



Institut für Diagnostik
und Konservierung an Denkmalen
in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V.

Nr. HAL
02/2007

Burg Querfurt, Burgkapelle **Tumba von Gebhard XIV** Mikrowellenfeuchtemessungen an der Tumba und dem umgebenden Fußboden



Dr. Jeannine Meinhardt-Degen

Halle, 18.01.2007

Dieser Untersuchungsbericht wurde im Rahmen des Förderprojektes Naturwissenschaftliche Untersuchungsmethoden als Grundlage der Bestandserfassung in der Baudenkmalpflege durch das Land Sachsen-Anhalt gefördert.

Veröffentlichungen von Untersuchungsberichten, auch auszugsweise, und Hinweise auf Untersuchungsergebnisse zu Werbezwecken bedürfen in jedem Einzelfall der schriftlichen Einwilligung des Institutes für Diagnostik und Konservierung an Denkmalen in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V.

Arbeitsbereiche in den Bundesländern:

Sachsen:
Schloßplatz 1
01067 Dresden

Sachsen-Anhalt:
Richard-Wagner-Str. 9/10
06114 Halle

Tel.: 0351-48430-408/09/10/27
Fax.:0351-48430-468

Tel.: 0345-5220500/501/02/10
Fax.:0345-5220500

Vorstand:

Prof. Stephan Pfefferkorn
Boje E. Hans Schmuhl

Registergericht Dresden
VR: 2891

Bankverbindung:

Ostsächsische Sparkasse Dresden
Konto-Nr.: 3120 115 524
BLZ: 850 503 00

Steuer-Nr. 201 140 11356

1. Einleitung

Auf Anfrage der Diplomandin Steffi Hunger wurde bei einem gemeinsamen Ortstermin mit dem Amtsrestaurator Karsten Böhm in der Burgkapelle in Querfurt entschieden, sowohl an der Tumba selbst als auch im umgebenden Fußboden die Materialfeuchte mit Hilfe der Mikrowellenmessung zu bestimmen. Die Messungen sind am 9. Januar 2007 durchgeführt worden.

Für die Untersuchungen kam der Oberflächenmesskopf (0-3 cm) zum Einsatz. Der Volumenmesskopf, der eine Reichweite von 20 bis 30 cm Tiefe hat, konnte aufgrund der geringeren Wandstärke der Seitenfläche der Tumba und der Fußbodenplatten nicht eingesetzt werden.

2. Messverfahren

Bei der durch das Institut für Diagnostik und Konservierung an Denkmälern in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V. (IDK) eingesetzten Technik der Firma *hf sensor GmbH Leipzig* handelt es sich um eine zerstörungsfreie Untersuchungsmethode, durch die man mit Hilfe der Mikrowellenstrahlung oberflächennahe (0-3 cm) und tieferliegende (0-30 cm) Materialfeuchten erfassen kann. 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.

Für Feuchtemessungen in der Bauwerksdiagnose werden im Wesentlichen reflektive Anordnungen gewählt. Dabei wird aus dem Messkopf eine elektromagnetische Welle ins Material eingestrahlt. Gemessen wird sowohl die ins Material eingegangene Welle als auch die vom Material reflektierte Welle. Der Reflektionsfaktor als Quotient aus reflektierter und ins Material hinein laufender Welle ist dabei abhängig von den dielektrischen Eigenschaften des untersuchten Materials.

Da ab Mikrowellenfrequenzen von 2 - 4 GHz die Ionenleitfähigkeit sehr stark nachlässt, wird die Mikrowellenfeuchtemessung durch wasserlösliche Salze in diesem Bereich nicht relevant beeinflusst ([1], [2], [3]).

