterflächen) und „klimapuffernder“ Installationen bei kontinuierlicher, meßtechnischer Verfolgung aller Eingriffe an Malerei und Raumhülle



Abb.3: Detailansicht zum kritischen Zustand der Malschichten

Folgende weitere Projektpartner waren beteiligt:

- Landesamt für Denkmalpflege Mecklenburg-Vorpommern, Frau Dr. Gnekow
- Restauratorenteam Schröder und Kluth
- Bauklima-Ingenieurbüro Wulf Eckermann
- Architekturbüro Bent Böhnke
- Firma ISOFLOC Naturbaustoffe
- Fachlabor für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege Eberhard Wendler
- Büro für Bautenschutz und Kunstgutpflege Sven Wallasch

Bedingt durch die Insolvenz des ehemaligen Projektträgers kam es zu zeitlichen Verzögerungen in der Projektbearbeitung, die jedoch letztlich die Projektergebnisse nicht negativ beeinträchtigten.

Kurzgeschichte von Schloß und Raumausmalung¹

Unter Einbeziehung von Resten einer bis ins 14. Jahrhundert zurückdatierten wendischen Burg entstand in den Jahren 1654/55 und 1670 das Schloß in Rossewitz als ein Auftragswerk der begüterten mecklenburgischen Landadeligen *von Vieregge*. Die quellenmäßig nicht bezeugte Autorenschaft des Architekten *Charle Philippe Dieussart* gilt als gesichert; er schuf mit Rossewitz den ersten mecklenburgischen Schloßneubau des Barocks. Durch die Heranziehung ausländischer Architekten und Künstler für die Errichtung und Ausgestaltung des Baues ist Rossewitz sehr stark in die gesamteuropäische Entwicklung der Architekturgeschichte eingebunden; es folgt vom Bautypus her besonders streng den Mustern Genueser Stadtpaläste und nimmt daher für den norddeutschen Raum einen außergewöhnlichen, solitären Stellenwert ein.

Hinsichtlich der Gebäudestruktur zeigt sich Rossewitz als viergeschossiger, neunachsiger Putzbau; die drei Mittelachsen der Schaufassade mit dem zentral gelegenen Hauptportal werden als übergiebelter Risalit präsentiert. Ausladende Fassadenglieder wie Gesimse, Pilaster, Konsolen und Putzquaderungen boten den Atmosphärien im Laufe der Jahrzehnte ausreichend Angriffsflächen um ihr Zerstörungswerk zu beginnen, daß nach dem Leerstand ab 1971 und ersten Dachleckagen rapide voranschritt.

Das Innere des Schlosses wird über die Eingangshalle antiker Ausbildung erschlossen. An der Rückseite (Hofseite) dieses Vestibüls befindet sich aus der Mittelachse nach links verschoben eine zweiläufige Treppe, die die Festsaaebene erschließt. Der Festsaal nimmt beide Obergeschosse ein und erstreckt sich von der Garten- bis zur Hofseite mit jeweils 3 Fensterachsen entlang der Mittelachse der Fassade.

Die rein architektonisch angelegte Perspektivmalerei stellt eine Besonderheit für Norddeutschland, mutmaßlich sogar für Deutschland insgesamt dar. An den Längswänden – verglichen mit den schmalen, hof- bzw. gartenseitigen Stirnwänden geringerer Plastizität der Ausmalung - ist mittig ein Säulengang mit Kolonnaden und Kreuzgratgewölben dargestellt; hohe korinthische Säulen sind einer Wand mit Pilastergliederungen vorgestellt. Während die Architekturmalerei der Stirnwände eine Begrenzung des Saales darstellt, wird an den Längswänden also eine Öffnung zu Räumen illusioniert: Der Wandebene malerisch hinterlegt ist eine zweite Wandschicht ausgeführt.

Weder Entstehungszeit noch Autor der illusionistischen Wandmalereien sind quellenmäßig überliefert. Anhand von Einzelformen und System wurde die Raumausmalung aber in das späte 17. Jh. datiert und von norditalienischen Vorbildern abgeleitet. Die geistige Nähe von gebauter und gemalter Architektur begründet die Annahme einer zeitlich relativ schnell aufeinanderfolgenden Entstehung von Gebäude und Wandmalerei.

Eine Beteiligung des norddeutschen Barockmalers *Johann Oswald Harms* (u.a. Deckenfresken des Dresdener Schlosses) wird vermutet.

¹ Gnekow, Bettina: Schloß Rossewitz; in: Denkmalschutz und Denkmalpflege in Mecklenburg-Vorpommern; Heft 4; 1997



Abb. 4: Schloss Rossewitz: Zerstörung von Decken und Gewölben beim Einsturz des 2. Daches (1. Notdach), hier Blick aus der Eingangshalle unter dem Festsaal in den Festsaal

Das Projekt wurde mit maßgeblicher fachlicher Unterstützung des Landesamtes für Denkmalpflege Mecklenburg-Vorpommern und des Restauratoren Fachverbandes e.V. vorbereitet und durchgeführt.

Der Deutschen Bundesstiftung Umwelt sei an dieser Stelle für die großzügige Unterstützung gedankt.

2 Vorbereitende Untersuchungen

Vor der Beantragung des Projektes wurden materialkundliche Untersuchungen zum Zustand des Putzes und der Malereien sowie zum Feuchte- und Salzgehalt im Mauerwerk durchgeführt (Untersuchungsbericht der MPA Bremen M 97-3115).

2.1 Putze und Wandmalereien im Festsaal

2.1.1 Stratigraphische Untersuchungen (Putze und Wandmalerei)

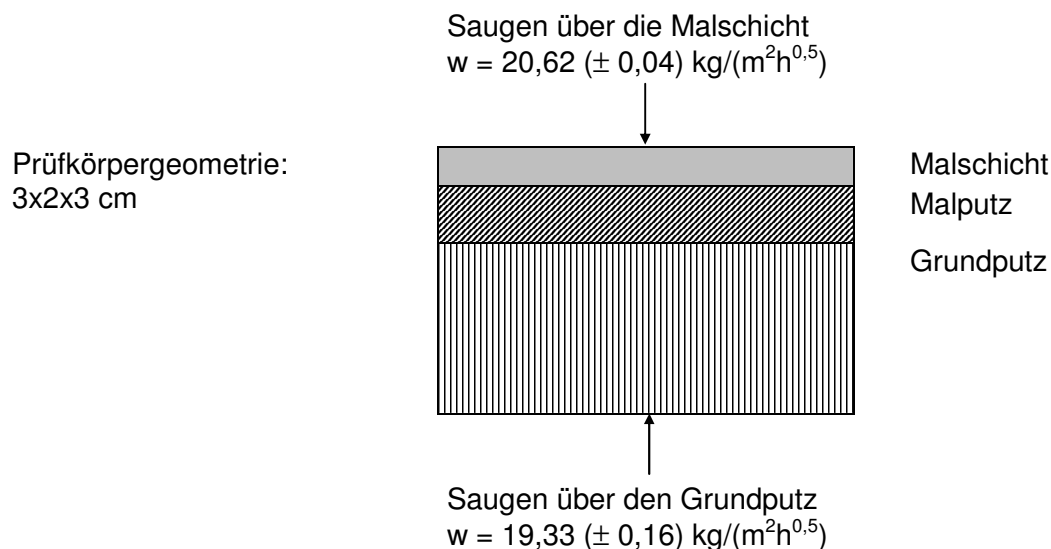
Hierzu erfolgten an jeweils einer Probe der W-Wand, der S-Wand und der N-Wand licht- und rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen. Entnommen wurden die Proben in Bereichen, die bereits äußerlich Schäden aufwiesen (Randbereiche von Fehlstellen oder Rissen).

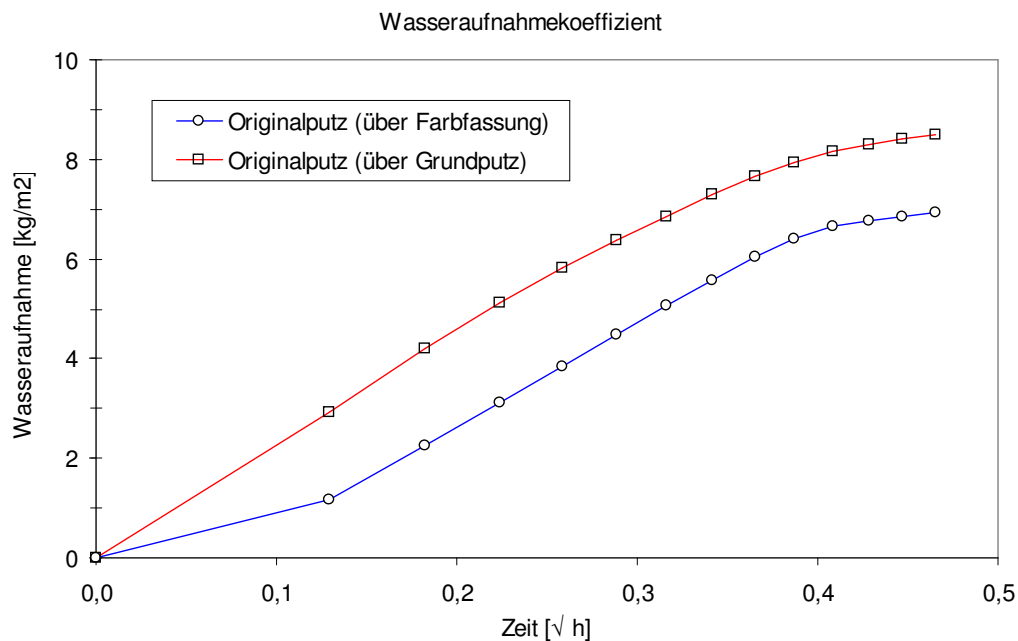
Der Aufbau der Putze war an allen sondierten Stellen prinzipiell gleich. Auf einen groben Grundputz folgen zwei wesentlich feinere so genannte Malputzschichten, deren Zuschläge im Mittel um den Faktor 3 kleiner sind. Die Malputze sind mikroskopisch als gleich zu bewerten. In der Kontaktzone ist eine dünne Sinterhaut zwischen den Putzen erkennbar. Wahrscheinlich wurden die Malputze nacheinander in zwei Arbeitsgängen ohne vorherige Entfernung der Sinterschicht aufgebracht.

Nr.	0	1	2	3
Ansprache	Grundputz	Malputz 1	Malputz 2	Malschicht
Dicke	10-20 mm	3-8 mm		bis 100 µm (Leimtechnik) bis 250 µm (Kalktechnik)

Die Stärke des Grundputzes beträgt 10 bis 20 mm, die Schichtdicke der Malputze schwankt zwischen 3 und 8 mm.

w-Wert-Ermittlung über den gesamten Putzaufbau





Bewertung:

Über den Grundputz erfolgt das Saugen gleichmäßig, über die Malschicht tritt zu Beginn eine Verzögerung auf. Sprünge an den Grenzen der Putzschichten sind nicht erkennbar. Die w -Werte des Putzes sind als sehr hoch einzustufen. Der Originalputz verfügt damit über eine hohe kapillare Förderleistung, d.h. Wasser wird sehr rasch transportiert. Damit ist ein optimales Vornässen möglich. Wahrscheinlich liegen damit auch günstige Voraussetzungen für die Applikation flüssiger Konservierungsmittel über die Malschicht (z.B. KSE zur strukturellen Festigung) vor. Die gegenüber Wasser erhöhte Molekülgröße ist zu berücksichtigen. In entsprechenden Vorversuchen ist sicherzustellen, dass es keinen „Stau“ an den Oberflächen gibt, der zu Überfestigungen führen könnte.

2.1.2 Zustand und Schäden

Feuchte- und Salzgehalte (Tiefenprofile)

Gravimetrische Feuchtebestimmung am Bohrmehl

Feuchtemessungen wurden an der N-Wand und an der O-Wand im Festsaal durchgeführt., in der linken Laibung des rechten Fensters der N-Wand wurde ein Tiefenprofil erstellt. An der O-Wand wurde ein dreistufiges Höhen- und Tiefenprofil angelegt. In allen Profilen folgte die Einteilung der Tiefenabschnitte (Segmente) den Schadensbildern (Schalenbildung) bzw. den erkennbaren Materialgrenzen.

Die Feuchtwerte liegen in fast allen gemessenen Abschnitten unter 2 Gew.%. Lediglich der Grundputz an der N-Wand (Fensterunterkante) weist mit 4,3 Gew.% erhöhte Feuchtwerte auf. Geringfügig über der Ausgleichfeuchte liegende Werte wurden an der O-Wand in 6 m Höhe im Ziegel (max. 3 Gew.%) sowie im Fugenmörtel vor (3,4 Gew.%) festgestellt.

Quantitative chemische Salzanalysen am Bohrmehl

Die quantitativen Salzanalysen wurden im Anschluß an die Feuchtebestimmung an den jeweiligen Putzschichten bzw. Bohrmehlsegmenten durchgeführt.

Die daraus resultierenden Salzprofile zeigen eine einheitliche Tendenz: Nennenswerte Salzanreicherungen liegen v.a. in den Malputzen und Malschichten vor, teilweise auch im Feinputz. Es handelt sich dabei fast ausschließlich um Gips.

O-Wand: Die Gipsgehalte, die aufgrund der Abwesenheit von Alkalisulfaten aus dem Sulfatgehalt berechnet werden können, liegen an der O-Wand zwischen 0,38 und 1,1 Gew.%. Fehlt der Malputz, verschiebt sich der Gipshorizont entsprechend in die Tiefe. Im Sockelbereich liegt in der Malschicht zusätzlich eine geringe Nitratbelastung vor (0,2M%).

N-Wand: Hier wurden die höchsten Gipsgehalte festgestellt. Sie betragen im Malputz und der Malschicht etwa 2,4 Gew.%, im Feinputz (7-10 mm Tiefe) 0,27 Gew.%. In geringen Mengen treten auch Nitrate auf. Es werden Konzentrationen von 0,1 M% erreicht, die bis in 14 cm Tiefe etwa konstant sind.

Bewertung der Feuchte- und Salzgehalte (Tiefenprofile)

Die untersuchten Wandmalerei- und Mauerwerkspartien zeigen eine geringe Feuchtebelastung und eine sehr geringe bis sehr geringe Belastung mit leicht löslichen Salzen (Nitrate, Chloride, Alkalisulfate). Ein Eintrag leicht löslicher Salze bzw. eine Mobilisierung leicht löslicher Salze aus dem Mauerwerk als Folge der jahrelangen Durchfeuchtung hat offenbar nicht stattgefunden. Im Grundputz sowie im Mauerwerk sind die Salzgehalte i.a. sehr gering.

Hinsichtlich der Gipsbelastung ist zu berücksichtigen ist, dass die analysierten Probensegmente in der Regel 3 mm stark sind, d.h. die ermittelten Gipskonzentrationen stellen einen integralen Wert über das gesamte Probenvolumen dar. Die mikroskopischen Untersuchungen zeigen jedoch, dass sich der Gips in einer Malschicht von 0,2 mm Dicke konzentriert. Das bedeutet, dass in den Malschichten mit relativ hohen Gipskonzentrationen zu rechnen ist.

Mikrobiologische Untersuchungen

Zur genaueren Bewertung der mikrobiologischen Belastung wurden an ausgewählten Proben folgende Untersuchungen durchgeführt:

Quantitative Bestimmung von

- Bakterien
- Pilzen
- Aktinomycceten
- Bakterien + Hefen
- Algen

PAS-Anfärbung auf kohlehydratreiche Schleime

ATP-Bestimmung

Bewertung der mikrobiologischen Untersuchungen

Die ermittelten Keimzahlen für Bakterien, Pilze bzw. Bakterien + Hefen sind als durchweg gering zu bewerten. Nur an einer der vier untersuchten Proben konnte ein deutlicher Biofilm nachgewiesen werden. An dieser Probe aus dem oberen Bereich der O-Wand wurden auch die höchsten „Aktivitäten“ gemessen, wobei ein ATP-Wert von 2.302 immer noch relativ niedrig ist.

Die mikrobiologischen Aktivitäten sind als gering einzuschätzen.

Mikroskopische Untersuchungen der Putze und Malschichten

Der Zustand des Putzsystems ist bedenklich schlecht. Folgende Gefügeschäden liegen vor und müssen konservatorisch behandelt werden:

	Beschreibung	Rißweiten
1	Lockerungen im Grundputz (Saumporen)	< 10 µm
2	Ablösung zwischen Grundputz und Malputzen	50-150µm, stellenw. bis 1,5 mm
3	Ablösung im Kontaktbereich der Malputze bzw. im äußeren Malputz in der Nähe der Sinterschicht	50-100µm stellenw. bis 400 µm
4	Oberflächenparallele Risse im Kontaktbereich der Malputze bzw. im äußeren Malputz („Aufblättern“ des in mehrere dünne Schalen)	10-50 µm
5	Feine, kurze Risse in allen Putzschichten	10-20 µm

Bewertung des Erhaltungszustandes der Wandmalereien

Die Wandoberflächen mit den Fassungen zeigen bis in eine Tiefe von 350 µm Veränderungen, die wahrscheinlich auf die langjährigen Einwirkungen von Feuchtigkeit, Mikrobiologie, Staub, Schmutz zurückzuführen sind. Die Auswirkungen können wie folgt beschrieben werden:

- calcitische Bindemittelbestandteile teilweise durch Gips ersetzt
- geringe Belastung mit leicht löslichen Salzen (Nitrat)
- Malputz + Malschicht z.T. gering bis stark vergipst (inhomogenes Erscheinungsbild)
- teilweise vollständiger Abbau der Malschicht (Pigmentverlust, Bindemittelabbau) hat zu Verblassungen der Malereien geführt
- Fassungen häufig nur noch reliktsch erhalten (einzelne Pigmente in Zuschlagkornwickeln und Vertiefungen des Malputzes)
- starke mikrobiologische Besiedlung, aber nur sehr geringe Aktivität
- Lösungs- und Rekristallisationsvorgänge an den calcitischen Bestandteilen (Mikrokarst)
- Vergrauungen werden v.a. durch Deposition von Staubpartikeln auf den rauen Oberflächen, auf geneigten Malereipartien sowie auf Biofilmen hervorgerufen
- Entstehung von Calcitschichten auf den pigmentierten Malschichten durch Kristallisation aus Ca-haltigen Lösungen oder durch Umwandlung von Kalk-Casein
- Relikte alter Konservierungen

2.2 Raumklima²

Im Zeitraum von August 1997 bis September 1998 wurden bauklimatische Basisdaten des Festsaales, des Außen- sowie des Nahfeldklimas gewonnen um

- Charakteristik und Schadenspotential von Klimaverläufen und –einwirkungen zu erkennen
- Konzeptionelle Schlußfolgerungen zur Projektierung und Dimensionierung der „Feuchtepuffer“ zu entwickeln.

Das Messprogramm stellte die kontinuierliche Erfassung folgender Kennwerte und Kennwertverläufe sicher:

- Temperatur- und Luftfeuchteverläufe der Außenluft
- Temperatur- und Luftfeuchteverläufe der Raumluft
- Temperaturverläufe an Innenwandoberflächen unterschiedlicher Exposition

Die baulichen Randbedingungen während des Messzeitraumes waren gekennzeichnet durch

- Notdach mit starker Durchlüftung des Raumes (Stahlbinder mit Blecheindeckung, Luftwechsel vor allem über Mauerkronen)
- Provisorischer Fensterverschluß mit temporären Holzrahmen und transparenten Kunststoffplatten
- Gänzlich Fehlen von Ausstattungsteilen und anderen feuchteabsorbierenden Pufferflächen

Grundsätzlich wurde dabei festgestellt, daß sich äußere Schwankungen der Temperatur- und Luftfeuchteverhältnisse zwar geringfügig gedämpft aber ohne zeitliche Verzögerung im Festsaal niederschlagen. Die permanenten Kurzzeitschwankungen sind als extrem einzustufen, wobei dieses nicht gänzlich unerwartete Klimaverhalten auf den hohen Luftwechsel bedingt durch das stark durchlüftete Dach zurückzuführen ist. Im Jahresgang schwankten die Temperaturen im Festsaal zwischen -4 Grad Celsius und 28 Grad Celsius, woraus sich eine Schwankungsbreite von 32 Kelvin ableitet. Die Schwankungsbreite der relativen Luftfeuchte betrug im gleichen Zeitraum annähernd 70%, von 30% rF im Hochsommer bis zu 97% rF im Frühjahr.

Die Tagesmittelwertkurve der relativen Luftfeuchte im Festsaal erreicht im kompletten Jahresgang fast immer Werte zwischen 80 und 90%, sie pendelt damit auf extrem hohem Niveau, das sogar im Jahresmittel 5% über den Außenwerten liegt. Ursache hierfür sind die im Innenraum verglichen mit den Außenverhältnissen geringfügig niedrigeren Lufttemperaturen im Festsaal. Gleichzeitig wurde der interessante Umstand nachgewiesen, daß äußere Feuchtespitzen (Maximalwerte der relativen Luftfeuchte) direkt im Innenraum wirksam werden; Feuchtesenken (Minimalwerte der relativen Luftfeuchte) der Außenluft hingegen sind von nur geringem Einfluß auf das Raumklima, da hier Raumschale spontan Feuchte abgibt und damit der Absenkung der Luftfeuchte entgegenwirkt.

Mit den beschriebenen Vorgängen verbunden sind folglich hohe und permanente thermisch-hygrische Streßsituationen für die Malschichten und den Malschichtträger. Im Falle eintretender Feuchtesenken von außen kommt der Umstand hinzu, daß die bauliche Hülle Feuchte an die Raumluft abgibt; d.h. Diffusionsprozesse in Gang kommen die den Transport gelöster Stoffe aus dem Malschichtträger zur Malschicht hin ermöglichen (Transport von gelösten Verbindungen in monomolekularen Feuchtefilmen).

² Eckermann, Wulf: Schloß Rossewitz – Klimauntersuchung; unveröffentl. Bericht ZHD Fulda; 1998

Gleichzeitig wurde aus den Messungen die Gefahr der Taupunktunterschreitung ersichtlich. Sind die Oberflächentemperaturen aufgrund der Speicherwirkung der massiven Wände eine zeitlang tiefer als die Lufttemperaturen kommt es zu Effekten der „Sommerkondensation“.

Zusammenfassend lässt sich die klimatische Situation wie folgt kennzeichnen:

- Verläufe von Außen- und Innenklima praktisch ohne Phasen- und mit nur geringer Amplitudenverschiebung, somit schroffe Klimawechsel auf den Maleroberflächen in hoher Frequenz
- Vor allem hohe, sogar über dem Niveau der Außenluft liegende Raumluftfeuchten
- Gefahr der Taupunktunterschreitung

2.3 Anforderungen an injektionsfähige Hinterfüllmörtel

- keine Sedimentation des Frischmörtels
- sehr gutes Fließvermögen
- sehr gute Penetrationseigenschaften
- möglichst geringer Wassergehalt
- geringes Schwinden
- niedriger E-Modul
- gute Haftungseigenschaften, ausreichende Haftzugfestigkeit
- Druck- oder Biegezugfestigkeiten nicht höher als die der am Objekt vorhandenen Materialien
- gute Beständigkeit im Salzsprengtest
- Frostbeständigkeit (bei Injektionen im Außenbereich)
- Kapillare WA und Wasserdampfdiffusion möglichst nahe an der des Putzes

3 Konservierungsmaterialien

Im Projekt wurden folgende handelsübliche, in der Restaurierung/Konservierung häufig eingesetzte Materialien verwendet:

- KSE-gebundenes System
- Hinterfüllmaterial auf der Basis Dispergiertes Weißkalkhydrat
- aus „neutralem Kalk“ hergestellter Injektionsmörtel

3.1 KSE-gebundenes System

Wirkstoff/Bindemittel: **Kieselsäureester**

Material:

REMMERS F 100 oder F 300 (KSE):
REMMERS 500 STE Hinterfüllmasse (KSE + Füllstoffe)

Anwendungsbereich:

Strukturelle Putzfestigung
Hinterfüllung unterschiedlich dimensionierter Hohlstellen

3.2 Dispergiertes Weißkalkhydrat (CalXnova)

Wirkstoff/Bindemittel: **Dispergiertes Weißkalkhydrat (DWKH)**

Material:

CalXnova (DWKH + Zuschläge und Zusatzmittel)

Anwendungsbereich:

Hinterfüllung unterschiedlich dimensionierter Hohlstellen

3.3 PLM-A - Hinterfüllmörtel

Wirkstoff/Bindemittel: **„Neutrales“ Kalkhydrat**

Material:

PLM-A (Kalkhydrat + inerte Zuschläge)

Anwendungsbereich:

Hinterfüllung unterschiedlich dimensionierter Hohlstellen

4 Laborprüfkörper

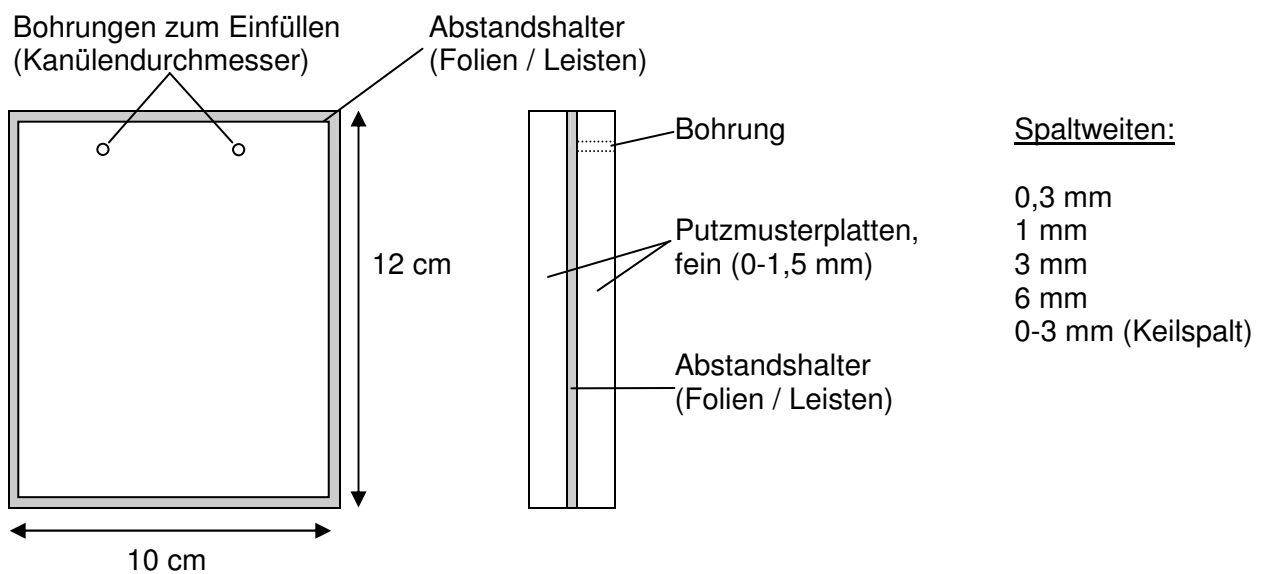
4.1 Materialien

Die im Gliederungspunkt 4.2 beschriebenen Verbundprüfkörper wurden aus Putzmusterplatten gefertigt, die von der Fa. Colfirmat Rajasil zur Verfügung gestellt wurden.

Luftkalkputz, fein (Körnung 0 - 1,5 mm); Größe 25 x 20 cm

4.2 Herstellung der Verbundprüfkörper

4.2.1 Prüfkörper 25x20 cm für Penetrationsversuche (aus halbierten Putzmusterplatten)

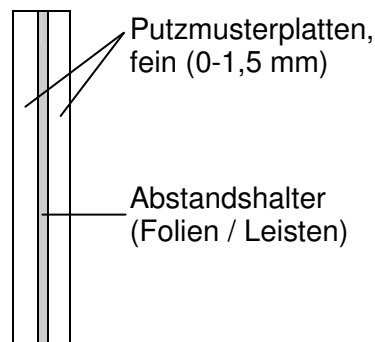
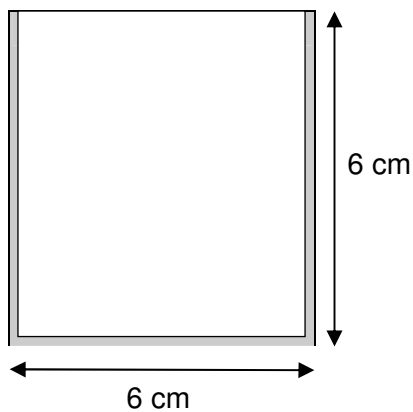
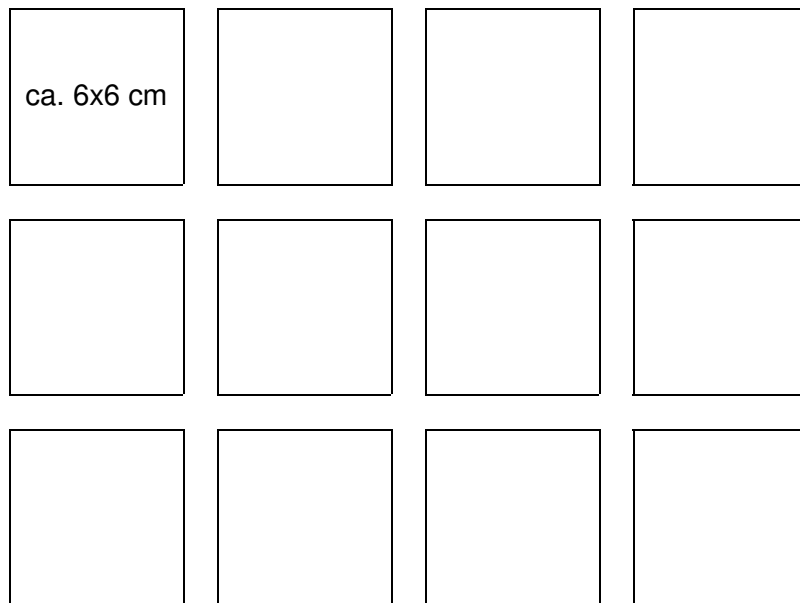


Spaltweite [mm]	Anzahl der Verbundprüfkörper 25x20 cm (Penetrationsversuche)			
	500 STE	500 STE + Zuschläge	DWKH	PLM-A
0,3	1	1	1	1
1	1	1	1	1
3	-	1	1	1
6	-	1	1	1
0-3 (Keilspalt)	1	1	1	1

Anzahl der Verbundprüfkörper (gem. Tabelle): 18
Reserve: 6
Bedarf an Putzmusterlatten (25x20 cm): 24

4.2.2 Verbundprüfkörper 6x6 cm für Laborkennwerte (aus Putzmusterplatten)

Sägen der Putzplatten (12 Plättchen aus einer Putzmusterplatte)



Spaltweiten:

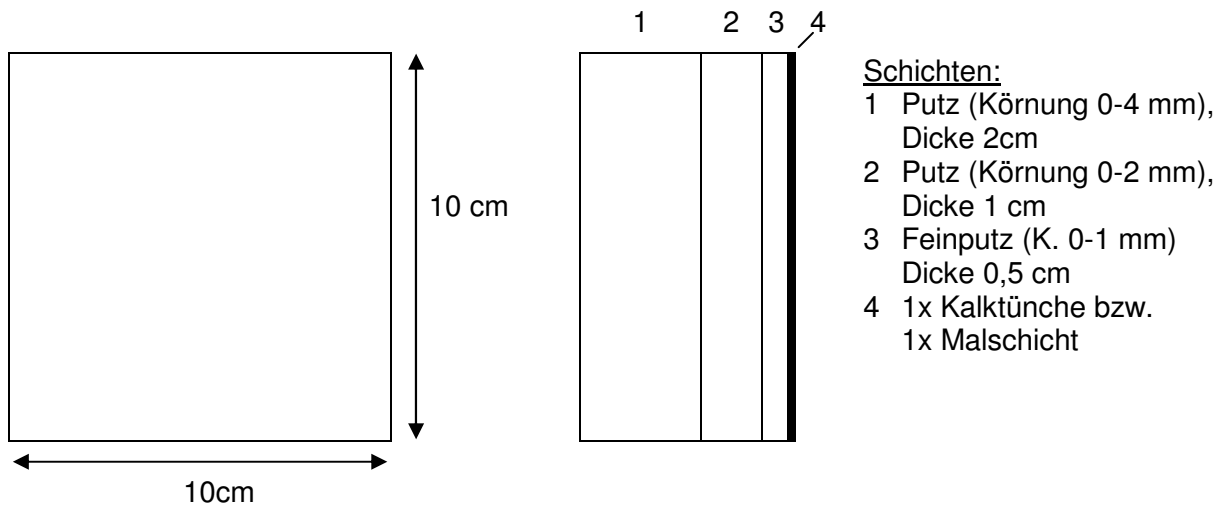
- 0,3 mm
- 1 mm
- 3 mm
- 6 mm
- 0-3 mm (Keilspalt)

Hinterfüllmassen können von oben eingefüllt werden.

Spaltweite [mm]	Anzahl der Verbundprüfkörper 6x6 cm (Laborkennwerte)			
	500 STE	500 STE + Zuschläge	DWKH	PLMA
0,3	5	5	5	5
1	5	5	5	5
3	5	5	5	5
6	5	5	5	5

Anzahl der Verbundprüfkörper (gem. Tabelle): 80 (= 160 Putzplättchen)
 Reserve: 20 (= 40 Putzplättchen)
 Bedarf an Putzmusterplatten (25x20 cm): 20

4.2.3 Mehrlagige Putzprüfkörper (aus Werk trockenmörtel)



Prüfkörperanzahl gesamt : 20 Stück, davon

- 10 Stück frisch in frisch
(jeweils 1 Tag Standzeit vor dem Auftragen der nächsten Putzschicht)
- 10 Stück mit Sinterschichten
(jeweils 1 Woche Standzeit vor dem Auftragen der nächsten Putzschicht)

Als Bindemittel wurde der gleiche Kalk verwendet, aus dem die Fa. Colfirmat Rajasil die Putzmusterplatten herstellt.

