

# DIE SCHWIND-FRESKEN AUF DER WARTBURG

Ein interdisziplinäres  
Forschungsprojekt zu ihrer  
Erhaltung

Arbeitshefte  
des Thüringischen Landesamtes  
für Denkmalpflege

---

# Feuchteanalysen am Mauerwerk des Palas der Wartburg

*Meinhard Landmann, Ernst-Dieter Ganß, Hans-Jürgen Rönicke*

---

## 1. Problemstellung

Zu Beginn der 90er Jahre hatten die Putz- und Malschichtschäden am Schwind-Fresko »Die Ankunft der vierjährigen Elisabeth auf der Wartburg« ein solches Ausmaß angenommen, daß eine Freskoübertragung auf einen neuen Untergrund notwendig wurde<sup>1)</sup>. Auch alle übrigen Schwind-Fresken wiesen und weisen Schäden durch Verschleierungen, Salzsäume und Malschichtabsandungen auf. Die restauratorische Verantwortung gebot, nicht nur die Symptome, sondern vor allem auch die Schadursachen zu behandeln. Da die Ursachenanalyse sich bis zu diesem Zeitpunkt weitgehend nur auf Vermutungen stützte, wurde ein umfangreiches wissenschaftliches Untersuchungsprogramm eingeleitet. Ein wichtiger Teilaspekt war die Untersuchung der Feuchtesituation im aufstrebenden Mauerwerk des Erdgeschoß-Arkadenganges und der bemalten Wand der Elisabethgalerie unterhalb des »Ankunftsfreskos« (vgl. Abb. 185), da Feuchteprobleme von jeher als grundsätzlich angesehen wurden.

Wohl bereits frühzeitig nach Erbauung des Palas der Wartburg müssen schon erste Feuchteschäden, begründet durch die Lage am östlichen Rand des Hochplateaus des Burgberges, aufgetreten sein. Spätestens mit Ausmalung der Räume des 1. Obergeschosses mit Fresken durch Moritz von Schwind in den Jahren von 1853 bis 1855 sind feuchteteknische Betrachtungen Gegenstand der verschiedensten Untersuchungen und Restaurierungen gewesen. In einer Veröffentlichung mit zusammenfassendem Charakter über das Schadensbild der Fresken berichtet Hofferbert<sup>2)</sup>, daß bereits im Winter nach der Ausführung der ersten Fresken im Landgrafenzimmer auf einigen Bereichen Nässe und Eisbildung festzustellen waren. Bereits 20 Jahre nach Entstehung wurden die ersten Restaurierungen durchgeführt.

Leider liegen keinerlei Meßdaten zu Materialfeuchten im Mauerwerk aus früherer Zeit vor, die heute als Vergleich herangezogen werden könnten.

Bei den jüngst zurückliegenden Feuchteuntersuchungen ging es vor allem darum aufzuklären, inwieweit und in welchen Größenordnungen im Mauerwerk der freskentragenden Wände Feuchte ansteht, aus welchen Quellen sie resultiert, ob Schadursachen daraus ableitbar wären, wie gegebenenfalls zurückliegende Restaurierungsmaßnahmen den Feuchtehaushalt beeinflussten und welche Maßnahmen zur Verminderung schädigender Feuchte eingeleitet werden sollten.

## 2. Untersuchungen

### 2.1. Vorbereitende Beobachtungen und Betrachtungen

Der Anwendung apparativer Untersuchungsmethoden ging eine eingehende visuelle Begutachtung zur Klärung des Problemkreises, zur Feststellung der baulichen Gegebenheiten, zur Sichtung der Phänomene, zur Formulierung von Hypothesen, zur Festlegung der möglichen und notwendigen Untersuchungsmethoden, zur Festlegung von Probenahmepunkten usw. voraus.

Es kann festgestellt werden, daß das Oberflächen-niveau des südlichen Burgberges von Nord nach Süd und von West nach Ost zum Palas hin fällt. Deshalb hat in all den Jahrhunderten seines Bestehens und besonders zu Zeiten der Schneeschmelze Hangwasser am Fuße des westlichen Palas gestanden. Bis in welche Höhe das in den Sandsteinwänden kapillar aufwärts geleitete Wasser genau stieg, läßt sich aus Gründen, die im weiteren erörtert werden, heute nur mutmaßen.

Unübersehbar ist, daß sich über die gesamte Länge des westlichen Palas im 1. Obergeschoß an den freskoträgenden Wandbereichen Schleierbildungen bis hin zu Salzausblühungen abzeichnen. Der obere Saum, welcher sich im 1. Obergeschoß vom Deckenbereich des Landgrafenzimmers im Norden bis zum Fußbereich des Sängersaales im Süden erstreckt, folgt damit höhenversetzt im wesentlichen dem Verlauf des Oberflächenabfalls des Burgberges nach Süden. So gesehen ergäbe sich eine Steighöhe des Wassers bis zu 8 Metern. Prinzipiell können im Sandstein trotz langsamer Steiggeschwindigkeiten im Laufe der Jahrhunderte solche Höhenunterschiede überwunden werden. Es muß aber entgegengestellt werden, daß auch große Abdunstflächen durch die Wand zur Verfügung stehen, so daß die obige Begründung zumindest nach Wiedereröffnung der Erdgeschoßarkaden im 19. Jahrhundert nur teilweise zuträfe.

Es sind auch andere Feuchteintragsmechanismen anzunehmen, wie Taupunktunterschreitungen mit Feuchteniederschlag durch Kondensation, Feuchteaufnahme durch hygroskopisch wirkende Salze bzw. Salzgemische und vor allem Feuchteinträge »von oben«. Diese resultierten aus vernachlässigter Baupflege in vergangenen Jahrhunderten und dadurch, daß die oberen Arkaden lange Zeit offen standen. Jahrzehntelang gelangte Niederschlagsfeuchte in die interessierenden Mauerabschnitte. Auch wenn schon längst diese Schadfaktoren abgestellt wurden, sind eventuelle Auswirkungen zu berücksichtigen.

