

## Die Restaurierung des Monuments 825, eine Fallstudie

### *The Restoration of Tomb 825, a Case Study*

#### Die Situation

Das Hauptproblem bei der Durchführung der Restaurierungsarbeiten in Petra besteht darin, daß in Jordanien keine dafür qualifizierten Arbeitskräfte zur Verfügung stehen. In Deutschland kämen für Restaurierungsarbeiten an einem hochrangigen Weltkulturdenkmal nur die qualifiziertesten Restauratoren ihres Faches zum Einsatz. In Jordanien muß mit lokalen Kräften gearbeitet werden, weil es keine Alternative gibt. So wurde eine kleine Mannschaft von fünf Beduinen ausgewählt, Abdallah Aid, Djuma Gublan, Abed Hammad, Abdallah Nueja und Lafi Salem, die über einen längeren Zeitraum hin Interesse an den Restaurierungsarbeiten gezeigt haben, die im Rahmen der Vorauswahl als geeignet befunden wurden und nach der Institutionalisierung des Conservation and Restoration Centers in Petra auch fest eingestellt werden wollen. Sie haben die Technologie der Arbeitsschritte sehr rasch aufgenommen und eine gewisse Handfertigkeit in der Antragung des Reparaturmörtels entwickelt, die zu einem relativ selbständigen Arbeitsrhythmus führte. Dennoch bedürfen sie, und das ist ganz natürlich, auch nach ihrer Einweisung in die verschiedenen Arbeitsschritte dauernder Anleitung und Beaufsichtigung, weil, auch natürlicherweise, bei der Ausführung immer derselben Arbeitsschritte bei den an eine solche Arbeitsleistung nicht gewöhnten Beduinen Ermüdungserscheinungen und Flüchtigkeiten auftreten, so daß stets Korrekturen und auch neue Motivation erforderlich sind.

Die Beduinen, die ursprünglich in den Monumenten und Höhlen der archäologischen Stätten gewohnt hatten und erst vor etwa fünfzehn Jahren in ein von der Regierung errichtetes Dorf oberhalb Petras ausgesiedelt wurden, zeigten nicht nur unter den Jordaniern, sondern auch im Vergleich zu der ortsansässigen Bevölkerung von Wadi Musa die größte Verbundenheit mit Petra und sind deshalb auch geneigt, sich für ihre unmittelbare Heimat einzusetzen. Die Beschäftigung dieser Beduinen als lokale Kräfte bedeutet daher gleichzeitig eine Verankerung der Erhaltungsidee in der Bevölkerung.

Da in Jordanien – ja im ganzen Mittleren Osten – kein Steinrestaurator zur Verfügung steht und vorläufig auch niemand gefunden werden konnte, der bereit gewesen wäre, eine mindestens zweijährige Ausbildung – geschweige denn ein Vollstudium – in Deutschland zu absolvieren, mußte die Ausbildung mit Hilfe deutscher Fachleute nach Jordanien verlagert werden. Deswegen wurde mit den Fachhochschulen in Potsdam und Köln eine Zusammenarbeit projektiert, die sowohl für die Studenten als auch für das Projekt von Vorteil ist und vor allem den Monumenten zugute kommt. Die Studenten arbeiten im vorgesehenen Praxissemester während ihres Studiums oder auch nach Abschluß des Studiums vor dem Berufseinstieg ein halbes Jahr gegen Ersatz der Unkosten und für ein, im Vergleich zu den Stundensätzen eines ausgebildeten Restaurators, relativ bescheidenes Honorar in Petra, um mit der Bewältigung einer anspruchsvollen Aufgabe an einem bedeutenden Weltkulturdenk-

#### The Situation

One of the major problems in dealing with the execution of restoration work in Petra is the fact that there are no trained craftsmen for that specific purpose in Jordan. In Germany only the most qualified restorers would be entrusted with the restoration of a World Heritage Monument. In Jordan local, untrained workers must be engaged since there are no alternatives. Therefore, a group of five Bedouins, Abdallah Aid, Djuma Gublan, Abed Hammad, Abdallah Nueja and Lafi Salem, who had shown interest in restoration work over a longer period of time and who were judged as competent, were selected to be trained as craftsmen. In the longrun, once the Conservation and Restoration Center in Petra is institutionalized, they will become permanent employees of the Center. The Bedouins were able to grasp the technological aspect of the work procedure and quickly developed a certain dexterity in the application of the repair mortar which led them to develop a relatively independent work routine. Nevertheless, even after training, constant guidance and supervision is required. After continuously performing the same steps, the Bedouins, who are not accustomed to such work, quite naturally show signs of fatigue and fleetingness and therefore need to be corrected and repeatedly motivated.

The local Bedouins, originally inhabited the monuments and caves of the archaeological site and were later settled in a village above Petra constructed by the government only about fifteen years ago. So because of their deep-rooted attachments to Petra, they are more committed than other Jordanians, including the inhabitants of Wadi Musa, to preserve their homeland. The employment of the Bedouins therefore means at the same time to establish the idea of preservation within the local community.

A second problem to be faced was the fact that no stone restorer could be found neither in Jordan, nor elsewhere in the Middle East. In addition to this, no one could be located who was willing to undergo the minimal two-year training program, not to mention a complete course of studies in Germany. Since training in Germany was not an option, it had to be transferred to Jordan. For this reason, a cooperation was established with the technical colleges in Potsdam and Cologne, which would be of benefit to the students, the project, and especially the monuments. Either during their mandatory practical semester or after completion of their studies and prior to entering the job market, students are given the chance to gain six months of experience abroad, while working on the challenging task of restoring a World Heritage Site. In return, their expenses are covered and they receive a modest salary. The mandatory practical semester must be accomplished during the third year in college. Including two or three years of training requested before entering the college these students have been active in the field of stone restoration for at least four to five years. They can therefore be of considerable help to the project and draw professional profit from it in return. Thereby it was possible to establish continuous super-



mal Auslandserfahrung zu sammeln. Das Praxissemester liegt am Beginn des dritten Studienjahres, so daß diese Studenten, einschließlich eines vor dem Studium liegenden Praktikums, bereits vier bis fünf Jahre in der Steinrestaurierung tätig sind. Für die Studenten bedeutet dies den Zugewinn einer wertvollen Erfahrung und für das Projekt eine finanzierbare fachliche Anleitung und Beaufsichtigung. Auf diese Weise konnte eine kontinuierliche Betreuung mit dem Ziel aufgebaut werden, die jordanischen Mitarbeiter bis zur selbständigen Bewältigung der Aufgaben fortzubilden. Es sei hier nur angemerkt, daß außer den Beduinen natürlich auch weiteres jordanisches Personal fortgebildet wurde – wie v. a. Architekten für die Planung, Dokumentation, Vermessung, Schadenserfassung etc. –, die künftig die Aufgaben des Denkmalpflegers im weitesten Sinne wahrnehmen werden und darüber hinaus auch selbst praktisch tätig sind. Zudem wurde von deutscher Seite auch die gesamte Ausrüstung geliefert, die zur Durchführung der Restaurierungsarbeiten erforderlich ist.

### Die Arbeitsumstände

Entsprechend der gesamten Situation ist auch die Einrichtung einer Baustelle in Petra komplizierter und der Betrieb zeitaufwendiger als bei den üblichen Baustellen, weil viele Monumente schwer zugänglich sind, kein elektrischer Strom und auch manche anderen Annehmlichkeiten nicht vorhanden sind. Strom muß durch einen Generator erzeugt werden, die Restaurierungsmaterialien und -gerätschaften stehen auf der Ladefläche eines LKW und werden so tagtäglich zwischen der Garage und der Baustelle hin und her transportiert (Farbtafel XVI. 1). Wenn kein Mitarbeiter oder Fahrer zur Verfügung steht, der den LKW fahren kann, müssen sie vor Ort bleiben und auf dem Gerüst oder in der Grabkammer allabendlich sichergestellt werden, um am nächsten Morgen wieder hervorgeholt, neu aufgestellt und in Betrieb genommen werden zu können. Diese Prozeduren nehmen vor Beginn und nach Abschluß der Arbeiten Zeit in Anspruch. Hinzu kommt, daß in Jordanien die Regelarbeitszeit um 14 Uhr endet und die einheimischen Kräfte nur schwer zur Ableistung von Überstunden motiviert werden können. Zudem darf man nicht wie bei einer deutschen Baustelle mit einem regelmäßigen Erscheinen aller Mitarbeiter rechnen. Sich Freiheiten zu gestatten, gehört zur Auffassung von Arbeit und Leben in der Wüste. Diese Umstände wirken sich zwar erschwerend und verzögernd auf den Arbeitsablauf, aber nicht schädigend auf die Monumente aus und haben keinen Einfluß auf die Restaurierungsarbeiten selbst.

