

GUTACHTEN

Betr.: **Untersuchung und Bewertung des Zustandes
von Sichtmauerwerksfassaden nach
Instandsetzung mit der Funcosil[®] - Ziegel -
Schlammverfugung nach 16- und 20-jähriger
Freibewitterung**

Auftraggeber: **Remmers Bauchemie GmbH
Bernhard - Remmers Straße 13
49624 Lönigen**

Datum des Gutachtens: **31. August 2000**

Inhaltsverzeichnis

1	VORBEMERKUNGEN	2
2	VISUELLE ZUSTANDSBESCHREIBUNG	3
3	BAUPHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNGEN.....	4
3.1	WASSERAUFNAHMEMESSUNGEN	4
3.2	ERMITTLUNG DER FUGENFESTIGKEIT	8
3.3	LABORANALYTISCHE BESTIMMUNGEN.....	10
3.3.1	<i>Nachweis der Hydrophobierungsmittel und der Hydrophobierungstiefen.....</i>	<i>10</i>
3.3.2	<i>Lichtmikroskopische Untersuchungen.....</i>	<i>11</i>
4	ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNG DER BEFUNDE.....	12
5	LITERATUR.....	13
6	FOTODOKUMENTATION	14

1 Vorbemerkungen

Das vorliegende Gutachten umfasst die Beurteilung des Zustandes und Dauerhaftigkeit eines Schlämmverfugungssystems zur Instandsetzung geschädigter Sichtmauerwerksfugen nach 16 bzw. 20 Jahren Standzeit. Zwei Gebäude mit ausgeführter Schlämmverfugung wurden untersucht:

- Gebäude 1 der Bundeswehrekaserne in Wesendorf bei Gifhorn
- Gebäude L der Biologischen Bundesanstalt in Braunschweig

Beide Gebäude bestehen aus Sichtmauerwerk mit Klinkersteinen und ursprünglich nachträglicher Verfugung, das jeweils durch das Schlämmverfugungssystem FUNCOSIL[®] Ziegel - Schlämmverfugung der Firma Remmers saniert wurde. Das Alter der Schlämmverfugung beträgt bei dem Gebäude 1 der Bundeswehrekaserne 16 Jahre (1984), bei dem Gebäude L der Biologischen Bundesanstalt 20 Jahre (1980).

Im Rahmen dieses Gutachtens waren instandgesetzte Fassadenabschnitte der Gebäude visuell zu beurteilen und auf Schlagregendichtigkeit und Beschaffenheit des Fugennetzes zu prüfen. Weiterhin waren mittels Laboruntersuchungen an Bohrkernen chemisch / mineralogische Analysen vorzunehmen. Durch diese sollten die Hydrophobierungstiefen bestimmt werden, und zwar durch Wasseraufnahmeprüfungen sowie durch infrarotspektrometrische Analysen. Durch lichtmikroskopische Betrachtungen an Anschliffen war die Haftung und Verzahnung der Schlämmverfugungsschicht am vorhandenen Fugenmörtel sowie am Ziegelmaterial zu analysieren.

Das vorliegende Gutachten stellt die Weiterführung eines Gutachtens an den gleichen Objekten und zum Teil gleichen Messstellen aus dem Jahre 1992 dar.

2 Visuelle Zustandsbeschreibung

Die Bilder 1 und 2 (Fotodokumentation) zeigen Übersichtsaufnahmen des Kasernengebäudes 1 in Wesendorf (im Folgenden mit Gebäude A bezeichnet), die Bilder 3 und 4 das Gebäude L der Biologischen Bundesanstalt (Gebäude B).

Das visuelle Erscheinungsbild beider Fassadenansichten ist auch 16 bzw. 20 Jahre nach den Sanierungsmaßnahmen in einem gutem Zustand. Verschmutzungen der Oberflächen durch Algen- und/oder Moosbewuchs ist nicht festzustellen. Die Farbe der Verfugungen ist über die gesamte Fassade in einem einheitlichen mittleren zementgrau. Mörtelrisse und/oder Flankenablösungen des Mörtels von den Steinen waren nicht zu verzeichnen. Die Bilder 5 - 8 zeigen exemplarisch Detailaufnahmen der Sichtmauerwerke.