Als Bindemittel für die Malschicht wird ein für Wandmalereien typisches und häufiges Bindemittel verwendet (z.B. Leim).

Laboruntersuchungen:

- Dilatometermessung im Klimaschrank
- w-Werte in beiden Richtungen
- Trocknungsverhalten durch die Oberfläche

5. Laboruntersuchungen ³

5.1 Vorversuche an den Injektionsmassen

5.1.1 Vorbemerkungen

Vorbereitend auf die geplanten Musterflächen für die Wandmalereien im Schloss Rossewitz wurden die zur Verwendung vorgesehenen Festigungsmittel und Füllstoffe hinsichtlich bestimmter Verarbeitungseigenschaften untersucht. Diese Versuche durch die Restauratoren Kluth und Schröder erfolgten im Restaurierungsatelier Kluth in Mistorf in den Zeiträumen Mai/Juni 2001 und Juni bis August 2004.

Hierzu wurde zuerst die Fließfähigkeit der bereits im Kapitel 3 vorgestellten Produkte und Stoffe geprüft. Im Zusammenhang mit diesen Konservierungsarbeiten wurden die Produkte KSE-Modul-System der Firma Remmers, das dispergierte Weiskalkhydrat der Firma CalXnova sowie der Injektionsmörtel PLM-AL vertrieben durch die Firma Kremer Farbmühle untersucht. Die Fließfähigkeiten wurden hierbei zunächst auf einer Glasplatte, anschließend auf einer Putzplatte im Neigungswinkel von 30° gemessen. Hierbei wurde von den empfohlenen Herstellerrezepturen ausgegangen, die in den Versuchsreihen modifiziert wurden. Weiterhin wurden Sedimentations- und Penetrationsproben mit ausgewählten Rezepturen angefertigt.

Nach den Vorversuchen wurden die Prüfkörper mit den ausgesuchten Rezepturen verfüllt, mit denen die Sedimentationsproben durchgeführt wurden. Diese werden durch die Materialprüfungsanstalt Bremen ausgewertet.

5.1.2 Fließfähigkeit

5.1.2.1 KSE-Modulsystem

Versuch 1.1 auf Glasplatte:

- Remmers KSE-System → KSE 500 STE + Füllstoff A + Füllstoff B
- Empfohlene Rezeptur lt. Merkblatt 100 ml + 60 g + 30 g
- Lauffähigkeit auf einer Glasplatte, in einem Winkel von 30°, Probenmenge je Versuch = 0,5 ml

Lfd. Versuch	Kieselsäureester KSE 500	Füllstoff A	Füllstoff B	Lauffähigkeit
1	50 ml	60 g	30g	pastös, keine Lauffähigkeit
2	100 ml	60 g	30 g	162 mm
3	150 ml	60 g	30 g	227 mm
4	200 ml	60 g	30 g	238 mm
5	250 ml	60 g	30 g	265 mm
6	300 ml	60 g	30 g	278 mm
7	100 ml	- -	- -	361 mm

³ Kluth, Fred; Schröder, Jörg: Vorbereitende Materialuntersuchungen zur Konservierung der Wandmalereien im Schloß Rossewitz, unveröfftl. Bericht im Auftrag MPA Bremen

Versuch 1.2 auf Putzplatte:

- Remmers KSE-System → KSE 500 STE + Füllstoff A + Füllstoff B
- Empfohlene Rezeptur lt. Merkblatt 100 ml + 60 g + 30 g
- Lauffähigkeit auf einer Putzplatte, in einem Winkel von 30°, Probenmenge je Versuch = 0,5 ml

Lfd. Versuch	Kieselsäureester KSE 500	Füllstoff A	Füllstoff B	Lauffähigkeit
1	50 ml	60 g	30g	pastös, keine Lauffähigkeit
2	100 ml	60 g	30 g	97 mm
3	150 ml	60 g	30 g	176 mm
4	200 ml	60 g	30 g	180 mm
5	250 ml	60 g	30 g	186 mm
6	300 ml	60 g	30 g	192 mm
7	100 ml	--	--	148 mm

- Bewertung:**
- Probe 2 hat eine gleichmäßige, fließfähige Konsistenz, gute Fließeigenschaften und trocknet mit leichtem Volumen auf
 - Bei zunehmender Verdünnung zeigen die Proben zunehmende Laufeigenschaften, verlieren jedoch an Volumen
 - Probe 7 (ohne Füllstoffe) verliert an geradliniger Fließfähigkeit – kapillare Fließfähigkeit in alle Richtungen nimmt hingegen zu

5.1.2.2 CalXnova Injektionsmörtel

Versuch 2.1 auf Glasplatte:

- Calxnova Injektionsmörtel auf der Basis von dispergiertem Weißkalkhydrat
- Lauffähigkeit auf einer Glasplatte, in einem Winkel von 30°, Probenmenge je Versuch = 0,5 ml

Lfd. Versuch	Stammmasse CalXnova	Zusatz von destilliertem Wasser	Lauffähigkeit
1	10 ml	0 ml	37 mm
2	10 ml	1 ml	124 mm
3	10 ml	2 ml	129 mm
4	10 ml	3 ml	134 mm
5	10 ml	4 ml	206 mm
6	10 ml	5 ml	254 mm
7	10 ml	10 ml	390 mm

Versuch 2.2 auf Putzplatte:

- Calxnova Injektionsmörtel auf der Basis von dispergiertem Weißkalkhydrat
- Lauffähigkeit auf einer Putzplatte, in einem Winkel von 30°, Probenmenge je Versuch = 0,5 ml

Lfd. Versuch	Stammmasse CalXnova	Zusatz von destilliertem Wasser	Lauffähigkeit
1	10 ml	0 ml	36 mm
2	10 ml	1 ml	58 mm
3	10 ml	2 ml	105 mm
4	10 ml	3 ml	147 mm
5	10 ml	4 ml	152 mm
6	10 ml	5 ml	177 mm
7	10 ml	10 ml	195 mm

- Bewertung:**
- Probe 1, disp. WKH ohne Verdünnung zeigt zu schwache Laufeigenschaften (zu pastös), trocknet aber mit sehr gutem, homogenem Volumen auf
 - Probe 2 und 3 zeigten das beste Laufverhalten bei Erhaltung eines guten Volumens
 - Proben 4 bis 7 erscheinen zu dünn, zeigen zwar gute Laufeigenschaften, verlieren aber zunehmend an Volumen

5.1.2.3 PLM-AL Injektionsmörtel

Versuch 3.1 auf Glasplatte:

- PLM-AL - Injektionsmörtel auf der Basis von neutralem Kalk mit hydraulischen Zusätzen
- Lauffähigkeit auf einer Glasplatte, in einem Winkel von 30°, Probenmenge je Versuch = 0,5 ml
- Stammmasse: im Verhältnis von 1:1 (Gewichtsanteile) in destilliertem Wasser

Lfd. Versuch	Stammmasse PLM-AL	Zusatz von destilliertem Wasser	Lauffähigkeit
1	10 ml	0 ml	50 mm
2	10 ml	2 ml	158 mm
3	10 ml	4 ml	205 mm
4	10 ml	6 ml	258 mm
5	10 ml	8 ml	312 mm

Versuch 3.2 auf Putzplatte:

- PLM-AL - Injektionsmörtel auf der Basis von neutralem Kalk mit hydraulischen Zusätzen
- Lauffähigkeit auf einer Putzplatte, in einem Winkel von 30°, Probenmenge je Versuch = 0,5 ml
- Stammmasse: im Verhältnis von 1:1 (Gewichtsanteile) in destilliertem Wasser

Lfd. Versuch	Stammmasse PLM-AL	Zusatz von destilliertem Wasser	Lauffähigkeit
1	10 ml	0 ml	41 mm
2	10 ml	2 ml	107 mm
3	10 ml	4 ml	171 mm
4	10 ml	6 ml	198 mm
5	10 ml	8 ml	198 mm

- Bewertung:**
- Probe 1, fließt langsam mit gutem Volumen (gut für Hinterfüllung, zur Putzfestigung zu dick)
 - Probe 2 und 3, fließt schnell mit leichtem Volumen (gut zur Putzfestigung und zur Spaltenfüllung)
 - Proben 4 und 5 erscheinen zu dünn, zeigen zwar gute Laufeigenschaften, verlieren aber zunehmend an Volumen

5.1.3 Sedimentation und Penetration – Versuchsreihe 1

Hierzu wurden Probebehälter aus klarem Acrylglas verwendet. Sie wurden mit den empfohlenen Rezepturen und modifizierten Rezepturen mit je 20 ml Probenmasse gefüllt. Eine Versuchreihe wurde dabei auf einem gewaschenen, feinkörnigen Kiesbett eine weitere ohne Kiesbett durchgeführt. Die Probemassen wurden über den Zeitraum von 60 Minuten beobachtet. Die Probemassen wurden die weiteren 48 Stunden beobachtet. Die Beobachtungen hierzu sind im Anschluss beschrieben.

Versuchsrezepturen:

Probe	Rezeptur
1	CalXnova + Wasser im Verhältnis 10 g : 1 ml
2	Remmers KSE + Füllstoff A + Füllstoff B im Verhältnis 10 ml : 6 g : 3 g
3	PLM-AL + Wasser im Verhältnis 10 ml : 10 g
4	CalXnova + Wasser im Verhältnis 10 ml : 2 ml
5	Remmers KSE + Füllstoff A + Füllstoff B im Verhältnis 15 ml : 6 g : 3 g
6	PLM-AL + Wasser im Verhältnis 12 g : 10 ml
7	CalXnova + Wasser im Verhältnis 10 ml : 3 ml
8	Remmers KSE + Füllstoff A + Füllstoff B im Verhältnis 20 ml : 6 g : 3 g
9	PLM-AL + Wasser im Verhältnis 14 g : 10 ml

Sedimentationsversuch ohne Kiesbett:

Probe	1 min.	2 min.	5 min.	10 min.	15 min.	30 min.	60 min.
1.1.- CalXnova	KS	KS	KS	KS	KS	KS	KS
2.1.- Remmers	KS	KS	KS	KS	KS	KS	KS
3.1.- PLM-AL	KS	KS	KS	KS	KS	S = 1mm	S = 3 mm
4.1.- CalXnova	KS	KS	KS	KS	KS	KS	KS
5.1.- Remmers	KS	KS	KS	KS	KS	KS	KS
6.1.- PLM-AL	KS	KS	KS	KS	KS	S = 1mm	S = 6 mm
7.1.- CalXnova	KS	KS	KS	KS	KS	KS	KS
8.1.- Remmers	KS	KS	KS	KS	KS	KS	KS
9.1.- PLM-AL	KS	KS	KS	KS	KS	S = 6 mm	S = 9 mm

Legende: KS – keine Sedimentation
 S – Sedimentation mit Angabe bezogen auf die Füllhöhe im Probebehälter
 SCH - Schrumpfung mit Angabe bezogen auf die Füllhöhe im Probebehälter (Kiesdurchfeuchtung)

Sedimentationsversuch mit Kiesbett:

Probe	1 min.	2 min.	5 min.	10 min.	15 min.	30 min.	60 min.
1.2.- CalXnova	KS	KS	KS	KS	KS	KS	KS
2.2.- Remmers	KS	KS	SCH = 1mm	SCH = 1mm	SCH = 1mm	SCH = 1mm	SCH = 3mm
3.2.- PLM-AL	KS	KS	KS	KS	KS	SCH = 1mm	SCH = 4 mm
4.2.- CalXnova	KS	KS	KS	KS	KS	SCH = 1mm	SCH = 1mm
5.2.- Remmers	KS	KS	SCH = 1mm	SCH = 1mm	SCH = 1mm	SCH = 1mm	SCH = 3mm
6.2.- PLM-AL	KS	KS	KS	KS	KS	SCH = 1mm	SCH = 9 mm
7.2.- CalXnova	KS	KS	KS	KS	KS	SCH = 1mm	SCH = 3 mm
8.2.- Remmers	KS	KS	SCH = 1mm	SCH = 1mm	SCH = 1mm	SCH = 1mm	SCH = 3mm
9.2.- PLM-AL	KS	KS	KS	KS	KS	SCH = 6 mm	SCH = 9 mm

Legende: KS – keine Sedimentation
 S – Sedimentation mit Angabe bezogen auf die Füllhöhe im Probebehälter
 SCH - Schrumpfung mit Angabe bezogen auf die Füllhöhe im Probebehälter (Kiesdurchfeuchtung)

Bemerkungen zu auffälligen Beobachtungen in den weiteren 48 Stunden:

Probe 1.1. ohne Kiesbett:

- nach 24 Stunden noch nicht abgebunden, oberflächliche Hautbildung
- nach 48 Stunden noch nicht abgebunden

Probe 1.2. auf Kiesbett:

- keine Sedimentierung, Durchfeuchtung des Kiesbettes nach 2 ½ Stunden
- nach 24 Stunden noch nicht abgebunden
- nach 48 Stunden noch nicht abgebunden

Probe 1 im Prüfkörper:

- nach 24 Stunden noch nicht abgebunden
- nach 48 Stunden verfestigt und geschrumpft

Probe 2.1. ohne Kiesbett:

- nach 24 Stunden deutliche Sedimentation



Gesamte Füllhöhe ca. 25 mm

3 mm	Schrumpfung
5 mm	Gelabscheidung
3 mm	feiner Füllstoff (Füllstoff B)
14 mm	grober Füllstoff (Füllstoff A)

Probe 2.2. mit Kiesbett:

- nach 24 Stunden leichte Sedimentation, keine sichtbare Gelabscheidung (diese wurde vermutlich vom Kies aufgenommen und gebunden)



Gesamte Füllhöhe ca. 2 x 25 mm
Kiesbett

3 mm	Schrumpfung
3 mm	feiner Füllstoff (Füllstoff B)
14 mm	grober Füllstoff (Füllstoff A)
5 mm	Gelabscheidung im Kies

Probe 5.1. ohne Kiesbett:

- nach 24 Stunden deutliche Sedimentation

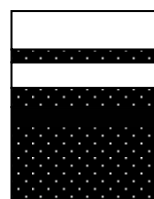


Gesamte Füllhöhe ca. 25 mm

1 mm	Schrumpfung
4 mm	Gelabscheidung
3 mm	feiner Füllstoff (Füllstoff B)
15 mm	grober Füllstoff (Füllstoff A)

Probe 5.2. mit Kiesbett:

- nach 24 leichte Sedimentation, keine sichtbare Gelabscheidung (diese wurde vermutlich vom Kies aufgenommen und gebunden)



Gesamte Füllhöhe ca. 2 x 25 mm
Kiesbett

1 mm	Schrumpfung
4 mm	feiner Füllstoff (Füllstoff B)
15 mm	grober Füllstoff (Füllstoff A)
5 mm	Gelabscheidung im Kies

5.1.4 Sedimentation und Penetration – Versuchsreihe 2

Aufgrund der Untersuchungsergebnisse der o.g. Versuche wurden in Abstimmung mit der MPA Bremen weitere Versuchsreihen angelegt. Hierzu wurden die Penetrationsversuche mit größerem Kies wiederholt und ausgewertet.

Wie in den vorausgegangenen Sedimentationsversuchen wurden Probebehälter aus klarem Acrylglas verwendet. Sie wurden mit den empfohlenen Rezepturen und modifizierten Rezepturen mit je 20 ml Probenmasse gefüllt. Eine Versuchsreihe wurde dabei auf einem gewaschenen Kiesbett, Korngröße 0-2 mm, eine weitere auf einem gewaschenen Kiesbett, Korngröße 0-4 mm durchgeführt. Die Probemassen wurden über den Zeitraum von 60 Minuten und weitere 48 Stunden beobachtet. Die Beobachtungen hierzu sind im Anschluss beschrieben.

Versuchsrezepturen:

Die verwendeten Versuchsrezepturen entsprechen dabei denen der vorausgegangenen Versuche.

Probe	Rezeptur
1	CalXnova + Wasser im Verhältnis 10 g : 1 ml
2	Remmers KSE + Füllstoff A + Füllstoff B im Verhältnis 10 ml : 6 g : 3 g
3	PLM-AL + Wasser im Verhältnis 10 ml : 10 g
4	CalXnova + Wasser im Verhältnis 10 ml : 2 ml
5	Remmers KSE + Füllstoff A + Füllstoff B im Verhältnis 15 ml : 6 g : 3 g
6	PLM-AL + Wasser im Verhältnis 12 g : 10 ml
7	CalXnova + Wasser im Verhältnis 10 ml : 3 ml
8	Remmers KSE + Füllstoff A + Füllstoff B im Verhältnis 20 ml : 6 g : 3 g
9	PLM-AL + Wasser im Verhältnis 14 g : 10 ml

Grundsätzlich konnten alle Versuchsrezepturen mehr oder minder schnell in das Kiesgefüge eindringen. Im Gegensatz zu den Vorversuchen wird in den folgenden Versuchen die visuelle Eindringtiefe des Materials in das Kiesbett beschrieben.

Penetrationsversuch im Kiesbett, Korngröße 0-4 mm:

Probe	1 min.	2 min.	5 min.	10 min.	15 min.	30 min.	60 min.
1.3.- CalXnova	90%	KV	100%	KV	ST	A	A, KV, KS
2.3.- Remmers	50%	KV	100%, ST	ST, KV	A	A, KV	S = 1mm
3.3.- PLM-AL	50%	75%	100%	ST	KV	A	A, KV, KS
4.3.- CalXnova	90%	100%	KV	KV	ST	A	A, KV, KS
5.3.- Remmers	100%	KV	KV	ST	A	S = 0-1mm	S = 2mm
6.3.- PLM-AL	60%	KV	ST	ST, KV	A	A, KV	A, KV, KS
7.3.- CalXnova	100 %	KV	ST	ST, KV	A	A, KV	A, KV, KS
8.3.- Remmers	100%	KV	KV	ST	S = 1mm	S = 2mm	S = 3mm
9.3.- PLM-AL	20%	KV	30%	ST	A	A, KV	A, KV, KS

Sedimentationsversuch im Kiesbett, Korngröße 0-2 mm:

Probe	1 min.	2 min.	5 min.	10 min.	15 min.	30 min.	60 min.
1.4.- CalXnova	60%	80%	KV	KV	ST, KV	A	A, KV, KS
2.4.- Remmers	50%	100%	ST	A	A	A	A, KV, KS
3.4.- PLM-AL	60%	90%	ST	A	A	A	A, KV, KS
4.4.- CalXnova	75 %	95%	KV	ST	A	A	A, KV, KS
5.4.- Remmers	100%	KV	ST	ST, KV	KV	KV	A, KS
6.4.- PLM-AL	10%	KV	ST	ST, KV	A	A, KV	A, KV, KS
7.4.- CalXnova	20%	40%	80%, ST	ST, KV	A	A, KV	A, KV, KS
8.4.- Remmers	100%	KV	ST	ST, KV	KV	S = 1mm	S = 3mm
9.4.- PLM-AL	10%	KV	ST	ST, KV	A	A, KV	A, KV, KS

Legende: xx% – visuelle Eindringtiefe des Probematerials in das Kiesbett
 KV – keine Veränderung
 ST – Probenmaterial wird steif (beginnender Abbindprozess)
 A – Material bindet ab
 KS – keine Sedimentation
 S – Sedimentation mit Angabe bezogen auf die Füllhöhe im Probebehälter

Bemerkungen zu auffälligen Beobachtungen in den weiteren 48 Stunden:

Probe	nach 24 Stunden	nach 48 Stunden
1.3. Kiesbett, KG 0-4mm	--	--
2.3. Kiesbett, KG 0-4mm	Schwitzwasserbildung	leichter Schwund
3.3. Kiesbett, KG 0-4mm	--	--
4.3. Kiesbett, KG 0-4mm	--	--
5.3. Kiesbett, KG 0-4mm	Schwitzwasserbildung	leichte Rissbildung, leichter Schwund
6.3. Kiesbett, KG 0-4mm	Schwitzwasserbildung	--
7.3. Kiesbett, KG 0-4mm	Schwitzwasserbildung	--
8.3. Kiesbett, KG 0-4mm	Schwitzwasserbildung, leichte Rissbildung	deutliche Rissbildung und Schwund
9.3. Kiesbett, KG 0-4mm	Schwitzwasserbildung	--
1.4. Kiesbett, KG 0-2mm	--	--
2.4. Kiesbett, KG 0-2mm	Schwitzwasserbildung	--
3.4. Kiesbett, KG 0-2mm	--	--
4.4. Kiesbett, KG 0-2mm	--	--
5.4. Kiesbett, KG 0-2mm	Schwitzwasserbildung	leichte Rissbildung, leichter Schwund
6.4. Kiesbett, KG 0-2mm	Schwitzwasserbildung	--
7.4. Kiesbett, KG 0-2mm	Schwitzwasserbildung	--
8.4. Kiesbett, KG 0-2mm	Schwitzwasserbildung, leichte Rissbildung	deutliche Rissbildung und Schwund
9.4. Kiesbett, KG 0-2mm	Schwitzwasserbildung	--

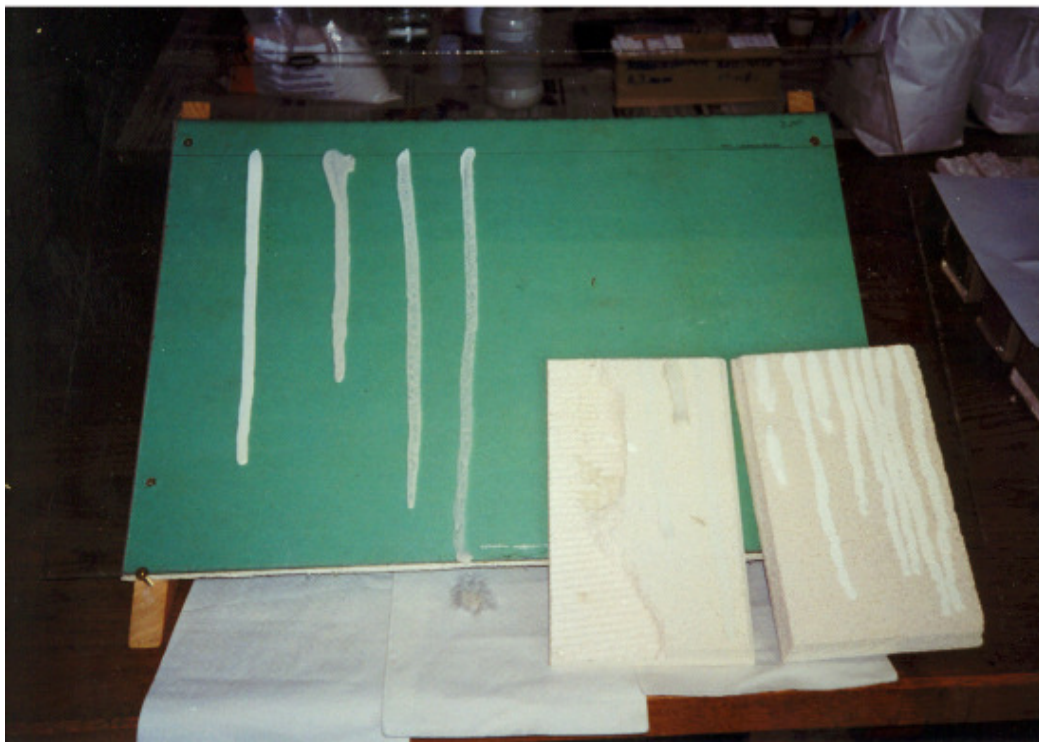


Abb. 5 (oben): Die ausgewählten Injektionsmörtel und Arbeitsmaterialien
 Abb. 6 (unten): Die Fließfähigkeiten der einzelnen Rezepturen wurden auf einer Glasplatte und auf Putzplatten getestet.



Abb. 7 (oben): Verbundprüfkörper 6x6 cm
 Abb. 8 (unten): Verbundprüfkörper 25x20 cm und Plexiglasbecher der Penetrationsversuche



Abb. 9 (oben) und Abb. 10 (unten): Plexiglasbecher der Penetrationsversuche



Probe 1.4. Probe 2.4. Probe 3.4. Probe 4.4. Probe 5.4. Probe 6.4. Probe 7.4. Probe 8.4. Probe 9.4.
 Probe 1.3. Probe 2.3. Probe 3.3. Probe 4.3. Probe 5.3. Probe 6.3. Probe 7.3. Probe 8.3. Probe 9.3.

Abb. 11: Sedimentationsproben im Kiesbett (0-2mm obere Reihe / 0-4mm untere Reihe)

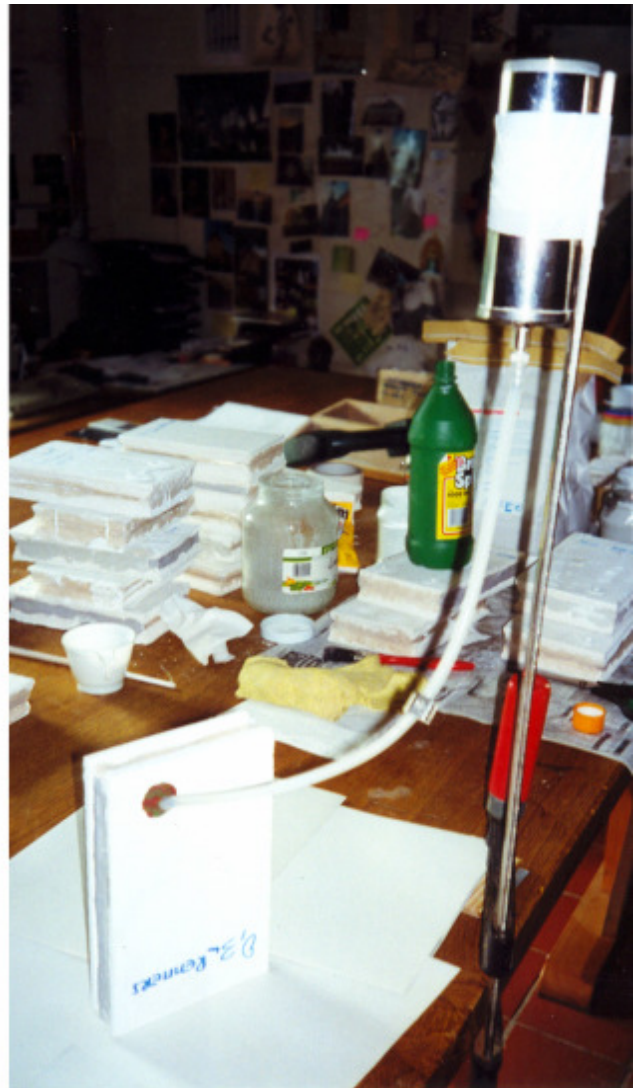
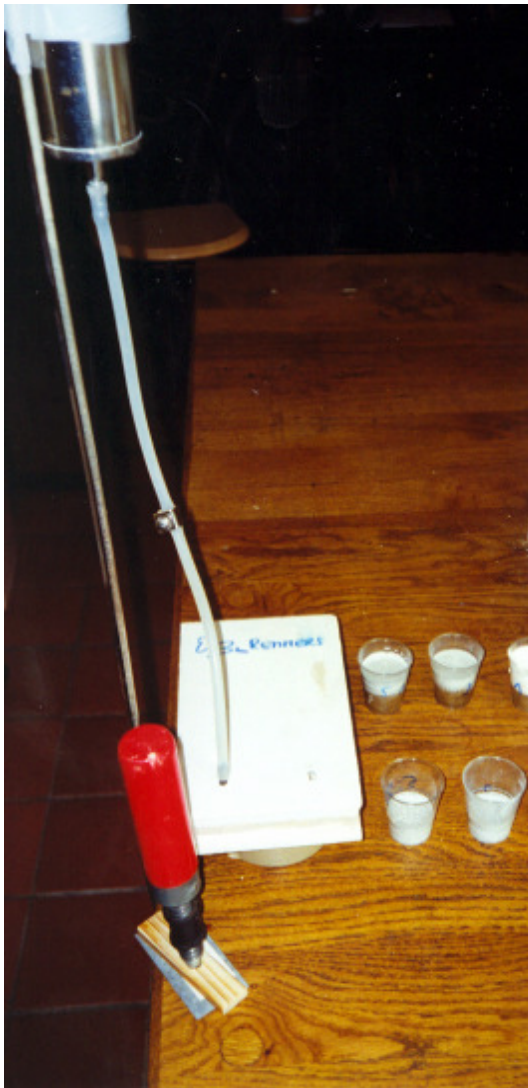


Abb. 12 und 13: Verfüllung der Verbundprüfkörper 25x20 cm mittels Injektion

5.2 Haftzugfestigkeit an Verbundprüfkörpern

Material	Spaltweite [mm]	Zugfestigkeit [N/mm ²]	
		Einzelmesswerte	Mittelwert
CalXnova	0,3	0,048 0,069	0,06
	1	0,215 0,027	0,12
	3	0,138 0,169	0,15
	6	0,031 0,125	0,08
PLM-AL	0,3	n.b. n.b.	n.b.
	1	0,154 0,070	0,11
	3	0,084 0,097	0,09
	6	0,051 0,062	0,06
KSE-Modulsystem	0,3	0,045 0,026	0,04
	1	0,028 0,027	0,03
	3	0,024 0,024	0,02
	6	0,028 0,029	0,03

Bewertung

Als Richtwerte gilt die durchschnittliche Haftzugfestigkeit eines intakten Luftkalkputzes, die in der Größenordnung von 0,1 N/mm² liegt.

Mit CalXnova können die geforderten Haftzugwerte erreicht werden. Auffällig ist die starke Streuung innerhalb der Einzelmesswerte und daraus resultierend auch in den Mittelwerten. Aufgrund dieser Schwankungen können zu eventuellen Abhängigkeiten der Haftzugfestigkeiten von der Spaltweite keine Aussagen getroffen werden.

Auch in der PLM-AL-Serien treten starke Schwankungen innerhalb der Einzelmessungen auf, die zur Folge haben, dass die Mittelwerte nur bedingt miteinander verglichen werden können. Grundsätzlich ist die geforderte Haftzugfestigkeit mit dem Material erreichbar.

Das KSE-Modulsystem zeigt relativ konstante Haftzugwerte im Bereich 0,02 bis 0,04 N/mm². Eine Abhängigkeit von der Spaltweite ist nicht eindeutig nachweisbar.

Trotz der o.g. Einschränkungen ist die Tendenz erkennbar, dass der geforderte Haftzugwert an den mit den Systemen CalXnova und PLM-AL hergestellten Verbundprüfkörpern besser erreicht wird als mit dem KSE-Modulsystem. Größere Spaltweiten sind wahrscheinlich weniger kritisch als sehr kleine, welche vom Hinterfüllmaterial nur schwer erreicht werden (s. Auswertung Testflächen im Festsaal).

5.3 Mikroskopische Untersuchungen an Verbundprüfkörpern

Bei der mikroskopischen Auswertung fiel auf, dass an den Prüfkörpern „0,3 mm“ und „1mm“ die geforderten Plattenabstände in den meisten Fällen nicht exakt eingehalten wurden. Die Spaltweiten dieser Prüfkörper betragen in einem Fall 0,8-1,6 mm, meistens jedoch mindestens 1-2 mm. Das hat zur Folge, dass nur sehr begrenzt Aussagen über das Eindringen und die Verteilung in feine Risse getroffen werden können.

CalXnova (Abb. 14 - 18)

Die Spaltweiten variieren zwischen 2 mm und 7 mm.

Die Injektionsmasse ist gleichmäßig im Spalt verteilt und weist ein homogenes Gefüge auf. Stellenweise sind leichte Schlieren zu erkennen. Es sind einzelne Luftblasen enthalten (Durchmesser <1 mm). Im untersuchten Spaltweitenbereich treten Schwindrisse auf, deren Rissweiten mit steigender Schichtdicke der Hinterfüllmasse zunehmen. Bis 4 mm Spaltweite (bzw. Schichtdicke) sind die Schwindrisse um 200 µm breit, bei einer Spaltweite von 6-7 mm sind es etwa 600 µm, stellenweise bis 1,6 mm.

Unabhängig von der Spaltweite zeigt CalXnova an allen Verbundprüfkörpern eine gute Flankenhaftung.

PLM-AI (Abb. 19 - 23)

Die Spaltweiten variieren zwischen 1 mm und 8 mm.

Die Verteilung der Injektionsmasse in den einzelnen Prüfkörpern ist uneinheitlich. Teilweise ist der Spalt gleichmäßig gefüllt, in anderen Fällen sind große Luftblasen und Hohlräume (0,4 bis 2 mm Breite) vorhanden. Da sich auf den Spaltflanken stets Injektionsmasse befindet, sind diese Hohlräume sehr wahrscheinlich auf Mängel bei der Prüfkörperherstellung zurückzuführen. Weniger eindeutig ist die Entstehung flankennaher Hohlräume innerhalb der Masse (Breite 200-300 µm), die weder sicher als Luftblase noch als Schwindriss identifiziert werden konnten.

Die Homogenität der Injektionsmasse ist ausreichend gut, neben kleineren Luftblasen (Durchmesser bis 200 µm) sind häufig flankenparallele Schlieren vorhanden. Die Porosität ist relativ hoch.

Unabhängig von der Spaltweite zeigt PLM-AI an allen Verbundprüfkörpern eine gute Flankenhaftung.

