



P E T R A

M. Kühenthal

H. Fischer

ICOMOS · HEFTE DES DEUTSCHEN NATIONALKOMITEES XXXIV
ICOMOS · JOURNALS OF THE GERMAN NATIONAL COMMITTEE XXXIV
ICOMOS · CAHIERS DU COMITÉ NATIONAL ALLEMAND XXXIV

PETRA MONUMENTS AND SITES

MONUMENTS ET DES SITES

DE MONUMENTOS Y SITIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

DE MONUMENTOS E SÍTIOS

PETRA

Die Restaurierung der Grabfassaden

The Restoration of the Rockcut Tomb Façades

Mit Beiträgen von / with Contributions by

Talal Alkhashch, Zaki Aslan, Egon Kaiser, Ziad al-Said,
May Sliam, Rolf Sorchling, Thomas Urban, Fawzi Zayadine

ICOMOS

DEUTSCHES NATIONALKOMITEE

DEUTSCHLAND

Deutscher Archäologischer Institut

BRUNNEN

Deutsch-jordanisches Projekt zum Aufbau
eines Konservierungszentrums für Petra

gefördert durch das Bundesministerium für wirtschaftliche
Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ)

German-Jordanian Project for the Establishment
of a Conservation Center in Petra

supported by the Federal Ministry for Economic
Cooperation and Development (BMZ)

www.brunnen.de

COMITÉ NATIONAL ALLEMAND DE LA SOCIÉTÉ DES ARCHÉOLOGES
DEUTSCHES NATIONALKOMITEE DER DEUTSCHEN NATIONALKOMITEES XXXIV
COMITÉ NATIONAL ALLEMAND DE LA SOCIÉTÉ DES ARCHÉOLOGES XXXIV
COMITÉ NATIONAL ALLEMAND DE LA SOCIÉTÉ DES ARCHÉOLOGES XXXIV

INTERNATIONAL COUNCIL ON MONUMENTS AND SITES
CONSEIL INTERNATIONAL DES MONUMENTS ET DES SITES
CONSEJO INTERNACIONAL DE MONUMENTOS Y SITIOS
МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОВЕТ ПО ВОПРОСАМ ПАМЯТНИКОВ И ДОСТОПРИМЕЧАТЕЛЬНЫХ МЕСТ

Michael Kühnenthal / Helge Fischer

PETRA

Die Restaurierung der Grabfassaden *The Restoration of the Rockcut Tomb Façades*

Mit Beiträgen von / *with Contributions by*

Talal Akasheh, Zaki Aslan, Egon Kaiser, Ziad al-Saad,
May Shaer, Rolf Snethlage, Thomas Urban, Fawzi Zayadine

ICOMOS
DEUTSCHES NATIONALKOMITEE

Geschäftsstelle:

Bayer. Landesamt für Denkmalpflege

Postfach 10 02 03 - 80076 München

Bilal Hek

Deutsch-Jordanisches Projekt zum Aufbau
eines Konservierungszentrums für Petra
gefördert durch das Bundesministerium für wirtschaftliche
Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ)

*German-Jordanian Project for the Establishment
of a Conservation Center in Petra
promoted by the Federal Ministry for Economic
Cooperation and Development (BMZ)*

INTERNET: <http://www.icomos.org/germany>

ICOMOS · HEFTE DES DEUTSCHEN NATIONALKOMITEES XXXIV
ICOMOS · JOURNALS OF THE GERMAN NATIONAL COMMITTEE XXXIV
ICOMOS · CAHIERS DU COMITÉ NATIONAL ALLEMAND XXXIV

ICOMOS, Hefte des Deutschen Nationalkomitees
Herausgegeben vom Nationalkomitee der Bundesrepublik Deutschland
Präsident Prof. Dr. Michael Petzet
Vizepräsident Dr. Kai R. Mathieu
Generalsekretär Dr. Werner von Trützschler
Geschäftsstelle: Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, Hofgraben 4, D-80539 München

*Gefördert aus Mitteln des Beauftragten
der Bundesregierung für Angelegenheiten
der Kultur und der Medien*

PETRA

Umschlagabbildungen / Cover:

Vorderseite / Frontcover:

Petra, Al-Khazna am Ausgang des Siq

Petra, Al-Khazna at the end of the Siq

(Aufn. Michael Kühenthal, Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege /

photograph by Michael Kühenthal, Bavarian State Department of Historical Monuments)

Rückseite / Backcover:

Petra, Arbeit mit der Totalstation online mit dem Computer

Petra, working with the total station and online with the computer

(Aufn. Bernhard Strackenbrock und Thomas Urban, Birkenwerder /

photograph by Bernhard Strackenbrock and Thomas Urban, Birkenwerder)

Vorwort: Übersetzung aus dem Deutschen durch Michael Foster

Foreword: Translated from the German into English by Michael Foster

© ICOMOS, Nationalkomitee der Bundesrepublik Deutschland, 2000

Schriftleitung: Helga Nora Franz-Duhme, Christine Schuller, Susan Tipton

Text- und Bildgestaltung: Helga Nora Franz-Duhme

Redaktionelle Mitarbeit: Susanne Böning-Weis, Michael Foster, Karlheinz Hemmeter,

Nicole Schenkel, Sabine Tönnies und John Ziesemer

Gesamtherstellung: Lipp GmbH, Graphische Betriebe, Meglingerstraße 60, 81477 München

Vertrieb: Karl M. Lipp Verlag, Meglingerstraße 60, 81477 München

ISBN: 3-87490-672-8

Inhaltsverzeichnis / Table of Contents

Egon Johannes Greipl Vorwort / <i>Foreword</i>	7
Ghazi Bisheh Grußwort / <i>Greeting</i>	10
Helge Fischer Das Deutsch-Jordanische Projekt für den Aufbau eines Konservierungs- und Restaurierungszentrums in Petra <i>The German-Jordanian Project for the Establishment of a Conservation and Restoration Center in Petra</i>	13
Michael Kühnenthal Petra. Eine Einführung / <i>Petra. An Introduction</i>	27
Fawzi Zayadine Notizen zur frühen Geschichte und zum Königreich der Nabatäer <i>Notes on the Early History and the Kingdom of the Nabataeans</i>	52
Michael Kühnenthal Das Rahmenkonzept für die Restaurierung der Grabfassaden in Petra <i>The Basic Preservation Concept for the Tomb Façades in Petra</i>	67
Michael Kühnenthal, Helge Fischer Richtlinien für den Ablauf von Restaurierungsmaßnahmen in Petra <i>Guidelines and Procedures for the Restoration of the Monuments in Petra</i>	84
Michael Kühnenthal Richtlinien für die Dokumentation der Restaurierungsmaßnahmen in Petra <i>Guidelines for the Documentation of the Restoration Measures in Petra</i>	87
May Shaer, Zaki Aslan Die Bautechnik der Nabatäer mit besonderer Berücksichtigung der Architektur von Monument 825 (Monument der Vierzehn Gräber) <i>Nabataean Building Techniques with Special Reference to the Architecture of Tomb 825</i> (<i>Tomb of the Fourteen Graves</i>)	89
Farbtafeln / <i>Colour Plates III–XXV</i>	109
May Shaer Verputz und farbige Fassung der Felsfassaden von Petra <i>Plaster and Colour on the Rock-Cut Tomb Façades of Petra</i>	133
Thomas Urban Ein Dokumentations- und Archivierungssystem für die Monumente in Petra <i>A Documentation and Archiving System for the Monuments in Petra</i>	149
Zaki Aslan, May Shaer, Helge Fischer Methoden und Techniken, die bei der Dokumentation der Monumente in Petra angewendet werden <i>Methods and Techniques Applied in the Recording of the Monuments in Petra</i>	178

Rolf Snethlage

Erprobung und Prüfung von Steinerfüllungsmaterialien in Petra

Testing and Evaluation of Stone Repair Materials in Petra 184

Ziad al-Saad

Ein Laborversuchsprogramm zur Beurteilung verschiedener Arten von Steinfestigern zur Erhaltung der Sandsteinmonumente von Petra

A Laboratory Test Program for the Evaluation of Various Types of Stone Preservatives for Consolidating the Sandstone Monuments of Petra 191

Michael Kühenthal, Egon Kaiser, Helge Fischer

Testergebnisse und Verfahrensweisen bei der Einstellung des Reparaturmörtels

Test Results and Procedures in the Fine Tuning of the Repair Mortar 201

Zaki Aslan, May Shaer

Schadenskartierung und Maßnahmenplan für die Restaurierung des Monuments 825

Condition Assessment and Execution Plan for the Restoration of Tomb 825 209

Michael Kühenthal

Die Restaurierung des Monuments 825, eine Fallstudie

The Restoration of Tomb 825, a Case Study 217

Talal Akasheh

Eine Datenbank für Petra / *A Database for Petra* 230

Autoren / Authors 241

Das deutsch-jordanische Projekt zur Erhaltung der Grabfassaden von Petra kann in den Ländern des Vorderen Orients als Pilotprojekt betrachtet werden, das für das Königreich Jordanien wie für die Bundesrepublik Deutschland eine Besonderheit darstellt. Bei der Realisierung dieses auf lange Sicht auch für die Organisation der Denkmalpflege im Königreich Jordanien wichtigen Vorhabens, geht es ja über die Probleme der Steinkonservierung hinaus um Fragen des Umgangs mit einer der bedeutendsten archäologischen Stätten der Welt, die von der UNESCO in die Liste des Weltkulturerbes aufgenommen wurde. Das Konzept des von der Gesellschaft für technische Zusammenarbeit (GTZ) seit Ende 1993 durchgeführten Projekts wurde von Anfang an vom Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege und seinen Restaurierungswerkstätten beraten. Zudem verfügt das Bayerische Landesamt als einziges Denkmalamt der Bundesrepublik Deutschland über ein eigenes chemisch-physikalisches Zentrallabor, das seit seiner von der Stiftung Volkswagenwerk geförderten Gründung 1979 speziell mit den Problemen der Konservierung von Sandstein befaßt ist. Als zentrale Fachbehörde für alle Fragen des Denkmalschutzes und der Denkmalpflege konnte das Bayerische Landesamt für Denkmalpflege außerdem die gewünschten Experten für unterschiedliche Fachfragen entsenden und die Fortbildung junger jordanischer Kollegen bei ihren Studien zur Steinkonservierung und Bauforschung übernehmen.

Dank der guten Zusammenarbeit der beiden Hauptautoren dieses Arbeitshefts, Dr. Helge Fischer, der das Projekt für die GTZ leitet, und Hauptkonservator Dr. Michael Kühnenthal, dem Leiter der Restaurierungswerkstätten des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, der das Projekt von Anfang an beraten und betreut hat, können hier nicht nur die für die konservatorischen Probleme in Petra entwickelten Methoden und Vorgehensweisen sondern auch erste Ergebnisse vorgestellt werden: Teil der Darstellung des Gesamtprojekts ist die Restaurierung des „Monuments der Vierzehn Gräber“ (Grab Nr. 825), allerdings noch ohne eine Gesamtphotographie des Endzustands nach der Restaurierung, weil das Gerüst bei dieser Pilotmaßnahme zur weiteren Beobachtung noch einige Zeit stehen bleibt.

Da die Erhaltung der Gräberstadt als Daueraufgabe zu sehen ist, war das Hauptziel des Projekts der Aufbau eines eigenen Re-

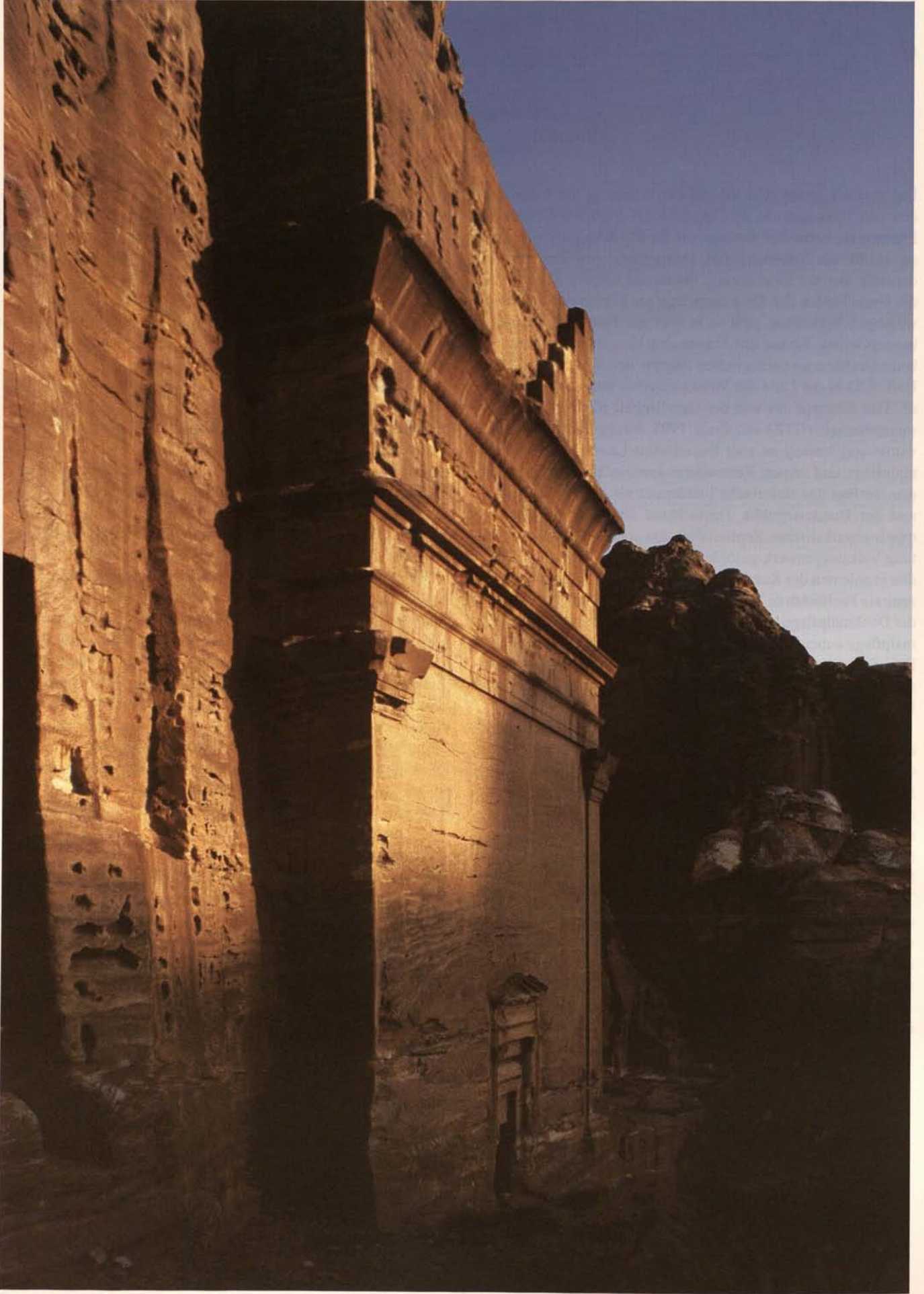
staurierungszentrums für Petra, eine moderne Institution, die mit entsprechend ausgebildeten Fachkräften und einer den heutigen Anforderungen entsprechenden Ausstattung bei der notwendigen Instandhaltung und Konservierung der Felsfassaden in den kommenden Jahrzehnten gewachsen sein dürfte. Ein Beitrag dazu ist auch die Zusammenarbeit mit der Yarmouk-Universität in Irbid und die Einführung eines Studiengangs für Konservierungswissenschaften, der sich auch auf die Denkmalpflege in den übrigen Ländern des Vorderen Orients auswirken kann.

Im übrigen wäre es natürlich zu begrüßen, wenn das neue Restaurierungszentrum in Petra auch weiterhin durch einen entsprechenden Erfahrungsaustausch mit dem Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege verbunden bliebe, das in den vergangenen Jahren bei denkmalpflegerischen Maßnahmen einiger Weltkulturdenkmäler beratend tätig gewesen ist, u. a. bei der Restaurierung der Samsarat-al-Mansurah in Sana'a (vgl. Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, Bd. 70; ICOMOS, Hefte des Deutschen Nationalkomitees, Bd. XV).

Mein Dank für die hervorragende Zusammenarbeit gilt unseren jordanischen Partnerorganisationen, die sehr viel Geduld und Verständnis für die bei einem solchen Projekt notwendigen langwierigen Vorbereitungsarbeiten aufgebracht haben. Mein Dank gilt ebenso dem Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) für die Finanzierung und Unterstützung dieses zukunftsweisenden denkmalpflegerischen Unternehmens, das zwar angesichts der Rolle von Petra als eine der Hauptattraktionen des internationalen Tourismus seine besondere wirtschaftliche Bedeutung hat, aber als Initiative zur Rettung eines einzigartigen Kulturerbes doch aus dem Rahmen der üblichen deutschen Entwicklungspolitik fällt. So können wir angesichts der großen Chancen und Möglichkeiten, die gerade die Bewahrung des historischen Erbes in vieler Hinsicht bietet, nur hoffen, daß das Projekt Petra zum Vorbild für weitere Initiativen dieser Art wird.

Dr. Egon Johannes Greipl

Generalkonservator
des Bayerischen Landesamtes
für Denkmalpflege



Petra, Hegragrab / Petra, Hegra tomb

The conservation of the tomb façades in Petra, a joint German-Jordanian undertaking, can be viewed in the countries of the Middle East as a pilot project, one that is certainly peculiar and special in character both to the Kingdom of Jordan and to the Federal Republic of Germany. The realization of this project, which may play a not unimportant role in the organization of future conservation activities in Jordan, involves not only matters of stone conservation, but also the wider issue of how to approach an archaeological monument of such major significance that it is listed by UNESCO as a World Heritage Site. From the outset, the project, which has been carried out since 1993 by the German Technical Cooperation (GTZ), profited from the advice of the Bavarian State Department of Historical Monuments and its restoration workshops. The Bavarian State Department of Historical Monuments is the only such institution in the Federal Republic of Germany to possess a central physicochemical laboratory, and since its establishment with the generous support of the Volkswagen Foundation in 1979, this has concerned itself with the problems involved in conserving sandstone. As the central authority for all matters of monument protection and conservation, the Bavarian State Department of Historical Monuments was also in a position to provide the experts required for various specialist issues and to give young Jordanian colleagues further training in matters of stone conservation and building investigation.

The excellent cooperation between the two main authors of this publication, Dr. Helge Fischer, who has headed the project on behalf of the GTZ, and Dr. Michael Kühenthal, Head of the Restoration Department at the Bavarian State Department of Historical Monuments, who has performed an advisory and supervisory function from its inception, has made it possible not only for the conservation procedures developed to deal with the problems encountered in Petra to be presented here, but also the first results of these methods. Thus, the restoration of the 'Tomb of the Fourteen Graves' (no. 825) appears in this volume as part of the description of the entire undertaking. It has not been possible, however, to reproduce a photograph of the finished work because these pilot measures entail leaving the scaffolding in place for some time in order to facilitate further observation.

The preservation of the necropolis of Petra is an ongoing task. The main goal of the GTZ project was therefore to establish a

center for restoration in Petra itself. Now largely complete, this is a modern institution staffed with specially trained experts who are well equipped to carry out the preservation and conservation measures that will be necessary in coming decades. The same aim lay behind the assistance provided by Yarmouk University in Irbid in setting up a course in conservation and science which may well have an effect on conservation activities in other Middle Eastern countries.

It is to be hoped, too, that the new restoration center in Petra will remain in close contact with the Bavarian State Department of Historical Monuments, exchanging information with an institution that, in recent years, has participated in an advisory capacity in the conservation and restoration of a number of World Heritage Sites, including the Samsarat-al-Mansurah in Sana'a (see vol. 70 of the Bavarian State Department of Historical Monuments Arbeitshefte and vol. XV of the publications issued by the German National Committee of ICOMOS).

I wish to thank our partner organizations in Jordan for the outstanding cooperation, in particular for the great patience and understanding they showed during the long period of preparation unavoidable in an undertaking of this kind. I should also like to thank the Federal Ministry for Economic Cooperation and Development for financing and otherwise supporting a pioneering conservation project that, although it possesses considerable economic importance with respect to Petra's status as a main attraction of international tourism, is aimed primarily at saving a unique cultural monument and thus lies outside the customary range of foreign aid provided by the German government. It therefore remains to express the hope that, in view of the many and varied possibilities opened up by work on the preservation of historic monuments, the Petra project will serve as a model for further initiatives of this type.

Dr. Egon Johannes Greipl
General Conservator
Bavarian State Department
of Historical Monuments

Grußwort

Das kulturelle Erbe unseres Landes ist einer unserer größten Reichtümer. Unsere wichtigsten Kulturgüter befinden sich unter der Erde in archäologischen Fundstätten und lassen sich bis in die früheste Zeit zurückdatieren. Der geschichtsträchtige Boden Jordaniens gibt immer noch jahrtausendealte Kulturstätten frei, die von uralter Tradition sprechen.

Das Interesse an unserem archäologischen Erbe führt schon seit mehreren Jahrzehnten zu zahlreichen nationalen und internationalen wissenschaftlichen Kooperationen. Aber während die Kultur in Jordanien auf eine lange Tradition zurückblickt, auf die wir stolz sind, wurde vor allem im letzten Jahrzehnt deutlich, daß es an einer Tradition zu ihrer Erhaltung fehlt. So wurde der Wunsch nach dem Aufbau einer eigenen Denkmalpflege mehrfach geäußert. Insbesondere im Hinblick auf den zunehmenden Verfall der Monumente Petras unterstützt das Department of Antiquities seit langem den Plan zum Aufbau eines Restaurierungszentrums, sah sich bisher jedoch außerstande, dieses aus eigener Kraft zu verwirklichen.

Das Department of Antiquities ist der Bundesrepublik Deutschland daher außerordentlich dankbar, daß sie dem Wunsch der jordanischen Regierung, beim Aufbau eines Restaurierungszentrums für Petra behilflich zu sein, entsprochen hat. Schon seit 1993 unterstützt die Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) aus Mitteln des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) unser Land beim Aufbau dieses Zentrums, dessen Einrichtung sich jedoch als ein langwieriger Prozeß erweist. Trotz umfangreicher Vorarbeiten, die bereits durch das Projekt geleistet wurden und trotz Durchführung anspruchsvoller Ausbildungs- und Trainingsprogramme, gibt es noch Bedarf an weiterführenden Verbesserungen. Es zeigt sich, daß der Aufbau eines solchen Zentrums ein langsamer und schrittweiser Weg ist.

Dennoch habe ich mit Freude beobachtet, wie im Laufe der Jahre eine zunehmende Zahl von Persönlichkeiten, offizielle Vertreter des Landes, Wissenschaftler und Privatleute, der Gründung dieses dringend benötigten Restaurierungszentrums ihre volle Unterstützung zusagten und auch zuteil werden ließen.

Mir ist es eine besonders angenehme Pflicht, all jenen Institutionen und Einzelpersonen, die das Projekt seit seinen Anfängen begleitet haben, meinen Dank auszusprechen: dem BMZ

und seinen Vertretern, die dieses Projekt auch in schwierigen Zeiten beständig unterstützt und der GTZ, die dem Projekt mit sorgfältiger Planung und Organisation geholfen haben. An dieser Stelle sei insbesondere auch dem Projektleiter Herrn Dr. Helge Fischer für seinen unermüdlichen Einsatz, für sein Einfühlungsvermögen und sein Verständnis auch in besonderen Situationen gedankt.

Vor allem aber bin ich glücklich, daß beim Aufbau einer Denkmalpflege in Jordanien Unterstützung durch das Bayerische Landesamt für Denkmalpflege, einer der renommiertesten Institutionen für Denkmalpflege in Deutschland, gewährt wird. Hier bedanke ich mich insbesondere bei dem vormaligen Leiter des Amtes, Herrn Generalkonservator Prof. Dr. Michael Petzet, der im Oktober 1999 in Ruhestand ging, und bei dem Leiter der Restaurierungsabteilung Herrn Dr. Michael Kühenthal, die das Projekt immer tatkräftig unterstützt haben.

Mein Dank gilt darüber hinaus dem GTZ-Büro in Amman, seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, Herrn Prof. Talal Akasheh, ohne den dieses Projekt nie zustande gekommen wäre, sowie der Yarmouk-Universität, die von Anfang an regen Anteil an dem Projekt genommen hat und dieses durch den Aufbau eines Studiengangs in Konservierungswissenschaften unterstützt.

Ich bin zuversichtlich, daß der vorliegende Band zu einem vertieften Verständnis beiträgt und ein Bewußtsein weckt für die Komplexität der Aufgabe, ein Restaurierungszentrum zu schaffen. Es ist mein besonderer Wunsch, daß die enormen Anstrengungen, die in dieses Projekt und seine Umsetzung investiert wurden und die auch weiterhin in die Realisierung dieser Aufgabe einfließen werden, bald von Erfolg gekrönt sein werden und zu einem erfolgreichen Abschluß führen: einem voll ausgebauten und funktionsgerechten Restaurierungs- und Konservierungszentrum in Petra.

Dr. Ghazi Bisheh
Generaldirektor
Department of Antiquities

Greeting

Das Deutsch-Jordanische Projekt für den Aufbau eines Konservierungs- und Restaurierungszentrums in Petra

The German-Jordanian Project for the Establishment of a Conservation and Restoration Center in Petra

The cultural heritage of our country constitutes one of our biggest treasures. Most of the important cultural goods of Jordan are archeological sites which partly date back to the earliest times and lie buried under its soil. More and more, the historical soil of Jordan reveals its millennia old cultural sites, proof of a long standing cultural tradition.

The interest in this rich archeological heritage has led to numerous national and international scientific operations, some of them dating back several decades. While the archeology of Jordan thus looks back to a long tradition, which we can be proud of, it became evident particularly during the last decades, that a tradition in the preservation of this rich cultural heritage is lacking. Thus the implementation of an institution coping with the needs of preservation for our cultural heritage has become an increasingly important issue in recent years. In view of the increasing deterioration of the monuments in Petra, particularly the Department of Antiquities has long since supported the idea of installing a restoration center. However, it soon had to realize that it lacked resources to do so on its own.

The Department of Antiquities is therefore particularly grateful to the government of the Federal Republic of Germany for positively responding to its request for technical assistance to establish a conservation and restoration center in Petra. As a result, the German Technical Cooperation (GTZ) has been steadily supporting the creation of this center through grants from the Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (BMZ) ever since 1993. The implementation of such a center, however, turned out to be a rather tedious process. In spite of the progress made so far through our joined project, including the installations that have been made and the execution of ambitious training programs for local personnel, there is still room for improvement. It is obvious that the setting up of such a center is a slow and gradual process.

Nevertheless, I was pleased to observe how, over the years, an increasing number of Jordanians, including officials, scientists and private citizens, have given their full support to the establishment of this overdue restoration center.

In particular, it is my pleasant duty to express my sincere thanks to the institutions and individuals who supported the project from its very beginning: to the BMZ and its representatives

who continued to lend their support even at difficult times, and to the GTZ for their careful planning and organization which contributed to the project. I am also particularly grateful to Dr. Helge Fischer, the GTZ project manager, for his unabated commitment and resiliency even at times when things appeared to be moving slowly.

Special thanks are due to the Bavarian State Department of Historical Monuments, long renowned for their work in the field of conservation and preservation of monuments and sites, to its former Director General, Professor Dr. Michael Petzet who retired in October 1999, and the head of the restoration department, Dr. Michael Kühenthal, whose support and help has always been forthcoming.

I am also grateful to the GTZ office in Amman and its staff, to Professor Talal Akasheh, who played a crucial role in the initiation of the project, and last but not least to Yarmouk University, which supported the project from its inception and undertook the revision of its current curricula to allow the setting up of a department for conservation science.

I trust that the present volume will contribute to a better understanding and awareness of the complexities involved in the creation of this center and the enormous amount of work that went into it. It is my sincere wish that the considerable efforts which have gone and continue to go into the execution of this project will soon be rewarded with their successful conclusion: a fully operational restoration and conservation center in Petra.

Dr. Ghazi Bisheh

Director General

Department of Antiquities



PETRA STONE PRESERVATION

Jordanian-German project for the establishment
of a conservation and restoration center in Petra

Executed by :

Department of Antiquities (DoA)

Under Technical Assistance of :

Deutsche Gesellschaft für

Technische Zusammenarbeit (GTZ)

(German Technical Assistance)



مشروع المحافظة على اثار البتراء

المشروع الاردني الالماني لتأسيس مركز
الترميم والمحافظة على الاثار في البتراء

تنفيذ المشروع :

دائرة الاثار العامة

المساعدة الفنية :

الوكالة الالمانية للتعاون الفني

Abb. 1. Baustellentafel am Monument 825 / Fig. 1. Building site board for Tomb 825

Das Deutsch-Jordanische Projekt für den Aufbau eines Konservierungs- und Restaurierungszentrums in Petra

The German-Jordanian Project for the Establishment of a Conservation and Restoration Center in Petra

Die Umstände, die zur Durchführung des Projekts geführt haben

Vorbemerkung zur Rolle der Entwicklungszusammenarbeit in einem Projekt der Denkmalpflege

Auf den ersten Blick mag es schon etwas eigenartig erscheinen: die Durchführung eines Projekts, das der Erhaltung eines Weltkulturdenkmals dient, im Rahmen der deutschen Entwicklungszusammenarbeit mit Jordanien angesiedelt zu sehen. Doch genau das ist es, was die Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) mit Mitteln des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) seit Ende 1993 in Petra tut.

Aus entwicklungspolitischer Sicht ist es in der Tat ein besonderes Projekt, handelt es sich hier doch um einzigartiges Kulturgut, um großartige Kunstwerke und um das Bemühen, dies zu erhalten. Für gewöhnlich wird dies nicht mit Entwicklungshilfe in Zusammenhang gebracht. Auch aus denkmalpflegerischer Sicht ist solch ein Projekt sicher nicht unmittelbar einleuchtend, geht es hier doch nicht primär um die Durchführung von Konservierungs- und Restaurierungsarbeiten.

Was ist es aber dann, was die Durchführung solch eines Projekts mit Mitteln des deutschen Steuerzahlers rechtfertigt? Es ist nicht allein die kulturelle und wirtschaftliche Bedeutung des Weltkulturdenkmals Petra, sondern vor allem auch die Nachhaltigkeit mit der das Projekt der Erhaltung eines Denkmals in einem Lande beizukommen sucht, das auf diesem Gebiet über keinerlei eigene Erfahrung verfügt. Das Projekt ist so angelegt, daß es eine dauerhafte Lösung für eine der größten Herausforderungen herbeizuführen sucht, der sich Petra heute zu stellen hat, nämlich der Suche nach einer Strategie und deren Umsetzung, die dem zu beobachtenden und rasch fortschreitenden Verfall seiner Monumente anhaltend entgegenwirkt, einer Strategie also, die einen langfristigen und auf Dauer angelegten Beitrag zur Erhaltung der Monumente und der sich daraus ableitenden wirtschaftlichen Vorteile leistet. Im Mittelpunkt dieser Strategie steht die Erkenntnis, daß eine auf Dauer angelegte Lösung zwei Bedingungen erfüllen muß: die Betrauung der örtlichen Bevölkerung mit dieser Aufgabe und das Vorhandensein einer starken und engagierten lokalen Institution. Die Besonderheit dieses Ansatzes liegt somit darin, daß er letztlich die Last und die Verantwortung, mit ihr aber auch die Möglichkeiten und Kompetenzen zur Erhaltung ihres kulturellen Erbes, der jordanischen Bevölkerung überträgt. Im Kern geht es in diesem Projekt darum, zum einen die Kapazitäten zur Wahrnehmung dieser Aufgabe zu schaffen, zum anderen aber auch an der Gestaltung der dazu erforderlichen politischen und institutionellen Rahmenbedingungen dahingehend mitzuwirken, daß von diesen neu geschaffenen Kapazitäten effizient Gebrauch gemacht werden kann.

Outline of the Circumstances Leading to the Implementation of the Project

A Brief Comment to the Chosen Approach

At first glance it may appear rather odd: the execution of a project dedicated to the protection of a country's cultural heritage being part of Germany's development co-operation with Jordan. But exactly this is, what GTZ (German Technical Cooperation), with funds from the German Ministry for Economic Co-operation and Development (BMZ) is doing since the end of 1993 in Petra.

From a developmental point of view it is indeed a peculiar project, dealing with a cultural treasure, structures of art and beauty and thus not quite something that we commonly associate with development assistance. Even from an architectural conservationist's point of view the approach chosen doesn't make immediate sense because, as it is, the project does not primarily deal with the conservation and restoration of monuments.