---

1) vgl. Scholz Wiederanbringung

2) Hofferbert 1928, S. 20, (im vorliegenden Arbeitsheft S. 270)

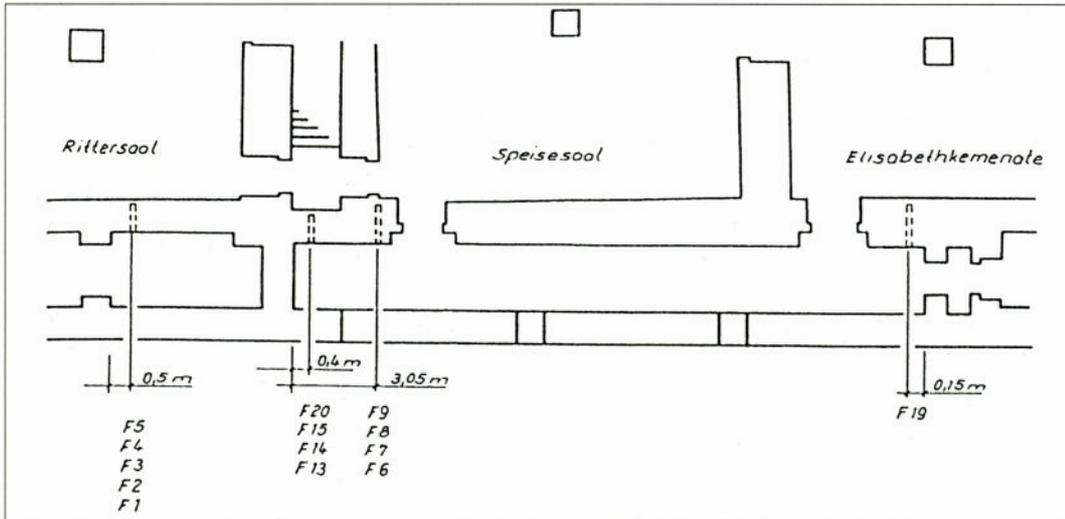


Abb. 186 Wartburg-Palast, Erdgeschoß: Lage der Meßpunkte

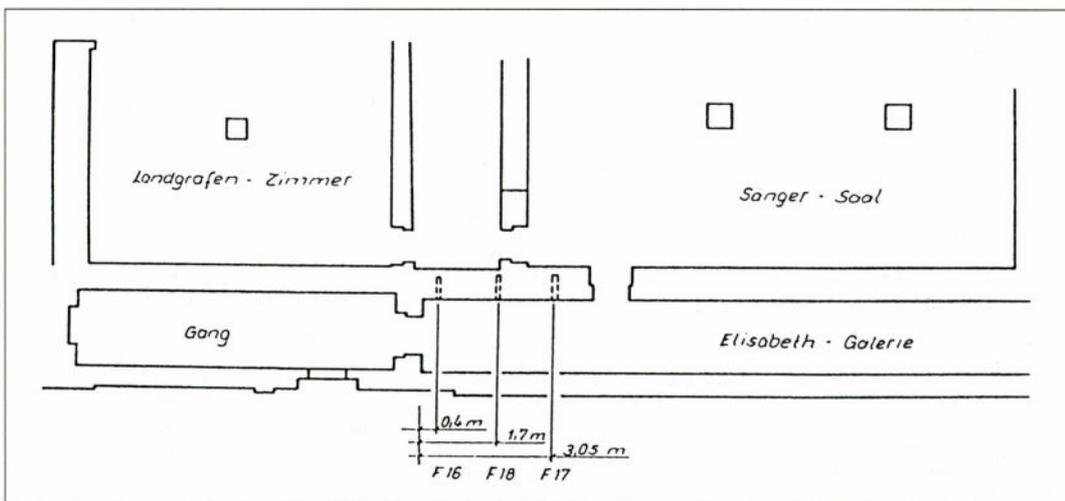


Abb. 187 Wartburg-Palast, 1. Obergeschoß: Lage der Meßstellen

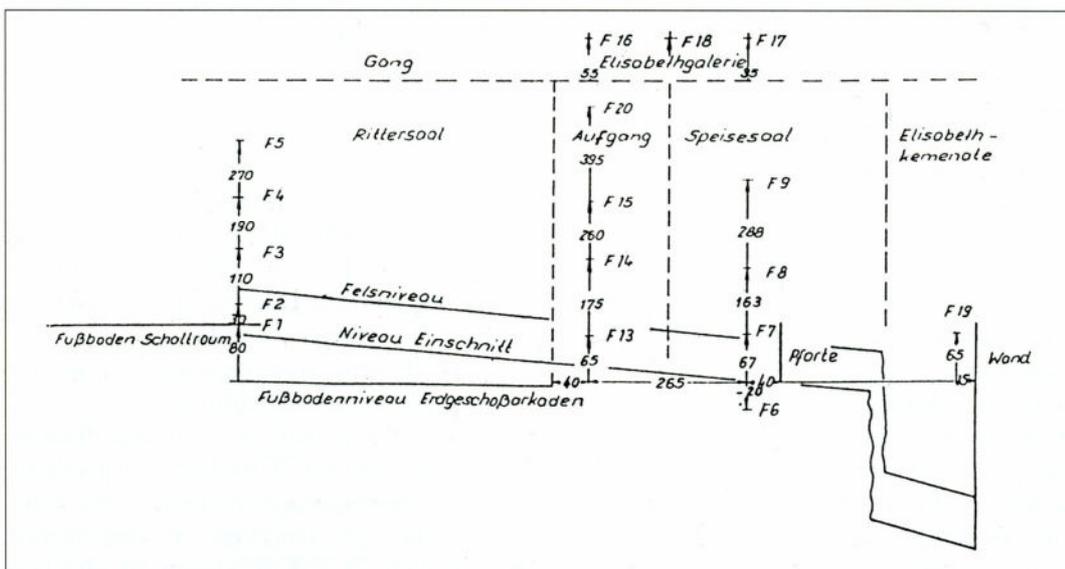


Abb. 188 Lage der Meßpunkte aus Richtung Erdgeschoßarkaden (Angaben in cm)

## 2.2. Ziel und Planung der Messungen

Von Interesse für Meßaussagen wären vor allem die absoluten Feuchtegehalte und wie sich vorhandene Feuchte im Mauerwerk verteilt, sowohl von der Tiefe im Mauerwerk

und vor allem auch von der möglichen Steighöhe her. Zu erwähnen ist diesbezüglich, daß an der Westwand des Rittersaales in einer Vertiefung bei starken Niederschlägen häufig Sickerwasser steht, welches eine Eintragsquelle für aufsteigende Feuchte darstellen kann.

Es wurden deshalb von den Restauratoren Mauerabschnitte ausgewählt, die eine gewisse Repräsentanz in bezug auf Alter und Art der Gesteine<sup>3)</sup> sowie der baulichen Situation und Lage der Fresken hatten. Die Probenachsen wiesen untereinander eine horizontale Staffelung (siehe Abb. 186-188) über die Palaslänge und eine vertikale in sich auf (vgl. auch Abb. 184, S. 163).

Die speziellen Kriterien für die Auswahl der einzelnen Meßachsen waren folgende:

- Achse 1 (Probepunkte F 1 – F 5):

Unterhalb des Fußbodenniveaus des Rittersaales befindet sich die sichtbare »Sickerwasserpfüte«, die eine Quelle für aufsteigende Feuchte darstellt. Der Schalt- und Geräteraum westlich des Rittersaales, von dem in die Trennwand gebohrt wurde, ist von vielen Elektroleitungen und Installationen durchzogen und die Wand schon häufig angebohrt. Im Bereich der Gewölbedecke in ca. 3,5 m sind deutliche Salzkrusten erkennbar.

- Achsen 2 und 3 (Probepunkte F 13 – F 16, F 20 / F 6 – F 9, F 17)

Diese beiden Achsen befinden sich direkt unter dem »Ankunftsfresko«, das am stärksten geschädigt ist. Alle erreichbaren Informationen zur Feuchte sollten bis unmittelbar vor Abnahme des Freskos zur Verfügung stehen.

