

Schadenskartierung und Maßnahmenplan für die Restaurierung des Monuments 825

Condition Assessment and Execution Plan for the Restoration of Tomb 825

Einleitung

Wenn wir den internationalen Standards moderner Restaurierung folgen wollen, muß, um das Schadensausmaß an einem Monument richtig einschätzen zu können, zu allererst vor jeder Maßnahme eine genaue Beschreibung seines Erhaltungszustands mit einer detaillierten Kartierung seiner Schäden und Verwitterungsformen anfertigt werden. Die dabei erarbeiteten Pläne und Daten enthalten die Grundinformationen, die für die Ausarbeitung des Konservierungskonzepts und des Maßnahmenplans als Arbeitsanweisung für die Restaurierung des Monumentes notwendig sind.

Fitzner und Heinrichs haben ein detailliertes Klassifizierungsschema der üblichen Verwitterungsformen entwickelt. Sie unterscheiden drei Hauptgruppen des Steinzerfalls: Ablösung von Steinmaterial, Verlust von Steinmaterial und die Bildung von Ablagerungen auf der Gesteinsoberfläche. Für Petra sind zwei weitere Gruppen hinzuzufügen: Ribbildungen im Felsen und Verwitterung von Verputz.

Für die Maßnahmenpläne, die für die Restaurierung der Grabfassaden ausgearbeitet werden, ist ein Klassifizierungsschema festgelegt worden, welches nur diejenigen Verwitterungsformen enthält, die typisch für Petra sind. Dieses Klassifizierungsschema dient nicht nur wissenschaftlichen Zwecken, sondern muß vor allem eine verständliche Grundlage für die Restaurierung der Monumente sein. Die Kartierung der Verwitterungsformen kann zum jetzigen Zeitpunkt mit größerer Genauigkeit und detaillierter als je zuvor durchgeführt werden, weil vor einer Restaurierung alle Teile einer Fassade vom Gerüst aus direkt zugänglich sind. So ist zum ersten Mal eine exakte Kartierung der Fassade des Monuments 825 durchgeführt worden, wobei die dabei angewandte Methodik als repräsentativ für die Verfahrensweise in ganz Petra angesehen werden kann, weil sie in Zukunft bei der Untersuchung aller anderen Monumente zum Einsatz kommen wird.

Das abgewandelte Klassifizierungsschema für die Verwitterungsformen in Petra

Ablösung von Steinmaterial

1. Absanden: Anwesenheit von lockeren, körnigen oder pudrigen Partikeln auf der Steinoberfläche (Farbtafel XI. 4).
2. Schuppenbildung: Ablösung von kleinen, flachen, dünnen Stücken der äußeren Gesteinsschichten oder Felsoberfläche (Farbtafel XI. 1).
3. Schalenbildung: Ablösung von großen flachen Bereichen von gewöhnlich gleicher Schichtstärke, die dem Profil der Felsoberfläche folgen (Farbtafel XI. 3).

Introduction

If we want to follow the international standards of modern restoration, the first action before the restoration of a monument must be to make an assessment of its condition with a detailed mapping of its damages and weathering forms in order to fully understand its state of deterioration. The resulting plans and data provide the basic information needed for setting up a conservation concept and preparing the execution plan which includes the operational guidelines for the actual conservation work.

Fitzner and Heinrichs have developed a detailed classification scheme of common weathering forms. They distinguish three major groups of stone decay which include detachment of stone material, loss of stone material and formation of deposits on stone surfaces. For Petra two further groups may be added: the cracking of the rock, and the decay of plasters.

For the purpose of drawing up plans of execution for the Petra façades, a classification scheme had to be established, which includes only those weathering forms that are peculiar to Petra. This classification scheme does not only serve scientific purposes, but must, at the same time, serve as an intelligible basis for the restoration of the monuments. Furthermore, mapping of the weathering forms can now be conducted with more accuracy and more detailed than ever before. This is due to the direct accessibility to all parts of a structure which is provided by the scaffolding before restoration. Thus, for the first time, an accurate map of the weathering forms encountered on the façade of Tomb 825 could be carried out, whereby the methodology used can be considered as representative for Petra and will be also used in the future for the investigations to be conducted on all other monuments.

Adapted Classification Scheme of the Weathering Forms in Petra

Detachment of Stone Material

1. Sanding: Presence of loose granular or powdery particles on the stone surface (colour plate XI. 4).
2. Flaking: Detachment of small, flat, thin pieces of the outer layers of the stone or rock surface (colour plate XI. 1).
3. Scaling: Detachment of large flat layers, usually of uniform thickness, following the profile of the rock surface (colour plate XI. 3).

4. Aufblätterung: Steinerfall in Form von dünnen, sich aufblättern den Schichten, die der natürlichen Lagerung des Gesteins entsprechen (Farbtafel XI. 5).