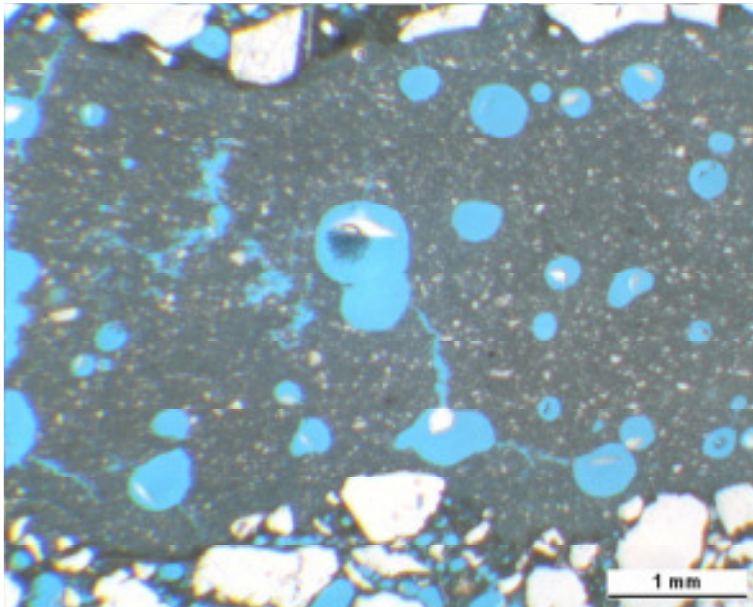
KSE-Modulsystem (Abb. 24 -28)

Die Spaltweiten variieren zwischen 0,8 mm und 7 mm.

Die Verteilung der Injektionsmasse im Spalt ist weitgehend gleichmäßig. Das Material ist ausreichend homogen (stellenweise leichte Schlieren) und enthält vereinzelt kleinere Luftblasen (Durchmesser bis 200 µm, vereinzelt bis 800 µm).

Auffällig sind die zahlreichen Schwindrisse, deren Rissweiten meist 100-200 µm betragen. Bei größeren Schichtdicken der Injektionsmasse treten zusätzlich breite Schwindrisse mit Weiten zwischen 0,6 und 1 mm auf. Die Orientierung der Risse ist uneinheitlich. Sie verlaufen meist schräg zum Spalt. Kritischer sind wahrscheinlich die flankenparallelen Risse, die entweder in Flankennähe oder in der Mitte des verfüllten Spaltes durch die Injektionsmasse laufen. Teilweise ziehen sich solche Risse durch das gesamte Dünnschliffpräparat.

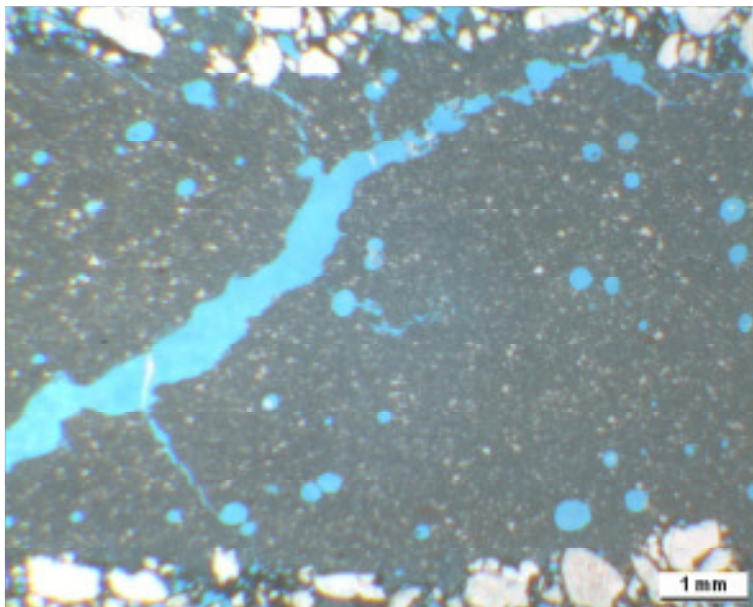
Unabhängig von der Spaltweite zeigt das KSE-Modulsystem an allen Verbundprüfkörpern eine gute Flankenhaftung.



CalXnova

Abb. 14:
Verbundprüfkörper mit CalXnova
(Spaltweite etwa 4 mm). Die
Flankenhaftung ist ohne
Beanstandungen. Es sind zahlreiche
Luftblasen und einzelne feine
Schwindrisse vorhanden.

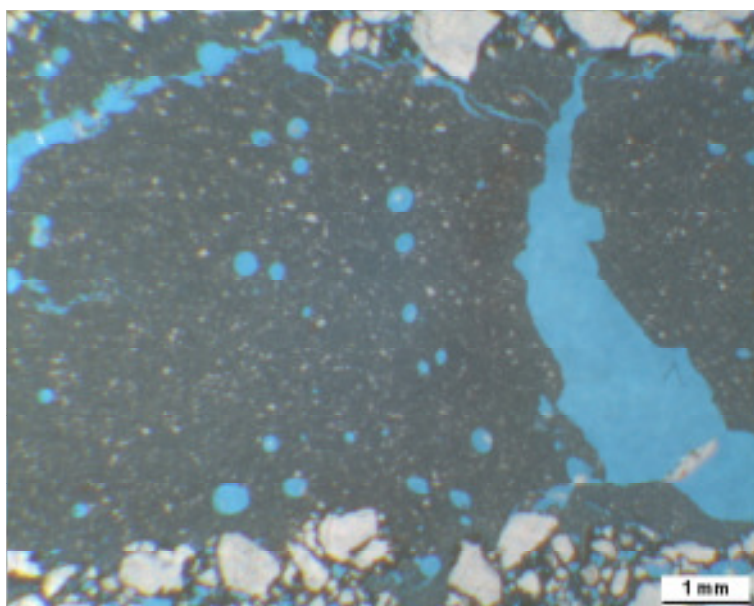
05M0020_004



CalXnova

Abb. 15:
Verbundprüfkörper mit CalXnova
(Spaltweite etwa 7 mm). Es sind breite
Schwindrisse vorhanden.

05M0020_008



CalXnova

Abb. 16:
Verbundprüfkörper mit CalXnova
(Spaltweite etwa 7 mm). Es sind breite
Schwindrisse vorhanden. Die
Flankenhaftung ist unverändert gut.

05M0020_007

CalXnova

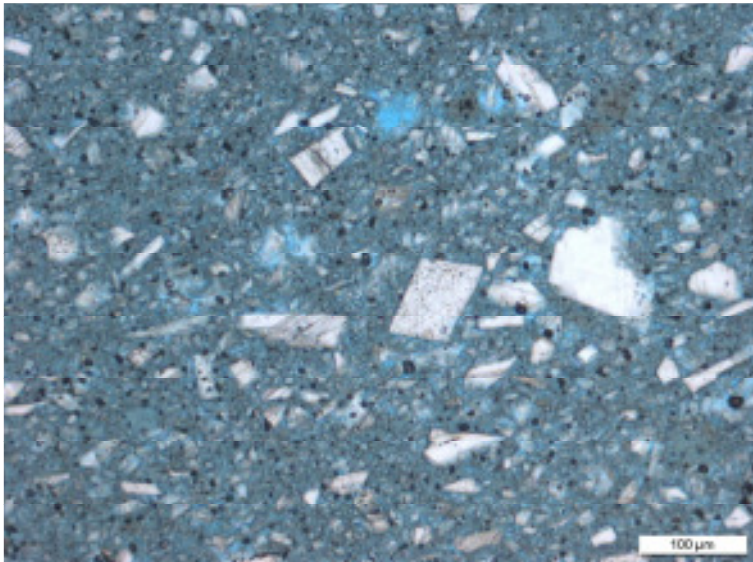


Abb. 17:
Homogenes Gefüge der Injektions-
masse.

05M0020_009

CalXnova

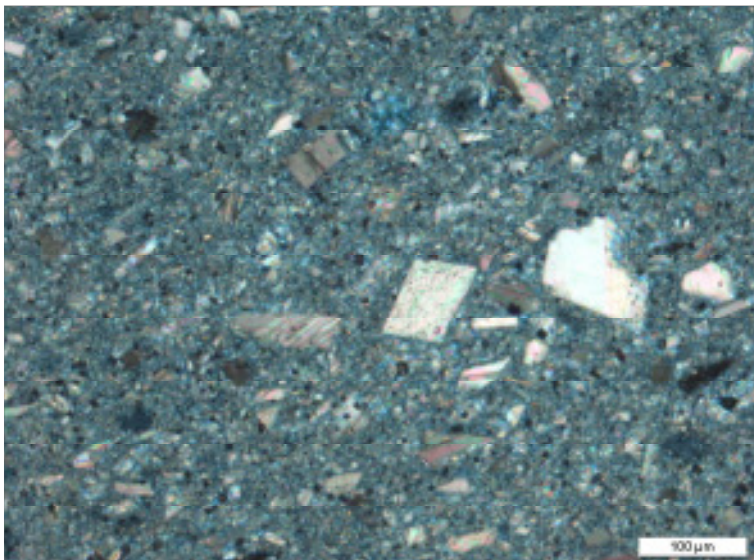
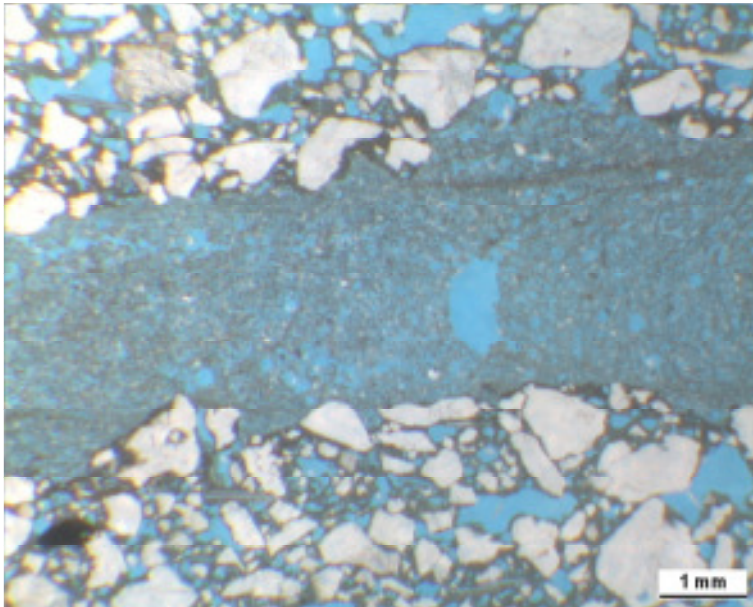


Abb. 18:
Gleicher Bildbereich wie Abb. 16 unter
gekreuzten Polarisatoren. Die Füllstoffe
bestehen aus Kalksteinmehl.

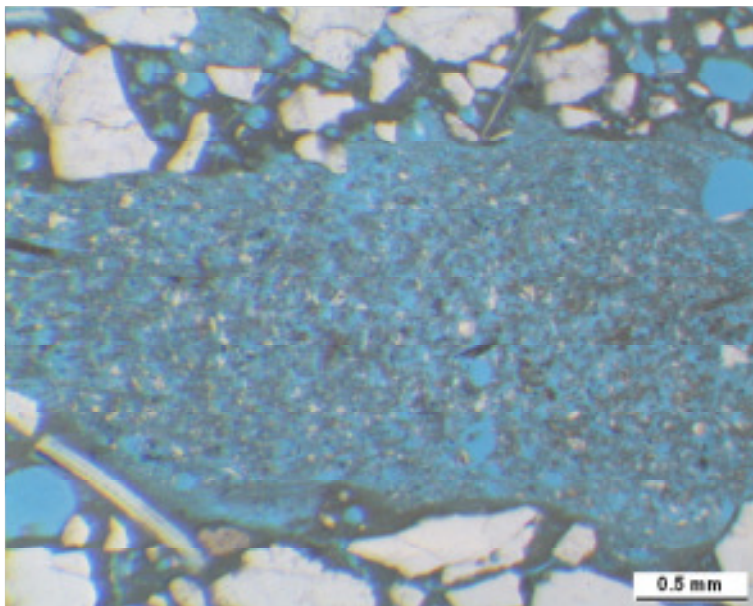
05M0020_010



PLM-AL

Abb. 19:
Verbundprüfkörper mit PLM-AL. Es sind einzelne Blasen und Schlieren vorhanden. Die Flankenhaftung ist ohne Beanstandungen.

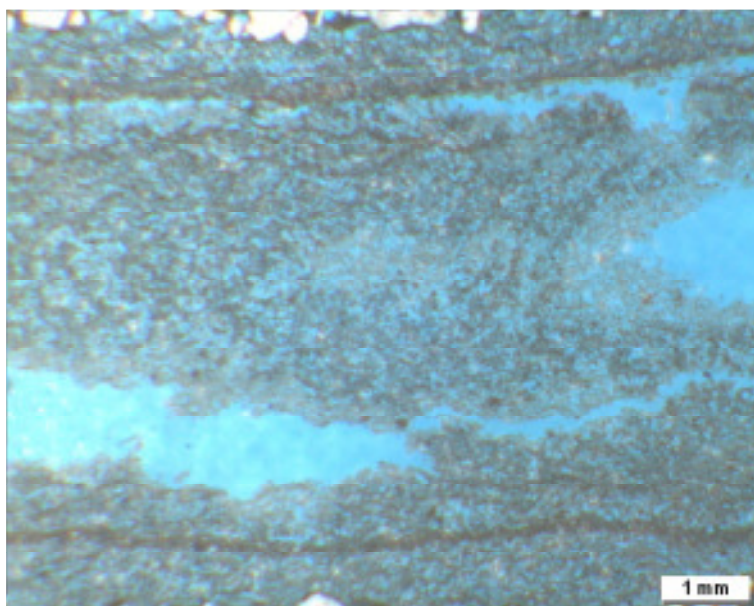
05M0022_004



PLM-AL

Abb. 20:
Verbundprüfkörper mit PLM-AL. Es sind einzelne Blasen und Schlieren vorhanden. Die Flankenhaftung ist ohne Beanstandungen.

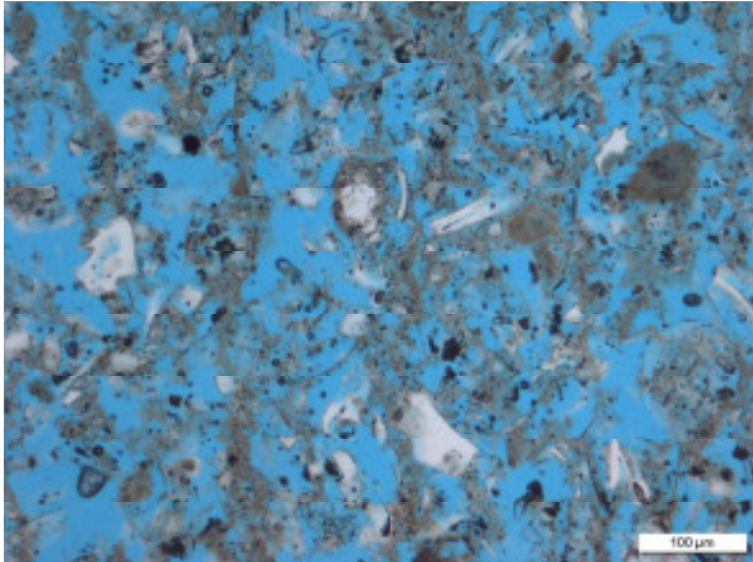
05M0022_001



PLM-AL

Abb. 21:
Flankenparallele Schlieren sowie Risse und Hohlräume.

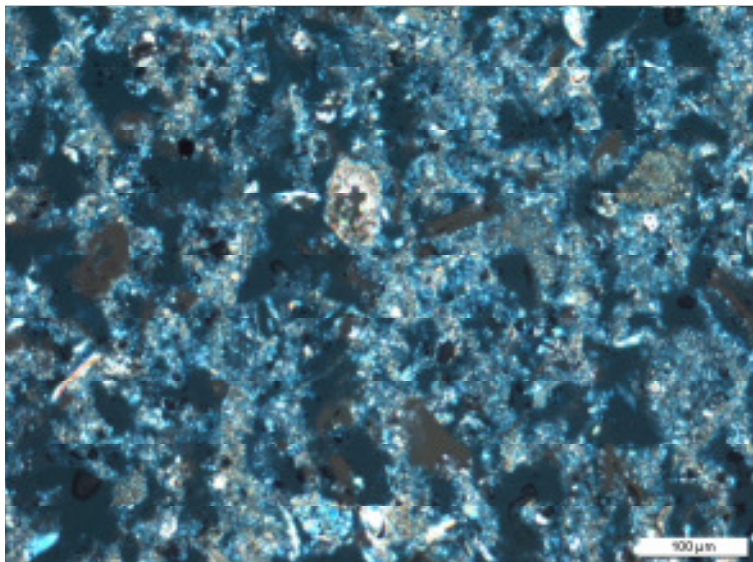
05M0022_007



PLM-AL

Abb. 22:
Gefüge des PLM-AL. Kennzeichnend ist unter anderem die hohe Porosität.

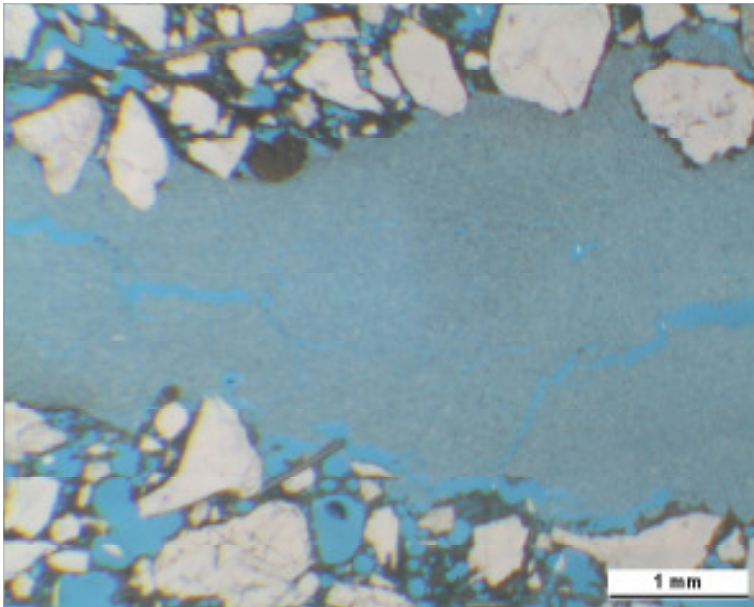
05M0022_009



PLM-AL

Abb. 23:
Gleicher Bildbereich wie Abb. 21 unter gekreuzten Polarisatoren. Die carbonatischen Bestandteile können von den silikatischen Füllstoffen unterschieden werden.

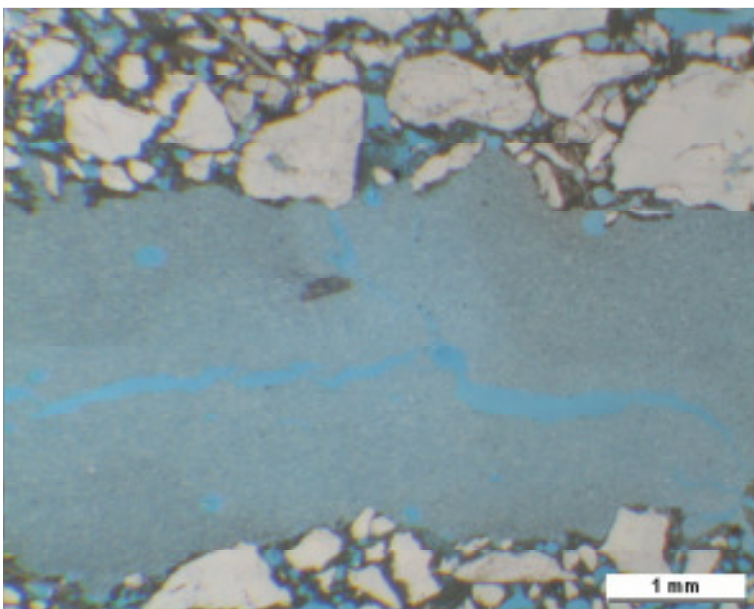
05M0022_010



KSE-System

Abb. 24: Verbundprüfkörper mit KSE-System. Es sind Schwindrisse vorhanden. Die Flankenhaftung ist an der oberen Flanke ohne Beanstandungen, an der unteren Flanke ist die Haftung nicht optimal.

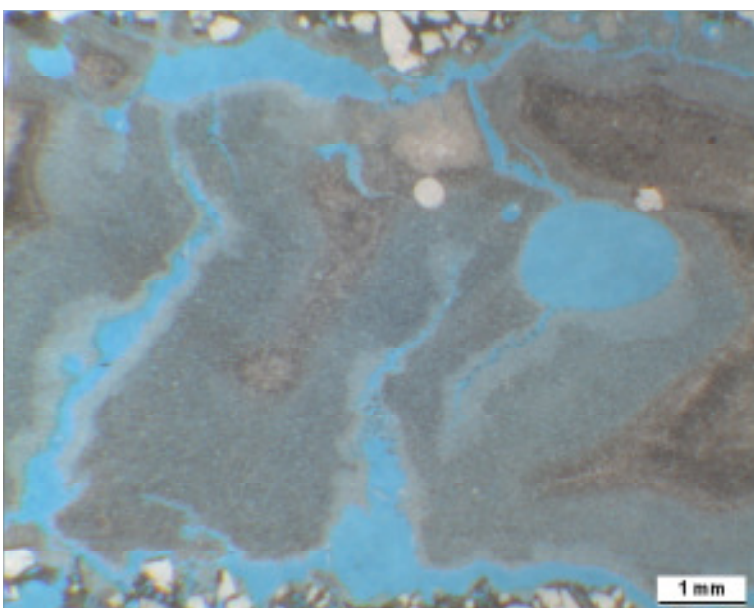
05M0024_003



KSE-System

Abb. 25: Verbundprüfkörper mit KSE-System. Bereich mit sehr guter Flankenhaftung und Schwindrisse.

05M0024_004



KSE-System

Abb. 26: Mit zunehmender Spaltweite (=Schichtdicke) nehmen flankenparallele Risse und Schwindrisse zu. Die Rissweiten erhöhen sich ebenfalls.

05M0024_009

KSE-System

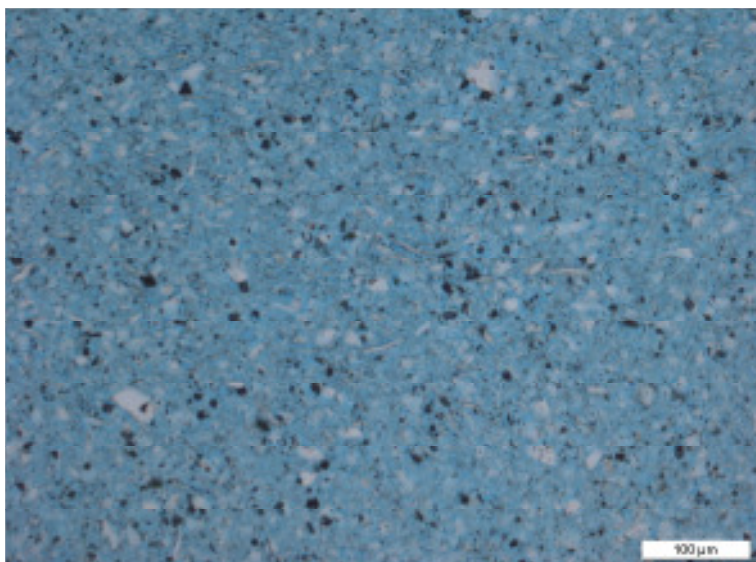
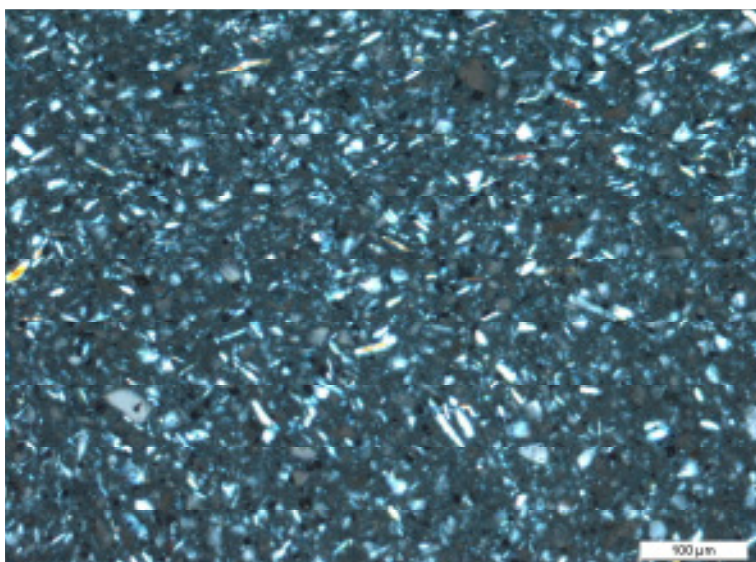


Abb. 27:
Gefüge der KSE-gebundenen
Injektionsmasse. Die Porosität ist
erkennbar.

05M0024_012



KSE-System

Abb. 28:
Gleicher Bildbereich wie Abb. 26 unter
gekreuzten Polarisatoren. Es ist
erkennbar, dass es sich bei den
Füllstoffen um Quarzmehl handelt.

05M0024_013

6. Objektmusterflächen an den Wandmalereien im Festsaal ⁴

6.1 Vorbemerkungen

Im Rahmen der Objektmusterflächen wurden Versuchsfelder mit unterschiedlichem Schädigungsgrad bearbeitet. Dabei wurde auf der Basis der einzelnen in Kapitel 5 genannten Materialien und Rezepturen je eine Rezeptur ausgewählt. Die Erkenntnisse der Vorversuche sowie die der Konsolidierungsarbeiten an den Probeflächen selbst, wurden in die Bearbeitung der Probeflächen einbezogen.

Bei der Ausführung der Konsolidierungs- bzw. Hinterfüllarbeiten wurde versucht, die Kapillarität durch verschiedene Materialien zu verbessern. Dabei kam mit Ethylalkohol versetztes destilliertes Wasser sowie verschiedene Vorfestigungsmaterialien auf KSE-Basis zum Einsatz. Grund hierfür waren die Erkenntnisse der Probekörper, bei denen es ohne Vorfestigung bzw. Kapillaritätsverbesserung zur „Pfropfenbildung“ kam. Diese verhinderte das tiefere Eindringen in die Hohlräume und verschlechtert somit die Hinterfüllmöglichkeiten.

Zur Vorfestigung wurde je nach Probefläche und eingesetzten Materialien KSE OH (Fa. Remmers) und / oder Syton X30 (Deffner & Johann) verwendet. Dieses wurde als Injektion bzw. im Flutverfahren (Tropfsystem) appliziert. Die ausgewählten modifizierten Hinterfüllmaterialien wurden dann mittels Spritze injiziert.

Um die Oberfläche der bemalten Wandflächen zu schützen wurden diese mit Japanpapier abgeklebt. Als Klebemittel wurde Klucel in Ethylalkohol verwendet. Bereits während der Arbeiten zeigte sich, dass es von Vorteil ist, die Flächen vor der Schutzbeklebung mit Cyclododecan zu schützen, da der Schutz durch die Versiegelung erhöht wird. Da während der Arbeiten die Schutzbeklebung mehrfach erneuert werden musste, konnten diese Erkenntnisse relativ früh in die Versuche mit einfließen.

6.2 Restauratorische Maßnahmen an Objektmusterflächen

Probefläche A – CalXnova-Basis:

Kurzbeschreibung:

Ort:	Nordwand des Saals, westlichen Pfeilervorlage – Bereich Z2S4
Erhöhung der Kapillarität:	Fläche A1 / A2 → Wasser-Alkohol-Gemisch
Vorfestigung:	Fläche A1 → ohne Vorfestigung / Fläche A2 → Wasser-Syton X30-Gemisch
Festigung / Hinterfüllung:	Fläche A1 / A2 → modifizierter CalXnova-Hinterfüllmörtel (Verdünnung mit Wasser)

⁴ Kluth, Fred; Schröder, Jörg: Vorbereitende Materialuntersuchungen zur Konservierung der Wandmalereien im Schloß Rossewitz, unveröfftl. Bericht im Auftrag MPA Bremen

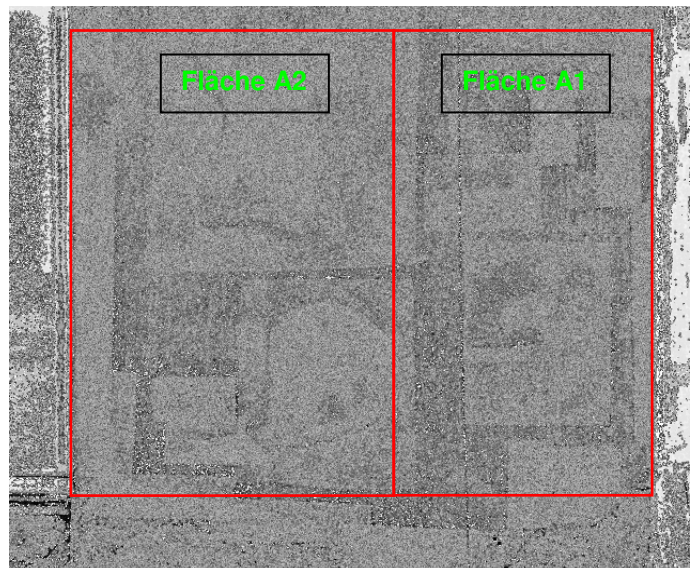
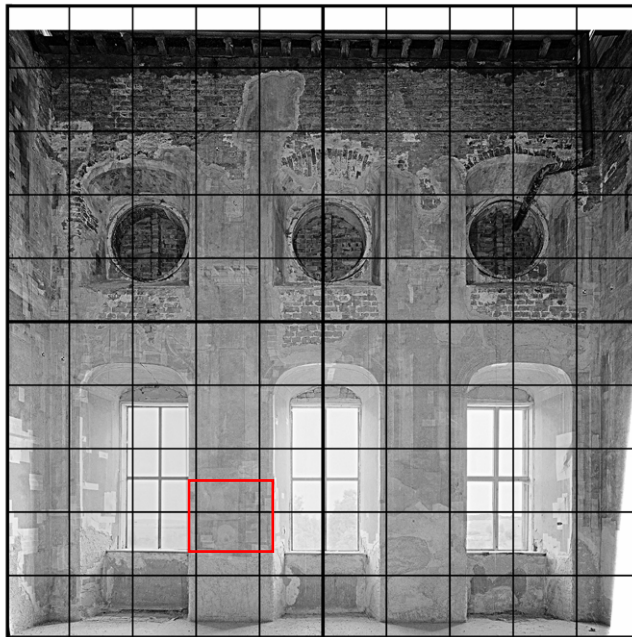
S4**S5****Z1****Z2**

Abb. 29-31: Lage der Probefläche A (Teilflächen A1 und A2), Vorzustand Nov. 1999

Da die Probefläche A die größte Fläche mit dem stärksten Schädigungsbild war, wurde diese nochmals geteilt⁵. Zwar wurde hier das gleiche Hinterfüllmaterial (CalXnova) injiziert, jedoch wurde die Fläche unterschiedlich vorbehandelt. Auf der Fläche A1 wurden mit Hilfe von mit Ethylalkohol versetztes destilliertes Wasser (Verhältnis 1:3) die kapillaren Eigenschaften des geschädigten Putzes verbessert. Auf der Fläche A2 wurde nach der Kapillaritätsverbesserung entsprechend der Fläche A1 verdünntes Syton X30 injiziert. Dabei wurde Syton X30 in destilliertem Wasser im Verhältnis 1:4 verdünnt. Ziel war es, das äußerst mürbe Putzmaterial der Wandmalerei zunächst in seiner vorhandenen Struktur zu festigen.⁶

⁵ Fläche A1 → linke Hälfte / Fläche A2 → rechte Hälfte

⁶ Durch die vorausgegangenen Versuche, war bekannt, dass die Fließigenschaften der Hinterfüllmaterialien verbessert werden, wenn das Putzgefüge gefestigt bzw. vorgefestigt ist. Eine mögliche Pfropfenbildung durch das Hinterfüllmaterial kann so minimiert oder möglicherweise sogar vermieden werden.

Nach der vermutbaren Verbesserung der Fließmöglichkeiten des Hinterfüllmaterials wurde verdünnter CalXnova-Hinterfüllmörtel per Injektion eingebracht. CalXnova wurde mit destilliertem Wasser entsprechend der Rezeptur 7 verdünnt. Um eine bessere Verteilung des Hinterfüllmörtels sowie der Anbindung der einzelnen Materialien zu erreichen, wurden ebenfalls Freskopressen eingesetzt.

Putzflanken und Löcher wurden zuvor mit feinem Kalkmörtel geschlossen. Um die Anbindung an die Putzflanken zu erhöhen wurde der Kalk, soweit möglich hinter die Putzflanken geschoben. Die Putzflanken konnten durch leichtes Verpressen mit Freskopressen gut in den frischen Mörtel der Anböschungen eingebunden werden.

Probefläche B – PLM-AL-Basis:

Kurzbeschreibung:

Ort:	Westwand des Saals, südlicher, unterer Wandbereich – Bereich Z2S2
Erhöhung der Kapillarität:	Fläche B → Wasser-Alkohol-Gemisch
Vorfestigung:	Fläche B → Wasser-Syton X30-Gemisch
Festigung / Hinterfüllung:	Fläche B → PLM-AL-Hinterfüllmörtel (Verdünnung mit Wasser)



Abb. 32 und 33: Probefläche B im Vorzustand (Nov. 1999)

Im Gegensatz zur Fläche A wurde als Fläche B eine Fläche ausgewählt, die zum einen etwas kleiner war und zum anderen ein nicht ganz so stark ausgeprägtes Schädigungsbild hatte. Im Wesentlichen wurden bei diesem Modellversuch, die Arbeitsschritte der Probefläche A2 wiederholt.

Nach der Vornetzung mit Alkohol-Wasser-Gemisch wurde mit verdünntem Syton X30 eine Festigung der vorliegenden Struktur angestrebt. Nach dieser wurden die Flankenabrissse und Löcher mit Kalkmörtel angebösch, mittels Freskopressen verpresst und anschließend mit Kalkmörtel geschlossen. Der Schutz der Oberfläche erfolgte mit Cyclododecan und einer Schutzabklebung mittels Japanpapier und Klucel. Die Holstellen wurden mit PLM-AL (Kremer), Rezeptur Nr. 3 hinterfüllt. Wie beim Modellversuch der Fläche A wurde die Anbindung der hinterfüllten Flächen mit Freskopressen unterstützt.