What is it then that justifies the execution of such a project from German taxpayer's money? It is, as we will see, not only the cultural and economic importance of the World Heritage Site of Petra but also the peculiar and sustainable approach chosen for its preservation in a country that has no experience of its own in this field. It is designed to offer a permanent solution to one of the major challenges Petra faces today, namely the search for a sound strategy to check its observable and rapid deterioration, with lasting and long-term effects for the protection of its monuments and the economic benefits derived from them. At the core of this strategy lies the realization that in the long run a lasting solution to this problem cannot be achieved without the involvement of the local population and the creation of a strong and dedicated local institution assigned to this task. What makes this approach so unique is that in the end it puts the burden and responsibility – but with it also the capacity – of protecting their cultural heritage entirely into Jordanian hands. Therefore the project is basically about creating the capacity and – where needed – generating the public and institutional support that allows making efficient use of this capacity.

The involvement of the public sector already indicates that the project is about much more than economic and technical assistance. It is about opening a dialogue, changing attitudes, getting a process in motion, creating public and institutional awareness and it is about the realization that cultural heritage cannot effectively be protected through efforts coming from outside the country.

At a closer look such a project thus indeed does make sense. From a developmental point of view it makes the country less dependent from outside intervention, strengthens local institutions involved and increases its capacity to solve its problems on its own with all the benefits that go with it. From an architectural

Die gleichzeitige Schaffung eines Bewußtseins für denkmalpflegerische Belange allein zeigt schon, daß es bei diesem Projekt um weit mehr geht, als um wirtschaftliche und technische Zusammenarbeit, wie unsere Entwicklungszusammenarbeit allgemein umschrieben wird. Es geht hierbei vor allem auch um die Eröffnung eines Dialoges mit Entscheidungsträgern, die Entstehung einer veränderten Haltung zu ihrem kulturellen Erbe, die Schaffung eines öffentlichen und institutionellen Bewußtseins sowie um die Erkenntnis, daß ein effizienter Schutz des kulturellen Erbes eines Landes nicht von Einrichtungen außerhalb des eigenen Landes gewährleistet werden kann.

Bei näherem Hinsehen macht daher solch ein Projekt natürlich Sinn: aus entwicklungspolitischer Sicht, weil es das Land langfristig von fremder Hilfe unabhängig macht, lokale Institutionen stärkt und die Kapazitäten des Landes, seine Denkmäler selber zu schützen, verbessert. Aus denkmalpflegerischer Sicht zeigt die Schaffung der hierzu erforderlichen Kapazitäten Kontinuität, Beständigkeit und eine dauerhafte Anstrengung in der Erhaltung der Bausubstanz. Diese Faktoren sind hierbei die grundlegenden Voraussetzungen für jegliches ernsthafte Bemühen um die Erhaltung des Kulturgutes eines Landes. Langfristig ist damit Petra weit mehr gedient als mit jeder von außen kommenden Hilfe für Einzelmaßnahmen, die letztlich immer punktuell und unkoordiniert bleiben.

Eine sicher nicht unbedeutende und durchaus beabsichtigte Auswirkung des Aufbaus solcher Kapazitäten ist darüber hinaus die Schaffung zahlreicher neuer Berufs- und Arbeitsfelder, die bisher von ausländischen Fachkräften wahrgenommen werden mußten. Für ein Land wie Jordanien dürfte es jedoch wichtig sein, daß sich der bessere Erhaltungszustand seiner historischen Denkmäler auf die Dauer auszahlt, wie die Beispiele aus vielen anderen Ländern es erwarten lassen: je sorgsamer ein Land mit seinen Kulturschätzen umgeht und je besser es diese erhält, desto größer ist ihre Anziehungskraft auf Besucher. Damit würde das Projekt auch einen Beitrag zur Sicherung einer der wichtigsten Einnahme- und Devisenquellen des Landes leisten – des Tourismus.

Es ist in diesem Zusammenhang sicherlich bemerkenswert, daß das BMZ sich zur Durchführung dieses in mancher Hinsicht einzigartigen Projekts entschlossen und der Entwicklungszusammenarbeit mit Jordanien angeschlossen hat und von dem einmal gefaßten Entschluß niemals abgerückt ist.

Anzeichen der Vernachlässigung und des zunehmenden Verfalls

Die Anzeichen des Verfalls der nabatäischen Grabdenkmäler in Petra sind zahlreich und alarmierend. Dem Besucher fallen solche Anzeichen nicht unmittelbar auf, kommt er doch nicht nach Petra, um nach Belegen zunehmenden Verfalls zu suchen, sondern um sich gerade an den besterhaltenen Zeugnissen nabatäischer Baukunst zu erfreuen, wie z. B. al-Khazna, des Palastgrabes oder ad-Dayr. Jene aber, die weniger gut erhalten sind und von denen heute nur Reste übrig blieben, werden kaum von ihm wahrgenommen.

Einst wurden die Hänge der steil aufragenden Felsenberge von mehr als 800 Fassaden gesäumt. Die meisten von ihnen waren – wie sich erst jetzt im Rahmen des Projekts herausstellte – leuchtend weiß und kunstvoll verziert, also keineswegs rosarot wie immer wieder zitiert wird. Nicht alle waren so großartig und von so überwältigender Schönheit wie al-Khazna oder ad-Dayr, dennoch waren auch sie architektonische, in Stein ge-

conservationist's point of view such a newly created capacity ensures continuity, consistency and permanent attention to the monuments, some of the basic ingredients of any serious effort to safeguard a country's heritage, and in the long run serves Petra much better than any outside intervention.

Aside from that, such a newly introduced capacity also generates a number of new job opportunities in the country that before, in one way or another, had to be given to foreign experts. Most of all, however, an improved state of conservation of its monuments and sites is bound to eventually pay off, as examples from many other countries indicate: the better a country's magnificent cultural heritage is kept in shape and the better it is treated the more attention it will draw. It is believed that in this way the project will also greatly contribute in securing the sustainability of the country's most important source of income and foreign exchange – tourism.

Nevertheless, it is certainly noteworthy that the BMZ committed itself to go ahead with this project unique in so many ways and incorporate it into its development co-operation program and never wavered to see it through.

Signs of Decay and Neglect

The signs of decay of the monuments of Petra are numerous and alarming. They are not immediately evident to the visitor though, because visitors certainly don't come to Petra in search for evidence of accelerated disintegration and decay. What they see are naturally the best preserved and most impressing examples of Nabataean architecture, the ones that show the least traces of decay, such as al-Khazna, the Palace Tomb or ad-Dayr.

They hardly notice, however, those that are in less good shape, the ones that didn't remain intact up to the present. Once, more than 800 façades, most of them – as a meticulous investigation carried out through the project – shining white and beautifully decorated – and not at all red as so often cited – lined the slopes of the steep mountains, not all of them as mighty and overwhelming as al-Khazna or ad-Dayr, but nevertheless architectural and masonry pieces of art in themselves. If one takes a closer look at these remnants of the other, only rarely and often just accidentally visited façades, one quickly realizes a disastrous fact: that most of the tombs of Petra are eroded beyond recognition.

A conservative estimate would be that more than 80 % of these once so elaborately chiselled and decorated façades are severely weathered, and for all practical purposes lost forever. The day the Nabataeans left Petra for good the monuments were again reintegrated into the cycle of nature and left unprotected to the forces of erosion and decay, forces that were once masterly checked by their creators. Channels got clogged and earthquakes cracked the rock out of which the façades were carved, and thus allowing water to attack the monuments from within and from the outside. Thus it doesn't come as a surprise that only a few of them, though battered almost miraculously survived this assault. All this clearly indicates that the major underlying reason for the evident and still ongoing decay of the monuments is neglect, a neglect that continues up to the present.

After Petra was declared a World Heritage Site by UNESCO in 1985 one would assume that a gradual reversal, from neglect to serious efforts at preserving the site and its beauty, would have taken place. The sad truth, however, is that so far very little has happened to ensure the survival even of the most prominent

meißelte Kunstwerke. Sieht man sich jedoch die Überreste dieser kaum beachteten und oft nur zufällig besuchten Fassaden näher an, so kommt man schnell zu der erschütternden Bilanz, daß die meisten Grabdenkmäler bis zur Unkenntlichkeit erodiert sind.

Nach einer vorsichtigen und eher konservativen Schätzung sind mehr als 80 % der einst so kunstvoll herausgemeißelten und dekorierten Felsengräber so stark verwittert, daß sie als unwiederbringlich verloren angesehen werden müssen. Mit dem endgültigen Auszug der Nabatäer wurden die Monumente wieder in den Kreislauf der Natur einbezogen und den Angriffen der Elemente ausgesetzt, vor denen sie einst ihre Erschaffer so sorgsam geschützt hatten. Ablaufirren versandeten, Erdbeben rissen Spalten in die Felsen aus denen die Monumente herausgemeißelt waren. So wurden neue Angriffsflächen geschaffen. Es verwundert daher kaum, daß nur wenige auf fast wundersame Weise bis auf den heutigen Tag erhalten geblieben sind, wenn auch oft stark beschädigt. Damit wird unmittelbar deutlich: es ist letztlich nicht die Witterung, die zu diesem unwiederbringlichen Verlusten geführt hat, sondern die Vernachlässigung und mangelnde Sorge um deren Erhalt, eine Vernachlässigung, die bis zum heutigen Tag andauert.

Man könnte nun annehmen, daß mit der Aufnahme von Petra in die Liste der Weltkulturdenkmäler durch die UNESCO im Jahre 1985 ein allmähliches Umdenken einherging und dem Erhalt Petras nun größere Aufmerksamkeit gewidmet wurde. Die traurige Wahrheit ist jedoch, daß bisher kaum etwas zur Sicherung des Überlebens auch nur der wichtigsten Beispiele nabatäischer Baukunst unternommen wurde. Dies ist ein alarmierender Tatbestand. Wenn in eineinhalb Jahrtausenden mehr als 80 % der Baudenkmäler der Verwitterung zum Opfer fielen, dann ist es nur eine Frage der Zeit bis auch die letzten Zeugnisse dieser Kultur verschwunden sind. Der Zerfall von Bausubstanz ist, wenn keine Maßnahmen getroffen werden, die dem Einhalt gebieten, ein immer rascher fortschreitender Prozeß. Die Tatsache, daß einige Monumente bis heute relativ unbeschadet erhalten geblieben sind, bedeutet daher keinesfalls, daß davon ausgegangen werden kann, daß sie für einen ähnlich langen Zeitraum weiterbestehen werden. Der drohende Verlust weiterer wertvoller Bausubstanz ist somit unmittelbar und real.

Schlimmer noch: die wenigen und sicher auch ehrenhaften Versuche, die unternommen wurden, um einzelne Partien von Monumenten zu konsolidieren, wie z. B. an al-Khazna oder dem Palastgrab, waren eher Fehlschläge. Es waren wohlgemeinte Maßnahmen zu ihrer Zeit. Inzwischen ist jedoch klar, daß sie ihren Zweck kaum erfüllten und langfristig gesehen den ursprünglichen Schaden eher noch verschlimmern. Es ist vor allem der verbreitete und wiederholte Einsatz von Portland-Zement, der mit seinen vom Sandstein gänzlich abweichenden Eigenschaften den Monumenten abträglich ist und für den aus verschiedenen anderen Gründen in Petra kein Platz bleibt.

Risiken und Folgen einer weiteren Vernachlässigung

Die nabatäische Königsstadt Petra war schon immer ein Hauptanziehungspunkt für Touristen im Orient, die wegen ihres einzigartigen Umfeldes, ihrer besonderen Architektur und herausragenden Schönheit Reisende aus allen Teilen der Welt anzog. Aufgrund ihrer hohen kulturellen Bedeutung wurde sie schon früh als Weltkulturstätte anerkannt. Mit der Unterzeichnung des Friedensvertrages zwischen Jordanien und Israel im

examples of Nabataean architecture, a truth that is indeed alarming. If it took about fifteen centuries to obliterate more than 80 % of the façades, how long will it take until these last preserved samples of Nabataean architecture have disappeared? Decay is an accelerating process: the fact that some monuments survived in a relatively presentable shape for almost two thousand years gives no guarantee that they will survive for an equally long period of time. Consequently the threat for further loss of material and irreplaceable architectural details is imminent and real.

To make things worse, the few, and surely honorable attempts that have been made to save parts of some of the monuments, e.g. at al-Khazna and the Palace tomb, were actually failures. They were well-intended efforts in their time, but now we know that they were futile and in fact in the long run may be more harmful to the monuments than if nothing had been done at all. It is above all the repeated and excessive use of Portland cement, with its entirely different properties that, forms an incompatible mix with the sandstone out of which the tombs are carved, that is extremely detrimental to the monuments and for many other reasons has no place in Petra.

Risks and Consequences of Further Neglect

The ancient Nabataean city of Petra has always been the prime tourist spot of the country that has – because of its unique architecture, the peculiar way in which the façades were shaped and its outstanding setting and beauty – attracted travellers from all over the world. Due to its great cultural significance for humanity it has long been recognized as a World Heritage Site. Furthermore the signing of the peace treaty between Jordan and Israel in November 1994 greatly contributed to an unprecedented increase in the number of tourists visiting Petra.

But, as with many other monuments and sites in the country, little or nothing was being done from the Jordanian side to make them presentable, preserve their beauty and protect them from further damage. While a boom in hotel construction set in immediately after the peace treaty was signed, roads were hastily being built and widened and world wide promotional activities for tourism to Jordan launched, virtually nothing – except for the support granted by the German Government since the end of 1993 – was being done for the monuments themselves. Tourism rapidly developed into the country's major source of foreign exchange but the source of all this income continued to be neglected. Such neglect poses a serious problem to the country: the threat of literally eroding and eventually losing much of this economic resource. The lack of any visible effort to preserve its cultural heritage also reflects badly on the value a country attributes to its rich cultural heritage and leaves many visitors frustrated. The visible care for its historical sites is certainly one of the best ways of promoting their uniqueness.

Causes Leading to this Situation

The need for a systematic and comprehensive response to this deplorable situation had long been recognized among scholars and concerned people alike in the country. The deterioration of many of its precious monuments was observable and evident not only in Petra but on all major historic sites. The effects of natural causes were clearly visible but it was also understood that wrong practices, lack of standardized procedures or any system-

November 1994 aber erlebte der Tourismus einen beispiellosen Aufschwung, der Petra seitdem einen unerwartet hohen Besucherstrom beschert hat.

In der folgenden Zeit wurde jedoch weder in Petra noch an anderen historischen Stätten kaum etwas unternommen, um diese besser von jordanischer Seite zu präsentieren oder vor weiteren Schäden zu schützen. Während unmittelbar nach der Unterzeichnung des Friedensvertrages im Hotelbereich ein Bauboom sondergleichen einsetzte, hastig Straßen neu gebaut und erweitert wurden sowie weltweit Förderungskampagnen für den Tourismus in Jordanien starteten, wurde an den Monumenten, wenn man an dieser Stelle zunächst von der Unterstützung des Projekts durch die Bundesrepublik Deutschland seit Ende 1993 absieht, selbst beinahe nichts getan. Während der Tourismus sich also zu der wichtigsten Devisen- und Einnahmequellen des Landes entwickelte, wurde der eigentliche Ausgangspunkt dieses Aufschwungs, die Resource Kultur, weiterhin vernachlässigt. Diese Vernachlässigung der eigentlichen Substanz stellt ein ernstzunehmendes Problem dar, denn ihr Verfall bedeutet zugleich den Verfall einer wichtigen wirtschaftlichen Größe. Das Fehlen jeglicher sichtbarer Anstrengungen etwas für den Erhalt seiner historischen Bauwerke zu tun, wirft zudem ein schlechtes Licht auf den Umgang eines Landes mit seinem kulturellen Erbe und den Wert, den es diesem beimißt. Die sichtbare Sorge um den Bestand und Erhalt seiner historischen Stätten ist sicher einer der besten Wege, für deren Bedeutung und Einzigartigkeit zu werben.

Die Hintergründe, die zu dieser Situation geführt haben

Unter den aufmerksamen und um ihr kulturelles Erbe besorgten Bürgern und Gelehrten im Lande fehlte es nicht an der Einsicht, daß ein Ausweg aus diesem beklagenswerten Zustand der Denkmalpflege in Jordanien gefunden werden mußte, zumal der zunehmende Zerfall wertvoller Bausubstanz nicht allein auf Petra beschränkt ist. Daß Verwitterungsprozesse hauptverantwortlich für die beobachteten Schäden waren, war weitgehend bekannt. Immer mehr setzte sich zudem die Erkenntnis durch, daß das Fehlen einer systematischen und standardisierten Vorgehensweise, die Anwendung ungeeigneter Techniken und vor allem der Mangel an geeigneten Kriterien und institutionalisierter Erfahrung auf dem Gebiet der Steinkonservierung zu den beobachteten Verlusten beitrugen.

Darüber hinaus wurde auch deutlich, daß sich Jordanien bei der Erhaltung seiner historischen Bausubstanz seit jeher fast völlig auf Hilfe verlassen hatte und damit von ausländischem Wohlwollen und Können abhängig war. Noch wichtiger war in diesem Zusammenhang womöglich die Einsicht, daß sich die Qualität der von ausländischen Missionen durchgeführten Arbeiten jeglicher eigener Kontrolle und Beurteilung entzog, da es an eigenem Können und eigenen Einrichtungen zur fachgerechten Restaurierung von Monumenten fehlte. So blieben unsachgemäße Eingriffe weitgehend unbemerkt.

Erschwerend kam hinzu, daß trotz solch vereinzelter Bemühungen etwas für die Denkmalpflege im Lande zu tun, es kaum Unterstützung für solche Ansätze in der breiten Öffentlichkeit und bei den zuständigen Stellen gab. Ein öffentliches Bewußtsein für den z. T. besorgniserregenden Zustand der historischen Stätten war wenig oder gar nicht vorhanden und das Fehlen jeglicher eigener Tradition auf dem Gebiet der Denkmalpflege trug nicht dazu bei, an diesem Zustand etwas zu ändern.

atic approach and most of all the absence of suitable criteria and institutionalized experience in the field of stone conservation and restoration greatly contributed to the observed loss.

Moreover, it was also recognized that since its early days Jordan had almost completely been relying on external help in the preservation of its built heritage, thus being highly dependent on foreign expertise and good will. Maybe even more important was the realisation that due to the lack of its own capacity and expertise in the preservation of monuments the country had hardly any control on the quality of the work done by such foreign missions, so that malpractice could easily go unchecked.

Further aggravating the situation was that in spite of the efforts of such individuals to remedy this situation, in the general public there was little or no realisation, institutionalized or otherwise, for the necessity for such an effort. General awareness of the precarious state of its historic sites was very low and the lack of any tradition of its own in the field of conservation and restoration in Jordan further contributed to the widespread disinterest in changing such affairs. In Petra, the mere fact that some of the monuments had survived without intervention for almost 2000 years to many appeared sufficient justification to drop the whole issue and leave matters as they were.

But what hampered the implementation of any serious effort to address the problems facing its cultural treasures most may now in retrospect easily be traced: bureaucratic hurdles, a lack of public awareness for the value of historic buildings and the absence of any tradition and formal training in the field of conservation sciences in the country. For the authorities thus to venture and to invest into an entirely new field of activity had to appear hazardous, particularly when keeping in mind that such an institution would in the long run be in need of additional funding to keep its operation running. In other words: not only could the system not offer an adequate response to the situation, it was in itself part of the problem. Taking this into account there was but little hope for the Petra façades.

The Making of the Project

This dilemma, that the country was in dire need of an institutionalized restoration effort but at the same time lacked the expertise and resources to establish it was first realized at the Institute of Archaeology and Anthropology (IAA) of the Yarmouk University (YU) in Jordan. Recognizing the complexity of the issue and the lack of any tradition in the field of stone conservation and restoration on any significant scale in Jordan the university decided to approach the German government for technical assistance. This could, however, not be done without involving the local authorities and seeking support on a broader scale. It is no surprise that such support initially came from two sides that have no direct affiliation with the government: the YU itself and then, the Petra National Trust (PNT). The idea was later also strongly supported by the German embassy in Amman.

Though not embracing the idea enthusiastically, however, credit goes to the Ministry of Planning (MOP) and the Department of Antiquities (DOA) for carefully listening to the propositions made and being open to the arguments put forward and finally endorsing the application to the German government.

A project proposal was consequently filed to the BMZ, the ministry in charge of approval and funding of all applications for technical co-operation submitted to the German government. Recognizing the potential for increasing Jordan's capacity to ad-

Die bloße Tatsache, daß in Petra einige Monumente mehr oder weniger unbeschadet fast 2000 Jahre überstanden hatten, war für die meisten Grund genug, sich mit der ganzen Angelegenheit nicht weiter zu befassen.

Im Rückblick lassen sich damit die Hauptursachen, die den Aufbau einer eigenständigen Denkmalpflege in Jordanien behinderten, leicht ausmachen: bürokratische Hürden, mangelndes Bewußtsein für den Wert und die Gefährdung historischer Bausubstanz und das Fehlen jeglicher Tradition und Ausbildungsangebote auf dem Gebiet der Denkmalpflege. Den lokalen Behörden mußte es daher gewagt erscheinen, sich auf die Gründung einer eigenständigen Denkmalpflege einzulassen, zumal dies nicht nur mit erheblichen Investitionskosten verbunden sein würde, sondern auch die Bereitstellung von Betriebsmitteln erfordern würde. Die zuständigen Behörden konnten somit nicht nur keinen Beitrag zur Lösung des Problems leisten, sie waren selbst Teil des Problems. Unter diesen Umständen bestand für die Grabfassaden in Petra wenig Hoffnung.

Die Entstehung des Projekts

Das Dilemma, daß Jordanien dringend eine institutionalisierte Denkmalpflege benötigte, aber weder über die Mittel noch das Wissen verfügte, eine solche aufzubauen, wurde zuerst vom Institute of Archaeology and Anthropology (IAA) an der Yarmouk University (YU) in Irbid richtig erkannt. In Erkenntnis der Komplexität des Sachverhaltes und dem Eingeständnis, daß es im Lande keinerlei Tradition gab, auf der man hätte aufbauen können, entschloß sich die Universität, die deutsche Bundesregierung um Hilfe zu ersuchen. Dies war jedoch nicht möglich, ohne die lokalen Behörden einzubeziehen und die Unterstützung einer breiteren Öffentlichkeit zu suchen. Es ist sicher nicht überraschend, daß Unterstützung anfangs vor allem von zwei Seiten kam, die keinen unmittelbaren Bezug zu den Behörden hatten: der YU selbst und dem Petra National Trust (PNT). Später wurde diese Idee auch von Seiten der deutschen Botschaft in Amman stark unterstützt.

Wenn diese Idee zunächst auch nicht die Begeisterung der zuständigen Behörden fand, so ist es letztlich das Verdienst des jordanischen Planungsministeriums (MOP) und der Antikenverwaltung (DOA), daß sie sich mit dem Vorschlag auseinandersetzten, den vorgebrachten Argumenten gegenüber aufgeschlossen zeigten und letztlich der Stellung eines Antrages an die Bundesregierung auf Unterstützung beim Aufbau eines Restaurierungszentrums in Petra im Rahmen der Entwicklungszusammenarbeit mit Jordanien zustimmten.

Es wurde infolgedessen ein Projektantrag an das BMZ gestellt, das für die Genehmigung und Finanzierung aller an die Bundesregierung geleiteten Anträge auf Entwicklungszusammenarbeit zuständig ist. Mit der Aussicht, dem Lande die Mittel in die Hand zu geben, seine restauratorischen Probleme selbst zu lösen und den langfristig damit verbundenen potentiellen wirtschaftlichen Nutzen für das Land besser einschätzen zu können, entschied sich das BMZ, eine Prüfmision nach Jordanien zu schicken, um die Förderungswürdigkeit des Antrages zu beurteilen. Um für eine Bewilligung in Frage zu kommen, galt es nicht nur auf Grundlage des Antrages einen in sich konsistenten und überzeugenden Projektvorschlag zu erarbeiten, der Vorschlag mußte auch den geltenden Richtlinien und Grundsätzen für die Durchführung von Projekten im Rahmen der Entwicklungszusammenarbeit entsprechen.

dress the evident restoration problems of its historical sites on its own and the possible long-term economic benefits for the country derived from such an effort, BMZ decided to send an appraisal mission to Jordan to further assess the situation. For an approval to be granted the proposed project had not only to be consistent and convincing in itself but it also had to conform to established criteria for extension of development assistance.

For execution of the appraisal mission BMZ commissioned the services of the GTZ a federal company being in charge of execution of technical co-operation projects in more than one hundred countries the world over. The appraisal team, fielded by GTZ, consisted of a team of German and Jordanian experts and included, for the required technical inputs, a delegation from the Bavarian State Department of Historical Monuments (BLfD). The BLfD is Germany's leading institution in the field of conservation and restoration of monuments and sites and is particularly renowned for its extensive experience in the treatment of sandstone.

After a joint systematic analysis and assessment of the conditions for execution of such a project a planning workshop was held to design the project on the basis of the findings of the appraisal mission in Amman. It is important to note in this connection that the participants of this workshop, in line with German development policy principles, were mainly Jordanian experts and informed representatives of all local parties concerned, public as well as private. Based on the results obtained, a new proposal for execution of the project was submitted to the BMZ.

Finally the tedious preparatory work, the enthusiasm and the dedication of the Jordanian proponents of the project paid off: they received a positive response from the German government and what became first known as the 'Petra Stone Preservation Project' (fig. 1) and later more specifically as the 'Jordanian-German Project for the Establishment of a Conservation and Restoration Center in Petra (CARCIP)' was born.

Design and Implementation of the Project

Purpose

The project's major goal is to implement and institutionalize internationally accepted conservation and restoration practices and procedures in Jordan. Its prime purpose is the preservation of the monuments of Petra through a permanent and ongoing effort. Essentially this shall be achieved through the creation of an appropriate Jordanian center that at the end of the project will be able to independently plan, supervise and execute all conservation and restoration work in Petra. It means that after completion of the project the restoration of the country's built heritage, through the newly established center and its installed facilities, will be an entirely Jordanian affair.

It needs to be stressed again that the main purpose of the project is not to restore or conserve a specified number of monuments but rather to establish a center that, once fully operational, addresses the conservation and restoration needs of Petra and at a later stage possibly of the nation as a whole. In effect it will be the first institution of its kind in the Arabic speaking Middle East. This does not mean, however, that in the course of the project no restoration activities will take place in Petra. To master the complex task of modern conservation and restoration a lot of practice and hands on experience is required, and can certainly not be achieved without the successful and exemplary restoration of a number of façades in Petra. It was thus always under-

Mit der Durchführung der Projektprüfung wurde die GTZ, ein Bundesunternehmen, das weltweit in mehr als einhundert Ländern für die Durchführung von Projekten der Entwicklungszusammenarbeit zuständig ist, beauftragt. Das von der GTZ zusammengestellte Untersuchungsteam setzte sich aus deutschen und jordanischen Fachleuten zusammen, und bestand u. a. auch aus einer Expertengruppe des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege (BLfD), um die technischen Aspekte des Projekts angemessen zu berücksichtigen. Das BLfD ist in Deutschland auf dem Gebiet der Konservierung und Restaurierung von Bauwerken führend und hat umfassende Erfahrungen im Umgang mit Sandsteinobjekten sowie deren Restaurierung.

Nach einer systematischen Analyse und Bewertung der Rahmenbedingungen für die Durchführung solch eines Projekts wurde das Projekt selbst in einem umfassenden Planungsworkshop auf der Grundlage der Ergebnisse der Prüfmission konzipiert. Es ist in diesem Zusammenhang wichtig anzumerken, daß es sich bei den Teilnehmern dieses Workshops vor allem um Vertreter öffentlicher und privat betroffener jordanischer Einrichtungen handelte. Darauf aufbauend wurde dem BMZ ein neuer Projektvorschlag für die Durchführung des Vorhabens unterbreitet.

Die sorgfältige und langwierige Vorarbeit, die Begeisterung und Hingabe der jordanischen Betreiber des Projekts zahlte sich schließlich aus: das BMZ stimmte dem Vorschlag zu und das Projekt, das zunächst unter dem Namen „Petra Stone Preservation“ (Abb. 1) und später treffender unter der Bezeichnung „Jordanian-German Project for the Establishment of a Conservation and Restoration Center in Petra (CARCIP)“ bekannt wurde, war geboren.

Gestaltung und Durchführung des Projekts

Zweck

Ziel des Projekts ist die Einführung und Institutionalisierung international anerkannter Restaurierungspraktiken und -verfahren in Jordanien. Sein Hauptzweck ist die Erhaltung der Monumente in Petra durch andauerndes und fortgesetztes Engagement. Im wesentlichen soll dies durch den Aufbau eines jordanischen Zentrums erreicht werden, das am Ende des Vorhabens in der Lage sein soll, denkmalpflegerische Maßnahmen in Petra eigenständig zu planen, zu überwachen und durchzuführen. Das bedeutet, daß mit dem Ende des Projekts die Restaurierung der historischen Bauwerke im Lande durch oder unter Anleitung des neu aufgebauten Zentrums und der diesem zur Verfügung stehenden Einrichtungen erfolgt und damit vollständig in jordanischer Hand liegt.

Um Mißverständnissen vorzubeugen sei an dieser Stelle noch einmal ausdrücklich betont, daß es nicht der Sinn des Projekts ist, eine möglichst große Zahl von Monumenten zu konservieren und zu restaurieren, sondern eine Einrichtung zu schaffen, die, sobald sie voll funktionsfähig ist, sich zunächst in Petra und zu einem späteren Zeitpunkt möglicherweise landesweit dieser Aufgabe annimmt. Dies wird die erste Institution dieser Art im gesamten arabisch sprechenden Mittleren Osten sein. Das heißt jedoch nicht, daß im Laufe des Projekts keinerlei Restaurierungsarbeiten in Petra stattfinden werden. Um den komplexen Anforderungen einer modernen Denkmalpflege gerecht zu werden, bedarf es einschlägiger Erfahrung und Einübung, die nur über die erfolgreiche und exemplarische Restaurierung einiger

stood that in the course of the build-up of the center, up to three façades would be fully restored as an integral part of the whole effort.

Technically and from a developmental point of view the project contributes to one of the priorities of German technical assistance to the Hashemite Kingdom of Jordan: the strengthening and upgrading of institutions, an effort that is often also referred to as 'institution building'. But it is certainly much more than that. It is also a contribution towards the building of a nation's identity and the preservation of one of the greatest cultural treasures in the region.

Description

The project forms part of Germany's development co-operation with Jordan. It is currently being jointly executed with the DOA of Jordan, in close co-operation with the BLfD, the IAA, the Hashemite University (HU) and the Higher Council for Science and Technology (HCST).

The establishment of an entirely new center addressing the needs of the decaying façades of Petra requires a complex array of measures covering all aspects and issues related to the functions of such a structure and its continuing effective operation. Major components of the project are: the training of personnel, i. e. the formation of a proficient and skilled staff that is able to run the center, the supply and installation of the tools and equipment that are necessary to plan, execute and document the required interventions on the monuments and the set up and implementation of supporting research and conservation science programs at co-operating Jordanian universities. The project is also involved in strengthening and upgrading these university institutions in the field of conservation science because in the long-term the new Center will be highly dependent on the availability of additional personnel sufficiently qualified to be incorporated into the center without too much of an effort.

Other important components of the project are the construction of a new building, jointly financed by the Jordanian and German governments, to essentially accommodate the managerial, administrative, planning and documentation sections of the center. It will at the same time serve as a center for exchange and research in the field of restoration, offering specific seminars and workshops on this topic, running exhibitions related to its various tasks on this topic and giving information to the public on its work.

Additionally the project aims at creating an international support structure and fostering regional exchange because experience shows that such institutions cannot operate successfully in isolation. Particularly, without the backing of a renowned and internationally recognized institution any conservation and restoration effort will risk to produce irreversible damage to a site or jeopardize its authenticity.

The project is being executed in three phases, each of which was originally designed to last three years. The first phase is considered the build up phase, where all the necessary installations are made and major training programs are executed. The second is designed as the so-called execution phase where actual restoration work is being done and experience is being built. The last phase is a consolidation phase where essentially the future and effective operation of the center is secured.

All such efforts are, however, in vain if the project does not succeed in creating a permanent and efficient structure that is

Monumente zu erreichen ist. Es bestand daher von vornherein Einigkeit darüber, daß im Rahmen des Projekts wenigstens zwei bzw. drei Monumente in Petra restauriert werden würden.

