



## DBU - Abschlussbericht

### Kirche St. Marien / Stendal

Aufgabenstellung: Modellhafte Anwendung einer auf den Untergrund Ziegel optimierten Entsalzungskompressse.

Auftraggeber: Glockenverein St. Marien / Stendal  
Frau Hornemann

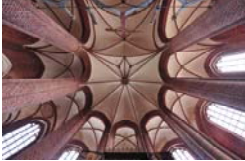
---

*gefördert durch*




Deutsche Bundesstiftung Umwelt

[www.dbu.de](http://www.dbu.de)

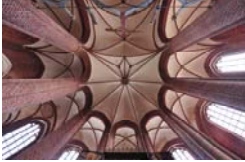
	Vorhaben:	Signum: Hilb
	St. Marien / Stendal	Blattnr.: 2
		16.09.2011

## Inhalt

Ziffer	Seite
Inhalt .....	2
1 Einführung .....	4
2 Einleitung .....	5
2.1 Objektsituation .....	5
3 Stand des Wissens .....	6
3.1 Grundlagen zur Adaption einer Kompresse an den Untergrund .....	6
4 Kompressenapplikation .....	12
4.1 Anwendungstechnik .....	13
4.1.1 Applikation Sohlbank .....	13
4.1.1.1 Auftrag .....	13
4.1.1.2 Abnahme .....	16
4.1.2 Applikation Gurtbogen .....	17
4.1.2.1 Auftrag .....	17
4.1.2.2 Abnahme .....	18
4.1.3 Nachreinigung aller Versuchflächen .....	19
5 Probenahme .....	20
6 Analysetechnik .....	22
6.1 Quantitative Salzanalyse .....	22
6.2 Feuchtebestimmung mit der Darmmethode .....	22
6.3 Feuchtebestimmung mit der Mikrowellenmesstechnik .....	22
7 Kompressenentsalzung Messwertdokumentation / Interpretation .....	24
7.1 Kompressenanalytik / Dokumentation .....	24
7.2 Kompressenanalytik / Interpretation .....	27

	Vorhaben:	Signum: Hilb
	St. Marien / Stendal	Blattnr.: 3
		16.09.2011

7.3 Substrat / Messwertdokumentation .....	28
8 Nachreinigung / Entsalzung – <i>Gregomatic</i> <sup>®</sup> .....	42
8.1 Einführung.....	42
8.2 Bilddokumentation <i>Gregomatic</i> <sup>®</sup> .....	43
8.3 Muster Entsalzungsversuch.....	44
8.3.1 Ergebnisse „vorgenässt“.....	45
8.3.2 Ergebnisse „trocken“.....	46
8.3.3 Interpretation der Ergebnisse.....	47
8.4 Beantwortung der Grundfragen Anwendung „ <i>Gregomatic</i> <sup>®</sup> “ .....	48
9 Literatur.....	49
10 <u>Anlagen</u> .....	50
10.1 Diagnosebericht_77 / 07 – Remmers FACHPLANUNG.....	50
10.2 1. Zwischenbericht_Hal 12-2010 – IDK.....	50
10.3 Untersuchungen Wasseraufnahme Ziegel_Hal 37-2010 – IDK.....	50
10.4 Kurzbericht Kompressenanalyse_Hal 79-2010 - IDK.....	50
10.5 Nachuntersuchungen Probeflächen Kompressenauftrag_03-2011 - IDK.....	50
10.6 Nachuntersuchungen Kompressenzyklus_Hal 28-2011 - IDK.....	50
10.7 Untersuchungen Anwendung <i>Gregomatic</i> _54-2011 - IDK.....	50

	Vorhaben:  <b>St. Marien / Stendal</b>	Signum: Hilb
		Blattnr.: 4
		16.09.2011

## 1 Einführung

Das Projekt wurde mit Hilfe einer Förderung der DBU / Osnabrück durchgeführt.



Fördernehmer war der Glockenverein St. Marien / Stendal, vertreten durch Frau Hornemann.



Die Projektkoordinierung und Ausführung der notwendigen Analytik wurde durch das idk / Halle – Frau Dr. Meinhardt geleistet.

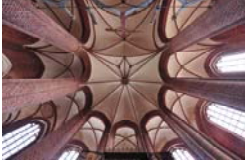


Die Realisierung der anwendungstechnischen Tests in Werkstatt und am Objekt wurde durch die Werkstatt C. Grimm / Magdeburg und dem Restauratorenkolleg Blankenburg – Herrn Hänel umgesetzt.



Die wissenschaftliche Koordinierung insbesondere hin zu dem vorab durchgeführten EU-Projekt „DESALINATION“ sowie die Erstellung des Abschlussberichtes wurde durch die Remmers Fachplanung / Herrn Dr. Hilbert durchgeführt.



	Vorhaben:	Signum: Hilb
	<b>St. Marien / Stendal</b>	Blattnr.: 5
		16.09.2011

Das hier in Form des Abschlussberichtes dargestellte DBU-Projekt führt die Arbeiten folgender beider, unabhängig voneinander durchgeführter Arbeitslinien zusammen:

1. in den Jahren 2007 / 2008 an der Marienkirche Stendal durch das IDK / Halle und der Remmers Fachplanung durchgeführte Objektuntersuchungen.
2. in den Jahren 2006 – 2009 im Rahmen des EU-Projektes “DESALINATION – Assessment of desalination mortars and poultices for historic masonry“ durchgeführte Grundlagenforschung.

Der vorliegende Bericht baut auf diesen Arbeiten auf – von den insbesondere im Rahmen des EU-Projektes Desalination erarbeiteten Ergebnissen werden im Rahmen diese Abschlussberichtes all nur die praxisorientierte Teilaspekte aufgenommen. Darüber hinausgehende Inhalte können der Veröffentlichung LUBELLI & van HEES (2010) entnommen werden.

Im Verlaufe des hier zusammengefassten DBU Projektes wurden durch J. Meinhardt / IDK / Halle eine Vielzahl von Zwischenberichten erstellt. Auch diese Zwischenberichte werden hier in ihren inhaltlichen Schwerpunkten aufgearbeitet – die wesentlichen Berichte befinden sich, wie auch der zu den durchgeführten Objektarbeiten gehörige Diagnosebericht 77 / 07 im Anhang dieses Abschlussberichtes. Damit kommt dieser Abschlussbericht einem Statusbericht gleich und belegt den modellhaften Charakter dieses Projektes.


## 2 Einleitung

### 2.1 Objektsituation

Aus Voruntersuchungen (Bericht idk 14 / 2008, Diagnosebericht Remmers Fachplanung 77 / 07) können folgende Fakten entnommen werden:

1. Die Marienkirche zeigt lokal konzentriert auftretende Salzausblühungen, die zu einer Zerstörung sowohl des Mauerwerksbildners Ziegel wie auch den vorhandenen Wandmalereien führen (vergl. in Bericht 77 / 07 eingearbeitetes Schadenglossar).
2. Es werden in den untersuchten Bereichen
  - a. große Mengen von **Nitrat** - und **Cl** -, nur untergeordnet  $\text{SO}_4$  – Verbindungen detektiert die auch
  - b. bis in **große Tiefen** (Beprobungstiefe bis 10 cm) nachgewiesen werden können.

Aus dieser in 77 / 07 enthaltenen Beschreibung leitete sich ab, dass auf jeden Fall Handlungsbedarf existiert. Dieser Handlungsbedarf kann auf Grund der objektspezifischen Situation nicht über den Auftrag eines Putzsystems gelöst werden (ziegelsichtiger Charakter des Objektes) – vor diesem Hintergrund trat die Realisierbarkeit von Entsalzungsmaßnahmen in den Vordergrund.

	Vorhaben:	Signum: Hilb
	St. Marien / Stendal	Blattnr.: 6
		16.09.2011

### 3 Stand des Wissens

Seit Jahrzehnten werden Entsalzungsmaßnahmen mit Hilfe von Kompressen durchgeführt. Das grundsätzliche Vorgehen bzw. auf jeden Fall zu berücksichtigende Randparameter werden in dem WTA – Merkblatt 3-13-01/D „Zerstörungsfreies Entsalzen von Naturstein und anderen porösen Baustoffen mittels Kompressen,“ beschrieben.

Für die praktische Durchführbarkeit von Entsalzungsmaßnahmen ist für die Zeitspanne um das Jahr 2008, in der das weitere Vorgehen für die Marienkirche Stendal diskutiert wurde, festzuhalten, das:

1. materialeitig durch die Arbeiten des EU-Projektes erstmalig eine Adaption angewandter Kompressenrezepturen auf den objektspezifischen Untergrund im Labor möglich war, aber
2. sich insbesondere der für feinporöse Untergründe entwickelte Kompressentypus in EU-projektinternen Anwendungsversuchen anwendungstechnisch problematisch verhielt (Rückstände).

#### 3.1 Grundlagen zur Adaption einer Komresse an den Untergrund

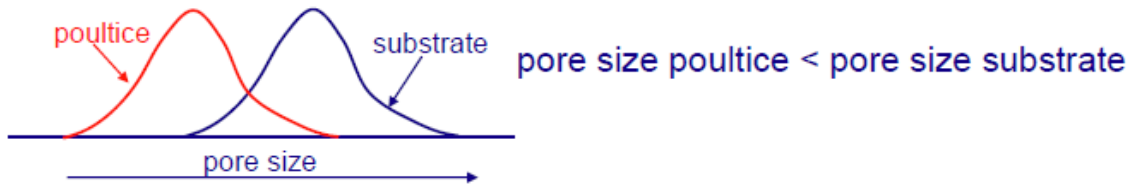
Für den Transport von Salzen in dem Transportmedium Wasser können grundsätzlich folgende Transportmechanismen genannt werden:

Transportart	Praktische Anwendung	Wirkmechanismus	Transportgeschwindigkeit
Diffusion	Wasserbad	Konzentrationsausgleich	niedrig
Advektion I	trocknende Komresse	Feuchtestrom durch Kapillarsog in die Komresse	hoch
Advektion II	gerichteter Feuchtestrom	Feuchtestrom mit künstlich gesteigerter Stromgeschwindigkeit	sehr hoch

**Abb. 1:** Grundsätzlich mögliche Transportmechanismen, die bei einer Entsalzungsmaßnahme genutzt werden können.

Für den Mechanismus Advektion I ist schon aus dem Bereich der Opferputzanwendung (HILBERT 1992) bekannt, dass sich ein gerichteter Feuchtestrom, hervorgerufen durch Kapillarsog in das Salzspeichermedium (Opferputz, Entsalzungskomresse) nur einstellen kann, wenn die mittlere Porengröße des Salzspeichermediums  $\leq$  der des Untergrundes ist (Abb. 2).

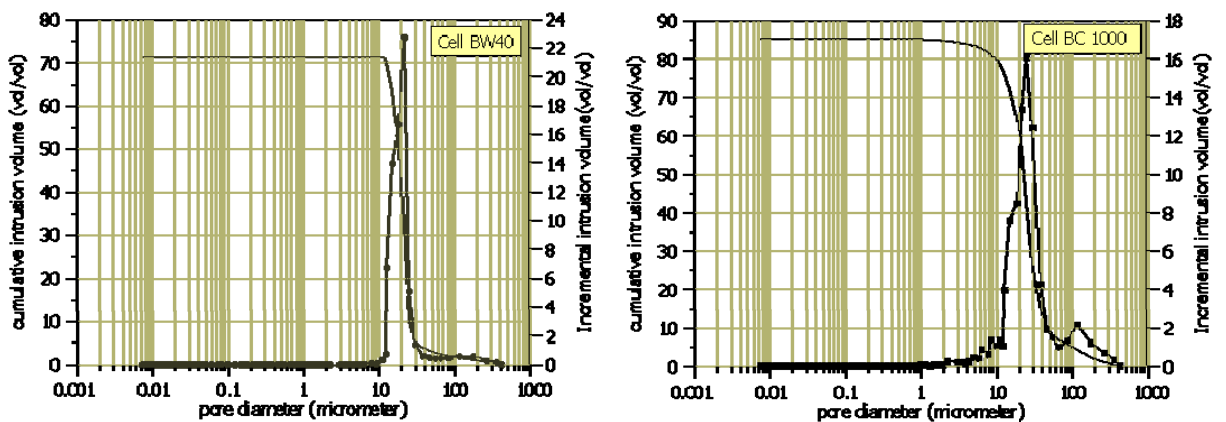
	Vorhaben:	Signum: Hilb
	St. Marien / Stendal	Blattnr.: 7
		16.09.2011



**Abb. 2:** Verhältnis von Porenradienverteilung Substrat zu Porenradienverteilung Komprese (poultice).

Obwohl dieses Grundlagenwissen spätestens seit dem Beginn der zielgerichteten Rezeptierung von Opferputzen bekannt ist (HILBERT 1992), wurde erst im Rahmen der Durchführung des EU-Projektes DESALINATION das Grundlagenwissen ermittelt, um die grundsätzliche Funktionstüchtigkeit üblicher Kompressenmaterialien überprüfen zu können. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Poranradienverteilungen üblicherweise in der Restaurierung angewandter Kompressenmaterialien:

### 1. Cellulosekomprese



**Abb. 3:** Porenradienverteilung Cellulose (Buchenholz) – Komprese zweier Cellulosefaserlängen

Der auch als Buchenholzkompresse bekannte Kompressentypus zeigt ein Porenradienmaximum bei ca. 30 – 40 µm. Dieses Maximum zeigt sich auch bei unterschiedlichen Faserlängen konstant.