Probefläche C – KSE-System-Basis:

Kurzbeschreibung:

Ort:	Westwand des Saals, nördlicher, unterer Wandbereich – Bereich Z2S3
Erhöhung der Kapillarität:	Fläche C → KSE OH (Remmers)
Vorfestigung:	Fläche C → Wasser-Syton X30-Gemisch
Festigung / Hinterfüllung:	Fläche C → KSE-System-Hinterfüllmörtel (KSE 500 + Füllstoff A + Füllstoff B)



Abb. 34 und 35: Probefläche C im Vorzustand (Nov. 1999)

Aufgrund der Erkenntnisse im Bezug auf die Konsolidierung der unteren Putzschichten, wurde für die Probefläche C eine Fläche ausgewählt, die zwar oberflächlich intakt erschien, bei der Druckprobe aber erkennen ließ, dass nur die bemalte Sinterschicht relativ fest ist. Das darunter liegende Putzgefüge ist jedoch durch Bindemittelverlust gestört und klingt bei der Klopfbprobe dumpf bis hohl.

Erste Versuche von Injektionen zeigten schnell, dass trotz der Schutzbeklebung ein Einstechen der Kanülen ohne eine Zerstörung der Malschicht nicht möglich ist. Ebenfalls konnten mögliche Konsolidierungsmittel aufgrund des vorliegenden Putzmaterials nicht appliziert werden. Dieses entspricht in den beschriebenen Schadenszonen sehr feinem, losen und puderigen Sand. Die Kanülen werden beim injizieren sofort pfpfenartig verschlossen und die sehr dünne Malschicht ca. 0,5 mm wird durch die Injizierbewegung sowie den –druck zerstört. Die Kanüle bricht also aus dem Einstichloch aus. Selbst bei sehr konzentrierter und kontrollierter Arbeitsweise war das Ausbrechen der Kanüle nicht zu verhindern. Ein Eindringen in tiefere Schichten war überhaupt nicht möglich.

Aufgrund dieser unbefriedigenden Versuche, wurde durch das Restauratorenteam ein Flut-Apparatur (Tropfsystem) entwickelt, die in diesem Bereich getestet wurde. Dabei befindet sich das zu einzubringende Material (in diesem Fall: KSE OH) in einem Sammelbehälter (bis zu 5L Fassungsvermögen) und wird über lösemittelbeständige Schläuche mittels Kanüle in die Putzschichten mittels Tropfen eingebracht. Die Kanülen haben ein Durchmesser von 4 mm, sind vorn verschlossen und haben einen seitlichen Austritt. Das einzubringende Material wird über Stellschrauben an den Schläuchen entsprechend seinem Falldruck so eingestellt, dass die Putzschichten tropfenweise geflutet werden, das KSE aber nicht aus der Bohrung heraustritt. Die Putzschichten werden so also von innen heraus mit KSE durchtränkt. Um einen optimalen Halt für die Kanülen und eine optimale Durchdring der Putzschichten zu erreichen, werden die Kanülen in Schräglage eingebracht. Der geschlossene Kopf der Kanüle steckt dabei geringfügig im Mauerwerk, so dass eine mechanische Belastung der Putzschichten minimiert oder sogar ausgeschlossen werden kann.

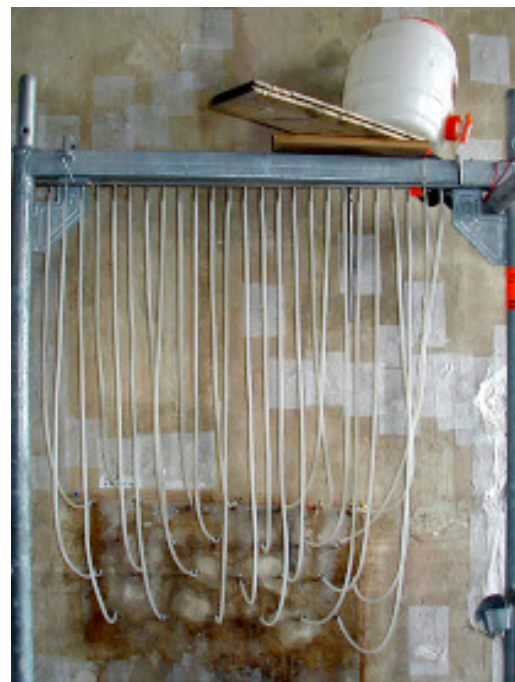
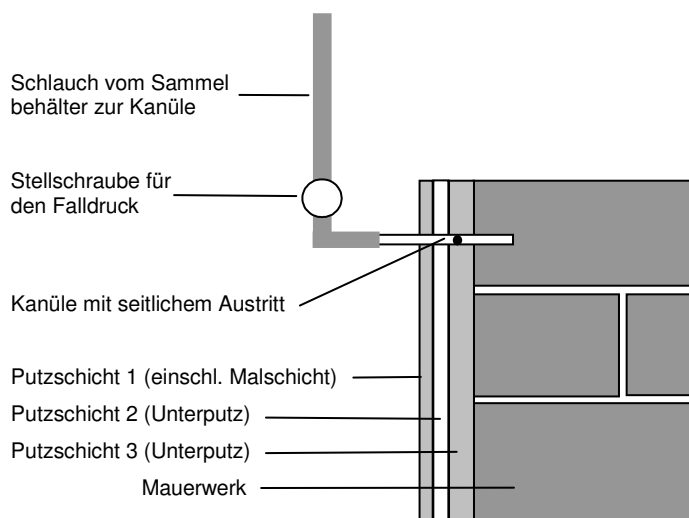


Abb. 36 (links): Schematische Darstellung der Apparatur für das Flutverfahren
 Abb. 37 (rechts): Apparatur für das Flutverfahrens im Einsatz

Aufgrund des zuvor beschriebenen Tropfsystems konnten KSE-Systeme in die Putzschichten eingebracht werden und diese konsolidieren. Die wesentliche Konsolidierung erfolgte über Syton X30. Um die Kapillarität in der Putzstruktur zu verbessern und eine erste Vorfestigung zu erreichen, wurde KSE OH eingebracht. Nach der Applikation der Konsolidierungsmittel und der Entfernung des Flutsystems wurden als Hinterfüllmörtel bzw. als dübelartige Verbindung der einzelnen Putzschichten das KSE-System für Hinterfüllungen, Rezeptur Nr. 5 mittels Spritze injiziert. Die verbleibenden Vertiefungen wurden abschließend mit Kalkmörtel gekittet.

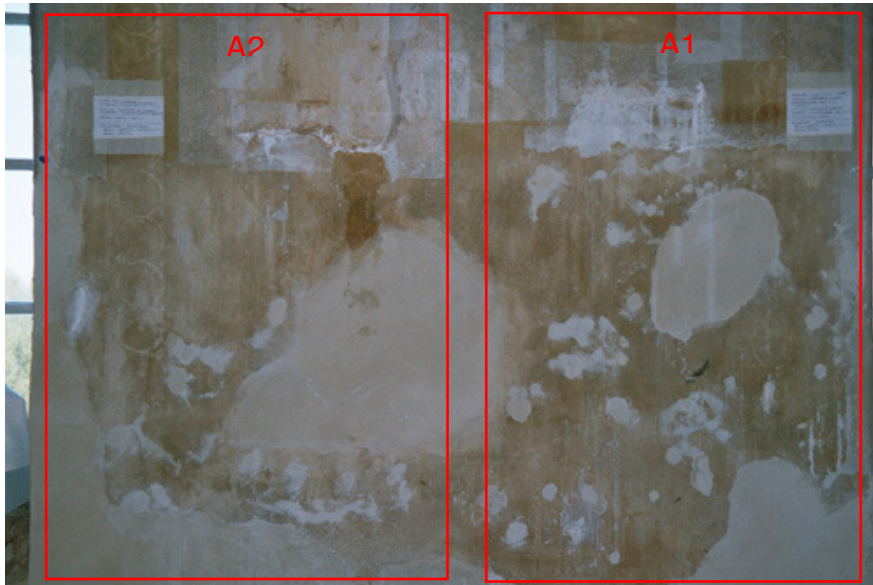


Abb. 38:
Testflächen A1 und A2
(Zustand 2004)

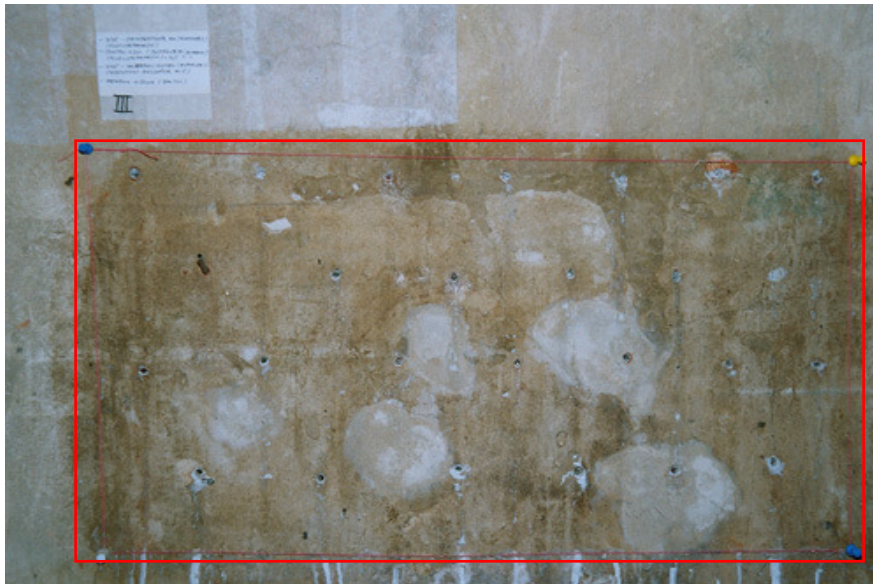


Abb. 39:
TestflächeB
(Zustand 2004)



Abb. 40:
TestflächeC
(Zustand 2004)

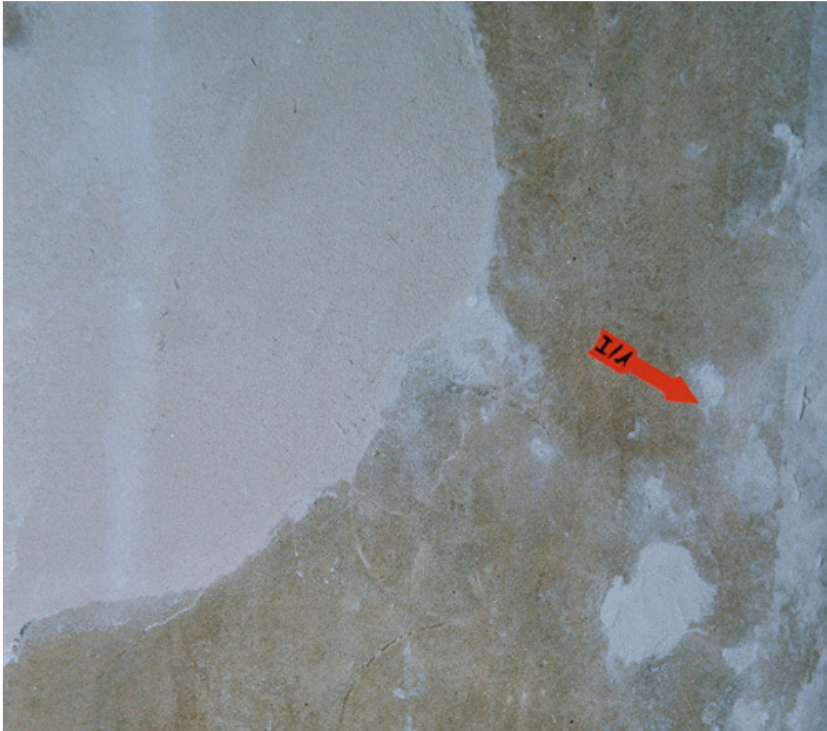


Abb. 41:
Beispiel für die Entnahme der
Mikroskopieproben.
Entnahmestelle der Probe I/1
(Testfläche A1) vor der
Probenentnahme



Abb. 42:
Entnahmestelle der Probe I/1
(Testfläche A1) nach der
Probenentnahme. Die Probe
wurde mittels einer Minitrenn-
scheibe herausgeschnitten.

6.3 Bewertung der Objektmusterflächen

6.3.1 Probefläche A – CalXnova-Basis

Restauratorische Bewertung

A1: Trotz der starken Durchfeuchtung mit dem Alkohol-Wasser-Gemisch kam es kaum zu Verlusten, da die Sicherheitsbeklebung in alkohollöslichem Klucel ausgeführt wurde. Deutlich ist, dass eine Vorbehandlung nur mit Alkohol-Wasser-Gemisch jedoch nicht ausreicht, um durch Erhöhung der Kapillarität ein besseres Fließverhalten des Hinterfüllmörtels zu erreichen. Der Erfolg auf der Probefläche A1 war daher sehr begrenzt. Obwohl die Hohlräume groß genug waren und der Hinterfüllmörtel ohne weiteres hätte durchfließen können, kam es zur bekannten Pfropfenbildung. Die Folge war häufig ein erneutes Injizieren. Da hierzu ein erneutes Einstichloch notwendig ist, wird die hauchdünne Sinterschicht häufiger gestört. Die Folge ist eine weitere Strukturstörung der Malschicht, die schnell zu Verlusten führen kann.

A2: Durch das vorherige Injizieren von Syton X30 im Bereich der Fläche A2 konnte eine erhöhte Stabilität und Strukturfestigung des vorhandenen Putzmaterials erreicht werden. Weiterhin wurde die Fließmöglichkeit des Hinterfüllmörtels verbessert. So konnten wesentlich größere Bereiche hinterfüllt werden⁷. Trotz dieser Verbesserung durch den Einsatz von Syton X30 kam es vermutlich zur Pfropfenbildung. Das Hinterfüllergebnis dürfte daher immer noch nicht befriedigend sein.

Trotz der Hinterfüllung konnten nur die obersten Schichten, also die erste und zweite Putzschicht erreicht werden. Da die Struktur der Unterputze noch immer gestört ist, klingt daher der gefestigte und hinterfüllte Bereich des Malputzes bei der Klopfprobe noch immer hohl. Eine begründete Aussage zum Erfolg der Maßnahme ist daher nur bedingt möglich. Die tatsächliche Anbindung der Putzflächen innerhalb einer Hohlstelle kann häufig nur vermutet werden.

Deutlich wurde während der Arbeiten, dass das Material CalXnova für diesen Bereich⁸ zwar geeignet erscheint, jedoch auch deutliche Grenzen im Bezug auf die Einsetzbarkeit aufzeigt.

⁷ Diese Annahme beruht darauf, dass mehr Hinterfüllmörtel eingebracht werden konnte.

⁸ Gemeint ist nicht der allgemeine Einsatz des Materials, sondern der spezielle Einsatz für die Konsolidierung der Wandmalereien des Schlosses Rossewitz.

Mikroskopische Untersuchung

A1 Beobachtungen bei der *Probenentnahme*:

- Mehrfachschaalen
- Klopfen zeigt zahlreiche Hohllagen
- zwischen 1. und 2. Schalen teilweise keine Hinterfüllung
- starkes Stauben beim Sägen

Mikroskopie:

Die entnommene Materialprobe umfasste zwei Malputzschichten, die durch einen etwa 2mm breiten Spalt voneinander getrennt waren. An beiden Flanken ist eine Mürbzone aus einzelnen Putzpartikeln vorhanden. Außerdem sind weitere flankenparallele Risse vorhanden (Rissweiten bis 150 µm). Die Malputze weisen zusätzlich Sinterschichten auf. Die Hinterfüllmasse ist homogen und hat den Spalt nahezu vollständig verfüllt. Die Anbindung an die äußeren Putzpartikel der Mürbzone ist sehr gut. Zwischen diesen Partikeln, also in die eigentliche Mürbzone, ist das CalXnova nur an sehr wenigen Stellen eingedrungen. Gleiches gilt für die feinen Risse.

Die Konservierung ist aus mikroskopischer Sicht nicht erfolgreich, weil die Mürbzone und die feinen Risse als limitierende Faktoren von der Injektionsmasse nicht erreicht wurden. Sie stellen nach wie vor Schwachstellen im Gefüge dar.

An den Stellen, die erfolgreich konsolidiert werden konnten, ist ersichtlich, dass mit dem verwendeten Material Rissweiten bis 100 µm verfüllt werden können.

Abbildungen: 43 - 47

A2 Beobachtungen bei der *Probenentnahme*:

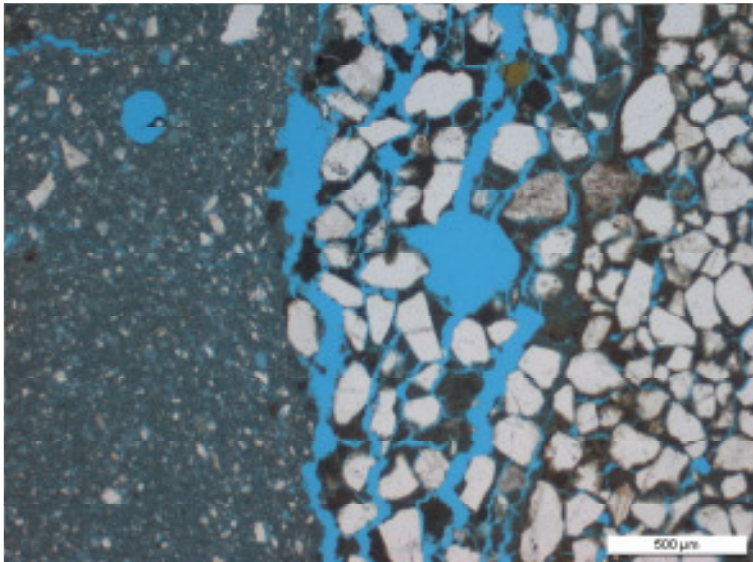
- Mehrfachschaalen
- Klopfen zeigt zahlreiche Hohllagen
- kein Verfüllen geringer Spaltweiten
- schlechte Haftung des Hinterfüllmaterials am Putz

Mikroskopie:

Stratigraphie und Schadensformen entsprechen den unter A1 beschriebenen. Hinsichtlich des Erfolges der Konsolidierung sind ebenfalls gleiche Aussagen zu treffen. Trotz guter Flankenhaftung an einzelnen Partikeln, an Putzflanken (mit und ohne Versinterung) sind keine zufriedenstellenden Ergebnisse erzielt worden, weil auch hier die Mürbzonen und die feinen Risse nicht ausreichend verfüllt wurden. Begrenzte Erfolge gibt es in der Mürbzone zwischen den Malputzen, vor allem in Bereichen mit relativ großen Partikelabständen. Die Entfestigungen im hinteren Abschnitt des unteren Malputzes (Kontaktbereich zum Unterputz) wurden nicht erreicht.

Die Sinterschichten auf den Malputzen sind stärker ausgebildet als an der Probenfläche A1. Betroffen sind die äußeren 100-200 µm des Putzes. Lichtmikroskopisch können sie nicht ausreichend identifiziert werden. Es ist nicht auszuschließen, dass hier neben den bereits vorhandenen Kalkanreicherungen Kieselgel abgeschieden wurde und damit möglicherweise eine zusätzliche Festigung der ohnehin spröden Oberflächen verursacht hat.

Abbildungen: 48 - 53

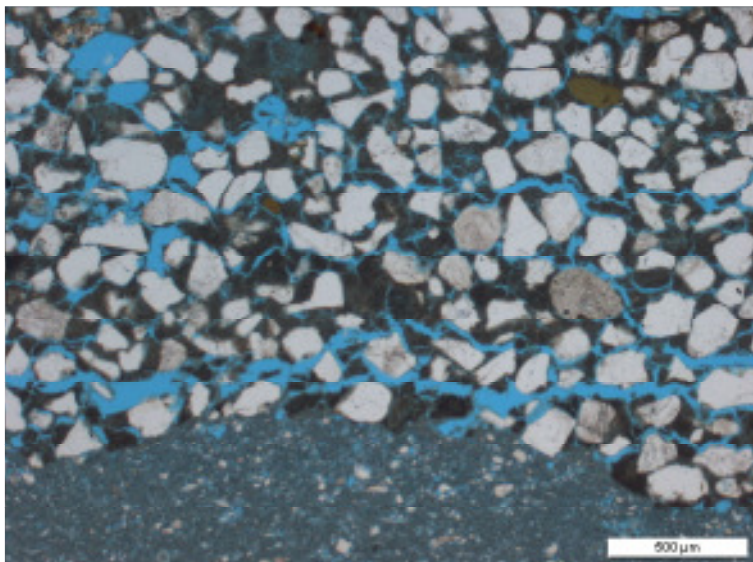


Probefläche A1

Abb.: 43

Injektionsmasse (links) neben einer Mürbzone. Innerhalb der Mürbzone ist kein Hinterfüllmörtel vorhanden. Eine kraftschlüssige Verbindung ist nicht gegeben.

05M0033_002

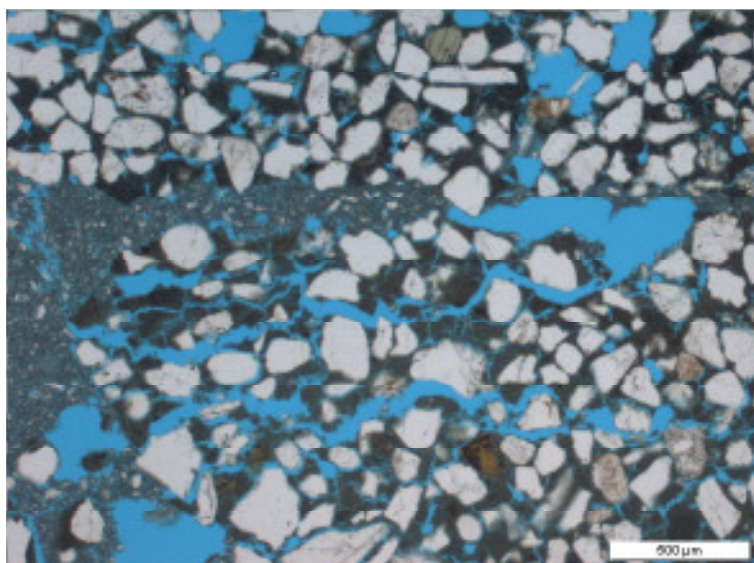


Probefläche A1

Abb.: 44

Injektionsmasse (unten) im Kontakt mit einer Mürbzone. Innerhalb der Mürbzone ist kein Hinterfüllmörtel vorhanden. Eine kraftschlüssige Verbindung ist nicht gegeben.

05M0033_003

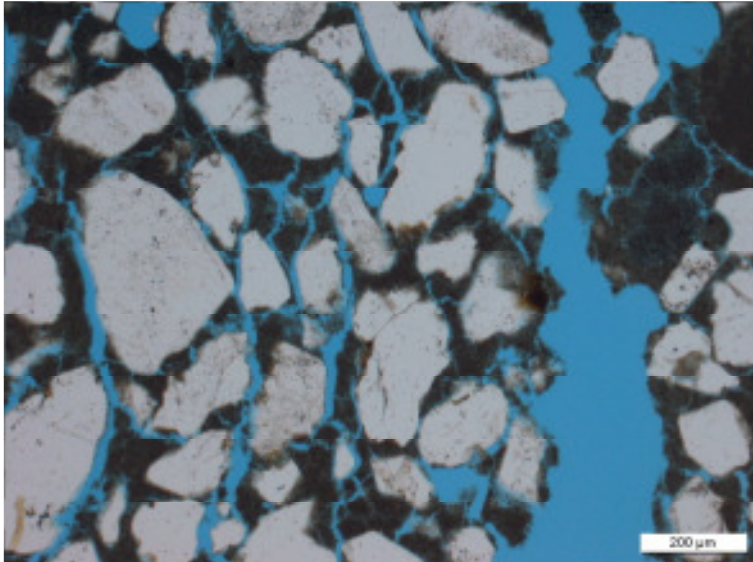


Probefläche A1

Abb.: 45

Nur an wenigen Stellen ist Hinterfüllmörtel in die Mürbzone eingedrungen.

05M0033_004

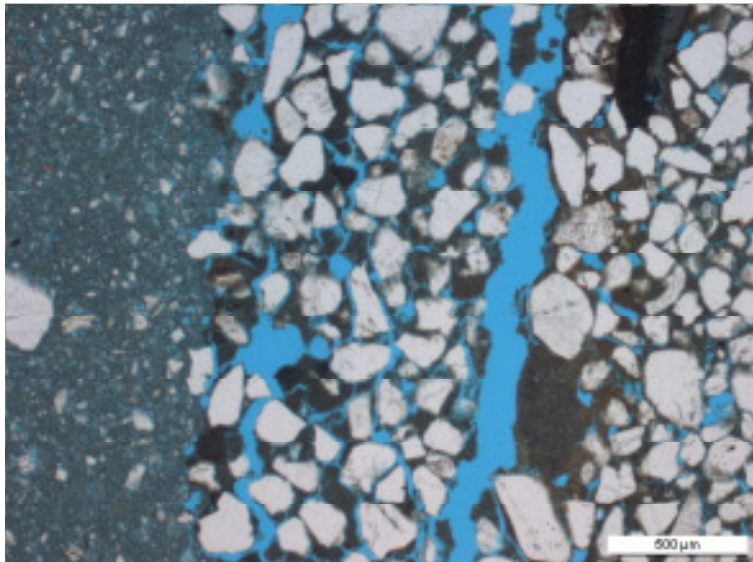


Probefläche A1

Abb.: 46

Typische Mürbzone mit kleineren und größeren Rissen.

05M0033_005

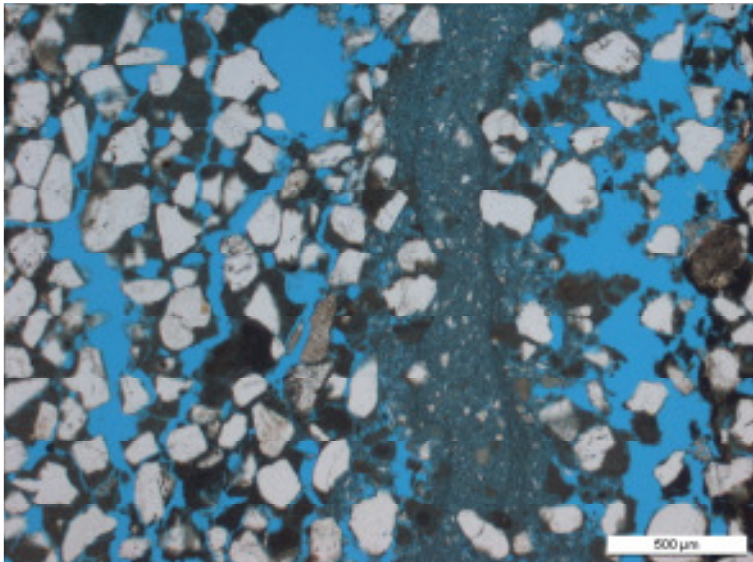


Probefläche A1

Abb.: 47

Mörtel und Injektionsmasse befinden sich in gutem Kontakt. Der in unmittelbarer Nähe verlaufende Riss wurde vom Hinterfüllmörtel jedoch nicht erreicht.

05M0033_001

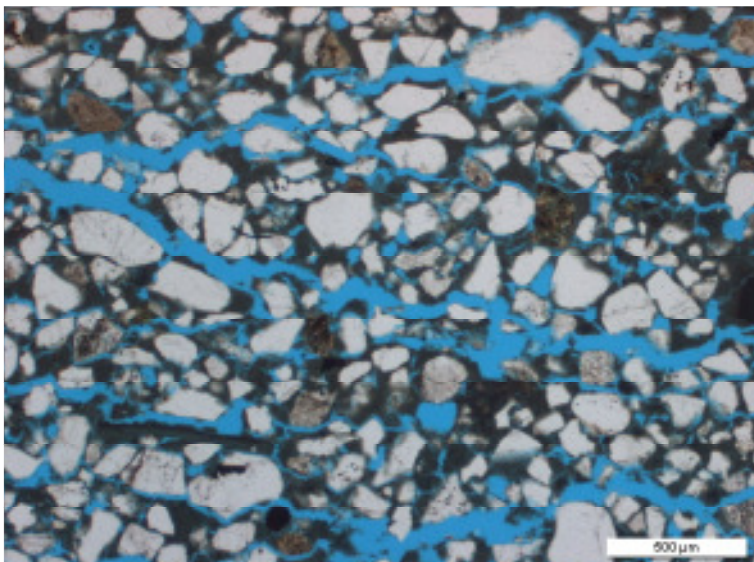


Probefläche A2

Abb.: 48

Vom Injektionsmörtel teilweise verfüllte Risse und Hohlräume.

05M0034_001

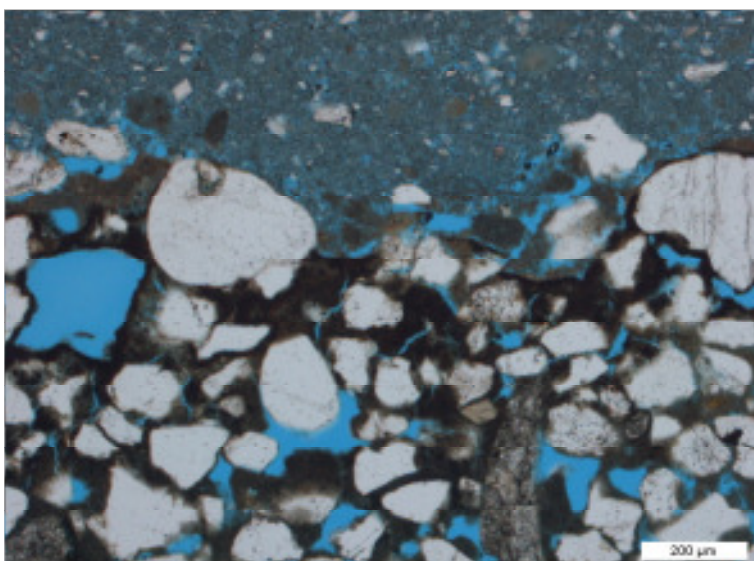


Probefläche A2

Abb.: 49

Mürbzone. Nicht verfüllte Hohlräume und Risse.

05M0034_002

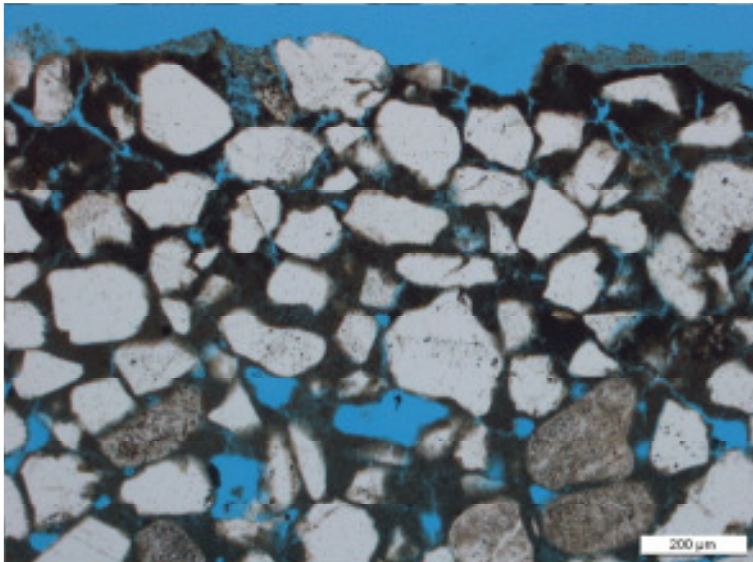


Probefläche A2

Abb.: 50

Sinterschicht auf dem unteren Malputz. Guter Kontakt der Injektionsmasse mit dem Mörtel.

05M0034_004

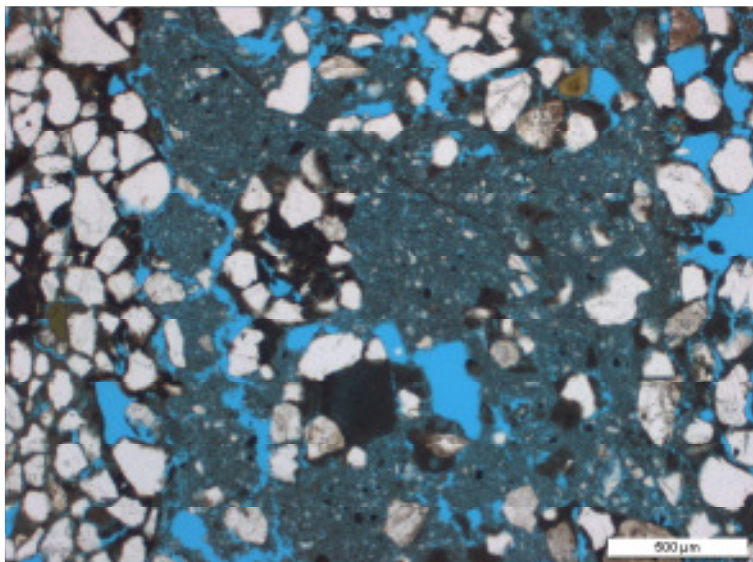


Probefläche A2

Abb.: 51

Sinterschicht (dunkle Bereiche) auf dem oberen Malputz (Wandoberfläche).