- Achse 4 (F 19)

Es handelt sich um eine Tiefenverteilung in der Wand in 65 cm über dem Arkadengangniveau südlich der anderen Achsen und stellt einen Vergleichswert für die aufsteigende Feuchte dar, wenn das Hofniveau schon deutlich abgefallen ist.

Die Messungen der Feuchte erfolgten mit einer Neutronentiefensonde über Bohrlöcher von 10 mm Durchmesser, die in der Höhenstaffelung bis zu einigen Metern und mit Bohrlochtiefen bis zu 80 cm angelegt wurden.

Dies erlaubt ein zueinander In-Beziehung-Setzen der Werte und damit eine Interpretation der Einzelergebnisse in Richtung einer Gesamtaussage der Feuchteverteilung in der Wand. Parallel mit der Feuchtemessung wurde eine Analyse des Bohrmehls aus den entsprechenden Tiefen auf Sulfat-, Chlorid- und Nitrationen vorgenommen. Die Lage der Meßpunkte ist den Abb. 186-188 zu entnehmen.

Die Untersuchungen der Salzanionen hatten ergänzenden Charakter und ergaben sich daraus, daß das Bohrmehl beim gewählten Meßverfahren in jedem Falle anfiel. Sie erlauben einige vorsichtige Schlüsse zum Sorptionsverhalten der durchsetzten Baumaterialien. Die größere Bedeutung dürfte für spätere Generationen darin liegen, über Meßwerte aus Vorzuständen zu verfügen.

Deshalb werden alle Werte komplett in Tabelle 1 und 2 wiedergegeben.

Tabelle 1: Mauerwerksfeuchte

Nr.	Meßachse	Material	Tiefe (cm)	Feuchte (V%)
1	F1	Fels	40	23,0
2			25	14,6
3			10	14,2
4			5	11,4
5	F2	Sandstein	55	8,5
6			30	8,0
7			15	7,0
8			5	6,9
9	F3	Sandstein	55	6,5
10			30	5,8
11			15	4,7
12			5	6,2
*13			80	4,5
*14			65	4,7
*15			50	7,3
*16			30	6,5
*17			15	5,3
*18			5	4,0
19	F4	Sandstein	55	4,4
20			30	4,8
21			15	3,6
22			5	4,4
*23			80	1,0
*24			65	3,4
*25			50	5,3
*26			30	4,3
*27			15	3,5
*28			5	4,1
29	F5	Travertin	50	3,9
30			30	3,2
31			15	2,5
32			5	5,8
33	Außenwand	Konglomerat	40	3,9
34	(1,1 m)		30	5,0
35			15	6,0
36			5	7,8
37	F6 Fuge	Konglomerat	70	9,0
38			50	8,2
39			30	7,5
40			15	5,1
41			5	4,1
42	F7 Fuge	Sandstein	50	7,0
43			30	5,2
44			15	8,1
45			5	5,7
46	F8 Fuge	Sandstein	80	4,7
47			65	5,3
48			50	5,8
49			30	4,4
50			15	3,7
51			5	6,1
52	F9 Fuge	Sandstein	80	6,7
53			65	4,5
54			50	5,3
55			30	5,1
56			15	3,4
57			5	5,0
58	F13	Sandstein	80	20,2
59			65	10,6
60			50	17,5

\* Nachmessung nach 100 Tagen

3) vgl. Klaua Steinmaterial; Altwasser, Elmar: Die bauhistorische Untersuchung an der Ostfassade des Palas der Wartburg – Ein Vorbericht. In: Wartburg-Jahrbuch 1993. 2(1994), S. 40–53; Altwasser, Elmar: Bauhistorische Untersuchung an der Westfassade des Palas der Wartburg – Ein Vorbericht. In: Wartburg-Jahrbuch 1994. 3(1995), S. 11–27

Nr.	Meßachse	Material	Tiefe (cm)	Feuchte (V%)	Nr.	Meßachse	Material	Tiefe (cm)	Sulfat (M%)	Chlorid (M%)	Nitrat (M%)
61			30	9,0	21			6-10	2,18	0,16	0,01
62			15	5,7	22	F9	Mörtel/Fuge	0-2	3,96	0,26	0,05
63			5	5,4	23			2-6	3,77	0,22	0,05
64	F14	Sandstein	80	8,3	24			6-10	1,00	0,21	0,07
65			65	7,1	25	F13	Sandstein	0-2	0,58	0,08	0,01
66			50	5,4	26			2-6	0,19	0,05	0,01
67			30	4,0	27			6-10	0,14	0,02	0,01
68			15	3,8	28	F14	Sandstein	0-2	1,74	0,01	-
69			5	1,8	29			2-6	0,12	0,01	-
70	F14 Fuge	Sandstein	50	6,9	30			6-10	0,05	0,007	-
71			30	5,4	31	F15	Sandstein	0-2	0,54	0,03	-
72	F15	Sandstein	80	3,4	32			2-6	2,40	0,03	-
73			65	4,0	33			6-10	-	0,03	-
74			50	4,6	34	F16	Sandst./Putz	0-1	0,19	0,03	-
75			30	3,1	35			2-3	0,11	0,06	-
76			15	2,9	36			3-5	0,38	0,10	0,01
77			5	5,0	37			5-8	0,25	0,07	0,01
78	F16 Putz	Sandstein	45	4,2	38			8-11	0,22	0,11	0,01
79			40	4,9	39			11-20	-	0,11	-
80			30	6,2	40			20-30	-	0,12	-
81			15	3,9	41			30-40	0,14	0,32	0,02
82			5	7,5	42			40-50	0,04	0,31	0,01
83	F17	Sandstein	44	5,5	43	F17	Sandstein	0-2	6,21	0,23	0,03
84			40	6,0	44			2-3	1,14	0,24	0,02
85			30	4,6	45			3-4	0,32	0,25	0,003
86			15	3,8	46			4-6	-	0,25	0,003
87			5	2,9	47			6-11	0,05	0,21	0,01
88	F18 Putz	Sandstein	5	5,8	48			11-20	0,11	0,17	0,02
89			5	5,4	49			20-35	0,07	0,15	-
90	F19	Sandstein	80	6,3	50			35-50	0,14	0,35	0,02
91			65	5,0	51	F18	Sandst./Putz	0-1	0,47	0,13	0,03
92			50	3,6	52			1-2	-	0,17	0,05
93			30	3,6	53			3-6	0,36	0,20	0,08
94			15	2,7	54	F19	Sandstein	0-2	-	0,03	-
95			5	5,7	55			6-10	0,10	0,01	-
96	F20	Sandstein	80	4,7	56	F20	Sandstein	0-2	0,04	0,007	-
97			65	3,6	57			6-10	0,47	0,02	-
98			50	3,7	58	Madelunger Sandst. A		-	0,42	0,02	-
99			30	4,4	59	B		-	0,43	0,03	-
100			15	3,8							
101			5	7,3							