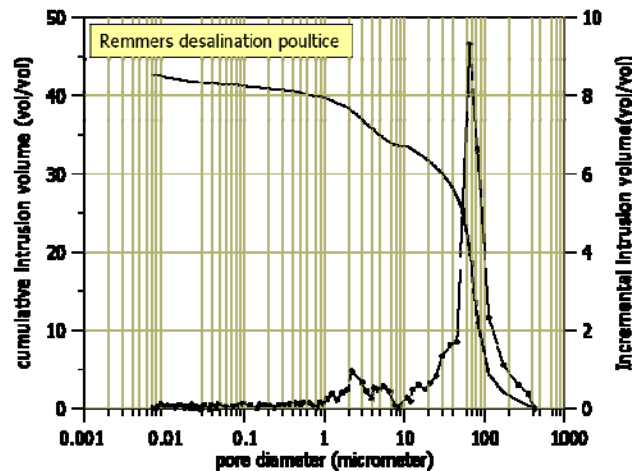


Vorhaben:  
**St. Marien / Stendal**

Signum:  
Hilb

Blattnr.: 8  
16.09.2011

## 2. Sand – Bentonit – Cellulose – Komprese



**Abb. 4:** Porenradienverteilung Sand – Bentonit – Cellulose Komprese

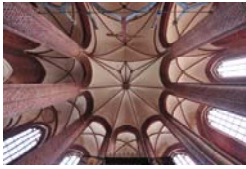
Dieser von Schuh & Ettl erstmalig 1992 beschriebene Kompressentypus war der bislang üblichste, wenn es um die großflächige Entsalzung insbesondere im Ziegel- / Steinbereich ging. Das Porenradienmaximum für diesen Kompressentypus ist für ca. 50 – 70  $\mu\text{m}$  anzugeben.

### **Fazit**

Die vielerorts zur Anwendung gelangten Kompressentypen mit den für sie typischen Zusammensetzung rein aus Cellulose oder als Sand – Bentonit – Cellulose Mischungen weisen Porenradienmaxima eher im grobporösen Bereich auf. Damit kann ihre Anwendung auf eher feinporösen Untergründen nur eine geringe Effizienz aufweisen.

Um nun die Porenradienverteilung zielgerichtet beeinflussen zu können, ist es wichtig, das entsprechende Gefügemerkmal der Einzelkomponente zu kennen. Reine Cellulose wurde diesbezüglich schon in Abb. 3 dargestellt, Sand unterschiedlicher Sieblinie und zwei Arten Tonmineral werden in den Abb. 5 + 6 dokumentiert.





Vorhaben:  
St. Marien / Stendal

Signum:  
Hilb

Blattnr.: 9  
16.09.2011

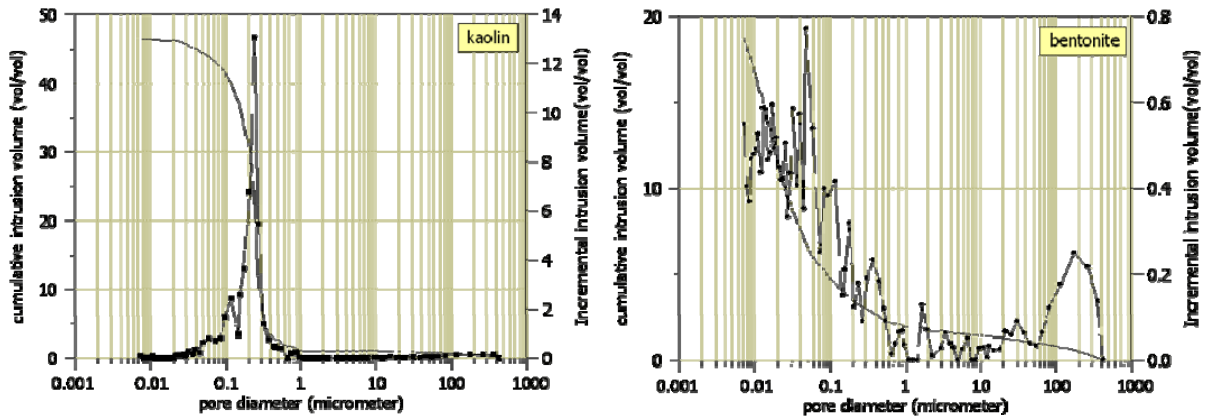


Abb. 5: Porenradienverteilung von Bentonit und Kaolin

Bentonit zeigt ein Porenspektrum primär im Bereich  $\leq 0,1 \mu\text{m}$  und ist damit für den Aufbau kapillaraktiv wirksamer Poren in einer Gesamtstruktur ungeeignet. Kaolin hingegen zeigt ein ausgeprägtes Maximum exakt im deutlich kapillaraktiven Bereich um  $0,2 \mu\text{m}$  und erscheint als zielgerichtet strukturgebendes Rezepturelement geeignet.

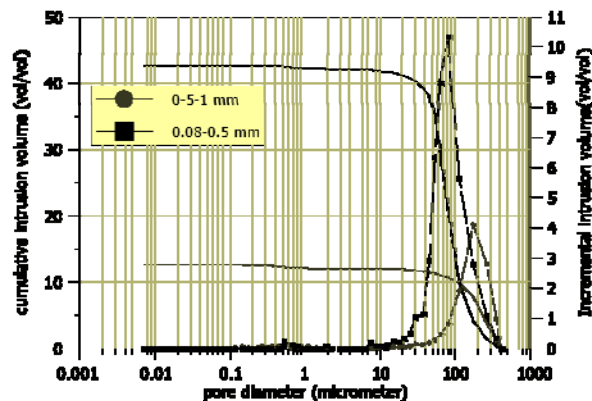
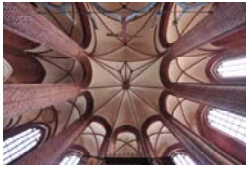


Abb. 6: Porenradienverteilung zweier ausgewählter Quarzkorn Sieblinien

Auch wenn der Unterschied gering ist, so zeigt sich bei der feineren Sieblinie doch eine Verschiebung des Porenradenmaximums in Richtung kleinerer Porenraden – allerdings können über eine Quarzkorn Sieblinie alleine ebenfalls nur sehr große, eher kapillar brechende Porenräume aufgebaut werden.

Schematisch wurden die in den Abb. 5 und 6 dargestellten Zusammenhänge von Lubelli EU-projektintern wie folgt dargestellt:



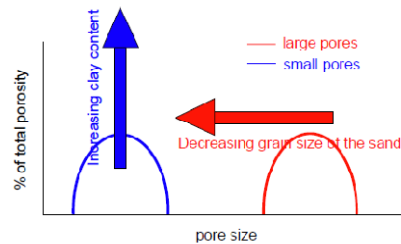
Vorhaben:  
**St. Marien / Stendal**

Signum:  
Hilb

Blattnr.: 10  
16.09.2011

### Effect of clay/sand ratio and grain size on porosity

- > clay content → > volume of small pores
- > grain size → larger pores

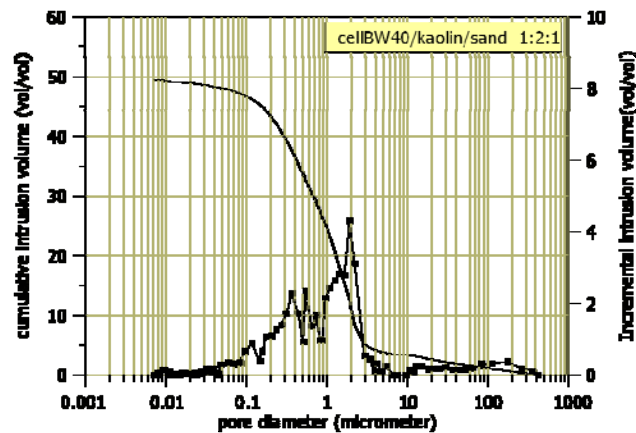


**Abb. 7:** Zusammenhang zwischen Rezepturmerkmalen und resultierender Porengröße

### Fazit

Aus dem Vermessen ausgewählter Einzelkomponenten leitet sich ab, dass für die Rezepturierung eines auf feinporöse Untergründe abgestimmten Kompressentypus die Mitverwendung von Kaolin in größeren Mengenanteilen zwingend notwendig ist.

Eine entsprechend rezeptierte Komresse zeigt denn auch das gewünschte Ergebnis; der Anteil kapillaraktiver Poren im Bereich zwischen 0,1 und 10 µm ist sehr hoch.



**Abb. 10:** Porenradienverteilung einer Kaolin reichen Kompressenrezeptur mit hohem Eignungsgrad für feinporöse Untergründe

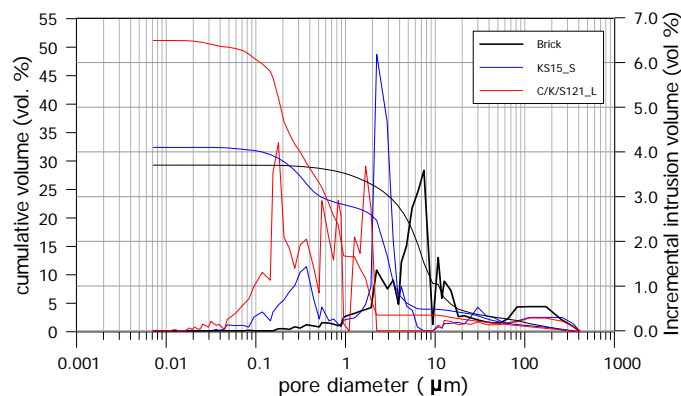


Vorhaben:  
**St. Marien / Stendal**

Signum:  
Hilb

Blattnr.: 11  
16.09.2011

Die Relevanz der vorab dargestellten Grundsatzüberlegung für den Untergrund Ziegel und damit für das zur Bearbeitung anstehende Objekt Marienkirche zeigt die Abb. 11. In dieser Abbildung werden direkt die Porenräume von Ziegel und zweier kaolinreicher Kompressenrezepturen gegenübergestellt. Für beide dargestellten Rezepturen ist eine Kompatibilität zum Untergrund Ziegel gegeben.

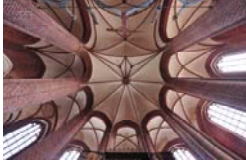


**Abb. 11:** Porenradienverteilung zweier kaolinreicher Kompressenrezepturen (blaue, rote Kurve) im Vergleich zum feinporösen Untergrund Ziegel (schwarze Kurve).

Warum nun ein auf diesem Grundlagenwissen aufbauendes DBU-Projekt? Die Begründung liegt in der Tatsache begründet, dass schon die noch im Rahmen des EU-Projektes durchgeführten Praxistests zwar die gewünschte grundsätzlich verbesserte Funktionstüchtigkeit einer zielgerichteten Rezeptureinstellung dokumentierten (höhere Leistungsfähigkeit des untergrundadaptierten Kompressentypus), gleichzeitig aber deutliche anwendungstechnische Schwierigkeiten sichtbar wurden. Abb. 12 zeigt eine Ziegeloberfläche nach Abnahme der Kaolinkompresse – deutlich sichtbar sind die im Porenraum befindlichen Rückstände des Kaolins. Für hochrangige Objekte wie z.B. die Marienkirche / Stendal ein nicht zu akzeptierender Sachverhalt.



**Abb. 12:** Ziegeloberfläche nach Abnahme eines stark kaolinhaltigen Kompressentypus an dem Versuchsobjekt de Waag / Amsterdam

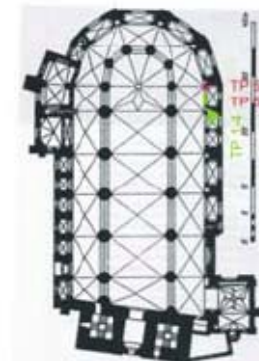
	Vorhaben:	Signum: Hilb
	St. Marien / Stendal	Blattnr.: 12
		16.09.2011

### **Fazit**

Bei grundsätzlich erfolgreich optimierter Rezepturgestaltung lag zu Beginn des DBU-Projektes ein großer Bedarf an anwendungstechnischem Zusatzwissen vor. Zudem war es notwendig, im Rahmen der weiteren Planung die im Falle des Objektes Marienkirche / Stendal vorliegende hohe Versalzungstiefe auf die Realisierbarkeit eines Entsalzungserfolges hin zu überprüfen.

## **4 Kompressenapplikation**

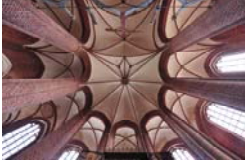
Für die anwendungstechnischen Versuche wurden in der Marienkirche zwei Versuchsflächenbereiche gesucht und gefunden. Für eine flächenhafte Anwendung wurde eine eher großflächige Gesimsfläche ausgewählt (Abb. 13), für kleinteiliges Arbeiten wurden Gurtbögen einer der Seitenkapellen in die Betrachtung aufgenommen (Abb. 14).