Mit Hilfe des oberflächennah messenden Sensors sind Messreihen an allen vier Seitenflächen der Tumba ermittelt worden (siehe beispielsweise Abbildung 1). Entsprechend wurden die Feuchtegehalte der direkt an die Tumba angrenzenden Fußbodenplatten (Mittelwerte aus 5 Einzelmessungen) bestimmt. Sowohl bei der Tumba als auch bei den Fußbodenplatten handelt es sich im Wesentlichen um silikatisch gebundene Sandsteine (Mittlerer Buntsandstein). Aufgrund des homogenen Materials konnte der Parameter *Sandstein* (materialspezifische

Kalibrierung) am Messgerät eingestellt werden, wodurch der Feuchtegehalt in Masseprozent (M.-%) ermittelt werden kann. Zusätzlich ist der Feuchteindex an allen Messpunkten gemessen worden. Da es sich bei einer Vielzahl von Untersuchungsobjekten meistens um geschichtete Aufbauten handelt, bei denen die Zusammensetzung und die Schichtstärken der einzelnen Lagen nicht immer bekannt sind, ist es nicht sinnvoll, mit den materialspezifischen Kalibrierkurven zu arbeiten, die in dem Gerät angeboten werden. Als Indikator ist vielmehr der dimensionslose Feuchteindex zu nutzen, eine Zahl zwischen 0 und 4000. Das gleiche gilt auch für die Aufnahme an unbekanntem Materialen. Der Feuchteindex wurde in einer Messachse auch an der Außenwand gemessen, die nördlich an die Tumba angrenzt.

3. Ergebnisse

Wie in Kapitel 2 beschrieben sind sowohl an der Tumba selbst als auch an den umliegenden Fußbodenplatten die Materialfeuchten ermittelt worden. Im Folgenden werden die entsprechenden Ergebnisse vorgestellt.

3.1 Tumba

An der Tumba wurde auf allen vier Seitenflächen eine Messachse angelegt, die zwischen den Figuren den Bereich von der Tumbaabdeckung bis zum Sockel in vier Messpunkten erfasst (siehe beispielsweise Abbildung 1).



Abb. 1: Darstellung der Ergebnisse entlang der Messachse 1 an der südlichen Seitenwand der Tumba

Abbildung 1 zeigt die Messachse 1, die an der Südseite der Tumba angelegt wurde. Die daneben stehende Grafik gibt die Entwicklung der Feuchtigkeit [M.-%] vom obersten Messpunkt 1 zum untersten Messpunkt 4 wieder.

Die Messungen wurden entgegen dem Uhrzeigersinn um die Tumba durchgeführt. In der folgenden Abbildung (2) sind die Ergebnisse entlang der Messachse 2 dargestellt (östliche Seitenfläche).



Abb. 2: Darstellung der Ergebnisse entlang der Messachse 2 an der östlichen Seitenwand der Tumba

Aufgrund der Verteilung der Figuren war eine Messung in der Mitte der Seitenfläche (entsprechend Messachse 1) nicht möglich. Auch hier markieren die grauen Punkte entlang der Achse die einzelnen Messpunkte. Die beigefügte Darstellung der ermittelten Feuchtegehalte entspricht der aufgezeichneten Messachse, wonach die Abdeckung und der Sockel eine Feuchte von 1,4 M.-% und der Bereich zwischen den Figuren eine Feuchte von 0,3 bzw. 0,6 M.-% aufweisen. (Der Wert entspricht bei allen Messpunkten einem Durchschnittswert aus 5 Einzelmessungen.)

Die Messachse 3 an der Nordseite der Tumba liegt in der Mitte der Bildfeldes und umfasst ebenfalls 4 Messpunkte, deren Feuchtegehalte in der nebenstehenden Grafik dargestellt sind. Ein erhöhter Feuchtegehalt konnte auf Höhe der Köpfe der Figuren detektiert werden.



Abb. 3: Darstellung der Ergebnisse entlang der Messachse 3 an der nördlichen Seitenwand der Tumba

Die vierte Messachse befindet sich auf der westlichen Seitenfläche der Tumba. Sie wurde im linken Bereich angelegt da an anderer Stelle zwischen den Figuren nicht ausreichend Raum gewesen wäre, um den Messkopf aufzusetzen. Die beiden mittleren Messpunkte liegen im Gegensatz zu allen anderen Messpunkten – auch der anderen Messachsen - auf einer Fläche, die nahezu vollständig von der Farbschicht belegt ist.



Abb. 4: Darstellung der Ergebnisse entlang der Messachse 4 an der westlichen Seitenwand der Tumba

Es fällt auf, dass der Feuchtegehalt der Tumbaabdeckung auf den vier Seiten identisch ist. Ein Einfluss der Exposition der Seitenflächen bzw. deren Nähe zu den Außenwänden scheint sich demnach im oberflächennahen Bereich zum Zeitpunkt der Messung nicht auszuwirken oder Unterschiede hervorzurufen.

beispielsweise der Aufbau durch Hohlstellen gestört ist. Hier können die Tendenzen gar gegenläufig sein. Die Unterschiede zwischen den Feuchteindizes sind – abgesehen von der Abweichung zwischen Platte 1 und 10 - nur gering und liegen wohl auch im Schwankungsbereich, der mit dem Messfehler zu begründen ist.