Verlust von Steinmaterial

1. Lochbildung durch differenzielle Erosion: Anwesenheit von kleinen Löchern in der inhomogenen Gesteinsoberfläche als Folge der unterschiedlichen Erosion bestimmter Gesteinsbereiche (Abb. 1).
2. Alveolenbildung: Aushöhlungen unterschiedlicher Größe und Tiefe, die oft ein Bienenwabenmuster bilden (Abb. 2).
3. Ausbrüche: Fehlende Gesteinsstücke bzw. Fragmente unterschiedlicher Größe. Sie sind auf mechanische Ursachen, Erdbeben, Vandalismus, Gewehrschüsse etc. zurückzuführen.
4. Absplitterung: Wegbrechen von Splittern oder Stücken von begrenzten Bereichen der Gesteinsoberfläche als Folge natürlicher Verwitterung (Farbtafel XI. 6).
5. Flächiger Abtrag (Zurückwitterung): Gradueller Materialverlust parallel zur Gesteinsoberfläche, oft besonders deutlich im Bereich von Limonitadern.
6. Auswaschungen: Ausgewitterte Partien in der Oberfläche weichen Sandsteins oder sandige Mulden, die regelmäßig vom Regen ausgewaschen werden. Sie bilden sich meist fahnenartig unterhalb von Gesimsen, entweder bedingt durch Gesimsausbrüche oder an Stellen, wo stehendes Wasser durch das Gesims langsam hindurchsickert. Durch die Feuchtigkeit wird Salz an die Oberfläche transportiert, wo es beim Auskristallisieren zur Absprengung von Gesteinspartikeln führt, die durch das Regenwasser dann weggeschwemmt werden.
7. Fehlende Vierungen (Werksteine): In die Fassade eingesetzte Werkstücke, die durch ihren Abgang eine Lücke hinterlassen haben (vgl. S. 100, Abb. 21).

Bildung von Ablagerungen auf der Gesteinsoberfläche

1. Salzausblühungen: Weißliche, lockere Ablagerungen löslicher Salze auf der Oberfläche (Abb. 3).
2. Krustenbildung: Harte, dünne Schichten, die fest mit der Gesteinsoberfläche verbunden sind und durch Auslösung bestimmter Gesteinskomponenten gebildet werden (Bindemittel, Salze oder andere Gesteinssubstanzen).
3. Salzkrusten: Harte farblose oder weiße Krusten auf der Gesteinsoberfläche, die durch Salze gebildet werden (Abb. 4).
4. Mikrobiologischer Befall: Vorhandensein lebender oder abgestorbener Mikroorganismen wie Algen, Flechten, Moose oder Pilze auf der Gesteinsoberfläche.
5. Bewuchs: Pflanzenwachstum in Spalten, Rissen oder auf horizontalen Oberflächen.
6. Besiedlung durch Insekten: Kleine Nester, die im allgemeinen von Insekten in Ecken der Architektur, Löchern oder Ausbrüchen des Gesteins gebildet werden (Abb. 5).
7. Ruß: Kompakte schwarze Schicht, die durch Raucheinwirkung verursacht wird (Abb. 6).
8. Vogelkot.
9. Graffiti: Kritzeleien auf dem Fels oder den Architekturoberflächen, die auf Vandalismus oder moderne Neunutzung zurückzuführen sind.
10. Verschmutzung: Staub- und Sandablagerungen.

4. Exfoliation: Degradation of stone into thin separated layers following the bedding planes of the rock, sometimes referred to as the 'bedding problem' (colour plate XI. 5).

Loss of Stone Material

1. Pitting: Presence of small cavities in the non-homogeneous stone surface, which is a result of different rates of erosion of discrete parts of stone (fig. 1).
2. Alveolar weathering: Presence of alveoli (cavities) of various sizes commonly in a honeycomb pattern (fig. 2).
3. Outbreaks: Missing stone pieces or compact fragments of different sizes. They occur due to mechanical causes, vandalism, gunshots, etc.
4. Spalling: Breaking away of stone pieces or chunks in the masonry surface due to natural weathering in a localized area (colour plate XI. 6).
5. Backweathering: Gradual loss of stone material parallel to the stone surface or profile, often prominent in places where there are limonite veins.
6. Washouts: Eroded parts of the rock surface of soft sandstone material or sandy pockets which are regularly washed by rain. In most cases these flag-shaped washouts are found underneath the cornices, due to cracks or break-outs in the cornice, or in places, where standing water is slowly seeping through the cornice. Humidity accelerates the transport of salts to the surface, where the crystallization process leads to outbursts of stone particles, which will then easily be washed away by the forthcoming rainfalls.
7. Missing insets: Original stone insets of the carved façade that have been lost leaving a cavity (see p. 100, fig. 21).

Formation of Deposits on the Stone Surface

1. Salt efflorescence: Existence of whitish deposits of loosely attached soluble salts on a surface (fig. 3).
2. Surface crust: A hard thin skin which is strongly attached to the masonry surface, formed through leaching out of the internal components of the stone (cementing material, salts or other substances within the stone).
3. Salt crusts: A type of surface crust in the form of a solid layer of colourless or white salt (fig. 4).
4. Microbiological deterioration: Presence of living or decayed micro-organisms such as algae, lichens, moss and fungi on the stone surface.
5. Vegetation: Growth of plants in joints, cracks or flat surfaces of masonry due to the presence of moisture.
6. Insect colonization: Presence of small nests built by insects commonly found in stone corners or as infestations in the sandstone (fig. 5).
7. Soot: Compact black coloured layer caused by pollutants (fig. 6).
8. Bird droppings.
9. Graffiti: Non-original paint scratches on the rock or walls caused by vandalism or modern re-use.
10. Soiling: Accumulation of dust and mud.