Tabelle 2: Bauschädliche Salze

Nr.	Meßachse	Material	Tiefe (cm)	Sulfat (M%)	Chlorid (M%)	Nitrat (M%)
1	F2	Sandstein	0-4	-	-	-
2			14-18	0,41	0,02	0,003
3			40-60	0,07	0,01	0,004
4	F3	Sandstein	0-4	3,26	-	-
5			14-18	0,13	0,03	0,01
6			60-65	0,11	0,02	0,01
7	F4	Sandstein	0-4	0,84	-	-
8			14-18	-	0,03	-
9			40-60	0,05	0,01	-
10	F5	Travertin	1-4	9,30	-	-
11			14-18	0,19	0,02	-
12			40-60	0,62	0,01	0,01
13	F6	Mörtel/Fuge	0-2	-	0,03	-
14			2-6	0,08	0,03	-
15			6-10	-	0,01	-
16	F7	Mörtel/Fuge	0-2	5,88	0,05	0,003
17			2-6	6,27	0,03	0,004
18			6-10	7,27	0,03	0,004
19	F8	Mörtel/Fuge	0-2	5,22	0,11	0,02
20			2-6	0,61	0,18	0,02

Für die Feuchtemessung wurde das Neutronenbremsverfahren genutzt. Das wirksame Meßprinzip basiert auf der Abbremsung schneller Neutronen durch elastische Streuung an Kernen leichter Elemente, also im gegebenen Falle denen des Wasserstoffs, des in den Baumaterialien enthaltenen Wassers. Wasserstoff hat einen um mehr als 2 Zehnerpotenzen größeren Streuquerschnitt als die meisten anderen im Baumaterial vorkommenden Elemente. Es handelt sich um ein Verfahren, das eine Absolutmessung des Wassergehaltes gestattet<sup>4)</sup>.

Das verwendete Verfahren gestattete es, je Höhenpunkt mit nur *einer* Bohrung in verschiedenen Tiefen die Feuchte zu registrieren. Es wird aufgrund dessen, daß außer Wasserstoff keine weiteren sehr leichten Elemente im Stein vorhanden sind, von der Matrix kaum beeinflusst, und lediglich Kristallwasser käme als Störgröße in Betracht. Je nach vorhandenen Anionengehalten ist für die gegebenen Messungen am Palas mit maximalen Feh-

4) Ganß, Ernst-Dieter; Rönicke, Hans-Jürgen: Zur Feuchtesituation in historischem Mauerwerk. In: WTA-Berichte 1992. Bd. 8

lerbehaltungen des Verfahrens von 0,3 bis höchstens 1 Volumenprozent zu rechnen. Die Angabe von Volumenprozenten ergibt sich aus dem Bezug zum Abbrems- und Streuvolumen.

Außer der absoluten Feuchtemessung im Material wurden im Rahmen dieser Untersuchungen keine weiteren Bestimmungen der Luftfeuchte, Taupunkttemperatur usw. vorgenommen, da diesbezüglich umfangreiches Material durch die Klimamessungen des WKI gewonnen wurde<sup>5)</sup>.

Die Bestimmungen der Sulfat-, Nitrat- und Chloridionen erfolgte naßchemisch mit Fehlergehalten von maximal 10 Relativprozenten auf die Meßwerte bezogen. Die Masseprozentzahlen beziehen sich auf die eingewogene Masse des Bohrmehles als Ausgangsmaterial.

### 3. Ergebnisse

Feuchteanalysen: Sämtliche Ergebnisse sind in der Tabelle 1 festgehalten.

Abbildungen 189 bis 192 (Seite 170/171) zeigen die dazugehörigen Feuchteprofile.

Abbildung 193 (Seite 172) zeigt eine im Rahmen der Meßwertanzahl mögliche Isolinien-darstellung der Feuchte durch den Mauerquerschnitt Rittersaal, Schaltraum, welche sehr instruktiv ist.

Tabelle 2 gibt die Gehalte an Sulfaten, Nitraten und Chloriden in den entsprechenden Probeabschnitten wieder.

### 4. Diskussion der Ergebnisse

Feuchteverteilungen in einem historischen Mauerwerk sind im allgemeinen dynamischen Veränderungen unterworfen. Vor allem haben das Klima und die dadurch bestimmten Niederschläge einen starken Einfluß auf die Durchfeuchtung. Unter dem Blickwinkel gesehen, daß unter ungünstigen Klimabedingungen möglichst hohe Feuchtebelastungen gemessen werden, um zu klaren Aussagen hinsichtlich Schadeinflüssen zu kommen, war der Zeitpunkt der Messungen im Herbst 1991 bzw. der Folgemessung im Frühjahr 1992 richtig gewählt. In aller Globalität ausgedrückt zeigte sich, daß die absoluten Feuchtegehalte im Mauerwerk zur Zeit als nicht außergewöhnlich für dicke historische Mauern angesehen werden können. Die Höhenabnahme des Feuchtegehaltes im Mauerinnern ist stark ausgeprägt. Im Freskenbereich liegt erfreulicherweise keine aufsteigende Feuchte mehr vor.

Trotzdem hat es aber im Laufe der Jahrhunderte starke Durchfeuchtungen gegeben, die in der Literatur z. T. belegt sind<sup>6)</sup>. Insbesondere kam es über die offenen Arkaden auch im Bereich der Galerie zu Schneeinwehungen

und sonstiger Niederschlagsfeuchte, die letztlich mit dem Transport löslicher Salze im Mauerwerk verbunden war. Um ihre auch heute noch vorhandene Wirksamkeit zu verdeutlichen, werden zuerst die konkret gewonnenen Meßergebnisse hinsichtlich der verschiedenen Feuchte-eintragsmechanismen diskutiert.

#### 4.1. Sickerwasser

Unter Sickerwasser sei der Anteil im Feuchteeintrag zu verstehen, der durch Versickern von Oberflächenwasser aufgrund der Kapillarität des Bodens und dem Wirken der Schwerkraft bis in die Durchfeuchtungszone bewegt wird.

Der anstehende Fels (Wartburg-Konglomerat) ist in seiner Porenstruktur so bemessen, daß ein Wassertransport in Form einer Sickerströmung möglich ist. Durch die relativ große Fläche des unversiegelten zweiten Burg-hofes wird vom anstehenden Gestein bei Regenfällen oder der Schneeschmelze intensiv Wasser aufgenommen. Durch Sickerströmungen wird dieses Wasser (Sickerwasser) auch in Felsbereiche transportiert, die überbaut sind. Bei starkem Wassereintrag erreicht das Sickerwasser den Mauerfuß. Die Meßergebnisse machen dies deutlich.

Auf Abb. 189 ist die Feuchteverteilung  $u(y)$  der Meßachse F 1 (Höhe = 0 cm) dargestellt. Diese Meßachse mußte vom Schaltraum schräg nach unten in Richtung Nullniveau des Rittersaales geführt werden. Der Winkel betrug ca. 35°. Bei ca. 40 cm horizontaler Tiefe in der Wand wird das Niveau der durch Sickerwasser gefüllten Poren des Felsens erreicht. Dies zeigt sich am großen Anstieg der Feuchte (23%). Das Niveau des Sickerwassers liegt damit ca. 20 cm unter dem Wandfuß.