Aus entwicklungspolitischer Sicht und unter technischen Gesichtspunkten leistet das Projekt einen Beitrag zu einem der wichtigsten Anliegen der deutschen Entwicklungshilfe für das haschemitische Königreich Jordanien: der Stärkung und Verbesserung der Funktionsfähigkeit lokaler Institutionen, ein Beitrag der oft auch als Institutionenförderung umschrieben wird. Aber es ist noch mehr als das, es ist ein Beitrag zur Stärkung der nationalen Identität und zur Erhaltung eines der großartigsten Kulturschätze der Region.

Beschreibung

Das Projekt ist, wie bereits betont, ein Teil der deutschen Entwicklungszusammenarbeit mit Jordanien. Derzeit wird es gemeinsam mit dem DOA und in enger Zusammenarbeit mit dem BLfD, der Yarmouk Universität, der Hashimite University (HU) und dem Higher Council for Science and Technology (HCST) durchgeführt.

Die Schaffung solch eines von Grund auf neuartigen Zentrums, das sich den Problemen des zunehmenden Verfalls der Monumente Petras widmet, erfordert die Umsetzung einer ganzen Reihe von komplexen Einzelmaßnahmen, die zum einen alle Aspekte und Aufgaben solch einer Einrichtung zu berücksichtigen hat und zum anderen ihre fortgesetzte und wirksame Funktionsfähigkeit sicherstellen muß. Wesentliche Komponenten des Projekts umfassen: die Aus- und Fortbildung von Fachkräften, d. h. die Heranbildung eines fähigen und in den verschiedenen Aspekten der Restaurierung bewanderten Stabes, der in der Lage ist, solch ein Zentrum zu betreiben, die Lieferung und Installation der Ausrüstung und Werkzeuge, die erforderlich sind, um die nötigen Eingriffe an den Monumenten zu planen, durchzuführen und zu dokumentieren und der Aus- und Aufbau unterstützender Forschungsprogramme im Bereich der Konservierungswissenschaften an den mit dem Projekt und dem Zentrum kooperierenden jordanischen Universitäten. Das Projekt bemüht sich deshalb auch um eine Stärkung dieser mit dem Projekt kooperierenden Universitäten auf dem Gebiet der Konservierungswissenschaften, weil das Zentrum langfristig in hohem Maße auf das Vorhandensein von hinreichend vorgebildetem Personal angewiesen sein wird, das sich ohne allzu großen Aufwand in das Zentrum integrieren läßt.

Andere wichtige Komponenten des Projekts sind: die Errichtung eines Neubaus, der von der deutschen Regierung mitfinanziert, vor allem die organisatorischen, planerischen und administrativen Ebenen des Zentrums beherbergen soll. Er soll zugleich lokal und regional als Stätte des Erfahrungs- und Informationsaustausches dienen, die Forschung auf dem Gebiet der praktischen Denkmalpflege fördern, spezielle Kurse und Seminare anbieten, die interessierte Öffentlichkeit über die Arbeit des Zentrums unterrichten und Ausstellungen verschiedener Art mit Bezug zur Denkmalpflege veranstalten.

Weiter beteiligt sich das Projekt aktiv an der Schaffung eines internationalen Fachverbundes und der Förderung des regionalen Austauschs, denn gerade im Bereich der Denkmalpflege hat sich gezeigt, daß solch ein Zentrum in der Isolation kaum in der Lage ist, erfolgreich zu arbeiten. Ohne die Rückendeckung einer namhaften und international anerkannten Institution wird jede Konservierungs- und Restaurierungsbemühung das Risiko

attraktive und conducive to the dedicated and highly qualified personnel made available, allowing its staff to effectively carry out its responsibility. Much emphasis is therefore put, not only on the task of designing an adequate set up for the center, with a clear definition of its functions and mandate, but also on securing its continuing operation and successful establishment. It is believed that this can only be achieved by getting a process going that eventually ensures that all local institutions and parties concerned and affected by this endeavour fully support the set-up of the center and recognize its mandate.

Achievements

In the almost six years the project has been in operation since its launch at the end of 1993 considerable progress has been made towards reaching the project's goal. All technical aspects of the results the project set out to achieve within the first two phases have been implemented. This means that virtually all the tools and equipment needed to pursue the planning, execution and the many other complex tasks required by the restoration process have been supplied, installed and set into operation. The list of the installations made include a coated metal scaffolding a truck fitted with a hydraulic crane, field vehicles (fig. 2-4), a forklift, a generator, compressors, photographic equipment, computers, printers and plotters, ovens, a vacuum chamber, microscopes, core drills and other drilling equipment, laboratory equipment, chisels and hammers, surveying equipment and the necessary office equipment. The DOA has assigned proper storage, machine shop and laboratory, as well as office space for these installations (fig. 5, 6), which have been partly modified to suit the projects needs. This assigned space will also be available to the center, whatever it's final structural set up may be.

The project's Jordanian architects have designed an entirely new building for the center to be erected on land allocated by the DOA on a site near Petra. Construction is due to commence in 1999.

Also, the necessary support structure has been successfully established. The project enjoys the backing of Germany's most renowned restoration center, the BLfD with which the center has established a close co-operation. It is essential to the project's success and will without doubt continue well beyond the project's end certainly also due to the personal ties that have been built between its respective staff.

In the field of research links have been established between the center and the Department of Conservation of the University College of London (UCL). The plan is to investigate and address the damage caused by the widespread salt contamination of the façades in Petra.

Close contacts have also been built with various companies in Germany specialized in addressing specific aspects of the restoration effort as a whole.

The center has in addition to its own capacity and expertise thus a number of sources to draw from.

As an integral part of the operation of the center the laboratory facilities at the IAA/YU have been upgraded and curricula revised in order to allow for a specialisation in stone conservation. As part of this endeavour an open air test field has been set up in a Nabataean quarry in Petra in order to make it possible to also study the behaviour of materials and certain application techniques for specific motors under the natural conditions encountered in Petra. Similarly, contributions also have been made to

in sich bergen, irreversible Schäden zu verursachen oder die Authentizität der Stätte zu verfälschen.

Das Projekt wird in drei Phasen durchgeführt, von denen jede ursprünglich auf drei Jahre angesetzt war. Jede Folgephase basiert auf einer sorgfältigen Evaluierung der vorhergehenden Phase und bietet ggf. die Möglichkeit das Projekt abzubrechen, sofern sich einer weiteren erfolgreichen Durchführung unüberwindliche Hindernisse entgegenstellen. Bei der ersten Phase handelt es sich um die sog. Aufbauphase, während der vor allem die erforderliche Geräteauswahl, -lieferung und -installation und die wichtigsten Aus- und Fortbildungsprogramme durchgeführt werden. Die zweite Phase wird als Durchführungsphase bezeichnet und beinhaltet insbesondere die Durchführung und Erprobung der anzuwendenden Restaurierungstechniken und -materialien und dient dem Sammeln erster Erfahrungen im Umgang mit dem Gerät und der Materie. Die letzte Phase schließlich wird als Konsolidierungsphase umschrieben und soll im wesentlichen den effizienten und effektiven Betrieb des Zentrums, vor allem auch im Hinblick auf dessen Betrieb über das Projektende hinaus, sicherstellen.

All diese Bemühungen sind jedoch vergeblich, wenn es solch einem Projekt nicht gelingt, eine dauerhafte Struktur zu etablieren, die es dem hochqualifizierten und engagierten Personal erlaubt, seine Verantwortung effektiv wahrzunehmen und die darüber hinaus so angelegt ist, daß sie der Arbeit förderlich und für die beschäftigten Fachkräfte hinreichend attraktiv ist. Das Projekt mißt deshalb nicht nur der Entwicklung einer geeigneten Struktur des Zentrums mit klar definierten Aufgaben und klarem Mandat hohe Bedeutung bei, sondern auch deren erfolgreicher Umsetzung und der Absicherung ihres reibungslosen Betriebes über das Projektende hinaus. Man geht davon aus, daß dieses nur gelingen kann, wenn ein Prozeß in Gang gebracht wird, der letztendlich dazu führt, daß alle lokalen Institutionen und Beteiligten, die von dieser Anstrengung berührt werden, den Aufbau des Zentrums voll unterstützen und sein Mandat uneingeschränkt anerkennen.

Bisherige Erfolge

In den nunmehr fast sechs Jahren, die das Projekt seit seinen Anfängen Ende 1993 bereits hinter sich hat, sind erhebliche Fortschritte im Hinblick auf das Erreichen des Projektziels gemacht worden. Alle technischen Aspekte der Ergebnisse, die das Projekt in den ersten beiden Phasen entsprechend der vorgegebenen Planung erlangen sollte, konnten umgesetzt werden, alle Gerätschaften und Werkzeuge, die für die Planung, Durchführung und Erfüllung der komplexen Aufgaben notwendig sind, konnten installiert und in Betrieb genommen werden. Die lange Liste der geschaffenen Einrichtungen umfaßt u. a. ein umfangreiches Baugerüst, einen Lastwagen mit hydraulischem Kran, Geländefahrzeuge (Abb. 2–4), einen Gabelstapler, einen Generator, eine beheizbare Vakuumkammer, Mikroskope, Labormaterial, Meißel und Hämmer, Vermessungsgerät sowie die erforderliche Büroeinrichtung. Das DOA stellte dem Projekt in Petra die erforderlichen Räumlichkeiten für die Einrichtung eines Materiallagers, eines weiteren Geräteraums, einer Werkstatt, eines Testlabors (Abb. 5, 6) und eines Büroraums in Amman zur Verfügung, die entsprechend den Anforderungen des Zentrums teilweise modifiziert werden mußten. Wie immer auch die endgültige Struktur des Projekts aussehen mag, diese dem Projekt überlassenen Räumlichkeiten werden dem Zentrum auch weiterhin zur Verfügung stehen.



Abb. 2. Projekt LKW mit Kran
Fig. 2. Project truck with crane

the HU to improve its capacity in the field of image analysis and data collection with respect to building a comprehensive database on Petra. It is now already the most comprehensive source on all issues related to Petra and its environment in the country.

Short and long-term training programs have been designed and executed for architects, graduate students selected labourers to enable them to cope with the demands of modern restoration procedures and techniques. Emphasis has been laid on building a skilled labour force from the local Bedul that until recently inhabited Petra and that strongly identify themselves with this site. As a result the expertise is now there to manage and execute most of the planning and execution of restoration tasks through Jordanian personnel. Due to the still ongoing training programs, particularly on a PhD level, such specialists are, however, not yet fully available.

Also the proposed more independent set-up for the center has been worked out and agreed upon. The functions and mandate of the planned new center are now already clearly defined and manifest themselves in the statutes jointly elaborated between the project and its co-operating institutions. It is noteworthy that both DOA and MOT strongly support the envisaged set-up. The statutes have as a first step been submitted for approval to the board of the HCST. Alternative working models are being elaborated in case the establishment of the proposed current set-up fails to be implemented.

Abb. 3. Zur LKW-Garage und Lagerhalle umgestaltete ehemalige Höhle
Fig. 3. Former cavern used as garage and storage room



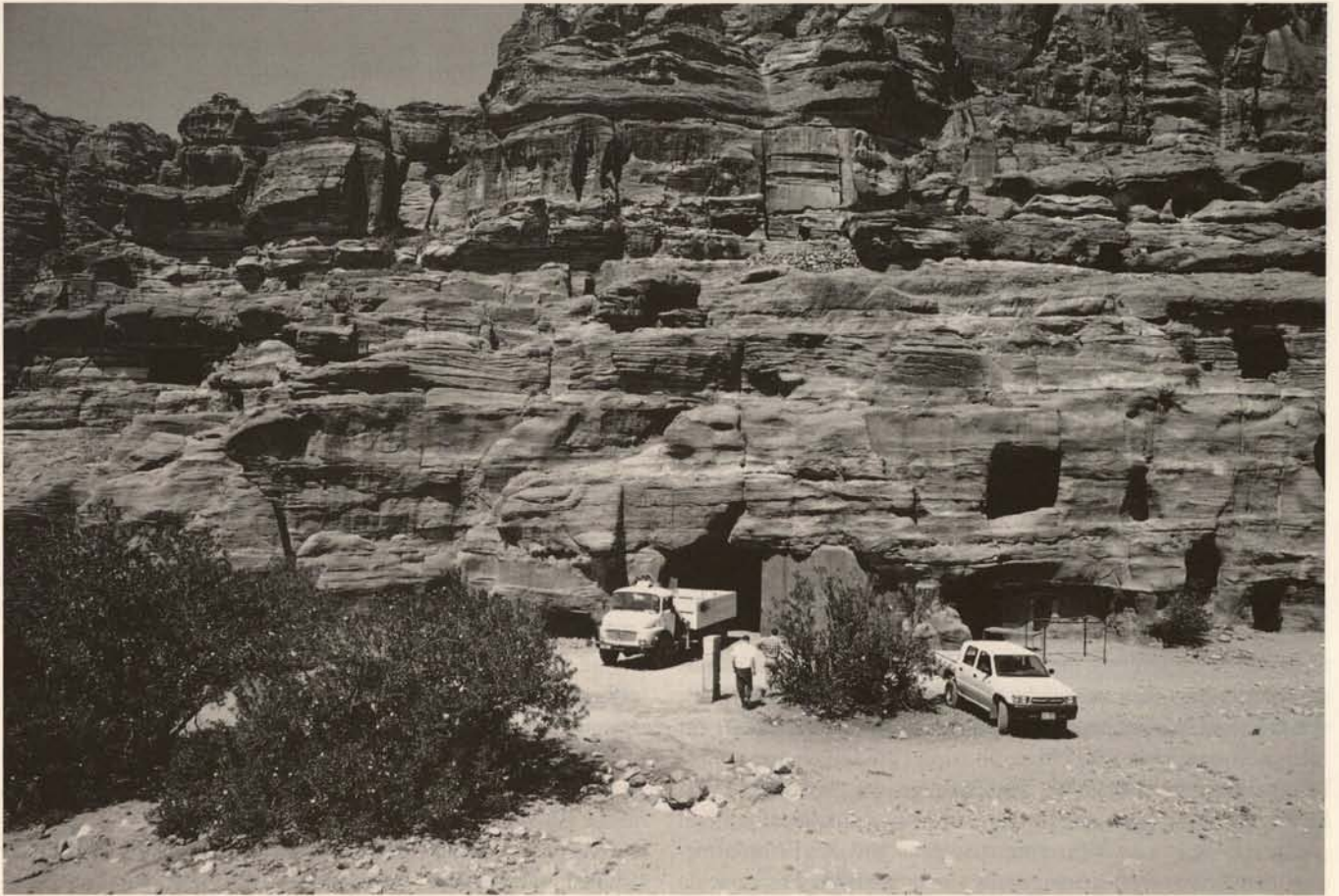
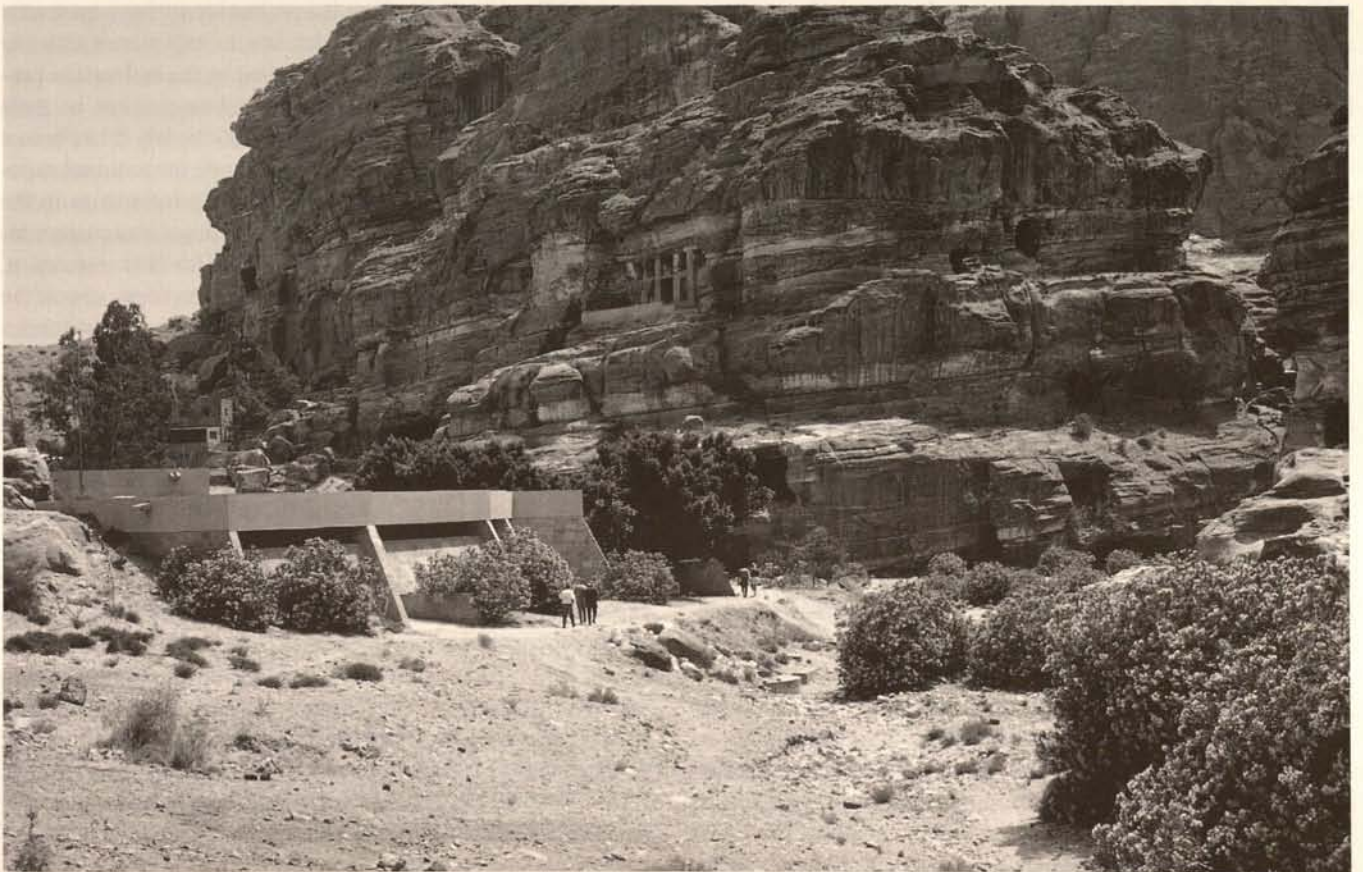


Abb. 4. Die Lagerhalle und LKW-Garage, davor Projektfahrzeuge / Fig. 4. Storage room and truck garage with project cars in front

Abb. 5. Räumlichkeiten des CARCIP in Petra / Fig. 5. The CARCIP office in Petra



Die jordanischen Architekten des Projekts haben in dieser Zeit einen kompletten Neubau für das Zentrum entworfen. Er soll auf einem Grundstück nahe Petra, welches dem Zentrum vom DOA hierfür eigens zugewiesen wurde, errichtet werden. Der Bau ist 1999 begonnen worden.

Zudem konnte die erforderliche internationale fachliche Unterstützung sichergestellt werden. So erfreut sich das Zentrum der Unterstützung des namhaftesten Restaurierungszentrums Deutschlands, des BLfD, mit dem es nunmehr seit Jahren eng zusammenarbeitet. Diese ist für eine erfolgreiche Umsetzung des Projekts unerlässlich und wird zweifellos aufgrund der engen persönlichen Beziehungen, die zwischen den Mitarbeitern der Einrichtungen entstanden sind, auch über das Projektende hinaus bestehen bleiben.

Auf dem Gebiet der Forschung wurden Kontakte zwischen dem Projekt und der Konservierungsabteilung des University College of London (UCL) geknüpft. Von ihr erhofft sich das Zentrum Hilfestellung bei der Lösung verschiedener Aspekte, die mit der Versalzung und Salzwanderung im Sandstein zu tun haben.

Enge Verbindungen bestehen auch zu einschlägigen privaten Firmen in Deutschland, die spezielle Techniken und Aspekte des Restaurierungsprozesses abdecken. Neben seinen eigenen umfangreichen Kapazitäten kann das Zentrum daher bei Bedarf auf eine Reihe weiterer Einrichtungen zurückgreifen.

Als integraler Bestandteil des Zentrums wurden darüber hinaus die Laboreinrichtungen des Institute of Archaeology and Anthropology an der YU weiter ausgebaut und den Erfordernissen der Denkmalpflege angepaßt sowie bestehende Curricula dahingehend überarbeitet, daß sie jetzt erstmals in Jordanien eine Spezialisierung auf dem Gebiet der Steinkonservierung zulassen. Teil dieser Initiative ist auch die Anlage eines Freiluft Testfeldes in einem verlassenen nabatäischen Steinbruch, welches die Untersuchung des Verhaltens von Materialien und spezifischer Techniken der Anbringung oder des Auftragens von spezifischen Mörteln unter den in Petra vorgefundenen Bedingungen ermöglicht. Entsprechend wurden auch die Kapazitäten der HU im Hinblick auf die Durchführung von Bildanalysen und zur Einrichtung einer umfassenden Datenbank für Petra verbessert. Diese Datenbank ist heute bereits die umfassendste Informationsquelle für alle Petra und seine nähere Umgebung betreffenden Fragestellungen.

Für ausgewählte Architekten, Studienabgänger und Handwerker wurden spezielle maßgeschneiderte Kurz- und Langzeitfortbildungsprogramme erstellt und durchgeführt. Diese erlauben es ihnen, sich nunmehr den Abläufen und Praktiken der modernen Denkmalpflege zu stellen. Dabei legte man besonderen Wert auf die Heranbildung eines Stammes gelernter Handwerker aus den im Umfeld von Petra ansässigen Beduinen, den sog. Bedul. Sie haben bis vor kurzem noch selbst in Petra gelebt und sich mehr als jeder Außenstehende mit dieser Stätte und deren Erhalt identifiziert. Als Folge all dieser Maßnahmen sind im Grundsatz jetzt bereits die Möglichkeiten gegeben, die meisten planerischen und praktischen Restaurierungsarbeiten von jordanischem Personal durchführen zu lassen. Da bestimmte Ausbildungsprogramme, insbesondere auf der Promotionsebene derzeit noch nicht abgeschlossen sind, stehen diese Spezialisten dem Zentrum jedoch noch nicht voll zur Verfügung.

Selbst über die Form der vom Projekt geforderten, unabhängigeren Struktur des Zentrums konnte bereits eine weitgehende Einigung erzielt werden. Funktion und Mandat des Zentrums wurden neu festgelegt und gemeinsam mit dem jordanischen



Abb. 6. Projektbesprechung im Magazin

Fig. 6. Project planning in the depository

An additional and very significant achievement of the project is the development of a concept for the conservation and restoration of the sandstone monuments in Petra. It forms the basis for all later work and requires in-depth experience in the restoration of monuments and sites, as well as elaborate observations, comparative studies, discussions and insights. No need to say that it primarily draws on the information gathered during the preparation of the restoration campaign and the vast experience of the BLfD in this field.

Finally and certainly most importantly, the restoration of one whole monument has almost been completed during the still ongoing second phase of the project (fig. 7, 8). This in itself has been an enormous task and outstanding accomplishment considering the circumstances encountered at the beginning of this campaign. As the first monument to be restored in Petra in line with internationally accepted standards and procedures, there was initially virtually nothing the project would have been able to draw upon: none of the essential data, no experience with any suitable materials that might be applied in the restoration process, no plans, no maps, no drawings and no concept, no tools and equipment and no staff qualified to do the job. It has been a long process to build this database, generate the required experience, to test and try out the most suitable techniques in the labor under realistic conditions in Petra, doing the necessary installations and qualifying the future staff. This first restoration, thus being much more than a restoration campaign, saw at the same time the evolution of a whole infrastructure, constituted a vast learning experience and at the same time served as an extensive on the job training facility.

Due to the elaborate training efforts happening on site and abroad, ongoing work on the façade often had to be interrupted, sometimes for extended periods of time either because new data had to be collected and analysed or the necessary skills were not yet available to continue. Of course, during such interruptions other activities were pursued more actively. And as to be expected during this first campaign there was and still is considerable support coming from German experts. But this support is gradually diminishing and the conservation of the next monument, preparations for which are already under way, will already be an increasingly Jordanian affair in line with the project's goal to generate the capacity within the country to fulfil this task. Of course, with all the installations already made, this second restoration campaign will be much easier to plan and manage, albeit not easier to execute.

Partner in einer Satzung festgehalten. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, daß sowohl das DOA als auch das Tourismusministerium diesen Ansatz voll unterstützten. Die Satzung liegt derzeit dem HCST, unter dessen Dach das neue Zentrum etabliert werden soll, zur Verabschiedung vor. Selbstverständlich wurden auch alternative Modelle für die Etablierung des neuen Zentrums entworfen, falls sich aus irgendwelchen Gründen die gegenwärtige Struktur nicht umsetzen ließe.

Ein weiterer und sehr bedeutender Erfolg des Projekts ist die Erstellung eines Restaurierungskonzepts für die Sandsteinmonumente in Petra. Es ist Grundlage für alle späteren Restaurierungsarbeiten und seine Ausarbeitung setzt eine intime Kenntnis der Materie, langjährige Erfahrung, vergleichende Studien und genaue Beobachtungen sowie vertiefte Einsichten und Diskussionen voraus. Es erübrigt sich zu sagen, daß dieses Dokument sich vor allem auf die umfassenden Erfahrungen des BLfD auf diesem Gebiet stützt so wie auf die Erfahrungen, die bei der Planung und Durchführung der laufenden Restaurierungsarbeiten am Monument 825 gewonnen wurden.

Schließlich und sicherlich am bedeutsamsten ist, daß die Musterrestaurierung eines Monumentes in der noch laufenden zweiten Phase weitgehend abgeschlossen werden konnte (Abb. 7, 8). Dies stellt in sich selbst eine enorme Leistung und herausragende Errungenschaft dar, angesichts der schwierigen Bedingungen, die zu Beginn des Projekts vorgefunden wurden. Dies ist vor dem Hintergrund zu sehen, daß es sich hier erstmals um eine Restaurierung handelt, die auf international vereinbarten Standards und Verfahren beruht, und es zu Projektbeginn in Petra bzw. in ganz Jordanien praktisch nichts gab, worauf das Projekt hätte zurückgreifen oder aufbauen können. Weder einfachstes Gerät oder grundlegende Daten, noch Pläne, Karten, Zeichnungen oder Erfahrungen im Umgang mit dem Sandstein lagen vor. Es gab nicht einmal Ansätze oder Erfahrungen mit irgendwelchen evtl. geeigneten Mörteln. Es fehlte an jeglichem Gerät und geeignetem Personal und es herrschte selbst in der Anwendung einfachster Verfahren ein ausgesprochener Mangel. Es war ein langwieriger, mühseliger aber im Rückblick auch äußerst befriedigender Prozeß, all diese Voraussetzungen zu schaffen. Diese erste Restaurierung stellt somit weit mehr als eine Instandsetzung dar. Sie war und ist zugleich Aus- und Fortbildungsstätte, umfaßte die Entwicklung und den Aufbau einer kompletten Infrastruktur und war eine für alle Beteiligten lohnende Lernerfahrung.

Wegen der Fortbildungsmaßnahmen sowohl am Gerüst als auch in Deutschland mußten die laufenden Arbeiten am Monument oft für längere Zeiträume unterbrochen werden, da entweder erst neue Daten gesammelt und ausgewertet werden mußten oder die Fertigkeiten zur Durchführung bestimmter Arbeitsabschnitte noch fehlten. Es versteht sich von selbst, daß während solcher Unterbrechungen andere Aktivitäten wahrgenommen wurden. Und, wie nicht anders zu erwarten, war die Unterstützung von deutscher Seite während dieser ersten Restaurierungskampagne noch beträchtlich. Diese Unterstützung und die Beteiligung deutscher Fachkräfte nimmt jedoch kontinuierlich ab, so daß die Restaurierung des nächsten Monuments, für die die Vorbereitungen bereits laufen, schon in sehr viel stärkerem Maße eine rein jordanische Angelegenheit sein wird. Ohne Frage wird diese zweite Restaurierungskampagne aufgrund der bereits bestehenden Einrichtungen und des sehr viel höheren Ausbildungsniveaus der jordanischen Fachkräfte sehr viele leichter zu planen und zu organisieren, wenn auch nicht einfacher durchzuführen sein.



Abb. 7. Gerüstaufbau an Monument 825

Fig. 7. Erecting of the scaffold on Tomb 825

Challenges Ahead

In spite of all the success and the groundbreaking work done by the project and the solutions found to tackle the complex restoration task being posed by the Petra façades, there remains a lot to be done. New problems do occasionally still crop up but these are technical matters for which solutions will be found in due time.

The much bigger challenge now lies in whether the process of institutionalisation set in motion by the project will succeed and whether Jordan will invest enough manpower, financial resources and authority behind this newly emerging institution and enforce the necessary changes that would allow for the creation of the more independent structure worked out by the project and the local institutions participating in this effort.

It is unfortunate that in the course of an ongoing development co-operation it may turn out that the originally envisaged implementing structure is not as promising and suitable for the purpose at hand as it appeared during the design of the project. The reasons for this are various. First of all such projects have to be understood as processes during which new insights are gained that have to be taken into consideration. But then there are also political changes, increasing financial pressures, shifting authorities, inflation, brain drain, promotion of key players for the project into other positions and so on. This does not necessarily mean that such projects have to be abandoned but it often requires a difficult rethinking and adjustment process without which the project otherwise can not succeed.

Often a possible solution is the creation of what is known as a parallel structure, i. e. the implementation and execution of sovereign tasks through organisations that offer a greater degree of flexibility, better incentives for the employees and simpler administrative procedures such as NGOs or semi-governmental institutions. Though this may be questionable where ultimate authority and decision-making is withdrawn from the government, it clearly offers many advantages in those areas that are not core functions of the government, such as the execution of specialised work requiring highly skilled specialists, technical inputs and a flexible management structure.

Fortunately for the center which the project is promoting, the Jordanian authorities in charge recognized this more promising alternative at a rather early stage. It was recognized in particular that the conservation and restoration of a World Heritage Site with its high demands on the qualification of the personnel carrying out this task, on the maintenance and use of sophisti-

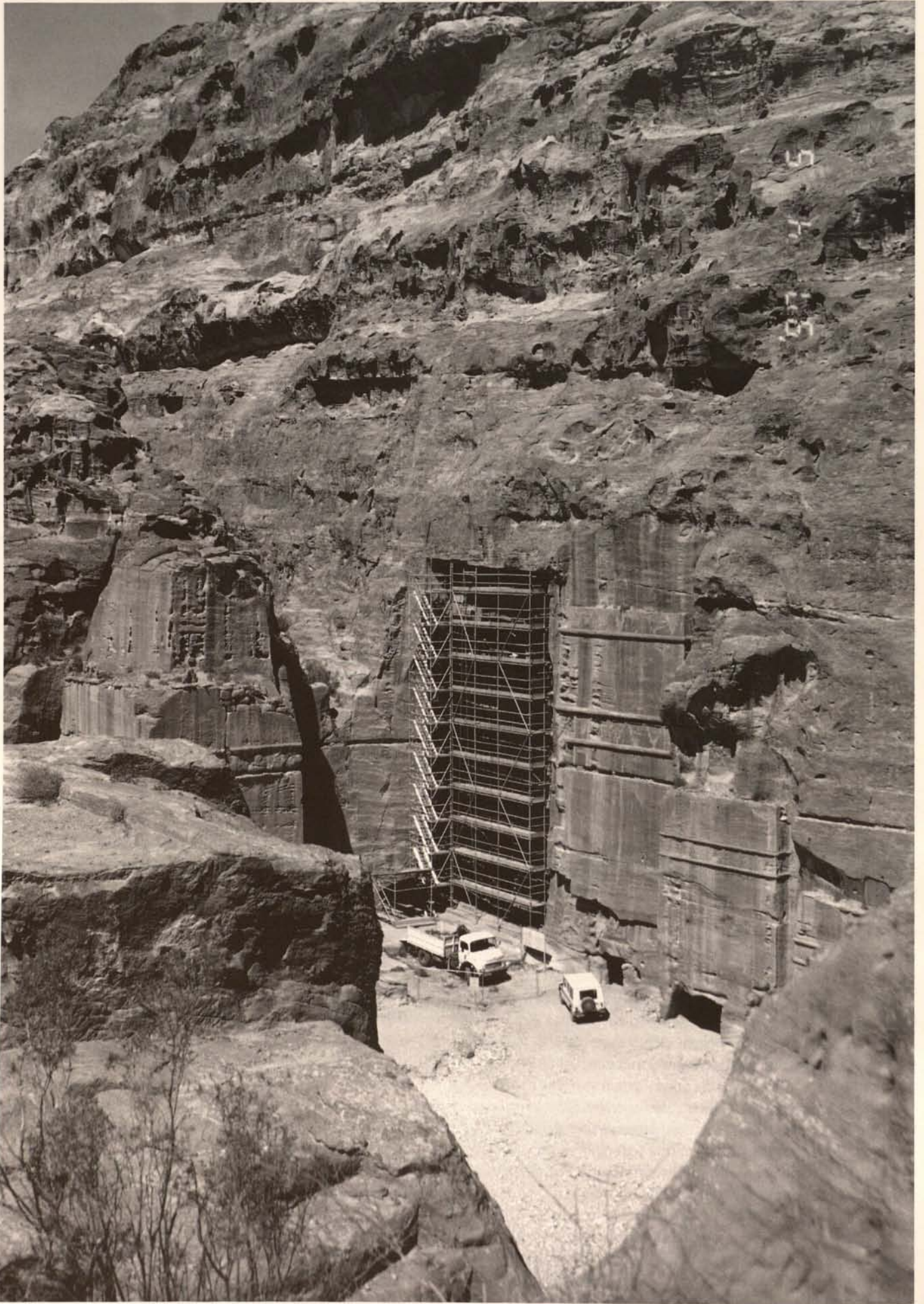


Abb. 8. Gerüst an Monument 825 / Fig. 8. Scaffolding on Tomb 825

Weitere Herausforderungen

Trotz der bisher erzielten Ergebnisse und bahnbrechenden Arbeiten gibt es noch viel zu tun bezüglich der aufgezeigten Lösungen für die komplexen Anforderungen der Restaurierung an einem Weltkulturdenkmal. Dabei sind technische Probleme das geringste Übel, denn für diese lassen sich oft schon vor Ort relativ rasch Lösungen finden.