Abb. 1. Lochbildung durch differentielle Erosion
 Fig. 1. Pitting

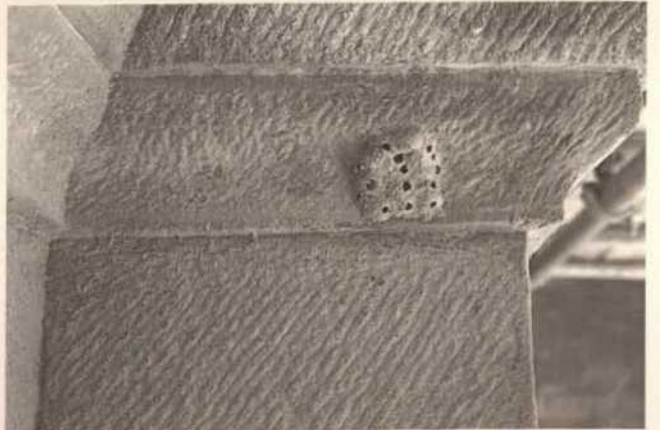
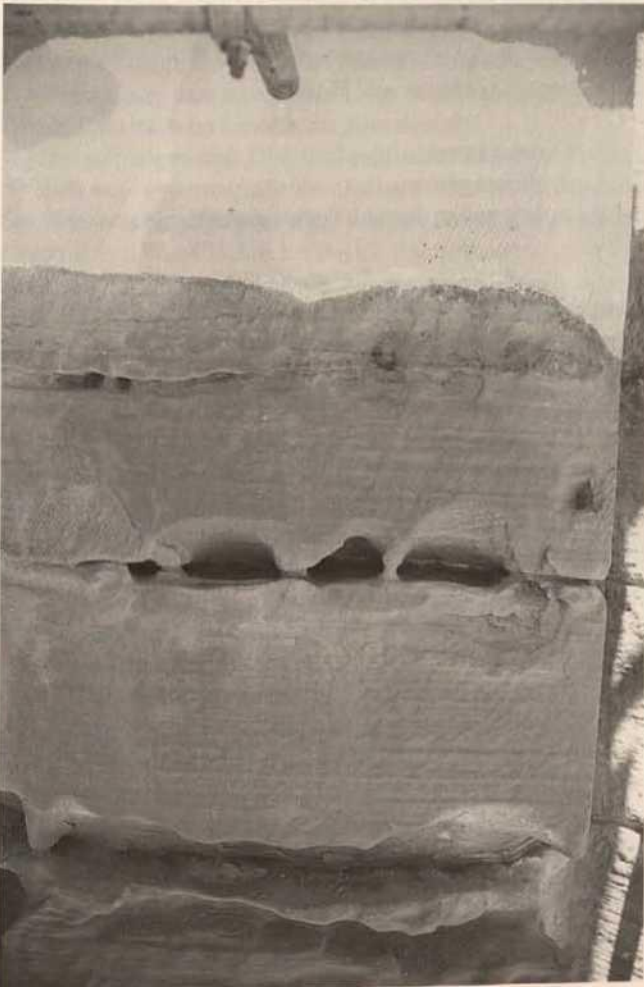


Abb. 3. Salzausblühung
 Fig. 3. Salt efflorescence

Abb. 4. Salzkruste unterhalb des Felsüberhangs
 Fig. 4. Salt crust beneath the rocky cliff

Abb. 5. Besiedlung durch Insekten
 Fig. 5. Insect colonization

Abb. 2. Alveolenbildung
 Fig. 2. Alveolar weathering



3

4

5

Rißbildung

1. Risse (Abb. 7): Deutlich sichtbare Frakturen im Stein, die physikalische Ursachen wie Witterungseinflüsse oder Temperaturschwankungen haben. Es werden zwei Arten von Rissen unterschieden:
 - a) Feine Risse: Dünne Linien (weniger als 1,5 mm) in der Gesteinsoberfläche.
 - b) Grobe Risse: Risse, die breiter als 1,5 mm sind.
2. Klüfte: Spalten, die durch Spannungen im Fels verursacht sind und keine Niveauunterschiede der Rißkanten aufweisen (S. 66, Abb. 1).
3. Verwerfungen: Frakturen oder Frakturzonen im Felsen, bei welchen die beiden Seiten gegeneinander verschoben sind.