Ein weiteres Indiz für den Wassertransport durch das Sickerwasser ist die an der Westwand des Rittersaales auf Fußbodenniveau befindliche Vertiefung. Zur Zeit der Untersuchung war diese mit Wasser gefüllt.

#### 4.2. Kapillar aufsteigende Feuchte

Das Wartburg-Konglomerat des Untergrundes weist nur einen geringen Wassertransport durch Kapillarkräfte auf. Dagegen ist der verwendete Madelunger Sandstein des Mauerwerkes aufgrund seiner Porenstruktur in der Lage, Wasser in merkliche Höhen zu transportieren. Für den kapillaren Feuchte-transport ist ein ausreichender Wasser-nachschub erforderlich. Diese Bedingung ist für die Arkadenzwischenwand heute nur noch eingeschränkt erfüllt. Durch den außen eingebrachten Einschnitt in den Fels liegt das Niveau der durch das Sickerwasser gefüllten Poren des Felsens ca. 20 cm unterhalb des Wandfußes aus Sandstein. Das heißt, diese in den fünfziger Jahren durchgeführte Maßnahme hat einen großen Einfluß auf den Feuchtehaushalt gehabt. Zu dem geringen Feuchteeintrag kommt seit der Öffnung der Erdgeschoßarkaden ein erhöhter Feuchteaustrag durch Verdunstung.

5) Schwarz/Mehlhorn

6) Hofferbert 1928

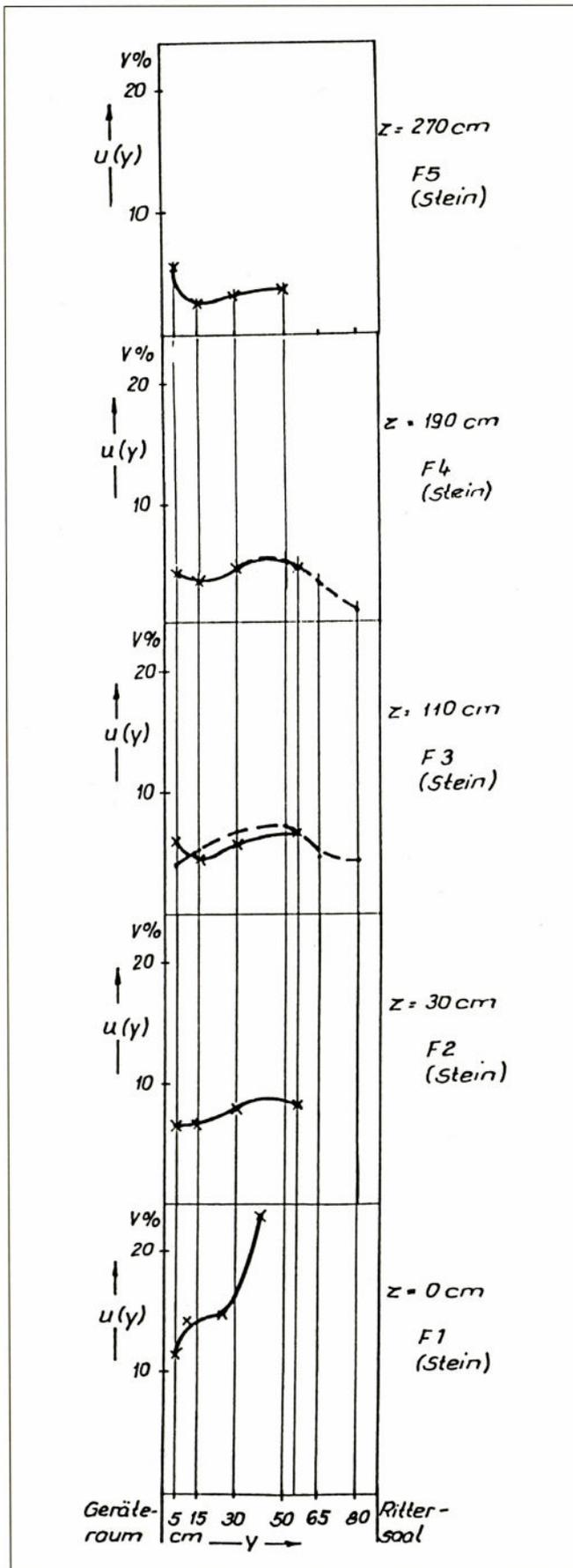


Abb. 189 Wartburg-Palas, Arkadenzwischenwand (Rittersaal): Feuchteverteilung  $u(y)$  für verschiedene Höhen  $z$

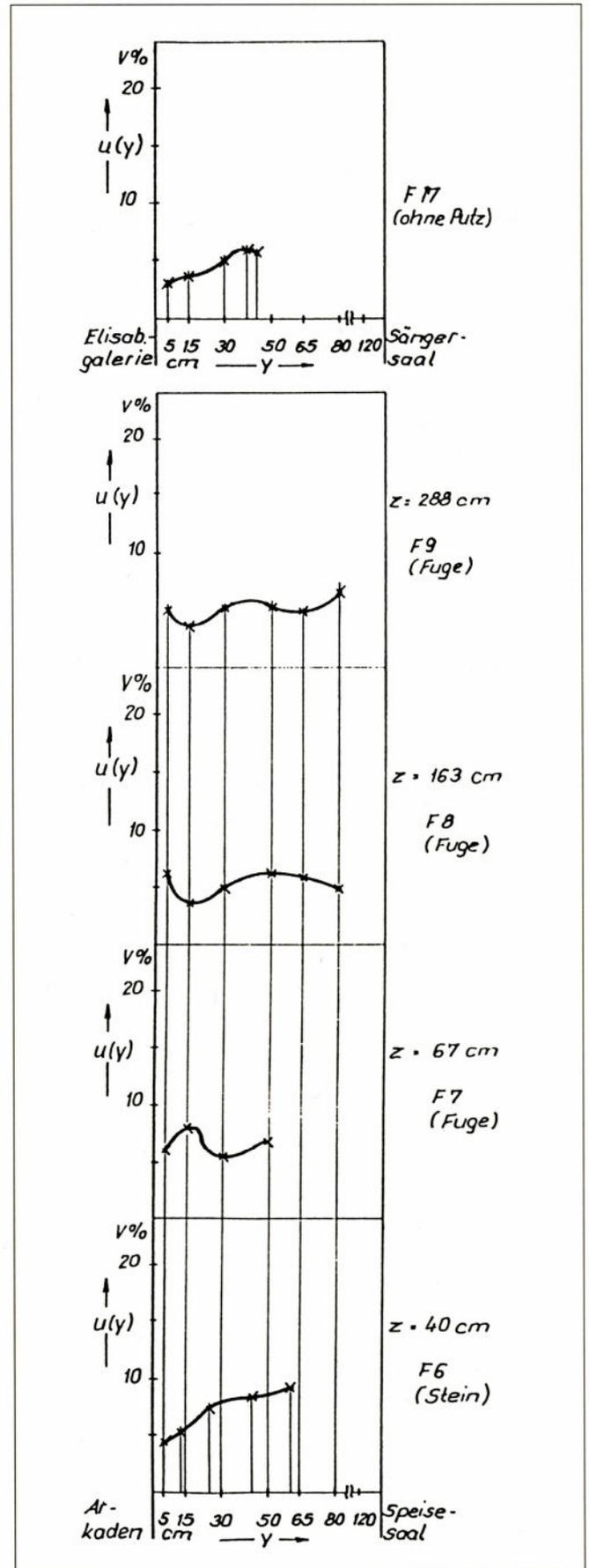


Abb. 190 Wartburg-Palas, Arkadenzwischenwand (Speisesaal): Feuchteverteilung  $u(y)$  für verschiedene Höhen  $z$