Die sehr viel größere Herausforderung besteht vielmehr darin, den durch das Projekt in Gang gesetzten Prozeß der Institutionalisierung zu einem erfolgreichen Abschluß zu bringen und die jordanische Regierung davon zu überzeugen, diese im Entstehen begriffene Institution mit den erforderlichen Vollmachten und finanziellen Ressourcen auszustatten sowie eine hinreichende Zahl von Stellen zu schaffen, die es dem Zentrum erlaubt, die mit den beteiligten jordanischen Institutionen gemeinsam erarbeitete unabhängigere Struktur umzusetzen.

Es ist sicher bedauerlich, daß, wie sich erst im Zuge der laufenden Entwicklungszusammenarbeit herausstellte, sich die ursprünglich gewählte Struktur – nämlich die enge Anlehnung des Zentrums an das DOA – als weitaus weniger geeignet für die gestellte Aufgabe erwies, als dies noch bei der Planung des Projekts den Anschein hatte. Dafür gibt es verschiedene Gründe. Zunächst einmal müssen solche Projekte immer auch als ein Prozeß verstanden werden, in dessen Verlauf neu zu berücksichtigende Einsichten gewonnen werden. Zum anderen müssen solche Projekte auch im Kontext eines oft schwierigen Umfeldes gesehen werden, das oft von politischen Veränderungen, sich rasch ändernden Zuständigkeiten, der Abwanderung von qualifizierten Fachleuten, der Wegbeförderung von wichtigen Schlüsselfiguren des Projekts in andersartige Positionen, finanziellen Engpässen usw. gekennzeichnet ist. Das muß nicht bedeuten, daß solche Projekte eingestellt werden müssen, aber es erfordert oftmals einen schwierigen Neuorientierungs- und Anpassungsprozeß, den das Projekt leisten muß und ohne den es nicht zu einem wirklich befriedigenden Abschluß gebracht werden kann.

Gelegentlich besteht die einzig tragfähige Lösung darin, eine sog. Parallelstruktur zu schaffen, d. h. die Umsetzung und Wahrnehmung hoheitlicher Aufgaben an Einrichtungen zu übertragen, die einen höheren Grad an Flexibilität und einfachere Verwaltungsabläufe zulassen und die ihren Mitarbeitern bessere Anreize und Arbeitsbedingungen bieten, wie dies z. B. bei sog. Nichtregierungsorganisationen (NGOs) oder halbstaatlichen Institutionen der Fall ist. Obwohl dies in solchen Fällen bedenklich erscheinen mag, in denen der staatlichen Autorität die souveräne Entscheidungsbefugnis entzogen wird, so bietet diese Lösung doch große Vorteile in Situationen, in denen es um die Erfüllung von Aufgaben geht, die nicht zu den Kernfunktionen des Staates gehören, wie z. B. der Durchführung praktischer Tätigkeiten, die hochspezialisiertes Personal, technischen Aufwand und eine flexible Managementstruktur erfordern.

Es ist für das im Aufbau befindliche Zentrum sicher ein glücklicher Umstand, daß diese Alternative zu einem relativ frühen Zeitpunkt von den für das Projekt zuständigen Behörden und Ministerien in Jordanien erkannt wurde. Insbesondere setzte sich die Erkenntnis durch, daß die Konservierung und Restaurierung eines Weltkulturdenkmals, mit ihren hohen Anforderungen an das Personal, das sich mit der Wartung und Pflege des eingesetzten Geräts, der Speicherung und Verarbeitung von Daten und der Einhaltung komplexer Verfahren unter Berücksichtigung international akzeptierter Standards

cated equipment, the processing and storage of data, and the compliance with complex procedures and international standards was not something that could be achieved within the existing institutional framework. Bound by rigid civil service regulations and its inability to contract and retain the highly qualified personnel required to manage and run the center being established it was the respective responsible government institutions in Jordan themselves that opted for an alternative solution, i. e. the creation of a more independent set-up.

To delegate such functions to an entity that allows for greater flexibility and efficiency is, however, something the government has little experience with. Nevertheless, the mere fact that the authorities in charge have fully supported this idea for quite some time now, is certainly encouraging enough to go on. Almost all the obstacles hindering such a transfer have now been removed indicating the emphasis, commitment, and dedication that particularly the DOA and the MOT attached to this matter. As already mentioned agreements and statutes for the organisational structure, decision-making process, and operation of the center have already all been worked out. The only major problem that so far could not be sorted out is an adequate funding of the center.

The project is currently working and following up on a number of possible solutions such as the creation of a trust fund within the framework of the 'Debt for Nature' facility, the creation of a foundation, the securing of direct financial contributions from government institutions benefiting from the center and others. This is all part of a still ongoing process of the creation of the new center.

If these efforts succeed the rewards will be multiple. It is believed that the presence of a strong and efficient conservation and restoration center, certainly the first of its kind in the region, if not in the entire Arabic speaking Middle East once established and in operation will attract funding, not only from the local community but also from private and public donors within the world community. The monuments of Petra will finally get the professional attention and care they deserve on a permanent basis.

The realisation of this new center is certainly one of the greatest challenges the cultural heritage of Jordan, and particularly the World Heritage Site of Petra is currently facing. The result of this process will decide and have a deep impact on the fate of its monuments and the social, economic and political benefits derived from it for generations to come. It is an integral part of the project's activities with all the Jordanian and international institutions involved to see to it that this opportunity is not missed. It was already said that the project is thus about more than economic and technical assistance. It is about the realisation of new ideas, setting in motion institutional change, promoting a new attitude of the people in the handling and approach towards their historic sites and about contributing to the growth of a stronger national identity. It is about preserving one of the earth's greatest cultural treasures.

The greatest challenge for the project thus lies in ensuring that the expertise generated continues to be put efficiently into use after the project is completed, that such knowledge is being preserved and built upon and finally that the now available highly skilled specialists find an organisational and institutional environment that allows them to put the resources provided to them by the project efficiently to use.

auseinandersetzen muß, eine Aufgabe ist, die im vorgegebenen Rahmen staatlicher Verwaltungsabläufe nur unter Schwierigkeiten zu erfüllen ist. An starre Verwaltungsvorschriften gebunden und außerstande die hochqualifizierten Fachkräfte zu halten, die erforderlich sind, um solch ein Zentrum zu betreiben, waren es gerade diese Regierungsinstitutionen, die für die Schaffung einer flexibleren und von den bestehenden Verwaltungsabläufen unabhängigeren Struktur plädierten, ein sicherlich in diesem Zusammenhang ungewöhnlicher und besonderer Vorgang.

Nun ist allerdings die Delegation solcher Funktionen an eine Einheit, die ein höheres Maß an Effizienz und Effektivität zuläßt, wiederum ein Vorgang, mit dem die zuständigen Behörden wenig Erfahrung haben. Dennoch, die bloße Tatsache, daß diese Stellen diesen gänzlich neuen Ansatz nun bereits über einen beträchtlichen Zeitraum mitgetragen und unterstützt haben, ist sicherlich ermutigend genug, den eingeschlagenen Weg weiter zu verfolgen. Im wesentlichen konnten alle Hindernisse, die solch einer Auslagerung von Aufgaben im Wege stehen, beseitigt werden. Dies ist zugleich ein sicheres Zeichen für den Stellenwert und die Bedeutung, die das DOA und MOT dieser Angelegenheit beimessen, und zeugt zugleich von deren hohem Engagement. Es wurde bereits erwähnt, daß die erforderlichen Vereinbarungen, eine Satzung sowie Einzelheiten zu Entscheidungsabläufen und zum Betrieb des Zentrums vorliegen. Das einzige verbleibende Problem ist das einer gesicherten und angemessenen Finanzierung des Zentrums. Daran scheiterte bisher auch noch eine Übernahme durch das HCST.

Das Projekt verfolgt daher gegenwärtig verschiedene Ansätze zur Errichtung eines Treuhandvermögens, wie z. B. die Nutzung des an bestimmte Bedingungen für das Schuldnerland geknüpfte Instrument des Schuldenerlasses, das Jordanien bereits mehrfach für sich genutzt hat, die Gründung einer Stiftung oder die Sicherung direkter finanzieller Zuweisungen von Regierungseinrichtungen, die vom Aufbau des Zentrum profitieren: Fragen, die bei der Schaffung eines neuen Zentrums zu klären sind.

Sollten diese Bemühungen von Erfolg gekrönt sein – und die Anzeichen sprechen nach wie vor dafür – dann stellt dieses in vielerlei Hinsicht einen unermeßlichen Gewinn für Petra, Jordanien und unser aller kulturelles Erbe dar. Es ist absehbar, daß die Präsenz eines starken und effizienten Konservierungs- und

Restaurierungszentrums, welches in seiner Art in der ganzen Region und wahrscheinlich auch im ganzen arabisch sprechenden Mittleren Osten einmalig ist, Gelder – sei es von privaten oder öffentlichen Gebern aus der Region oder der Weltgemeinschaft – anziehen wird. Die Kulturschätze Petras werden dann endlich in den Genuß der permanenten professionellen Betreuung und Zuwendung kommen, die Objekten dieses Ranges zukommen.

Die Verwirklichung dieses Zentrums ist sicher eine der größten Herausforderungen für das kulturelle Erbe Jordaniens und insbesondere für das Weltkulturdenkmal Petra. Der Ausgang dieses Prozesses wird darüber entscheiden und einen durchgreifenden Einfluß auf das Schicksal der Monumente und den wirtschaftlichen, sozialen und politischen Nutzen haben, der sich daraus ableitet. Es ist ein Anliegen und integraler Bestandteil der Projektaktivitäten in Zusammenarbeit mit allen beteiligten jordanischen, deutschen und internationalen Institutionen dafür Sorge zu tragen, daß diese sicher einmalige Gelegenheit nicht ungenutzt verstreicht. Es sei darum nochmals betont, daß es bei dem Projekt um mehr als um wirtschaftliche oder technische Zusammenarbeit geht: es geht um die Umsetzung neuer Ideen, die Förderung einer neuen Haltung und Einstellung im Umgang mit seinen historischen Stätten und um einen Beitrag zur Stärkung der nationalen Identität in Jordanien. Und nicht zuletzt geht es um die Erhaltung eines der großartigsten Kulturdenkmäler der Welt.

Die größte Herausforderung für das Projekt liegt hierbei darin, sicherzustellen, daß die gewonnene Expertise auch über das Projektende hinaus genutzt wird, dieses Wissen und diese Fertigkeiten erhalten bleiben, weiterentwickelt werden und daß die ausgebildeten Mitarbeiter ein organisatorisches und institutionelles Umfeld vorfinden, das es ihnen erlaubt, die ihnen durch das Projekt zur Verfügung gestellten Ressourcen ungehindert und wirksam zu nutzen.

Abbildungsnachweis / Photo Credits

HELGE FISCHER, AMMAN: *Abb./Fig. 2*

EGON KAISER, OBERSCHNEIFELD: *Abb./Fig. 8*

MICHAEL KÜHLENTHAL, MÜNCHEN: *Abb./Figs. 1, 3–7*

Petra

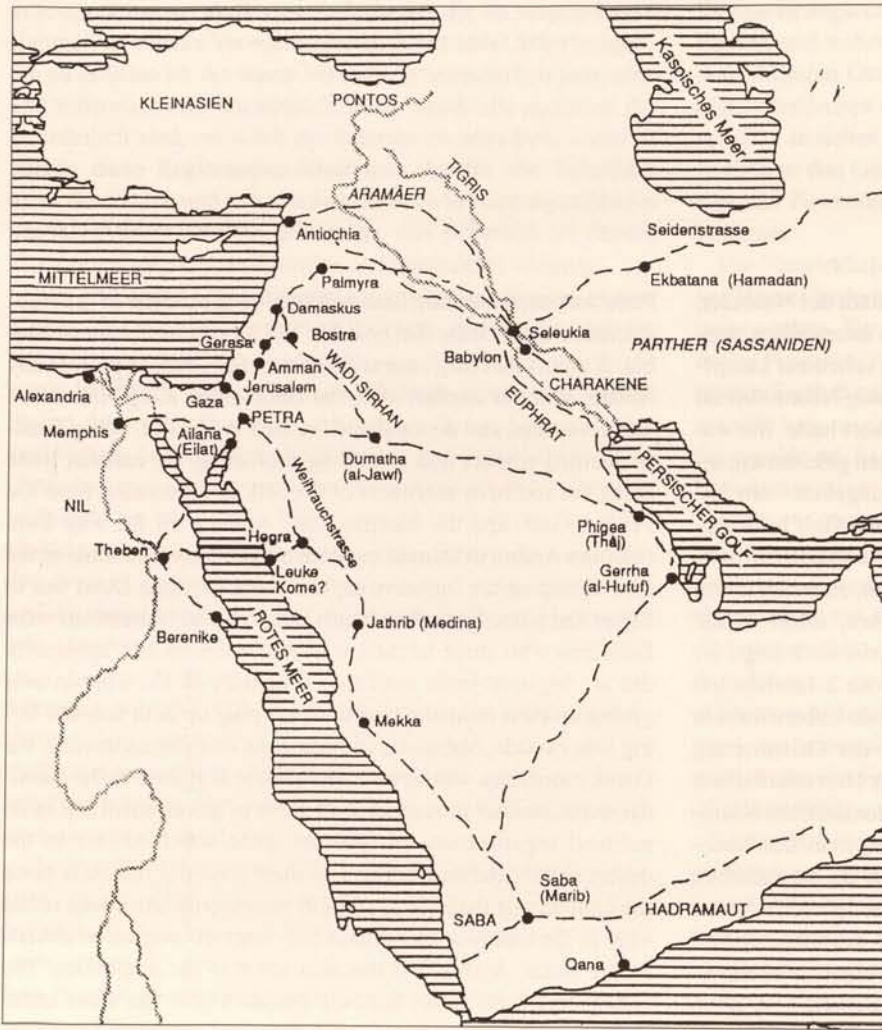
Eine Einführung – *An Introduction*

Petra war Hauptstützpunkt und später Königsstadt der Nabatäer, eines wohl aus Zentralarabien stammenden Wüstenvolkes, welches Edom, im Süden des heutigen Jordanien, scheinbar kampflos annektierte, nachdem der babylonische König Nabonidus im Jahr 552 v. Chr. das Land zerstört und entvölkert hatte. Sie waren im Laufe der Zeit zu Wohlstand und Ansehen gekommen, indem sie den Karawanenhandel in ihrem Einflußgebiet – am Ende der südlichen Seidenstraße – vom persischen Golf her kommend und auf der Weihrauchstraße, die von Südarabien nach Damaskus führte, zunächst schützten und später, ebenso wie den Asphalthandel vom Toten Meer nach Ägypten, selbst in die Hand nahmen (Karte 1). Sie waren Beduinen, die noch lange ihr Nomadenleben beibehielten und offenbar erst im 2. Jahrhundert v. Chr. teilweise sesshaft wurden, stets aber beide Lebensformen nebeneinander bewahrten. Nabatäa ist, trotz der Orientierung am griechischen Königtum, hinsichtlich seiner Herrschaftsform und staatspolitischen Organisation nie ein hellenistisches Kleinreich im klassischen Sinn gewesen. Es gab, trotz mancher Wachstationen in der Wüste, keine Landesgrenzen im eigentlichen Sinne, da sich die Konturen des Staates in den menschenleeren oder nur dünn nomadisch besiedelten Wüsten des Sinai, Arabiens und zum Euphrat hin verwischten. Die Nabatäer waren in den von ihnen beherrschten Gebieten nie das einzige, vielfach nicht einmal das zahlenmäßig dominierende Volk. Sie scheinen nicht als Besatzungsmacht aufgetreten, sondern in erster Linie Händler gewesen zu sein, die ihren primär wirtschaftlichen Interessen erst im Laufe der Zeit einen politischen Rahmen verliehen und auch in der Lage waren, ihr Einflußgebiet gegen Angriffe von außen mit ihren Kamelreitern entsprechend zu schützen. Von sozialen Unruhen und Revolten ist genauso wenig bekannt wie von auferlegten Steuerlasten. „Es scheint“, wie Avraham Negev (1976) feststellt, „daß wir uns im Fall der Nabatäer einem neuen und bis jetzt noch kaum begriffenen Phänomen gegenüber finden, dem Phänomen der Entstehung eines Karawanenstaats...“ Vor uns entsteht das Bild einer vorislamisch-arabischen Gesellschaft, in der sich ein Dialog zwischen Beduinentum und hellenistischer Zivilisation entwickelte, ein Dialog, der sich in der Lebensform und Architektur der Nabatäer widerspiegelte.

Das früheste gesicherte Datum der nabatäischen Geschichte ist das Jahr 312 v. Chr., als der Diadoche Antigonos zwei Mal Truppen gegen die Nabatäer schickte, das letzte Datum ergibt sich aus einer Inschrift des Jahres 328 n. Chr. Ihr Königtum scheint sich im Lauf des 2. Jahrhunderts v. Chr. in fließendem Übergang von einer beduinischen Stammesorganisation zum Scheichtum, gleichzeitig mit dem Ausbau Petras als Hauptsitz und Königsstadt, entwickelt zu haben. Zur Zeit des Hieronymus von Cardia (eines hohen Beamten des Diadochen Antigonos im Jahre 312 v. Chr., auf dessen Berichte sich der sizilianische Historiker Diodorus bezieht) waren die Nabatäer noch nomadisierende Viehzüchter, die zwar großes Geschick im Bau von Brunnen und verdeckten Zisternen hatten, aber vornehmlich in Zelten lebten und damals schon ihre Haupteinnahmen aus dem Ver-

Petra was once the main base and later on the capital of the Nabataeans, a desert tribe that possibly had its origins in central Arabia. It seems that they annexed Edom in the south of present day Jordan, without combat after the Babylonian King Nabonidus had devastated and depopulated the area in 552 B. C. They finally attained respect and wealth by protecting the caravan trade along the southern extension of the Silk Road coming from the Persian Gulf, and the Incense Road running all the way from southern Arabia to Damascus, until almost the entire trade in the area including the lucrative asphalt trade from the Dead Sea to Egypt had passed into their hands (plan 1). The Nabataeans were Bedouins who stuck to their nomadic tradition and apparently did not begin to settle until the 2nd century B. C., without ever giving up their nomadic traditions keeping up both ways of living side by side. Nabataea, in spite of its orientation towards the Greek monarchy, was never a Hellenistic kingdom in the classical sense, neither in respect to its form of government nor in its political organization. In spite of some watch towers in the desert clearly defined borders of their state did not exist since the contours of their territory must necessarily have been rather vague in the lonely or by nomads only sparsely populated deserts of the Sinai, Arabia and the area towards the Euphrates. The Nabataeans were never the only people within the areas under their control where, often enough, they just constituted a minority. It seems that they were traders rather than an occupying power, that only at a later stage they developed a political structure in order to protect their economic interests which they were well prepared to defend against attacks from outside by their effective troops of camelriders. Social unrest and revolts are just as unheard of as taxes imposed. 'It seems', as Avraham Negev (1976) notes 'that in the case of the Nabataeans we are faced with a phenomenon so far only poorly understood, the phenomenon of the emergence of a caravan state...' A picture takes shape of a pre-Islamic, Arab society in which a dialogue between Bedouin life and Hellenistic civilization emerged, a dialogue, which finds its reflection in their way of living and in their architecture.

The earliest reliable accounts on Nabataean history are events that took place in 312 B. C., when Antigonos sent in troops against the Nabataeans on two occasions. The last sure document of Nabataean origin is an inscription from 328 A. D. Their kingdom seems to have gradually developed out of the Bedouin tribal organization and sheikhdom parallel to the installation of Petra as a capital and royal residence during the 2nd century B. C. At the time of Hieronymus of Cardia, a high ranking official of Antigonos in 312 B. C., on whose account the descriptions of the Sicilian historian Diodorus are based, the Nabataeans were nomadic stock-farmers who, though possessing great skills in building wells and enclosed cisterns, preferred to live in tents. Their major source of income was by then the sale of bitumen from the Dead Sea and the trade with incense, myrrh, and other rare spices from southern Arabia. In Strabo's *Geographica*, which leads us into the decades marking the turn from B. C. to A. D. reference is made to Antemidor of Ephesus, who person-



Karte 1. Karte der Handelswege im Vorderen Orient. Die Weihrauchstraße führt von Qana und Marib im Süden der arabischen Halbinsel über Mekka und Hegra nach Petra und Gaza am Mittelmeer. Das Ende der südlichen Seidenstraße erreicht Petra von Gerrha am Persischen Golf. Von Petra führt der Königsweg nach Norden und schließt in Damaskus an die Südwestroute der Seidenstraße an, die über Palmyra in das Zweistromland und nach Zentralasien führt

Plan 1. Plan of trading routes in the Middle East. The incense road leads from Qana and Marib in the South of the Arabian peninsula via Mekka and Hegra to Petra and Gaza at the Mediterranean Sea. The end of the Southern silk road reaches Petra from Gerrha on the Persian Gulf. The King's Road runs from Petra to the North meeting the southwestern route of the silk road in Damascus, leading via Palmyra into Mesopotamia and to Central Asia

Abb. 1. Bab as-Siq, Blockgräber / Fig. 1. Bab as-Siq, block tombs



kauf des Bitumens vom Toten Meer und dem Handel mit Weihrauch, Myrrhe und seltenen Gewürzen aus Südarabien bezogen. In der Geographica Strabos, die in die Jahrzehnte um die Zeitenwende führt und in der er sich auf Antemidor von Ephesus, der das Nabatäergebiet persönlich bereist hatte, als Gewährsmann beruft, werden die Nabatäer bereits als wohlsituiertes Volk geschildert, das neben Viehzucht auch Acker- und Gartenbau betrieb und in festen Häusern wohnte.

Petra liegt ziemlich genau in der Mitte zwischen dem Toten Meer und dem Golf von Aqaba und befand sich in der Antike am Schnittpunkt wichtiger Karawanenstraßen. Heute führt der moderne Wüstenhighway, die Hauptschlagader des Landes, ca. 40 km östlich von Petra vorbei, das, wie in den letzten Jahrhunderten, von Beduinen bewohnt dahinschlummerte, hätte sich nicht in zunehmenden Maße – namentlich seit dem Friedensprozeß – ein Tourismus entwickelt, der in dem kleinen, vor Petra gelegenen Ort Wadi Musa (Mosestal) eine von einem Bauboom begleitete, beachtliche wirtschaftliche Entwicklung ausgelöst hat.

Wenn man, vom Wüstenhighway abzweigend, vom Hochplateau der zwischen Amman und Aqaba liegenden Wüste, des Hochlandes von Shara, von Nordost oder Südost kommend, an der Mosesquelle (Ain Musa), – wo Moses Wasser aus dem Stein geschlagen haben soll – vorbei nach Wadi Musa hinabfährt, sieht man jenseits des Ortsendes die Barriere eines langgestreckten Gebirgsstocks, hinter dem die alte Nabatäerstadt Petra verborgen liegt. Der Hauptzugang zur Stadt ist seit der Antike der „Siq“, eine als tektonischer Riß von Ost nach West tief in den Gebirgsstock eingeschnittene 900 m lange Schlucht, deren bis zu 70 m hohe Wände stellenweise bis auf vier Meter zusammenrücken.

Beim Resthouse am westlichen Ortsende von Wadi Musa betritt man das archäologische Areal des alten Petra und wandert auf einer vor kurzer Zeit ziemlich breit und massiv angelegten Schotterpiste auf das Bergmassiv zu. Bald stößt man zwischen den weiß-gelblichen Felsformationen, die dem großen Gebirgsstock vorgelagert sind, auf die ersten Zeugnisse der Tätigkeit der Bewohner der antiken Stadt: turmartige Blockgräber (Abb. 1), die wie Riesenskulpturen aus dem gewachsenen Felsen gemeißelt sind, ausgewitterte Eingänge zu Höhlen oder ehemaligen Grabkammern; zur Linken die erste große Grabfassade, das sog. Obeliskengrab mit dem unmittelbar darunter befindlichen „Bab as-Siq Triklinium“ (Abb. 2), das schon die ganze Vielfalt und gleichzeitig auch Widersprüchlichkeit der nabatäischen Architektur zeigt. Es besteht aus zwei Anlagen: einer Grabkammer, deren Fassade aus vier Nefesh (Stele) genannten Spitzpfeilern gebildet ist und einem wohl etwas jüngeren, mit einem syrischen Giebel ausgestatteten, darunterliegenden Triklinium. Nefesh, die sich auch an den verschiedensten Orten in den Fels gemeißelt finden (Abb. 3), sind pyramidale, gelegentlich mit Inschriften versehene Spitzpfeiler, mit denen oft Verstorbene geehrt wurden, während die Blockidole, die oft als Flachrelief in Nischen eingetieft sind, meistens den nabatäischen Hauptgott Dushara symbolisieren (Abb. 4).

Nach dem Obeliskengrab wendet sich das Tal nach rechts und führt nun an dem Gebirgsstock entlang ganz offensichtlich auf eine Sackgasse zu. Dann findet sich der Besucher plötzlich vor einer schmalen, hohen Öffnung in der Felsbarriere: dem Eingang zu einer Schlucht, dem Eingang zum Siq.

Der Eingang des Siq ist durch einen Damm geschützt (Abb. 5), der an der Stelle eines ursprünglich hier befindlichen nabatäischen Dammes rekonstruiert wurde und der das bei den winter-

ally travelled the Nabataean region and described the Nabataeans as a well-off people already living in solid houses and who, aside from cattle-breeding, was also engaged in horticulture and farming.

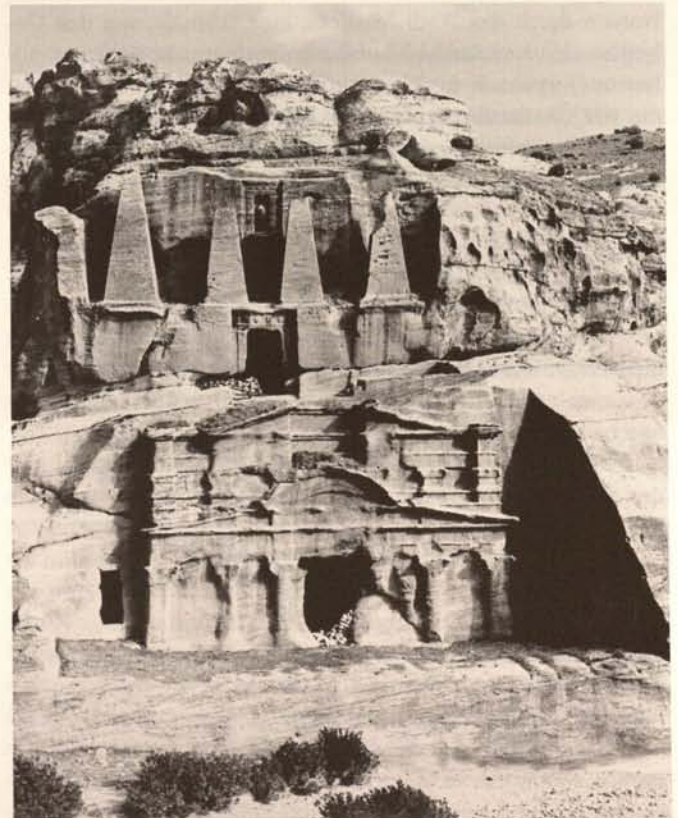
Petra is situated half way between the Dead Sea and the Gulf of Aqaba and in Antiquity was located at the meeting-point of important caravan routes. Today the modern Desert Highway runs 40 km east of Petra, which, like in the last centuries, would have remained a sleepy place inhabited by Bedouins, if it were not for the increasing development of the tourism sector, especially ever since the peace process. Since then, Wadi Musa, a small village near Petra, has experienced a building boom and considerable economic development.

When leaving the Desert Highway and the desert plateau stretching from Amman to Aqaba, coming from the northeast or from the southeast down from the highland of Shara, and passing the Moses Well (Ain Musa, where Moses drew water from a stone by beating it with a stick) towards Wadi Musa, one can see a mountain barrier at the outskirts of the village, behind which the old Nabataean capital of Petra lies hidden. The main access to the city is, since ancient times, the 'Siq', a tectonic fault running from east to west, that cuts deeply into the mountain forming a 900 meter long canyon, the walls of which rise up to 70 meters and, at times, leave a passage way of only 4 meters width.

One enters the archaeological site of old Petra at the Resthouse, located at the western end of Wadi Musa, and walks across a newly built road and laid out gravel path towards the mountain. Soon one encounters the first evidence of the activity of the inhabitants of the ancient city among the white-yellowish rock formations: tower-like block tombs (fig. 1) carved from the

Abb. 2. Bab as-Siq, Triklinium und Obeliskengrab

Fig. 2. Bab as-Siq, Triclinium and Obelisk Tomb



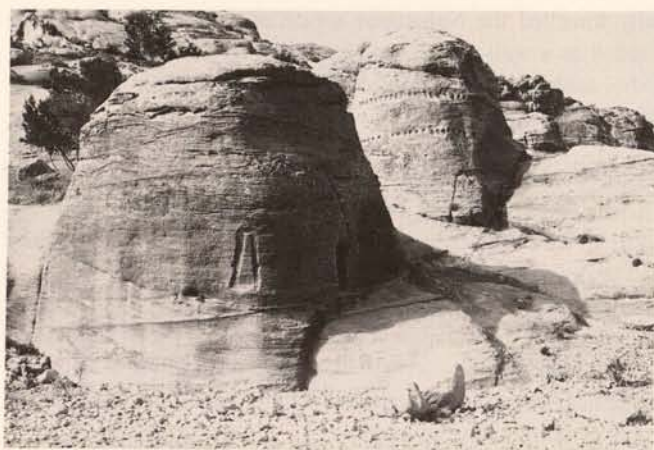


Abb. 3. Bab as-Siq, Nefesh / Fig. 3. Bab as-Siq, Nefesh



Abb. 4. Blockidol / Fig. 4. Block idol

lichen Regenfällen von allen Seite hier zusammen strömende Wasser durch ein Seitental ableitet. Der Damm wurde 1964 errichtet, nachdem ein Jahr zuvor vierundzwanzig Touristen in den plötzlich durch den Siq schießenden Wassermassen ertrunken waren. Schon das deutsch-türkische Denkmalschutzkommando hatte bei seinen Petraforschungen 1916/17 festgestellt, daß nach einem kaum halbstündigen starken Regen der bis dahin trockene Siq plötzlich in voller Breite von reißenden Wassern angefüllt war. Der Grund für dieses Phänomen plötzlich auftretender Flutwellen ist darin zu suchen, daß die Hänge, auf denen der Ort Wadi Musa liegt, wie ein Trichter wirken, durch den das Wasser des auf den umliegenden Hochplateaus fallenden Regens gesammelt wird und, von allen Seiten zusammenströmend, manchmal in plötzlich auftretenden Sturzfluten auf den Siq zuschießt. Dieser Gefahr haben die Nabatäer durch den Bau des Dammes entgegengewirkt, der die Flut durch einen zu diesem Zweck geschlagenen Tunnel (Abb. 6), so wie auch heute wieder, nach Norden durch das Wadi Modlem, eine schmale, um den Gebirgsstock von Jabal al-Khubtha herumführende Schlucht, ableitete. Dort wurde das Wasser zusätzlich durch Dämme gestaut, die wie Überlaufbecken wirkten und die Fließgeschwindigkeit deutlich herabsetzten. Außerdem konnte das Wasser dieser Stautufen zu Bewässerungszwecken genutzt werden.