Die Ziegeloberflächen beider Objekte sind bis auf kleinere Mörtelpartikel in Fehlstellen der Brennhaut frei von dem Schlammverfugungsmörtel. Ein gelegentlich ausführungsbedingt zu beobachtender Zementschleier auf den Ziegeln war nur an wenigen Teilflächen zu erkennen. Das Gesamtbild der Sichtmauerwerksoberfläche wird hierdurch sowie durch die partiellen Mörtelrückstände in Ziegeloberflächenvertiefungen (Bild 9) nur unwesentlich beeinträchtigt.

3 Bauphysikalische Untersuchungen

3.1 Wasseraufnahmemessungen

Die Bestimmung der Wasseraufnahme der Ziegel erfolgte mittels des Prüfröhrchen nach Karsten (KR). Die integrale Wasseraufnahme von Steinen und Fugen als Verbund wurde mittels einer Wasseraufnahmeprüfplatte vorgenommen. Die Prüfplatte überdeckt eine Fläche von ca. 200 cm², die sich aus den Abmessungen eines Normalformatziegels einschließlich des zugehörigen Fugenanteils ergibt.

Mit Hilfe von Wasseraufnahmemessungen kann festgestellt ermittelt werden, ob Durchfeuchtungserscheinungen an der Innenfläche von Außenwänden auf mangelnde Schlagregendichtigkeit zurückzuführen sind oder andere Durchfeuchtungsursachen zu suchen sind. Durch Parallelmessungen beider genannten Prüfsysteme kann darüber hinaus gezielt ermittelt werden, welcher Anteil der Wasseraufnahme bei einer Schlagregenbeaufschlagung durch die Fugen bzw. die Steine des Sichtmauerwerks eintritt.

Messungen an durch Schlagregen nachweislich durchfeuchteten 36,5 cm dicken einschaligen Sichtmauerwerken ergaben, dass bei Fassaden mit Wasseraufnahmewerten der Prüfplatte von über 300 ml / 15 min Durchfeuchtungen bis zur Mauerwerksinnenseite befürchtet werden müssen. Werte von 400 – 500 ml / 15 min führen mit hoher Wahrscheinlichkeit bei Schlagregenexposition zu Schäden. Bei intakten, nicht hydrophobierten Sichtmauerwerken erhält man Wasseraufnahmen unter 150 ml / 15 min, bei sorgfältiger Verarbeitung mitteldichter Vormauerziegel und Verfugungen mit Rezeptmörteln nach DIN 1053 bis herab zu 30 ml / 15 min.

Im vorliegenden Fall dienten die Wasseraufnahmemessungen in erster Linie der Wirksamkeitsüberprüfung des hydrophoben Schlämmverfugungssystems. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass hydrophobierte Mauerwerksfassaden keine bzw. nur vernachlässigbar geringe Wassermengen aufnehmen sollten, um Schäden am Steinmaterial insbesondere während der Frostperioden zu vermeiden. Dieses ergibt sich aus der Forderung, dass die Verdunstungsmenge während der Herbst-

monate der möglichen eindringenden Wassermenge entsprechen sollte. Eine Wasserakkumulation hinter der Hydrophobierung ist zu vermeiden.

Legt man als Grenzwert den Wasseraufnahmekoeffizienten für wasserabweisende Putze nach DIN 18550 von $0,5 \text{ kg} / \text{m}^2 \text{ h}^{0,5}$ zugrunde, so erhält man für die Messfläche von ca. 200 cm^2 und die Messzeit von 15 min einen Grenzwert von 2,5 ml. Hierbei wird eine lineare Wasseraufnahmeabhängigkeit mit der Zeit vorausgesetzt, was für Risse und andere Schwachstellen auch zutreffend ist. Dieser zuletzt genannte Grenzwert sollte bei hydrophobierten Sichtmauerwerksfassaden nicht überschritten werden.

Untersucht wurden an beiden Objekten die gleichen Fassadenseiten, die auch im Jahre 1992 vom Unterzeichnenden begutachtet wurden. Am Objekt Bundeswehrekaserne Wesendorf konnte dabei eine Teststelle aus der vormaligen Untersuchung lokalisiert und wiederholt mittels der Wasseraufnahmeprüfplatte beprobt werden.