05M0034_005

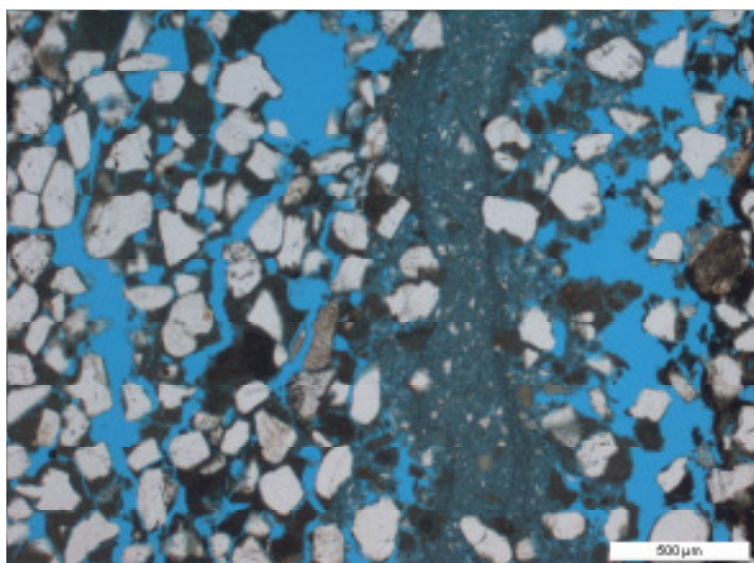


Probefläche A2

Abb.: 52

Optimal mit Hinterfüllmasse verfüllte Mürbzzone.

05M0034_006



Probefläche A2

Abb.: 53

Teilweise verfüllte Risse und Hohlräume.

05M0034_001

6.3.2 Probefläche B – PLM-AL-Basis

Restauratorische Bewertung

Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse beim Hinterfüllen der Hohlstellen wurde Syton X30 von Beginn an eingesetzt. Entsprechend des subjektiven Empfinden lies sich die Hinterfüllmasse besser als beim Versuch A1 einbringen. Durch die Klopfprobe wurde dieses Ergebnis zunächst bestätigt. Ähnlich wie bei den Probeflächen A1 und A2 erscheint das gesamte Gefüge jedoch nur unzureichend konsolidiert, da nur die oberen Putzschichten erreicht werden können. Eine Kontrolle durch Klopfprobe ist daher nur bedingt möglich und nur schwer nachvollziehbar. Die tatsächliche Anbindung der Putzflächen innerhalb einer Hohlstelle kann also nur vermutet werden.

Grundsätzlich erscheint das Material PLM-AL für diese Problematik⁹ geeignet und zeigte im praktischen Versuch z.T. auch bessere Injizier- und Fließigenschaften als CalXnova, jedoch ist der Einsatz im Bezug auf die Probleme der Wandmalerei in Rossewitz ebenfalls nur begrenzt möglich.

Mikroskopische Untersuchung

Beobachtungen bei der *Probenentnahme*:

- Mehrfachschaalen
- Klopfen zeigt zahlreiche Hohllagen
- kein Verfüllen geringer Spaltweiten
- schlechte Haftung des Hinterfüllmaterials am Putz

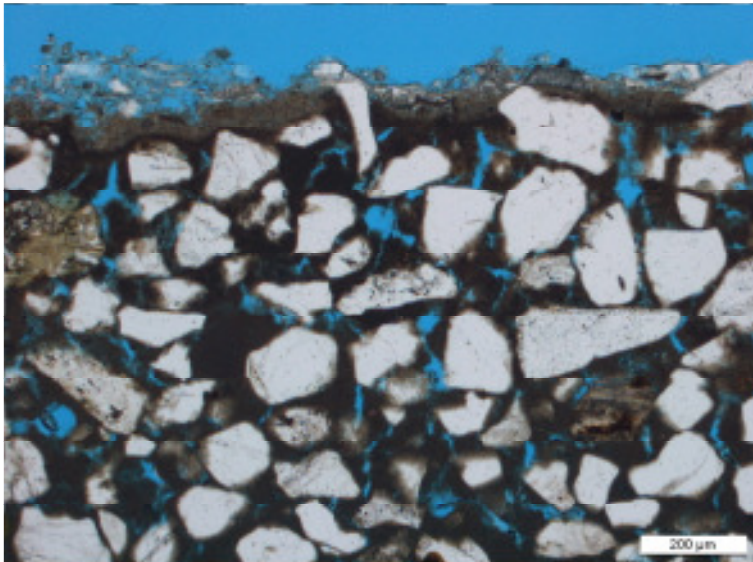
Mikroskopie:

Stratigraphie und Schädigung entsprechen etwa denen der Probefläche A. In den für die Mikroskopie entnommenen Materialproben konnte keinerlei Hinterfüllmaterial nachgewiesen werden.

Analog zu A2 sind ausgeprägte Sinterschichten auf beiden Malputzen vorhanden, die lichtmikroskopisch nicht ausreichend identifiziert werden können (200 µm breiter Gefügeabschnitt) . Es ist nicht auszuschließen, dass hier neben den bereits vorhandenen Kalkanreicherungen Kieselöl abgeschieden wurde und damit möglicherweise eine zusätzliche Festigung der ohnehin spröden Oberflächen verursacht hat.

Abbildungen: 54 und 55

⁹ wie 4

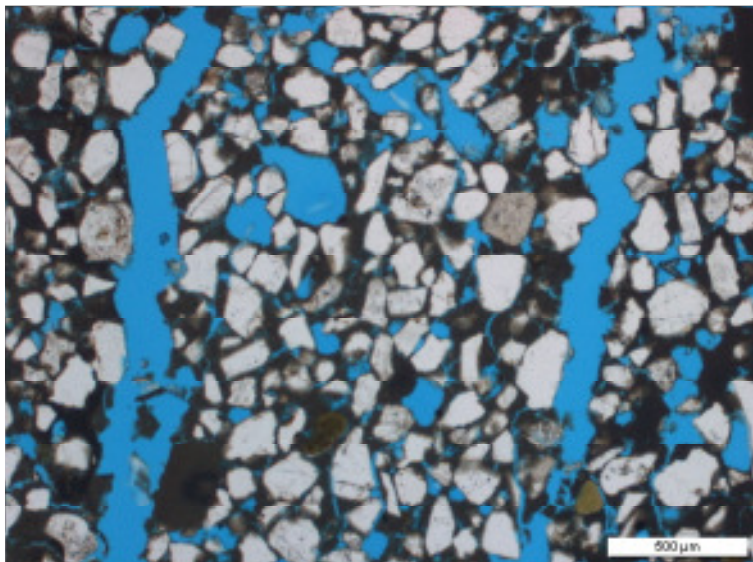


Probefläche B

Abb.: 54

Versinterter oberflächennaher
Gefügeabschnitt (dunkle Bereiche).

05M0036_002



Probefläche B

Abb. 55:

Nicht verfüllte Risse.

05M0036_001

6.3.3 Probefläche C – KSE-System-Basis

Restauratorische Bewertung

Der Einsatz des Flutsystems und die damit erfolgte Vorfestigung der vorliegenden Putzstruktur führte in diesem Modellversuch zum Erfolg. Die verbesserte Stabilität des Gefüges konnte vorerst durch die Druckprüfung mit dem Daumen und der Klopfprobe bestätigt werden.

Da die Löcher für die Injektion groß genug waren, war ein mehrmaliges Injizieren problemlos durchführbar. Aufgrund der injizierten Menge ist auf ein Verfüllen der Spalten und Hohlräume zu schließen. Die Fließeigenschaften des KSE-Systems werden für die vorliegende Problematik¹⁰ als gut eingeschätzt. Wieweit jedoch tatsächlich eine Anbindung der einzelnen Putzschichten erfolgt ist, kann nicht erkannt werden. Aufgrund der Vorversuche zu Sedimentation ist ebenfalls nicht klar, ob es zum Abriss durch Materialschwund kommt.

Aufgrund der Materialeigenschaften ist das KSE-System vermutlich ebenfalls wie die zuvor beschriebenen Systeme nur begrenzt einsetzbar. Gegebenenfalls müssten die Rezepturen innerhalb des Systems modifiziert werden.

Mikroskopische Untersuchung

Beobachtungen bei der *Probenentnahme*:

- Klopfen zeigt zahlreiche Hohllagen
- Injektionsmasse lediglich 1-2 cm gelaufen

Mikroskopie:

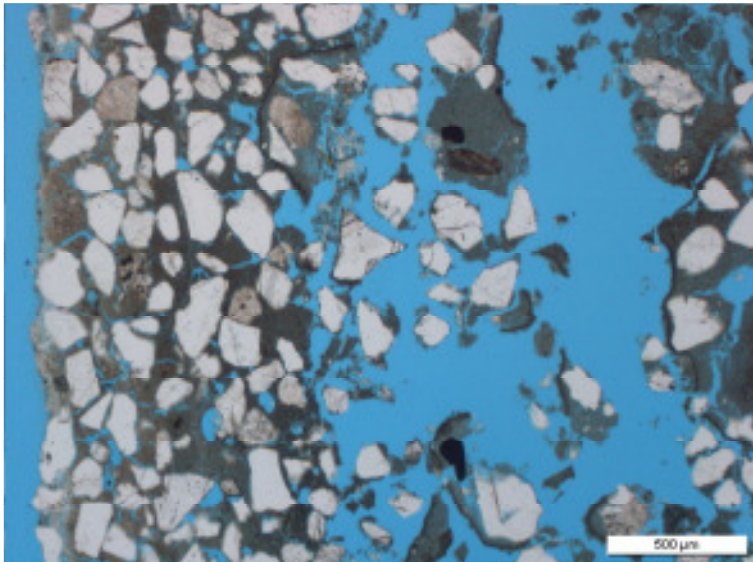
Ähnlich der Testflächen A und B handelt es sich auch hier um zwei Putzschichten, die durch eine Mürbzone voneinander getrennt sind. Die untere Putzschicht ist jedoch wesentlich gröber (Größtkorn 4 mm) als der abschließende feine Malputz (Größtkorn 0,5 mm, Schichtdicke 1,2 mm). Der Feinputz löst sich schalenförmig ab. Die dabei entstehenden Hohllagen weisen sehr unterschiedliche Rissweiten auf (stellenweise bis 3mm).

Der breite Riss ist überwiegend mit Injektionsmasse gefüllt. Die Flankenhaftung bzw. die Anbindung an Putzpartikel ist gut. Jedoch ist wiederum festzustellen, dass das Hinterfüllmaterial in Mürbzonen und Risse nahezu nicht eindringt.

An der Oberfläche des Feinputzes ist stellenweise eine Sinterschicht, die lichtmikroskopisch nicht ausreichend identifiziert werden kann (bis 500 µm breiter Gefügeabschnitt). Es ist nicht auszuschließen, dass hier neben den bereits vorhandenen Kalkanreicherungen Kieselol abgeschieden wurde und damit möglicherweise eine zusätzliche Festigung der ohnehin spröden Oberflächen verursacht hat.

Abbildungen: 56 - 59

¹⁰ wie 4

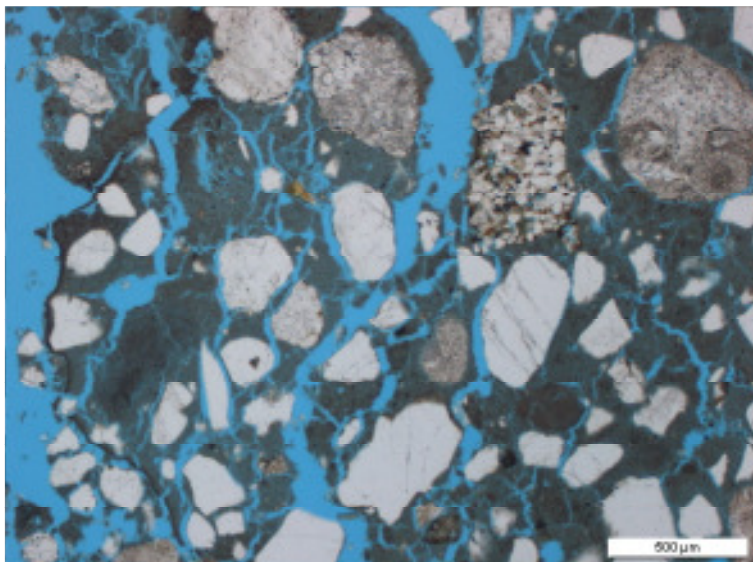


Probefläche C

Abb.: 56

Der Feinputz liegt als Schale über der darunter befindlichen Putzschicht. Es ist keine Injektionsmasse in den vorhandenen Hohlraum eingedrungen.

05M0037_001

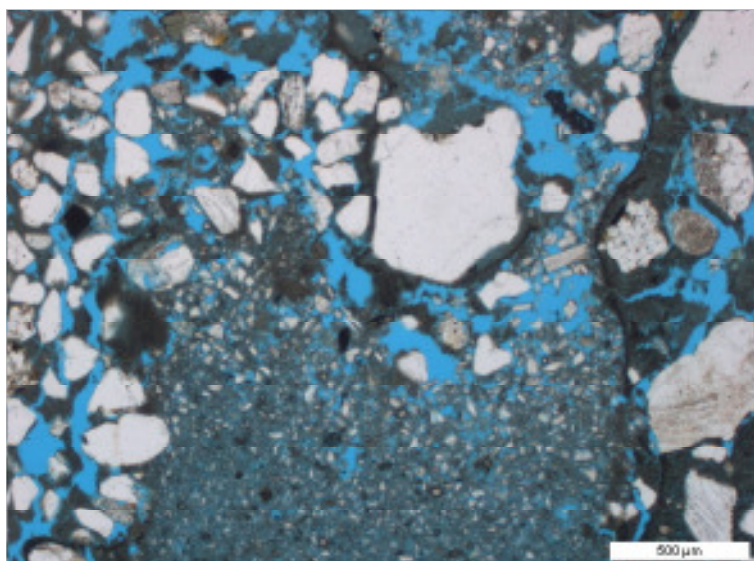


Probefläche C

Abb.: 57

Fortsetzung von Abb. 56 nach Innen. Der Putz ist hinter dem Hohlraum (Schale) stark zermürbt.

05M0037_002



Probefläche C

Abb.: 58

Injektionsmasse im hinteren Bereich eines Hohlraums.

05M0037_004

Probefläche C

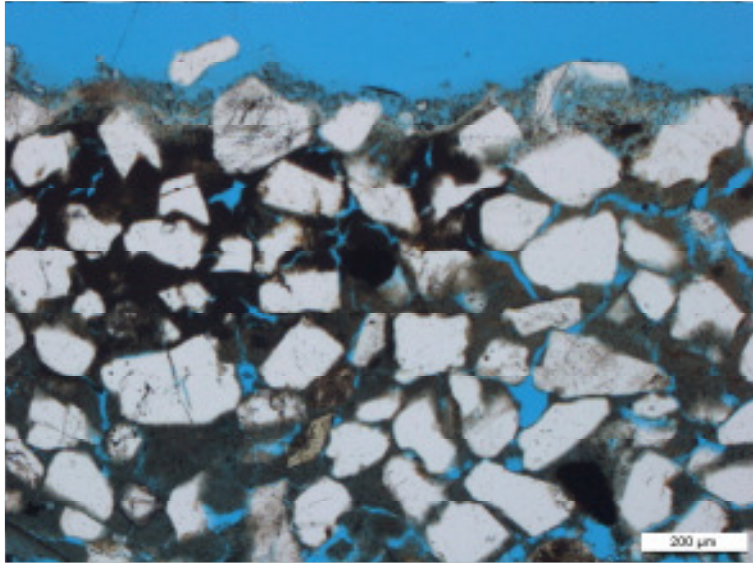


Abb.: 59

Versinterungen im oberflächennahen Gefüge des Feinputzes (Wandoberfläche).

05M0037_005

7 Bauklimatische Untersuchungen und Maßnahmen zur Klimastabilisierung¹¹

7.1 Bauklimatische Ausgangssituation

Da sich die Wandmalereien im Grenzbereich zweier Klimazonen – der Raumluft und der Wand - befinden und sich die Materialfeuchte in der Wandoberfläche in Abhängigkeit von der Grenzschichtfeuchte ändert, führen starke Klimaschwankungen zu Materialspannungen. Wechselnde Richtungen (Sorption und Desorption) und damit auch wechselnde Spannungen verursachen langfristig eine Lockerung des Gefüges im Schichtenaufbau. Ebenso können chemische Umwandlungsprozesse aktiviert werden, die den Abbauprozess im Wandgefüge verstärken. Vorteilhaft für den Erhalt der Malschichten (Pigmente, Bindemittel etc.) und der Putzschichten ist ein stabiles Klimagleichgewicht zwischen beiden Zonen. Während der Voruntersuchung wurden an Proben im Festsaal nur geringe Salzbelastungen nachgewiesen. Keine Priorität besitzt daher zunächst die aktive Klimasteuerung (Feuchteregulator), um das Kristallisationsniveau bestimmter Salze zu vermeiden.

Während in normal genutzten Gebäuden die gesamte Hüllfläche und vor allem der Innenausbau für einen Klimaausgleich zur Verfügung stehen, bleiben in Rossewitz außer Betonboden und der wieder rekonstruierten Holbalkendecke nur die bemalten Wände. Da „Pufferflächen“ fehlen, vollziehen sich somit die Feuchteausstauschvorgänge direkt über die Malschichten. Im Übrigen sei zur Verdeutlichung der komplexen baulichen Situation auf die Beschreibungen des Kapitels 1 verwiesen.

Derartige Vorgänge der Klimaadaptation von ruinösen Gebäuden mit wertvollen Wandmalereien sind bisher nicht systematisch untersucht worden. Begleitende klimastabilisierende Maßnahmen unterbleiben meist völlig oder werden - wie der Einsatz von mobilen Entfeuchtern oder das „Trockenheizen“ - recht willkürlich eingesetzt. Im Schloss Rossewitz bot sich die Chance, die bauklimatischen Verhältnisse über einen längeren Zeitraum zu beobachten und zu bewerten. Begleitend zu den Bau- und Restaurierungsmaßnahmen wurden einfache Maßnahmen zur Klimastabilisierung eingesetzt sowie ihre potentiell hohe Wirksamkeit erstmalig nachgewiesen.

Die ergriffenen Maßnahmen zur passiven Klimastabilisierung sind – trotz aufgetretener technisch singulärer Probleme wie korrodierter Aufhängeösen - durch ein hohes Maß an Baustellentauglichkeit und Kosteneffizienz gekennzeichnet. Sie tragen zu einer nachweislich mess- und bilanzierbaren Reduzierung des Klimastresses für die Wandmalerei bei, solange keine stationäre Heizungs- oder Klimatisierungstechnik installiert wird.

Ziele und Aufgaben:

- Reduzierung von hygrischen Kurzzeitbelastungen wie Feuchtespitzen und Kondensation bei gleichzeitiger Förderung der allmählichen Trocknung der Bausubstanz

¹¹ Eckermann, Wulf: Bauklimatische Untersuchungen im Schloß Rossewitz; unveröffentl. Bericht im Auftrag MPA Bremen, 2005

- klimatische Absicherung und 'Unterstützung' der Restaurierungsmaßnahmen
- Beurteilung des Einflusses von fortschreitenden Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen zur Verhinderung von akuten Belastungen oder Folgeschäden
- Erfassung des Einflusses von Grenzschichtvorgängen und Kleinklimabereichen durch Nahfeldmessungen
- Einsatz und Überprüfung von einfachen und kostengünstigen Maßnahmen zur Klimastabilisierung
- Klimaprognose für verschiedene Optionen, Definition von Nutzungsgrenzen

7.2 Bauklimatische Untersuchungen

7.2.1 Messprogramm

Erste Grundinformationen über das Raumklima konnten während einer orientierenden Klimamessung im Jahr 1998 gewonnen werden (vgl. 2.2). Anfang 2001 wurde dann nach Beginn des DBU Vorhabens eine Messanlage zur Erfassung des Rau- und Außenklimas sowie des Mikroklimas in einem ausgewählten Bereich installiert, die bis zum Jahr 2003 in Betrieb war.

Im Sommer 2002 wurde durch einen Überspannungsschaden (Blitzschlag) in der nur ungenügend abgesicherten provisorischen Elektroanlage des Schlosses die gesamte Messeinrichtung zerstört. Vom Zeitraum Anfang März bis Ende Oktober 2002 existieren deshalb keine Messdaten.

Lage der Messstellen:



Abb. 60: Gesamte Messachse an Westwand



Abb. 61: Meßst.: rF/T(wand) rF/T(scholle) rF/T(grenz)



Abb. 62: Messstelle: rF/T(i)



Abb. 63: Messstelle: rF/T(puffer)

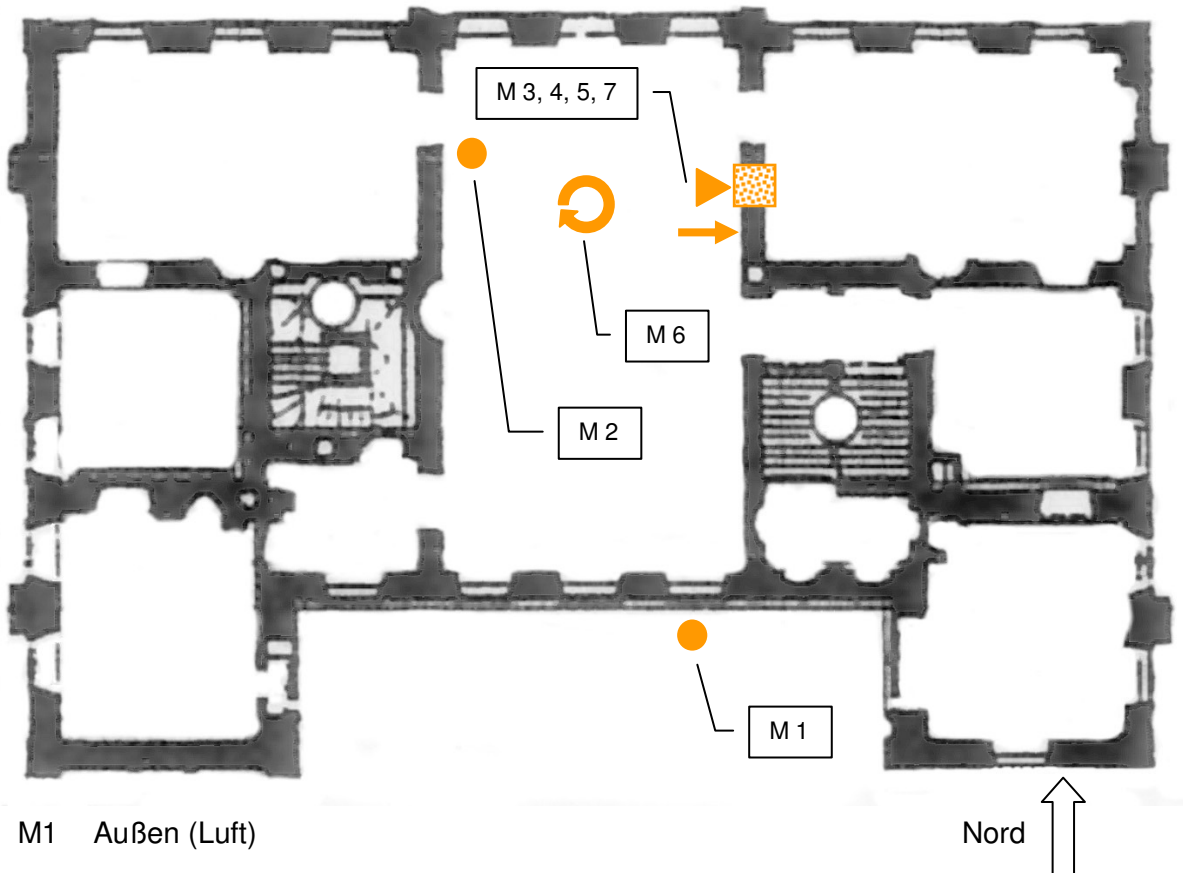


Abb. 64: Lokalisierung der Messstellen im Grundriss (Erläuterungen folgend)

M2 Festsaal (Luft)






M3 Festsaal (Nahfeld bzw. Grenzschicht)

M4 Festsaal (Scholle)

M5 Festsaal (Wand)

M6 Festsaal (Puffer)

M7 Festsaal (Wand)

-  Feuchte / Temperatur: Luft T in °C / rH in %
-  Feuchte / Temperatur: Nahfeld T in °C / rH in %
-  Feuchte / Temperatur: Wand / Scholle T in °C / rH in %
-  Feuchte / Temperatur: Puffer T in °C / rH in %
-  Temperatur: Oberfläche T in °C

Beschreibung der Meßstellen:

	Meßstelle	Einheit	Bezeichnung
	Meßwerte		
1	T (a)	°C	Temperatur der Außenluft (Nordseite)
1	rF (a)	%	relative Luftfeuchte der Außenluft (Nordseite)
2	T (i)	°C	Temperatur der Innenluft (Festsaal, Westseite)
2	rF (i)	%	relative Luftfeuchte der Innenluft (Festsaal, Westseite)
3	T (grenz)	°C	Temperatur vor der Wand, ca. 1cm Abstand
3	rF (grenz)	%	relative Luftfeuchte vor der Wand, ca. 1cm Abstand
4	T (scholle)	°C	Temperatur der Luft in Putzscholle
4	rF (scholle)	%	relative Luftfeuchte der Luft in Putzscholle
5	T (wand)	°C	Temperatur im Putzaufbau, ca. 3 cm von der Oberfläche
5	rF (Wand)	%	rel. Luftfeuchte im Putzaufbau, ca. 3 cm von der Oberfläche
6	T (puffer)	°C	Temperatur im Feuchtepuffer (Mitte eines Zellulosesackes)
6	rF (puffer)	%	rel. Luftfeuchte im Feuchtepuffer (Mitte Zellulosesack)
7	T (o)	°C	Temperatur auf der Wandoberfläche

	Meßstelle	Einheit	Bezeichnung
	Rechenwerte		
1	aF (a)	g/m ³	absolute Luftfeuchte der Außenluft (Nordseite)
2	aF (i)	g/m ³	absolute Luftfeuchte der Innenluft (Festsaal, Westseite)
4	aF (scholle)	g/m ³	absolute Luftfeuchte der Luft in Putzscholle
5	aF (Wand)	g/m ³	abs. Luftfeuchte im Putzaufbau, ca. 3 cm von der Oberfläche
3	aF (grenz)	g/m ³	absolute Luftfeuchte vor der Wand, ca. 1cm Abstand
6	aF (puffer)	g/m ³	abs. Luftfeuchte im Feuchtepuffer (Mitte Zellulosesack)
8	t (Tau)	°C	Taupunkttemperatur im Festsaal

7.2.2 Charakteristik des Eigenklimas

Eigenklima: Das Eigenklima eines Gebäudes beschreibt das natürliche Klimaverhalten ohne Einwirkung von technischen Einrichtungen und Nutzungseinflüssen.

Das Klima im Festsaal ist deutlich geprägt durch die äußere Klimaeinwirkung:

- Die Phasenverschiebung zur äußeren Tagesperiode ist praktisch gleich null.
- Zur geringen Zeitverzögerung zwischen inneren und äußeren Extremwerten trägt ein hoher mittlerer Luftwechsel von ca. 0,5 bis 0,8 je Stunde (h^{-1}) bei.
- Die Maximalwerte der Temperatur und Feuchte werden nur gering gedämpft und führen zu deutlichen Klimaschwankungen im Raum.
- Im Festsaal betragen die jährlichen Schwankungsbreiten 34 Grad (- 4°C bis 30 °C) und annähernd 70 % relative Feuchte (30 % bis 97 %).
- Die relative Luftfeuchtigkeit pendelt auf einem hohen Niveau und erreicht fast immer Werte zwischen 70 % und 90 %. Die mittlere Raumlufffeuchte im Festsaal liegt im Jahresverlauf bei ca. 75 – 80 %.
- Gegenüber der Erstmessung aus dem Jahre 1998 (belüftetes, an den Mauerkronen offenes Notdach) mit einer mittleren Raumlufffeuchte von damals deutlich über 80 % ist tendenziell eine Verringerung des Feuchteniveaus im Festsaal um 5 bis 10% durch die baulichen Maßnahmen (Dach, Decke, Fenster) nachweisbar.

Auch die kurzzeitigen Amplituden der Raumlufftemperatur und der Raumlufffeuchte sind ausgeprägt:

- Tagesamplituden der Lufttemperatur von 3,5 Kelvin und an sonnenbeschienenen Oberflächen bis zu 10 Kelvin
- Tagesamplituden von 30 % relativer Luftfeuchte, bei Sonneneinstrahlung sogar bis zu 40% rF im Festsaal.

Der mittlere jährliche Feuchtegehalt in der Raumluff liegt über den Werten der Meßstellen in der Wand und in der Scholle (siehe folgende Abbildung). Eine Auffeuchtung der Wandoberfläche und der ersten Zentimeter im Putzaufbau über den Bereich der Ausgleichsfeuchte ist nicht erkennbar.

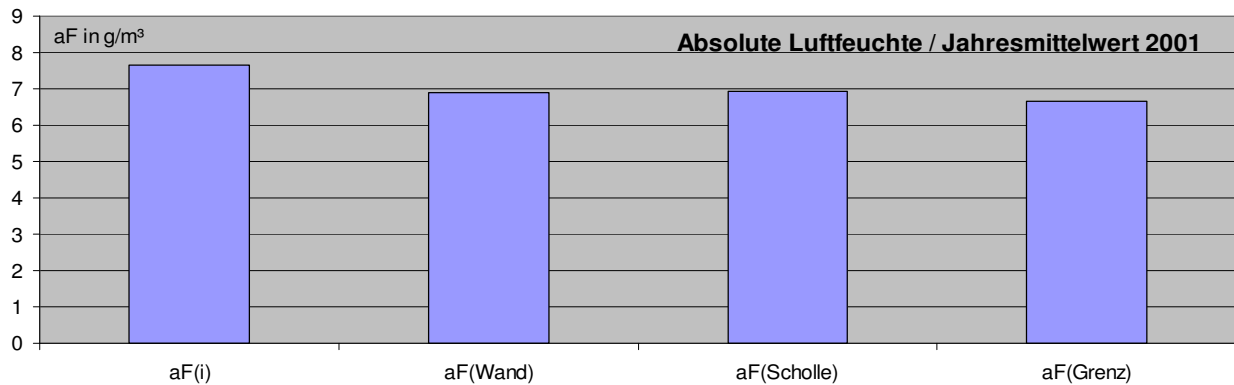


Abb. 65: Jahresmittelwerte der absoluten Luftfeuchte an den Meßstellen Luft, Wand, Scholle und Grenzschicht

Zumindest im Bereich der Messstellen gibt es damit auch keine Hinweise für die ursprüngliche Hypothese eines andauernd stetigen Austrocknens der im ruinösen Zustand stark befeuchteten Raumwände (vgl. 7.1). Der Trocknungsprozess scheint für den Festsaal zunächst zur Ruhe zu kommen, kann sich aber im Falle einer Nutzung mit winterlicher Beheizung wieder verstärken. In den oberen Wandpartien, die direkt unter der ehemals frei bewitterten Mauerkrone liegen, kann sich eine andere Situation ergeben.

Im Winter und im Frühjahr wird an wenigen Tagen die Taupunkttemperatur der Raumluft an der Oberfläche der Innenwand (Messstelle T(o)) unterschritten. Die Tauwassergefahr an der gesamten Raumschale wird als vergleichsweise gering eingeschätzt.

Der Einfluss einer temporären Nutzung auf das Eigenklima lässt sich anhand der folgenden Abbildung erkennen. Während einer festlichen Veranstaltung wurde der Festsaal probeweise am Abend des 23. März und am 24. März in Anwesenheit von ca. 100 Gästen durch zwei mobile Gasheizgeräte beheizt. Die Temperatur der Wandoberfläche steigt kurzzeitig von ca. 3 auf 11 Grad Celsius. Die Taupunkttemperatur steigt im gleichen Zeitraum noch deutlicher, da durch die Besucher weitere Feuchte in den Raum gebracht wird. Es kommt trotz der Raumlüftung mit „trockener“ Winterluft zeitweise zu Kondensatausfall an der Wand.

An warmen Tagen im April oder Mai könnte die Belastung durch ein derartiges Nutzungsszenario noch deutlicher ausfallen, da eine Entfeuchtung des Raumes mittels Raumlüftung nicht effektiv ist. Eine temporäre Nutzung im Herbst ist weniger kritisch. Ebenso verringert eine Grundtemperierung des Raumes die Risiken der temporären Nutzung.