So war das Wasser der winterlichen Regenfälle einerseits eine Gefahr für die Stadt, die abgewendet werden mußte, andererseits aber auch der Segen, der das Überleben der Bevölkerung in dieser durch heißes Wüstenklima bestimmten Gebirgsregion ermöglichte. Es wurde in einem ausgeklügelten, großenteils aus dem Felsen herausgemeißelten weit verzweigten Kanalsystem gesammelt (Abb. 7, Farbtafel IV. 1) und in große Zisternen geleitet.

Dieses Kanalsystem mußte nach genauen Berechnungen und den Gesetzen der Strömungsmechanik folgend ausgeführt werden: der Neigungswinkel der Kanäle, die Rauigkeit ihrer Innenwände und der Umfang des Einzugsgebietes mußten in einem ausgewogenen Verhältnis zueinander stehen, damit das Wasser die richtige Fließgeschwindigkeit hatte und der Kanal die richtige Wassermenge beförderte. Nur dann kam das Wasser in den Zisternen an. War die Wassermenge zu groß oder die Fließgeschwindigkeit zu hoch, ging das Wasser, namentlich an den Biegungen der Strecke, durch Überlaufen verloren. Die Zisternen waren mit einem widerstandsfähigen Kalkputz ausgekleidet, der die Algenbildung und das Einsickern des Wassers in

rock like gigantic sculptures; weathered entrances to caves or former sepulchral vaults; to the left, the first huge tomb façade, the so-called Obelisk Tomb, together with the 'Bab as-Siq Triclinium' below (fig. 2), which displays the variety and contradiction of Nabataean architecture at the same time. It consists of two separate constructions: a sepulchral vault with a façade composed of four pointed pillars, so-called Nefeshes, and a younger Triclinium with a Syrian pediment. Nefeshes, which are also found to be carved into the rock in various places (fig. 3), are obelisk-shaped pointed pilars sometimes with inscriptions honoring the deceased, while block idols, often cut into niches as relief are usually symbolizing the Nabataean god Dhushara (fig. 4).

Beyond the Obelisk Tomb the Wadi turns to the right running along the rock barrier seemingly heading for a dead end. Then all of a sudden the visitor finds himself in front of a narrow, tall opening in the wall of rocks: the entrance to a canyon, the entrance of the Siq.

The entrance of the Siq is protected by a dam (fig. 5), which has been reconstructed in the place where originally a Nabataean dam was located, diverting the streams of rain water flowing together in this place from all sides during the winter period into a side valley. The dam was constructed in 1964, after a group of 24 tourists drowned in a sudden flash flood that rushed through the Siq the previous year. The German-Turkish Heritage Conservation Group in their Petra research project of 1916/17 had already established the fact that half an hour of rainfall would be sufficient to flood the Siq with a torrential river. The reason for this phenomenon can be attributed to the fact that the slopes on which Wadi Musa is situated act as a funnel through which the water, collected on surrounding plateaus, runs through, sometimes causing flash floods that shoot towards the Siq. To counter this danger the Nabataeans built a dam which guides the water through a tunnel (fig. 6), leading it northward through Wadi Modlem, a narrow canyon running along the mountain side of Jabal al-Khubtha. Here, the water was banked up by dams which acted as overflow basins in order to decrease the speed of the water flow. This water could moreover be used for irrigation works.

Winter rainfalls were thus the cause of damage and dangerous for the city, which had to be warded off, while on the other hand they were a blessing, since rainwater ensured the survival of the population in the hot desert climate of this mountainous region.

den porösen Fels verhinderte. Die Lage der Zisternen, die in die Felswände hineingetrieben oder auch in den gewachsenen Fels von oben eingetieft und massiv überwölbt waren (Abb. 8), setzte die Verdunstung während der heißen Sommermonate auf ein Minimum herab. So war die Stadt von einer Vielzahl von Wasserreservoirs umgeben, die zusammen mit einigen wenigen Quellen, ganz offenbar den Wasserbedarf der Stadt zwischen den einzelnen Regenperioden decken konnten.

Auch landwirtschaftlich wurde jeder Tropfen Wasser genutzt und durch Terrassierung des Geländes am Abfließen gehindert. Ob das Wasser auch kultische Bedeutung hatte ist noch nicht erforscht worden. Jedenfalls befinden sich zu Seiten des Garten- und Palastgrabes zum Beispiel riesige Wasserbecken (Abb. 9), welche ganz offensichtlich Teil der vielgestaltigen, oft durch Vorhöfe, Steinbänke und bepflanzte Terrassen ergänzten Grabanlagen waren. Auch manche in der Landschaft verstreute Kultstätten sind mit kleinen Wasserbecken ausgestattet. Außerdem haben viele der aus dem Fels gemeißelten Räume nicht als Grabkammern sondern, mit umlaufenden Steinbänken ausgestattet, in Zusammenhang mit den Grabmonumenten als Triklinia gedient, in denen, wie zu vermuten ist, nach der Beisetzung und bei den Anniversarien rituelle Totenmähler abgehalten wurden und von denen manche ebenfalls über ein eigenes Wasserbecken verfügten. Eine Inschrift auf ad-Dayr bestätigt, daß es regelrechte Kultgenossenschaften gab, die sich offensichtlich mit der Abhaltung solch ritueller Feste befaßten.

Der Eingang des Siq ist ursprünglich durch einen Bogen überwölbt gewesen, dessen gemauerte Bogenansätze und in die Felswände gemeißelten Seitennischen noch deutlich erkennbar sind (Abb. 10, 11). Frühe Reisende wie Laborde und Roberts (Abb. 14) haben um die Mitte des 19. Jahrhunderts den Bogen noch gesehen und im Bild festgehalten.

Der Gang durch die Schlucht gehört zu den Erlebnissen ganz besonderer Art. Nach jeder Biegung fesselt ein neues Bild hintereinander gestufter und ineinander verzahnter Felswände, deren Sandstein von hellem Weiß über Gelb, Rot und Mauve nach Dunkelgrau changiert, den Blick (Abb. 12, 13, Farbtafel IV. 5). An manchen Stellen leuchtet das Gestein in warmen Tönen auf, an anderen sieht man nicht einmal das Blau des Himmels über sich. So entsteht gelegentlich, verstärkt durch das Echo der Stimmen und Tritte, der Eindruck sich in einer hohen Halle zu befinden, die eine geheimnisvolle, fast feierliche Stimmung ausstrahlt. Auf beiden Seiten wird der Besucher auf die ganze Länge der Schlucht von zwei Wasserleitungen begleitet (Farbtafel IV. 3). Die linke ist über Bodenniveau als Rinne aus der Felswand gemeißelt und ursprünglich mit Steinplatten abgedeckt gewesen (Abb. 15), die rechte wurde teilweise über, teilweise auf dem Straßenniveau in Röhren und im inneren Siq auf halber Höhe der Monumente in die Stadt weitergeführt (Farbtafel IV. 2). Die aus dem Fels gemeißelte Rinne auf der rechten Seite könnte aus späterer Zeit stammen, jedenfalls deuten Befunde an manchen Stellen darauf hin, daß mehrere Leitungen wohl aus unterschiedlichen Perioden übereinander liegen. Doch ist eine archäologische Untersuchung bislang nicht durchgeführt worden.

An den Wänden der Schlucht finden sich zahlreiche flache in das Gestein eingetieft Nischen, aus denen rechteckige Stelen hervortreten. Nach dem aramäischen „Beth-El“ (das heißt „Haus Gottes“) werden sie „Betyle“ oder „Beityloi“ genannt. Diese einfachen Reliefs scheinen der elementare Ausdruck nabatäischer Frömmigkeit zu sein. Einfache Steine oder Stelen in Form der Betyle sind in der vorislamischen Zeit des alten Arabien als Sitz oder Idol des jeweiligen Gottes betrachtet worden. Auch



Abb. 5. Am linken Bildrand der Damm vor dem Eingang in den Siq, dahinter die Öffnung des nabatäischen Tunnels für die Ableitung des Wassers
 Fig. 5. On the left dam at the entrance to the Siq, behind opening of the Nabataean tunnel for the diversion of the water



Abb. 6. Nabatäischer Tunnel in das Wadi Modlem
 Fig. 6. Nabataean tunnel into Wadi Modlem

It was collected in an elaborate, widely branched channelling system (fig. 7, colour plate IV. 1) which in the large part was carved out of the rock and led to spacious cisterns.

These cisterns were coated with a resistant lime plaster which prevented both: the growth of algae and the seeping of water into the porous sandstone of the rock. The location of the cisterns, which were either cut into the walls of the rock or worked into the stone from above and covered by massive vaults (fig. 8), minimized evaporation in the hot summer months. Thus the city was surrounded by a large number of water reservoirs and it were these cisterns in addition to a few wells, that evidently covered the city's water supply between the respective rainy seasons.

Also in agriculture every drop of water was used and hindered from draining off by terracing the terrain. Whether or not water also had a ritual meaning has not yet been investigated. At any rate, next to the Garden and the Palace Tomb large water basins were found (fig. 9), which were obviously part of the multifarious tomb grounds enriched by courts, stone benches and garden terraces. Many of the religious places scattered throughout the landscape were also furnished with a small water basin and a channel leading to it. Moreover many of the vaults carved into the rock were not used as burial places, but – since they were furnished with stone benches – actually served as Triklinia, where supposedly funeral celebrations were held after the burials or on anniversaries. In many cases, these rooms were also equipped



Abb. 7. In den Fels gehauene Wasserleitung und Zisternen auf ad-Dayr
 Fig. 7. Water pipe carved into the stone and cisterns on ad-Dayr



Abb. 8. Nabatäische Zisterne mit Schwibbögen in Humeima in Süd-jordanien

Fig. 8. Nabataean cistern with vaulted arches in Humeima in Southern Jordan

der Hauptgott der Nabatäer, Dushara (griechisch Dusares, der Herr des Shara, des Wüstenplateaus von Zentraledom, das von Amman bis Aqaba verläuft), wurde im Stein verehrt. Unter einer dieser in einer architektonisch ausgestalteten Nische befindlichen Gottesdarstellungen ist eine griechische Weihinschrift zu entziffern, die von Sabinos Alexandros stammt, der in Adraa, dem heutigen Dera im südlichen Hauran, das Amt eines Anegyrarchen, d. h. eines Leiters von Festspielen bekleidete, die als „Actia Dusaria“ zu Ehren des nabatäischen Hauptgottes aus-

with a water basin. An inscription on ad-Dayr does even confirm the existence of ritual brotherhoods which obviously were concerned with the celebration of these rituals.

The entrance to the Siq was originally mounted by an arch. The springer of the arch and the niches carved into the stone are still visible today (figs. 10, 11). Early travellers in Petra such as Laborde and Roberts (fig. 14) witnessed the presence of the arch and documented it in their drawings still around the middle of the 19th century.

Abb. 9. Gartengrab, rechts davon die Staumauer der Zisterne / Fig. 9. Garden Tomb, to the right: damming wall for the cistern



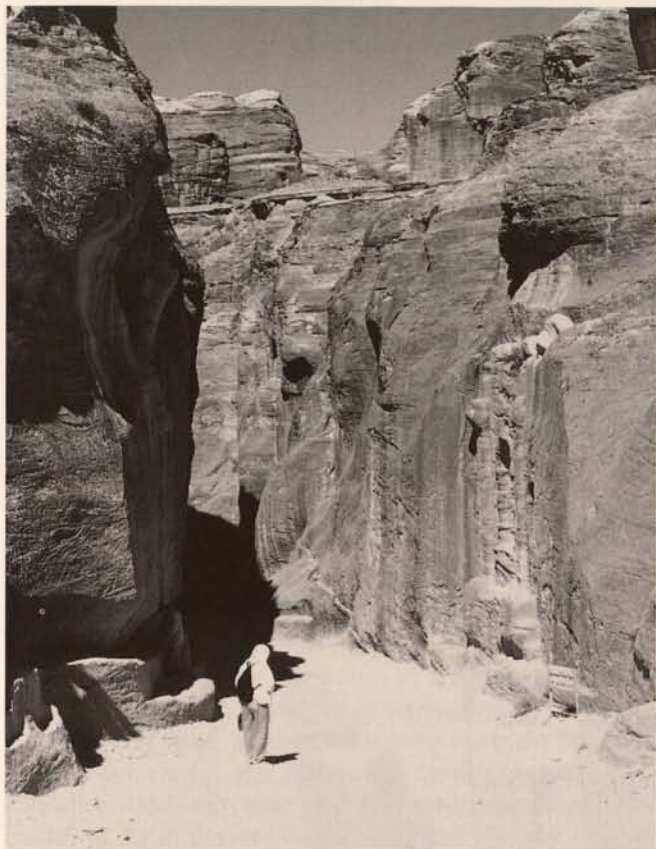


Abb. 10. Eingang des Siq mit Resten des ehemaligen Bogens
 Fig. 10. Entrance to the Siq with the springer of a former arch

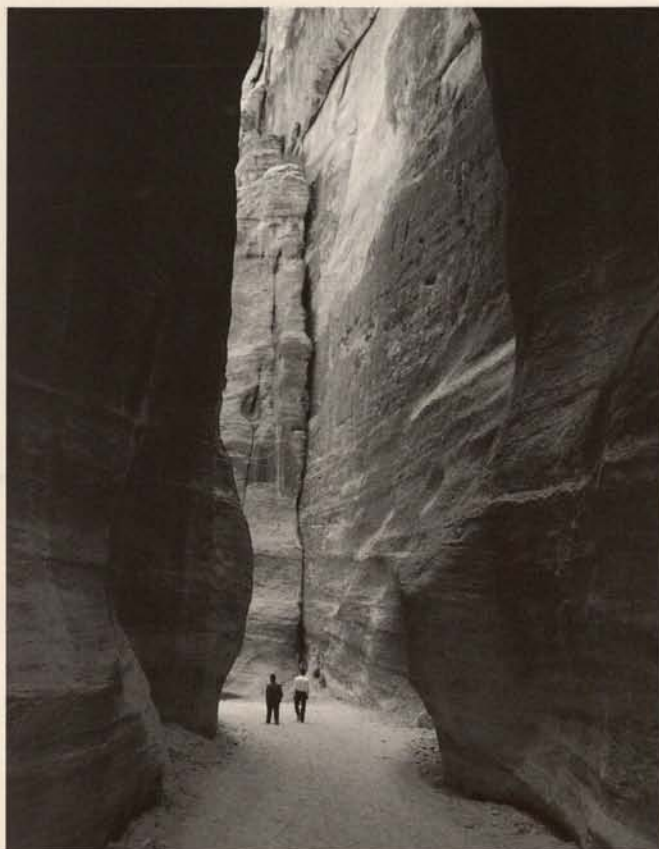


Abb. 12. Siq, vor der Nivellierung
 Fig. 12. Siq, before levelling

Abb. 11. Rechte Innenwand des Eingangsbogens
 Fig. 11. Right interior wall of the entrance arch

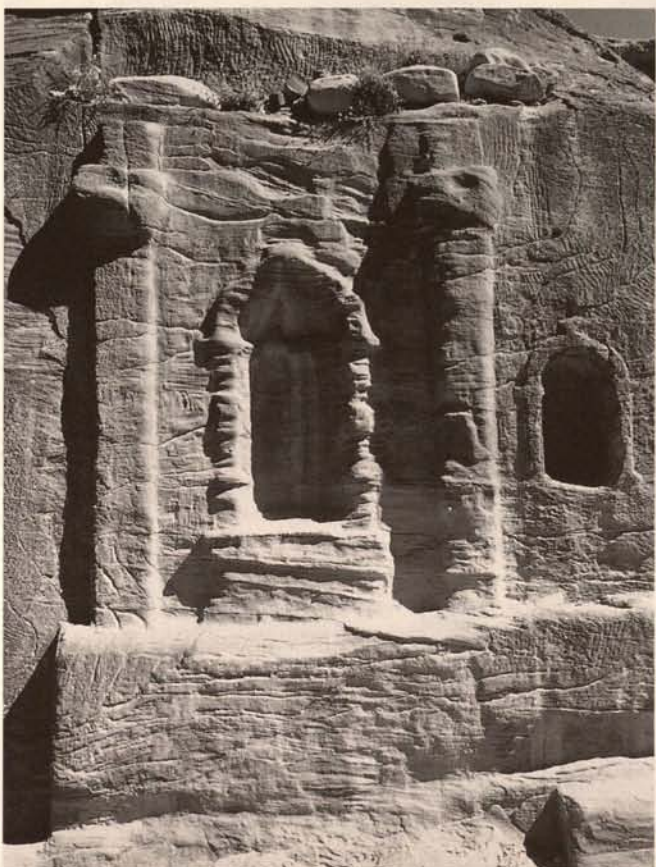
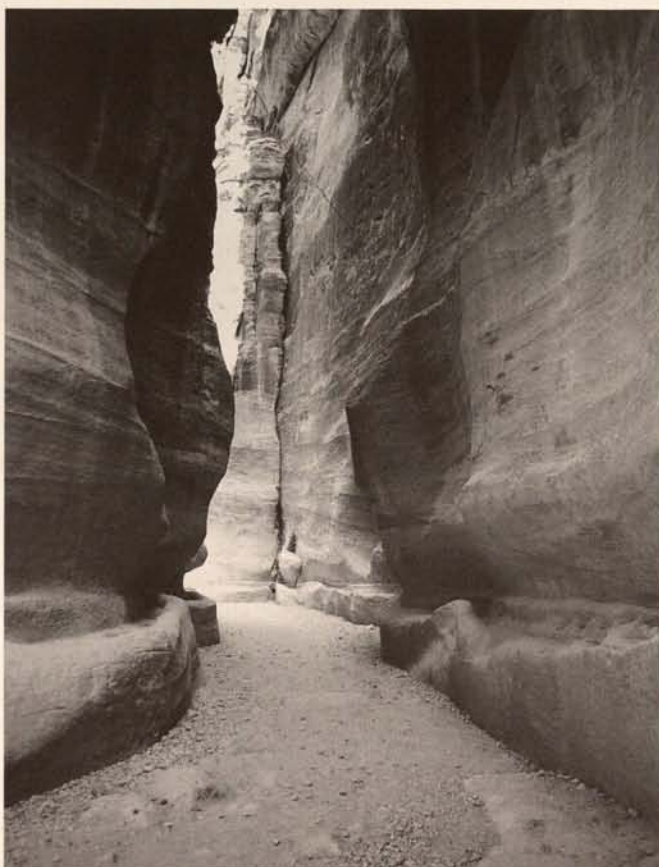


Abb. 13. Siq, nach der Nivellierung
 Fig. 13. Siq, after levelling



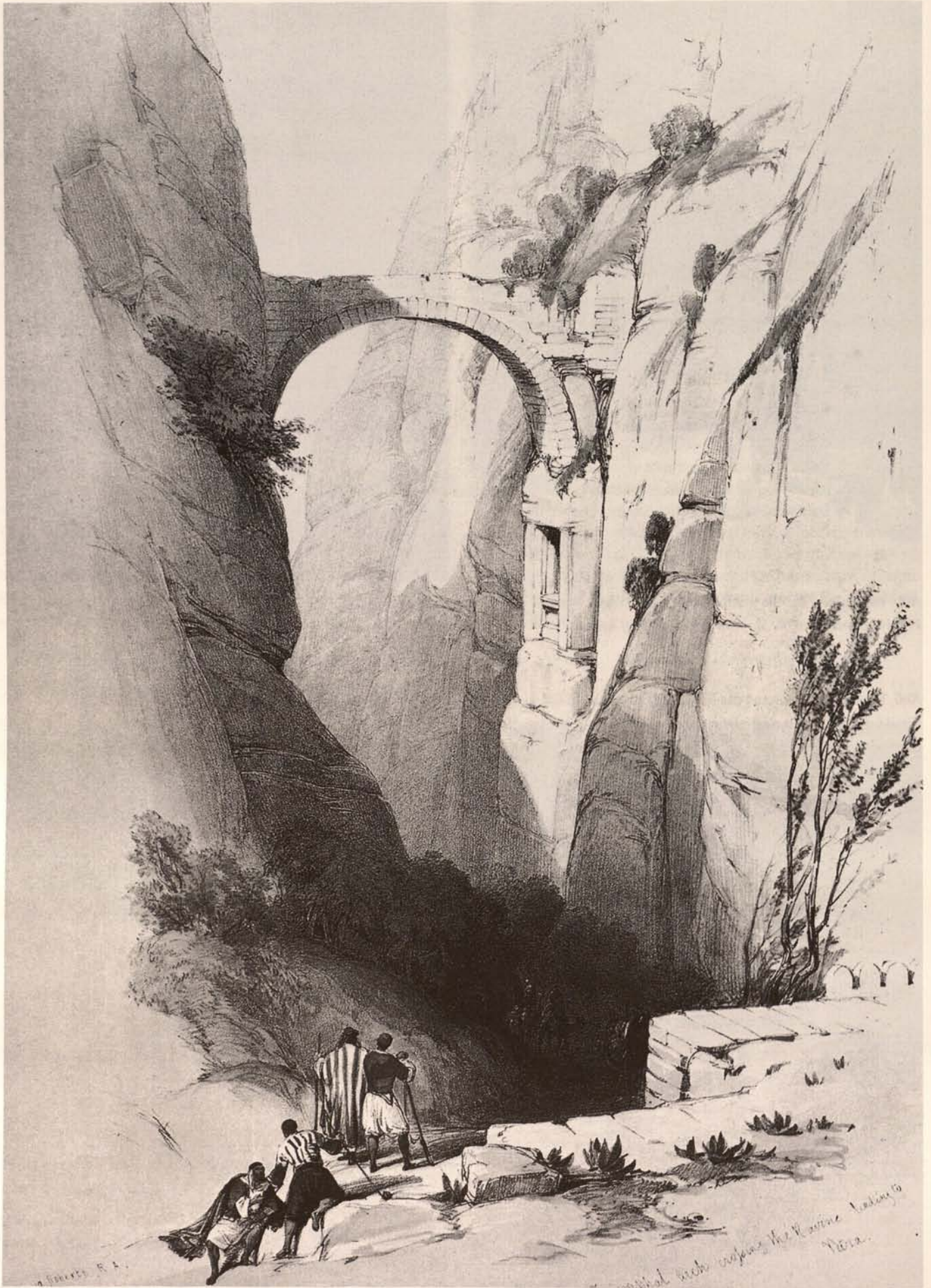


Abb. 14. Bogen über dem Eingang des Siq, Lithographie von David Roberts, 1839

Fig. 14. Arch crossing the ravine of the Siq, Lithography by David Roberts, 1839



Abb. 15. Siq, in den Fels gemeißelte Wasserleitung mit Deckplatten
 Fig. 15. Siq, water pipe carved into the rock with covers



Abb. 16. Siq, Unterbau der Straßenpflasterung
 Fig. 16. Siq, underlayer of the pavement

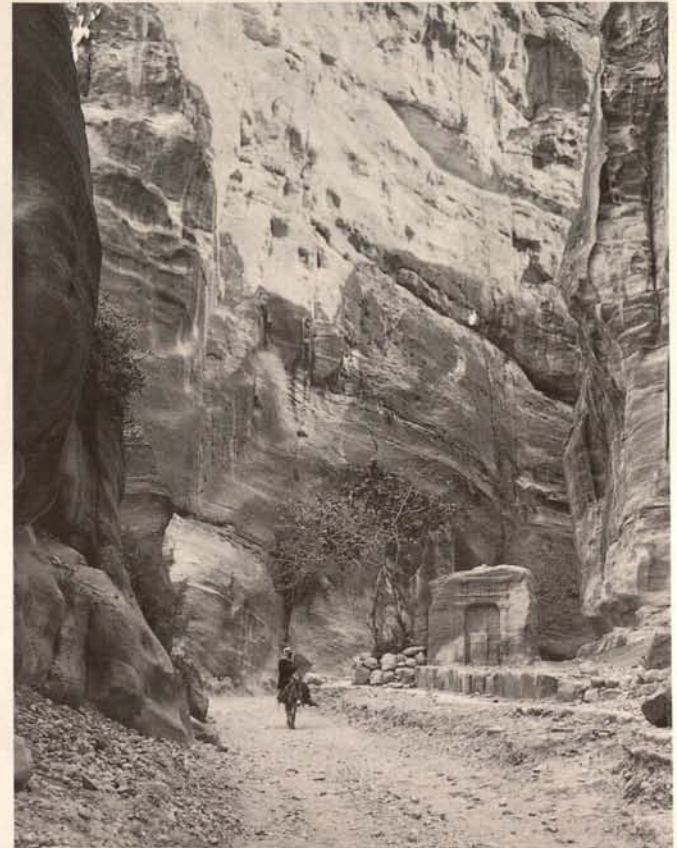
getragen wurden. Unweit davon sind die Initialen der in Bosra (Bostra) seit 106 n. Chr. stationierten Legio III Cyrenaica zu entziffern, einer Legion, die maßgeblich an der Annexion des nabatäischen Königreichs unter Trajan beteiligt war.

Auf halbem Wege, an einer erweiterten Stelle der Schlucht, befindet sich ein aus dem anstehenden Sandstein geschlagener kubischer Block mit einer architektonisch gestalteten Kultnische, in der in flachem Relief zwei quaderförmige Idole in Form von „Beityloi“ dargestellt sind (Abb. 17). Der Linke ist durch ein schmales vertikales Rechteck zwischen zwei Quadraten gekennzeichnet, eine Übergangsform vom ungestalteten Gottesstein zur anthropomorphen Gottesdarstellung. Ein Kultplatz also an der in das Stadtgebiet führenden Straße, der wahrscheinlich den beiden höchsten Göttern von Petra, Dushara und al‘Uzza geweiht war. Eine kurze Wegstrecke weiter ist an der linken Felswand das etwas unterlebensgroße Hochrelief einer Kamelkarawane zu erkennen. An manchen Stellen des Siq sind noch – so wie am *Cardo*, der Hauptstraße der Stadt – Reste der mit mächtigem Unterbau sorgfältig ausgeführten Pflasterung der gesamten Schlucht, die um 50 n. Chr. datiert wird, erhalten (Abb. 16, Farbtafel IV. 3, 5). Der ursprünglich über dem Eingang des Siq befindliche Bogen, die Pflasterung der gesamten Schlucht, ihre Kultplätze und Motivnischen an den Wänden sind Hinweise darauf, daß der Siq als Teil des Stadtgebietes betrachtet worden ist und, namentlich auch im Hinblick auf den Zielpunkt der Straße, die an ihrem Ende in den Vorhof des Qasr al-Bint, des Haupttempels von Petra, mündet, wohl am ehesten als *Via Sacra* zu bezeichnen ist. Die wichtige Frage, ob der Boden der Schlucht auch vor dieser Pflasterung schon befestigt gewesen ist, kann leider nicht beantwortet werden, da bei der kürzlichen Einebnung des Bodenniveaus keine archäologischen Untersuchungen angestellt worden sind. Jedenfalls ist der Siq nicht als Durchzugsstraße von Karawanen zu betrachten, deren Lagerplätze mit Sicherheit außerhalb des Stadtgebietes, wie zum Beispiel bei der nördlichen Vorstadt von al-Bayda, anzunehmen sind.

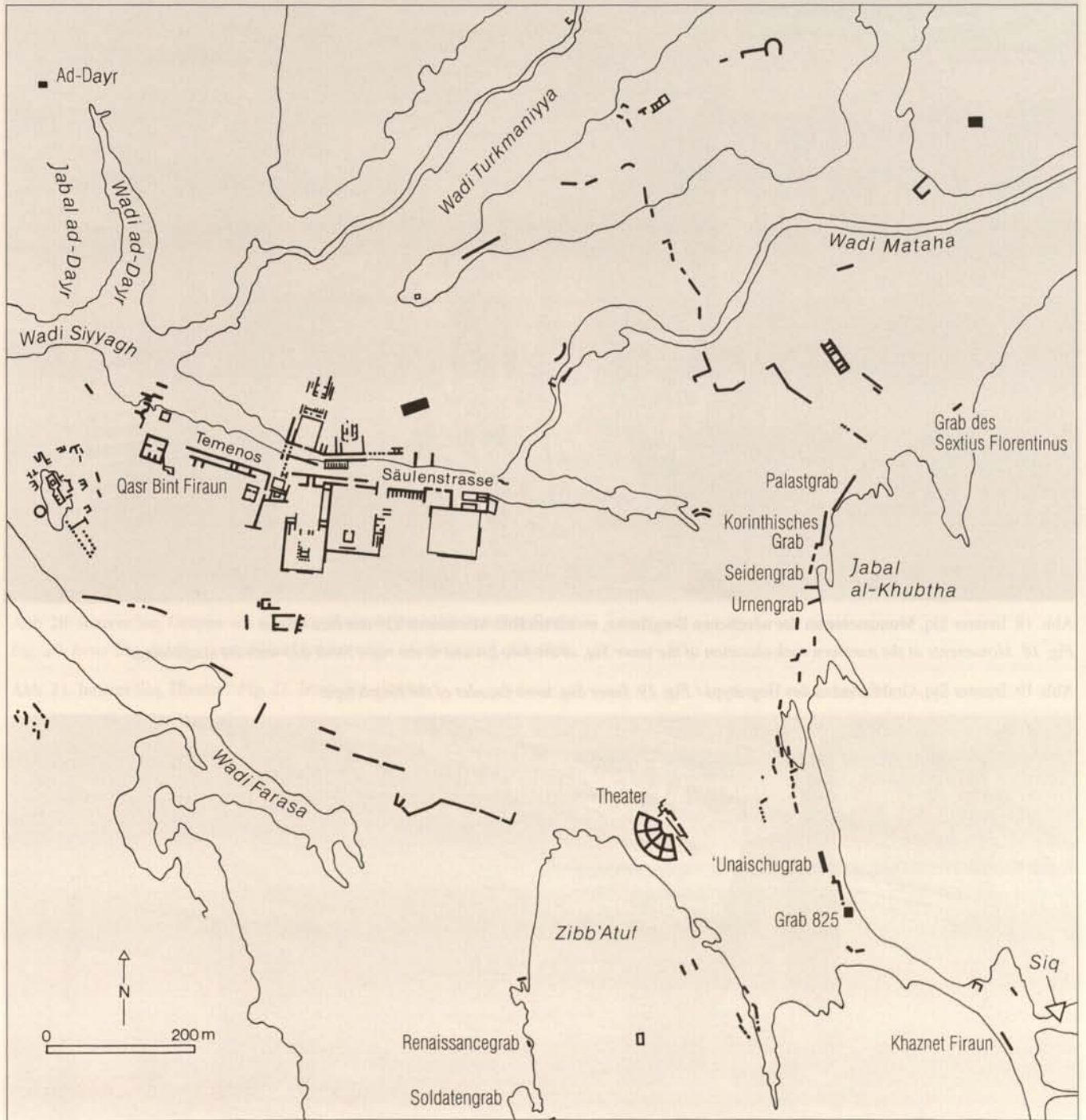
An seinem Ende verengt sich der Siq in dramatischer Weise zu einem engen, dunklen Spalt (Farbtafel IV. 4), durch den wie ein Feenwunder in rosarotem Schein die hellenistische Fassade der *Khaznet Firaun*, des sog. Schatzhauses des Pharaos, der wohl berühmtesten Architektur Petras, schimmert (s. Umschlag), eine Inszenierung, die im Zusammenspiel von Natur und Kunst in ihrer atemberaubenden Großartigkeit wohl zu den beeindruckendsten Enthüllungseffekten der Weltarchitektur gehört.

A walk through the canyon is an unforgettable experience. After every turn the attention of the visitor is captured by a new image of towering cliffs, intersecting in manifold variations, shimmering in colours ranging from pearly white and yellow to red, mauve and dark gray (figs. 12, 13, colour plate IV. 5). In some places the stone glows in warm shades, in other areas one can not even guess the blue skies above. The echoes of voices and footsteps create the impression of being in an immense hall with high walls, which brings about a sense of solemnity and mystery. On both sides the visitor is accompanied by water pipes running down the canyon in whole length (colour plate IV. 3).