Abb. 6. Ruß / Fig. 6. Soot

Zerfall von Mörteln und Verputz

1. Ablösung von Verputz.
2. Mörtelzerfall.
3. Zersetzung von Mörtel durch biogenen Befall.

Der allgemeine Erhaltungszustand des Grabmonuments und die wichtigsten Verwitterungsformen

Die Kartierung und Kennzeichnung der Verwitterungsformen an der Fassade des Grabmonuments 825 (Farbtafel XII) zeigt, daß nahezu ein Drittel der Gesteinsoberfläche als intakt bezeichnet werden kann und daß sich originale Oberflächen, in denen auch noch die Bearbeitungsspuren der Steinmetze deutlich erkennbar sind, hauptsächlich in den geschützten Bereichen befinden.

Wasser und Feuchtigkeit im Felsen können als Hauptursache der Witterungsschäden an der Fassade betrachtet werden (Abb. 8), da die Schäden bezeichnenderweise vor allem in Bereichen festzustellen sind, die einen vergleichsweise hohen Wassergehalt aufweisen. Dies wird besonders im unteren Teil der Fassade deutlich, wo die Wasserabsorption durch aufsteigende Feuchtigkeit erhöht ist. In Anbetracht der Tatsache, daß die Fassade Teil eines ganzen Berges ist, gestaltet sich die Aufgabe, diese Feuchtigkeit und den dadurch bedingten Salztransport zu kontrollieren, sehr schwierig.

Zerstörte Bereiche können oft auch unterhalb vorspringender Architekturelemente, zum Beispiel schadhafter Gesimse, beobachtet werden, auf denen während der regnerischen Winterzeit Wasseransammlungen zurückbleiben, die langsam durch den Stein sickern und Schäden an den Gesimsen selbst als auch an den darunterliegenden Fassadenflächen verursachen. Um solche Schäden zu vermeiden, haben die Nabatäer Maßnahmen ergriffen, das Regenwasser abzuleiten: So sind die Oberflächen von Gesimsen, Giebeln und Zinnen zum Beispiel leicht abgeschrägt, um den Stau von Wasser zu vermeiden und manchmal mit einem Abdeckmörtel versehen. Diese Wasserableitung half, die darunter befindlichen vertikalen Fassadenflächen zu schützen und in dem relativ guten Zustand, in dem sie sich oft heute noch befinden, zu erhalten. Wegen des Mangels an Erhaltungs- und Unterhaltsmaßnahmen sind diese schützenden Elemente heute jedoch durch Auswaschungen, Ausbrüche oder Absplitterungen vielfach zerstört.

Es gibt zwei große, durch das Monument laufende Verwerfungen: Die eine zieht sich von oben bis unten durch die Mitte der Fassade, während sich die andere neben der linken oberen Kante

Cracking

1. Cracks (fig. 7): An identifiable fracture in the stone which occurs as a result of physical weathering such as temperature changes within the stone. There are two types of cracks:
 - a) Slight cracks: Narrow thin lines (less than 1.5 mm) of fractures seen on the stone surface.
 - b) Severe cracks: Cracks that are more than 1.5 mm wide.
2. Joints: A usually plane surface of parting produced by stresses imposed on the rock without displacement (see p. 66, fig. 1).
3. Faults: A fracture or zone of fractures in the rock, in which one side of the fracture is displaced relative to the other side.

Deterioration of Mortar and Plaster

1. Plaster detachment.
2. Mortar disintegration.
3. Mortar infestation due to biogenic growth.

General Condition of the Tomb and the Major Weathering Forms

Mapping and outlining of the weathering forms of the façade of Tomb 825 (colour plate XII) shows that nearly one third of the stone surface can be considered intact. It further illustrates that original stone surfaces can primarily be found in protected areas where masons' tool marks can still be clearly seen.

Water and humidity within the rock can be considered as the major causes for weathering of the façade (fig. 8), where deterioration typically occurs in areas of the rock which have a relatively high water content. This is significantly marked on the lower part of the façade where water absorption is enhanced by capillary action. Due to the fact that the façade is actually part of a whole mountain, the task of controlling this kind of water and salt movement becomes difficult.

Deteriorated areas can also be noticed on and below protruding architectural elements such as damaged cornices. In fact, puddles of water can form during the rainy winter seasons and water can slowly penetrate the stone elements, causing damage to the cornices and to the façade surfaces below. In order to avoid such damages, the Nabataeans implemented measures

befindet. Die letztere wirkt wie ein Kanal, der das Einsickern von Wasser in die Fassadenoberfläche begünstigt und den Felsen auf dieser Seite stark durchfeuchtet (Abb. 10). Offensichtlich waren sich die Nabatäer dieses Problems, das für die Schwächung des Steinmaterials verantwortlich ist, bewußt. Sie vermieden es, an dieser Seite der Fassade die Architekturformen aus dem Fels herauszumeißeln und setzten stattdessen Werkstücke für den Aufbau der beiden Pilaster ein. Die hohe Feuchtigkeit beschleunigte jedoch trotzdem die Verwitterung des Steins, mit der Zeit auch den Zerfall des Setzmörtels und damit den Ausbruch der Werkstücke, so daß heute nur noch die Ausmeißelungen, in welche sie eingesetzt waren, zurückgeblieben sind.