Darüber hinaus wurde am Objekt Biologische Bundesanstalt die West-Südwestfassadenseite untersucht. Die einzelnen Messwerte sind tabellarisch auf der folgenden Seite zusammengefasst.

Tabelle 1: Versuchsergebnisse zur Wasseraufnahme des Mauerwerkes am Objekt Bundeswehrkaserne Wesendorf

Nr.	Beschreibung	Wasseraufnahme in [ml] nach			
		1 min	5 min	10 min	15 min
WP 1A	Süd-Südwestseite, 1 m Höhe, alte Messstelle	0	0	0	0
KR 1A	Ziegel unmittelbar neben Messstelle WP 1A	0,0	0,0	0,0	0,0
WP 2A	Süd-Südwestseite 1.5m Höhe, neben Gebäudeeingang	0	0	0	0
KR 2A	Ziegel unmittelbar neben Messstelle WP 2A	0,0	0,0	0,0	0,0
WP 3A	West-Nordwestseite, 1,5 m Höhe	0	0	0	0
KR 3A	Ziegel unmittelbar neben Messstelle WP 3A	0	0	0,0	0,0
KR 4A	Fugenkreuz neben Messstelle WP 2A	0,0	0,0	0,05	0,05
KR 5A	Fugenkreuz neben Messstelle WP 3A	0,0	0,0	0,00	0,00

WP = Wasseraufnahme mittels WP-Platte nach Franke
 KR = Karsten'sche Röhrchen

Tabelle 2: Versuchsergebnisse zur Wasseraufnahme des Mauerwerkes am Objekt Biologische Bundesanstalt Braunschweig

Nr.	Beschreibung	Wasseraufnahme in [ml] nach			
		1 min	5 min	10 min	15 min
WP 1B	West-Südwestseite, 1,6 m Höhe,	0	2	5	10
KR 1B	Ziegel unmittelbar neben Messstelle WP 1B	0,0	0,0	0,0	0,0
WP 2B	West-Südwestseite, 1,5m Höhe,	2	10	20	30
KR 2B	Ziegel unmittelbar neben Messstelle WP 2B	0,0	0,0	0,0	0,05
WP 3B	Süd-Südostseite, 1,5 m Höhe	0	0	1	2
KR 3B	Ziegel unmittelbar neben Messstelle WP 3	0,0	0,0	0,0	0,0
KR 4B	Fugenkreuz neben Messstelle WP 1B	0,0	0,02	0,04	0,06
KR 5	Fugenkreuz neben Messstelle WP 2B	0,0	0,2	0,05	0,1
KR 6	Ost-Nordostseite, Fugenkreuz, unsanierter Bereich	>> 5 ml	Abbruch		

WP = Wasseraufnahme mittels WD-Platte nach Franke
 KR = Karsten'sche Röhrchen

Am Objekt A (Bundeswehrrkaserne Wesendorf) konnte keine Wasseraufnahme an den Teststellen des Sichtmauerwerkes ermittelt werden. Dieses gilt sowohl für das Ziegelmaterial als auch für das Fugennetz. Die Schutzfunktion gegenüber Schlagregendichtigkeit sowie die Einhaltung der beschriebenen erhöhten Anforderungen zulässiger Wasserrahmen bei hydrohobierten Fassaden ist somit auch über diesen Untersuchungszeitraum gegeben.

Auch am zweiten Untersuchungsobjekt B (Biologische Bundesanstalt) ist die hydrophobe Wirkung der Schlämmverfugung intakt. An der erneut beprobten Süd-Südostfassadenseite konnte keine bzw. eine vernachlässigbar geringe Wasseraufnahme von max. 2 ml mit der Prüfplatte festgestellt werden.