### Der Gerüstaufbau

Da das Gerüstmaterial, das für Petra zu beschaffen war, lange Zeit vorhalten und wiederverwendbar sein muß und unter den vor Ort herrschenden Umständen auch entsprechend beansprucht wird, ist ein Stahlrohr- Kupplungsgerüst ausgewählt worden (Abb. 1–2). Das Kupplungssystem schien für den Einsatz in Petra am geeignetsten, weil es variabel ist. Höhenunterschiede im Untergrund sowie Vor- und Rücksprünge aller Art in der Fassadenarchitektur können damit mühelos ausgeglichen werden. Die Anschaffung eines Treppenturms war kein Luxus, weil die tägliche Arbeit, die mit ununterbrochenem Auf- und Absteigen teilweise mit elektronischem Gerät und Fotoausrü-

vision mit der goal of training the Jordanian craftsmen until they are able to execute the restoration work independently. It should, however, be mentioned that naturally the Bedouins were not the only ones to be promoted. Aside from them e. g. architects received training in the field of planning, documentation, damage assessment, surveying and so on. They will in the future essentially execute the functions of a cultural resources manager, but will also, due to their many acquired skills be additionally engaged in practical work. Also the German side supplied and installed all the tools and equipment required for the restoration process.

### Working Conditions

In accordance with the entire situation the facilities at the site are quite complicated and its operation requires more time input than a regular site in an urban setting. Electricity and several other 'conveniences' are not available. Electricity is obtained through a generator. Restoration materials and equipment are placed on the loading space of a truck and are transported back and forth on a daily basis between the site and the garage (colour plate XVI. 1). When there is no driver for the truck, the material is left at the site and is stored away on the scaffolding or inside the burial chamber every evening and retrieved, possibly installed and put back into operation again the following morning. These procedures before and after working hours take time. In addition to this, working hours end at 2 pm and it is not easy to motivate the Bedouins to work overtime. Also, it can not be expected that all workers will appear on the job every morning, as it would be anticipated at a German site. Freedom plays an important role when it comes to work and life in the desert. But all of these difficult circumstances do not affect the restoration work in itself. They rather delay and complicate the flow of work, without actually harming the monuments.

### Building up the Scaffolding

The scaffolding provided for Petra had to be a longlasting system, reusable, resistible and adaptable to the special conditions of the site. A steel-tube-coupling scaffolding has been chosen (figs. 1–2). The coupling system seemed most variable and advantageous for use in Petra. Differences in height of the ground, projections and recesses of the architecture can easily be levelled. The purchase of a turret with a winding staircase has in no way been luxury, because it makes daily work with its climbing up and down, transport of photographic material and electronic tools much easier. Not to speak of the advantages of a secured way up to the single platforms with high ranking official visitors, diplomats, ministers and deputies from parliament or with specialists from international institutions who are frequenting Petra and especially the restoration site rather often. For raising heavy loads, a mechanical rope-winch can be installed, for daily needs a simple block-and-pulley is sufficient. In any case it was important to choose longliving and resistant tools and systems with easy and manual handling.

Since wooden scaffolding had been used in Petra up to this time and since there were no experiences with the setup of scaffoldings of 30 to 50 meters in height on extremely sensitive façades, specialists from the company Horst Eis in Regensburg were asked for help. They chose the system and advised a group





Abb. 1. Gerüst an Monument 825

Fig. 1. Scaffolding on Tomb 825

Abb. 3. Mitglieder der Firma Eis und die beduinische Gerüstmannschaft nach Fertigstellung des Gerüsts

Fig. 3. Members of the Eis company with Bedouin scaffolding team after building up the scaffold

stung verbunden ist, dadurch wesentlich erleichtert wird. Zudem hat sich dieser sichere Zugang zu den einzelnen Gerüstetagen auch schon hinsichtlich der zahlreichen Staatsbesuche von Regierungsoberhäuptern, Ministern, Bundestagsabgeordneten oder Vertretern verschiedener internationaler Fachinstitutionen bewährt. Für den Aufzug schwerer Lasten kann eine mechanische Seilwinde montiert werden, für den täglichen Bedarf ist ein gewöhnlicher Flaschenzug ausreichend. Wichtig war in jedem Fall, Systeme und Geräte zu wählen, die robust sind und weitgehend von Hand betrieben werden können.

Da in Petra bisher nur Holzstangengerüste verwendet worden waren und somit keine Erfahrungen im Gerüstbau – vor allem nicht bis zu Höhen von 30–50 m und an solch empfindlichen Fassaden –, vorhanden waren, wurden von der Firma Horst Eis in Regensburg, die auch bei der Auswahl und Beschaffung des Gerüsts behilflich war, zwei Mitarbeiter zur Verfügung gestellt, um die aus zehn Beduinen bestehende Hilfsmannschaft bei der Errichtung des Gerüsts in Petra anzuleiten (Abb. 3–5). Der Umstand, daß einer dieser Mitarbeiter Tunesier war, kam der direkten Kommunikation auf arabisch sehr zustatten. Für die notwendigen Verankerungen des Gerüsts im Fels wurden entweder nicht einsehbare Stellen über den Gesimsen oder Schadstellen gewählt, die ohnehin durch Reparaturmörtel geschlossen werden müssen.

Obwohl die beduinischen Hilfskräfte beim Gerüstbau sehr geschickt sind, wird auch in Zukunft noch die Hilfe deutscher Fachleute in Anspruch genommen werden müssen, weil diese Arbeit nur sehr selten anfällt und die zwischenzeitlich veranstalteten Übungen im Auf- und Abbau eines Gerüstturms die mangelnde Erfahrung nicht wettmachen, sondern lediglich dazu dienen, daß die eingeübten Handgriffe bis zum nächsten Mal nicht vergessen werden.

## Die Restaurierung<sup>2</sup>

Die Restaurierung des Monuments 825 ist in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit deutscher Restauratoren in vier Phasen durch-



Abb. 2. Von links nach rechts: Egon Kaiser, Willi Christiansen, Helge Fischer, Michael Kühnenthal während eines Ortstermins auf dem Gerüst

Fig. 2. From left to right: Egon Kaiser, Willi Christiansen, Helge Fischer, Michael Kühnenthal on location



Abb. 4, 5. Beduinische Mitarbeiter

Figs. 4, 5. Bedouin Workers



Abb. 6. Restaurator Egon Kaiser beim Mischen des Reparaturmörtels am Hubarmkneiter

Fig. 6. Restorer Egon Kaiser preparing repair mortar on the heaving-arm-kneader (mixer)





geführt worden: Vom 18.1.–7.4.1998, vom 1.6.–3.10.1998 und vom 20.4.–1.12.1999. Die vierte und letzte Phase dauert voraussichtlich vom 1.2.–30.4.2000. Die Aufgabenstellungen waren im wesentlichen die folgenden:

1. Schließen von Fehlstellen, Ergänzungen kleineren Ausmaßes und Anböschungen gefährdeter Randbereiche mit einem Reparaturmörtel auf Kieselsolbasis;
2. Injektage von Schalen und Rissen im selben System der Antragsmasse;
3. Abnahme von Salzkrusten;
4. partielle Festigung morbider Sandsteinzonen.