Flächiger Abtrag, d.h. Zurückwitterung bei welcher das Steinmaterial parallel zur Oberfläche verlorengeht, ist eine der Hauptverwitterungsformen. Dieser Vorgang ist im unteren Teil des Monuments infolge von Wassereinwirkung und aufsteigender Feuchtigkeit zu beobachten, kommt aber auch in den oberen Partien des Monuments infolge der Wasserabsorption in den porösen Limonitadern, die den Sandstein durchziehen, vor. Tatsächlich ist die Beschaffenheit der Bestandteile des Sandsteins von Petra ein großes, dem Fels eigenes Problem. Besonders Limonit¹ ist in hohem Maße Wasser absorbierend und dadurch häufig die Ursache gravierender Schäden (Farbtafel XI. 2). Besonders im unteren Bereich der Fassade hat Limonit zu fortgeschrittener Alveolarverwitterung geführt. Außerdem können die im Natursandstein vorhandenen Salze in dem durch den Fels sickern Wasser in Lösung übergehen. Wenn das Wasser bei hohen Außentemperaturen und relativ niedriger Luftfeuchtigkeit aus dem Fels verdunstet, kristallisieren die mitgeführten Salze an der Oberfläche aus, wo sie als helle Ausblühungen zurückbleiben. Bei der Kristallisation der Salze werden kleine Partikel des Kornverbandes abgesprengt. So führt die Salzkristallisation bei vielfacher Wiederholung dieses Prozesses zur Absandung und zum Verlust der Steinoberfläche. Dieser Prozeß läuft auch im Inneren der Alveolen ab.

Auswaschungen und Oberflächenkrusten finden sich hauptsächlich auf- und unterhalb der Gesimse oder des Giebels, wo das Wasser nicht abgeleitet wird, sondern über die Architekturelemente und Wandflächen herabläuft. Ablagerungen von Staub, Sand und Erdreich bedecken alle horizontalen Elemente. Insektenkolonien, welche die gleiche Farbe wie der Sandstein haben, gibt es an verschiedenen Stellen. Sie sind aber nicht mehr von lebenden Organismen besiedelt. Alle diese Ablagerungen auf der Steinoberfläche der Fassade einschließlich der Salzausblühungen und Krusten, dem mikrobiologischen Befall und Pflanzenwuchs, Vogelkot und Verschmutzung lösen chemische Prozesse aus, welche die Steinoberfläche zerstören.

Restaurierungsmaßnahmen an der Fassade von Monument 825

Um die Schäden, die durch Wasser verursacht werden, so weit als möglich herabzusetzen, muß verhindert werden, daß Wasser in die Fassade eindringen und sich auf ihren architektonischen Elementen ansammeln kann. Die Ausbildung einer Tropfkante am oberen Rand des natürlichen Felsüberhanges wird dazu beitragen, einen Teil des Niederschlagswassers von der Fassade fernzuhalten, während eine Ableitung des Wassers von allen vorspringenden horizontalen Architekturelementen durch den Auftrag eines Abdeckmörtels mit leichter Böschung erreicht wird.

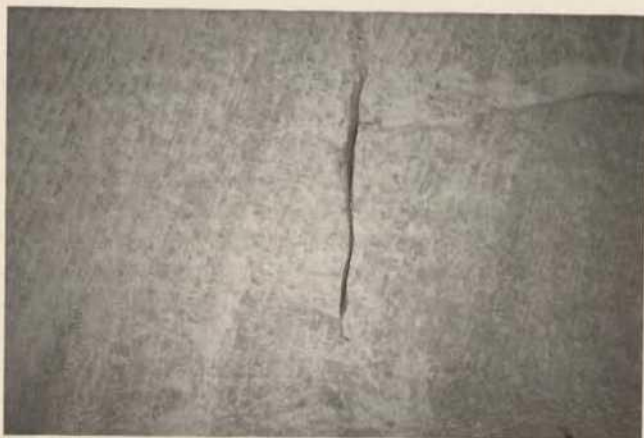


Abb. 7. Riß / Fig. 7. Fissure

which helped drain rainwater away: of these, we notice that the tops of cornices, pediments and crowsteps were slightly sloped in order to prevent the stagnation of water. Sometimes they were also covered with protective mortar. The draining away of water helped protect the vertical stone surfaces below and kept them in the relatively good condition that they are today. Nevertheless, due to the lack of maintenance and preservation measures, such protective elements have now greatly deteriorated where some are washed out, while others are broken or chipped off.

There are two major faults which run through the monument: one can be recognized in the middle of the façade, from the top part all the way down to the lower level, while the other is found along the left corner (fig. 10). The latter, in fact, forms a channel which in turn enhances water percolation on the façade surface, making the rock on that side very humid and highly moist. Apparently, the Nabataeans were aware of this problem which has been responsible for making the stone material fairly weak. Thus, they avoided carving the forms they designed on that side of the façade, and instead, used stone insets to build up the two pilasters that are now missing. Nevertheless, the humid conditions helped to accelerate the weathering of the stone, and, with time, caused the mortar to disintegrate and the insets to break off, leaving only the cavities in which they were inserted.