Abb. 17. Siq, Blockheiligtum / Fig. 17. Siq, block sanctuary







Karte 2. Lageplan der antiken Stadt Petra / Plan 2. Map of the antique city of Petra

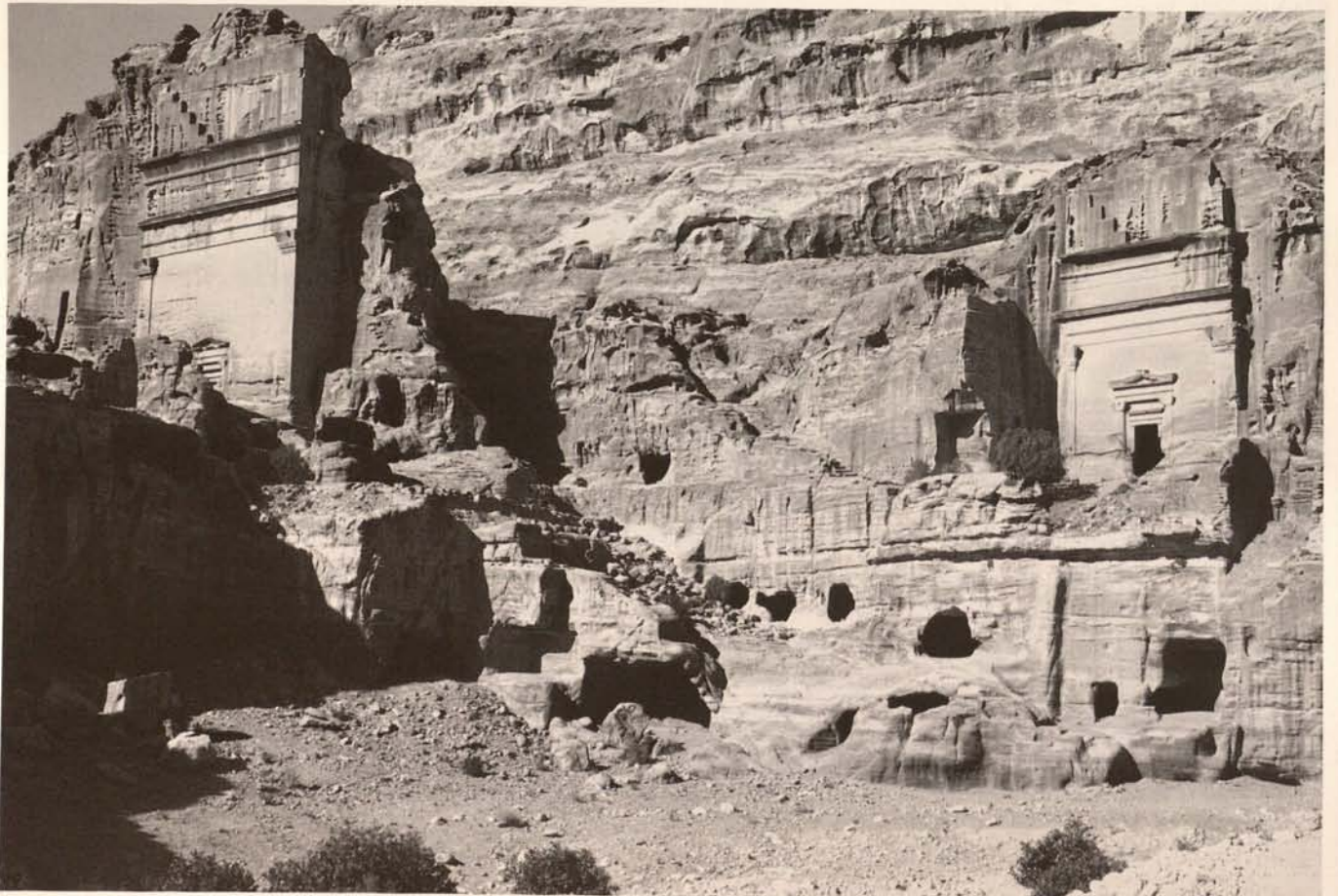
◁ Farbtafel II. Petra, Blick auf die Einmündung des äußeren Siq, auf al-Khazna, den inneren Siq, zum Theater und auf das antike Stadtgelände
 Colour Plate II. Petra, view onto the exit of the outer Siq, on al-Khazna, onto the inner Siq, the theatre and the antique city area



Abb. 18. Innerer Siq, Monumente an der nördlichen Bergflanke, rechts im Bild Monument 825 mit dem Gerüst

Fig. 18. Monuments at the northern rock elevation of the inner Siq, in the fore-ground to the right Tomb 825 with the scaffolding

Abb. 19. Innerer Siq, Grabfassaden des Hegratyps / Fig. 19. Inner Siq, tomb façades of the Hegra type



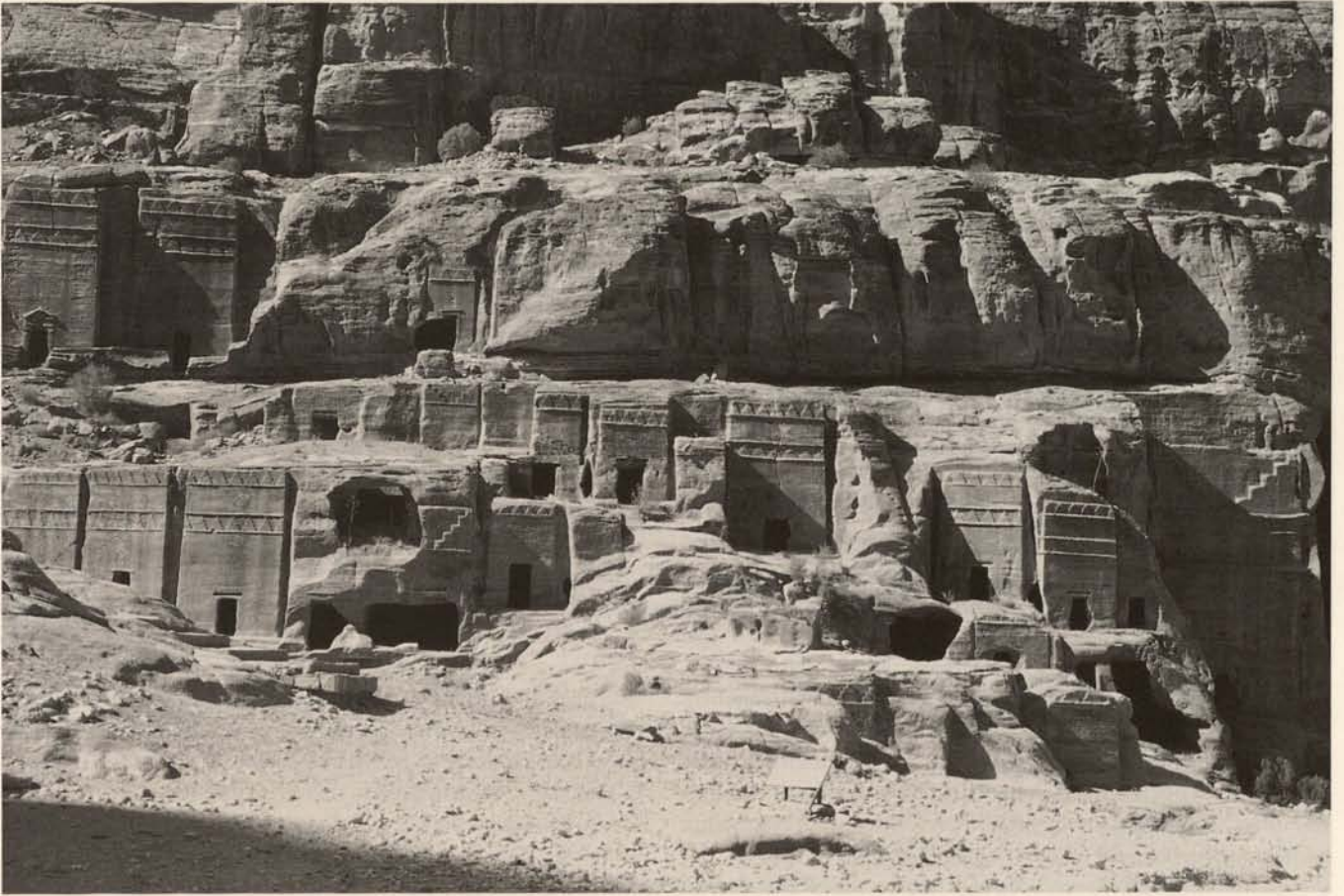


Abb. 20. Innerer Siq, Gruppe von Zinnengräbern an der südlichen Bergflanke

Fig. 20. Inner Siq, group of crenellated tombs on the southern rock elevation

Abb. 21. Innerer Siq, Theater / Fig. 21. Inner Siq, theatre



Nachdem man aus der Schlucht herausgetreten ist, wird deutlich, daß die in die Felswand eingetiefte Architektur der Fassade der von al-Khazna, deren Name der Phantasie der Beduinen des vorigen Jahrhunderts entsprungen ist, einen durch hohe Felswände umschlossenen Vorplatz beherrscht (Farbtafel II, III). Früher hat sie wohl noch großartiger gewirkt, weil sie ursprünglich zwei bis drei Meter über dem heutigen Bodenniveau gelegen haben muß, wie an den Grabzugängen der gegenüberliegenden Seite festgestellt werden kann, die im Laufe der Jahrhunderte durch angeschwemmtes Geröll verschüttet worden sind.

So eingestimmt geht der Besucher durch den nun weiteren inneren Siq (Karte 2) und sieht sich bald von hohen Felsfassaden mit Zinnen- und Treppengiebeln umgeben, einer Nekropole, die vor dem Eintritt in die Stadt der Lebenden durchschritten werden mußte (Abb. 24). Zu beiden Seiten der zur Gebirgswelt Petras sich öffnenden Szenerie sind zahlreiche Monumente in die langsam zurückweichenden Felsformationen eingearbeitet (Abb. 18–20). Zur Linken befinden sich in den ansteigenden Felsplateaus, neben- und übereinandergestaffelt, zahlreiche Zinnen- und Rundbogengräber, die in ihrer Gesamtheit wie eine Ortschaft wirken und in ihrer stereometrischen Struktur den orientalischen Eindruck der Karawanenstadt Petra unterstreichen. Weiter fortschreitend passiert man das links aus dem massiven Fels herausgearbeitete Theater (Abb. 21), bei dessen Entstehung, wie im oberen Bereich beobachtet werden kann, zahlreiche ältere Grabkammern angeschnitten worden sind. Nach einer weiteren Biegung der Straße beginnt rechter Hand, in der zurückweichenden Felswand von al-Khubtha, eine Reihe der bedeutendsten Felsfassaden Petras (Abb. 23). Dann betritt man, vorbei an einem Nymphäum, die ehemals säulengeschmückte Hauptstraße der Stadt, von der rechts und links Treppenfluchten in die höher gelegenen Stadtbezirke zu Marktplätzen und Tempeln führten, deren umgestürzte Säulen noch vorhanden sind. Diese typischen Baueinheiten wie Kolonnadenstraße, Brunnenhäuser, Theater, Märkte und Tempelanlagen, die größtenteils erst nach der Zeitenwende entstanden sind, verliehen dem Zentrum der Stadt das Gepräge einer griechisch-römischen Polis, die nicht nur die Macht der damals regierenden Könige, sondern auch deren Hinwendung zur hellenistischen Kultur und ihres Lebensstandards widerspiegelt.

Die Kolonnadenstraße wird in ganzer Breite durch das dreibogige Temenostor abgeschlossen (Abb. 22), ein für Kaiser Trajan 114 n. Chr. errichteter Triumphbogen, der den Zugang zum Tempelbezirk des Qasr al-Bint gewährte. Die mittlere Bogenöffnung besitzt eine hohe Schwelle und bildete damit die Grenze zwischen Profan- und Sakralbereich. Die Urbanisierung Petras scheint somit, wie Vergleiche ergaben, nicht nach dem griechischen Straßenrastersystem erfolgt zu sein. Die große dominierende Verkehrsader, die vom Siq bis zum Hauptheiligtum, dem Qasr al-Bint führt, wird viel eher auf eine alte orientalische Tradition zurückgeführt, die, so wie etwa in Gerasa und Bosra (Bostra), durch eine offene Bauweise entlang eines Weges zu einem Heiligtum, eingefabt von Nekropolen, gekennzeichnet ist. Die gepflasterte Straße in Petra ist also auch aus diesem Grunde mehr Via Sacra als Cardo oder Decumanus einer antiken Stadt.

Der Gang durch den Siq in die Stadt, der heute eher ein Naturerlebnis ist, mußte früher einen ganz anderen Eindruck erzeugt haben und es gehört viel Phantasie dazu, sich die ursprünglichen Bilder aus den noch vorhandenen Resten zu erschließen. Spätestens ab dem Theater, dessen Halbrund durch ein architektonisch gestaltetes Proszenium abgeschlossen war,

The one on the left is carved into the wall above ground level and was formerly covered by stone slabs (fig. 15). The pipe on the right which consists of tubes, was laid partially above and partially at street level, while in the inner Siq it runs halfway along the monuments into the city (colour plate IV. 2). The pipe partially been carved into the rock on the right side may have been executed in a later period. At any rate evidence in some places indicates that there are different pipes – one above the other – which eventually belong to different periods. But an archaeological examination thus far has not yet been executed.

Numerous flat niches are embedded into the walls of the canyon, from which rectangular steles protrude. They are referred to as 'Betyle' or 'Beityloi', after the Aramean 'Beth-El', meaning the 'house of God'. These simple reliefs seem to be the basic expression of Nabataean piety. Simple stones or steles in the form of Betyles were seen as the seat or idol of the respective gods of ancient Arabia in pre-Islamic times. Even the main god of the Nabataeans, Dushara (Dusares in Greek), the ruler of Shara, the desert plateau of central Edom stretching from Amman to Aqaba, was worshipped within the stone. Under one of these architecturally designed niches a Greek vote-inscription was deciphered by Sabinos Alexandros from Adraa, present day Dera in southern Hauran, who held the position of an anegyarchos, i. e. head of the cultural festivities, which were performed as Actia Dusaria in honour of the main Nabataean god. Close by the initials of the Legio III Cyrenaica, a Roman legion stationed in Bosra (Bostra) since 106 A. D., which played a decisive role in the annexation of the Nabataean Kingdom under Trajan, have been identified.

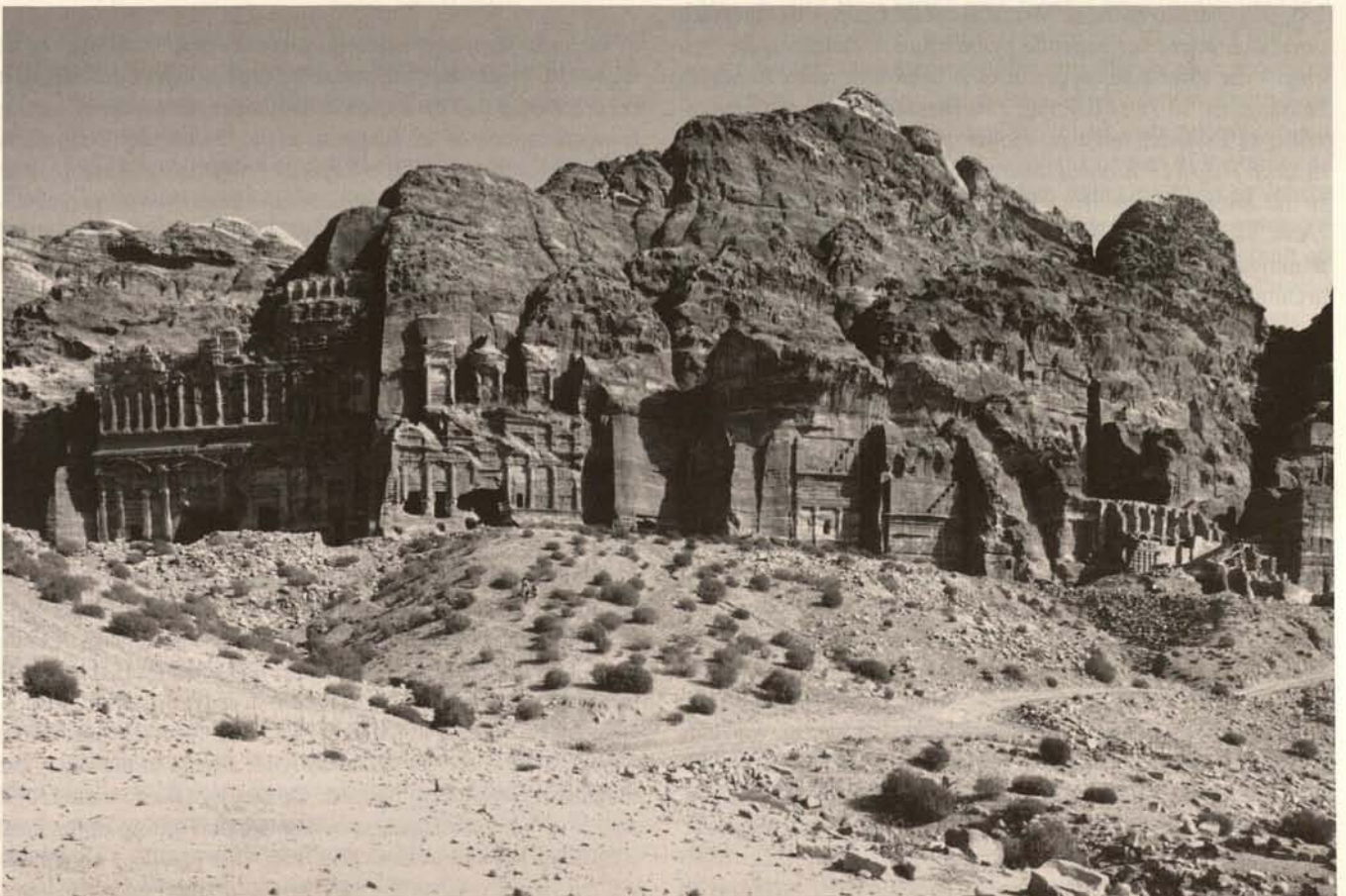
Halfway through, at a point where the canyon widens, a cubic block is carved from the surrounding sandstone, with an architecturally shaped cultic niche in which two rectangular idols in the form of Beityloi are displayed (fig. 17). The one on the left is marked with a narrow vertical rectangle between two squares, a transitional form from an unshaped 'sacred stone' to an anthropomorphic representation of god. It seems to have been a place of worship along the road leading into the city, probably dedicated to the highest gods of Petra, Dushara and al'Uzza. A few steps down the road, on the left hand side, a life-size relief of a camel caravan is visible. At some places in the Siq – similar to the ancient Cardo, the main street of the city – remains of a paved road with an immense foundation are preserved, which can be dated back to 50 A.D., which ran from the beginning of the canyon to its end (fig. 16, colour plate IV. 3, 5). The original arch over the entrance to the Siq, the paving of the entire canyon, ritual places and votive niches along the walls, as well as the final destination of the street, the forecourt of the Qasr al-Bint, the main temple of Petra, all indicate that the Siq was recognized as part of the city, that it was more than a simple entrance road and should be rather looked upon as a 'Via Sacra'. The important question, whether the ground of the canyon had already been fortified before paving, unfortunately cannot be answered today, since recent levelling of the ground was carried out without archaeological investigation. Nevertheless, the Siq cannot be regarded as a passageway for caravans, since these were located with certainty in camps outside the city, like in the northern 'suburb' of al-Bayda.

At the end of the Siq the walls come close together in a dramatic way thus forming a dark, narrow slit (colour plate IV. 4), through which the rose-red glow of the Hellenistic façade of the Khaznet Firaun, the so-called Treasury of the Pharaoh, Petra's most renowned monument, is shining (see frontcover). Here a setting unfolds in front of the visitor's eyes, an interlude of nature and art, which in its breathtaking grandeur, is certainly one



Abb. 22. Temenostor / Fig. 22. *Temenos gate*

Abb. 23. Sogenannte Königswand von al-Khubtha / Fig. 23. *The so-called King's wall of al-Khubtha*



befand man sich innerhalb einer gebauten antiken Stadtstruktur, die kaum Ausblicke auf die in die Felswände gearbeiteten Grabfassaden erlaubte. Es kann aus den archäologischen Befunden nur geschlossen werden, daß die Bebauung recht nahe an die Felsfassaden herangereicht oder nur durch relativ geringe, wohl ebenfalls gestaltete Freiräume, von ihnen getrennt gewesen war. Die Fassaden selbst waren, wie Beobachtungen und Untersuchungen ergeben haben, verputzt, getüncht und – teilweise zumindest – auch farbig gefaßt (Farbtafel IX. 1–6; X. 1). Dadurch waren sie Teil der gebauten Stadt und bildeten eine Einheit mit dem strukturierten Lebensraum ihrer Bewohner. Zweifellos wurden sie nach dem Vorbild zeitgenössischer Bautypen ausgeführt, ein Umstand, der ihnen insofern zusätzliche Bedeutung verleiht, als die gebaute Architektur, auf die sie Bezug nehmen, schon lange verschwunden ist. Heute schweift der Blick frei über die Hügel, auf denen einst die durch verschiedene Erdbeben in den Jahren 363, 419 und 747 n. Chr. zerstörte Stadt gestanden hat, bis hin an die Felswände, die das Becken von Petra umfassen (Farbtafel V. 1–2). In der Distanz wird besonders deutlich wie klein die 30 bis 50 m hohen Fassaden im Verhältnis zu den 1100 bis 1300 m hohen Bergmassiven sind und wie schwierig das Unterfangen ist, diese kleinen Teilbereiche der Berge konservieren zu wollen (Abb. 22).

Wenn man den oberen Abschluß der nabatäischen Fassadenarchitektur als Kriterium für eine typologische Unterscheidung wählt, können, vereinfacht dargestellt und ohne auf die Klassifizierung verschiedener Autoren eingehen zu wollen, drei Hauptgruppen unterschieden werden, die von den umgebenden Kulturen beeinflußt sind: 1. Zinnengräber, 2. Treppengräber und 3. Giebelgräber.

1. Die Zinnengräber werden unter anderem auch als „Turm-“, „Pylon-“ oder „assyrische Gräber“ bezeichnet, um ihre Form oder stilistische Beeinflussung zu charakterisieren (Abb. 20, 25). Das charakteristische Merkmal dieser Gruppe ist eine nach oben sich leicht verjüngende pylonartige Architektur, die von einer oder zwei Reihen gestufter Zinnen über dem Rundstab bekrönt ist. In Petra hat man 156 Fassaden mit einer Zinnenreihe, 81 Fassaden mit zwei Zinnenreihen und im nordwestarabischen Hegra 19 Zinnengräber gezählt. Einige der Monumente mit zwei Zinnenreihen stehen ganz oder zu Dreiviertel frei (Abb. 18, rechts im Bild, Monument 825). Der gestufte Zinnenkranz war schon beherrschendes Schmuckmotiv der Ziegelarchitekturen des alten Mesopotamien im dritten Jahrtausend vor Christus und gelangte über die assyrische und persische Baukunst bis in den phönikisch-syrischen Bereich, wo er im 5. Jahrhundert v. Chr. in der Nekropole von Amrit nachgewiesen ist. Der Zinnenkranz scheint ursprünglich die Funktion einer Balustrade um die Lehmterrassen der Flachdächer gehabt zu haben. In der Nekropole von Amrit ist die Struktur der auch dort zum Teil monolithisch aus dem Fels herausgearbeiteten Grabtürme den nabatäischen so verwandt, daß ein direkter Einfluß aus dem phönikisch-hellenistischen Norden, mit dem Handelsbeziehungen über die großen Karawanenstraßen bestanden, angenommen werden darf. Auf diese Zusammenhänge hat als erster der jordanische Archäologe Fawzi Zayadine, stellvertretender Direktor des Departments of Antiquities, hingewiesen. Über den Eingängen zu den Grabkammern ist häufig eine horizontale Nut zu beobachten (Abb. 26), in die ganz offensichtlich ein dekorativer Fries aus Stuck oder feinkörnigem Sandstein, der sich für detaillierte Meißelarbeit eignete, eingefügt war. Reste solcher Versatzstücke sind noch in der Nut einiger Nischen in dem zum Soldatengrab gehörenden Triklinium im



Abb. 24. Innerer Siq, Zinnen- und Treppengiebelgrab
Fig. 24. Inner Siq, crenellated and crow-step-gable tomb

of the most impressive unveiling-effects in the architecture of the world. When stepping out of the cool gloom of the chasm, it becomes clear that the façade of al-Khazna, whose name sprung from the fantasy of the Bedouins in the last century, commands a natural forecourt which is formed of natural high cliffs (colour plates II, III). The sight must once have been even more magnificent because the façade obviously lay 2–3 meters above ground level, judging from the rubble that now covers the entrances of tombs on the opposite wall.

In this mood the visitor now continues his way through a wider passage of the Siq (plan 2) and soon finds himself surrounded by high stone façades decorated with crenellated and crow-step friezes and gables, a Necropolis that had to be crossed before entering the city of the living (fig. 24). On both sides of the scenery which now opens on the mountainous world of Petra, numerous tomb façades are worked out from the mountains (figs. 18–20). On the left on rising stone plateaus, numerous tombs with crenellated and round gables appear, staggered next to and over each other. They seem to form a village of their own, underlining the oriental atmosphere of the caravan city of Petra in their stereometric structure. After some steps, one passes the theatre (fig. 21) which also has been carved out of the mountainside. It can be seen in the upper parts that several older burial vaults were cut on this occasion. After a bend in the valley the mountains retreat from the path. On the right the so-called royal wall of al-Khubtha appears, an architectural setting of the most significant façades of Petra (fig. 23). After passing a Nymphaeum the visitor reaches the main street of Petra, once decorated



Abb. 25. Pylon- bzw. Zinnengrab
 Fig. 25. Pylon, resp. crenellated tomb

Wadi Farasa erhalten. Parallele Lochreihen, in denen sich zum Teil noch Putzreste oder Holzstücke befinden (vgl. S. 103, Abb. 31–33), lassen vermuten, daß sie ebenfalls der Befestigung von Zierelementen dienten.

2. Die Treppengräber, die auch als Stufen- oder Halbzinnengräber bezeichnet werden, besitzen als krönenden Abschluß zwei gegenläufig nach außen führende Treppen (Abb. 27–28). Ihre architektonische Struktur war Einflüssen unterschiedlicher Art gegenüber offener als das, in sich sehr geschlossene, Zinnengrab und kann daher verschiedenartige Ausprägungen von einfachen bis zu sehr reichen Konzeptionen aufweisen. Unterhalb der beiden Halbzinnen befindet sich eine Hohlkehle mit Torus und Architrav, der von zwei die Fassade rahmenden Pilastern mit nabatäischen Hörnerkapitellen getragen wird. Die Pilaster können an den innenliegenden Seiten durch Viertelsäulen ergänzt sein (vgl. S. 72, Abb. 7 und S. 132, Abb. 2). Der Zugang zur Grabkammer ist wie bei den Zinnengräbern entweder durch eine einfache oder eine doppelte Rahmung mit zwei Pilastern, Gebälk und Giebel hervorgehoben. Dieser „Proto-Hegra“ (vgl. S. 137, Abb. 6) genannte Grabtypus wird als Vorform des monumentalen „Hegratypus“ (vgl. Abb. 27, 28; S. 72, Abb. 6; S. 140, Abb. 10) betrachtet, bei dem noch eine schmucklose Attika zwischen die Hohlkehle und das von den Pilastern getragene Gebälk eingefügt ist. Dieser Grabtypus erhielt seinen Namen von der berühmten Karawanenstation in Zentralarabien, wo er der bestimmende Fassadentypus der Nekropole ist. In Petra gehören 75 Monumente zu dieser Kategorie. In der reichsten Ausformung dieses Typus werden kurze Zwergpilaster, eben-

with two rows of columns. To the right and left of the street, flights of stairs lead to higher elevations, once market places and temples, of which some fallen columns do still exist. These types of architecture – colonnaded streets, fountains, theatres, markets, and temples, mostly constructed after the turn of the ages – gave the city the character of a Greco-Roman polis, reflecting not only the power of the ruling kings, but also their attraction by Hellenistic culture and living standards.

The colonnaded street ends in the triple-arched Temenos-gate (fig. 22), a triumphal arch erected in 114 A. D. in honour of emperor Trajan, which marks the entrance to the temple area of Qasr al-Bint. The arch in the middle has a high threshold which thus forms a border between the profane and the sacred areas. The urbanization of Petra seems therefore not to have followed the development of the Greek road system, as comparisons have proven. The large dominating arterial road which leads from the beginning of the Siq up to the main sanctuary, the Qasr al-Bint, has obviously its roots in an ancient oriental tradition, according to which non strictly organized groups of buildings as well as the tombs of a necropolis were lined up along a road leading to a holy site. It is for this reason, that the paved road in Petra is considered a ‘Via Sacra’, rather than a *Cardo* or *Decumanus* of an ancient city.

The walk through the Siq into the city, today more an experience of nature, once brought about a very different impression and much fantasy is required nowadays to recreate a picture of the historical situation with the help of the remains still existing. At least from the point where the semicircular structure of the theatre was closed with an architectonically designed proscenium, the visitor must have found himself within the urban structure of an antique city, whose buildings did not allow a close view onto the surrounding tomb façades. From archaeological findings it can only be deduced that buildings must have come up very close to the rock façades possibly leaving but a few free spaces, which seemingly were also structured and thus integrated into the organism of the city. The façades, according to research and observation, were originally covered with plaster, whitewash, and occasionally painted with colours (colour plate IX. 1–6; X. 1). Thereby they became part of the built city and formed a unity with the urban living space of its inhabitants. Undoubtedly the façades were executed after contemporary types of architecture, an important fact since the built architecture, they refer to, does no longer exist. Today the eye drifts over the hills on which the city, destroyed by earthquakes in 363, 419, and 747 A. D., was once erected, and furtheron, beyond the hills to the mountains encircling the basin of Petra (colour plate V. 1–2). And it becomes even more evident at this distance how small the 30–50 meter high façades are in comparison to the mountains, almost 1100–1300 meter in height, and how difficult it is to venture the conservation of such small segments of a mountain (fig. 22).

If the upper part of the architecture of the tomb façades is chosen to serve as a criterion for typological differentiation – simplified and without referring to classification schemes by various authors – three main groups can be observed which were influenced by the cultures surrounding the kingdom of the Nabataeans: 1. tombs with rows of crowsteps (crenellation), 2. tombs with step-gables and 3. tombs with pediments.