### Mörtelherstellung

Die Rezeptur des Reparaturmörtels stammt von Steinrestaurator Egon Kaiser.<sup>1</sup>

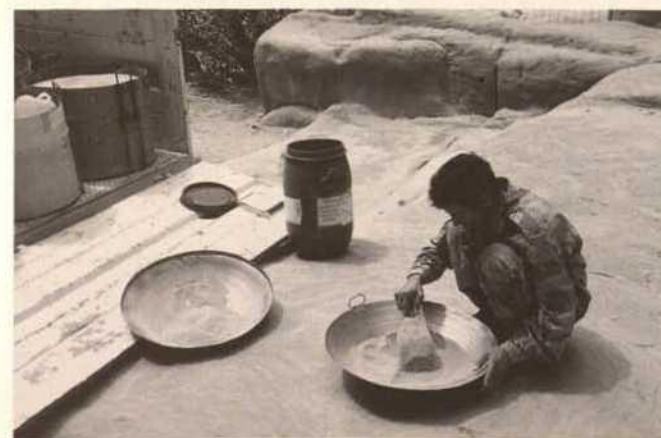
Die Mörtelmasse wurde wie folgt hergestellt:

Zuschläge	Menge in l
Natursande aus Petra	
rot	20
dunkelrot	20
gelb	5
schwarz	5
Quarzmehl	20
Mineralsubstrat	20
Kieselsol SYTON W30	9

Die Masse wird mit einem Hubarmknetter durchmischt (Abb. 6). Kriterium für die Mischdauer sind die im Mineralsubstrat enthaltenen Glasfaserbüschel, die nach entsprechender Mischzeit als Einzelfasern gut verteilt vorliegen sollen. Die so aufbereitete Masse besitzt bei entsprechend luftdichter und kühler Lagerung eine hohe Lagerbeständigkeit. Unmittelbar vor der Verarbeitung wurden dann durch manuelles Mischen auf 1 kg dieser Mörtelmasse 75 ml Kieselsäureester FUNCOSIL 510 und 10 ml SYTON W30 zugesetzt (Abb. 7). Da sich diese Mischung aber mit der Zeit als zu trocken und schwer verarbeitbar erwies, wurde dazu übergegangen, den Zusatz von Kieselsol SYTON W30 auf 40 ml zu erhöhen, wodurch eine bessere Haftung und Verarbeitbarkeit erreicht worden ist.

Abb. 7. Mischvorgang vor dem Gerüst

Fig. 7. Mixing in front of the scaffold



of ten Bedouins on the erection of the scaffolding (figs. 3–5). It was most helpful that one of the specialists was of Tunisian origin so that communication in Arabic was facilitated.

The necessary anchor ties for the scaffolding were implanted in less visible zones of the monument above cornices or in damaged parts and cracks, that had to be closed by mortar anyway.

Eventhough the Bedouin helpers proved skilfull in putting up the scaffold, the help of German experts will be needed also in the future, because this kind of work will only seldom be practised and in-between-exercises with small free standing scaffoldings cannot cope with an experience, that has to be gained in years. It may only help to refresh the knowledge of workers and handicrafts until the next restoration campaign starts.

### Restoration<sup>2</sup>

The restoration of Tomb 825 has been realized dependant on the disposal of trained restorers in four different campaigns: from Jan. 18<sup>th</sup> – April 7<sup>th</sup> 1998, from June 1<sup>st</sup> – Oct. 10<sup>th</sup> 1998 and from April 20<sup>th</sup> – Dec. 1<sup>st</sup> 1999. The fourth and last phase will presumably last from Feb. 1<sup>st</sup> to April 30<sup>th</sup>, 2000. The main tasks have been the following:

1. closing and completion of gaps, caverns and outbreaks, and escarpation of endangered borders and ledges with silica sol based repair mortar;
2. injections of scales and cracks with a variation of the repair mortar;
3. mechanical reduction of salt incrustations;
4. partial consolidation of weak sand stone areas.

### Mortar Production

The recipe for the repair mortar has been developed by the stone restorer Egon Kaiser.<sup>1</sup> The mortar is prepared as follows:

Ingredients	Quantity in ltr.
natural sands from Petra:	
red	20
dark red	20
yellow	5
black	5
quartz powder	20
mineral substrate	20
Silica Sol SYTON W30	9

The ingredients are mixed in a machine (fig. 6). The length of time needed for mixing is determined by the glass fiber bunches in the mineral powder, which need to separate and spread throughout the mixture. The mixture, if prepared in this way and stored in an airtight and cool storage space, has a long storage durability. Immediately before work begins 1 kg of mortar is manually mixed with 10 ml of SYTON W30 and 75 ml of consolidant FUNCOSIL 510 (fig. 7). Since in the course of time, this mixture turned out to be too dry and therefore rather difficult in its application, it was decided to increase the quantity of silica sol SYTON W30 up to 40 ml, thereby receiving much better adhesion qualities and an easier process of application.





Abb. 8. Alveolarauswitterung: unten nach Abarbeitung der Salzkruste, oben Antrag des Reparaturmörtels

Fig. 8. Alveolar weathering: below after reducing salt incrustations, above application of repair mortar

### Reinigen der Steinoberfläche

Locker anhaftender Staub sowie abgelöste Gesteinspartikel werden im Bereich von Fehlstellen mit einem Pinsel abgefegt (Farbtafel XIV. 1). Bei deutlich sichtbarer Salzbelastung (Effloreszenzen) dieser Zonen wird der Fehlstellenbereich mit einem Zahneisen schwach abgearbeitet, um die Oberflächenversalzung zu entfernen (Abb. 8). In Randzonen zur intakten Oberfläche wird besonders vorsichtig verfahren. Von einer steinmetzmäßigen Bearbeitung kann in diesem Fall jedoch nicht die Rede sein, da es sich lediglich um die Entfernung der besonders salzbelasteten Bereiche in einer Stärke von etwa 2 mm handelt. Der auf diese Art bearbeitete Untergrund wird ebenfalls einer abschließenden gründlichen Pinselreinigung unterzogen.

### Benetzen der Steinoberfläche

Vorbereitend wird die Steinoberfläche aus einem Teil SYTON W30 und einem Teil Wasser benetzt (Farbtafel XIV. 2). Wenn in morbiden Bereichen – und das trifft auf die meisten Fehlstellen zu – eine Vorfestigung durch Flutung mit Kieselsäureester FUNCOSIL 510 erforderlich ist, kann auf eine Benetzung der Gesteinsoberfläche mit dem obengenannten Gemisch verzichtet werden (Farbtafel XVI. 2). Die dunklen Höfe, die um die Fehlstellen oder die Laufspuren, die unterhalb von Fehlstellen durch das Benetzen mit Kieselsäureester entstehen (Farbtafel XVI. 2, 3), werden durch Nachwaschen mit Aceton weitestgehend reduziert. Die zurückbleibenden geringen Spuren verflüchtigen sich im Laufe der Zeit von selbst.

### Auftragen der Haftschlämme

Die Haftschlämme wird aus einem Teil SYTON W30 und einem Teil Wasser unter Zugabe von Mineralsubstrat hergestellt und mit dem Pinsel im Bereich der Ergänzungsstelle eingerieben (Farbtafel XIV. 3, 4).

### Antrag der Ersatzmasse

Die Ersatzmasse wird mit den üblichen Werkzeugen wie Kellen, Spachteln oder Lanzetten angetragen (Farbtafel XIV. 5). Die

### Cleaning the Stone Surface

Loose dust and stone particles in a damaged area are swept away with a brush (colour plate XIV. 1). If the area contains visible salt efflorescence a tooth chisel is used to carefully remove the surface deposits (fig. 8). Around the edges of intact surface areas special care is taken in order not to affect the original surface. This procedure cannot be considered a stone masons' work, though it simply serves to remove the salt deposits up to a thickness of 2 mm. The surface, dressed in this way, is finally cleaned with a brush.

### Moistening of the Stone Surface

In order to prepare the surface area for the use of the repair mortar, a solution composed of one part SYTON W30 and one part water, is applied (colour plate XIV. 2). In weak areas – which are present in most damaged areas – it may be necessary to flood the stone with Silica Acid Ester FUNCOSIL 510, in which case the previously mentioned solution is not needed (colour plate XVI. 2). Dark, halo like rims around or traces running down below the gaps to be filled with mortar, caused by the moistening with silica acid ester (colour plate XVI. 2, 3) can be reduced by a washing with acetone. The few remaining traces as has been already proved, will vanish by themselves in the course of time.

### Application of the Adhesive Wash

The adhesive wash is produced by mixing one part SYTON W30 and one part water, with an addition of mineral powder. This mixture is then applied with a brush to the areas that are to be supplemented (colour plate XIV. 3, 4).

### Application of the Silica Sol Repair Mortar

The mortar is applied with regular tools such as trowels, spatulas, or lancets (colour plate XIV. 5). On the one hand the mixture allows for a multi-layer application up to 30 cm so that the supplementation of breakouts, edges, and corners is made possible (colour plate XVI. 3, 4). On the other hand, it can be adjusted to the original surface creating a smooth, seamless transition (colour plate XIV. 6). The application process must be repeated in order to build up several layers. Each individual layer should be executed with a coarse surface or scratched with a tooth chisel in order to provide sufficient adhesion for the next layer. The mortar should still be moist, but at the same time sufficiently hardened before the next layer is applied. If after a certain period of time a layer is already too hard it is necessary to moisten it before applying the new layer with the previously described mixture of SYTON W30 and water. The level of the last layer should be slightly higher than that of the surrounding original surface in order to create the necessary surface structure.