Bei Platte 10 liegt ein Messfehler vor. Der Feuchtegehalt, der mit der materialspezifischen Kalibrierung für Sandstein ermittelt wurde, zeigt eine hohe Feuchtelast an. Der Feuchteindex (materialunabhängig ermittelt) hingegen ist vergleichsweise nur unwesentlich höher als der der anderen Fußbodenplatten. Bei genauer Betrachtung hat sich gezeigt, dass es sich bei dieser kleinen Platte ausnahmsweise um einen Kalkstein handelt. Aufgrund der verschiedenen Porositäten des silikatisch gebundenen Sandsteins und dem hier vorliegenden Kalkstein kann die Kalibrierung für Sandstein an dieser Stelle nur zu einem falschen Messwert führen. Eine Kalibrierungskurve für Kalkstein liegt im Gerät nicht vor.

Zusätzlich zu den direkt an die Tumba grenzenden Platten wurde auf der Nordseite noch die Anbindung an die Außenwand anhand einer Messachse untersucht (siehe Abbildung 5, Platte 3).

Tab. 2: Feuchtegehalte des Profils (Platte 3) zwischen Tumba und Außenwand

Messpunkt	Feuchtegehalt [M.-%]
3.1	1,4
3.2	0,9
3.3	0,6
3.4	0,9
3.5	1,2
3.6	1,8

Die Feuchtgehalte zeigen die höchsten Werte für den Messpunkt nahe der Wand an. Allerdings handelt es sich nicht um einen signifikanten Anstieg. Die Außenwand selbst, die starke Schädigungen des Putzes aufweist, ist entsprechend der Ermittlung der Feuchteindizes (Oberflächenmesskopf) (siehe Abbildung 6) für den Zeitraum der Untersuchung als leicht feuchtebelastet zu bewerten.



Höhe über Boden	Feuchteindex
10 cm	1650
30 cm	2179
50 cm	2380
80 cm	2439
120 cm	2283

Abb. 6: Ergebnisse der Messachse an der Außenwand nördlich der Tumba

4. Bewertung

Auch wenn innerhalb der Höhenprofile an den Seitenflächen der Tumba und auf den einzelnen Fußbodenplatten Schwankungen der Werte detektiert werden konnten, sind die Feuchtegehalte insgesamt als relativ niedrig einzustufen. Die Feuchtesituation der Tumba und der angrenzenden Fußbodenplatten sind zum Zeitpunkt der Messung als unkritisch zu bewerten. Die nördliche Wand der Burgkapelle zeigt im Bereich der Messachse in der Höhe um 80 cm einen Feuchteindex an, der hier – bis in eine Tiefe von 2 bis 3 cm einer leichten Feuchtelast entspricht.

Mit dem oberflächlichen Messkopf erfasst man im Wesentlichen Kondensationsphänomene. Am Tag der Untersuchung kann mit Ausnahme des Messpunktes zwischen den Köpfen auf Messachse 3 allerdings diesbezüglich von keiner Gefährdung der Tumba ausgegangen werden.

5. Literatur

[1] Leschnik, W. (1998): Messung des Feuchte- und Salzgehaltes von Bauteilen, in: Bauphysik - Berichte aus Forschung und Praxis - S. 403 -417, Fraunhofer Verlag.

[2] Stacheder, M. (Firma *Imko*), Grassegger, G. & Grüner, F. (1999): Zerstörungsfreie Feuchtemessung in Naturstein, Ziegel und Estrich mit der Time Domain Reflectometry, Manuskript vom 5. Kolloquium Werkstoffwissenschaftlern (Dezember 1999 in Esslingen übergeben durch Frau Dr. Grassegger).

[3] Göller, A. (Firma *hf sensor*) (1999): Messen im Kopf - Feuchtemessung im Raster - neues Diagnosekonzept in Bauwerken -, in: Bautenschutz und Bausanierung, Nr. 6, S. 22 ff.