1. Tombs with crenellation are also described as turret-, pylon- or Assyrian tombs in order to characterize their form or stylistic influence (figs. 20, 25). The characteristic feature of this group is a slightly tapered pylon-like architecture, which is



Abb. 26. Nut zur Aufnahme von Dekorationselementen über einem Grabeingang

Fig. 26. Groove for the take-up of decorative elements on top of the entrance of a tomb

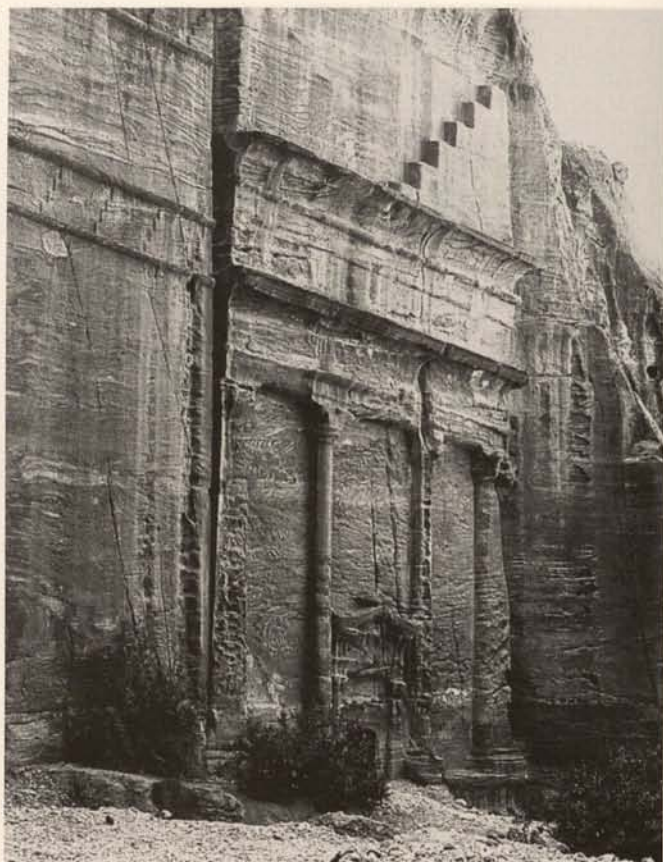
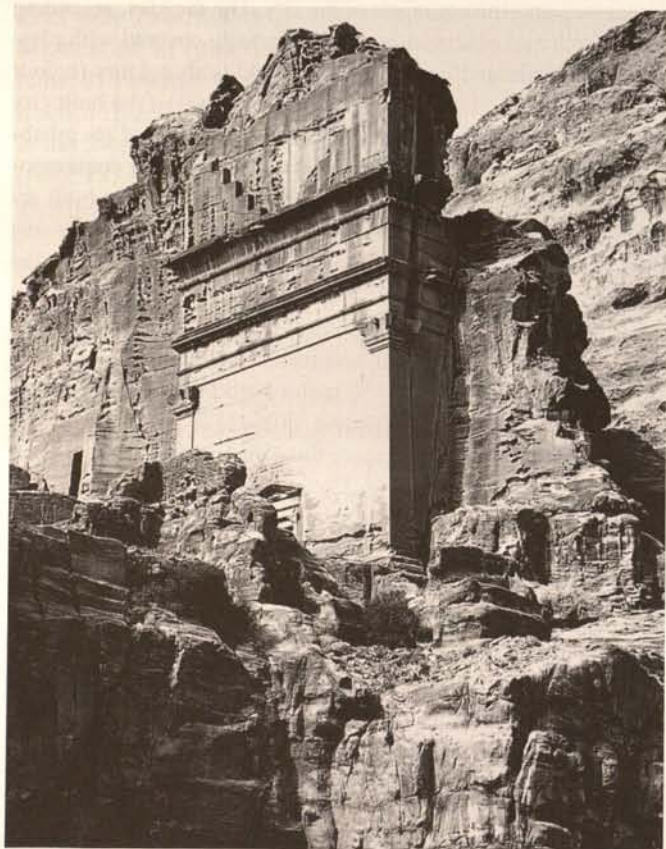


Abb. 28. Hegragrab / Fig. 28. Hegra tomb

Abb. 27. Hegragrab / Fig. 27. Hegra tomb



crowned by one or two rows of merlons. In Petra, 156 façades were documented as having one row of merlons, 81 façades have two rows of merlons, while 19 tombs with crenellation were counted in Hegra. Some of the monuments with merlons stand completely free or at least to three quarters like sculptures (e. g. fig. 18, on the right side Tomb 825). Crenellation was already a dominating decorative motif of the brickstone architecture of ancient Mesopotamia during the 3rd millennium before Christ and, through Assyrian and Persian architecture, reached the region of Syria and Phœnicia. It was discovered that in the 5th century B. C. crenellation was used in the necropolis of Amrit, serving as a balustrade around the loam terraces of the flat roofs. In the necropolis of Amrit, the structure of the partially monolithic tomb turrets, cut into the rock, are so similar to those of the Nabataeans, that a direct influence from the Phœnician-Hellenistic north becomes apparent, being a result of trade relations developed along the caravan routes. Fawzi Zayadine, a Jordanian archaeologist and deputy director of the Department of Antiquities, was the first to note these familiarities. Above the entrances of the burial vaults horizontal grooves can be observed (fig. 26), where apparently a decorative frieze of stucco or fine sandstone with detailed carvings, was inserted. Remains of these pieces are still preserved in grooves of the niches in the Triclinium of the 'Tomb of the Soldier' in Wadi Farasa. Parallel rows of holes occasionally containing plaster or pieces of wood (see p. 103, figs. 31–33), lead to the conclusion that these also served to secure decorative elements.

falls mit nabatäischen Kapitellen, in die leere Attikazone eingeführt.

Die verschiedenen Elemente dieses Grabtypus sind von den Nabatäern ebenfalls der Sakralarchitektur benachbarter Kulturräume entlehnt worden. Die Halbzinne gehört, wie der Zinnenfries, schon zum assyrisch-achämenidischen Formenschatz des 8. und 7. Jahrhunderts v. Chr., allerdings nicht in Verbindung mit der Hohlkehle. Diese bildet in der ägyptischen Architektur den oberen Abschluß von Gebäuden, was in den nabatäischen Fassaden nie der Fall ist. Außerdem steigt die ägyptische Hohlkehle steil an, bevor sie sich nach außen wölbt, während die nabatäische Hohlkehle einem exakten Viertelkreis entspricht. Diese abstrahierte Form der Hohlkehle ist auch der syrisch-phönikischen Architektur eigen und tritt in der etwas widersinnigen Verbindung mit Halbzinnen auch im phönikischen Kunstkreis zuerst auf, wo in persischer Zeit eine ausgesprochen eklektische Kunst gepflegt wurde. Es liegt daher nahe anzunehmen, daß die Nabatäer auch diese Ausprägung von ihren nördlichen Nachbarn übernommen haben. Die Verwendung von Zwergpilastern in der Attika geht ebenfalls auf alte orientalische Vorbilder zurück, die in die hellenistische Architektur Eingang fanden, während die doppelten Türumrahmungen und die Verwendung von Halb- und Viertelsäulen bzw. -pilastern direkte Beziehungen zur hellenistisch-alexandrinischen Kunst aufweisen.

3. Die Giebelgräber werden aufgrund ihrer – der griechisch-römischen Antike entstammenden – Elemente auch als hellenistische oder klassisch-nabatäische Gräber bezeichnet. Außerhalb Petras und seiner näheren Umgebung, wo 35 Monumente dieser Art gezählt wurden, sind Fassaden dieser Art bisher nicht bekannt. Bei ihnen bildet ein Giebel in geschlossener oder gesprengter Form den Abschluß der ein- oder zweistöckigen Architektur. Die einfachen Fassaden dieser Art sind ädikulaartig von zwei Pilastern, die ein Gebälk mit Giebel tragen, gerahmt. Manche, wie das sog. Grab des römischen Soldaten im Wadi Farasa (Abb. 30), entsprechen einem Tempelfrontispiz, während die komplizierteren zweistöckigen Entwürfe hellenistischen Palastarchitekturen nachempfunden zu sein scheinen. Diese Gestaltungen, welche die einzelnen architektonischen Elemente nicht so sehr als funktionale Bauglieder, sondern vielmehr als Dekor verwenden, Sprenggiebel, gebrochene Giebel und Segmentbögen einführen und das zweite Geschoß als Tholos in einem Peristyl bzw. in einem gebrochenen Giebel gestaltet, ist, wie Judith McKenzie herausgearbeitet hat, alexandrinischen Beispielen am engsten verbunden. Dieses Konzept, das in den Fassaden von al-Khazna (Farbtafel III) und von ad-Dayr (Abb. 29, 31; S. 75, Abb. 12) am klarsten ausgeprägt ist, hatte großen Erfolg und wurde im zweiten Stil der pompejanischen Wandmalerei des 1. Jahrhunderts v. Chr. (z. B. in der Villa dei Misteri und der Casa del Labirinto in Pompeji sowie der Villa des P. Fannius Sinistor in Boscoreale) aufgegriffen und hat bis in die karolingische Buchmalerei hinein nachgewirkt.

Diese Einteilung der Felsfassaden Petras in drei Haupttypen sollte nur dazu dienen, die wesentlichen Merkmale der nabatäischen Architektur aufzuzeigen und ihre Einflüßbereiche zu verdeutlichen. Daß hier ein starker Eklektizismus zu verzeichnen und eine eigenständige Bautradition nicht zu erwarten ist, darf bei einem Volk von Nomaden, das primär vom Karawanenhandel lebte, nicht verwundern. Sie waren gewohnt, mobil zu wohnen und haben diese Gewohnheiten auch um Petra herum – wie neue Ausgrabungen zeigten – nie ganz aufgegeben. Andererseits ist gerade das additive Element, die Symbiose verschiedener Kulturtraditionen – und zwar derjenigen Kulturen, mit denen die Nabatäer durch

2. Tombs with step-gables, which are also called step- or half-step tombs, are crowned with two sets of steps running in opposite directions (figs. 27, 28). Their architectural structure was more open to various stylistic influences than the crenellated tomb and shows therefore a greater variety of forms, ranging from rather simple to very elaborate examples. Below the two half-steps there is a cavetto cornice with torus and architrave supported by two pilasters with Nabataean horn capitals, framing the façade. Sometimes there are quarter columns engaged to the pilasters on either side of the façade (see p. 72, fig. 7 and p. 132, fig. 2). The access to the burial vault, like the crenellated tombs, is accentuated by either a single or a double framework of two pilasters, entablature and pediment. This type termed Proto-Hegra tomb (see p. 137, fig. 6) is regarded as the predecessor of the monumental 'Hegra type' (figs. 27, 28; p. 72, fig. 6; p. 140, fig. 10) where a non-decorative attica is inserted between the cavetto cornice and the entablature. This type of tomb acquired its name from the well-known caravan oasis in central Arabia, where it was the standard type for the façades of the Necropolis. In Petra 75 monuments belong to this type. In its most elaborate form, dwarf pilasters with Nabataean capitals are inserted into the empty zone of the attic.

The various elements of this type of tomb also derive from the architecture of neighbouring cultures. The 'half-step', like the crenellation, belongs to the Assyrian-Achaemenid architecture of the 8th and 7th centuries B. C., but without combining it with a cornice. In Egyptian architecture this type of concave moulding was the upper termination of architectural structures, a motive never to be found with Nabataean façades. Apart from this, the Egyptian cornice rises up steeply before it curves, while the Nabataean cornice forms a perfect quarter of a circle. This almost abstract form of the cavetto is also inherent in Syrian-Phoenician architecture and first appeared in Phoenician art in the rather strange combination with a half-step crenellation, where in Persian times an extremely eclectic style was preferred. It is therefore possible that the Nabataeans adopted these motives from their neighbours in the north. The use of dwarf pilasters in the attic is also derived from old oriental models which became established in Hellenistic architecture, while the motive of double door frames and the use of half and quarter columns, or pilasters show a direct connection to the art of Hellenistic Alexandria.

3. Tombs with pediments are, because of their elements of Greco-Roman origin also known as Hellenistic or Classical Nabataean. This type of tomb façades does not occur outside Petra, where 35 monuments were counted. Here, closed or broken pediments form the top of the one or two-storeyed architecture. Less elaborate examples of this type of façade consist of a single order with two pilasters, supporting entablatures and pediments like an aedicula. Some, like the so-called Roman Soldier Tomb in Wadi Farasa (fig. 30), correspond to the frontispice of a temple, while the more complex two-storeyed architectures seem to reflect models from Hellenistic palace architecture. These architectures for which architectural elements do not so much have a functional but rather a decorative meaning, introducing open-topped, broken or segmental pediments, arranging the second storey as a Tholos within a peristyl, or a broken pediment are closely connected to examples from Alexandria, as Judith McKenzie has shown. This concept most clearly formulated in the façades of al-Khazna (colour plate III) and ad-Dayr (figs. 29, 31; p. 75, fig. 12), is reflected in Roman mural-painting of the second Pompeian style from the 1st century B. C. (in



Abb. 29. Ad-Dayr / Fig. 29. Ad-Dayr

Abb. 30. Giebelgrab, Grab des römischen Soldaten / Fig. 30. Pediment tomb, Tomb of the Roman Soldier

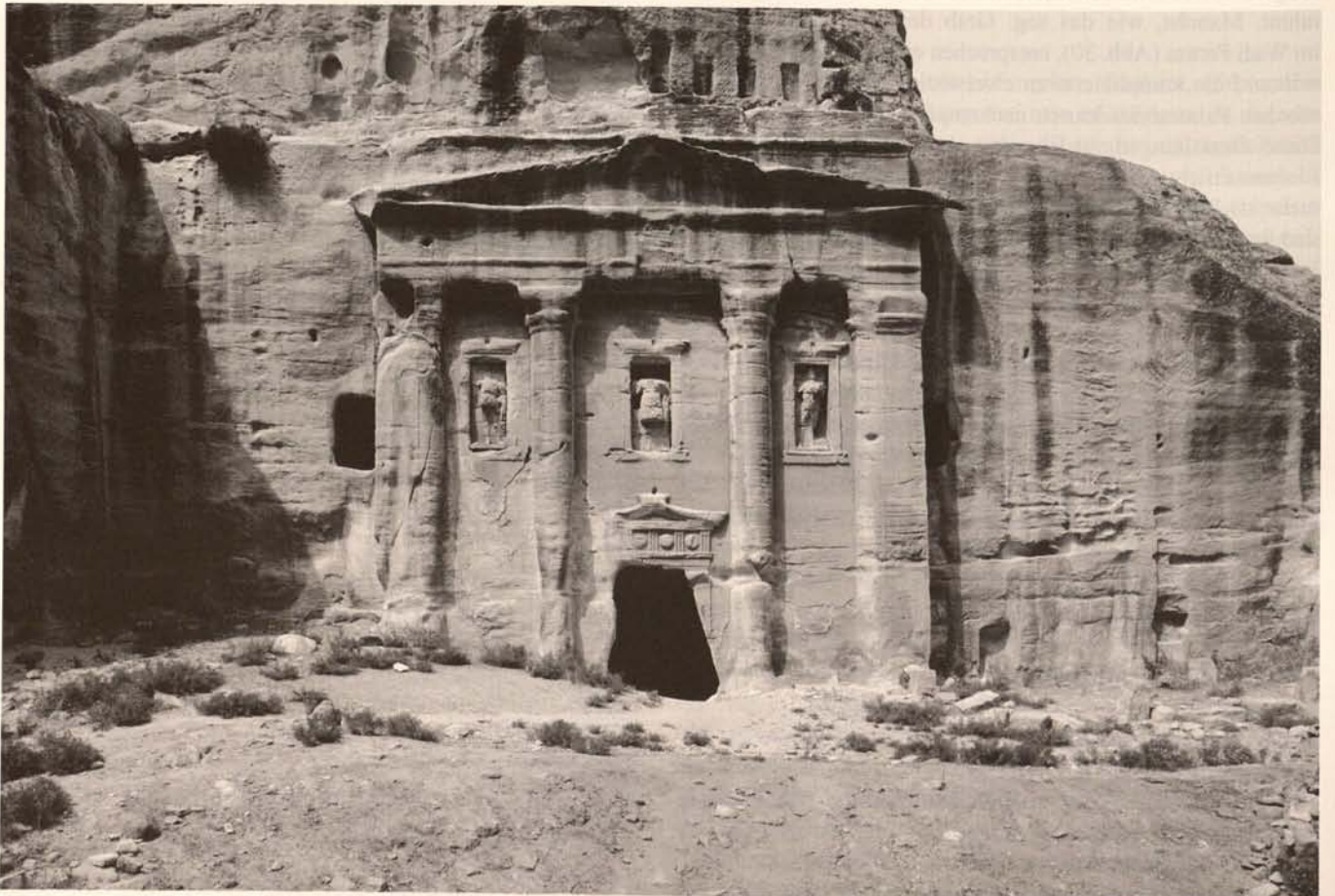




Abb. 31. David Roberts, Lithographie von ad-Dayr, 1839 / Fig. 31. David Roberts, lithography of ad-Dayr, 1839

ihren Handel in Berührung kamen – und die Formenvielfalt, die dabei in phantasievoller Weise entstand, im Sinne der Kriterien eines Weltkulturerbes als einzigartig zu bezeichnen. Zusätzliche Bedeutung erhalten die Felsfassaden Petras auch dadurch, daß sie ganz offensichtlich die Baukultur ihrer Zeit widerspiegeln, die andernorts längst untergegangen ist und die sich nur noch aus bildlichen Zeugnissen auf Reliefs und Münzen erschließen läßt.

Alle Monumente Petras haben jedoch zwei wichtige Charakteristika gemeinsam: Die Fassadenarchitekturen sind wie Monumentalreliefs aus den Felswänden herausgemeißelt; die schlichten kubischen, hallenartigen Innenräume stehen formal in keinem Sinnzusammenhang mit den Fassaden, die nach außen hin wohl eine ausgesprochen repräsentative Funktion gehabt haben (S. 96–99, Abb. 15, 16, 18). Deswegen kommt auch Avraham Negev anhand seiner Untersuchungen der Grabinschriften in Hegra zu dem Schluß, daß die verschiedenen Grabtypen von unterschiedlichen sozialen Gruppen bevorzugt wurden. Für Petra würde das bedeuten, daß die aufwendigsten Prunkgräber, die sich vornehmlich an hellenistisch-alexandrinischen bzw. römischen Vorbildern orientierten, dem Königshaus, die aufwendigeren Treppengräber einer gehobenen Führungsschicht und die schlichteren Zinnengräber einer Mittelschicht zuzuschreiben wären. Das wiederum würde heißen, daß alle Grabtypen gleichzeitig Verwendung gefunden hätten, eine Ansicht, die dem Versuch der Einführung einer Chronologie anderer Autoren von den schlichten orientalischen zu den aufwendigeren hellenistischen Formen entgegensteht.

Auch heute noch strahlt die – an manchen Tagen von Touristen leider schon überlaufene – archäologische Stätte eine un-

the 'Villa dei Misteri' and the 'Casa del Labirinto' in Pompei as well as in the 'Villa of P. Fannius Sinistor' in Boscoreale) and has still been referred to in Carolingian book illumination.

The categorization of the façades at Petra into three main groups should only serve to demonstrate the fundamental features of Nabataean architecture and to show where the main streams of influence came from. It is hardly surprising that a strong eclecticism is to be perceived and that an independent architectural tradition cannot be expected from a people of nomads, primarily living from caravan trade, accustomed to a mobile life style, fostering these habits in and even around Petra, as recent excavations have shown. On the other hand, the additive combination and the symbiosis of elements from various cultures, specifically those with whom the Nabataeans came in contact through trade, and the variety of creative forms which emerged thereby, are surely unparalleled in the sense of the criteria which are decisive for the declaration of a World Cultural Heritage Site. The fact that the façades of Petra reflect the architectural culture of their time, which vanished long ago and does only exist in pictorial representations on reliefs and coins, gives the architecture of the tomb façades an even greater importance.

All of Petra's monuments have two characteristics in common: the architecture of the tomb façades is carved out of the natural stone like a monumental relief; the simple cubic, hall-like vaults do not have any formal correspondence to the façades, which obviously had a distinct representative function (pp. 96–99, figs. 15, 16, 18). Therefore Avraham Negev, after his research of the tomb inscriptions in Hegra, comes to the conclusion that different types of tomb monuments were connected to certain so-



△ 32



△ 33

▽ 34



Abb. 32. Treppenanlage

Fig. 32. Flight of stairs

Abb. 33. Treppenanlage auf al-Khubtha

Fig. 33. Flight of stairs at al-Khubtha

Abb. 34. High Place (Opferplatz)

Fig. 34. High Place (sacrifice place)

Abb. 35. Wadi Turkmaniyya, Grabmal und Steinbruch

Fig. 35. Wadi Turkmaniyya, tomb monument and quarry

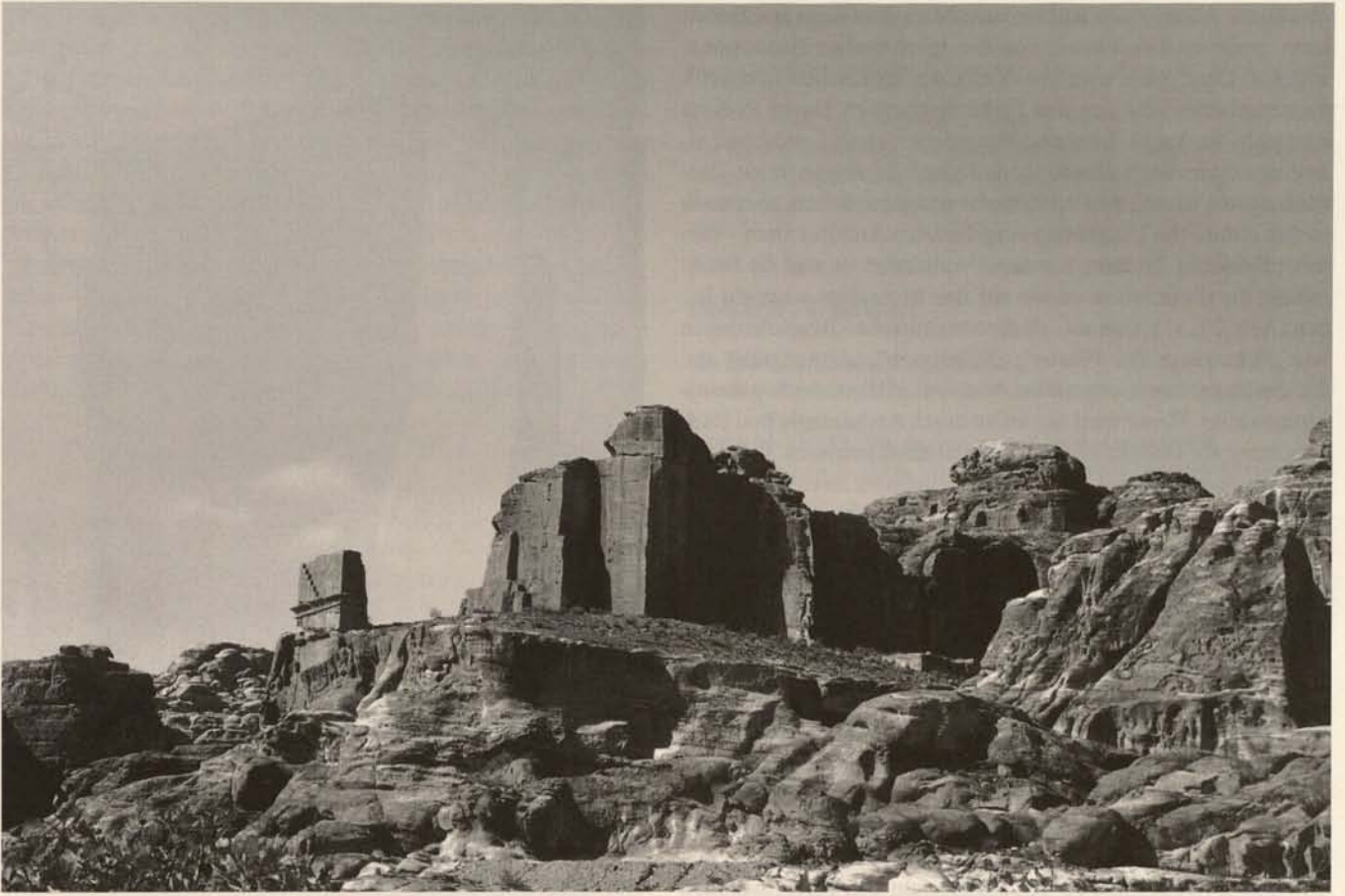
Abb. 36. Grabfassadengruppe

Fig. 36. Group of tomb façades

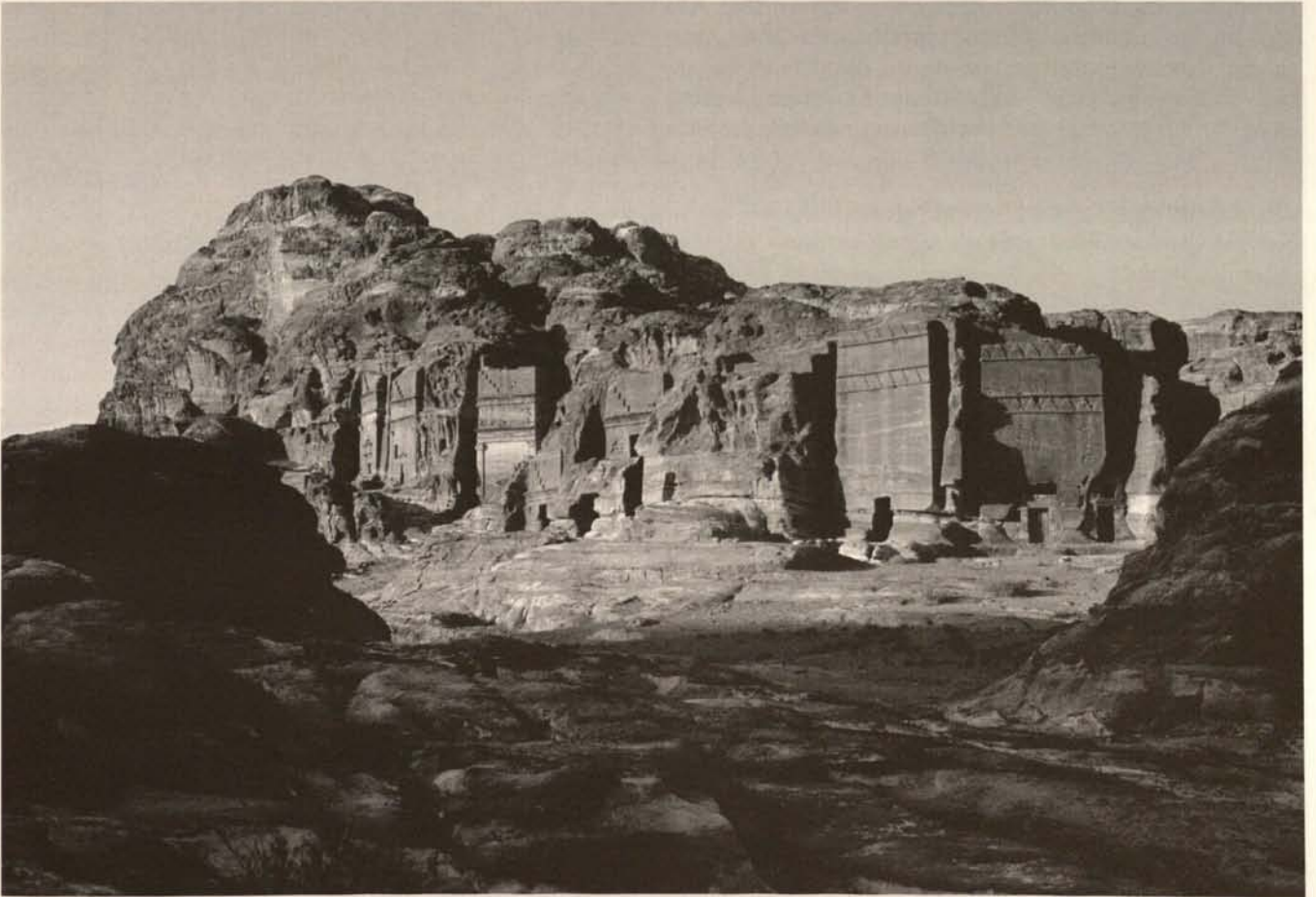
cial groups. In the case of Petra this would mean that the most splendid tombs, which primarily follow models from Hellenistic Alexandria or Ancient Rome, can be ascribed to the royal family, that the elaborate step-tombs would belong to the leading class, while the rather plain pylon tombs could have been commissioned by the middle classes. If this would be true it would mean at the same time that all types of tomb façades would have been in use contemporaneously, a view contrary to that of other authors who have speculated on a chronological development of the tombs, beginning with the simple oriental style, developing towards more complex Hellenistic forms.

The archaeological site of Petra, sometimes unfortunately swamped by tourists, has still today an unbelievable atmosphere which can be felt when escaping from the main routes frequented by the masses. In these moments one may grasp some of the mystic romanticism speaking from the coloured lithographs by David Roberts from the middle of the 19th century, who nevertheless tended to enlarge the landscape dramatically. Still, his landscapes show – like the architecture carved from the natural rock but still integrated into their natural surrounding – the inherent creative power and the fascination they have exercised on visitors ever since (figs. 29, 31). When romantic names like ‘Treasury of Pharaoh’, ‘Palace Tomb’, ‘Urn Tomb’ etc. were invented for these monuments they still seemed to be mysterious. Nowadays, archaeology and architectural research are snatching one secret after the other from the site, which therefore seems somehow deprived of its magic, while on the other hand more light is brought into the secrets of its history.

Wherever the eye may wander in these stunning mountainous surroundings, it is captured by the evidence of human activity which has left essential marks on the landscape of the region. On the slopes, once cultivated terraces can be traced, which provided the city with the necessary supplies. Narrow valleys are closed off by dams to protect the city from the rushing waters of winter rainfalls. The entire landscape is lined with canals which lead water to the cisterns (colour plate IV. 1) and marked by stairs (figs. 32, 33), leading up the mountains, over ridges to neighbouring valleys, to tombs at higher elevations, or to sacrificial sites on peaks and ledges (fig. 34). The entire surroundings of the Nabataean city are traced by a net of streets, paths and routes which, whenever necessary, were also cut out of the



35 △



36 ▽

glaubliche Atmosphäre aus, die man besonders dann empfinden kann, wenn man sich etwas von den touristischen Haupttrouten entfernt. Dann kann man etwas von der mystischen Romantik nachempfinden, die aus den Farblithographien David Roberts aus der Mitte des 19. Jahrhunderts spricht, der die Landschaft allerdings dramatisch übersteigert. Jedenfalls zeigen seine Darstellungen – wie die aus dem Fels herausgemeißelten, aber noch in ihre natürliche Umgebung eingebetteten Architekturen – den schöpferischen Kraftakt, der damit verbunden ist, und die Faszination, die diese schon immer auf den Menschen ausgeübt haben (Abb. 29, 31). Damals, als die romantischen Bezeichnungen wie „Schatzhaus des Pharao“, „Palastgrab“, „Urnengrab“ etc. für die Monumente entstanden sind, waren diese noch geheimnisumwittert. Heute wird der Stätte durch Archäologie und Bau-forschung ein Geheimnis nach dem anderen entrissen. Die Stätte wird entzaubert und doch in das Geheimnis ihrer Geschichte als neue Faszination immer mehr Licht gebracht.

Wohin man in dieser beeindruckenden Bergwelt blickt, wird eine menschliche Tätigkeit, welche die Landschaft entscheidend mitgeprägt hat, gegenwärtig: An allen ansteigenden Hängen sind noch die Terrassen erkennbar, auf denen angebaut wurde, was zur Versorgung der Stadt notwendig war. Enge Täler sind abschnittsweise durch Dämme verschlossen, um dem im Winter anfallenden Wasser Einhalt zu gebieten. Die ganze Landschaft ist von Kanälen durchzogen, welche das Regenwasser zu den Zisternen geleitet haben (Farbtafel IV. 1) und durch Treppen markiert (Abb. 32, 33), die auf die Bergmassive hinauf, über Höhenzüge in benachbarte Täler hinweg, zu höher gelegenen Grabmonumenten oder zu den auf Gipfeln und vorspringenden Felsnasen angelegten Opferplätzen (Abb. 34) führten. Das Umfeld der Nabatäerstadt ist von einem Netz von Straßen, Pfaden und Wegen durchzogen, die, wenn notwendig, auch als Trassen stellenweise aus dem Felsen ausgeschnitten worden sind. Alle zugänglichen Felsformationen und -terrassen sind für die Anlage von Grabmonumenten genutzt worden, die in ihrem Zusammenwirken interessante, fast urbane Strukturen ergeben (Abb. 20, 23, 36). Die in der unmittelbaren Umgebung der Stadt

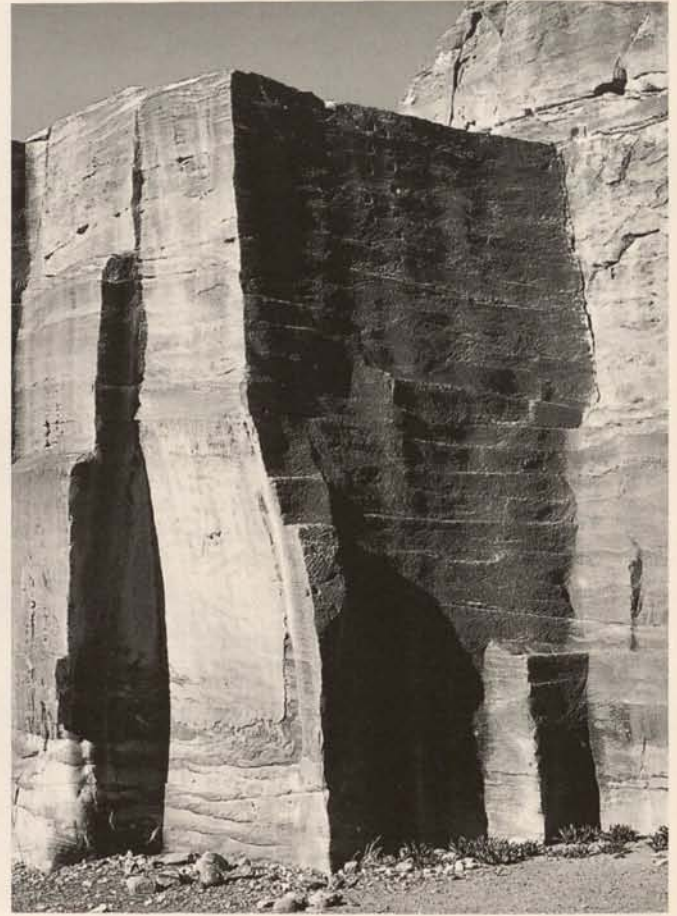


Abb. 37. Steinbruch / Fig. 37. Quarry

Abb. 38. Felsrelief eines Löwen auf dem Weg zum High Place

Fig. 38. Rock relief of a lion on the way to the High Place



natural rock. All accessible terraces and rock formations were used for the construction of tombs which seen together in their overall aspect, come very close to urban structures (figs. 20, 23, 36). The quarries, all situated next to the city, set crystalline, fortress like accents within the natural rock formations (figs. 35, 37). Cultic niches, apotropean symbols, occasional inscriptions (fig. 39), reliefs (fig. 38) and Nefeshes appear along paths, sometimes far from the center, that lead through the landscape. In other words: The site of Petra is a composition of natural landscape and man made structures of the greatest and most impressive magnitude. As such it is – according to the Florence Charter on the Preservation of Historic Gardens (1981) – to be considered as a monument. The silent dialogue between the beauty of this mountainous landscape and the relics and traces of its inhabitants in ancient times is, last but not least, the justification for the high ranking of this World Cultural Heritage Site.