Wasseraufnahmen von 10 bis 30 ml pro 15 min wurden dagegen an Stellen der West-Südwestfassade gemessen. Diese Werte sind zwar in Hinblick auf eine Schlagregendichtigkeit als gering, für hydrophobierte Sichtmauerwerke jedoch als zu hoch zu werten. Diese dort festgestellte Wasseraufnahme lässt sich auf Ausführungsfehler bei den Schlämmverfugungsarbeiten zurückführen. Bei näherer Betrachtung der Testflächen ist festzustellen, dass die Wasseraufnahme sich auf wenige Stellen beschränkt, wo offensichtlich keine neue Fugenschlämme aufgetragen worden ist und/oder eine unvollständige Hydrophobierung erfolgt ist. Deutlich zu erkennen ist dieses auf Bild 10, welches eine Testfläche nach Entfernen der Wasseraufnahmeprüfplatte zeigt. Im Gegensatz zu den sehr schnell abgetrockneten Bereichen einer intakten hydrophobierten Zone (helle Bereiche) sind die Fehlstellen an der dunklen Verfärbung durchfeuchteter Mörtelbereiche zu erkennen.

Da es sich vermutlich um punktuelle Schwachstellen und nicht um ein flächendeckendes Verhalten an der Fassadenseite handelt, sind die absoluten Mengen der Wasseraufnahme offensichtlich so gering, dass schädigende Auswirkungen auf das Ziegelmaterial nicht aufgetreten sind.

3.2 Ermittlung der Fugenfestigkeit

Die Kenntnis der Fugenfestigkeit ist von Bedeutung im Zusammenhang mit Qualitätskontrollen von neuen Ver fugungen. Neben der klassischen und sehr aufwendigen Methode, Würfel aus Fugen herauszuschneiden und deren Festigkeit nach aufwendiger Präparation in einer Prüfmaschine zu prüfen, wurde an der TUHH ein zerstörungsfreies Festigkeitsprüfverfahren unter Verwendung eines handelsüblichen Nageleinschlaggerätes für die Praxis aufbereitet.

Mittels eines elektrisch betriebenen Nageleinschlaggerätes (Metabo Ta A19) wurden Stahlnägel einer Länge von 19 mm bei definiert eingestellter Schlagenergie in das Fugenmaterial geschlagen. Nach Durchführung der Versuche wird die Eindringtiefe der Nägel in die Fuge gemessen. Diese Methode ist zur Einschätzung der Fugenfestigkeit sowie zur Einteilung des Fugenmaterials in der entsprechenden Mörtelgruppe in der einschlägigen Fachliteratur ausführlich beschrieben.

Es wurden jeweils 4 Stellen beider Gebäude untersucht. An jeder Messstelle wurden 20 Nageleinschläge in einem Abstand von ca. 5 cm bzw. 2 cm vorgenommen, unterteilt zwischen Lager- und Stoßfugen.

In den beiden Tabellen 3 und 4 wurden den Messwerten (mittlere Einschlagtiefen der Nägel in mm) die Mörtelgruppen nach DIN 1053 zugeordnet. Danach bedeutet die Angabe II a, dass die Mörtelfuge eine Festigkeit von mindestens 5 N / mm² aufweist und die Angabe III eine Festigkeit von mindestens 10 N / mm². Fugenbereiche mit Festigkeiten kleiner 5 N / mm² weisen aktuell zu niedrige Festigkeiten auf.

Tabelle 3: Fugenfestigkeiten am Objekt A (Bundeswehrekaserne Wesendorf)

FFP – Nr. ²⁾	Meßstelle	Mittlere Eindringtiefe [mm] / Einstufung in Mörtelgruppe [MG]			
		Stoßfugen ¹⁾		Lagerfugen ¹⁾	
1	Süd-Südwestseite, neben Prüffläche WP 1A, 1 m Höhe,	3	III	4	III
2	Süd-Südwestseite 1.5m Höhe, neben Gebäudeeingang	3	III	5	III
3	West-Nordwestseite, 1,5 m Höhe, neben Prüffläche WP 3A	4	III	5	III
4	West-Nordwestseite, 1,5 m Höhe	4	III	5	III

¹⁾ Mittelwerte aus jeweils 10 Einzelbestimmungen ²⁾ FFP = Fugenfestigkeitsprüfung

Tabelle 4: Fugenfestigkeiten am Objekt B (Biologische Bundesanstalt)