**Abb. 13:** Musterfläche der großflächige Kompressenanwendung



**Abb. 14:** Musterfläche der kleinflächigen Kompressenanwendung

	Vorhaben:	Signum: Hilb
	<b>St. Marien / Stendal</b>	Blattnr.: 13
		16.09.2011

## 4.1 Anwendungstechnik

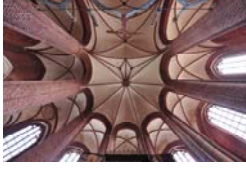
Es wurde eine grundsätzliche Zweiteilung in der Vorgehensweise vorgenommen; der Auftrag im Arbeitsbereich „Sohlbank“ (Abb. 13) erfolgte maschinell, der Arbeitsbereich „Gurtbögen“ (Abb. 14) hingegen händisch.

### 4.1.1 Applikation Sohlbank

#### 4.1.1.1 Auftrag

Für den Arbeitsbereich „Sohlbank“ wurde folgendes Vorgehen gewählt:

1. Abnahme loser Auflagerungen mit Hilfe eines Industriestaubsaugers (Vorreinigung).
2. Vornässen (stark schwankende Saugfähigkeit des Untergrundes; ca. 6 – 8 l / m<sup>2</sup>).
3. Partielle Applikation einer Kaschierung; durch diese Vorgehensweise wurde die grundsätzliche Notwendigkeit einer Kaschierung überprüft. Das zur Kaschierung aufgetragene Material muss im Austrocknungsprozess ein spannungsfreies Verhalten zeigen ( z.B.:Lagenzellstoff, 40 x 60 cm, zweilagig; Fa. Lohmann & Rauscher - Abb. 14).
4. Auftrag der vorgemischten Kompressen mit Hilfe einer Trichterpistole (Abb. 15).



Vorhaben:

St. Marien / Stendal

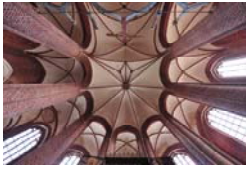
Signum:  
Hilb

Blattnr.: 14

16.09.2011



Abb. 14: Auftrag der Zellstoffkaschierung



Vorhaben:

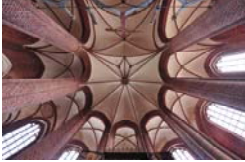
St. Marien / Stendal

Signum:  
Hilb

Blattnr.: 15  
16.09.2011



**Abb. 15:** Auftrag der Cellulosekompresse (von oben: Anmischen, maschineller Auftrag, Nahansicht Oberfläche der aufgetragenen Kompresse)

	Vorhaben:	Signum: Hilb
	St. Marien / Stendal	Blattnr.: 16
		16.09.2011

#### 4.1.1.2 Abnahme

Die für diesen Arbeitsschritt relevanten Inhalte wurden durch die Bearbeiterin C. Grimm wie folgt beschrieben:

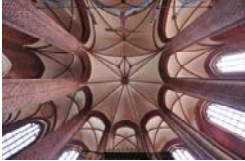
1. die Komresse war überwiegend trocken, in stark gelblich verfärbten Bereichen (eingelagerte Salze?) war sie partiell leicht "klamm".
2. in den Bereichen mit Kaschierung hatte die Komresse nur noch teilweise Haftung zum Untergrund, die Spannung der Kaschierung hat zum Ablösen und Einreißen der Komresse geführt (allerdings waren auch hier große Bereiche gelblich verfärbt, sodass aus meiner Sicht temporärer Kontakt der Komresse zum Untergrund vorlag - aber vermutlich nicht so effektiv ist, wie ohne Kaschierung).
3. im vertikalen Bereich der Kaschierung am Gewände war die Komresse teilweise herunter geklappt.
4. mit Kaschierung gibt es nach der Abnahme keinerlei Rückstände der Komresse.
5. die Bereiche ohne Kaschierung waren komplett rißfrei und hatten einen sehr guten Kontakt zum Ziegel, die Komresse ließ sich aber gut mit einem Spatel/Spachtel abnehmen (Nachreinigung mit Bürste und Staubsauger).

Die in der Auflistung getroffenen Aussagen sind im Bild wie folgt zu dokumentieren (Abb. 16):



**Abb. 16:** Auswirkung der Kaschierung (obere Hälfte der Musterfläche) auf den Kompressenauftrag (links nach Kompressenabnahme) – die Kaschierung bewirkt die Möglichkeit einer rückstandslosen Entfernung vom Untergrund bei gleichzeitig schlechterem Kontakt zum Untergrund



	Vorhaben:	Signum: Hilb
	<b>St. Marien / Stendal</b>	Blattnr.: 17
		16.09.2011

### Fazit

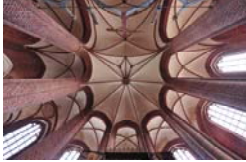
Ein uneingeschränktes Optimum in der Anwendungstechnik gibt es nicht – jede der beiden getesteten Applikationsformen zeigt Vor- und Nachteile. Während sich ohne Kaschierung die Haftung zum Untergrund bei rein optischer Bewertung optimal darstellt und die Abnahme mühelos ist, zeigt sich nach der Abnahme deckungsgleich zu den in den Niederlanden gemachten Erfahrungen ein deutlicher, weißer Rückstand auf der Ziegeloberfläche. Dieser kann komplett durch den Auftrag einer Kaschierung verhindert werden – allerdings „leidet“ die Haftung zum Untergrund darunter. Wie signifikant sich diese optisch vermeintlich schlechtere Haftung auf die eigentliche Aufgabenstellung, nämlich die Entsalzung, auswirkt, zeigen die vergleichenden Entsalzungserfolge.

#### 4.1.2 Applikation Gurtbogen

##### 4.1.2.1 Auftrag

Für den Arbeitsbereich „Gurtbogen“ wurde folgendes Vorgehen gewählt:

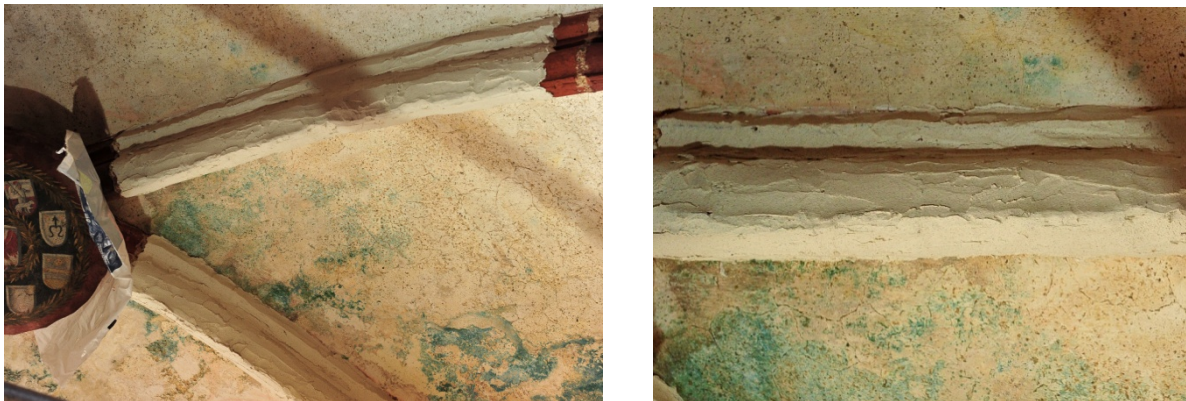
1. Abnahme loser Auflagerungen mit Hilfe eines Industriestaubsaugers (Vorreinigung)
2. Vornässen
3. Partielle Applikation einer Kaschierung; durch diese Vorgehensweise wurde die grundsätzliche Notwendigkeit einer Kaschierung überprüft. Das zur Kaschierung aufgetragene Material muss im Austrocknungsprozess ein spannungsfreies Verhalten zeigen.
4. Händischer Auftrag der vorgemischten Kompressen mit Hilfe in der Größe auf die Anwendung angepasster Kellen und Traufeln.
5. Aufbau einer, die Haftung unterstützenden Hilfskonstruktion in den kaschierten Bereichen – ohne diese Hilfskonstruktion war in diesem hängenden Bereich der Kompressenanwendung keine praxisgerechte Haftung am Untergrund gegeben.

	Vorhaben:	Signum: Hilb
	St. Marien / Stendal	Blattnr.: 18
		16.09.2011

Diese Aussagen werden nachfolgend bildlich verdeutlicht.



**Abb. 17:** Kompressenauftrag mit/ohne haftungsunterstützender Hilfskonstruktion

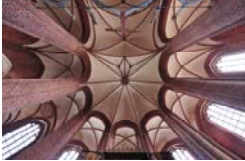


**Abb. 18:** Bearbeitungsoberfläche der Komresse nach händischem Auftrag

#### 4.1.2.2 Abnahme

Die für diesen Arbeitsschritt relevanten Inhalte werden durch den Bearbeiter C. Hänel wie folgt beschrieben:

1. in Bereichen ohne Kaschierung lag auch nach der Trocknung eine gute Haftung zum Untergrund vor; die Komresse mußte mit Hilfe von Spachtel und ähnlichem Werkzeug abgestoßen werden.
2. wie an den anderen bearbeiteten Objekten lag auch in diesem Fall nach der Abnahme ein intensiver Weißschleier vor.
3. im Falle der kaschierten Flächen deckt sich die zu machende Beobachtung mit den anderen Erfahrungen – die Kaschierung reduziert den auftretenden Weißschleier auf ein absolutes Minimum.

	Vorhaben:  <b>St. Marien / Stendal</b>	Signum: Hilb
		Blattnr.: 19
		16.09.2011

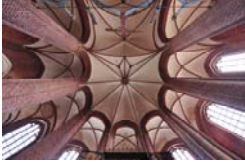
### **Fazit**

Die händische Verarbeitung reduziert die Haftung zum Untergrund. Untergrundart, Positionierung (über Kopf) und Auftragsart (Verdichtung durch Arbeiten mit Glättwerkzeug) können die Haftung so stark reduzieren, dass der für den Entsalzungsprozess notwendige Haftverbund zum Untergrund nicht mehr ausreichend gegeben ist. Im Zweifelsfall führt dieser Effekt zur kompletten ungewollten frühzeitigen Ablösung vom Untergrund.

Dieses Fazit baut sich aus den in Stendal aber auch anderenorts jüngst gemachten Beobachtungen auf.

#### 4.1.3 Nachreinigung aller Versuchflächen

In beiden Beprobungsfeldern wurden die mit Weißschleier versehenen Teilflächen (Applikation ohne Kaschierung) durch eine Behandlung mit einem Feinstrahlgerät erfolgreich nachgereinigt.

	Vorhaben:	Signum: Hilb
	St. Marien / Stendal	Blattnr.: 20
		16.09.2011

## 5 Probenahme

Die Details der Beprobung einschließlich der Lagebeschreibung aller Entnahmestellen sind den Zwischenberichten zu entnehmen (siehe Anhang).

Die nachfolgende Dateninterpretation konzentriert sich auf ermittelte Kennwerte in den beiden in Kapitel 4 definierten Arbeitsbereichen. Für das in Form von Tiefenprofilen (TP) ermittelte Datenset kann folgende Zuordnung getroffen werden:

Bereich Sohlbank: TP 1 – 6



Abb. 19: Position der Tiefenprofile TP 1-TP 4, Südwand des Kirchenschiffes, Sohlbank oberhalb der Seitenkapelle

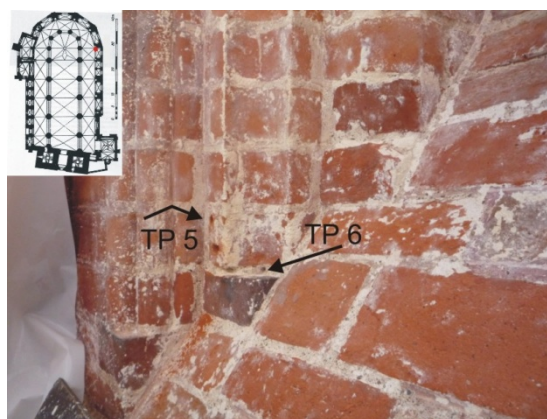


Abb. 20: Position der Tiefenprofile TP 5 und 6, Südwand des Kirchenschiffes, 2. Seitenkapelle östlich des Eingangs, linke Fensterlaibung

	Vorhaben: <b>St. Marien / Stendal</b>	Signum: Hilb
		Blattnr.: 21
		16.09.2011

Gurtbögen: TP 7

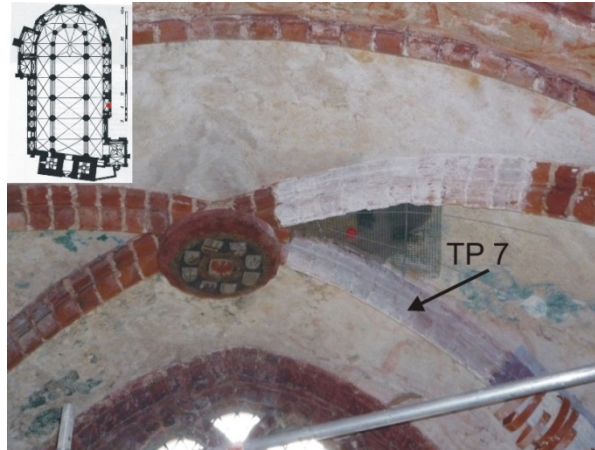



Abb. 21: Position des Tiefenprofils TP 7, 2. Kapelle westlich des Eingangs

	Vorhaben:	Signum: Hilb
	St. Marien / Stendal	Blattnr.: 22
		16.09.2011

## 6 Analysetechnik

### 6.1 Quantitative Salzanalyse

Aus den Proben werden für die quantitative Salzanalyse durch ein standardisiertes Elutionsverfahren wässrige Auszüge im Labor des IDK erstellt. Es erfolgt eine Bestimmung des Anteils der löslichen Bestandteile vom Probematerial. Von den Extrakten wird mittels ionenselektiver Methode von Natrium ( $\text{Na}^+$ ) und mittels Photometrie von den Kationen ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) und den Anionen ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) die jeweiligen Konzentrationen bestimmt. Die quantitative Ionenbestimmung erfolgte mittels HACH DR/2000 Direct Reading Spectrometer; Natrium HACH Sension 2.