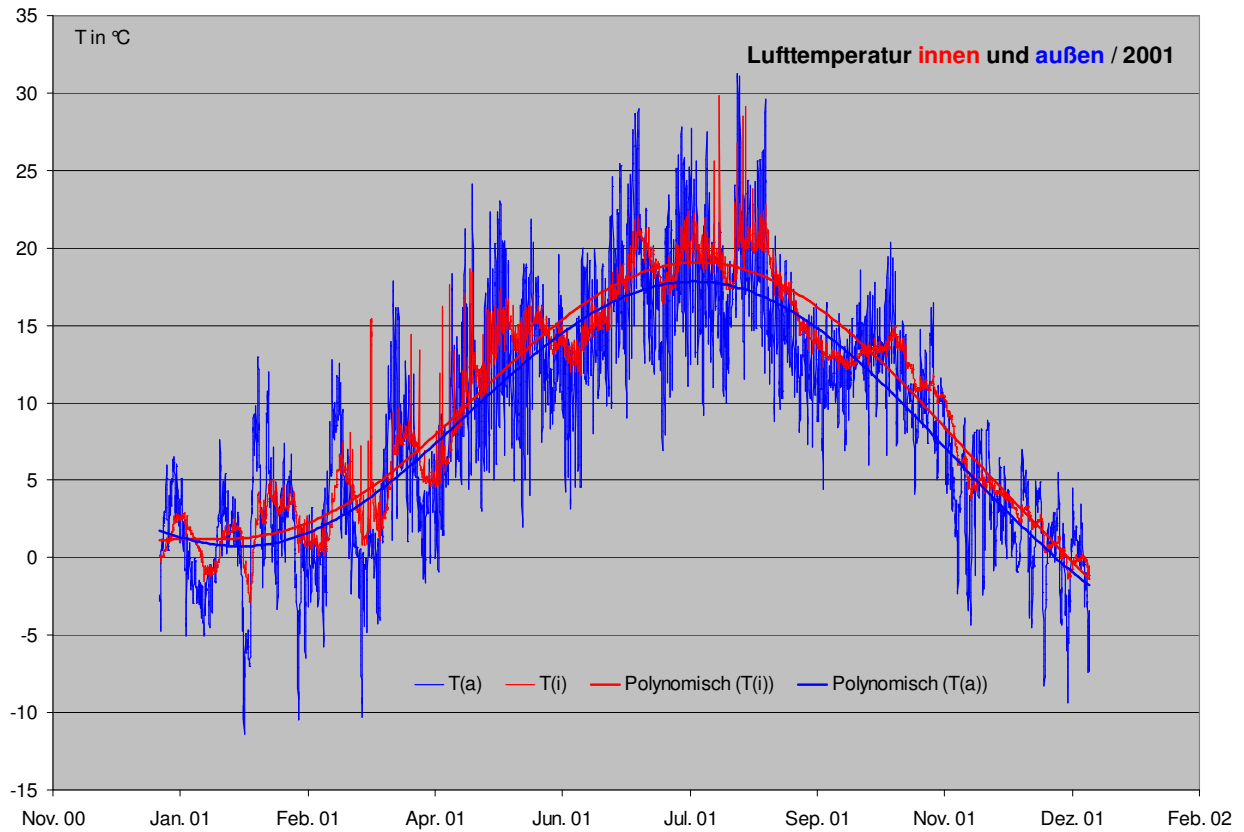


Abb. 66: Lufttemperatur innen und außen im Jahresverlauf 2001

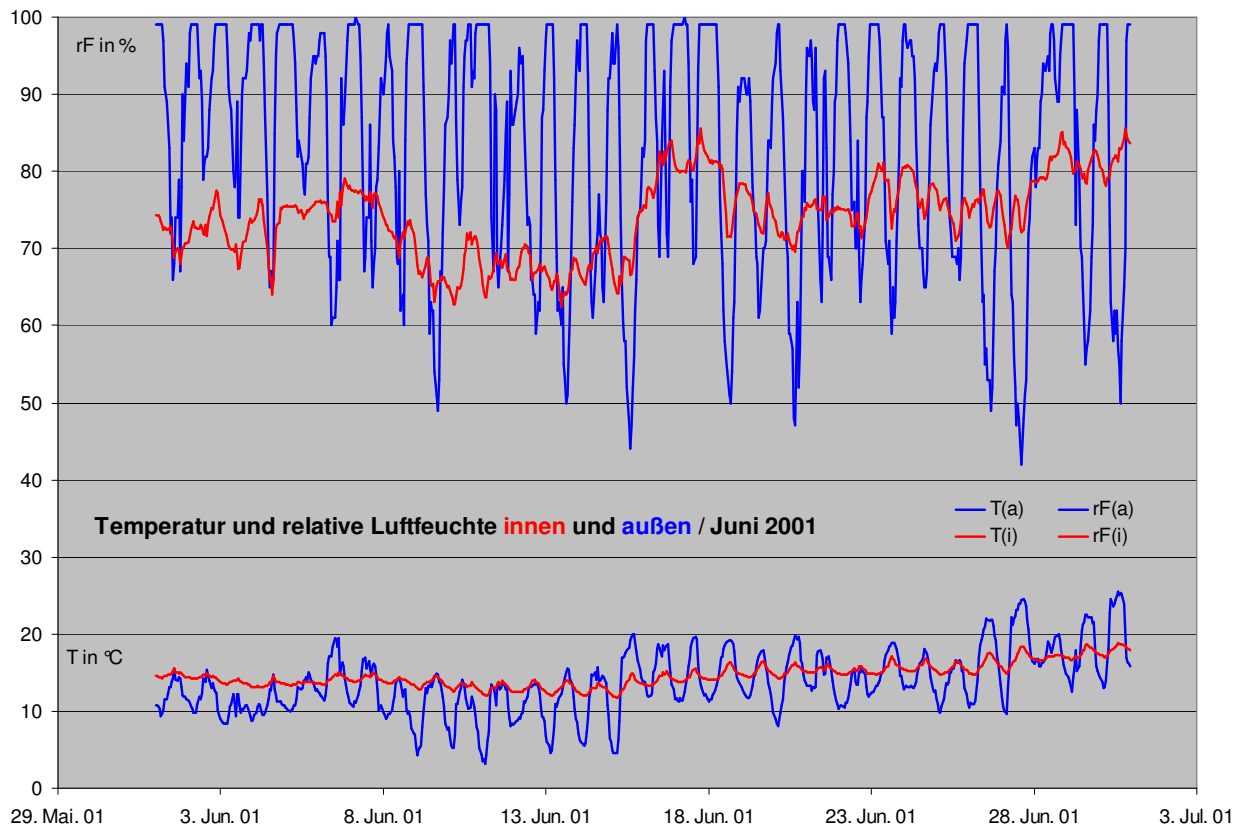


Abb. 67: Lufttemperatur und relative Luftfeuchte im Monat Juni

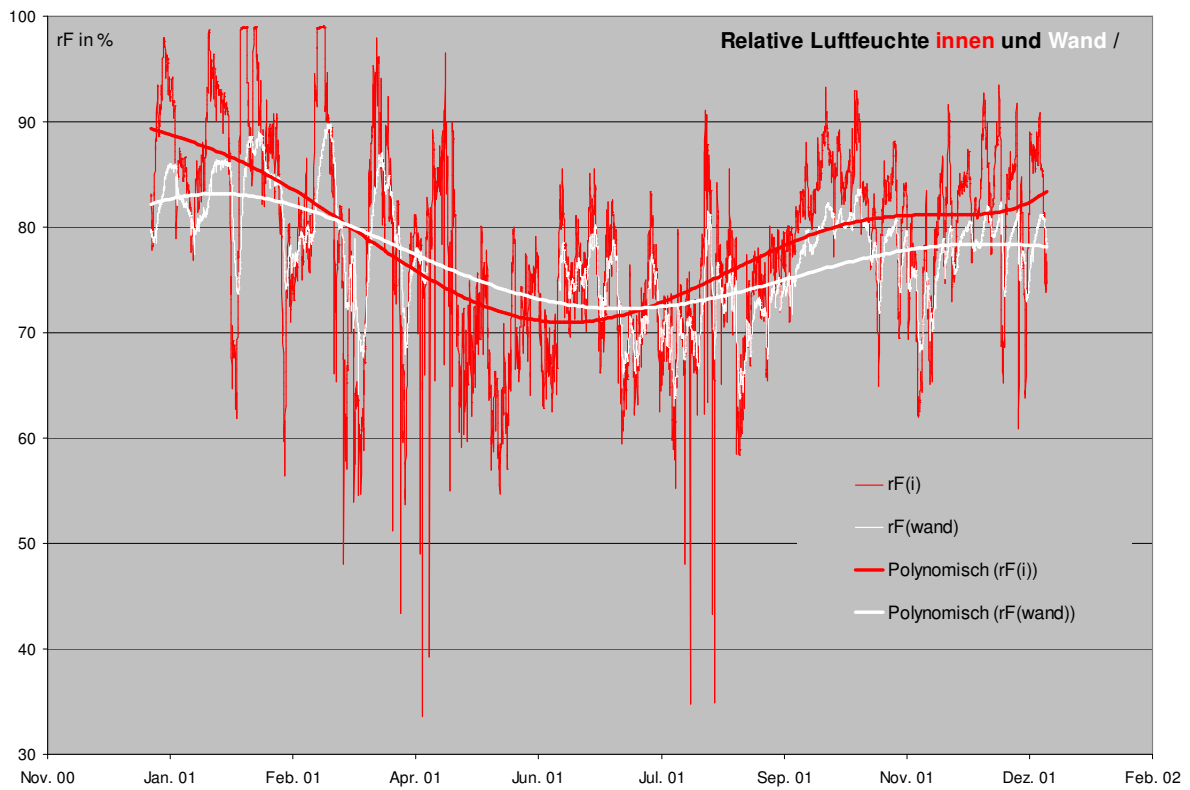


Abb. 68: Rel. Luftfeuchte in der Raumluft und in der Wandoberfläche im Jahresverlauf

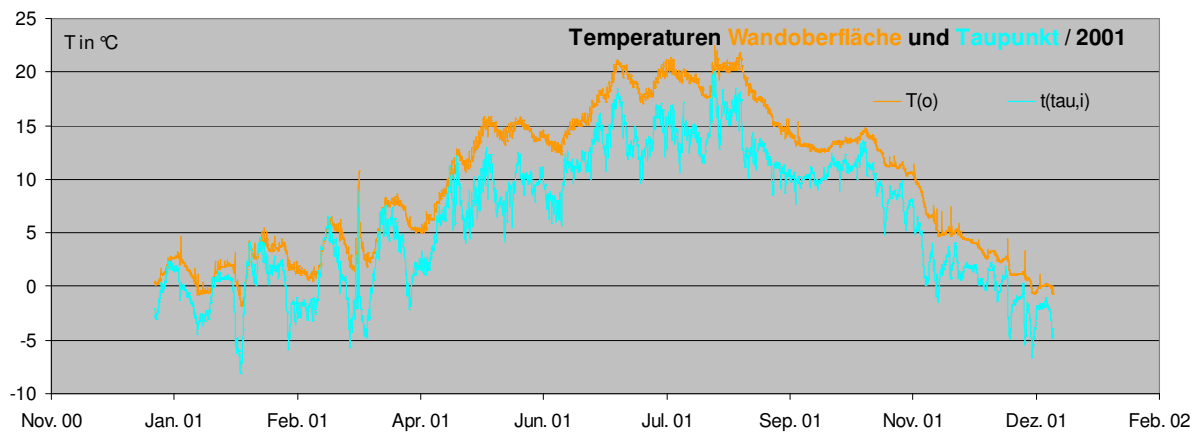


Abb. 69: Temperatur an der Wandoberfläche und Taupunkttemperatur im Jahresverlauf

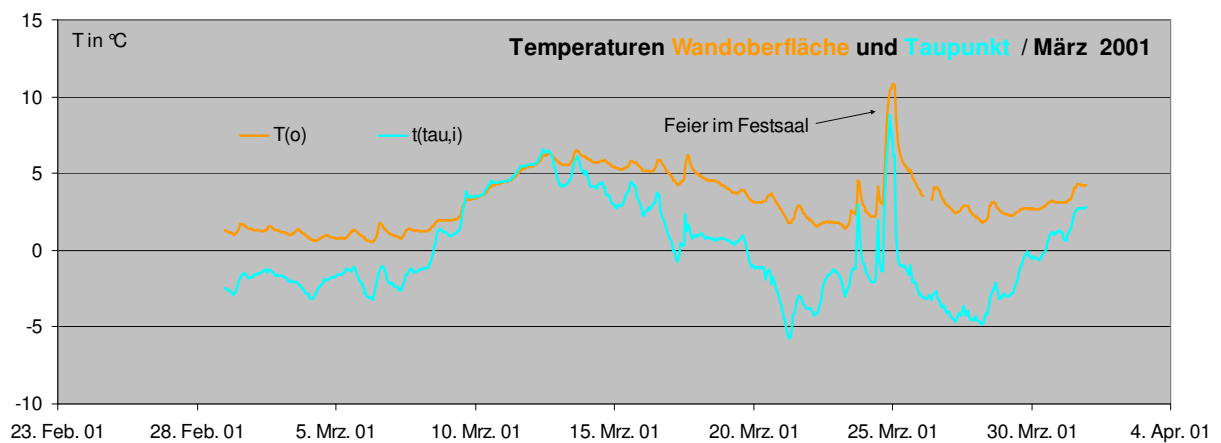


Abb. 70: Temperatur an der Wandoberfläche und Taupunkttemperatur im Monat März

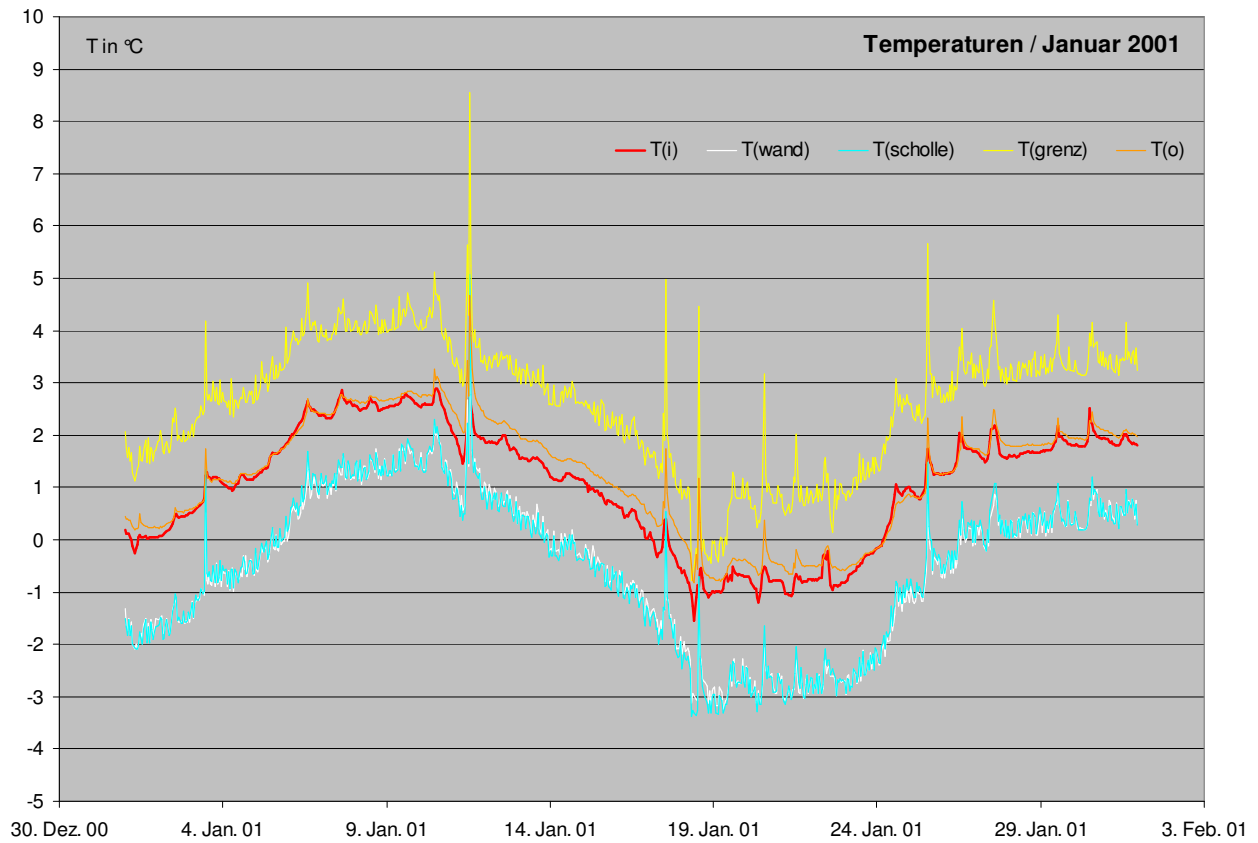


Abb. 71: Temperatur der Messstellen Luft, Wand, Scholle und Grenzschicht im Monat Januar

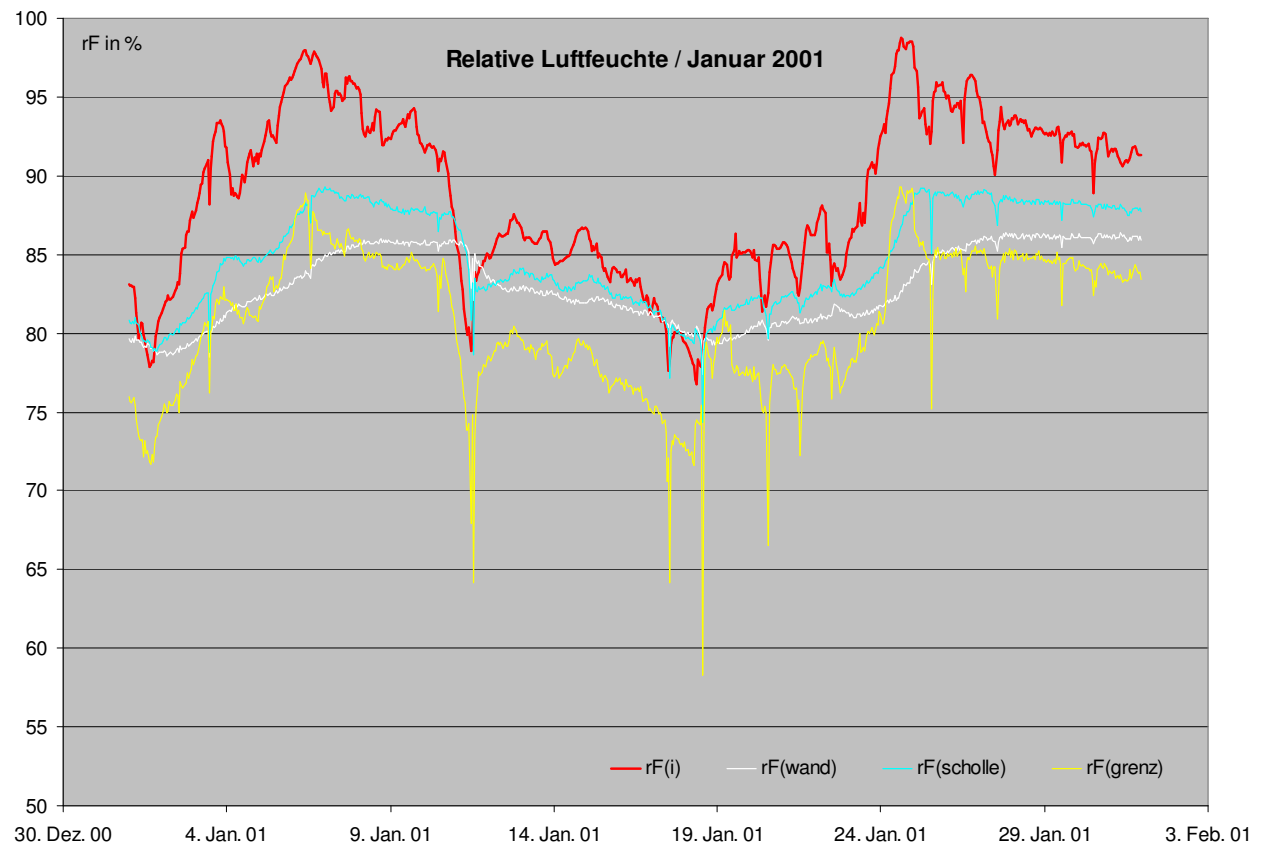


Abb. 72 Luftfeuchte der Messst. Luft, Wand, Scholle und Grenzschicht im Monat Januar

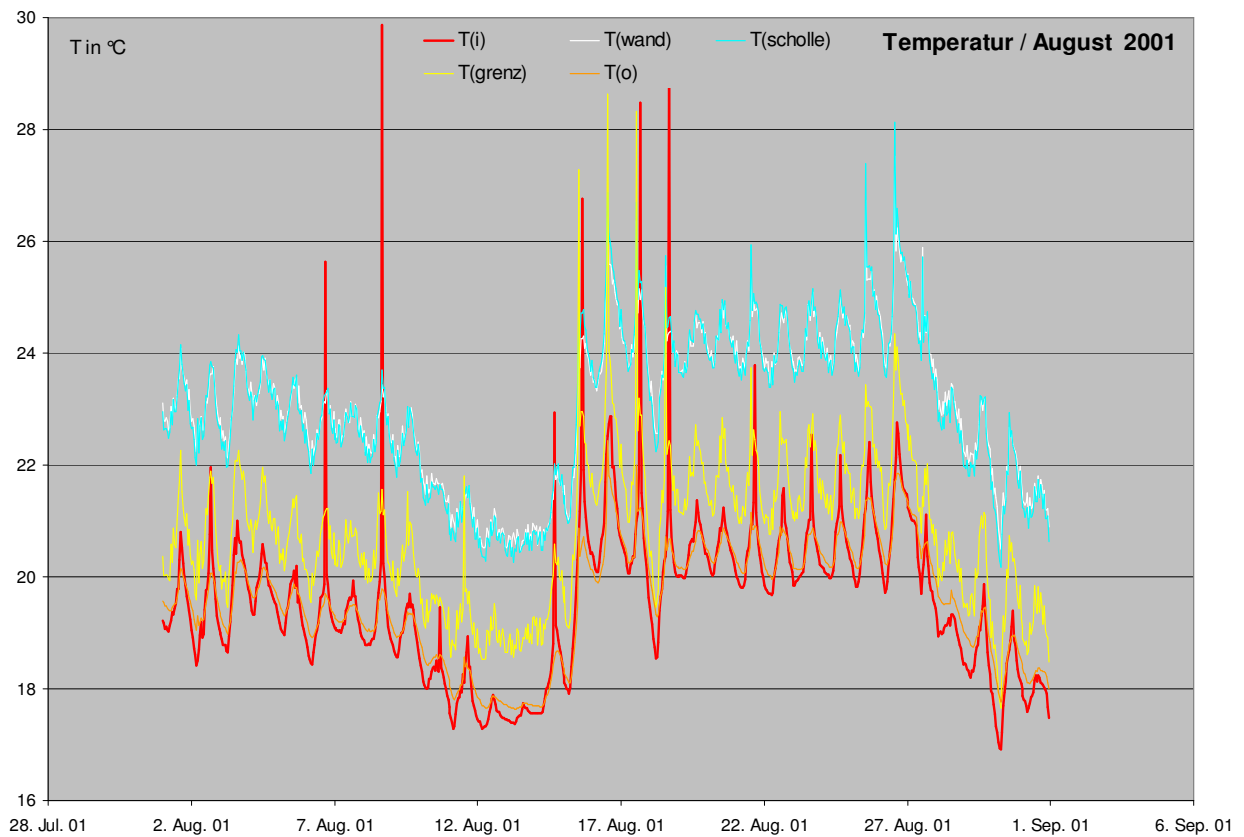


Abb. 73: Temperatur der Messstellen Luft, Wand, Scholle und Grenzschicht im Monat August

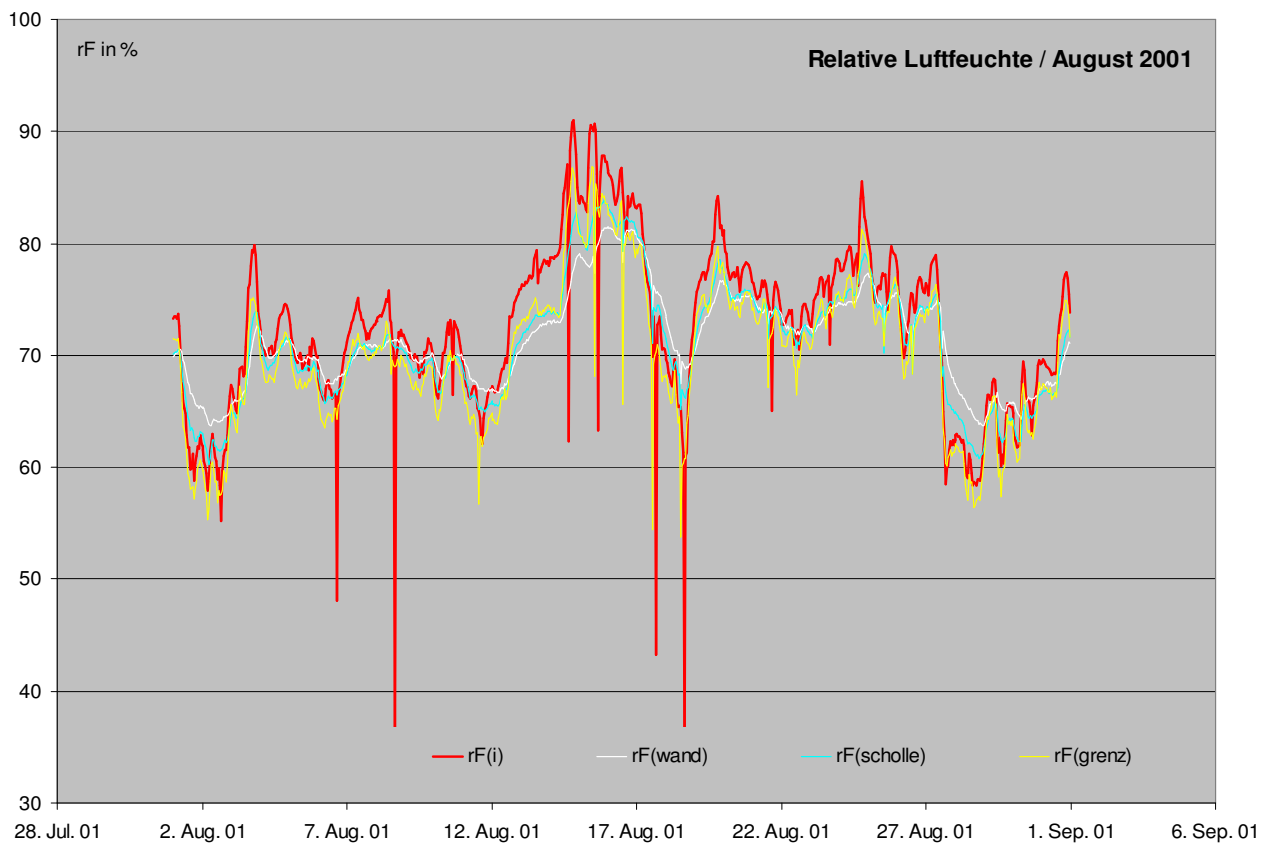


Abb. 74: Luftfeuchte der Messst. Luft, Wand, Scholle und Grenzschicht im Monat August

7.3 Maßnahmen zur Klimastabilisierung und Klimakontrolle

7.3.1 Klimastabilisierung durch Feuchtesorption

Hüllfläche und Ausstattung eines Raumes reagieren unmittelbar auf Änderungen der relativen Feuchte. Auch bei schnellen Schwankungen wird sofort Feuchte an den Oberflächen gebunden bzw. abgegeben. Natürlich können Speicher auf Dauer nicht in einer Richtung arbeiten. Auf Zeiten der Aufladung müssen Zeiten der Entladung folgen. „Pufferflächen“ im Raum in Form von diffusionsoffenen Putzen und Holzbekleidungen oder speziellen Absorberelementen tragen zur „Entschärfung“ der Feuchtespitzen bei. Das wertvolle Einzelobjekt wird durch die Verteilung der Feuchte weniger belastet. Auch bei Taupunktunterschreitungen kann ein sorptiver Baustoff über einen längeren Zeitraum anfallendes Kondenswasser in seinen Porenvolumen einlagern, ohne dass es zu ausgeprägt nassen Stellen kommt.

Sorption: Die Sorption beschreibt die Eigenschaft von vielen Materialien, ihre eigene Stofffeuchte in Abhängigkeit der herrschenden Luftfeuchte zu ändern. Dabei ändert sich der Gehalt an flüssigem Wasser in den Poren von sorptiven Baustoffen in Abhängigkeit der umgebenden relativen Luftfeuchtigkeit. Alle Naturbaustoffe besitzen eine mehr oder weniger große Sorptionsfähigkeit.

Der Festsaal im Schloss Rossewitz verfügt außer den Wand- Decken- und Bodenflächen über keine nennenswerten Feuchtespeichermedien. Im Fall der Wandmalereien besteht aber die Forderung, gerade diese Flächen vor Klimaschwankungen zu schützen. Da sich die Wandmalereien im Grenzbereich zweier Klimazonen – der Raumluft und der Wand - befinden und sich die Materialfeuchte in der Wandoberfläche in Abhängigkeit von der Grenzschichtfeuchte ändert, können starke Klimaschwankungen zu Materialspannungen führen. Wechselnde Richtungen (Sorption und Desorption) und damit auch wechselnde Spannungen verursachen langfristig eine Lockerung des Gefüges im Schichtenaufbau. Vorteilhaft für den Erhalt der Malschicht (Pigmente, Bindemittel etc.) und der Putzschichten ist ein stabiles Klimagleichgewicht zwischen beiden Zonen.

Technisch aufwendige, aktive Lösungen zur Klimastabilisierung sind aufgrund der unkontrollierten Bedingungen während der langen Bauzeit nicht realisierbar. Primär schädigende Kristallisationswechsel aufgrund löslicher Salze mit strengen Anforderungen an den Soll-Klimabereich bestehen nicht. Um die Feuchteaustauschvorgänge über die Wandflächen zu reduzieren, lag es daher nahe zunächst schnell reagierende Feuchtepuffermedien im Saal zu installieren.

Dazu wurden kostengünstige, rein passive Interimslösungen (künstliche Sorptionsflächen im Festsaal) ohne zusätzlichen Energieeinsatz vorgesehen und in ihrer Wirksamkeit geprüft. Diese Maßnahme zur passiven Klimastabilisierung kann eine Hilfe zur bauklimatischen Sicherung des Malereibestandes bieten, solange keine endgültigen Heizungs- und/oder Klimatisierungsanlagen im Schloss Rossewitz vorgesehen werden.

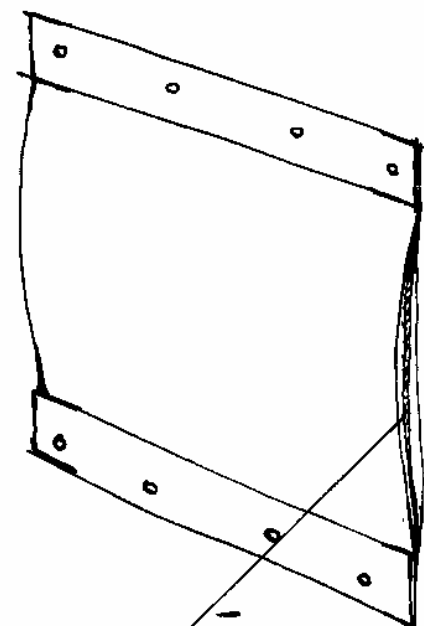
7.3.2 Aufbau der Feuchtepuffer

Im August 2002 wurden im Festsaal die Feuchtepuffer installiert, die in vier Reihen aus jeweils neun sackartigen Elementen an der Decke hängen. Es handelt sich um kissenartige, mit Zelluloseflocken gefüllte Vorhänge. Um die Baumaßnahmen im Saal nicht zu behindern, bestand die Forderung nach einer begrenzt mobilen Puffereinrichtung. Nach Diskussion verschiedener Ausführungsvarianten (u. a. bewegliche Container, Jalousie zum Hochziehen) fiel die Entscheidung auf eine vertikale Anordnung der Säcke, die untereinander mit Ösen und S-Haken verbunden und mit Laufschienen an den Unterzügen der Decke befestigt sind. Die Feuchtepuffer können über die Länge der Unterzüge in horizontaler Richtung im Raum verschoben werden.

Die Säcke in der Größe von ca. 1 m x 1,6 m bestehen aus einem diffusionsoffenen flammhemmenden Nesselgewebe. Durch die mit Reißverschluss versehenen seitlichen Öffnungen wurden die Säcke vor Ort mit Zellulosefasern der Kategorie isofloc L gefüllt. Durch eine feste Maschineneinstellung beim Befüllen erhalten alle Säcke die gleiche Menge an Zellulosefasern (ca. 6,5 kg je Sack). Für den Feuchteaustausch mit der Raumluft stehen in der Summe der 36 Säcke ca. 120 m² sorptionsfähige Oberfläche zur Verfügung.



Abb. 75: Befüllen der Nesselsäcke vor Ort



eine
seitliche Öffnung zur
Befüllung der Säcke.
Verschiebbar mit einem
Reißverschluss

Skizze für die Anfertigung
der Feuchtepuffer

Anfang 2003 lösten sich die Verbindungen einiger Säcke aufgrund korrodierter und gerissener Ösen. Daraufhin wurden die losen Säcke auf dem Rollgerüst im Festsaal frei gelagert, so dass der Feuchteaustausch mit der Raumluft nicht eingeschränkt wurde. Die Feuchtepuffer verblieben bis September 2003 im Festsaal und wurden nach Abbau des Rollgerüsts in einem Nebenraum gelagert.

7.3.3 Wirkungsweise der Feuchtepuffer



Abb. 76 und 77: Feuchtepuffer im Rokokosaal mit Prinzipskizze zur Wirkungsweise

Welchen Einfluss die inneren Speicher auf das Klimaverhalten besitzen können, zeigt ein Vergleich des Festsaals in Rossewitz mit dem Rokokosaal der Amalia Bibliothek in Weimar. Während in der Bibliothek der gesamte Innenausbau mit kulissenartigen Regaleinbauten, hölzerner Wandbekleidung und den Büchern für einen Klimausgleich zur Verfügung steht, bleiben in Rossewitz außer Betonboden und Decke nur die bemalten Wände.

Ein Zahlenbeispiel soll die Dimensionen verdeutlichen: Das Verhältnis der inneren Oberfläche (Bücher, Regale, Holzbekleidungen etc.) zur Raumhüllfläche beträgt in Weimar ca. 12.000 m² zu 1.500 m², daher ca. 8 : 1. In Rossewitz sind die Verhältnisse genau entgegengesetzt; innere Oberfläche (Pufferflächen) und Raumhüllfläche stehen im Verhältnis von ca. 120 m² zu 700 m², daher ca. 1 : 6. Für den Festsaal ergibt sich ein Dämpfungsfaktor der äußeren Feuchteschwankungen von ca. 2, im Rokokosaal in Weimar dagegen ein extrem hoher Wert von 5. Aufgrund der Klimapuffer im Innenraum schwankt die relative Luftfeuchte in der Bibliothek im Jahresverlauf nur im Bereich von 47 bis 62 %, in Rossewitz dagegen im Bereich von 30 % bis 100% rF.