### Dressing of the Surface

The final adaptation of the supplemented area to the structure of the surrounding surface requires the repair mortar to have a setting time anywhere from several hours to one day. At that point,



Masse gestattet einerseits einen mehrschichtigen Aufbau bis zu 30 cm Stärke, so daß auch Ergänzungen von Ausbrüchen, Kanten und Ecken möglich sind (Farbtafel XVI. 3, 4). Andererseits ist in Randbereichen ein bis auf Null auslaufendes Anarbeiten und damit ein nahtloser Übergang zur originalen Oberfläche möglich (Farbtafel XIV. 6). In jedem Fall müssen die Ergänzungen in mehreren Arbeitsgängen schichtweise aufgebaut werden. Die einzelnen Schichten sollen mit rauher Oberfläche gestaltet oder mit einem Zahnkamm aufgeraut werden, um eine ausreichende Haftung der darüberliegenden Schicht zu gewährleisten. Der Antrag der nächsten Schicht erfolgt in noch feuchtem Zustand, doch sollte die Masse schon etwas abgebunden sein. Bei längeren Standzeiten wird ein Benetzen der angetrockneten Unterschicht mit der oben beschriebenen Netze aus SYTON W30 und Wasser erforderlich. Das Niveau der letzten Schicht soll geringfügig höher als die umgebende Originalsubstanz sein, um die notwendige Oberflächenstrukturierung vornehmen zu können.

### **Bearbeitung der Oberfläche**

Das abschließende Anpassen der Antragstellen an die umgebende Oberflächenstruktur erweist sich nach einer Abbindezeit von mehreren Stunden bis zu einem Tag als sinnvoll. Die Masse besitzt dann eine gewisse Festigkeit, läßt sich jedoch mit einer Ziehklinge gut abziehen und die Oberflächenstruktur mit Meißeln einarbeiten (Farbtafel XIV. 6, XVI. 5, XVII. 2). Längere Abbindezeiten erschweren diese Arbeiten. Eine steinmetzmäßige Bearbeitung nach entsprechend langen Reaktionszeiten birgt die Gefahr von Materialausbrüchen in sich.

### **Nachfestigung**

Auf eine an sich vorgesehene Nachfestigung der Mörtelmasse mit Kieselsäureester wurde bislang verzichtet. An den angetragenen Flächen werden nach entsprechender Standzeit zuerst Haftzug- und Bohrwiderstandsmessungen sowie eine Überprüfung der kapillaren Wasseraufnahme mit dem Karsten'schen Prüfröhrchen vorgenommen. Erst anhand der dadurch gewonnenen Erkenntnisse wird eine Entscheidung über die geeignete Konzentration des Steinfestigers getroffen werden.

### **Retusche der Ergänzungen**

Die Einfärbung der Mörtelmasse erfolgt hauptsächlich mit den vor Ort vorhandenen Gesteinssanden, die durch Zertrümmern und Mahlen ausgewählter farbiger Sandsteinstücke gewonnen und in Fässern gelagert werden. Von den ca. 22 in Petra vorhandenen Farbnuancen werden nur etwa 10 Rot-, Violett- und Gelbtöne verwendet, mit denen man die wichtigsten vorkommenden Farbtöne ausmischen kann (Abb. 9). Die rote Farbe des Reparaturmörtels wurde in Anlehnung an die Grundfarbe des abgewitterten natürlichen Sandsteins gewählt, um sich in die natürliche Situation einzupassen. Die helle Ockerfarbe der bearbeiteten, noch gut erhaltenen Oberflächen ist, wie Beobachtungen ergaben, lediglich Ergebnis von Staubablagerungen, die im Lauf der Zeit durch Feuchtigkeit auf der Gesteinsoberfläche fixiert und oft mit ihr versintert sind. Durch die Retusche soll der Reparaturmörtel an die Farbigekeit der ockerfarbenen patinierten Originaloberfläche angeglichen werden. Für diesen Zweck eignet sich

the mortar is hard enough while it can still be easily flattened with a blade and dressed with a chisel (colour plate XIV. 6, XVI. 5, XVII. 2). If the setting time exceeds one day it becomes difficult to do such work which, in that case, could easily cause breakouts.

### **Final Consolidation**

The consolidation of the repair mortar with silica acid ester has so far been avoided. After an appropriate setting time the applied surfaces will be tested for adhesion and drill resistance, as well as capillary water take-up using Karstens tubes. Only after these tests a decision can be made in terms of the appropriate concentration of the stone consolidant.

### **Retouches of the Fillings**

The colouring of the repair mortar has mainly been obtained by grinding multicoloured sandstone pieces from Petra. From the 22 major shades existing in Petra, only 10 red, violet, and yellow tones are used, with which the most frequently occurring colours can be mixed (fig. 9). The red colour of the repair mortar was chosen in accordance with the basic colour of the weathered natural sandstone, in order to blend in with the natural situation. The light ochre colour of the still well preserved surfaces is simply due to dust layers, which, over time, have been attached to the stone surface through humidity and thus often formed a sinter crust. Through retouches the repair mortar will be adapted to the colour of the ochre patinated surface. For this purpose a finest grained sand found in deposits of river beds is used. This sand, mixed with dust and possibly a small additive of pigment, is suspended in water and applied to the surface with a brush (fig. 10). Through this application, the process of brightening the colour, which usually requires decades, is sped up so that the rest of the natural patina can be left to the forces of nature (colour plate XIV. 6 and XVII. 2). A fine tuning of the mortar colour with the surrounding areas seems moreover not to be necessary, since the overall colour of the monuments is never uniform but rather consists of a variety of shades and tones in itself (colour plate XVII. 1, 3 and XV).

Mortar in state of humidity looks rather dark but will become much brighter during the drying-process, colouring and retouches with pigments will therefore only be final harmonizations (fig. 11).

### **Problems of Mortar Application**

Many of the mortar applications had to be renewed for two reasons:

1. mistakes made in the application technique,
2. a high salt concentration within the stone.

When using silica sol mortar the application technique is of great importance to the success of the procedure. Inaccurate or negligent work will inevitably lead to the need for replacing the fillings: An impatient manner of working resulted in the layers sometimes being too thick and quickly peeling off the surface. Often the mortar was smoothed out too much so that sufficient adhesion between the different layers could not be obtained. Mistakes were also made in the processing of the mortar. The local workers are not familiar with the individual materials and



feinstkörniger Flußsand aus Ablagerungen in den Bachbetten. Dieser wird, vermischt mit Staub und gegebenenfalls einem geringen Zusatz von Pigmenten in Wasser suspendiert, lasierend mit dem Pinsel auf die Oberfläche aufgetragen (Abb. 10). Durch diesen Auftrag wird in Verkürzung des über Jahrzehnte ablaufenden Geschehens eine ausreichende Aufhellung der Farbigkeit erreicht, so daß der Rest der natürlichen Patinierung, dem Staubantrag und Regen überlassen werden kann (Farbtafel XIV. 6 und XVII. 2). Außerdem erübrigt sich auch eine Feinabstimmung der Mörtelfarbe auf die Farbigkeit des jeweils umliegenden Bereichs, weil die Gesamtfarbigkeit der Monumente über größere Flächen hin ohnehin nicht einheitlich ist, sondern meist in verschiedenen Nuancen variiert (Farbtafel XVII. 1, 3 und XV).

Die Mörtelmasse ist beim Antragen in feuchtem Zustand verhältnismäßig dunkel und wird dann beim Trocknen heller, so daß eine Retusche meist nur eine abschließende Einstimmung ist (Abb. 11).