Die Analysenergebnisse der Salzuntersuchungen werden in M.-% angegeben und bewertet. Die Darstellung im Diagramm erfolgt in molaren Equivalentkonzentrationen, die sich aus der Massenkonzentration unter Berücksichtigung der Atom- bzw. Molekülmassen und der Ladung errechnen. Durch diese Normierung aller Ionen auf Masse und Ladung lassen sich die Konzentrationen direkt miteinander vergleichen. Bei Schadsalzuntersuchungen ist in der Regel ein kleiner Kationenüberschuss zu verzeichnen, der u.a. damit erklärt wird, dass etwaige  $\text{OH}^-$  und  $\text{CO}_3^{2-}$ -Ionen in der Analyse nicht erfasst werden können (Steiger 1998).

### 6.2 Feuchtebestimmung mit der Darrmethode

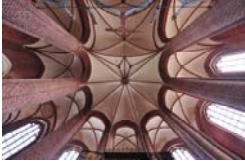
Die **Feuchtebestimmung** erfolgte mittels Darr - Methode an entnommenem Bohrmehl.

Gegenüber der Entnahme von Bohrkernen ist die Entnahme von Bohrmehl weit weniger aufwendig und hat den Vorteil, dass die Pulverisierung von Stückproben zur Salzbestimmung entfällt. Nach Messungen verschiedener Autoren werden bei der thermogravimetrischen Feuchtebestimmung an Bohrkernen und an Bohrmehl annähernd die gleichen Werte erzielt. Voraussetzung ist, dass bei der Bohrmehlentnahme darauf geachtet wird, dass der Bohrer nicht so heiß wird, dass Wasser beim Bohren verdampft wird. Auch die hygroskopische Feuchteaufnahme wird an Bohrmehlproben bestimmt, mit dem Vorteil, dass die Einstellung der Gleichgewichtsfeuchte sehr viel schneller erfolgt.

Die Darrfeuchten bzw. Entnahmefeuchten der für die Salzanalytik vorgesehenen Bohrmehlproben wird durch Trocknung bei 60 °C bis zur Massenkonstanz bestimmt.


### 6.3 Feuchtebestimmung mit der Mikrowellenmesstechnik

Zur Bestimmung der Mikrowellenfeuchte kamen vor Ort die Oberflächensensoren (Oberflächen- und Tiefensensor) (Moist) der Firma *hf sensor GmbH Leipzig* zum Einsatz. Die Messungen sind zerstörungsfrei. Als Kalibrierungskurve wurde der

	Vorhaben:	Signum: Hilb
	St. Marien / Stendal	Blattnr.: 23
		16.09.2011

Parameter „Altziegel“ eingestellt. Auf dieser Grundlage wurden die Feuchtegehalte in Masseprozent ermittelt. Dabei handelt es sich lediglich um orientierende Messungen, die einen relativen Vergleich der Messwerte einer Messachse erlauben.

Mikrowellen-Messverfahren basieren wie alle dielektrischen Messverfahren auf den herausragenden dielektrischen Eigenschaften des Wassers. Der dielektrische Effekt ist bei Wasser so stark ausgeprägt, dass die Dielektrizitätskonstante (DK) von Wasser etwa 80 beträgt. Die relative DK der meisten Feststoffe (Baustoffe) ist wesentlich kleiner. Sie liegt im Bereich von 2-10 und vorzugsweise 3 und 6. Gemessen wird daher der Unterschied zwischen der DK von Wasser und der DK der Baustoffe. Wegen des großen Unterschiedes zwischen diesen beiden Werten lassen sich bereits kleine Wassermengen sehr gut detektieren. Die Feuchteuntersuchung mit Mikrowelle beruht also auf der Messung dielektrischer Verluste von Mikrowellen durch Wassermoleküle.

	Vorhaben:	Signum: Hilb
	St. Marien / Stendal	Blattnr.: 24
		16.09.2011

## 7 Kompressenentsalzung Messwertdokumentation / Interpretation

### 7.1 Kompressenanalytik / Dokumentation

In der nachfolgenden Tabelle wird die Positionierung und Untergrundvorbehandlung (Kaschierung ja / nein) der in den nachfolgenden Messwertdokumentationen bezüglich ihrer Salzgehalte dokumentierten Kompressenproben beschrieben.

Zyklus	Probennummer - 7 Tage Kompressenaufgabe	Probennummer - 9 Tage Kompressenaufgabe	Lokalisierung	Kaschierung	Bemerkung
1.	K1	K11	Sohlbank, oben links	ja	
1.	K2	K12	Sohlbank, oben rechts	ja	
1.	K3	K10	Sohlbank, unten links	nein	
1.	K4	K9	Sohlbank, unten rechts	nein	
1.	K5	K13	linkes Fenstergewände	nein	sehr gelb
1.	K6	K14	rechtes Fenstergewände	ja	
2.	K15	K23	Sohlbank, oben links	ja	
2.	K16	K24	Sohlbank, oben rechts	ja	
2.	K17	K22	Sohlbank, unten links	nein	
2.	K18	K21	Sohlbank, unten rechts	nein	
2.	K19	K25	linkes Fenstergewände	nein	
2.	K20	K26	rechtes Fenstergewände	ja	

Tab. 1: Gegenüberstellung der Kompressen der gleichen Probeflächen der Musterfläche Fenster und Sohlbank oberhalb der 2. Kapelle östlich der Eingangstür – 7 Tage und 9 Tage Auflagerungszeit





Vorhaben:

St. Marien / Stendal

Signum:  
Hilb

Blattnr.: 25

16.09.2011

### Daten Sohlbank oben links – mit Kaschierung

Probenbezeichnung		Quantitative Analyse von wasserlöslichen Schadsalzen (in Anlehnung an DIN 51100 u.g. WTA Merkblatt Mbl 2-2-91 [oben Masse% - unten Moläquivalente])								
Lokalisierung	Zyklus	Anionen			Σ wasserlösliche Bestandteile	Kationen				
		Kompressenauflagedauer	Sulfate	Chloride		Nitrate	Calcium	Magnesium	Natrium	Kalium
Sohlbank, oben links	K1	1. Zyklus 7 Tage				0,28				
	K11	1. Zyklus 9 Tage				8,15				
	K15	2. Zyklus 7 Tage				1,73				
	K23	2. Zyklus								
		9 Tage					9,79			

### Daten Sohlbank oben rechts – mit Kaschierung

Probenbezeichnung		Quantitative Analyse von wasserlöslichen Schadsalzen (in Anlehnung an DIN 51100 u.g. WTA Merkblatt Mbl 2-2-91 [oben Masse% - unten Moläquivalente])								
Lokalisierung	Zyklus	Anionen			Σ wasserlösliche Bestandteile	Kationen				
		Kompressenauflagedauer	Sulfate	Chloride		Nitrate	Calcium	Magnesium	Natrium	Kalium
Sohlbank, oben rechts	K2	1. Zyklus 7 Tage				0,57				
	K12	1. Zyklus 9 Tage				2,94				
	K16	2. Zyklus								
		7 Tage					2,73			
	K24	2. Zyklus 9 Tage	1,537	0,037	0,209	3,91	0,095	0,183	0,359	0,468

### Daten Sohlbank unten links – ohne Kaschierung

Probenbezeichnung		Quantitative Analyse von wasserlöslichen Schadsalzen (in Anlehnung an DIN 51100 u.g. WTA Merkblatt Mbl 2-2-91 [oben Masse% - unten Moläquivalente])								
Lokalisierung	Zyklus	Anionen			Σ wasserlösliche Bestandteile	Kationen				
		Kompressenauflagedauer	Sulfate	Chloride		Nitrate	Calcium	Magnesium	Natrium	Kalium
Sohlbank, unten links	K3	1. Zyklus	1,371	0,039	0,282	3,66	0,055	1,164	0,639	0,644
		7 Tage	285	11	45		27	958	278	165
	K10	1. Zyklus				3,84				
		9 Tage								
	K17	2. Zyklus				3,01				
7 Tage										
K22	2. Zyklus 9 Tage	0,420	0,080	0,564	5,04	0,010	0,042	0,685	2,942	



Vorhaben:  
St. Marien / Stendal

Signum:  
Hilb

Blattnr.: 26  
16.09.2011

### Daten Sohlbank unten rechts – ohne Kaschierung

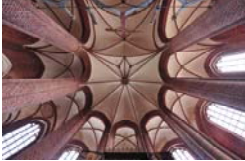
Probenbezeichnung		Quantitative Analyse von wasserlöslichen Schadsalzen (in Anlehnung an DIN 51100 u.g. WTA Merkblatt Mbl 2-2-91 [oben Masse% - unten Moläquivalente])								
Lokalisierung	Zyklus	Anionen			Σ wasserlösliche Bestandteile	Kationen				
		Sulfate	Chloride	Nitrate		Calcium	Magnesium	Natrium	Kalium	
Sohlbank, unten rechts	K4	1. Zyklus 7 Tage				1,54				
	K9	1. Zyklus 9 Tage	0,878	0,076	0,551	4,34	0,035	0,059	0,770	0,784
		2. Zyklus 7 Tage	183	21	89		17	49	335	201
	K18	2. Zyklus 7 Tage	0,551	0,122	0,336	2,37	0,028	0,028	0,576	0,334
		2. Zyklus 9 Tage	115	34	54		14	23	251	85
K21	2. Zyklus 9 Tage				2,10					

### Daten Fenstergewände links – ohne Kaschierung

Probenbezeichnung		Quantitative Analyse von wasserlöslichen Schadsalzen (in Anlehnung an DIN 51100 u.g. WTA Merkblatt Mbl 2-2-91 [oben Masse% - unten Moläquivalente])								
Lokalisierung	Zyklus	Anionen			Σ wasserlösliche Bestandteile	Kationen				
		Sulfate	Chloride	Nitrate		Calcium	Magnesium	Natrium	Kalium	
linkes Fenstergewände	K5	1. Zyklus 7 Tage				0,21				
	K13	1. Zyklus 9 Tage				10,84				
		2. Zyklus 7 Tage	2,286	0,397	2,665		0,126	0,480	1,607	0,697
	K19	2. Zyklus 7 Tage	476	112	430	11,78	63	395	699	178
		2. Zyklus 9 Tage					9,40			

### Daten Fenstergewände rechts – mit Kaschierung

Probenbezeichnung		Quantitative Analyse von wasserlöslichen Schadsalzen (in Anlehnung an DIN 51100 u.g. WTA Merkblatt Mbl 2-2-91 [oben Masse% - unten Moläquivalente])								
Lokalisierung	Zyklus	Anionen			Σ wasserlösliche Bestandteile	Kationen				
		Sulfate	Chloride	Nitrate		Calcium	Magnesium	Natrium	Kalium	
rechtes Fenstergewände	K6	1. Zyklus 7 Tage				0,21				
	K14	1. Zyklus 9 Tage	0,331	0,022	0,449	8,65	0,010	0,051	1,286	1,856
		2. Zyklus 7 Tage	69	6	72		5	42	559	424
	K20	2. Zyklus 7 Tage	2,969	0,067	1,248	8,72	0,021	0,191	1,460	1,432
		2. Zyklus 9 Tage	618	19	201		10	157	635	366
K26	2. Zyklus 9 Tage				8,01					

	Vorhaben:	Signum: Hilb
	St. Marien / Stendal	Blattnr.: 27
		16.09.2011

## 7.2 Kompressenanalytik / Interpretation

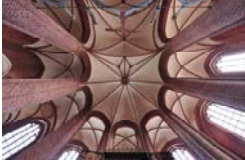
Die Einstufung der oben dargelegten Messwerte erfolgte entsprechend dem Schädigungspotential gemäß WTA-Merkblatt 4-5-99 „Beurteilung von Mauerwerk – Mauerwerksdiagnostik.“ und ist mittels Farbgebung in den Tabellen charakterisiert („gering“, „mittel“, „hoch“).