Vergleich von Kenndaten aus Schloss Rossewitz und Bibliothek Weimar

	Raumhüllfläche A _{Raum} in m ²	Innere Oberfläche A _{innen} in m ²	Verhältnis A _{innen} / A _{Raum}	Relative Feuchte Schwankungsbreite
Rossewitz ohne Puffer	700	0	0	30 % - 100 %
Rossewitz mit Puffer	700	120	ca. 1 : 6	
Bibliothek Weimar	1.500	12.000	ca. 8 : 1	47 % - 62 %

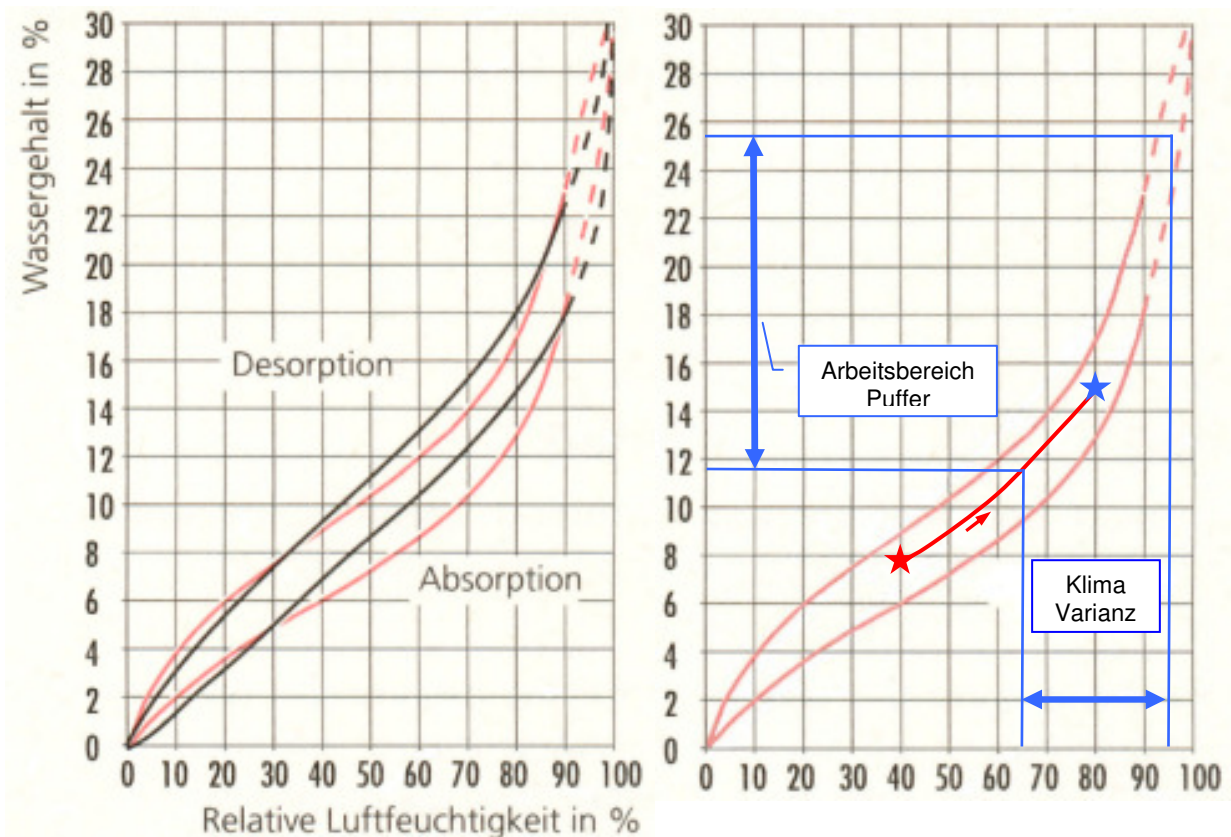


Abb. 78 (links): Sorptionsbedingte Gleichgewichtsfeuchte von Zellulosefasern (rote Linie) und Holz (schwarze Linie) aus ¹²

Abb. 79 (rechts): Schwankungsbreite der Raumlufffeuchte (Varianz) und Arbeitsbereich der Feuchtepuffer, Roter Stern: Ausgangszustand, Blauer Stern: Raumluffzustand

Die Zellulosefasern wurden mit einer Ausgangsfeuchte von ca. 8 Masseprozent in die Säcke eingefüllt. Das entspricht laut Sorptionsisotherme im Gleichgewichtszustand einer relativen Feuchte der umgebenden Luft von ca. 40 % (siehe Abb. Rechts: Roter Stern). Die mittlere Raumlufffeuchte im Festsaal liegt im Jahresverlauf jedoch bei ca. 75 – 80 %. Bei Annahme einer mittleren Raumlufffeuchte von ca. 80%rF stellt sich in den Feuchtepuffern eine Ausgleichsfeuchte von annähernd 15 Masseprozent ein (siehe Abb. Rechts, Blauer Stern).

Mit dieser Adaption an das Eigenklima des Raumes können die Feuchtepuffer in der Summe aller Vorhänge ca. 16 Liter Wasser aufnehmen. Der Einsatz der Puffer zur Entfeuchtung bietet also nur einen relativ geringen Effekt, der auch nur einmalig nutzbar wäre. Die 16 Liter Wasser entsprechen etwa dem Feuchteeintrag durch zwanzig Besucher, die sich ca. zwei Stunden im Raum aufhalten. Aber selbst diese „Entfeuchtungsleistung“ kommt dem Raum nicht tatsächlich zugute, da die der Raumluff entnommene Feuchtemenge ja trotzdem in den Puffermedien im Raum verbleibt.

¹² Borsch-Laaks, Robert: Sorption, Diffusion, Kapillarleitung, Technische Information der isofloc Wärmedämmtechnik

Günstiger sind die Verhältnisse im Falle der beabsichtigten Pufferwirkung auf die erheblichen Feuchteschwankungen der Raumluft. Die ausgeprägte Varianz des Raumklimas korrespondiert mit dem steilen Anstieg der Sorptionsisotherme im kritischen Bereich von 70 bis 90 %. Die Pufferflächen erreichen eine klimastabilisierende Wirkung, wie im Folgenden anhand der Messwerte der Referenzmessung erläutert wird.

Das Phänomen der Hysterese, also der Differenz zwischen Desorptions- und Absorptionswerten bei gleicher relativer Luftfeuchte, kann für diese Betrachtungen außer Acht gelassen werden. Die genannten Annahmen beziehen sich auf einen Mittelwert zwischen Absorptions- und Desorptionskurve.

Die Klimacharakteristik nach Einbau der Puffermedien ähnelt grundsätzlich der Basismessung vor Einbau der Klimapuffer. Die dominierende Wirkung des Außenklimas auf das Raumklima aufgrund des hohen Luftwechsels und der Lüftungseffektivität der gegenüberliegenden Fensterachsen bleibt weiterhin bestehen. Die genauere Betrachtung der Klimaverläufe zeigt jedoch die beabsichtigte Arbeitsweise der Feuchtepuffer, die zur Stabilisierung des Raumklimas beiträgt.

Grundsätzlich gilt: Jede Änderung der Materialfeuchte im Puffer, führt zu einer Reduzierung von Schwankungen der Raumluftfeuchte und entlastet damit die Wandmalerei. Die ausgesprochen heftige Reaktion der Meßstelle „Puffer“ auf Schwankungen des Umgebungsklimas verdeutlicht das gewünscht hohe Sorptionspotential der Zellulosekissen.

Die folgende Abbildung zeigt exemplarisch das Wirkpotential der Feuchtepuffer im Falle starker Raumklimaschwankungen. Im Säulenfeld ist die Zu- und Abnahme des Feuchtegehaltes im Kissen gegenüber dem Mittelwert des Feuchtegehaltes dargestellt. Eine überschlägliche Ermittlung der Pufferwirkung im Monat November ergab eine Größenordnung von ca. 800 Litern Wasser, die wechselweise aus der Raumluft aufgenommen und zeitversetzt wieder abgegeben werden (Vergleich: 16 Liter durch einmalige Feuchteadaptation).

Im Sommer pendelt die Raumluftfeuchte in noch stärkerer Frequenz und mit höherer Amplitude als im Winter, woraus eine weitere Steigerung der Pufferleistung resultiert.

Die folgenden Abbildungen verdeutlichen die tendenzielle Erhöhung des Dämpfungsfaktors der Raumluft gegenüber der Außenluft für den Monat Juni. Trotz erhöhter Varianz des Außenklimas im Jahr 2003 ist nach Einbau der Feuchtepuffer eine Verringerung der Schwankungsbreite der relativen Luftfeuchte im Festsaal zu erkennen.

Der Feuchtegehalt der Puffer liegt ständig etwas über dem Feuchtegehalt der Raumluft. Dieser Effekt resultiert aus der geringfügig höheren Temperatur der Feuchtepuffer, da die auftreffende Solarstrahlung im Gegensatz zur umgebenden Luft im Pufferkissen in Wärme umgewandelt wird. Bei fast vergleichbarem Verlauf der relativen Feuchte von Raumluft und Puffer bewirken somit die im Mittel etwas höheren Temperaturen eine höhere absolute Feuchte. **Damit ist eine verbesserte Wirksamkeit bei Feuchtesenken (z.B. Temperieren / Heizen des Raumes) und eine verringerte Wirksamkeit im Falle von Feuchtespitzen (z.B. interne Feuchteintrag durch Nutzung, Baufeuchte) gegeben.**

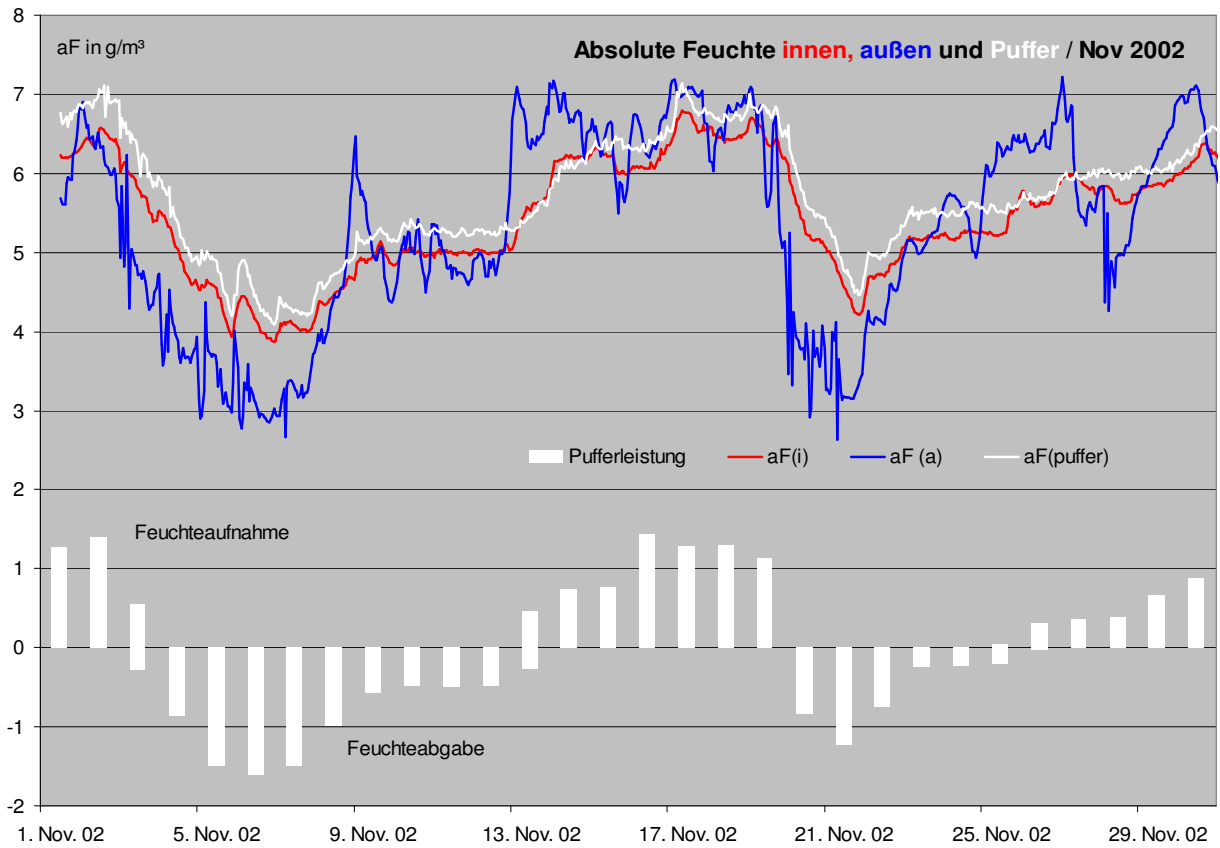


Abb. 80: Absolute Luftfeuchte der Meßstellen innen, außen und Puffer im Monat November sowie Wirkpotential der Feuchtepuffer

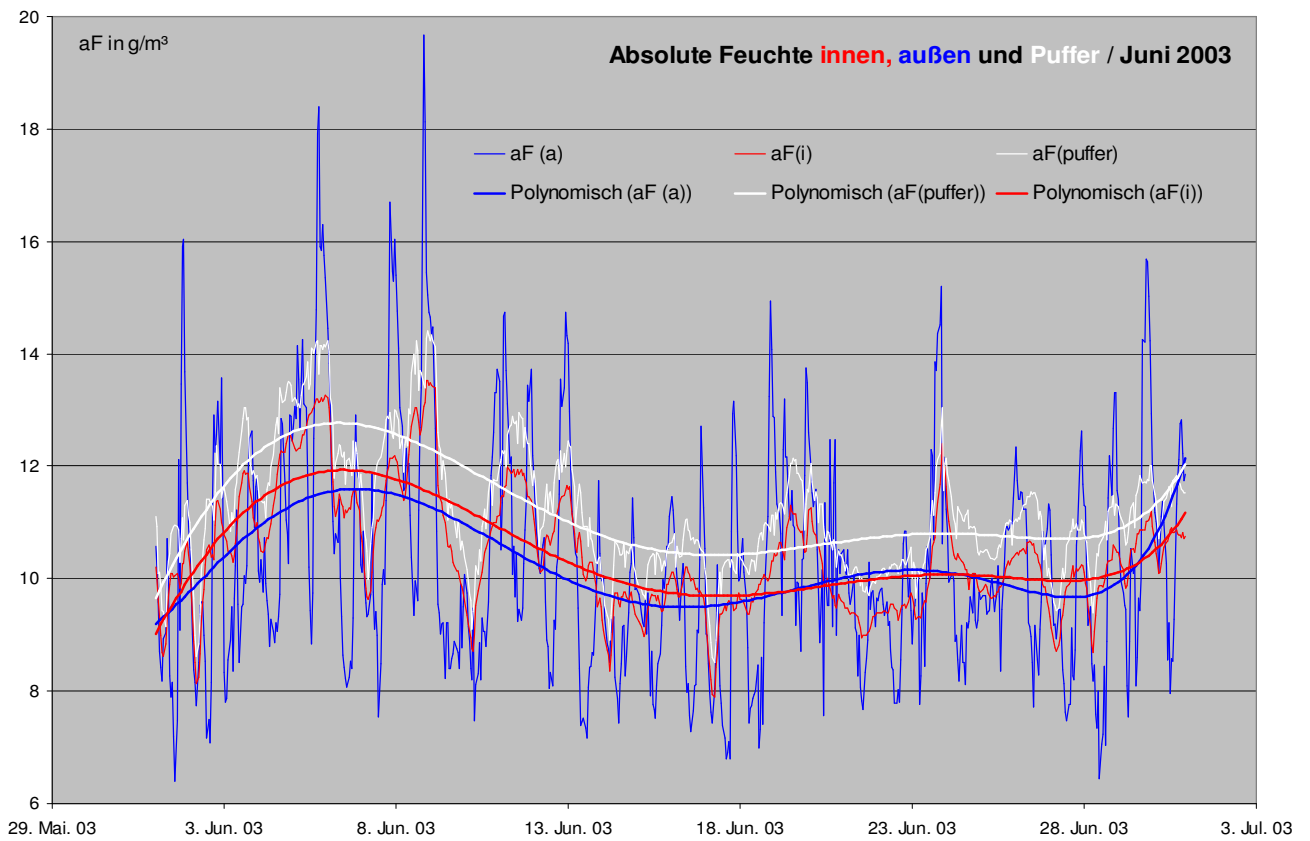


Abb. 81: Absolute Luftfeuchte der Meßstellen innen, außen und Puffer im Monat Juni

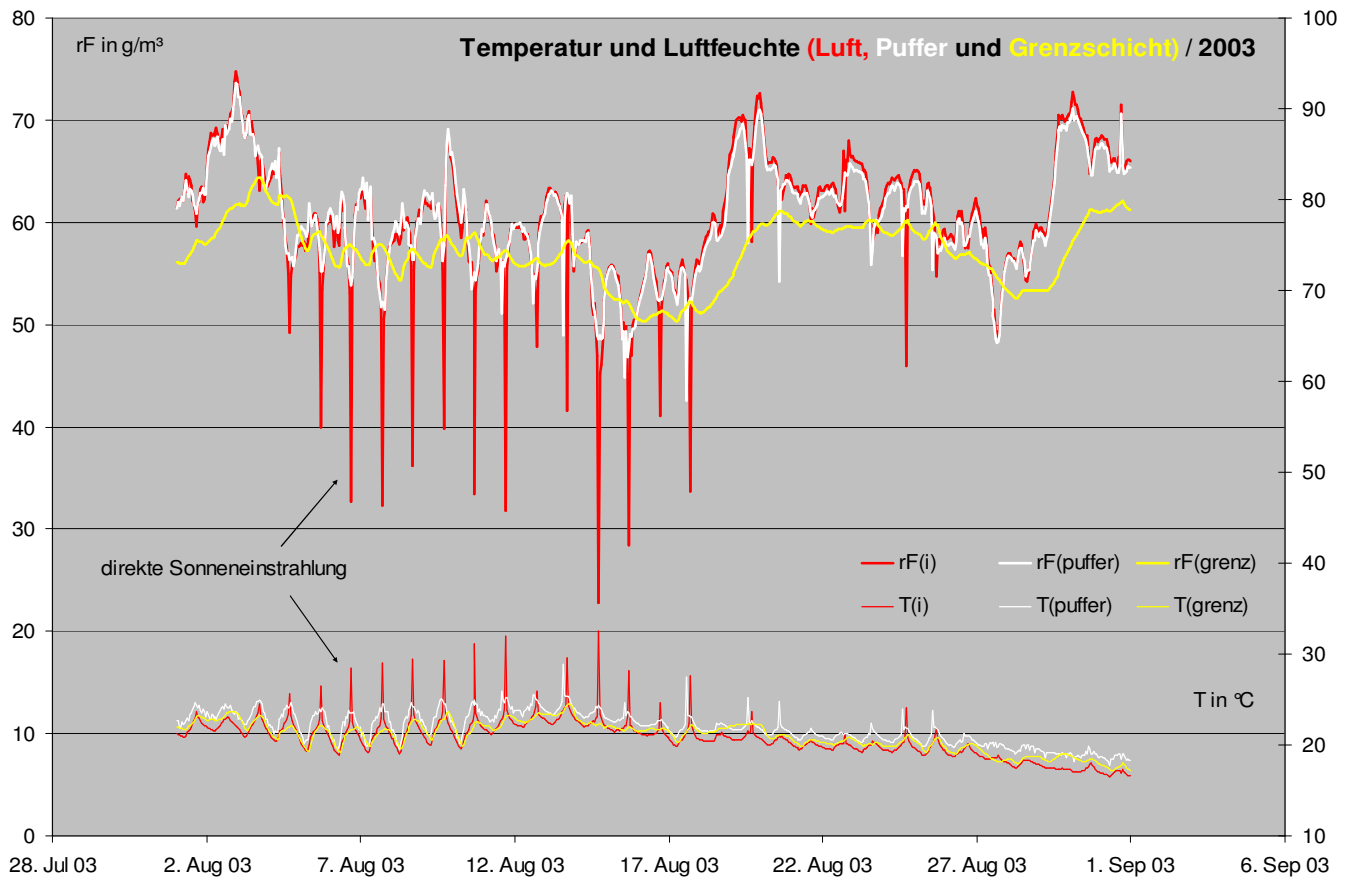


Abb. 82: Lufttemperatur und relative Luftfeuchte im Monat August

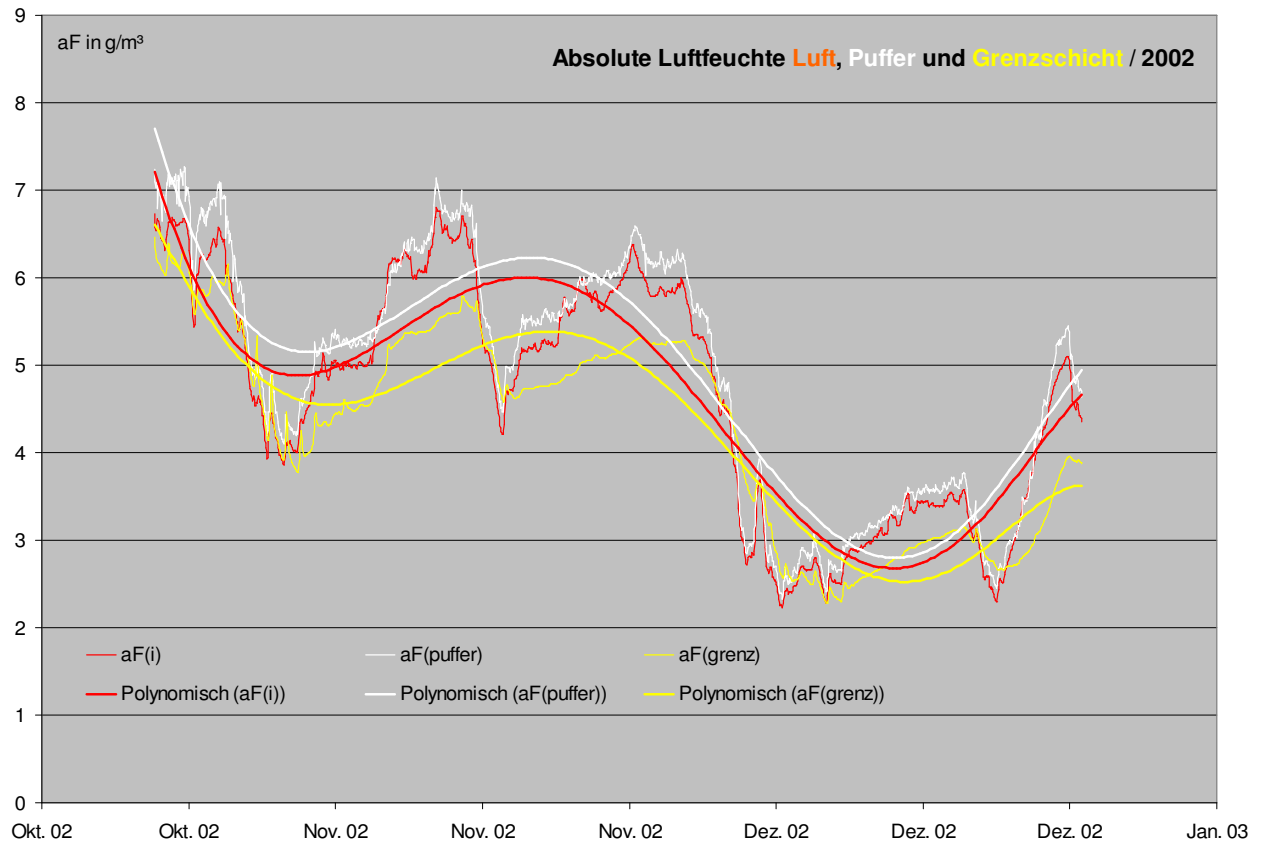


Abb. 83: Absolute Luftfeuchte der Meßstellen innen, Puffer und Grenzschrift

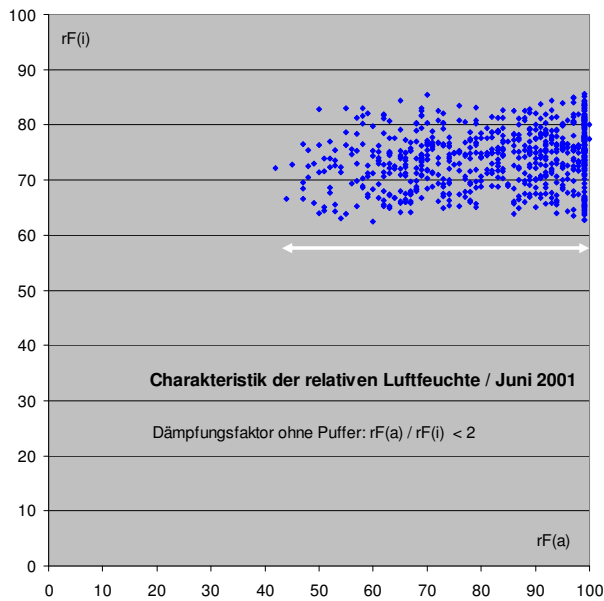


Abb 84 (links): Kennfeld der relativen Luftfeuchte (innen / außen) im Juni 2001 (vor Einbau Puffer)

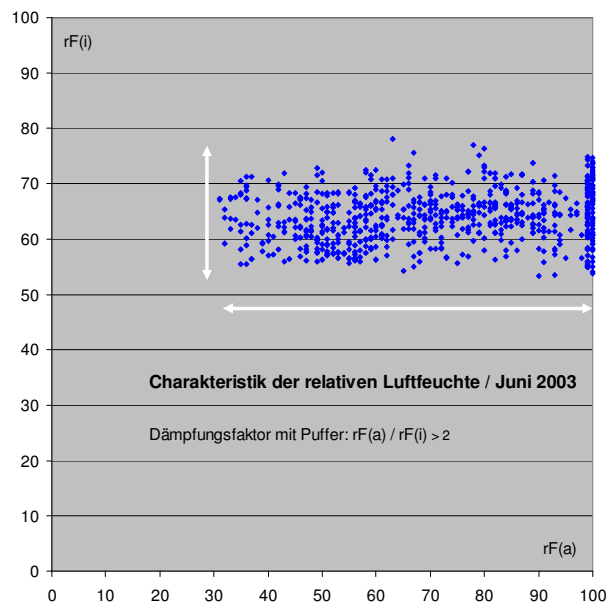


Abb. 85 (rechts): Kennfeld der relativen Luftfeuchte (innen / außen) im Juni 2003 (nach Einbau Puffer)

Trotz erhöhter Varianz des Außenklimas im Jahr 2003 ist eine tendenzielle Verringerung der Schwanungsbreite der relativen Luftfeuchte im Festsaal zu erkennen. Der Dämpfungsfaktor nach Einbau der Puffer erhöht sich gegenüber dem Altzustand.

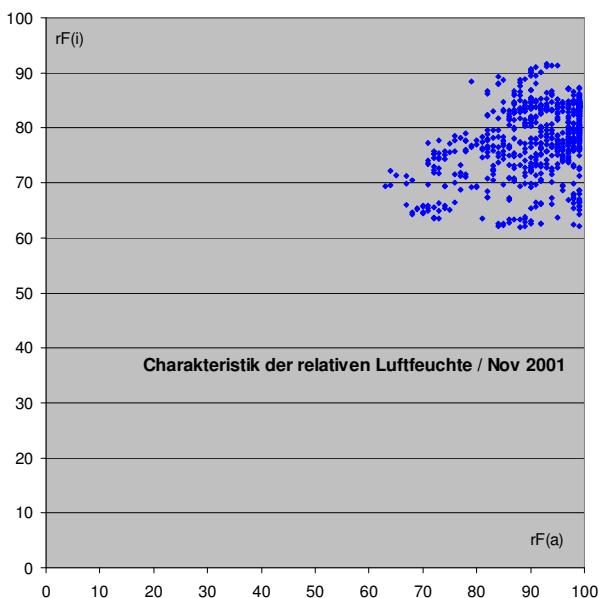


Abb. 86 (links): Kennfeld der relativen Luftfeuchte (innen / außen) im November 2001

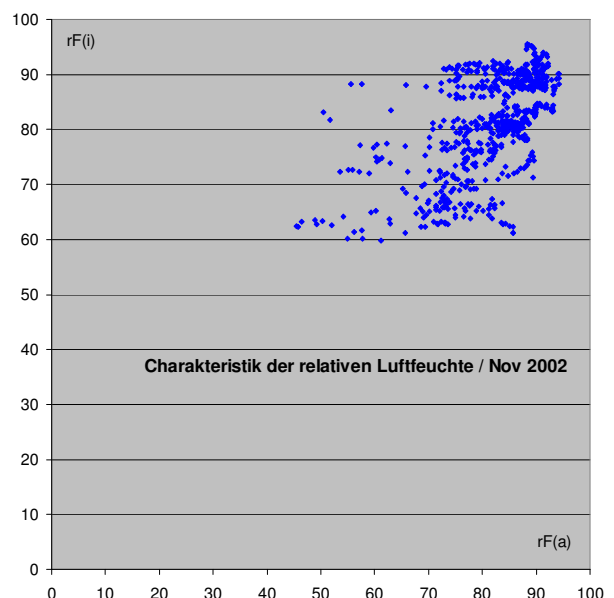


Abb. 87 (rechts): Kennfeld der relativen Luftfeuchte (innen / außen) im November 2002

Für den Monat November ist im Vergleich zum Juni eine eindeutige Beeinflussung des Feuchte-Kennfeldes nicht nachweisbar.

7.4 Begleitende Untersuchungen

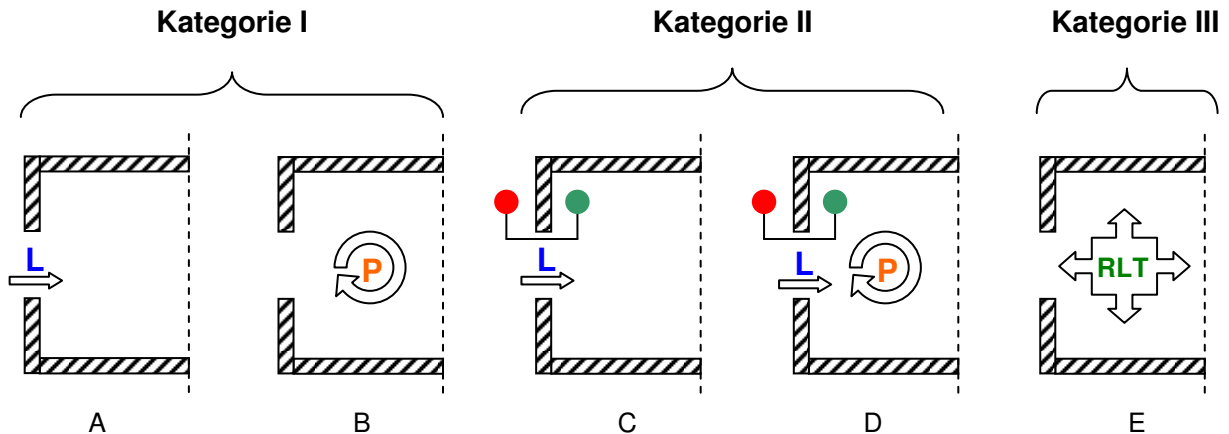
Mitte August 2002 erfolgte eine Messung des Luftwechsels unter Prüfbedingungen mit dem Blower Door Verfahren. Der erreichte Kennwert nach Abdichtung der Innentüren und des Kamins im Festsaal liegt in der Größenordnung von $n_{50} = 12$ je Stunde (h^{-1}).

n_{50} Luftwechsel des Raumes unter Prüfbedingung von 50 Pa Differenzdruck zwischen Raumluft und Außenluft

Das bedeutet: Aus dem mit dem Gebläse erzeugten Druckunterschied von 50 Pa zwischen Saal und Außenluft resultiert ein 12-facher Luftwechsel. Das Luftvolumen im Raum wird 12-mal in der Stunde gegen Außenluft ausgetauscht. Eine direkte Umrechnung dieser Kennwerte unter Prüfbedingungen auf den natürlichen Luftwechsel ist nicht möglich. Aufgrund von Erfahrungswerten kann auf einen mittleren Luftwechsel von ca. 0,5 bis 0,8 geschlossen werden. Im Falle von Druckunterschieden zwischen Ost- und Westfassade aufgrund von Windkräften kann sich dieser Luftwechsel kurzzeitig auf Werte von 2 je Stunde und mehr erhöhen.

7.5 Variantenvergleich und Ausblick

Für die Beeinflussung des Raumklimas in historischen Gebäuden können verschiedene Verfahren unterschieden werden, die einen mehr oder minder hohen apparativen Aufwand und Energieeinsatz erfordern.



- A freie Lüftung
- B Speichermedien (Puffer)
- C gesteuerte Lüftung (z.B. Feuchteampel)
- D gesteuerte Lüftung in Kombination mit Speichermedien
- E Raumlufttechnische Anlagen (RLT)

Kategorie I: passive Beeinflussung des Eigenklimas

Kategorie II: aktive Unterstützung des Eigenklimas

Kategorie III: aktive Beeinflussung durch technische Anlagen

	Ziele / Funktionen	Wirksamkeit	Regel-fähigkeit	Energie-einsatz	Kosten
A	Vermeidung lokaler Auffeuchtungen Bautrocknung	gering	schlecht	ohne	ohne
B	Klimastabilisierung	gering	schlecht	ohne	ohne gering
C	Entfeuchtung Klimastabilisierung	mittel	gut	gering	Invest mittel Betrieb gering
D	Entfeuchtung Klimastabilisierung	mittel hoch	gut	gering	Invest mittel Betrieb gering
E	alle klimatechnischen Funktionen Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten	hoch	sehr gut	hoch	Invest hoch Betrieb hoch

Vergleich verschiedener aktiver und passiver Verfahren zur Raumklimabeeinflussung

Im Projekt in Rossewitz konnte nur die Stufe A (passive Puffer) realisiert werden, die Prüfung der Wirksamkeit weiterer klimastabilisierender Maßnahmen war nach Insolvenz des ehemaligen Projektträgers ZHD Fulda nicht möglich.