Backweathering can be noted as a major weathering form, where the stone material is lost parallel to the stone surface. This phenomenon occurs at the lower part of the monument as a result of water flooding and capillary action. It can also be seen along the upper parts of the monument due to the absorption of water in the porous limonite veins present in the sandstone material. Actually, the nature of the components of the Petra sandstone is a major inherent problem in the rock. Limonite¹, in particular, is highly water-absorbent, and thus, can lead to more advanced deterioration types (colour plate XI. 2). Particularly, where limonite is found at the lower part of the façade, it has caused a highly advanced stage of alveolar weathering. Moreover, since salts are contained in the natural sandstone, they can be dissolved in the precipitated water within the rock. When water evaporates as a result of high air temperatures and low relative humidity, these salts crystallize on the surface, forming efflorescence. Crystallization of salts causes the detachment of stone particles of the surface. Frequent repetition of this process further leads to granular disintegration and the total loss of the original stone surface. This process also occurs inside the alveoles.

Dem Prinzip des geringstmöglichen Eingriffs folgend, wurden umfangreichere Restaurierungsmaßnahmen nur in den zerstörten Bereichen der oberen, besser erhaltenen Fassadenhälfte durchgeführt, um den notwendigen Schutz vor weiterer Zerstörung zu gewährleisten. Der untere, wesentlich mehr zerstörte Teil, wurde großenteils in seinem angetroffenen Zustand belassen. Außerdem ist der untere Fassadenteil lange Zeit, hauptsächlich bedingt durch aufsteigende Feuchtigkeit, schwerwiegender Verwitterung ausgesetzt gewesen. Eine Festigung dieser Bereiche würde das Problem nicht lösen. Der Einsatz von Steinfestigern – wenn er in diesem feuchten und versalzten Bereich überhaupt möglich wäre – könnte im Gegenteil nur zusätzliche Schäden verursachen. Wenn nur die äußere Schicht des Steins von dem Steinfestiger durchdrungen würde, könnte sie dichter und weniger dampfdurchlässig als das weiter innen liegende Gestein werden und so eine harte Schale bilden, die sich möglicherweise ablösen und gravierendere Schäden als die bereits bestehenden verursachen könnte. Darüber hinaus gibt es im unteren Fassadenbereich keine formalen Anhaltspunkte für rekonstruktive Ergänzungen mehr, die im übrigen nach Möglichkeit ohnehin vermieden werden, wenn sie nicht konservatorisch zu begründen sind.

Es war hingegen notwendig, kompatible Materialien zur Schließung von Rissen und Alveolen sowie zur Abdeckung horizontaler Architekturelemente einzuführen, um das weitere Eindringen von Wasser in die Fassade zu verhindern. Grundsätzlich wurden nur mineralische Materialien wegen ihrer Ähnlichkeit und Verträglichkeit mit dem Naturstein gewählt².

Der Maßnahmenplan für die Restaurierung des Monuments 825

Auf dem Maßnahmen- oder Ausführungsplan, der auf der Schadenskartierung basiert, sind Maßnahmen eingetragen, die ergriffen werden müssen, um die Ursachen der Schäden zu verringern und den Verfallsprozeß zu verlangsamen. Für jede Form der Verwitterung ist, der Eigenart und dem Ausmaß des Schadens entsprechend, eine entsprechende Restaurierungsmaßnahme eingezeichnet (Farbtafel XIII). Der Maßnahmenplan berücksichtigt das vorher vereinbarte Restaurierungskonzept, welches die Erhaltung der historischen Substanz zum Ziel hat und legt fest, wo Restaurierungsmaterialien verwendet werden sollen und welche Maßnahmen zu ergreifen sind. Das eingesetzte Material ist mit dem Sandstein von Petra kompatibel und seine Anwendung auf Bereiche beschränkt, in denen es aus konservatorischen Gründen als notwendig erachtet wurde.

Im wesentlichen wurden die folgenden Maßnahmen durchgeführt:

- Reinigung, d. h. Entfernung von Krusten, von Ablagerungen aus Staub und Erdreich auf allen vorspringenden Architekturelementen, von mikrobiologischem Befall und Bewuchs, von Salzkrusten, Ausblühungen und Vogelkot.
- Entsalzung, vor allem in Fehlstellen, wo dieses vor dem Antrag des Reparaturmörtels notwendig war.
- Verfüllung und Ausbesserung mit Mörtel als Ersatz verlorengegangenen Steinmaterials, z. B. in Mulden, Rissen, Alveolen, zurückgewitterten Limonitadern, Ausbrüchen etc., um eine geschlossene Oberfläche zu schaffen und auf diese Weise das Eindringen von Wasser zu verhindern.
- Steinfestigung, hauptsächlich als Haftbrücke für den Kiesel- solmörtel, d. h. dort wo verfüllt werden mußte.