Tabelle 8 aus Merkblatt 4-5-99 „Beurteilung von Mauerwerk – Mauerwerksdiagnostik“

Chloride <sup>1</sup>	< 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5
Nitrate	< 0,1	0,1 – 0,3	> 0,3
Sulfate <sup>2</sup>	< 0,5	0,5 – 1,5	> 1,5
Bewertung <sup>3</sup>	Belastung gering – Maßnahmen im Ausnahmefall erforderlich	Belastung mittel – Weitergehende Untersuchungen zum Gesamtsalzgehalt (Salzverbindung, Kationenbestimmung) erforderlich; Maßnahmen im Einzelfall erforderlich	Belastung hoch - Weitergehende Untersuchungen zum Gesamtsalzgehalt (Salzverbindung, Kationenbestimmung) erforderlich; Maßnahmen erforderlich

Für das vorliegende Datenset können folgende verallgemeinernde Aussagen getroffen werden:

1. Beim ersten Kompressenzyklus gibt es vom 7. zum 9. Tag der Auflage einen signifikanten Sprung in der aufgenommenen Salzmenge .  
▶ es scheint bei vorliegendem Salzcocktail eine „Aktivierungszeit / Anlösungszeit“ notwendig zu sein.
2. Die unter 1. beschriebene Steigerung liegt im Falle des zweiten Zyklus nicht mehr signifikant vor.  
▶ 7 Tage Standzeit erscheinen für den zweiten Zyklus ausreichend.
3. Die ermittelten Salzmengen schwanken deutlich, bewegen sich aber überwiegend in mittleren bis hohen Größenordnungen.  
▶ der salzmindernde Prozess ist in Größenordnungen aktiv.
4. Die nach dem zweiten Zyklus abgenommenen Kompressen zeigen (noch) keine signifikante Abnahme der im Kompressenmaterial enthaltenen Salzgehalten.  
▶ der „Salzminderungsprozess“ scheint nach dem 2. Zyklus noch nicht abgeschlossen zu sein.
5. Es erscheint, dass die mit Kaschierung aufgetragenen Kompressen tendenziell leicht geringere Salzgehalte aufweisen – diese Aussage bewegt sich aber am Rande der Signifikanz und wird als „nicht praxisrelevant“ eingestuft.  
▶ eine signifikant negativer Einfluss der Kaschierung ist nicht feststellbar.

	Vorhaben:	Signum: Hilb
	St. Marien / Stendal	Blattnr.: 28
		16.09.2011

### 7.3 Substrat / Messwertdokumentation

Das vorliegende Datenset dokumentiert ausgewählte Tiefenprofile, an denen durch die Art der Beprobung eine Bilanzierung der Salzgehalte möglich ist.

Die Probeentnahmepunkte sind in Kapitel 5 beschrieben, die Analysendokumentation findet sich auf den nachfolgenden Seiten.

Für die Interpretation ist zu der Art der Kompressenbehandlung folgende Information hinzu zufügen:

Probennummer	Ort	Kaschierung ja / nein
TP 1 + 4	Sohlbank unten	nein
TP 2 + 3	Sohlbank oben	ja
TP 5 + 6	Fensterlaibung links	nein





Vorhaben:

Kirche St. Marien / Stendal

Signum:  
Hilb

Blattnr.: 30

16.09.2011

Probenbezeichnung			Feuchteanalysen		Quantitative Analyse von wasserlöslichen Schadsalzen (in Anlehnung an DIN 51100 u.g. WTA Merkblatt Mbl 2-2-91 [ Masse% ])								
Lokalisierung	Tiefe (cm)		Feuchtigkeitsgehalt (Darr-Meth.) [Masse%]	Differenz (Feuchtegeh.)	Anionen			Kationen				Σ wasserlösliche Bestandteile	Differenz (Σ wasserl. Bestandteile)
					Sulfate	Chloride	Nitrate	Calcium	Magnesium	Natrium	Kalium		
TP 3	0-1	vorher	2,10	1,780	0,043	0,143	0,318	0,010	0,005	0,632	0,187	3,71	-0,840
		nachher	3,88									2,87	
	1-2	vorher	2,99	0,990	0,169	0,175	0,595	0,010	0,138	0,433	0,146	1,96	0,100
		nachher	3,98									2,06	
	2-5	vorher	3,36	-0,960								0,87	0,180
		nachher	2,40									1,05	

Probenbezeichnung			Feuchteanalysen		Quantitative Analyse von wasserlöslichen Schadsalzen (in Anlehnung an DIN 51100 u.g. WTA Merkblatt Mbl 2-2-91 [ Masse% ])								
Lokalisierung	Tiefe (cm)		Feuchtigkeitsgehalt (Darr-Meth.) [Masse%]	Differenz (Feuchtegeh.)	Anionen			Kationen				Σ wasserlösliche Bestandteile	Differenz (Σ wasserl. Bestandteile)
					Sulfate	Chloride	Nitrate	Calcium	Magnesium	Natrium	Kalium		
TP 4	0-1	vorher	0,29	0,460	0,961	0,058	1,641	0,264	0,075	0,473	0,584	4,26	-3,060
		nachher	0,75									1,20	
	1-2	vorher	0,27	0,410								0,83	0,040
		nachher	0,68									0,87	
	2-5	vorher	0,13	1,280								0,23	0,440
		nachher	1,41									0,67	





Vorhaben:

Kirche St. Marien / Stendal

Signum:  
Hilb

Blattnr.: 32

16.09.2011

Probenbezeichnung		Feuchteanalysen		Quantitative Analyse von wasserlöslichen Schadsalzen (in Anlehnung an DIN 51100 u.g. WTA Merkblatt Mbl 2-2-91 [ Masse% ])									
Lokalisierung	Tiefe (cm)		Feuchtigkeitsgehalt (Darr-Meth.) [Masse%]	Differenz (Feuchtegeh.)	Anionen			Kationen				Σ wasserlösliche Bestandteile	Differenz (Σ wasserl. Bestandteile)
					Sulfate	Chloride	Nitrate	Calcium	Magnesium	Natrium	Kalium		
TP 7	0-1	vorher										0,26	
		nachher	3,74	3,740	1,961	0,126	0,870	0,212	0,163	0,915	0,507	4,69	4,430
	1-2	vorher										0,12	
		nachher	3,24	3,240								4,21	4,090
	2-5	vorher										0,12	
		nachher	3,34	3,340								3,35	3,230





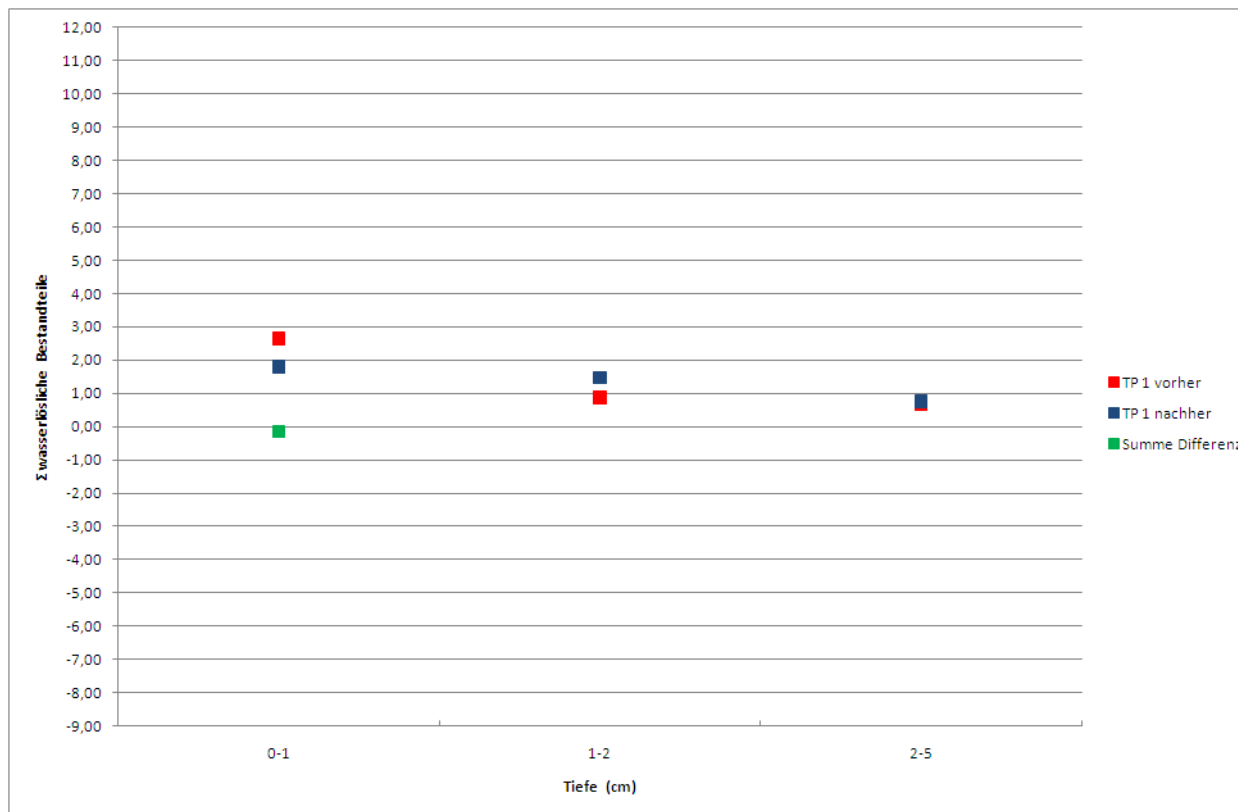
Vorhaben:

## Kirche St. Marien / Stendal

Signum:  
Hilb

Blattnr.: 33

16.09.2011





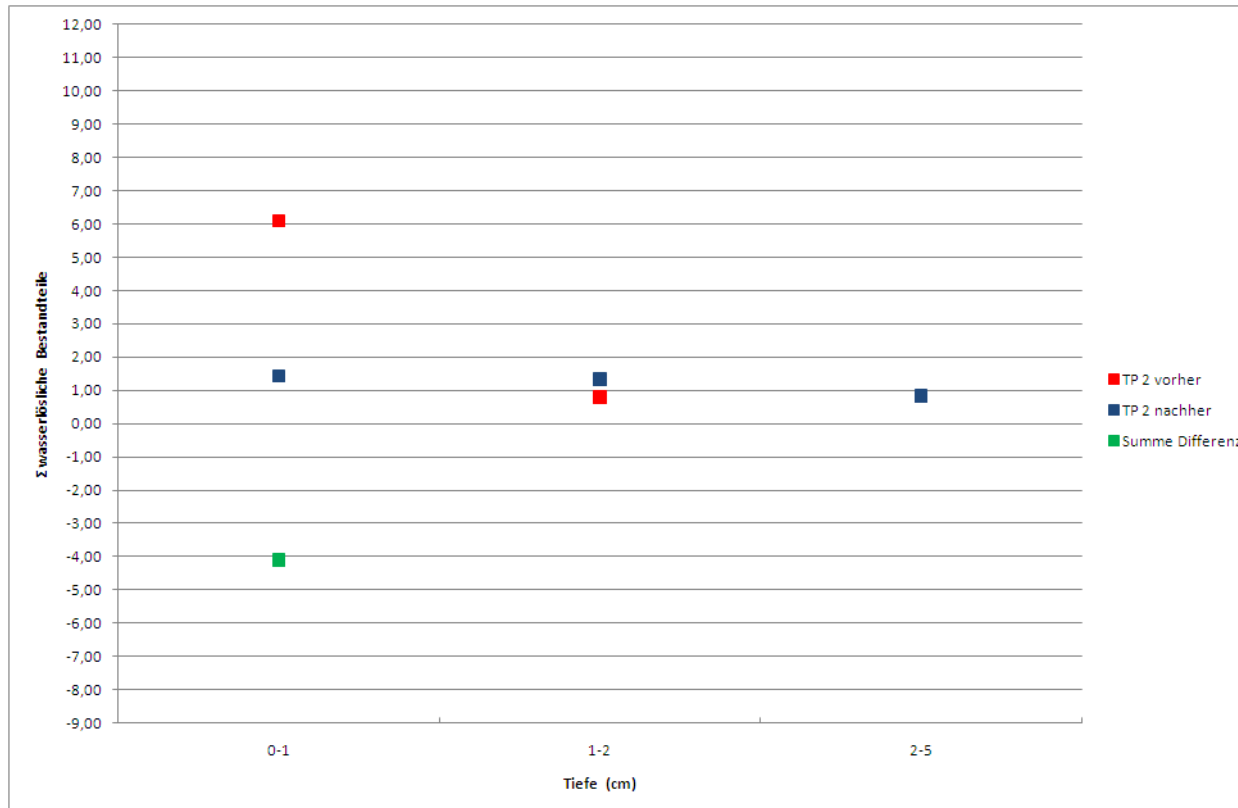
Vorhaben:

## Kirche St. Marien / Stendal

Signum:  
Hilb

Blattnr.: 34

16.09.2011





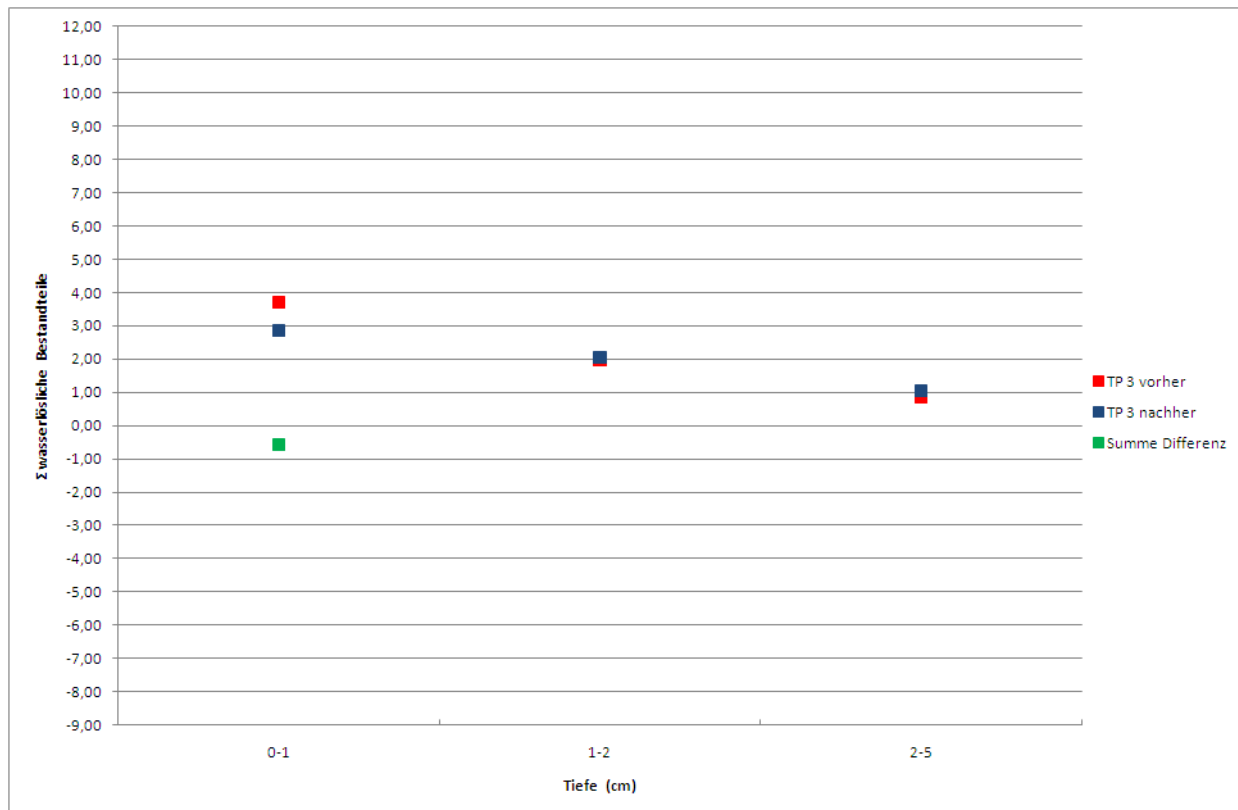
Vorhaben:

## Kirche St. Marien / Stendal

Signum:  
Hilb

Blattnr.: 35

16.09.2011





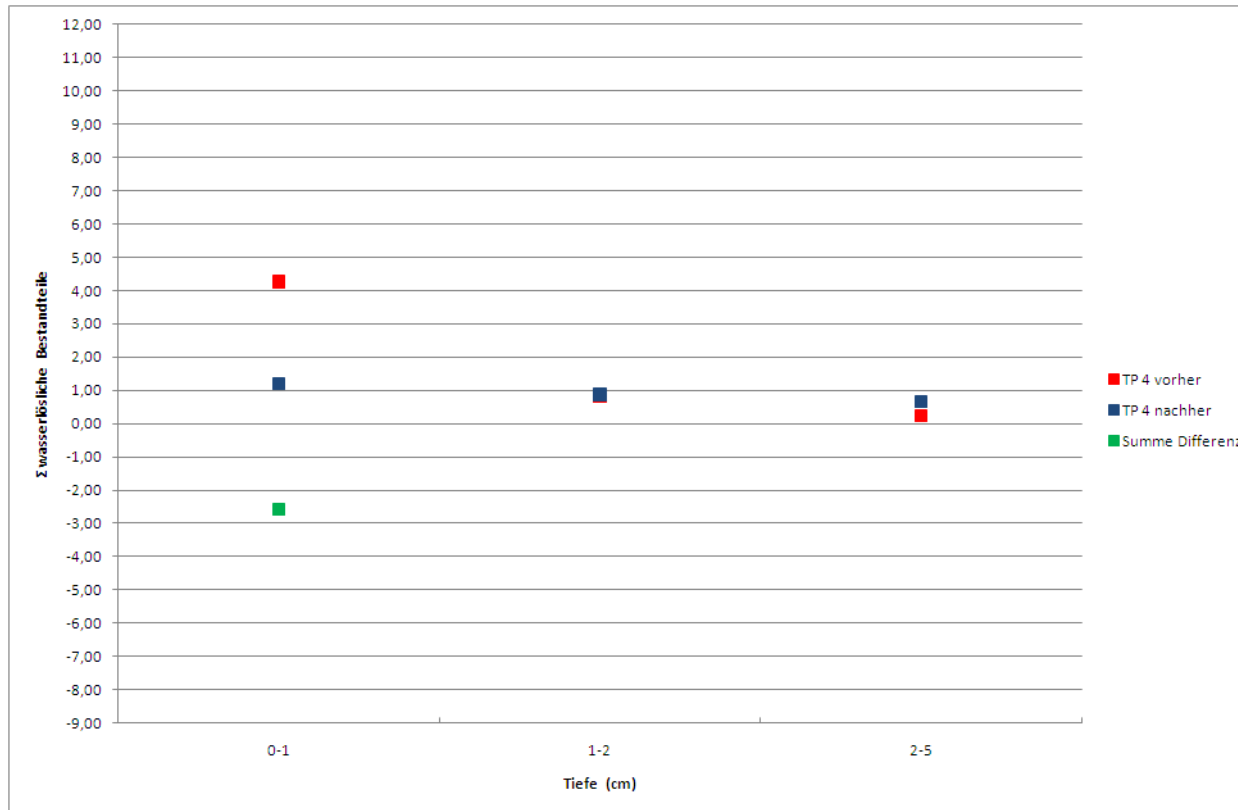
Vorhaben:

## Kirche St. Marien / Stendal

Signum:  
Hilb

Blattnr.: 36

16.09.2011





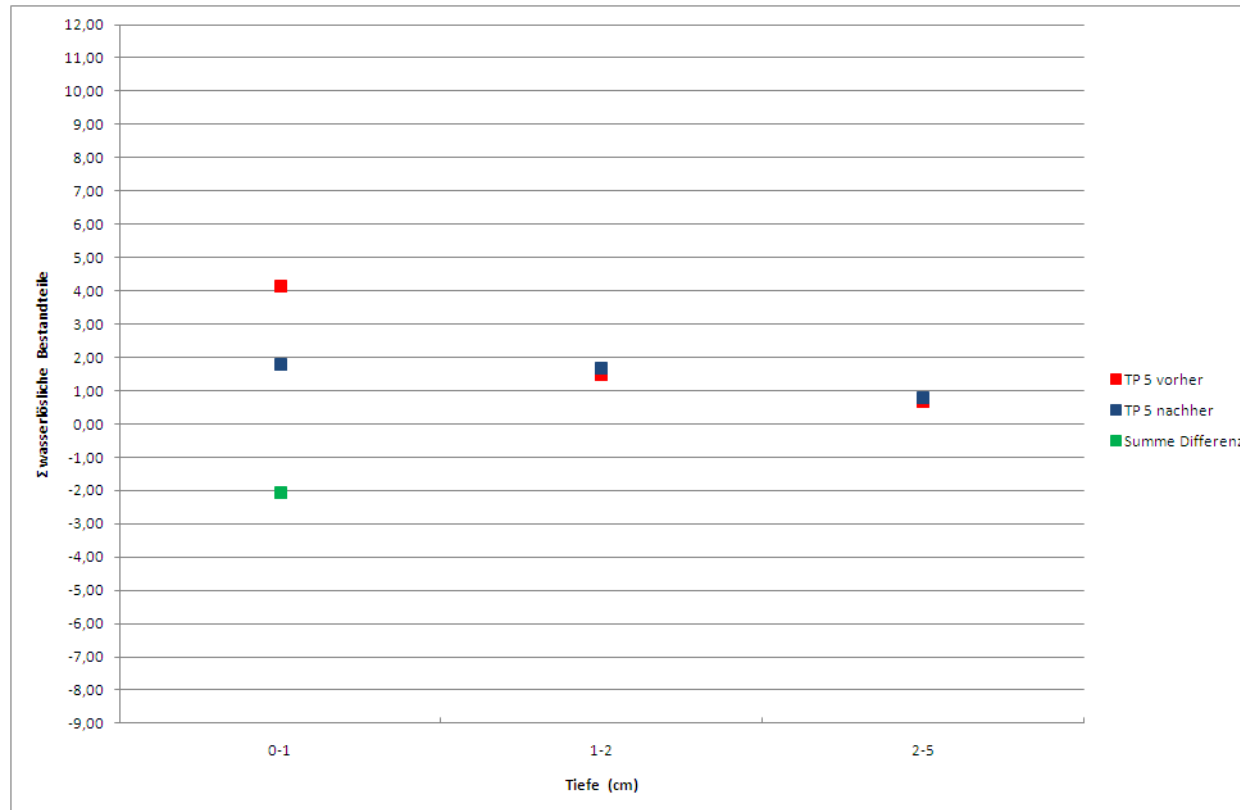
Vorhaben:

## Kirche St. Marien / Stendal

Signum:  
Hilb

Blattnr.: 37

16.09.2011





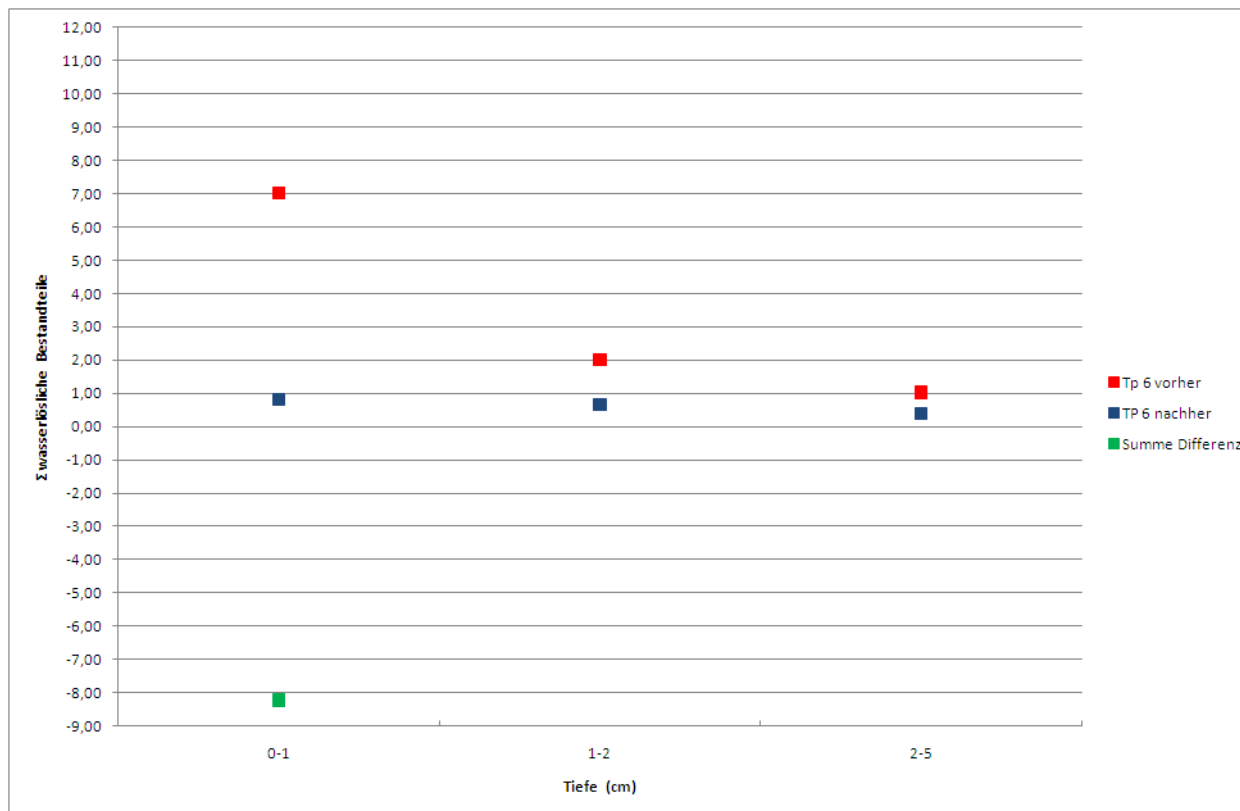
Vorhaben:

# Kirche St. Marien / Stendal

Signum:  
Hilb

Blattnr.: 38

16.09.2011





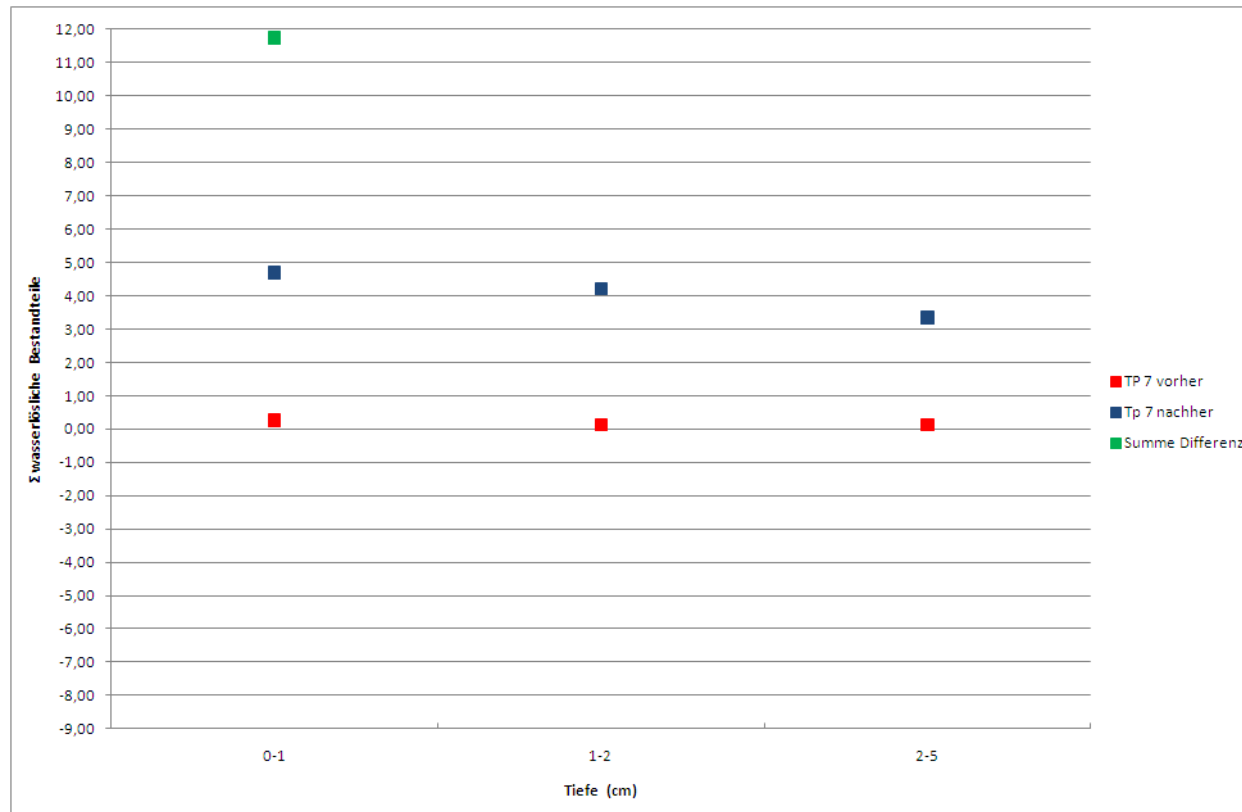
Vorhaben:

## Kirche St. Marien / Stendal

Signum:  
Hilb

Blattnr.: 39

16.09.2011





Vorhaben:

Kirche St. Marien / Stendal

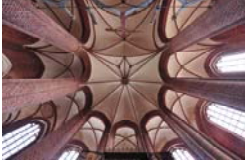
Signum:  
Hilb

Blattnr.: 40

16.09.2011


Probenbezeichnung			Quantitative Analyse von wasserlöslichen Schadsalzen (in Anlehnung an DIN 51100 u.g. WTA Merkblatt Mbl 2-2-91 [oben Masse% - unten Moläquivalente])								Differenz (oben Masse% - unten Moläquivalente)
Lokalisierung	Tiefe (cm)		Anionen			Kationen				Gesamt	
			Sulfate	Chloride	Nitrate	Calcium	Magnesium	Natrium	Kalium		
TP 1	0-1	Vorher	0,479	0,065	0,852	0,062	0,083	0,442	0,375	2,358	-1,637
			100	18	137	31	68	192	96	643	
		Nachher	0,062	0,025	0,136	0,062	0,062	0,236	0,138	0,721	-381
			13	7	22	31	51	103	35	262	
TP 2	0-1	Vorher	2,293	0,041	0,740	0,022	0,175	0,965	1,103	5,339	
			477	12	119	11	144	420	282	1465	
		Nachher								0,000	
										0	
	2,5	Vorher	0,135	0,047	0,098	0,010	0,058	0,124	0,105	0,577	
			28	13	16	5	48	54	27	191	
		Nachher								0,000	
										0	
TP 3	0-1	Vorher								0,000	
										0	
		Nachher	0,043	0,143	0,318	0,010	0,005	0,632	0,187	1,338	
			9	40	51	5	4	275	48	432	
TP 3	1-2	Vorher	0,169	0,175	0,595	0,010	0,138	0,433	0,146	1,666	
			35	49	96	5	114	188	37	525	
		Nachher								0,000	
										0	
TP 4	0-1	Vorher	0,961	0,058	1,641	0,264	0,075	0,473	0,584	4,056	
			200	16	265	132	62	206	149	1030	
		Nachher								0,000	
										0	
TP 5	0-1	Vorher	0,010	0,010	0,010	0,023	0,080	0,019	0,009	0,161	0,435
			2	3	2	11	66	8	2	94	
		Nachher	0,177	0,033	0,107	0,022	0,066	0,045	0,146	0,596	91
			37	9	17	11	54	20	37	186	
TP 5	1-2	Vorher	0,010	0,010	0,010	0,029	0,036	0,005	0,005	0,105	
			2	3	2	14	30	2	1	54	
		Nachher								0,000	
										0	
TP 7	0-1	Vorher								0,000	
										0	
		Nachher	1,961	0,126	0,870	0,212	0,163	0,507	0,915	4,754	
			408	36	140	106	134	221	234	1279	



	Vorhaben:	Signum: Hilb
	Kirche St. Marien / Stendal	Blattnr.: 41
		16.09.2011

Für das vorliegende Datenset können folgende verallgemeinernde Aussagen getroffen werden:

1. Bis auf TP 7 zeigen alle beprobten Tiefenprofile eine negative Bilanz, d.h. über die analysierte Tiefe hinweg nimmt der Salzgehalt ab.  
▶ die Salzminderungsmaßnahme kann als erfolgreich betitelt werden.
2. Das höchste Maß der Salzminderung erfahren die Oberflächen im vordersten cm – nach hinten nimmt der Effekt der Salzminderung deutlich ab.  
▶ die schon an vielen Objekten getätigte Erfahrung, dass Entsalzungskompressen primär in der Substratoberfläche wirken, bestätigt sich auch in diesem Projekt.
3. Im Falle der einen bei der Beprobung erfaßten Fuge (TP 6) wird eine signifikante Salzreduzierung auch in dem Tiefenabschnitt bis 10 cm erzielt.  
▶ im Falle der vorliegenden Fuge scheint sich die Saugspannung der Kompressen auch bis in größere Tiefen auszuwirken.
4. Es findet keine überproportionale, d.h. über das Normalmaß hinausgehende Verlagerung von Salzen in die Tiefe statt.  
▶ die Menge nachwandernder Salze hat sich durch den Kompressenauftrag nicht wesentlich erhöht.
5. Der bei den analysierten Kompressen detektierte Schwerpunkt aus dem System entfernter Anionen ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ ) wird in der vorliegenden Bilanzierung bestätigt.  
▶ die ermittelten Datensets sind schlüssig.
6. Die parallel ermittelten Feuchtwerte zeigen durchweg eine leichte Erhöhung des Feuchtegehaltes im Untergrund. Sowohl absolut (absoluter Feuchtegehalt) wie auch relativ (Feuchtezunahme in Relation zu der Menge eingetragenen Wassers im Rahmen der Maßnahme) ist diese Zunahme allerdings vernachlässigbar.  
▶ der Feuchtegehalt des Untergrundes wird durch die Maßnahme nicht negativ beeinflusst.

	Vorhaben:	Signum: Hilb
	Kirche St. Marien / Stendal	Blattnr.: 42
		16.09.2011

## 8 Nachreinigung / Entsalzung – *Gregomatic*<sup>®</sup>

### 8.1 Einführung

Bei den bislang vorgestellten Arbeiten wurde die im Falle des Arbeitens ohne Kaschierung auf jeden Fall notwendige Nachreinigung wie erwähnt mit Hilfe einer schonend ausgeführten Partikelstrahlreinigung realisiert. Diese bringt grundsätzlich zwei wesentliche Nachteile mit sich:


1. bei unsachgemäßer Ausführung die Gefahr der Schädigung des Untergrundes.
2. in Innenräumen eine nicht unerhebliche Staubentwicklung

Vor diesem Hintergrund wurde nach erweiterten Möglichkeiten gesucht und diese in Form des durch die Fa. DEFFNER & JOHANN dankenswerter Weise im Projektrahmen zur Verfügung gestellten Gerätes *Gregomatic*<sup>®</sup>, dass persönlich durch Herrn Johann bedient wurde, gefunden.

Das Funktionsprinzip des *Gregomatic*<sup>®</sup> Reinigungsgerätes basiert aus der Kombination einer gezielt „wirbelnden Benetzung / Spülung“ des Untergrundes und einer gleichzeitig erfolgenden Absaugung des aufgebracht Fluids (H<sub>2</sub>O mit/ohne Zusatz).

Die Anwendung des in der nachfolgenden Bilderfolge dargestellten Gerätes wurde für die Beantwortung folgender Fragestellungen durchgeführt:

1. Ist eine schonende Reinigung der Kaolinrückstände durch diese Gerätetechnologie grundsätzlich möglich?
2. Tritt eine signifikante Oberflächenentsalzung durch die Oberflächenspülung mit Wasser ein?
3. Bleibt nach der Bearbeitung der Feuchtegehalt des Substrates in vertretbaren Größenordnungen?

	Vorhaben:  Kirche St. Marien / Stendal	Signum: Hilb
		Blattnr.: 43
		16.09.2011

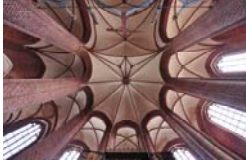
## 8.2 Bilddokumentation *Gregomatic*<sup>®</sup>



Abb. 22: Geräteüberblick - *Gregomatic*<sup>®</sup>



Abb. 23: Düsenaufbau (4 cm Düse) – linke Abb.: Grundsätzlicher Aufbau mit Dichtlippe, Fluidzufuhr und Absaugung – rechte Abb. Funktionsweise, demonstriert auf einer Glasscheibe.

	Vorhaben:	Signum: Hilb
	Kirche St. Marien / Stendal	Blattnr.: 44
		16.09.2011



**Abb. 24:** Dokumentation des erzielbaren Reinigungsgrades - linke Abb.: Beispiel eines partiell gereinigten Gurtbogens – rechte Abb: Einsatz der 13 cm Breitdüse mit Dokumentation des Reinigungserfolges

### 8.3 Muster Entsalzungsversuch

Zur Klärung der Frage, inwieweit die Anwendung des für Reinigungsaufgaben konstruierten „Gregomaten“ auf Grund seiner „Untergrundfunktion“ (Saugfunktion) auch für Salzminderungsaufgaben herangezogen werden kann, wurden dementsprechende Musterflächen ausgewählt bzw. vorbereitet. Vorbereitet heißt in diesem Fall, dass die Hälfte der Probestfläche einen Tag vor Durchführung des Salzminderungsversuches mit entionisiertem Wasser vorgehäst wurde, um eine zusätzliche Mobilisierung der Salzionen anzuregen. Somit werden in den nachfolgenden Tabellen vorgehästete Flächen (Kürzel: vg) vor der Behandlung trockenen Flächen gegenüber gestellt (Kürzel: t)



**Abb. 25:** Lage der entnommenen Tiefenprofile



Vorhaben:  
Kirche St. Marien / Stendal

Signum:  
Hilb

Blattnr.: 45  
16.09.2011

### 8.3.1 Ergebnisse „vorgenässt“

Probenbezeichnung			Feuchteanalysen		Quantitative Analyse von wasserlöslichen Schadsalzen (in Anlehnung an DIN 51100 u.g. WTA Merkblatt Mbl 2-2-91 [ Masse% ])								
Lokalisierung	Tiefe (cm)		Feuchtigkeitsgehalt (Darr-Meth.) [Masse%]	Differenz (Feuchtegeh.)	Anionen			Kationen				Σ wasserlösliche Bestandteile	Differenz (Σ wasserl. Bestandteile)
					Sulfate	Chloride	Nitrate	Calcium	Magnesium	Natrium	Kalium		
ST_Gr_vg_TP1	0-1	vorher	5,00	0,820	2,562	0,060	0,263	0,939	0,228	0,268	0,114	7,35	-2,680
		nachher	5,82										
	1-2	vorher	4,38	0,190	2,116	0,047	0,176	0,776	0,235	0,112	0,071	4,67	
		nachher	4,57										
	2-5	vorher	3,04	-0,220								3,71	
		nachher	2,82										
												1,79	-0,150
												1,64	-2,290