### Problematik der Mörtelantragungen

Viele der Mörtelantragungen mußten erneuert werden. Dafür waren zwei Gründe verantwortlich:

1. Fehlerhafte Antrags-technik,
2. Salzbelastung.

Bei der Verwendung von Kieselsolmörtel ist die Antrags-technik von entscheidender Bedeutung für den Erfolg der Maßnahme. Fehlerhaftes oder nachlässiges Arbeiten hat unweigerlich einen Austausch der Masse zur Folge. Für die einheimischen Arbeitskräfte sind die in Petra eingeführten Restauriermaterialien neu. Sie müssen erst langsam lernen, daß damit sensibler umzugehen ist als zum Beispiel mit Zement und daß auch Mengenangaben genauestens einzuhalten sind. Der Verarbeitungsvorgang ist komplex und entsprechend viele Fehler sind auch gemacht worden. Die mit Kieselsäureester als Haftverbesserer benetzten Stellen der Steinoberfläche müssen unmittelbar danach mit der mineralischen Haftschlämme bedeckt werden, um eine innige Verbindung herzustellen. Aus diesem Grund müssen die Flächen, die mit Steinersatzmasse ergänzt werden sollen, in übersichtliche Abschnitte eingeteilt werden, um lange Standphasen des Kieselsäureesters, der als Haftverbesserer zum Untergrund eingesetzt wird, zu vermeiden, da er sonst gegenüber der Haftschlämme hydrophob reagiert und zur Bildung von Hohlstellen führen kann. Auch wenn die Haftschlämme zu dünnflüssig oder vor dem Auftrag der Steinersatzmasse abgetrocknet ist, entstehen Hohlstellen und Ablösungen, die erneuert werden müssen. Wenn die Oberfläche einer Mörtellage vor dem Antrag der zweiten nicht aufgeraut wird oder die Lagen der Steinersatzmasse nicht oberflächenparallel ausgerichtet sind, führt auch dies zur Trennung von Antragsschichten, Schalen- und Hohlstellenbildung. Häufig sind die frischen Oberflächen der Steinersatzmasse zu stark abgerieben bzw. geglättet worden. Dadurch sind namentlich in bewegten Partien unregelmäßige Feuchtekonzentrationen entstanden, die zu ungleicher Spannungsverteilung und damit zu Rißbildung in der Oberfläche führten. Durch mangelnde Übung in der Steinbearbeitung ist die Strukturierung der Antragflächen in Angleichung an die umgebenden Bereiche optisch vielfach noch unbefriedigend ausgefallen.

Ein weiteres Problem war die starke Salzbelastung vieler Bereiche der Fassade. Die Salze aus dem umliegenden Gestein wanderten in den Reparaturmörtel ein, so daß dieser innerhalb



Abb. 9. Farbige Sande zur Herstellung des Reparaturmörtels

*Fig. 9. Coloured sands for the production of repair mortar*

Abb. 10. Auftragen der Suspension bei der Retusche einer Reparaturstelle

*Fig. 10. Application of suspension retouching the filling*



Abb. 11. Retuschierte Reparaturstelle

*Fig. 11. Retouched filling*





kürzester Zeit versalzen war und sandete, bzw. regelrecht aufsprang. In Bereichen starker Salzbelastung hatte der Reparaturmörtel Kompressenwirkung und mußte aus diesem Grund mehrfach ausgewechselt werden.

### Feinmörtelreparaturen

Durch nachlässiges Verarbeiten des Kieselolmörtels kommt es vor, daß die Ränder der Antragsmasse nicht richtig an den Stein angebunden haben (Abb. 12). Außerdem wird ein auf Null auslaufendes Anarbeiten des Mörtels an die Oberfläche oft durch die relativ grobe Körnung des Sandes von Petra erschwert. In diesen Fällen werden die schadhafte Ränder nochmals mit einem Feinmörtel überarbeitet. Dieser wird unter anderem auch dazu benutzt, Schalenränder anzuböschern und kleinere Risse zu schließen.

Auch hier handelt es sich wieder um ein lagerbares Vorprodukt, das nach folgender Rezeptur hergestellt wird:

Zuschlag	Menge in l
Feinquarzsand	40
Mineralsubstrat (rot)	10
Pigmente:	
rot	0,3
gelb	0,2
schwarz	0,03
SYTON X30	5

Vor der Verarbeitung des Materials wurden auf 100 ml Vorprodukt noch 15 ml Remmers Steinfestiger 510 und 6 ml SYTON X30 untermischt. Um diesen Feinmörtel zu verarbeiten, wurde die zu bearbeitende Fläche zunächst mit Wasser vorgeätzt. Nach dem Vornetzen kann der Mörtel direkt angetragen werden. Ein Nacharbeiten ist nicht mehr notwendig, lediglich in den Bereichen, in denen die Oberflächenbearbeitung nachzuahmen ist. Nach dem Abbinden wird der Feinmörtel zusammen mit dem Kieselolmörtel nachgefestigt.

Auch hier bestand wiederum das Problem in den mit Salz belasteten Bereichen. Die Feinmörtelergänzungen blätterten schnell wieder auf, so daß sie ebenfalls häufiger wiederholt werden mußten.

### Injektage

Bei der Hinterfüllung der Schalen wurde ein Injektionssystem verwendet, das von Restaurator Egon Kaiser entwickelt worden ist. Durch die Hinterfüllung soll eine Anbindung der Schalen an den Gesteinskern erfolgen. Hierzu wird die Fassade auf Schalenbildung hin abgesucht. Wenn die Schalen keine Öffnungen aufweisen, müssen sie angebohrt werden (Abb. 13). Diese 4 mm großen Löcher werden in regelmäßigen Abständen über das gesamte Ausmaß der Schale angelegt. Dann werden die Bohrlöcher vorsichtig ausgeblasen, wobei der Druck nicht mehr als 2 bar betragen sollte. Vor dem Aufkleben der Packer werden die Bohrlöcher ca. 1 cm breit mit einem Primer, einem „Haft-Schutz“, bestrichen. Nach der völligen Trocknung des Primers werden die Packer mit einer Heißklebemasse auf den Stein aufgeklebt (Abb. 14). Für die Hinterfüllungen kommt wiederum

must understand the necessity of dealing with these materials in a more sensitive manner than, for example, with cement. They must realize that certain precautionary measures and storage conditions, but also specified quantities need exactly to be adhered to. The application procedure is complex and therefore many mistakes can be made. Those parts of the surface treated with silica acid ester for improvement of adhesion have to be covered with mineral adhesion wash immediately thereafter in order to obtain good amalgamation. For this reason the areas to be filled with repair mortar have to be divided into smaller sectors, to avoid long drying periods of the silica acid ester, which then tends to show hydrophobic reactions when covered with the wash thus leading to hollows and detachments. Comparable reactions could be observed when the adhesion washes were too thin or have been dried out before the repair mortar has been applied. Detachments, hollows and scales will also be the consequence if the surface of one layer is not rough enough before the next will be applied or if the different layers were not executed strictly parallel to the surface of the stone. When repair mortars have been smoothed or flattened too much, heterogeneous concentrations of humidity explicitly in uneven areas will cause tensions that lead to fissures in the surface. Because of lack of experience also the structurization of the surfaces and their adaptation to the surrounding areas has not always been satisfactory.

An additional problem was the high salt content of many areas of the façade. Salt from the surrounding stone permeates the repair mortar so that after a short period of time the mortar disintegrates or literally bursts open. In such areas of high salt content, the mortar acts like a poultice extracting salt from within the stone and therefore had to be renewed several times.

### Repair with Fine Grained Mortar

Through careless workmanship of silica sol mortar it occurs that the rim of the repair mortar does not have sufficient adhesion to the surrounding stone surface (fig. 12). A fine and neatless application of mortar at the edges of fillings and repairs moreover is rather difficult due to the rough structure of the sands at Petra. Therefore a fine grained mortar is used for supplementing these shallow damaged areas. The fine grained mortar is also used for escarping scaly rims or to seal small cracks.

Here again a product mixed before hand and kept in the storage was used. The specification of which is as follows:

Ingredients	Quantity in ltr.
fine quartz sand	40
mineral substrate (red)	10
Pigments:	
red	0,3
yellow	0,2
black	0,03
SYTON X30	5

Before application 100 ml of this product was mixed with 15 ml of Remmers stone consolidant 510 and 6 ml of SYTON X30. The area to be worked on was first moistened with water. Then the mortar was directly applied. This mortar does not need a finish except in those areas where the structure of the original stone



eine kieselolgebundene Injekttagemasse, eine Mörtelmischung der Firma Facius-Kaiser zur Anwendung. Um das Fließen des Injektionsmörtels zu unterstützen, werden die zu verfüllenden Bereiche mit einer Netzflüssigkeit vorgeätzt. Diese Flüssigkeit besteht aus einer Mischung SYTON X30 und destilliertem Wasser 1 : 1. Zwei Teile der Trockenmischung werden mit einem Teil SYTON X30 angerührt. Dann wird der Hohlraum mit diesem Material mit Spritzen verfüllt. Nach dem Trocknen der Masse (ca. 24 bis 38 Stunden) können die Packer mit dem Klebematerial entfernt werden. Dazu werden die mit Primer und Klebstoff behandelten Flächen mit einem Wasser-Lösungsmittelgemisch bestrichen. Nach kurzer Einwirkzeit können die Packer abgenommen werden.