Generell kann den installierten Feuchtepuffern ein – wenn auch eher bescheidener - Beitrag zur Klimastabilisierung im Festsaal attestiert werden. Eine Klimaregulierung ist mit diesem rein passiven Verfahren nicht möglich. Um die Wirksamkeit der Feuchtepuffer zu verbessern, wäre zunächst generell eine Verringerung des Luftwechsels zwischen Raumluft und Außenluft angemessen.

Eine Erweiterung der Funktionalität über die Pufferaufgabe hinaus, wäre in Verbindung mit einer gesteuerten Lüftung möglich. Dabei könnte das Prinzip der Entfeuchtung mit Sorptions- und Trocknungsmitteln (hygroskopische Salze etc.) genutzt werden. Diese Materialien sind nach einer gewissen Einsatzdauer im klimatischen Sinn „verbraucht“, sie haben eine Materialfeuchte entsprechend der mittleren umgebenden Luftfeuchte erreicht. Damit wieder eine wirksame Entfeuchtung möglich ist, müssen die Trocknungsmittel im Klimaschrank regeneriert werden. Nach dem gleichen Prinzip könnte man mit den mobilen Klimapuffern in Rossewitz verfahren, indem die Säcke nach Erreichen eines bestimmten Feuchtegehaltes natürlich oder technisch getrocknet werden. Aufgrund der Größe der Puffermaterialien, der aufwendigen Befestigung an der Decke und dem daraus resultierenden hohen manuellen Aufwand ist dieser Ansatz praktisch nicht umsetzbar.

Die Alternative besteht nun in dem Verbleiben der Säcke vor Ort und einer feuchtegesteuerten Lüftungsmöglichkeit für den Raum. In Zeiten geringer Außenfeuchte (häufig in der Nacht) wird der Luftförderstrom erhöht und damit eine „Trocknung“ der Feuchtepuffer erreicht. Durch Kombination der „Puffer“ mit einem gezielten „Aufladen bzw. Entladen“ durch kontrollierte Lüftung ließe sich die klimastabilisierende Wirkung mit einer Entfeuchtungswirkung kombinieren.

Voraussetzung ist die Reduzierung der derzeit noch recht starken Raumlüftung durch bauliche Maßnahmen, um eine geregelte Lüftung überhaupt erst zu ermöglichen sowie die Sicherung einer effektiven Raumdurchströmung.

8 Zusammenfassung und Bewertung

Injektionsmaterialien und Musterflächen

Die grundlegenden Erkenntnisse, die sich aus den Vorversuchen und den Objektmusterflächen ergeben, sind, dass die hohl liegenden Putzpartien vor einer Hinterfüllung bzw. „hinterfüllenden“ Konservierung mit Kieselsäureester getränkt werden müssen. Ohne diese Vorbehandlung war trotz Optimierung des Fließverhaltens in Vorversuchen keine der getesteten Injektionsmassen in der Lage, sich in ausreichendem Maße von der Einfüllstelle in die Hohlstellen auszubreiten. Mit einem Wasser/Ethanol-Gemisch konnte der angestrebte Effekt nicht erreicht werden.

Aufgrund der mikroskopischen Beobachtungen bleibt es fraglich, ob die Mürbzonen mit ihren vielfältigen Entfestigungsformen durch die KSE-Behandlung ausreichend konsolidiert, d.h. strukturell gefestigt werden. Nach den bisherigen Versuchen empfiehlt es sich, ein KSE mit höherer Gelabscheidungsrate zu verwenden (z.B. KSE 500) und dafür auf die im Projekt getesteten Systeme KSE OH bzw. Syton X30 zu verzichten. Das eröffnet die Möglichkeit, innerhalb des KSE-Systems zu arbeiten. Bei der Verwendung von Syton X30 ändert man das System zu einem wässrigen Lösemittel.

Für die KSE-Behandlung wurde im Projekt ein sogenanntes Flutverfahren eingesetzt. Hierfür wurden in einem definierten Raster Bohrungen in den Putz eingebracht, über die nach der KSE-Applikation auch die Injektionsmassen eingefüllt wurden. Der Nachteil des Flutverfahrens ist die Verletzung der Malschicht. Ein Vorteil ist die dübelartige Verklammerung der Putzschichten durch das Einbringen der Hinterfüllmassen auf der Grundlage eines Rasters. So werden die Putze untereinander bzw. an das Mauerwerk punktuell angebunden.

Für die Prüfung und Bewertung des Erfolges einer Hohlstellenverfüllung bzw. Putzfestigung stehen nach wie vor keine geeigneten Prüfverfahren zur Verfügung. Erste Versuche mit Videoholographie bzw. Infrarothermographie (letztere wurde in Rossewitz versuchsweise eingesetzt) gestatten zur Zeit nur begrenzte Aussagen. Beide Verfahren wurden bislang nicht auf diese Fragestellungen optimiert und sind vermutlich (noch) nicht ausreichend selektiv.

Das Schadensbild an den Wandmalereien im Festsaal des Schlosses Rossewitz entfaltet erst bei mikroskopischer Betrachtung seine ganze Dramatik und Komplexität. Die Hinterfüllung großflächiger, breiter Hohlräume ist nicht das eigentliche Problem. Diese Ablösungszonen werden - wie oben bereits erwähnt - von Mürbzonen des Putzes und Serien sehr feiner Risse flankiert. Alle getesteten Injektionsmassen sind zwar ausreichend homogen und weisen gute Haftungseigenschaften (Flankenbindung) und ausreichende Haftzugfestigkeiten auf, sie dringen jedoch nicht ausreichend in die Mürbzonen und feinen Risse ein. Hinzu kommt, dass selbst in ausreichend breiten Rissen das Fließverhalten offensichtlich zu gering ist.

Das hat zur Folge, dass sich nur punktuell ein ausreichender kraftschlüssiger Verbund innerhalb der Putzmehrfachschalen einschließlich ihrer Mürbzonen ausbildet.

Für die Hinterfüllung der Hohlstellen und Spalten kann keinem der getesteten Materialien der Vorzug gegeben werden. Nach Einschätzung der Restauratoren eignen sich grundsätzlich alle Systeme. Entsprechend dem Schadensbild muss die Wahl des Materials erfolgen und dessen Zusammensetzung (Rezeptur) modifiziert werden. So eignen sich CalXnova für größere Hohlräume, PLM-AL für größere und mittlere Hohlräume und das KSE-System von Remmers für kleinere Hohlräume und Spalten.

Klima

Den installierten Feuchtepuffern kann ein nachweislicher Beitrag zur Klimastabilisierung im Festsaal attestiert werden. Die dominierende Wirkung des Außenklimas auf das Raumklima aufgrund des hohen Luftwechsels und der Lüftungseffektivität der gegenüberliegenden Fensterachsen bleibt allerdings auch nach Einbau der Puffermedien weiterhin bestehen.

Eine Klimaregulierung ist mit diesem rein passiven Verfahren nicht möglich, eine Klimadämpfung hingegen wurde erfolgreich demonstriert. Die ausgesprochen heftige Reaktion der Meßstelle „Puffer“ auf Schwankungen des Umgebungsklimas verdeutlicht das gewünscht hohe Sorptionspotential der Zellulosekissen. Um die Wirksamkeit der Feuchtepuffer zu verbessern, wäre zunächst generell eine Verringerung des Luftwechsels zwischen Raumluft und Außenluft angemessen.

Eine Erweiterung der Funktionalität über die Pufferaufgabe hinaus, wäre in Verbindung mit einer gesteuerten Lüftung möglich. In Zeiten geringer Außenfeuchte (häufig in der Nacht) wird der Luftförderstrom erhöht und damit eine „Trocknung“ der Feuchtepuffer erreicht. Durch Kombination der „Puffer“ mit einem gezielten „Aufladen bzw. Entladen“ durch kontrollierte Lüftung ließe sich die klimastabilisierende Wirkung mit einer Entfeuchtungswirkung kombinieren. Voraussetzung ist die Reduzierung der intensiven Raumlüftung durch bauliche Maßnahmen, um eine geregelte Lüftung überhaupt erst zu ermöglichen sowie die Sicherung einer effektiven Raumdurchströmung.

Im Falle einer Nutzung des Saales, vor allem einer temporären Nutzung mit wechselnden Wärme- und Feuchtelasten, kommt der inneren Klimastabilität durch Puffermedien eine noch erheblich größere Rolle als im gegenwärtigen Bauzustand zu. Mit oder ohne Puffer erscheint die derzeitige Situation mit Fenster in Einfachverglasung und einfachem Falz nicht geeignet für die ständige winterliche Nutzung des Festsaales. Eine Grundtemperierung des Raumes könnte die Risiken der temporären Nutzung verringern.

Eine optimale Nutzung der inneren Speicherflächen gelingt durch die konsequente Abstimmung mit der Raumlüftung. Im Sinne der Feuchtestabilität ist der Luftwechsel in unbeheizten Gebäuden alter Bauart zunächst durch bauliche Maßnahmen zu reduzieren und dann aufgrund multikriterieller Regelalgorithmen flexibel zu steuern (Öffnen und Schließen). Die individuellen Anforderungen an das Raumklima und damit die Zielstellung an aktive oder passive Verfahren zur Klimastabilisierung und Klimaregulation sind im konkreten Fall im fachübergreifenden Dialog festzulegen. Ein Mindestmass an nutzer- und technik-unabhängiger Grundlüftung sollte im historischen Gebäude unabhängig von der Nutzung in jedem Fall bestehen. Ein Luftwechsel von 0,2 bis 0,4 h⁻¹ ist hierbei ausreichend.

Anlage I: Beschreibung der zur Konservierung der Wandmalereien im Schloss Rossewitz verwendeten Materialien

1 KSE-Modul-System der Firma Remmers (3-Komponenten-System)

Komponente 1

Name: Funcosil KSE 500 STE - Technisches Merkblatt / Artikelnummer 0713

Quelle: Remmers Bauchemie GmbH / TM 0713/28.02.2001

Produkt: Funcosil KSE 500 STE; elastifizierter Steinfestiger auf Basis Kieselsäureethyl-ester (KSE) mit hoher Gelabscheidungsrate. Enthält rein mineralische Schwebstoffe.

Produktkenndaten im Anlieferungszustand:

- Kieselsäureethylestergehalt: > 70% (m/m)
- Lösemittel: Ethanol
- Dichte bei 20 °C: 1,02 kg/l
- Flammpunkt: 15°C
- Farbe: trüb, leicht gelblich
- Geruch: typisch
- Katalysatorensystem: neutral
- Lieferform: 1 Liter, 2,5 Liter

Produktkenndaten nach Applikation:

- Abgeschiedene Gelmenge: ca. 500 g/l
- Reaktionsbedingtes Nebenprodukt: Ethanol (entweicht)
- Toxizität: nach Aushärtung physiologisch unbedenklich

Eigenschaftsprofil:

Funcosil Steinfestiger wurde im Rahmen des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück geförderten Projektes "Schutz von Steinoberflächen durch Applikation elastischer Kieselsäureester" in Zusammenarbeit mit Herrn Dr. E. Wendler (München) und der Arbeitsgruppe um Prof. Dr. J. Grobe (Münster) entwickelt.

Verwitterungsoberflächen weisen häufig (Mikro-)risse in Dimensionen auf, die mit Steinfestigern auf Basis Kieselsäureester ohne den Zusatz von Füllstoffen nicht sinnvoll geschlossen werden können. Daher sind in diesen Funcosil Steinfestiger bereits rein mineralische Füllstoffe eindispersiert. Zusätzlich zeichnet sich Funcosil Steinfestiger durch den Einbau sog. "Weichsegmente" und durch seinen hohen Gehalt an vorkondensierten Kieselsäureethylestermolekülen aus. Der Kieselsäureester reagiert mit im Porenraum eingelagertem Wasser bzw. mit Luftfeuchtigkeit. Dabei wird Siliciumdioxid als über Weichsegmente verknüpft, mineralisches, amorphes und wasserhaltiges Bindemittel abgeschieden.

Die Gelabscheidungsreaktion ist eine Funktion der Temperatur, Luftfeuchte und Zeit. Bei Normalbedingungen (20°C und 50% relative Luftfeuchte) ist die Bindemittelabscheidung nach 3 Wochen abgeschlossen. Funcosil Steinfestiger führt zu einer Kieselgelabscheidung von ca. 500 g pro Liter. Der Wirkstoff wird als reines Bindemittel abgeschieden. Nachfolgend sind die wichtigsten Eigenschaftsparameter zusammengestellt:

- nicht hydrophobierend,
- hohe Gelabscheidungsrate,
- hohe Witterungsresistenz und UV-Stabilität,
- inert gegen saure Schadstoffe aus der Atmosphäre,
- Katalysator neutral.

Einsatzgebiete:

Funcosil Steinfestiger wird als Bindemittel zur Herstellung von Hinterfüllmassen und Anböschmörteln eingesetzt.

Hinterfüllmassen:

Wiederherstellung des kraftschlüssigen Verbundes von Schalen und Krusten zum Untergrund unter Berücksichtigung bauphysikalischer und physiko-mechanischer Anforderungen. Anböschmörtel: Oberflächenanbindung sich ablösender Schalen etc. zur Vermeidung hinterwandernder Feuchtigkeit. Farbliche und strukturelle Anpassung an den Untergrund.

Sinnvolle Bauzustandsanalyse:

Um eine unsachgemäße Ausführung der Arbeiten auszuschließen, sind am Objekt - je nach Möglichkeit, Bedeutung, Größe und Zustand desselben - wichtige Materialkenndaten zu ermitteln:

- * Hygrisches Quellen: Gesteine, die aufgrund von quellfähigen Tonmineralien ein ausgeprägtes Quellen und Schwinden aufweisen, bedürfen einer quellmindernden Vorbehandlung mit Funcosil Antihygro (Art.-Nr.: 0616).

Untersuchungen im Remmers Werkslabor.

- * Saugfähigkeit und Wasseraufnahme.
- * Schadsalze.
- * Verwitterungstiefe.
- * Festlegung der Arbeitsgänge, Beachtung von Farbveränderungen.
- * Prüfung der Korrelation zwischen Laborergebnissen mit dem am Objekt ermittelten Messwerten durch das Anlegen einer Probefläche.
- * Die Ausführung der Behandlung und der Materialverbrauch ist zu überwachen.
- * Eine sofortige Endabnahme der Arbeiten ist zu empfehlen. Die Ergebnisse dienen als Grundlage für eine sachgemäße Ausschreibung.

Verarbeitung:

Beschaffenheit des Untergrundes: Die zur Restaurierung anstehenden Natursteinoberflächen weisen durch Verschmutzung / Patinierung unterschiedlichster Art oftmals ein vermindertes Saugvermögen auf. Die zur Wiederherstellung des ursprünglichen Saugvermögens notwendige Reinigung der Flächen sollte möglichst schonend erfolgen, um die zu haltenden Schalen nicht zu zerstören. Die gereinigte Fläche soll eine Woche lang vor Regen und zu starkem Aufheizen durch Sonneneinstrahlung geschützt werden.

Die optimalen Verarbeitungstemperaturen liegen zwischen 10°C und 20°C (evtl. Sonnensegel setzen). Unter +5°C muss die Verarbeitung eingestellt werden. Die aushärtenden Massen müssen ebenfalls vor Regen und direkter Sonneneinstrahlung geschützt werden.

Vorbereitung:

Die eindispersierten Schwebstoffe im elastifizierten Steinfestiger Funcosil KSE 500 STE lagern sich als Bodensatz ab. Dieser Vorgang ist reversibel. Daher muss der Steinfestiger Funcosil KSE 500 STE vor Gebrauch jeweils gründlich aufgeschüttelt bzw. aufgerührt werden. Der Steinfestiger darf nicht verdünnt werden.

Von der Zugabe weiterer Additive, z. B. zur Beschleunigung der Reaktionszeit wird abgeraten. Desgleichen wird von der sogenannten "Schnellhydrolyse" abgeraten, da sie eine unkontrollierte Einflussnahme auf die Gelbildereaktion und damit auf die resultierende Kieselgelstruktur darstellt.

Herstellen von Hinterfüllmassen:

Da die Hinterfüllmassen bzw. die Anböschmörtel direkt nach der Herstellung verarbeitet werden müssen, sollten jeweils nur bedarfsgerechte Ansätze hergestellt werden.

Bsp.: Schlesischer Sandstein

- * 100 ml Funcosil KSE 500 STE vorlegen.
- * 60 g Funcosil KSE-Füllstoff A (spezielles Mineralmehl) und
- * 30 g Funcosil KSE-Füllstoff B (spezielles Quarzpulver)

unter Rühren zugeben.

Die Mischung wird (z. B. mittels einer Oberfräse) homogenisiert. Homogenisierungsdauer: 3-5 Minuten. Zeigt die Masse noch Klumpenbildung, muss länger homogenisiert werden. Die angegebenen Verarbeitungsparameter sind genau einzuhalten.

Herstellung von Anböschmassen

Bsp.: Schlesischer Sandstein

- * 100 ml Funcosil KSE 500 STE vorlegen.
- * 70 g Funcosil KSE-Füllstoff A und
- * 40 g Funcosil KSE-Füllstoff B

unter Rühren zugeben.

Homogenisierungsdauer (s. o.): 3 - 5 Minuten.

Zeigt die Masse noch Klumpenbildung, so muss länger homogenisiert werden.

- * Die hergestellte Masse vorlegen (z. B. in einem Anrührbecher).
- * 334 g Funcosil Quarzsand F36 gründlich (z. B. mit einem Spatel) einrühren.

Die Masse nimmt dabei letztlich erdfeuchte, bröckelige Konsistenz an.

Die angegebenen Verarbeitungsparameter sind genau einzuhalten. Ein Überschuss an Bindemittel aus Gründen der "gefälligen Verarbeitung" ist zu vermeiden.

Bei Fragen zur Anpassung des KSE-Modul-Systems an andere Untergründe wenden Sie sich bitte an die Zentrale Objektteilung (ZOA) des Hauses Remmers oder an das Remmers Werkslabor.

Verarbeitung der Massen:

Zum Hinterfüllen von Schalen werden diese zunächst an ihren Rändern abgedichtet. Bewährt hat sich hier das Arbeiten mit Heißklebern, die sich rückstandslos wieder entfernen lassen. Anschließend wird soviel Hinterfüllmasse (in der Regel mit Hilfe einer Spritze) hinter die Schale eingebracht, bis diese restlos gefüllt ist. Bei Bedarf ist die zu hinterfüllende Schale mit einem geeigneten, wasserfreien Lösemittel (z. B. Funcosil V 101) oder dem Funcosil Steinfestiger 100 vorzunässen.

Der Anböschmörtel zur Schließung auskragender Originaloberflächen kann prinzipiell sofort nach dem Füllen der Schale angetragen werden. Bei größeren Rissen sollte jedoch die Hinterfüllmasse soweit durchreagiert sein, daß die Bestandteile des Anböschmörtels nicht mehr in diese "hineinsacken". In diesem Fall ist der Untergrund vor dem Antragen des

Mörtels kurz mit einem geeigneten Lösemittel (z.B. Funcosil V 101) oder mit dem Funcosil Steinfestiger 100 zu benetzen.

Die Struktur des Anböschmörtels kann ca. 1 - 2 Stunden nach dem Auftragen an den Untergrund durch Bearbeitung (z.B. mit einem Spatel bzw. Kamm) angepasst werden. Sowohl die Hinterfüllmasse als auch der Anböschmörtel müssen während der Verarbeitung regelmäßig aufgerührt werden, um dem Absetzen der Zuschlagstoffe entgegenzuwirken.

Nachbehandlung:

Im Bedarfsfall können die kraftschlüssig angebundenen Schalen und Krusten nach Aushärtung des Steinfestigers Funcosil KSE 500 STE (je nach Menge und Dicke der eingebrachten Masse 4 - 8 Wochen) nachgefestigt werden. Der verwendete Steinfestiger (z. B. Funcosil Steinfestiger 300) muß dabei den Materialeigenschaften des Untergrundes angepaßt sein und ist jeweils gemäß gültigem technischen Merkblatt zu verarbeiten. Eine gewünschte wasserabweisende Einstellung der angebundenen Schalen hat in Lasurtechnik zu erfolgen.

Angrenzende Flächen:

Fassadenteile, die nicht mit dem Steinfestiger Funcosil KSE 500 STE in Berührung kommen sollen, wie z.B. Fenster, lackierte Flächen sowie Glas, müssen ebenso wie Pflanzen mit Baufolie (Polyethylenfolie) abgedeckt werden.

Arbeitsgeräte:

Spritze, Spatel, Spachtel, Pinsel, Kamm

Lagerfähigkeit:

Im geschlossenem Originalgebände: 6 Monate. Dieser Funcosil Steinfestiger reagiert mit Feuchtigkeit, daher sind offene Gebinde nach jeder Entnahme wieder luftdicht zu verschließen. Gebinde bei Lagerung im Freien abdecken.

Sicherheit, Ökologie, Entsorgung:

Nähere Informationen zur Sicherheit bei Transport, Lagerung und Umgang sowie zu Entsorgung und Ökologie können dem aktuellen Sicherheitsdatenblatt entnommen werden.

Vorstehende Angaben wurden aus unserem Herstellerbereich nach dem neuesten Stand der Entwicklung und Anwendungstechnik zusammengestellt. Da Anwendung und Verarbeitung außerhalb unseres Einflusses liegen, kann aus dem Inhalt des Merkblattes keine Haftung des Herstellers abgeleitet werden.

Komponente 2

Name: Funcosil KSE-Füllstoff A - Technisches Merkblatt / Artikelnummer 0571
Quelle: Remmers Bauchemie GmbH / TM 0571/28.02.2001

Produktbasis: Mineralpulver. Füllstoff für das Funcosil KSE-Modul-System.

Produktkenndaten im Anlieferungszustand:

- Farbton: hellgrau
- Schüttdichte (gemäß DIN 52110): ca. 0,7 kg/l
- Stampfdichte (gemäß DIN ISO 787/11): ca. 0,9 kg/l
- Lieferform: 3kg Papiersack, 25 kg Papiersack

Eigenschaftsprofil:

Mineralmehl aus dem Funcosil KSE-Modul-System. Zur Herstellung Kieselsäureester (KSE)-gebundener Schlämmen, Hinterfüllmassen und Anböschmörtel.

Verwitterungsoberflächen weisen häufig (Mikro-)risse in Dimensionen auf, die mit Steinfestigern auf Basis Kieselsäureester ohne den Zusatz von Füllstoffen nicht sinnvoll geschlossen werden können. Bei der Restaurierung solcher Gesteinsoberflächen werden aus diesem Grund - insbesondere wenn es sich um kunsthistorisch wertvolle Oberflächen im figürlichen Bereich handelt - zur Herstellung des kraftschlüssigen Verbundes bzw. zur Schließung auskragender Originaloberflächen Schlämmen, Hinterfüllmassen bzw. Anböschmörtel zur Anwendung gebracht.

Das gezielte Einarbeiten des rein mineralischen Produktes Funcosil Füllstoff A in geeignete Funcosil Steinfestiger dient (gegebenenfalls unter Zugabe weiterer Füllstoffe / Zuschläge) der Herstellung entsprechender Schlämmen, Hinterfüllmassen bzw. Anböschmörtel.

Verarbeitung und Verbrauch:

Verarbeitung und Verbrauch richten sich nach der zu lösenden Aufgabenstellung. Die entsprechenden Angaben sind dem Technischen Merkblatt des jeweils als Bindemittel einzusetzenden Funcosil Kieselsäureester-(KSE-) Produktes bzw. einer auf die entsprechende Aufgabenstellung zugeschnittenen Richtrezeptur zu entnehmen. Da die KSE-gebundenen Materialien direkt nach der Herstellung verarbeitet werden müssen, empfiehlt sich die Herstellung bedarfsgerechter Ansätze.

Lagerfähigkeit:

In geschlossenen Säcken, bei trockener Lagerung mindestens 1 Jahr.

Sicherheit, Ökologie, Entsorgung:

Nähere Informationen zur Sicherheit bei Transport, Lagerung und Umgang sowie zu Entsorgung und Ökologie können dem aktuellen Sicherheitsdatenblatt entnommen werden. Vorstehende Angaben wurden aus unserem Herstellerbereich nach dem neuesten Stand der Entwicklung und Anwendungstechnik zusammengestellt. Da Anwendung und Verarbeitung außerhalb unseres Einflusses liegen, kann aus dem Inhalt des Merkblattes keine Haftung des Herstellers abgeleitet werden.

Komponente 3

Name : Funcosil KSE-Füllstoff B - Technisches Merkblatt / Artikelnummer 0572

Quelle: Remmers Bauchemie GmbH / TM 0572/28.02.2001

Produktbasis: Quarzpulver. Füllstoff für das Funcosil KSE-Modul-System.

Produktkenndaten im Anlieferungszustand:

- | | |
|--|---------------------------------|
| ▪ Farbton: | weiß |
| ▪ Schüttdichte: | ca. 0,8 kg/l |
| ▪ Stampfdichte (gemäß DIN ISO 787/11): | ca. 0,8 kg/l |
| ▪ Zusammensetzung: | ca. 99% (m/m) Quarz |
| ▪ Lieferform: | 2kg Papiersack, 25kg Papiersack |

Eigenschaftsprofil:

Quarzmehl aus dem Funcosil-KSE-Modulsystem. Zur Herstellung Kieselsäureester- (KSE)-gebundener Schlämmen, Hinterfüllmassen und Anböschmörtel.

Verwitterungsoberflächen weisen häufig (Mikro-)risse in Dimensionen auf, die mit Steinfestigern auf Basis Kieselsäureester ohne den Zusatz von Füllstoffen nicht sinnvoll

geschlossen werden können. Bei der Restaurierung solcher Gesteinsoberflächen werden aus diesem Grund - insbesondere wenn es sich um kunsthistorisch wertvolle Oberflächen im figürlichen Bereich handelt - zur Herstellung des kraftschlüssigen Verbundes bzw. zur Schließung auskragender Originaloberflächen Schlämmen, Hinterfüllmassen bzw. Anböschmörtel zur Anwendung gebracht.

Das gezielte Einarbeiten des rein mineralischen Produktes Funcosil Füllstoff B in geeignete Funcosil Steinfestiger dient (gegebenenfalls unter Zugabe weiterer Füllstoff / Zuschläge) der Herstellung entsprechender Schlämmen, Hinterfüllmassen bzw. Anböschmörtel.

Verarbeitung und Verbrauch:

Verarbeitung und Verbrauch richten sich nach der zu lösenden Aufgabenstellung. Die entsprechenden Angaben sind dem Technischen Merkblatt des jeweils als Bindemittel einzusetzenden Funcosil Kieselsäureester-(KSE-) Produktes bzw. einer auf die entsprechende Aufgabenstellung zugeschnittenen Richtrezeptur zu entnehmen.

Da die KSE-gebundenen Materialien direkt nach der Herstellung verarbeitet werden müssen, empfiehlt sich die Herstellung bedarfsgerechter Ansätze.

Lagerfähigkeit:

In geschlossenen Säcken, bei trockener Lagerung mindestens 1 Jahr.

Sicherheit, Ökologie, Entsorgung:

Nähere Informationen zur Sicherheit bei Transport, Lagerung und Umgang sowie zu Entsorgung und Ökologie können dem aktuellen Sicherheitsdatenblatt entnommen werden. Vorstehende Angaben wurden aus unserem Herstellerbereich nach dem neuesten Stand der Entwicklung und Anwendungstechnik zusammengestellt. Da Anwendung und Verarbeitung außerhalb unseres Einflusses liegen, kann aus dem Inhalt des Merkblattes keine Haftung des Herstellers abgeleitet werden.

2 CalXnova Injektionsmörtel auf Basis von dispergiertem Weißkalkhydrat

Name: CalXnova Injektionsmörtel

Quelle: Deffner & Johann / Merkblatt und Produktinformationen zu CalXnova

Produktbeschreibung:

Dispergiertes Weiskalkhydrat ist ein rein karbonatisch abbindendes Bindemittel für Mörtel, Steinerfüllmassen, Schlämmen, Injektionsmassen und zur Putzfestigung.

Injektionsmassen auf Basis von dispergierten Weißkalkhydrat sind gebrauchsfähige Suspensionen aus dispergierten Weißkalkhydrat und Füllstoffen. Sie sind sedimentationsstabil und bilden in Hohlräumen eine homogene, kapillarüberbrückende Zone.

Sie eignen sich sowohl für den Einsatz in der Steinkonservierung, wie auch in der Konservierung von Wandmalerei und Putz und zeichnen sich durch sehr gute Verarbeitbarkeit, geringe Schrumpfung und hohes Haftvermögen aus.

Sie binden ausschließlich karbonatisch ab, enthalten also keine zusätzlichen Bindemittel. Dabei ist die Spanne der physikomechanischen Eigenschaften so groß, dass die Injektionsmassen auf jedes Objekt und jede Anforderung individuell einzustellen sind.

Zusammensetzung:

Die Injektionsmassen bestehen aus dispergierten Weißkalkhydrat, Marmormehlen oder Quarzmehlen, Anmachwasser und Dispergiermitteln (< 0,4 Massen-%).

Eigenschaften:

Durch die aufgrund der durch das Dispergieren stark vergrößerten Oberfläche des Weißkalkhydrates karbonatisieren Kalkmassen auf der Basis von dispergierten Weißkalkhydrat erheblich schneller und vollständiger, als herkömmliche Kalkmassen auf der Basis von Sumpfkalk oder Weißkalkhydrat.

Dies zeigt sich sowohl in erhöhten mechanischen Werten, wie auch in einer sehr guten Beständigkeit gegenüber Frost-Tauwechseln oder Salzsprengtests.

Gleichzeitig sind die dispergierten Kalkmassen in Gebieten die bislang knenstharzgebunden bzw. kunstharzmodifizierten Systemen vorbehalten waren. So können fließfähige Injektionsmörtel in dünnste Hohlräume appliziert werden, ohne die Effektivität zu unterbinden.

Physikalische Eigenschaften:

▪ Druckfestigkeit β_D	3,0 – 10,5 N/mm ²
▪ Oberflächenzugfestigkeit β_{HZ}	0,1 – 0,45 N/mm ²
▪ Wasseraufnahme 24 h (Gew.-%)	12 – 25
▪ Schrumpfung (Vol.-%)	0 – 0,6
▪ Frost-Tauwechsellverlust nach 15 FT	3 – 15 Gew.-%
▪ Verluste nach Salzsprengtest (DIN) 10 Zyklen	15 – 38 Gew.-%
▪ E-Modul	1.500 – 3.000 N/mm ²

Produktdaten:

▪ Fest-Flüssigkeitsverhältnis (Gew.)	2,75 : 1 (Gew.-teile)
▪ Bindemittel-Zuschlagsverhältnis (Vol.)	1 : 4
▪ Dichte:	ca. 2,6 g/cm ³
▪ Viskosität:	1.500 – 4.000 mPas
▪ Spez. Oberfläche berechnet	240 – 270 cm ² /g
▪ Gesamtporenvolumen	0,25 – 0,27 cm ³ /g

Verarbeitung:

Zur Injektion von Hohlräumen wird nach dem Vornässen mit entmineralisiertem Wasser die Injektionsmasse mittels Packer oder Injektionsbesteck eingebracht.

Je nach Stärke des Hohlräumens können die Füllstoffe angepasst und die Injektionsmassen entweder unverdünnt oder bis 5 Gew.-% mit Wasser verdünnt angewendet werden. Ein Nachnässen der injizierten Bereiche ist nicht erforderlich.

3 Injektionsmörtel PLM-AL

Name: PLM-AL Injektionsmörtel

Quelle: Dr. Georg Kremer, Farbmühle / Merkblatt und Produktinformationen

Beschreibung:

Der Injektionsmörtel PLM-AL wird für allgemeine Festigungsarbeiten an Fresko- und Wandmalereien empfohlen, wenn das Gewicht eine Rolle spielt. Der Injektionsmörtel PLM-AL ist aus neutralem Kalk mit hydraulischen Zusätzen, frei von löslichen Salzen und ausgesuchten inerten Zusatzstoffen gemischt. Besonderes Augenmerk ist auf die rheologischen Eigenschaften der Mischung gelegt. Die hervorragende Mischung ergibt einen Injektionsmörtel mit erhöhter Eindringtiefe und erhöhter Stabilität gegen Sedimentation.

Eigenschaften:

Lösliche Salze sind nicht anwesend, er hat keine wasserabweisenden oder durchlässigkeitsverringende Eigenschaften, er ändert seine physikalischen und mechanischen Eigenschaften wie Kalkmörtel, einfache Injektionsmöglichkeiten mit Spritzen, enthält keine aggressiven oder korrosiven Bestandteile für Farben, einfache Abwischbarkeit von Ausblühungen

Anwendungsempfehlung:

Der Injektionsmörtel PML-AL ist durch seine besonderen Eigenschaften geeignet Freskos und Wandmalerein auf Maueruntergründe zu festigen

Technische Daten:

Weißes Pulver

Abbindzeit: 21 – 52 Stunden
Dichte: 0,6 kg/dm³
Festigkeit: Rg. 9,2 kg/cm³

Gebrauchshinweise:

Bis zu ca. 140 % in Gewicht wird Wasser zugesetzt um die gewünschte Fließfähigkeit zu erhalten, für ungefähr 5 Minuten um einen homogenen flüssigen Zustand zu erzeugen. Mit Metallsieb 1mm sieben. Mit Spritzen von Hand einspritzen. Für eine optimale Anwendung kontinuierliches Einspritzen, um Luftblasen zu verhindern. Nach Arbeitspausen den Mörtel frisch anrühren.

Verbau in Abhängigkeit von dem Zustand des Objektes

Vorsichtsmaßnahmen:

Vor Gebrauch Vorversuche machen. Überschuss mit nassem Schwamm abnehmen. Handschuhe und Augenschutz tragen.