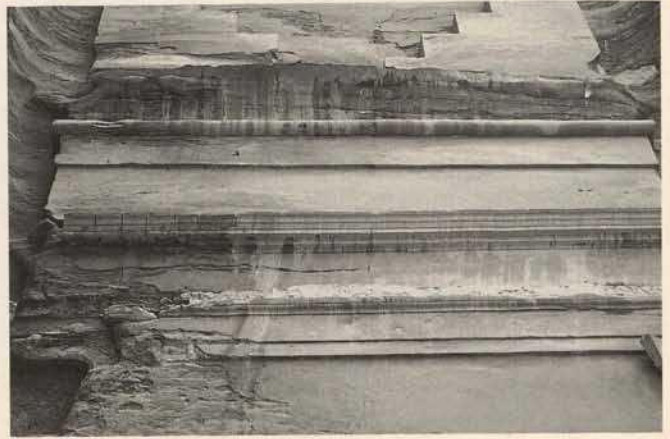


Abb. 8. Wasserschäden durch Sickerwasser

Fig. 8. Damages caused by intruding water

Washouts and surface crusts are mainly found on and below the cornices and the pediment where water is not diverted away, but runs down along the architectural elements and the surface of the façade below. Soiling is found as the accumulation of dust and dirt on horizontal elements. Insect colonization has been found at various areas of the façade. These colonies have the colour of the sandstone itself, and do not contain living organisms any more. All these deposits found on the surface of this façade, in addition to microbiological and vegetation growth, bird droppings and soiling, result in chemical processes that cause the stone surface to decay.

Intervention Approach on Tomb 825

In order to minimize damages caused by water as much as possible, it is necessary to prevent water from penetrating into the façade and from collecting on its elements and surfaces. The introduction of a drip along the upper part of the natural rock will help drain rainwater away from the façade, while the draining of water from horizontal architectural elements is achieved by applying protective mortar with a slight slope.

Considering the concept of minimal intervention, major execution work was only be conducted on deteriorated areas of the better preserved upper part of the façade to assure the necessary protection. The lower, more deteriorated part will be preserved in its 'as found' condition. Due to the activity of capillary water, the lower part of the façade has undergone severe weathering over a long period of time. Consolidating this part would not eliminate the problem. The use of consolidants, if at all possible in that humid and salt-penetrated area, could only cause additional damages. If only the outer surface of the stone would be penetrated by the consolidant it would become more dense and less porous in comparison with the untouched inner strata and form a hard scale which could detach thus causing even more severe damages than already existent. There is moreover no formal evidence for complementary reconstruction, which should be avoided anyhow when it does not provide further protection. On the other hand, it was of course necessary to introduce compatible materials for filling the cracks and alveoles and for covering horizontal elements in order to prevent further water penetration. Silicic materials were chosen throughout because of their similarity and compatibility with the natural stone².



Abb. 9. Zustand des oberen Gesimses

Fig. 9. Condition of upper cornice

- Injektionen, die eine flüssige Variante des Reparaturmörtels erfordern, wurden zum Hinterfüllen abgelöster Oberflächenbereiche wie Schalen oder Aufblätterungen verwendet.
- Aufbringung von Abdeckmörteln auf vorspringenden horizontalen Architekturelementen, um das Niederschlagswasser abzuleiten; eine Methode, die auch die Nabatäer verwendet haben, wie bei anderen Monumenten, z. B. dem Turkmaniyya Grab (Nr. 633), beobachtet werden kann.

Das ursprünglich weit vorkragende Cavetto Gesims, ein wichtiges Element der Architektur, ist in hohem Grade zerstört, so daß es seine wasserableitende Funktion vollständig verloren hat (Abb. 9). Dennoch sind die unmittelbar darunter liegenden Partien der Fassade in einem eher guten Zustand erhalten. Diese Tatsache läßt den Schluß zu, daß das Gesims für den Erhaltungszustand der darunter liegenden Wandfläche in diesem Fall nicht entscheidend gewesen sein kann. So wurde, um der ungestörten Authentizität willen, für eine Erhaltung in der reduzierten Form entschieden. Eine Rekonstruktion hätte zudem nur unter schwerwiegendem Verlust noch vorhandener Originalsubstanz vorgenommen werden können. Um die bestehende Situation aber zu verbessern, wird auf den Rest des Gesimses ein Abdeckmörtel mit steilem Neigungswinkel aufgebracht, um den Abfluß von Wasser über die zerstörte Gesimskante möglichst zu beschleunigen.

The execution plan, which is based on the damage assessment, consists of measures that are to be taken in order to minimize deterioration causes and slow down further decay. On the basis of each weathering form, a certain appropriate measure is specified according to the type and intensity of the damage (colour plate XIII). The execution plan takes into account the basic agreed-upon conservation concept, which aims at the preservation of the historical evidence. The plan also indicates where restoration materials are to be used and which restoration measures should be taken. The introduced material is compatible with the nature of the Petra sandstone and its application was limited to areas where it was deemed necessary for the sake of conservation.