#### Ergebnisse TP 1 vg

Probenbezeichnung			Feuchteanalysen		Quantitative Analyse von wasserlöslichen Schadsalzen (in Anlehnung an DIN 51100 u.g. WTA Merkblatt Mbl 2-2-91 [ Masse% ])								
Lokalisierung	Tiefe (cm)		Feuchtigkeitsgehalt (Darr-Meth.) [Masse%]	Differenz (Feuchtegeh.)	Anionen			Kationen				Σ wasserlösliche Bestandteile	Differenz (Σ wasserl. Bestandteile)
					Sulfate	Chloride	Nitrate	Calcium	Magnesium	Natrium	Kalium		
ST_Gr_vg_TP2	0-1	vorher	3,35	1,960	2,496	0,050	0,242	0,866	0,341	0,161	0,063	5,69	-1,300
		nachher	5,31										
	1-2	vorher	3,55	1,160	1,674	0,042	0,258	0,628	0,251	0,107	0,073	4,39	
		nachher	4,71										
	2-5	vorher	3,72	0,520								2,46	
		nachher	4,24										
												2,27	-0,190
													-1,670

#### Ergebnisse TP 2 vg

Probenbezeichnung			Feuchteanalysen		Quantitative Analyse von wasserlöslichen Schadsalzen (in Anlehnung an DIN 51100 u.g. WTA Merkblatt Mbl 2-2-91 [ Masse% ])								
Lokalisierung	Tiefe (cm)		Feuchtigkeitsgehalt (Darr-Meth.) [Masse%]	Differenz (Feuchtegeh.)	Anionen			Kationen				Σ wasserlösliche Bestandteile	Differenz (Σ wasserl. Bestandteile)
					Sulfate	Chloride	Nitrate	Calcium	Magnesium	Natrium	Kalium		
ST_Gr_vg_TP3	0-1	vorher	3,65	1,110	3,185	0,073	0,266	1,593	0,223	0,133	0,064	8,08	-4,880
		nachher	4,76										
	1-2	vorher	4,28	0,070	0,590	0,344	1,096	0,262	0,328	0,647	0,492	3,20	
		nachher	4,35										
	2-5	vorher	3,95	0,070								2,67	
		nachher	4,02										
												2,15	-0,320
												1,83	-5,590

#### Ergebnisse TP 3 vg



Vorhaben:

Kirche St. Marien / Stendal

Signum:  
Hilb

Blattnr.: 46

16.09.2011

### 8.3.2 Ergebnisse „trocken“

Probenbezeichnung			Feuchteanalysen		Quantitative Analyse von wasserlöslichen Schadsalzen (in Anlehnung an DIN 51100 u.g. WTA Merkblatt Mbl 2-2-91 [ Masse% ])								
Lokalisierung	Tiefe (cm)		Feuchtigkeitsgehalt (Darr-Meth.) [Masse%]	Differenz (Feuchtegeh.)	Anionen			Kationen				Σ wasserlösliche Bestandteile	Differenz (Σ wasserl. Bestandteile)
					Sulfate	Chloride	Nitrate	Calcium	Magnesium	Natrium	Kalium		
ST_Gr_t_TP1	0-1	vorher	0,64	-0,330	1,424	0,031	0,113	0,456	0,199	0,046	0,017	2,22	-0,140
		nachher	0,31		0,777	0,026	0,103	0,466	0,052	0,950	0,021	2,08	
	1-2	vorher	0,54	-0,190								0,60	-0,080
		nachher	0,35									0,52	
	2-5	vorher	0,88	-0,180								0,86	-0,210
		nachher	0,70									0,65	

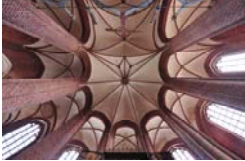
### Ergebnisse TP 1 t

Probenbezeichnung			Feuchteanalysen		Quantitative Analyse von wasserlöslichen Schadsalzen (in Anlehnung an DIN 51100 u.g. WTA Merkblatt Mbl 2-2-91 [ Masse% ])								
Lokalisierung	Tiefe (cm)		Feuchtigkeitsgehalt (Darr-Meth.) [Masse%]	Differenz (Feuchtegeh.)	Anionen			Kationen				Σ wasserlösliche Bestandteile	Differenz (Σ wasserl. Bestandteile)
					Sulfate	Chloride	Nitrate	Calcium	Magnesium	Natrium	Kalium		
ST_Gr_t_TP2	0-1	vorher	1,00	-0,170	0,628	0,047	0,208	0,307	0,118	0,080	0,045	1,95	-0,289
		nachher	0,83		0,513	0,051	0,203	0,179	0,103	0,096	0,038	1,66	
	1-2	vorher	0,94	-0,140								0,55	0,410
		nachher	0,80									0,96	
	2-5	vorher	0,84	-0,150								0,50	0,150
		nachher	0,69									0,65	

### Ergebnisse TP 2 t

Probenbezeichnung			Feuchteanalysen		Quantitative Analyse von wasserlöslichen Schadsalzen (in Anlehnung an DIN 51100 u.g. WTA Merkblatt Mbl 2-2-91 [ Masse% ])								
Lokalisierung	Tiefe (cm)		Feuchtigkeitsgehalt (Darr-Meth.) [Masse%]	Differenz (Feuchtegeh.)	Anionen			Kationen				Σ wasserlösliche Bestandteile	Differenz (Σ wasserl. Bestandteile)
					Sulfate	Chloride	Nitrate	Calcium	Magnesium	Natrium	Kalium		
ST_Gr_t_TP3	0-1	vorher	1,09	-0,300	0,635	0,066	0,280	0,202	0,173	0,116	0,058	1,89	0,240
		nachher	0,79		0,802	0,054	0,228	0,776	0,104	0,115	0,039	2,13	
	1-2	vorher	1,49	-0,400								0,70	0,360
		nachher	1,09									1,06	
	2-5	vorher	1,31	0,230								0,54	0,200
		nachher	1,54									0,74	

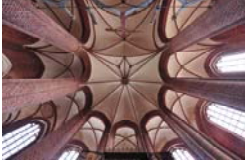
### Ergebnisse TP 3 t

	Vorhaben:	Signum: Hilb
	Kirche St. Marien / Stendal	Blattnr.: 47
		16.09.2011

### 8.3.3 Interpretation der Ergebnisse

Für das vorliegende Datenset können folgende verallgemeinernde Aussagen getroffen werden:

1. Im Falle der vorgenässten Probestfläche zeigen alle beprobten Tiefenprofile eine negative Bilanz, d.h. über die analysierte Tiefe hinweg nimmt der Salzgehalt signifikant ab. Besonders nennenswert sind folgende beiden Teilaspekte:
  - a. die Salzreduzierung wirkt nicht nur an der Oberfläche sondern kann partiell auch bis in die Beprobungstiefe von 10 cm festgestellt werden.
  - b. aus dieser Aussage leitet sich ab, dass es nicht zu einer Verschiebung der Salzfront in die Tiefe gekommen ist.
    - ▶ in Kombination mit einer vorherigen Vornässen kann für vorliegende Situation ein signifikanter Salzreduzierungseffekt durch die Anwendung des „Gregomaten“ festgestellt werden. Vor einer Verallgemeinerung dieser Aussage sollte dieser Effekt an anderen Untergrundtypen/Objekten validiert werden.
2. Das höchste Maß der Salzreduzierung erfahren die Oberflächen im vordersten cm – nach hinten nimmt der Effekt der Salzreduzierung deutlich ab.
  - ▶ der Effekt von *Gregomatic*<sup>®</sup> deckt sich in seiner Wirkungstiefe mit der Funktionsweise klassischer Entsalzungskompressen.
3. Das „Vornässen“ macht sich im Mittel durch einen Anstieg der Feuchte im Untergrund von ca. 1 M-% bemerkbar.
  - ▶ die Anregung im Untergrund enthaltener Salzionen durch ein am Vortag ausgeführtes Vornässen führt zu einem als vertretbar einzustufenden Anstieg der Feuchte im Untergrund.
4. Im Falle der, vor der *Gregomatic*<sup>®</sup> Anwendung trocken belassenen Musterfläche ist der beobachtende Effekt nicht signifikant. Es ist sowohl der Fall einer leichten Salzreduzierung wie auch der eines leichten Anstieges der Ionenkonzentration zu verzeichnen.
  - ▶ ohne eine Anregung der im Untergrund enthaltenen Salzionen durch ein am Vortag ausgeführtes Vornässen führt die Anwendung des „Gregomaten“ zu keiner signifikanten Salzreduzierung im Untergrund.
5. Nach der Behandlung einer Oberfläche mit dem „Gregomaten“ ohne „Vornässen“ ist eine zwar geringe aber doch signifikante Erniedrigung der Feuchtegehalte des Untergrundes feststellbar.
  - ▶ der Einsatz des „Gregomaten“ mit dem ausschließlichen Ziel einer Oberflächenreinigung führt trotz „wirbelnder Benetzung“ der Oberfläche mit Wasser nicht zu einem Anstieg der Feuchte im Untergrund (in dieser spezifischen Objektsituation!) – der Unterdruckeffekt des Absaugens ist somit größer als der potentiell vorliegende Kapillarsog des Untergrundes.

	Vorhaben:	Signum: Hilb
	Kirche St. Marien / Stendal	Blattnr.: 48
		16.09.2011

#### 8.4 Beantwortung der Grundfragen Anwendung „Gregomatic®“

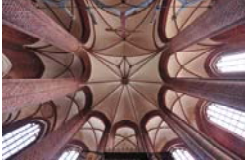
Die in der Einführung gestellten Grundfragen, die im Rahmen des Projektes an das Reinigungssystem Gregomatic gestellt wurden (Kap. 8.1) können wie folgt beantwortet werden:

1. Ist eine schonende Reinigung der Kaolinrückstände durch diese Gerätetechnologie grundsätzlich möglich?  
▶ ist möglich.
2. Tritt eine signifikante Oberflächenentsalzung durch die Oberflächenspülung mit Wasser ein?  
▶ gesicherter Erfolg nur in Kombination mit einer vorherigen Aktivierung in Form von Vornässen – dann aber deutlich und bis in größere Tiefen.
3. Bleibt nach der Bearbeitung der Feuchtegehalt des Substrates in vertretbaren Größenordnungen?  
▶ ohne Vornässen kein signifikanter Anstieg zu verzeichnen – mit Vornässen Anstieg vorhanden aber für die „Normalanwendung“ vertretbar.

Remmers Fachplanung GmbH

  
Dr. Georg Hilbert



	Vorhaben:	Signum: Hilb
	Kirche St. Marien / Stendal	Blattnr.: 49
		16.09.2011

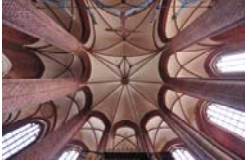
## 9 Literatur

**HILBERT, G. et al. (1992):** Salzeinlagerung in Sanierputzgefüge. - Teil 1: Bautenschutz & Bausanierung, 6/92, pp.69-71; Teil 2: Bautenschutz & Bausanierung, 7/92, pp.78-80; Müller Verlag.

**LUBELLI, B. & van HEES, R. (2010):** Desalination of masonry structures: Finetuning of poresizedistribution of poultices to substrate properties: Journal of Cultural heritage, 11/1, p. 10-18; Elsevier.

**SCHUH, H. & ETTL, H. (1992):** Entsalzung mit Kompressen in der Denkmalpflege: Bautenschutz und Bausanierung 15 (1992), pp. 86 – 89; Müller Verlag.

**Steiger, M., Neumann, H.-H., Grodten, T., Wittenburg, C., Dannecker, W. (1998):** Salze in Natursteinmauerwerk - Probennahme, Messung und Interpretation. In R. Snethlage, Ed. Denkmalpflege und Naturwissenschaft, Natursteinkonservierung II, Stuttgart, S. 61-91.

	Vorhaben:	Signum: Hilb
	Kirche St. Marien / Stendal	Blattnr.: 50
		16.09.2011

## **10 Anlagen**

**10.1 Diagnosebericht\_77 / 07 – Remmers FACHPLANUNG**

**10.2 1. Zwischenbericht\_Hal 12-2010 – IDK**

**10.3 Untersuchungen Wasseraufnahme Ziegel\_Hal 37-2010 – IDK**

**10.4 Kurzbericht Kompressenanalyse\_Hal 79-2010 - IDK**

**10.5 Nachuntersuchungen Probeflächen Kompressenauftrag\_03-2011 - IDK**

**10.6 Nachuntersuchungen Kompressenzyklus\_Hal 28-2011 - IDK**

**10.7 Untersuchungen Anwendung Gregomatic\_54-2011 - IDK**