Die Hohlräume ließen sich relativ leicht verfüllen, wobei jedoch die Masse in den Spritzen dazu neigte, schnell zu sedimentieren. Deshalb konnten immer nur kleine Mengen der Masse angesetzt werden.

Ein weiteres objektspezifisches Problem zeigte sich nach der Injektion der Hohlstellen. Circa 24 Stunden danach traten in den Bereichen der Verfüllung extreme Salzausblühungen und -krusten auf. Nach einigen Tagen jedoch reduzierten sich die Krusten wieder von selbst, indem sie von der dann völlig ausgetrockneten Oberfläche abfielen.

### Entsalzung

Es hat sich gezeigt, daß das Hauptproblem bei der Restaurierung der Felsfassaden die Versalzung des Gesteins ist, die zudem nicht gleichmäßig vorliegt, sondern bereichsweise und da in unterschiedlichen Konzentrationen auftritt. Der Reparaturmörtel in den Alveolen der Testfelder war noch nach einer Standzeit von 1½ Jahren fest und unverändert gut erhalten. Am Monument 825 hingegen, dessen Restaurierung nach den guten Ergebnissen der Testfelder begonnen wurde, war er in manchen Bereichen schon wieder nach kurzer Zeit durch Salze zerstört, obwohl bei den in beschädigten Bereichen der Fassade gezogenen und untersuchten Bohrkernen nur ein relativ unbedenklicher Grad der Versalzung nachgewiesen wurde. Dies entspricht der Beobachtung, daß etwa die Hälfte der Mörtelreparaturen nach ein- oder mehrmaligem Anstrich gehalten haben, die andere Hälfte aber fortlaufend durch Salze zerstört wurde. Diese Erfahrungen zeigen, daß an jeder Stelle der Felslandschaft von Petra der Wasserhaushalt und der Versalzungsgrad des Gesteins verschieden sein kann und, daß sich sogar an der Fassade eines Monuments Stellen mit hohem und unbedenklichem Versalzungsgrad über die ganze Fläche unregelmäßig verteilt vorfinden können. Dies sind Gegebenheiten, die sich im Detail oft nicht vorhersagen und durch Voruntersuchungen auch nicht eindeutig klären lassen, weil eine Fassade nicht mit einer Vielzahl von Probebohrungen durchlöchert werden darf.

Am Monument 825 wurde daher versucht, in allen Bereichen, in denen die Versalzung fortlaufend zu Mörtelablösungen führte, nach der Entfernung des zerstörten Mörtels eine Entsalzung mit Bentonit-Kompressen vorzunehmen. Es wurde ein vorgemischter Trockenmörtel aus Zellulosefasern, Bentonit und Quarzsand verwendet, der mit destilliertem Wasser zu einer geschmeidig-plastischen Masse angerührt und mit einer Schichtstärke von ca. 3 cm auf die leicht angefeuchtete Oberfläche aufgebracht wurde. Die Komresse blieb etwa 16 Stunden auf der Oberfläche. Nach dieser Zeit war sie bereits stark eingetrocknet und löste sich selbständig ab, ohne auf der Oberfläche Reste zu

surface has to be imitated. After a sufficient setting time the fine grained mortar can be treated with a consolidant together with the solica sol repair mortar.

Here again problems arose in salt contaminated areas. The fine grained mortar quickly peeled off and reapplications were necessary.

### Injections

When filling scales, an injection system, developed by Egon Kaiser, was utilized. This method should result in the reattachment of the scales to the stone core. For this the façade first needs to be searched for scale formations. If the scales do not have openings, they must be drilled (fig. 13). 4 mm holes are spaced regularly over the face of the scale. Air, at a pressure of no more than 2 bar, is blown into the holes in order to clean off loose particles. Before attaching the nipples, the holes are coated with a 1 cm wide primer as 'adhesive protection'. After the primer has dried completely, the nipples are attached to the stone with a hot adhesive paste (fig. 14). For the fillings, a silica sol based substance, again from the Facius-Kaiser Company, was used. To encourage the flow of the injected mortar, the areas to be filled are first moistened with a liquid, made up of a mixture of SYTON X30 and distilled water 1 : 1. One part SYTON X30 is then stirred into two parts of the dry mortar mix and the cavity is filled via syringes. Once the material has dried (approximately 24 to 38 hours) the nipples, together with the adhesive, can be removed. In order to achieve this, the areas treated with primer and adhesive are coated with mixed water and solvent. After a short time, the nipples can be removed.

It was relatively simple to fill the cavities, but the substance in the syringes were prone to sedimentation. Therefore only small amounts of the substance can be prepared.

Another problem which arose after the injections was the formation of salt crystals and crusts in the filled areas 24 hours later. Nevertheless, after a few days the salt crusts simply peeled off from the dried out surface.

### Salt Extraction

The main problem in the restoration of the rock façades is the high degree of salt contamination, which moreover is not evenly distributed but appears in certain areas in varying concentrations. The repair mortar in the alveoles of the test fields remained unchanged and in good condition even after a period of 1½ years. However, at Tomb 825, where restoration work began after good results at the test field were obtained, the mortar only lasted for a short time in some areas. This occurred in spite of the encouraging results obtained from the analyses of drill samples drawn from damaged parts of the façade, which showed that the degree of salt contamination was relatively insignificant. This result corresponds to the observation that approximately 50 % of the repairs lasted after one or more cycles of removal and application of the mortar, while 50 % were continuously ruined by the salts. These experiences indicate that in each area of Petra the hydrology and the degree of salt contamination can vary, and that even across the façade of one single monument areas of high salt concentration may alternate with less contaminated ones. Such complex situations are often unpredictable even after pre-testing has been completed, since extensive drill



hinterlassen. In der Regel wurden drei Entsalzungszyklen durchgeführt. Aufgrund der guten Ergebnisse wird nun in Zukunft bei allen weiteren Restaurierungen vor dem Antrag des Reparaturmörtels grundsätzlich eine Entsalzung vorgenommen werden.

Die Kompressenentsalzung wurde im übrigen auch in stark versalzten Bereichen, wie z. B. dem Hauptgesims des Monuments 825 versucht, von wo dauernd Salze in die darunterliegenden Bereiche nachgeliefert werden. Auch hier war die behandelte Oberfläche nach dreimaliger Kompressenentsalzung trocken und frei von sandenden Partikeln. Die Komresse nimmt den Salzkrusten die Auflage und Haftung auf der Steinoberfläche. Das Salz wandert in die Komresse und auch die Krusten befinden sich als sandige Beläge auf der Oberfläche der Komresse. Durch die Entsalzung wird somit eine Reduzierung von Salzdepots in der Fassade und damit zumindest auch eine Verlangsamung der dauernd ablaufenden Schadensprozesse erreicht. Aus diesem Grund wurden auch Effloreszenzen entfernt, die dick aufgewachsene Salzkruste an dem oberhalb des Monuments befindlichen Felsüberhang in einer Stärke von ca. 3 cm mechanisch abgearbeitet und die absturzgefährdeten alveolaren Aushöhlungen an dessen Vorderkante abgenommen. Die Entfernung dieses durch Jahrhunderte angereicherten hohen Salzpentials war wichtig, weil bei Regenfällen immer wieder Salze ausgewaschen wurden und in die darunter befindliche Fassade gelangten.

Auch wenn die Entsalzung von gewachsenem Fels ursprünglich als wenig zielführend eingeschätzt wurde, muß sie, nach den am Monument 825 – und tatsächlich erst hier – gemachten Erfahrungen, nun doch als Arbeitsschritt in den Restaurierungsablauf bei allen weiteren Monumenten aufgenommen werden. Auf diese Weise können Salzkonzentrationen entfernt werden, die sich über lange Zeit und – wie die im Zentrallabor des Bayerischen Landesamts für Denkmalpflege durchgeführten Analysen ergaben – hauptsächlich im oberflächennahen Bereich angereichert haben. Auch wenn diese Entsalzung nicht von Dauer ist, kann doch angenommen werden, daß sich die Konzentrationen, die bei der jetzigen Restaurierung entfernt werden, erst wieder über einen längeren Zeitraum hin aufbauen werden. Beim Auftragen von Reparaturmörtel ist es wiederum wichtig, daß dem Reparaturmörtel durch die Entfernung der Salze Zeit gegeben wird, gut abzubinden und eine ausreichende Haftung mit dem Gestein einzugehen, so daß später nachgelieferte Salze nicht mehr zur Ab- und Auflösung des Mörtels führen, sondern durch ihn hindurchwandern und an dessen Oberfläche auskristallisieren können.