FFP – Nr. ²⁾	Meßstelle	Mittlere Eindringtiefe [mm] / Einstufung in Mörtelgruppe [MG]			
		Stoßfugen ¹⁾		Lagerfugen ¹⁾	
5	West-Südwestseite, 1,6 m Höhe, neben Prüffläche WP 1B	6	III	9	II a
6	West-Südwestseite, 1,5m Höhe, , neben Prüffläche WP 2B	4	III	8	II a
7	Süd-Südostseite, 1,5 m Höhe, , neben Prüffläche WP 3B	3	III	3	III
8	West-Südwestseite, 1,5m Höhe, Fensterbereich	6	III	9	II a

¹⁾ Mittelwerte aus jeweils 10 Einzelbestimmungen ²⁾ FFP = Fugenfestigkeitsprüfung

Die Versuchsergebnisse zeigen durchgängig hohe Festigkeitswerte an allen Teststellen des Objektes A sowie an der Süd-Südostfassade am Objekt B. Das Schlemmverfugungsmaterial in Verbindung mit der Originalverfugung ist hier demnach in die Mörtelgruppe III nach DIN 1053 einzustufen.

Tendenziell geringere, jedoch als hinreichend gut zu wertende Festigkeitswerte mit Einstufungen in die Mörtelgruppe II a ergaben die Fugenuntersuchungen an der West-Südwestfassade am Objekt B. Die Festigkeitsprüfungsergebnisse an diesem Fassadenabschnitt stehen mit den dort ermittelten Ergebnissen zur Wasseraufnahme in Einklang. Sie belegen, dass an der Fassadenseite Mängel aufgrund von Ausführungsfehlern vorliegen.

3.3 Laboranalytische Bestimmungen

Für die Laboruntersuchungen wurden Bohrkern mit einer 50 mm Trockenbohrkrone an den jeweiligen Südwestfassaden beider Objekte entnommen. Die Beprobungstiefe lag dabei zwischen 2,5 und 3 cm.

3.3.1 Nachweis der Hydrophobierungsmittel und der Hydrophobierungstiefen

Im Labor wurden die Kerne im Profil gesägt und zunächst an den Schnittstellen visuell mittels „Wasserabperltest“ auf Hydrophobierungsmittel untersucht. Vgl. hierzu die Bilder 3 und 4 aus dem Laborbericht im Anhang. Die beprobten Ziegeloberflächen können insgesamt als wasserabweisend eingestuft werden.

Der Wasserabperltest erlaubt jedoch keine Aussage darüber, ob der festzustellende wasserabweisende Effekt durch eine Hydrophobierung oder durch eine intakte Brennhaut des Ziegelmaterials bewirkt wird. Die Bestimmung hydrophober Wirkstoffe erfolgte mittels infrarotspektrometrischer Untersuchungen an ausgewählten Proben beider Objekte (zur Methodik siehe Laborbericht TU - Hamburg Harburg). Als Bestimmungskriterium gilt der Nachweis von aliphatischen C-H-Schwingungsbanden bei Wellenzahlen von 2850 cm^{-1} bis 2.950 cm^{-1} , die charakteristisch sind für die Anwesenheit von Hydrophobierungsmitteln auf siliziumorganischer Basis. Diese organischen Verbindungen wurden nur in den Ziegeloberflächen bis zu einer Tiefe von ca. $250\text{ }\mu\text{m}$ nachgewiesen. Dieser Befund gilt für beide untersuchte Objekte. Die geringe Eindringtiefe der als Hydrophobierungsmittel gewerteten Substanzen ist durch die dichte Brennhaut der Klinker zu erklären.

Die Oberfläche der Fugenschlämme zeigte hingegen keinen Wasserabperleffekt. Die hydrophobe Wirkung kam erst in den angrenzenden Mörtelschichten zum Vorschein. Hier war durchgängig ein wasserabweisender Effekt über die gesamte Probentiefe von ca. 2 cm erkennbar. Der visuelle Befund konnte mittels der IR-Analysen bestätigt werden. An der Oberfläche der Schlämmverfugungsmörtel von beiden Objekten waren die Hydrophobierungsmittel im Gegensatz zu den nachfolgenden Mörtelschichten nicht eindeutig nachweisbar.

Das Fehlen des Abperleffektes an der Oberfläche der Fugenschlämme kann ursächlich auf einer Ablagerung von hydrophilen Partikeln aus der Atmosphäre zurückgeführt werden oder aufgrund eines erfolgten Abbaus der hydrophoben Wirkstoffe infolge der langjährigen Bewitterung.