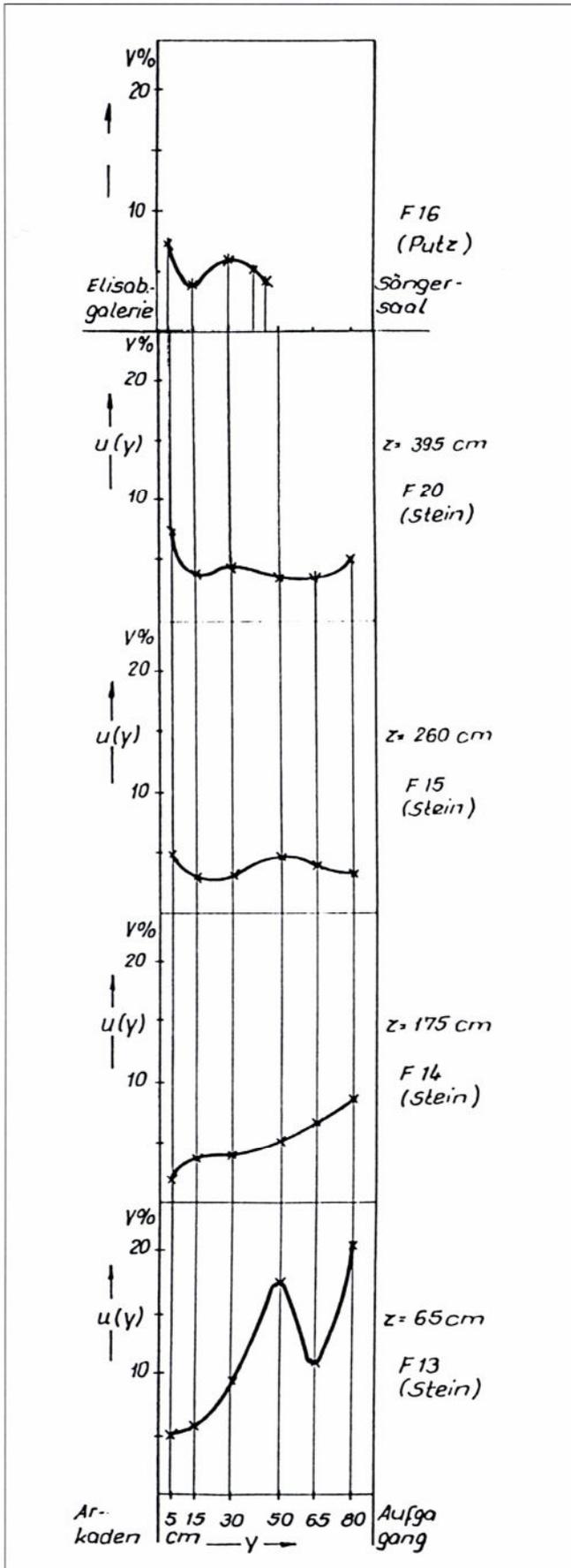


Abb. 191 Wartburg-Palasz, Arkadenzwischenwand (Aufgang): Feuchteverteilung  $u(y)$  für verschiedene Höhen  $z$

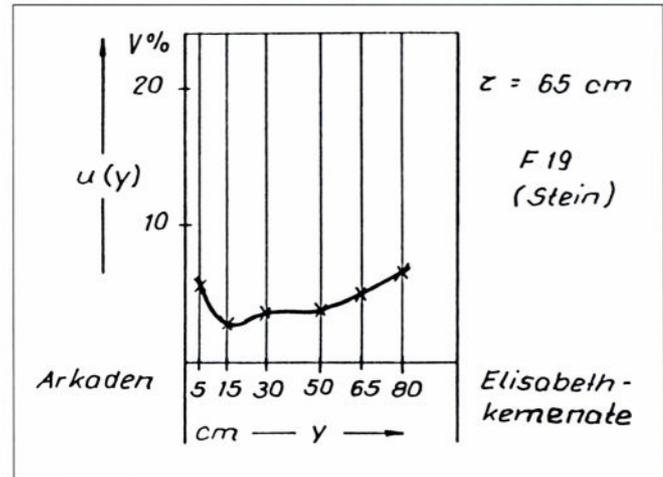


Abb. 192 Wartburg-Palasz, Arkadenzwischenwand (Elisabethkemenate): Feuchteverteilung  $u(y)$

Abb. 189 zeigt die Feuchteverteilung  $u(y)$  im Wandquerschnitt für die Arkadenzwischenwand im Erdgeschoß zwischen Schalraum und Rittersaal. Zunächst sollen hier die durchgezogenen Linien betrachtet werden. Bei einer Tiefe von 55 cm (Wandmitte) beträgt die Feuchte für die Meßachsen F 2 bis F 5 ca. 8,5 V %, 6,5 V % sowie 3,5 V %. Die Feuchte, bei der noch Kapillarwassertransport effektiv abläuft, liegt bei diesem Sandstein bei > 5 V %. Damit wird bei der Meßachse F 5 die Feuchte im wesentlichen durch die klimatischen Randbedingungen und die Sorptionsisotherme des Sandsteins bestimmt. Kapillar aufsteigende Feuchte dürfte damit nur in den unteren nördlichen Bereichen der Arkadenzwischenwand vorhanden sein. Wasser kann daher heute nur bis etwa 2 m vom Mauerfuß aus aufsteigen.

#### 4.3. Salze im Mauerwerk

Aus dem Gesteinsmehl der Bohrungen bzw. Fugenmörtel erfolgte die Analyse der Anionen löslicher, im Mauerwerk vorhandener Salze.

*Nitrate* wurden nur in sehr geringen Konzentrationen festgestellt (unter 0,1 M %), so daß diese nicht diskutiert werden brauchen.