Das nächste Problem war nun weniger ein fachliches als ein finanzielles und logistisches, weil Bentonit in Jordanien nicht erhältlich und wenn, dann verhältnismäßig teuer ist. So mußte für die weiteren Restaurierungsmaßnahmen ein Ersatzmaterial gesucht werden, das nicht so teuer, in Jordanien erhältlich und trotzdem wirksam ist. Als Ersatz für Bentonit wurde ein Ton gewählt, der für die Herstellung von Lehmböden verwendet wird. Zellulose ist vor Ort erhältlich. Inzwischen sind auch schon sehr gute Ergebnisse mit einer Kompressenmischung aus 2 RT kaolinhaltigem Sand, 1 RT Ton, 1 Teil Zellulose und 2 RT Wasser erzielt worden.

Die hier geschilderten Umstände zeigen, daß auch in fortgeschrittenen Phasen der Restaurierung – und trotz aller vorbereitenden Tests und Untersuchungen – immer wieder neue Probleme auftreten können, die sich aus den Unwägbarkeiten des Wasser- und Salzhaushalts des natürlichen Felsgesteins ergeben.

sampling which would be required to obtain sufficient data, is not allowed at the façades of Petra.

In those areas on Tomb 825 where the salt contamination continuously resulted in the detachment of the mortar, it was therefore attempted to desalinate by a treatment with bentonite poultices after the damaged mortar had been removed.

A premix of dry mortar containing cellulose fibres, bentonite and quartz sands (rock flint) has been used, stirred with aqua destillata to a smooth and plastic mass and applied in layers of 3 cm onto the moistened surface. The poultice remained on the surface for 16 hours. After this time it had already dried out and loosened from the bedrock by itself without leaving any remains on the surface. Generally three treatments were sufficient to reach favourable results. As a consequence, salt extractions will now be undertaken as a standard procedure before the mortar application in the future.

The removal of salt with poultices was also performed in areas with high salt content, such as the main cornice of Tomb 825, from where salt continuously permeated the areas below. Also here, after three treatments the surface was found to be dry and free of loose particles. The poultice weakens adhesion qualities of the salt incrustations. Salt gets into the poultices and incrustations are now to be found as sandy remains on its surface. Through this desalination, salt deposits in the façades are reduced, thereby at least slowing down the ongoing processes of decay. For this reason salt efflorescences and thick salt incrustations on the rock cliff hanging over the monument have been removed mechanically and the dangerous alveolar caverns already had hollowed out its front border. The removal of this concentration of salts accumulated in centuries was very important since rain falls used to wash out the salts which thereby moved into the parts of the façade situated underneath.

Eventhough the extraction of salts from the natural rock was not deemed to be very promising at the beginning, this process will now, after the experiences made with Tomb 825, be included in the restoration concepts for all monuments. It seems as if areas with high salt concentrations, which are believed to have accumulated (as studies performed in the laboratories of the Bavarian State Department of Historical Monuments have shown) predominantly close to the surface and over long periods of time, can be removed in this manner. Even if the desalination does not ensure permanent success, it can be assumed that those concentrations of salt removed during the current restoration will take a long period of time to rise to their present intensity again. The crucial point with the application of the repair mortar is on the other hand that the mortar is given time to harden and to establish good adhesion with the stone, so that subsequently salt will migrate through the filling and crystallize on its surface instead of causing its detachment and disintegration.

The next problem to be solved was not so much a scientific one but rather a matter of finances and logistics, as bentonite is not available in Jordan and, beyond this, rather expensive. Therefore a substitute had to be found, as effective, but less expensive than bentonite and, besides this, available in Jordan. As a substitute for bentonite clay was chosen, as it was used for loam floors. Cellulose fortunately turned out to be locally available. Since then, good results have been achieved by a poultice mixture of 2 RT caolin sand, 1 RT clay, 1 Part cellulose and 2 RT water.

Examples like these show, that even in the ongoing process of a restoration campaign and besides all carefully prepared tests and investigations new problems may arise, which are due to the





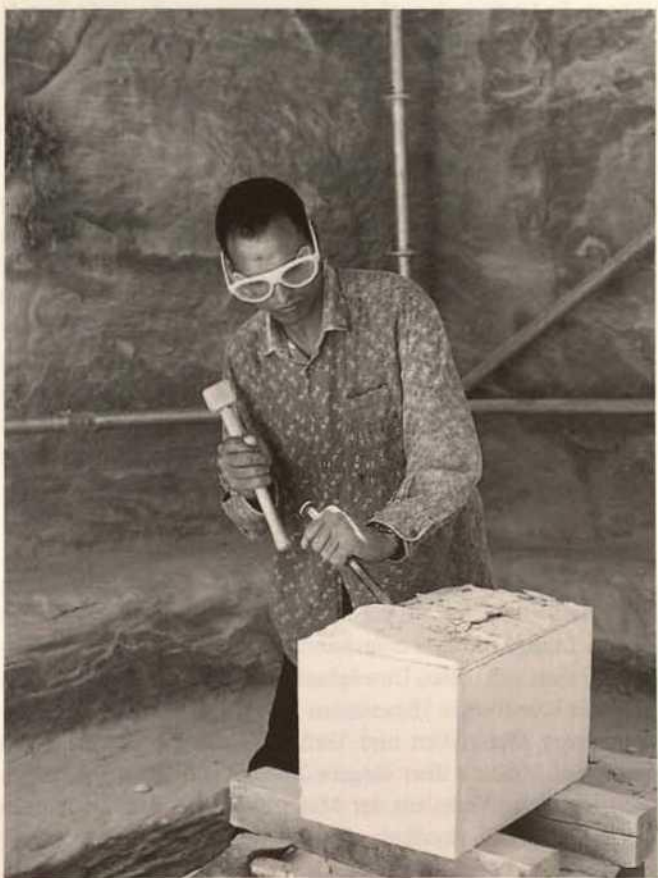
Abb. 12. Salzschäden am Randantrag einer Reparaturstelle  
 Fig. 12. Damages caused by salts at the application rim of a repair area

Abb. 13. Abgehobene Hohlstelle am Rande angeböschst und durch Bohrung zur Injektage vorbereitet  
 Fig. 13. Scales with sloped rim prepared for injections by drilling



Abb. 14. Aufbringen der Packer auf die Injektagestelle mit Heißkleber  
 Fig. 14. Application of 'nipples' (packer) at the hollow scale with hot adhesive paste

Abb. 15. Steinmetzmäßige Ausbildung der beduinischen Hilfskräfte  
 Fig. 15. Training Bedouin workers as stone masons





Deshalb ist auch die Restaurierung der Fassade des Monuments 825 insgesamt als Probelauf für alle weiteren Restaurierungsmaßnahmen angelegt gewesen. Die Restaurierung war und ist noch ein fortlaufender Erkenntnis- und Erfahrungsprozess, aus dem die Standards für alle weiteren Restaurierungen entwickelt werden. Allein das unterschiedliche Verhalten des Reparaturmörtels in den Testfeldern und am Monument 825 zeigt, wie verschieden die einzelnen Situationen in den Bergmassiven Petras sind, daß man bei jeder Maßnahme auf Überraschungen gefaßt sein, entsprechend flexibel reagieren und auch gelegentlich auf Improvisation eingestellt sein muß. Mit der Zeit und der Anzahl der Restaurierungen werden aber auch die Erfahrungen und damit die Routine wachsen.

Nicht zu vergessen ist zudem, daß bei Restaurierungsprojekten in Ländern, die über viele Ressourcen nicht verfügen, erschwerende Umstände hinzukommen, die gar nicht fachlicher Natur sein müssen. So sind in Jordanien z. B. Restaurierungsmaterialien wie Bentonit nicht erhältlich und müssen durch andere, im Land verfügbare Materialien ersetzt werden, andere wiederum, wie z. B. Aceton, sind nicht in der für Restaurierungszwecke erforderlichen Reinheit bzw. in sehr unterschiedlichem Reinheitsgrad vorhanden. Überhaupt ist die Bestellung von Restaurierungsmaterialien, die in größeren Mengen benötigt werden und in Jordanien nicht erhältlich sind, mit einem Zeitaufwand bis zu 4–6 Monaten verbunden. Die seinerzeit von der Yarmouk Universität in Irbid übernommene Beprobung und Auswertung der Testfelder ist unterblieben, weil der damit beauftragte Mitarbeiter ein Stipendium nach Deutschland annahm, ohne vorher die bereits gezogenen Proben ausgewertet zu haben.