The major interventions included:

- Cleaning, i. e. removal of crusts, soil and dust deposits accumulated on top of architectural elements, microbiological growth and vegetation, salt crusts, salt efflorescence, and bird droppings.
- Salt extraction, above all only in caverns where it was necessary before the application of repair mortar.
- Filling and patching with mortar as a substitute for lost stone material, i. e. in cavities, cracks, alveoles, receding limonite veins, outbreaks, etc., in order to create a plane surface, which can prevent the penetration of water.
- Consolidation mainly as an adhesive bridge for the silica sol mortar in areas where filling was found to be necessary.
- Injections, which require a liquidized type of the same repair mortar, to fix detached stone surfaces, particularly scales and exfoliated stone layers.
- Application of protective mortar on top of protruding horizontal architectural elements in order to drain away the rainwater, a technique already implemented by the Nabataeans, as can be seen on other monuments such as Turkmaniyya Tomb (No. 633).

The cavetto cornice, an important element of the architecture and formerly – as still can be seen – considerably protruding, is now highly deteriorated so that it has lost its protective function (fig. 9). Despite of this fact the parts of the façade directly below are in a rather good condition. This allows to assume that in this decisive case it seems to have not been relevant for the state of preservation of the surface below. So it was decided to preserve the actual reduced situation for the sake of unimpaired authenticity. A reconstruction moreover could have been realized only with severe loss of still existing original substance. But to improve the present situation a protective mortar with a relatively steep inclination will be applied on the top of the ruined cornice with the scope to discharge water more rapidly across its damaged edge.

Anmerkungen

- 1 Die Formel von Limonit ist $\text{FeO(OH)} \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Es ist ein wasserhaltiges Eisenoxid, das in verschiedenen Modifikationen, Goethit oder Lepidocrocit, vorliegen kann. Limonit ergibt ein gelbes Ockerpigment, wenn es mit Ton vermischt ist. Limonit kommt in lockerer, poröser Form als auch in kompakter, faseriger Struktur vor.
- 2 MICHAEL KÜHLENTHAL, *Die Restaurierung des Monuments 825, eine Fallstudie*, in diesem Arbeitsheft.

Notes

- 1 Limonite has the composition: $\text{FeO(OH)} \cdot n\text{H}_2\text{O}$. It is a hydrous iron oxide that is made up of varying mixtures of the goethite and lepidocrocite minerals. It forms the yellow ochre pigment when mixed with clay. Limonite occurs in a loose, porous form and also in compact varieties with a fibrous structure.
- 2 MICHAEL KÜHLENTHAL, 'The Restoration of Tomb 825, a Case Study', in this publication.

Literatur

- W. A. DEER/R. A. HOWIE/J. ZUSSMAN, *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*, Essex 1978
- B. FITZNER, *Mapping, Measurements and Microstructure Analysis-Combined Investigation for the Characterization of Deteriorated Natural Stones*, Community of Mediterranean Universities, University School Monument Conservation
- B. FITZNER/K. HEINRICHS, *Classification and Mapping of Weathering Forms*, Proceedings of the 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Lissabon: Laboratorio Nacional de Engenharia Civil 1992
- B. FITZNER/K. HEINRICHS, *Damage Diagnosis at Monuments Carved from Bedrocks in Petra, Jordan*, in: *The Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*, Proceedings of the 3rd International Symposium, Venice 22–25 June 1994
- L. LAZZARINI/M. L. TABASSO, *La restauration de la pierre*, Padua Cedam 1986
- M. LONDON, *Respectful Rehabilitation: Masonry*, Washington D.C. 1988

Übersetzung aus dem Englischen ins Deutsche von Anna Wolsey

Abbildungsnachweis

- EGON KAISER, OBERSCHEINFELD: *Abb. 2*
- MICHAEL KÜHLENTHAL, MÜNCHEN: *Abb. 3–5, 8, 10*
- MAY SHAER/ZAKI ASLAN, AMMAN: *Abb. 1, 6, 7, 9*



Literature

- W. A. DEER/R. A. HOWIE/J. ZUSSMAN, *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*, Essex, 1978
- B. FITZNER, *Mapping, Measurements and Microstructure Analysis-Combined Investigation for the Characterization of Deteriorated Natural Stones*, Community of Mediterranean Universities, University School Monument Conservation
- B. FITZNER/K. HEINRICHS, *Classification and Mapping of Weathering Forms*, Proceedings of the 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Lisbon, Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, 1992
- B. FITZNER/K. HEINRICHS, 'Damage Diagnosis at Monuments Carved from Bedrocks in Petra, Jordan', *The Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*, Proceedings of the 3rd International Symposium, Venice, 22–25 June 1994
- L. LAZZARINI/M. L. TABASSO, *La restauration de la pierre*, Padova Cedam, 1986
- M. LONDON, *Respectful Rehabilitation: Masonry*, Washington D.C., 1988

Photo Credits

- EGON KAISER, OBERSCHEINFELD: *Fig. 2*
- MICHAEL KÜHLENTHAL, MUNICH: *Figs. 3–5, 8, 10*
- MAY SHAER/ZAKI ASLAN, AMMAN: *Figs. 1, 6, 7, 9*

Abb. 10. Nordseite des inneren Siq. Durch die Schlucht zwischen dem Berghang und den vorgelagerten Felspartien wird Wasser in das am rechten Bildrand befindliche Monument 825 geführt

Fig. 10. North side of the inner Siq. Through the gorge between the mountain side and the rocky ledges water reaches Tomb 825