*Chloride* kommen in den Gesteinsmehlproben des Schalraumes (F 2 bis F 5) und der Erdgeschoßarkaden (F 13 bis F 15 und F 20) nur in geringen Konzentrationen vor. Im Gegensatz dazu waren die Chloridgehalte in der Elisabethgalerie deutlich höher. Dabei zeigte die Meßachse F 17 hohe und relativ konstante Werte (ca. 0,25 M %) von der Oberfläche bis zur Wandmitte. Bei der Meßachse F 16 ist die Konzentration an der Wandoberfläche gering und steigt mit zunehmender Tiefe an (0,35 M %). Die Proben des Fugenmörtels der Erdgeschoßarkaden lassen einen Anstieg mit zunehmender Wandhöhe erkennen.

*Sulfate* sind mit wesentlich höherer Konzentration im Mauerwerk der Arkadenzwischenwand vorhanden.

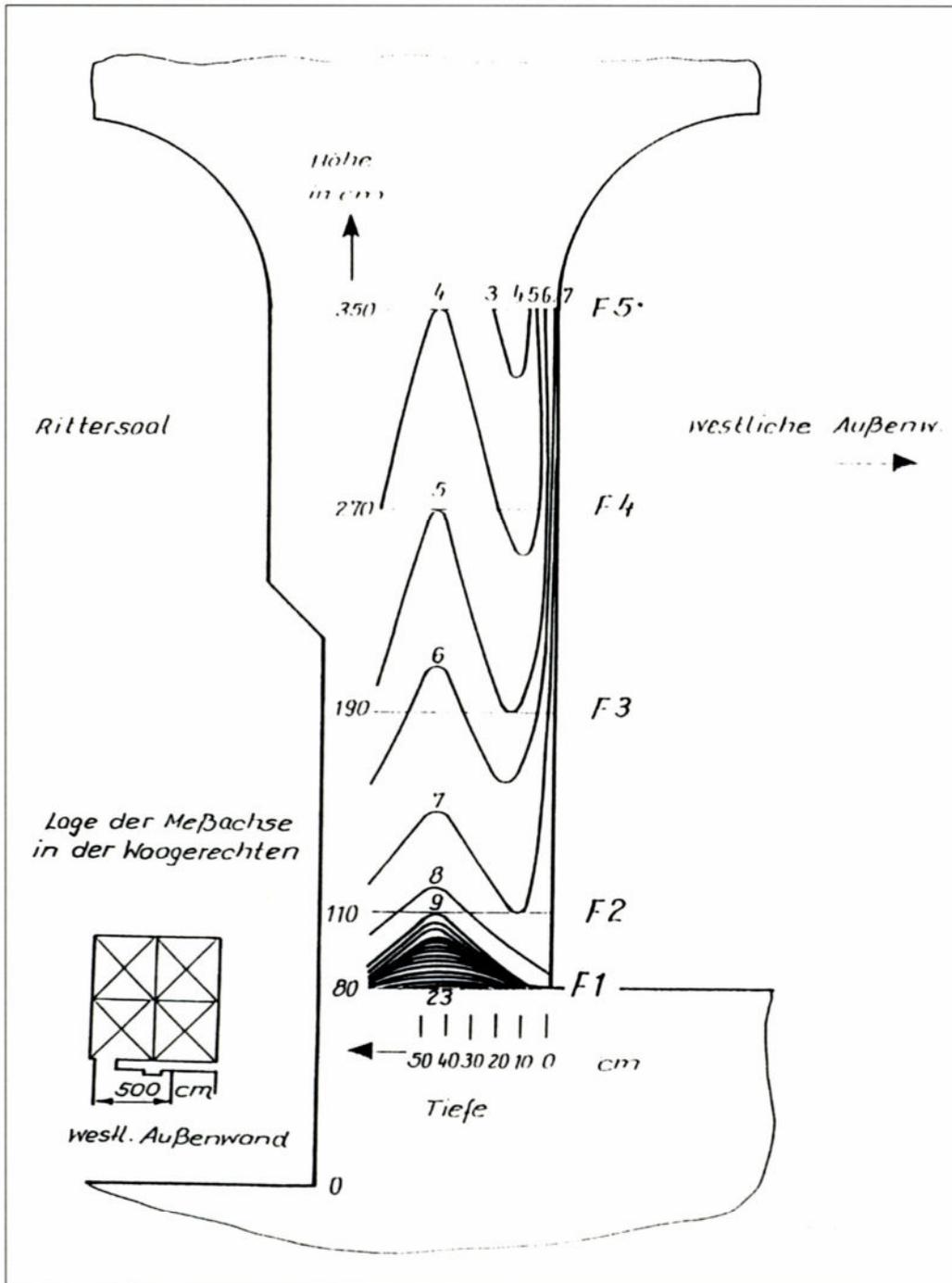


Abb. 193 Wartburg-Palas, Rittersaal/Westwand: Feuchteverteilung (Angabe in V %)

An den Steinoberflächen wurden Werte bis 9,3 M % festgestellt. Im Schaltraum sind sogar Salzausblühungen erkennbar. Charakteristisch für das Salzprofil im Sandstein ist die teilweise extreme Sulfatzunahme in Richtung Oberfläche.

Mit dem Feuchtetransport gelangen gelöste Salze an die Oberfläche und können dort auskristallisieren. Im Gegensatz zu den Chloriden kommen Sulfate in allen Wandbereichen vor und weisen keine charakteristische Höhenabhängigkeit auf.

Es wird eingeschätzt, daß die Arkadenzwischenwand in allen untersuchten Bereichen stark mit Sulfaten und teilweise mit Chloriden belastet ist.

#### 4.4. Tauwasserbildung (Kondenswasser)

Durch Unterschreiten der Taupunkttemperatur auf den Mauerwerksflächen ist entsprechend den gegebenen baulichen Bedingungen an Erdgeschoßaußen- und z. T. -innenbereichen (Aufgang zur Sängerlaube) die Kondensation von dampfförmigem Wasser aus der Luft möglich. Zum Zeitpunkt der Messungen wurde dies am Meßpunkt F 13, F 14 und F 19 nicht festgestellt. Wie die Klimamessungen erweisen<sup>7)</sup>, spielen Tauwassereffekte jedoch direkt an den Fresken allen Anschein nach keine Rolle.

7) Schwarz/Mehlhorn

#### 4.5. Hygroskopische Feuchte

Unter hygroskopischer Feuchte versteht man die Feuchte, die durch wasseranziehende Stoffe der Luft entzogen wird.

Einige Salze, z. B. CaCl, neigen dazu, schon in der Luft zu zerfließen, also Wasser aufzunehmen. Dieses Verhalten, das bei den meisten löslichen Salzen in abgeschwächter Form oberhalb einer bestimmten artabhängigen, sogenannten Gleichgewichtsfeuchte vorliegt, tritt in Salzgemischen meist stärker hervor als bei den Einzelsalzen. Diese Abhängigkeiten auch in Verbindung mit den Trägermaterialien sind theoretisch schwer zu beherrschen und müssen praktisch an salzbelasteten Baumaterialien durch Aufnahme der Sorptionsisothermen gewonnen werden.

Klar erkennbar wird dann, daß salzbelastete Materialien, wobei auch schwerlösliche Salze wie Gips eine Rolle spielen, meist unter vergleichbaren Bedingungen einen höheren Feuchtegehalt als die nicht belasteten aufweisen.