Es gibt viele solcher und ähnlicher Probleme, die zusammen mit den vielfältigen Aktivitäten im Zuge des Aufbaus eines so großangelegten Projekts, der notwendigen Langzeitbeobachtung der Testfelder, der Ausbildung ungelernter Arbeitskräfte etc. zu Verzögerungen im zügigen Ablauf eines Vorhabens führen. So kann auch noch kein Gesamtphoto des Endzustands des restaurierten Monumentes geboten werden, sondern nur ein fertiger Teilbereich (Farbtafel XVII. 1–3). Nach Fertigstellung der Arbeiten ist ohnehin noch ein Beobachtungszeitraum von mindestens zwei Monaten angebracht.

Neben den fortlaufenden Restaurierungsarbeiten werden die Beduinen im übrigen auch steinmetzmäßig ausgebildet (Abb. 15). Damit werden verschiedene Ziele verfolgt: Erstens erscheint es grundsätzlich wichtig, daß die Arbeitskräfte, die Naturstein restaurieren, Naturstein auch bearbeiten können, weil sie dadurch ein Gefühl für das Material und die Arbeitsweise der Schöpfer der Monumente entwickeln. Zweitens werden diese Fähigkeiten für die Anfertigung von Versatzstücken als Vierungen gebraucht und drittens ist eine gewisse Beherrschung der Oberflächenbearbeitung für die Strukturierung der ergänzten Schadstellen erforderlich. Diese Ausbildung ist von den Beduinen begeistert aufgenommen worden, weil sie dadurch das Gefühl haben, einen richtigen Beruf zu erlernen.

Die Probleme der Restaurierung scheinen nun gelöst, doch muß zur Sicherheit noch vor der Ausrüstung ein abschließender Beobachtungszeitraum eingehalten werden. Bei einer so ungewöhnlichen, mit vielen Unwägbarkeiten behafteten Aufgabe hat sich das schrittweise Herantasten an die Problematik, das Aus-testen von Materialien und Verfahren, die Beobachtung von Tests und Mustern über längere Zeiträume hinweg jedoch bewährt, um das Verhalten der Materialien und ihre Reaktionen auf die chemisch-physikalischen Abläufe im Felsgestein richtig beurteilen zu können.

unpredictable water and salt concentrations within the natural rock. For this reason the restoration of Tomb 825 was conceived as a case study for all further restoration work. Restoration is a process of learning and experiences, from which all further campaigns have to develop their standards. The behaviour of the repair mortar in the test fields and on Tomb 825 shows already how different the situations encountered in the mountains of Petra can be, that in each measure one has to be aware of unforeseen surprises, that flexibility and sometimes improvisation too are requested. But still, in the course of time and with the increasing number of restorations the experiences and the routine will increase.

Besides, we should not forget, that in regions and countries without any natural resources, hindrances and difficulties are to be overcome, that do not have to be necessarily of scientific nature. In Jordan, bentonite is not available and has to be substituted by other materials, e. g. acetone is not available in the appropriate degree of purity and quality needed. The ordering of material for restoration not available in Jordan takes at least 4 to 6 months. The examination and evaluation of test fields originally taken over by Yarmouk University has not been realized at all, because the specialist concerned for this work accepted a grant for Germany without having worked on the drill cores already taken at all.

There are many problems of this kind, which along with the necessary long-term-examination of test fields, the training of unlearned collaborators etc. become hindrances for a straightforward realisation of a project of this size. This is one reason why no complete photograph of the final results of the restoration campaign can be presented until now, but only a partial view (colour plate XVII. 1–3). After finishing the restoration work at least two months of time are needed to survey and examine the results anyway.

Besides the ongoing restoration work, the Bedouins are trained in stone masonry as well (fig. 15). Different goals will be achieved thereby. At first it seems to be of general importance, that those workers responsible for the restoration and conservation of natural stone, should also be able to work with it, because they will gain a feeling for the material itself as well as for the working process of those, who created these monuments. Second, the abilities acquired will be needed for the making and subsequent dressing of insets and, third, a certain ability is needed for the structurization of the fillings in order to make them fit into the historical surrounding.

Problems in restoration seem to be solved by now, but to gain more security a certain span of time for observation and close-watching has to be invested before taking off the scaffolding. For such an unparalleled task with a lot of unpredictable factors a step-by-step facing of the problems, the testing of materials and procedures, the close observation of tests and test fields over a longer span of time has proved necessary to evaluate the behaviour of the materials and their reactions on the physical and chemical procedures taking place within the natural rock.

The preservation, restoration and caretaking of the monuments in Petra is a task for at least the forthcoming decades. Therefore the project and the restoration campaign in Petra on Tomb 825 was conceived to create the basis for this future enterprise and thus to ensure sustainability to the preservation efforts for this World Cultural Heritage Site.



Die Erhaltung, Restaurierung und Pflege der Monumente in Petra ist eine Aufgabe zumindest der kommenden Jahrzehnte und so ist das Projekt einschließlich der Proberestaurierung des Monuments 825 auch darauf angelegt, die Grundlagen für diese Aktion der Zukunft zu schaffen und damit den Erhaltungsbemühungen um dieses Weltkulturerbe die notwendige Nachhaltigkeit zu sichern.

### Anmerkungen

- 1 Egon Kaiser, Inhaber der Firma Facius-Kaiser, ist selbständiger Restaurator in Bayern und hat zusätzlich eine Ausbildung als Steinmetz und Steinbildhauer genossen. Er war an der Entwicklung des Kieselolmörtels und vor allem bei der Adaption seiner Anwendung im restauratorischen Bereich in wesentlichem Maße beteiligt. Alle Mörtelmischungen sowie Arbeitsmethoden und -schritte sind von ihm angegeben worden. Er ist als Fachberater des Projekts tätig und weist auch jeweils die als Kurzeitexperten zur Anleitung der örtlichen Arbeitskräfte wechselweise in Petra tätigen deutschen Steinrestauratoren in ihre Aufgaben ein.
- 2 Die Beschreibung einzelner Arbeitsschritte der Restaurierung ist teilweise den Arbeitsberichten der Steinrestauratoren Carsten Böhm, Absolvent der Fachhochschule Potsdam und Nicole Stegemann, Diplomandin der Fachhochschule Köln, entnommen, die jeweils als Kurzeitexperten 1998 in Petra tätig waren.  
1999 wurde die Restaurierung von Willi Christiansen, Steinmetz in der Denkmalpflege, Mitglied eines kleinen Steinmetz- und Restaurierungsbetriebs in Berlin betreut, der auch die beduinischen Mitarbeiter in der Bearbeitung von Stein unterwies hat und deren Begeisterung für diese Tätigkeit wecken konnte. Die letzte Phase der Arbeit wird von Andreas Battle, Mitarbeiter in der Firma Facius-Kaiser, und Reinhard Guhlmann betreut.

### Abbildungsnachweis

EGON KAISER, OBERSCHEINFELD: *Abb. 1, 7*  
MICHAEL KÜHLENTHAL, MÜNCHEN: *Abb. 2-5, 9-15*  
HELGE FISCHER, AMMAN: *Abb. 6, 8*

### Notes

- 1 Egon Kaiser, owner of the company Facius-Kaiser, is working as an independent restorer in Bavaria and has undergone an additional education as stone mason and stone restorer. He has been mainly responsible and deeply involved in the evolution of silica sol mortar and in the main place with its adaptation in the field of restoration. All mortar mixtures, working methods and procedures have been instructed by him. He works as a specialist and consultant for the project and introduces the stone-restorers from Germany.
- 2 The description of particular steps and procedures in the restoration work is taken from records by the stone restorers Carsten Böhm, finalist of the College in Potsdam, and Nicole Stegemann, graduate student at the College in Cologne, who were working as short-time-experts in the training of local workers for the project in Petra in 1998.  
The campaign in 1999 was curated by Willi Christiansen, stone mason in the field of preservation of historical monuments, member of a small stone mason and restoration workshop in Berlin, trainer of the Bedouin working team in stone restoration who was able to enflame the enthusiasm of his trainees. The last phase of the work will be supervised by Andreas Battle, collaborator of the studio Facius-Kaiser.

Translation from the German into English by Nicole Schenkel and the author

### Photo Credits

EGON KAISER, OBERSCHEINFELD: *Figs. 1, 7*  
MICHAEL KÜHLENTHAL, MUNICH: *Figs. 2-5, 9-15*  
HELGE FISCHER, AMMAN: *Figs. 6, 8*