3.3.2 Lichtmikroskopische Untersuchungen

Bild 1 und Bild 2 des Laborberichtes zeigen Schnitte an Bohrkernen von beiden Objekten durch das Fugenmaterial senkrecht zur Fassadenoberfläche.

Auf Bild 1 (Gebäude A) ist deutlich der Hintermauermörtel, der vorhandene Verfüugungsmörtel sowie eine ca. 2 mm dicke Zone mit dem Schlämmverfugungsmaterial zu erkennen. Am untersuchten Bohrkern des Objektes B (Bild 2) ist hingegen kein Schlämmverfugungsmörtel zu erkennen gewesen.

Die Bilder 5 und 6 zeigen vergrößerte Detailaufnahmen von der Grenzfläche Verfüugungsmörtel / Ziegel. Deutlich zu erkennen ist eine exakte Angleichung des Schlämmverfugungsmörtels (Bild 6) bzw. des Verfüugungsmörtels (Bild 5) an die Klinkeroberfläche.

Bild 7 zeigt exemplarisch die gute Verzahnung zwischen den einzelnen Mörtelschichten. Risse und Ablösungen waren an den untersuchten Bohrkernen nicht festzustellen.

4 Zusammenfassende Bewertung der Befunde

Zusammenfassend können die Untersuchungsbefunde wie folgt bewertet werden:

Der Zustand des Fugennetzes von zwei mittels eines Schlämmverfugungssystem sanierten Sichtmauerwerksfassaden ist nach 16jähriger bzw. 20jähriger Außenbewitterung als gut bis sehr gut einzustufen. Das FUNCOSIL[®] Ziegel – Schlämmverfugungs - System weist auch nach diesem Untersuchungszeitraum keine Fehlstellen in Form von Rissen oder Flankenablösungen auf.

Ein Abperleffekt konnte durchgängig auf den beprobten Ziegeloberflächen festgestellt werden. Ein Abperleffekt konnte indes an den untersuchten Fugenoberflächen nicht mehr nachgewiesen werden. Dieser Befund hat jedoch für den wasserabweisenden Effekt der untersuchten Sichtmauerwerksflächen keine nennenswerte Auswirkung.

Durch die Wasseraufnahmemessungen vor Ort und im Labor konnte belegt werden, dass an beiden Objekten die hydrophobe Wirkung des Schlämmverfugungssystems intakt ist. Eine Schlagregendichtigkeit liegt auch nach den genannten langjährigen Einsatzzeiten vollständig vor.

Hamburg, den 31.8.2000



Prof. Dr.-Ing. L. Franke

5 Literatur

- [1] Franke, L.; Pinsler, F.; Oly, M:
Analyse von Hydrophobierungen mittels FT-IR-Spektroskopie-Mikroskopie
Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzung (2/1997)
- [2] Franke, L.; Bentrup, H; Bosold, D.:
Fugen im Sichtmauerwerk
Bausubstanz, Heft 2 und 3, März 1994, 10. Jahrgang
- [3] Franke L.:
Zustandsbeurteilung und Instandsetzung von Sichtmauerwerksbauten
Mauerwerkskalender, 1995

6 Fotodokumentation



Bild 1: Fassadenansicht Gebäude A (Bundeswehrkaserne Wesendorf)



Bild 2: Fassadenansicht Gebäude A (Bundeswehrkaserne Wesendorf)



Bild 3: Fassadenansicht Gebäude B (sanierte Bereiche)



Bild 4: Fassadenansicht Gebäude B (rechter Gebäudeflügel nicht saniert)



Bild 5: Giebelbereich Gebäude A, Süd-Südwestseite



Bild 6: Detailaufnahme eines Sichtmauerwerksabschnittes von Gebäude A



Bild 7: Giebelbereich Gebäude A, Süd-Südostfassade



Bild 8: Detailaufnahme eines Sichtmauerwerksabschnittes von Gebäude B



Bild 9: Partielle Mörtelrückstände in Ziegelfehlstellen und rauhen Oberflächen



Bild 10: Partiiell fehlende hydrohobe Wirkung des Mörtels