Die Arkadenzwischenwand im Erdgeschoß des Palas zeigt besonders an den Oberflächen erhebliche Sulfatkonzentration. Es ist daher zu erwarten, daß in Abhängigkeit von Salzgehalt und relativer Luftfeuchtigkeit erhöhte Feuchtegehalte auftreten.

Besonders ausgeprägt ist der Zusammenhang zwischen Salzbelastung und erhöhter Feuchteaufnahme an den Meßpunkten F 3, F 5, F 8, F 9 und F 15.

Auch auf den Fresken wurden z. T. sehr hohe Sulfatgehalte in Verbindung mit geringen Mengen Chloriden und Nitraten analysiert<sup>8)</sup>.

Deutlich wird der Feuchteanstieg in Abhängigkeit von den vorhandenen Salzen an Abb. 193 der Isofeuchtedarstellung zwischen Rittersaal und Geräteraum. Hier zeigt sich deutlich eine Feuchtezunahme nach der Oberfläche in den oberen Bereichen zu, genau dort, wo erhöhte Salzkonzentrationen festgestellt und Kristallisationen auf der Oberfläche sogar sichtbar wurden.

Dieses Verhalten trifft für alle anderen salzbelasteten Bereiche der Arkadenzwischenwand prinzipiell ebenso zu. Also auch das Feuchteverhalten der Freskooberflächen wird durch hygroskopische Feuchteaufnahme mitbestimmt<sup>9)</sup>. Die Aufnahme der Sorptionsisothermen von verschiedenen Oberflächenbereichen wurde bisher nicht durchgeführt und sollte deshalb nachgeholt werden.

#### 5. Schlußfolgerung für den Zerfall und Erhalt der Malereien

Wie die Untersuchungen nachweisen, sind die heutigen Feuchteinträge in das Mauerwerk nicht mit denen zu vergleichen, wie sie zu ungünstigen Perioden vergangener Jahrhunderte oder noch vor Jahrzehnten geherrscht haben mögen.

8) Landmann Analysen

Wichtige Maßnahmen zur Verringerung der Mauerwerksfeuchten in der Vergangenheit waren:

- Die Öffnung der Erdgeschoßarkaden um 1840. Daraus resultierte eine bessere Verdunstung des kapillar aufsteigenden Wassers.
- Die Verglasung der Obergeschoßgalerie zu Anfang dieses Jahrhunderts. Dadurch wurde der Eintrag von Niederschlag durch Regen, Schnee und Kondensation in die Arkadenzwischenwand vermieden.
- Der Felseinschnitt an der Westseite des Palas in den 50er Jahren dieses Jahrhunderts. Er verhinderte das Vordringen von Sickerwasser bis an die »Sandsteinfüße« der Arkadenzwischenwand.

Trotz der heute scheinbar trockenen Situation waren aber in der Vergangenheit durch Feuchtetransporte gelöste Salze aus dem Erdreich und den Wandmaterialien in ausreichendem Maße in die Oberflächenbereiche des Mauerwerks gekommen. Die Fresken wurden sogar auf diese »versalzene« Untergründe gemalt, so daß bald die Putzschicht durchwachsen war und Schleier auf der Malerei auftraten.

Die mit Salzen belasteten Materialien sind nun entsprechend ihren Sorptionseigenschaften mit den Luftfeuchteschwankungen der Umgebung verkoppelt<sup>10)</sup>. Hier könnten sich, wenn auch in geringem Umfang, Löse- und Rekristallisationsprozesse abwechseln, welche das Material aufgrund der hohen Kristallwachstumsdrücke zermürben und in Form oberflächlich aufliegender Kristallite verschleiern. Letzte Klarheit besteht noch nicht.

Aus der gegenwärtigen Sicht scheinen solche Maßnahmen vermindernd auf den Schadfortgang zu wirken und große Luftfeuchteschwankungen im Raum zu dämpfen. Die Messungen vom WKI<sup>11)</sup> erwiesen, daß die Luftfeuchte der Räume stark vom Außenklima geprägt ist und bei der Größe der Räume, den Besucherwechseln und sonstigen baulichen Gegebenheiten kaum effektiv durch Klimatisierung stabilisiert werden kann. Andererseits bringt jeder Besucher allein durch Atmung ca. 50 g Wasser in der Stunde in die Raumluft ein. Nicht in Betracht gezogen sind dabei z. B. feuchte Kleidung an Regentagen. Diese Mengen werden z. T. über die Wände durch Sorption abgepuffert.

- In der sinnvollen Lenkung der Besucherströme und Verminderung der Besucherzahlen an den Fresken könnte also ein Faktor zur Verringerung ihrer Belastungen liegen.
- Ebenso sollten vor allem extreme Außenklimawechsel nach innen etwas »abgepuffert« werden, indem wahlweise Klappläden oder ähnliches geschlossen werden können, welche noch angebracht werden müßten. Eventuell können dichte Fenster diesen Effekt verstärken.

9) Landmann Analysen

10) Schwarz/Mehlhorn; Landmann Analysen

11) Schwarz/Mehlhorn

- Das Heizungsregime muß so geregelt werden, daß krasse Temperatur- und damit auch Luftfeuchteschwankungen vermieden werden.
- Die direkte Sonneneinwirkung auf die Freskenbereiche ist unbedingt zu vermeiden.

### **Zusammenfassung**

Nach einer jahrhundertelangen, wechselvollen Geschichte mit vielen Schadprozessen und Feuchteinträgen in die 1854/55 mit Fresken ausgestatteten Räume kann heute eingeschätzt werden, daß alle untersuchten Bereiche der Arkadenrückwand im 1. Obergeschoß, die mit Fresken bemalt sind, keine höhere Feuchte als die hygroskopische Gleichgewichtsfeuchte aufweisen. Weder auf- und absteigende, noch Kondensfeuchte spielen im Gegensatz zu früher eine Rolle.

Ersteres liegt besonders an der Korrektur der Sickerwasserführung im Hof und in der Abstellung von Baumängeln. Heutige Feuchteinträge und -transportmechanismen resultieren aus Sorption der Baumaterialien mit eingelagerten Salzen. Es ergibt sich eine enge Kopplung an die Raumklimaschwankungen, bedingt durch Außenklima, Heizung und Besucher.

Die maßgeblichen Mengen der bauschädigend wirkenden Salze sind durch Durchfeuchtungen und Löseprozesse in der gesamten Palasgeschichte an die jetzigen Oberflächenbereiche transportiert worden und haben vermutlich zusätzlich noch chemische Umsetzungen, z. B. Ca-Carbonat mit dem Schwefeldioxid der Luft zu Sulfaten, besonders zu Gips, erfahren. Die Salze beeinflussen den Feuchtegehalt der Gemäldeoberflächen nachhaltig und bewirken die heute sichtbaren Kristallisationsschäden an den Fresken<sup>12)</sup>.

---

12) zur gesamten Analyse vgl. auch: Ganß/Rönicke