Translation from the German into English by Susan Tipton and the author

befindlichen Steinbrüche setzen kristalline, festungsartige Akzente in der Landschaft (Abb. 35, 37). Kultnischen, apotropäische Symbole und vereinzelt Inschriften (Abb. 39), Reliefs (Abb. 38) und Nefeshe begegnen oft weit verstreut an den durch die Landschaft führenden Pfaden. Mit einem Wort: Petra ist eine Denkmallandschaft größten und beeindruckendsten Ausmaßes im wahrsten Sinne des Wortes, entstanden aus dem Zusammenwirken von Natur- und Menschenwerk. Als solches ist die gesamte Stätte – im Sinne der Charta von Florenz über die historischen Gärten (1981) – ein Monument. In dieser Wechselwirkung der Schönheit einer Berglandschaft und der sie prägenden Spuren der Menschen, die sie einst bewohnten, ist nicht zuletzt der hohe Rang dieses Weltkulturdenkmals begründet.

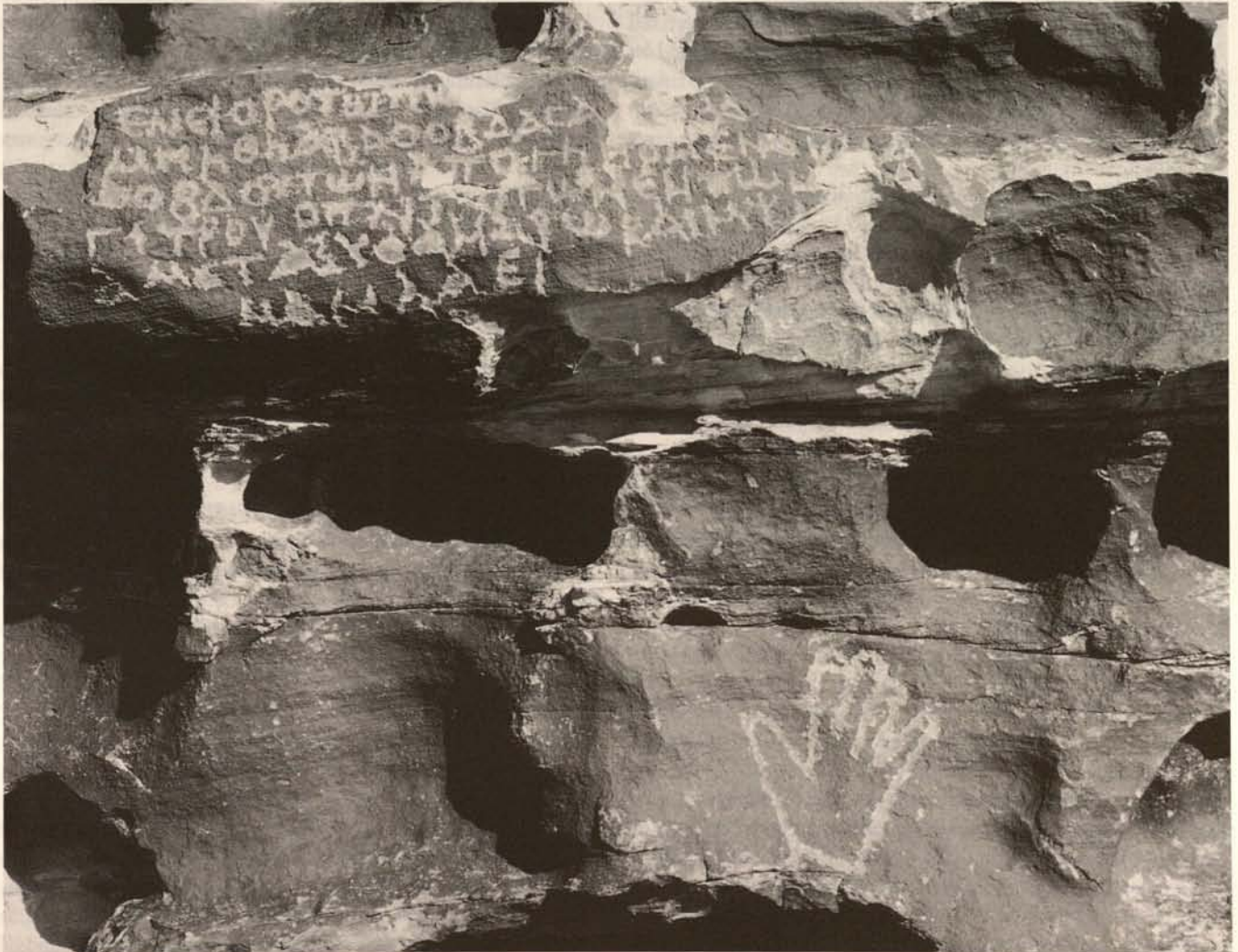
Abbildungsnachweis / Photo Credits

MICHAEL KÖHLENTHAL, MÜNCHEN: *Abb. / Figs. 1, 3–13, 15–30, 32–37, 39*
 PAUL WERNER, MÜNCHEN: *Abb. / Figs. 2, 38*
 AUS KNAUF, ERNST AXEL: *Der sein Volk liebt*, in: Thomas Weber/Robert Wenning (Hrsg.), *Petra*, Mainz 1997, *Karte / plan 1*
 ARCHIV DES AUTORS / ARCHIVE OF THE AUTHOR: *Karte / plan 2; Abb. / Figs. 14, 31*

Literatur / Literature

IAN BROWNING, *Petra*, London 1973
 MANFRED LINDNER, (ID) *Petra und das Königreich der Nabatäer*, Nürnberg 1970
 JUDITH MCKENZIE, *The Architecture of Petra*, Oxford 1990
 FRANK RAINER SCHECK, *Jordanien*, DuMont Kunstreiseführer, Köln 1985
 JANE TAYLOR, *Petra*, London 1997
 THOMAS WEBER/ROBERT WENNING (Hrsg.), *Petra. Antike Felsstadt zwischen arabischer Tradition und griechischer Norm*, Mainz 1997
 FAWZI ZAYADINE, (ID) *Petra and the Caravan Cities*, Proceedings of the Symposium organized at Petra in September 1985, Amman 1990

Abb. 39. Nabatäische und griechische Inschriften bei al-Bayda / Fig. 39. Nabataean and Greek inscriptions near al-Bayda



Notizen zur frühen Geschichte und zum Königreich der Nabatäer

Notes on the Early History and the Kingdom of the Nabataeans

Das Land Edom

In der ersten Eisenzeit war das Land Edom im Süden des heutigen Jordanien von den Hirtenstämmen der Shasu bewohnt, die regelmäßig von den Pharaonen Ägyptens überfallen wurden. In der Beschreibung seiner Kriege berichtet Ramses III. (1198–1166 v. Chr.) über seinen Feldzug in Edom: „Ich vernichtete das Volk von Seir unter den Shasu-Stämmen. Ich zerstörte ihre Zelte, tötete die Menschen, vernichtete ihr Eigentum und auch ihre Herden ...“¹. An derselben Stelle berichtet der Pharaon auch von der Verschleppung und Versklavung der Bevölkerung. Als Folge dieser ägyptischen Einfälle im südlichen Transjordanien ist eine Abnahme der dort ansässigen Bevölkerung in der späten Bronze- und frühen Eisenzeit zu verzeichnen.² Am Anfang der zweiten Eisenzeit besetzten König David und sein Sohn Salomon das südliche Edom und machten die Edomiter zu Vasallen. So erlangte Edom seine Unabhängigkeit nicht vor der Mitte des 9. Jahrhunderts und wurde erst im 8. Jahrhundert v. Chr. ein eigenständiger Staat. In dieser Zeit erscheint Edom auf der Nimrud-Tafel (Kalah) von Adadnirari III., etwa 796 v. Chr.³ Unter Tiglathpileser III. 745 v. Chr. wird in den syrischen Aufzeichnungen Qos-Malak, der König von Edom erwähnt, und im Nimrud-Brief XVI erscheint Edom als tributpflichtiger Staat Sargons II.

Qos-Babri, dessen Siegel in Umm al-Biyara gefunden wurde, unterwarf sich Assurbanipal im Jahr 673 und Essarhaddon im Jahr 637. Assurbanipal war der einzige assyrische Monarch, der um das Jahr 660 in Edom eindrang, um einen Aufstand der Qedarit-Stämme zu unterdrücken.⁴ Tatsächlich erfreute sich Edom unter assyrischer Herrschaft ganz offensichtlich eines beträchtlichen Wohlstands, weil das Land vor den jüdischen Invasionen sicher war, die einst in dem Feldzug Amaziah's (786–781) gegipfelt hatten, der den Felsen (as-Sela') mit zehntausend Mann einnahm (Zweites Buch der Könige 14,7).

Das Land Edom war vom Wadi al-Hasa (Zared) im Norden und vom Abfall des Ras an-Naqab im Süden begrenzt, dehnte sich aber im 8. und 7. Jahrhundert v. Chr. bis zum Golf von 'Aqaba (Ayla) aus. Allerdings ist nicht sicher, wie sehr das große Tal von al-Hasa tatsächlich eine natürliche Grenze zwischen Moab und Edom bildete.

Die neuerdings von Macdonald (1988) durchgeführte Untersuchung hat Unterschiede zwischen den Niederlassungen im Osten und im Westen des Landes, wo die reichen Ländereien lagen, gezeigt. Dort hat Macdonald Scherben der späten Bronze- bzw. ersten Eisenzeit identifiziert. Diese Datierung wurde jedoch von Hart angezweifelt, der behauptet, daß das meiste Material, welches der frühen Eisenzeit zugeordnet wird, „can, as demonstrated, be as easily fitted into Iron II“⁵. In jedem Fall ist eine menschliche Besiedlung des Landes von Edom in der ersten Eisenzeit durch die oben erwähnten Berichte Ramses III. bestätigt. Außerdem wurde eine befestigte Anlage an der Ost-

The Land of Edom

In Early Iron I, the land of Edom in the south of present-day Jordan was occupied by the pastoralist tribes of the Shasu who were periodically raided by the Pharaohs of Egypt. In the description of his wars, Ramses III (1198–1166 BC) reports his campaign in Edom: 'I destroyed the people of Seir among the Shasu tribes. I razed their tents: their people, their property, and their cattle as well...'¹. The Pharaoh records in the same passage the deportation and enslaving of the population. As a result of these Egyptian incursions in southern Transjordan, a decline in the settled occupation in the late Bronze and Early Iron Age can be noticed.² At the beginning of Iron II, King David and his son Solomon occupied Southern Edom and imposed a vassalship on the Edomites. At any rate, it was not before the mid ninth century that Edom gained its independence and became a national power in the eighth century BC. It was in this period that Edom appears on the Nimrud (Kalah) slab of Adadnirari III, c. 796 BC.³ Under Tiglathpileser III in 745 BC, the Assyrian records mention Qos-Malak, King of Edom and the Nimrud letter XVI mentions Edom as tributary of Sargon II.

Qos-Babri whose seal was found at Umm al-Biyara submitted to Essarhaddon in 637 and to Assurbanibal in 673. This king was the only Assyrian monarch who invaded Edom c. 660 to quell a revolt of the Qedarite tribes.⁴ In fact, Edom enjoyed, apparently, good prosperity under the Assyrian domination because the country was safe from the Judaeen invasions which culminated in the campaign of Amaziah (786–781) who captured the rock (as-Sela') together with ten thousand men (2nd Book of Kings 14:7).

The land of Edom was usually limited between the Wadi al-Hasa (Zared) to the north and the Ras an-Naqab escarpment to the south but extended in the eighth–seventh century BC to the Gulf of 'Aqaba (Ayla). It is not evident, however, how much the large valley of al-Hasa was a real natural border between Moab and Edom.

The recent survey of Macdonald (1988) reveals a difference of settlement between the eastern and the western zones, the rich agricultural lands being located to the west. It is in this area that Macdonald identified Late Bronze/Iron I sherds. But this dating has been challenged by Hart who asserts that most of the material recognized as Early Iron 'can, as demonstrated, be as easily fitted into Iron II'⁵. At any rate, human occupation in the land of Edom in Iron I is confirmed by the above-mentioned records of Ramses III. On the other hand, a fortified structure was excavated on the eastern bank of Wadi al-La'ban, at the southern limit of Khirbat adh-Dharih dating to the Early Bronze and Iron Age II.⁶ The ancient name of the site is still unknown, because of the unexpected lack of inscriptions. There exists, however, a confirmed connection between Khirbat adh-Dharih and Khirbat at-Tannur, situated 7 km to the north, on a rugged mountain, opposite the extinct volcano of Jabal Dhikr at-Tannur. The God of

seite des Wadi al-La'ban, an der Südgrenze von Khirbat adh-Dharih ausgegraben, die aus der frühen Bronze- und der zweiten Eisenzeit stammt.⁶ Der alte Name des Ortes ist, aufgrund des unerwarteten Fehlens von Inschriften, nicht bekannt. Es gibt jedoch eine bestätigte Beziehung zwischen Khirbat adh-Dharih und Khirbat at-Tannur, das 7 km nördlich auf einem rauhen Bergrücken gegenüber dem erloschenen Vulkan von Jabal Dhikr at-Tannur liegt. Der Gott von Tannur ist Qos, der Gott von Horawa („verbrannt“), dem dieser Ort von Netir'el, dem Sohn von Zayd'el, dem Hüter der Quelle von La'ban, geweiht wurde.⁷ Es gibt eine semantische Beziehung zwischen Horawa und dem in Zeile 32 des Mesha-Steins genannten „Hwrnn“ (Horanen?), als auch dem Horonaim bei Isaia 15,5 und Jeremias 48,34. Donner und Rölling⁸ haben Horanen in der Gegend von Wadi al-Hasa (Zared) lokalisiert. Mit der Ausgrabung von Khirbat adh-Dharih bei Khirbat at-Tannur und der Entdeckung der befestigten Anlage der Eisenzeit wird nun die Identifizierung von Dharih mit dem Horanen des Mesha-Steins interessant, besonders da der König von Moab in Zeile 32 berichtet: „und Kamosh sagte zu mir: Geh hinunter und kämpfe gegen Horanen! Und ich ging hinunter (und ich kämpfte gegen die Stadt ...)“⁹. In diesem Fall müßte die natürliche Grenze zwischen Moab und Edom das Wadi al-La'ban gewesen sein. Im Süden dieses Tales erhebt sich die Bergkette des al-Jibal, welche Flavius Josephus unter dem Namen Gobolitis und Eusebius unter dem Namen Gabalene kannte. Die Konzentration von Ansiedlungen im al-Jibal zwischen Wadi al-La'ban und Jabal 'Uneizah bis hinunter zum Wadi al-Ghuweir schließt auch Buseirah ein, das alte Bozarah, das 1971–74 und 1980 durch Bennett¹⁰ ausgegraben wurde. Diese Hauptstadt von Edom umfaßte eine von einer 6,8 m dicken Mauer geschützte Akropolis, ein Verwaltungszentrum und ein Wohnviertel, das nun von dem heutigen Ort überlagert ist. Bennett faßt die Ergebnisse ihrer Ausgrabungen wie folgt zusammen: „There is no archaeological evidence to confirm the Biblical narratives concerning the existence of a king during the passage of Moses and the Hebrew tribes in Edom“. Die frühesten archäologischen Zeugnisse sind die Stadtmauern, die aus dem Ende des 9. oder dem Anfang des 8. Jahrhunderts v. Chr. stammen. Der Höhepunkt der Blüte Bozarahs lag in der neoassyrischen Periode, als die Stadt frei von jüdischen Einfällen war. Die wichtigste Beobachtung wurde in Zone C gemacht, wo der Archäologe „a small Persian occupation between the two major building periods“ feststellte.¹¹

Dieses Zeugnis ist wichtig, denn das 6. Jahrhundert v. Chr. bezeichnet die Ankunft der nabatäischen Stämme im Lande Edom, auch wenn ihre Gegenwart durch keine materiellen oder kulturellen Zeugnisse nachgewiesen werden kann. Die Zeugnisse der vorübergehenden Besetzung des 5./4. Jahrhunderts v. Chr. scheinen unter dem heutigen Ort verschwunden zu sein. In jedem Fall wurde die Ansiedlung am Ende des 6. Jahrhunderts zerstört und aufgegeben.¹² Diese Katastrophe ist mit aller Wahrscheinlichkeit der babylonischen Invasion von Edom zuzuschreiben.

Edom und die babylonische Herrschaft

Infolge des durch Bürgerkrieg und interne Thronstreitigkeiten bedingten Niedergangs Assyriens, zerstörten die Babylonier und ihre medischen Verbündeten Niniveh im Jahre 612 v. Chr. Ashur-Uballit, der junge Erbe des assyrischen Throns, und sein Verbündeter Pharaos Neco II. wurden 609. v. Chr. besiegt. Nebukadnezar, der mächtige Herrscher von Babylon, zog

Tannur is Qos, the god of Horawa (= 'burnt') and the dedicator of this high place is Netir'el, son of Zayd'el, the custodian of the spring of La'ban.⁷ There is a semantic relation between Horawa and the site of 'hwrnn' (Horanen ?) of the Mesha' stone, line 32 and Horonaim in prophets Isai 15:5 and Jeremiah 48:34. Donner and Rölling⁸ located Horanen in the Wadi al-Hasa (Zared) area. With the recent excavation of Khirbat adh-Dharih, near Khirbat at-Tannur and the discovery of the fortified settlement of the Iron Age period, the identification of Dharih with Horanen of the Mesha' stone becomes highly attractive since the king of Moab reports, line 32 'and Kamosh said to me: Go down, fight against Horanen! And I went down (and I fought against the town...)'⁹. In this case, the real natural frontier between Moab and Edom should be situated at Wadi al-La'ban. To the south of this valley rises the mountain range of al-Jibal, known to Flavius Josephus as Gobolitis and to Eusebius as Gabalene. The concentration of settlements in al-Jibal between Wadi al-La'ban and Jabal 'Uneizah down to Wadi al-Ghuweir includes Buseirah, ancient Bozarah, excavated in 1971–74 and in 1980 by Bennett.¹⁰ This capital of Edom comprises an acropolis, protected by a city wall, 6.8 m wide, an administrative center and a residential area, now covered by the modern village. Bennett summarized the results of her excavations as follows: 'There is no archaeological evidence to confirm the Biblical narratives concerning the existence of a king during the passage of Moses and the Hebrew tribes in Edom'. The earliest archaeological remains are the city walls, dated to the end of the ninth or beginning of the eighth century BC. The apogee of Bozarah's prosperity is during the Neo-Assyrian period, when the city was free from the Judaeans incursions. The most significant observation was made in area C where the excavator recognized a 'small Persian occupation between the two major building periods'¹¹.

This evidence is significant, because the sixth century BC marks the arrival of the Nabataean tribes originating from the Arabian peninsula in the land of Edom, although there is no cultural material to substantiate their presence. The transitional occupation of the fifth-fourth century BC may have disappeared under the modern village. In any case, Bozarah was destroyed at the end of the sixth century and abandoned.¹² This final catastrophe may be attributed with good probability to the Babylonian invasion of Edom.

Edom and the Babylonian Domination

Following the decline of Assyria due to civil war and internal competition to gain the throne, the Babylonians and their Median allies destroyed Nineveh in 612 BC. In 609, Ashur-Uballit, the junior heir of the Assyrian throne and Pharaoh Neco II, his ally, were defeated. Nebuchadnezzar, the powerful monarch of Babylon, mounted in 598/97 BC a campaign against Syria and Palestine. Jerusalem was captured and destroyed in 597 BC and Johaiachin, the last king of Judaea, surrendered to Nebuchadnezzar together with all of his palace officials and was deported to Babylonia (2nd Book of Kings 24:7). It seems as if Edom remained loyal to Babylon during this campaign and thus was saved. It was only under Nabonidus in 552 BC that Edom was invaded and destroyed. The reasons for this invasion are not clear – however, in his march to occupy Tayma in north-west Arabia, Nabonidus may have felt it necessary to subject the Edomites and have his rear secured.¹³ More than two hundred years later in 312 BC Antigonos the One-Eyed campaigned

598/97 v. Chr. gegen Syrien und Palästina ins Feld. 597 wurde Jerusalem zerstört. Johaiachin, der letzte König von Judaea, ergab sich mit allen Palastbeamten Nebukadnezar und wurde nach Babylon entführt (Zweites Buch der Könige 24,7). Es scheint, als ob Edom während dieses Feldzugs Babylon die Treue bewahrte und dadurch verschont geblieben ist. Es wurde erst durch Nabonidus 552 v. Chr. eingenommen und zerstört. Die Gründe für diese Invasion sind nicht klar. Möglicherweise erachtete es Nabonidus auf seinem Marsch nach Tayma in Nordwestarabien für notwendig, die Edomiter zu unterwerfen, um sich den Rücken frei zu halten.¹³ Schließlich hat auch Antigonos der Einäugige mehr als zweihundert Jahre später in Vorbereitung seines Feldzugs gegen das ptolemäische Ägypten im Jahr 312 v. Chr. die Nabatäer bekriegt. Der König von Babylon jedenfalls ließ sich zehn Jahre lang in Tayma (552–544 v. Chr.) nieder und zog zwischen den verschiedenen Oasen in Arabien umher.¹⁴ Wegen des Vakuums, das nach der Verschleppung der südjordani-schen Bevölkerung entstanden war, konnten arabische Stämme, hauptsächlich die Nabatäer, ohne jeglichen Widerstand in Edom eingedrungen. Diese Stämme müssen wohl den Gewürzhandel kontrolliert haben, da sie dem persischen König Kamby-ses II. (529–522 v. Chr.) einen Tribut von 1000 Talenten (27 Tonnen) Weihrauch angeboten haben. Nach Herodot verehrten sie den Gott Orotalt (Merkur) und die Göttin Alilat-Urania (die himmlische Aphrodite). Zwei arabische Stämme, die im Süden Palästinas nomadisierenden Qedar und Salamu, Verbündete der Nabatäer, sind im Hohelied Salomons (1–5) erwähnt, wo auch mit Weihrauch und Myrrhe beladene, aus der Wüste kommende Karawanen beschrieben sind (3,6).

Das Ursprungsland der Nabatäer

Das Ursprungsland der Nabatäer ist noch umstritten. Nach Durchsicht der Inschriften des südlich von Tayma gelegenen Jabal Ghunaym konnte aufgrund einer taymanitischen Inschrift bewiesen werden, daß die Nebayoth der Genesis (25,15) nicht dieselben Stämme wie die Nabat oder Anbat der assyrischen Aufzeichnungen sind.¹⁵ Starcky¹⁶ nahm an, daß die Nabatäer aus Südarabien kommen und verwies auf die Wurzel „Nabat“ oder „Nabat‘l“ (nbt mit betontem ta’) in Eigennamen dieser Region. Tatsächlich könnte ihre Kenntnis der Bewässerungstechnik und des Terrassenanbaus aus einer Gegend wie dem Ma’rib in Saba (dem biblischen Sheba) mit seinem berühmten Staudamm stammen. Andererseits ist keiner der südarabischen Götter in ihrem Pantheon zu finden. Die Götter der Nabatu entsprechen eher denjenigen, die in Zentralarabien verehrt wurden. Der Wortstamm „nbt“ kann auch ein allgemein üblicher arabischer Name gewesen sein, der im nordwest-semitischen Bereich viel früher als in Südarabien auftrat,¹⁷ und die Beherrschung der zum Überleben in der Wüste notwendigen Bewässerungstechnik war nicht auf die Nabatäer allein beschränkt. Die Theorie, daß die Nabatäer Teil des qedaritischen Bündnisses waren,¹⁸ ist einleuchtend, aber auch sie liefert keinen Schlüssel für ihr Ursprungsland. So hat Milik¹⁹ neuerdings eine Abstammung aus dem Nordosten Arabiens vorgeschlagen und seine These mit dem Vorkommen der Götter Sa’bu und Allat von al-Atrad in nabatäischen Inschriften gestützt. Das geographische Verzeichnis von Claudius Ptolemäus (2. Jahrhundert n. Chr.) verwendend, lokalisierte er das Land von Athritai und Apataioi in der Nähe des Berges Zamos im Nordosten Arabiens, in der Oase von al-Hufuf, die mit dem alten Gerrha gleichgesetzt wird. Von Strabo

against the Nabataeans as well in preparation of an expedition against Ptolemaic Egypt. The king of Babylon however settled ten years in Tayma (552–544 BC) and wandered between the different oases of Arabia.¹⁴ Because of the vacuum created in southern Jordan after the deportation of its population, the Nabataean tribes penetrated into Edom without any resistance. These tribes must have controlled trade, for they offered the Persian king Cambyses II (529–522 BC) a tribute of one thousand talents (some twenty-seven tons) of frank incense. According to the Greek historian Herodotus, they worshipped the god Orotalt (whom he equated with the Greek god Dionysus) and the goddess Alilat-Urania (the celestial Aphrodite). Two allies of the Nabataeans among Arab tribes, the nomadic Kedar and Salamu of southern Palestine, are mentioned in the Song of Solomon (1–5), which also describes caravans coming from the wilderness laden with myrrh and frank incense (3:6).

The Homeland of the Nabataeans

The original homeland of the Nabataeans is still disputed. After the epigraphic survey of Jabal Ghunaym, south of Tayma, it was demonstrated on basis of a Taymanite inscription, that the Nebayoth of the Book of Genesis 25:15 are not the same tribes as the Nabat or ‘Anbat of the Assyrian records.¹⁵ Starcky¹⁶ assumed that the Nabataeans emerged from South Arabia and pointed to the root ‘Nabat’ or ‘Nabat‘l’ (nbt with emphatic ta’) in proper names of that region. The Nabatu’s irrigation skills and their practice of terrace crop cultivation could indeed have derived from life in an area such as that around Ma’rib in Saba (the biblical Sheba), famous for its great dam. On the other hand, no gods of southern Arabian peoples are to be found in their pantheon; rather, the Nabatu gods are those worshipped in Central Arabia. The root ‘nbt’ may also have been a common Arabian name, which appears in the north-west Semitic sphere much earlier than in South Arabia¹⁷, and knowledge of irrigation technology – a prerequisite of survival in the desert – was not confined to the Nabataeans. The theory that the Nabataeans were part of the Qedarite confederation¹⁸ is plausible, but it also does not provide any clue for their original homeland. So Milik¹⁹ has recently proposed that they came from north-eastern Arabia citing the occurrence of the gods Sa’bu and Allat of al-Atrad in Nabataean inscriptions. Using the geographical index of Claude Ptolemy (2nd century AD), he placed the land of Athritai and Apataioi near Mount Zamos, that is in the Northeast of Arabia, in the oasis of al-Hufuf, identified with ancient Gerrha. It is known from Strabo that the Nabataeans received valuable merchandise from the Gerrhaeans (Ptolemy Geogr. 16, 4:18). However, the north-eastern area of Arabia called al-Ihsa’ was under the influence of South Mesopotamia and was largely sedentary. Furthermore, a special script, the Hasaeen, was in use there but does not appear among the baulk of Thamudic and Minaean graffiti of Wadi Iram in Southern Jordan. On the other hand, the Nabataeans succeeded to the Dedanites and Minaeans in the oasis of al-‘Ula/Dedan, and Mas’udu. The last Lihyanite king, wrote his inscription in Nabataean at Jabal Ghunaym.²⁰ The date of the graffito was evaluated at between the second century BC and the first century AD. The second century BC is more likely, because it is the period of the establishment of the Nabataean kingdom and the expansion of the Nabataean script.²¹ The Nabataean tribes occupied first al-‘Ula/Dedan for some thirty Nabataean graffiti were found in the ruins of the oasis.²² At Hegra/Mada’in

ist bekannt, daß die Nabatäer wertvolle Güter von den Gerrhaern bezogen (Geographica 16,4:18). Das al-Ihsa' genannte nordöstliche Gebiet von Arabien stand jedoch unter südmesopotamischem Einfluß und war größtenteils sesshaft besiedelt. Außerdem wurde dort eine besondere Schrift, das Hasaeische gebraucht, das jedoch unter den thamudischen und minaeischen Graffiti des Wadi Iram in SüdJordanien nicht erscheint. Die Nabatäer folgten hingegen auf die Dedaniter und Minaeer in der Oase von Al-'Ula/Dedan und Mas'udu. Der letzte lihyanitische König hat seine Inschrift am Jabal Ghunaym in nabatäisch verfaßt.²⁰ Die Inschrift wurde zwischen das 2. Jahrhundert vor und das 1. Jahrhundert n. Chr. datiert. Die frühe Datierung ist wahrscheinlicher, weil in dieser Zeit das nabatäische Königtum gegründet wurde und sich die nabatäische Schrift ausgebreitet hat.²¹ Die nabatäischen Stämme besetzten zuerst al-'Ula/Dedan, wo einige dreißig nabatäische Inschriften in den Ruinen der Oase gefunden wurden.²² In Hegra/Mada'in Saleh, 45 km nördlich von al-'Ula, belegen die Grabinschriften nabatäische Aktivitäten zwischen dem ersten Jahrhundert vor und 75 n. Chr. Wegen ihrer nachgewiesenen Beziehungen zu den Minaeern und Lihyanitern in Zentral- und Nordarabien, überzeugender aber noch wegen ihres Pantheons, das in derselben Gegend gebräuchlich war, erscheint es am einleuchtendsten ihr Ursprungsland in Zentralarabien, zwischen Dedan und Tayma, anzunehmen.

Die Nabatäer und die Diadochen (312–264 v. Chr.)

Das erste Zeugnis nabatäischer Anwesenheit in SüdJordanien ist der Bericht des Diodorus von Sizilien (1. Jahrhundert n. Chr.), der Schriften von Hieronymus von Cardia kopierte. Hieronymus war General und Augenzeuge der Ereignisse des Jahres 312 v. Chr. während der beiden Feldzüge von Antigonos dem Einäugigen. Diodorus berichtet²³, daß die Nabatäer „nie und zu keiner Zeit irgend jemanden eines anderen Landes als ihren Herren anerkennen und fortfahren ihre Freiheit uneingeschränkt zu erhalten“. Nachdem Antigonos in den Besitz von Syrien und Phönicien gekommen war, „wünschte er einen Feldzug gegen das Land der Araber, welche Nabatäer genannt werden, zu führen“²⁴. Der Grund für dieses militärische Unternehmen lag in seiner Absicht, Ptolemäus I. anzugreifen, dem geraten worden war, „den Krieg in Ägypten abzuwickeln, wo ihm ausreichend Vorräte zur Verfügung stünden und er auf die Schwierigkeit des Terrains vertrauen könnte“²⁵. Antigonos gab seinem Freund Athenaeus viertausend Evzonen (Fußsoldaten) und sechshundert Reiter „und befahl ihm sofort auf die Barbaren einzudringen und ihnen ihre gesamten Herden als Beute wegzunehmen“. Der griechische General legte die 220 Stadien (25 Meilen) von Idumaea in drei Tagen zurück. Offensichtlich näherte er sich dem Felsen vom Negev aus und griff um Mitternacht an. Die Männer waren auf einer Nationalversammlung (Panegyria)²⁶, „einige um Waren zu verkaufen und andere um Dinge zu kaufen derer sie bedurften“²⁷. Athenaeus' Soldaten mißhandelten die Einwohner und führten 500 Talente Silber, Myrrhe und Weihrauch mit sich fort. Die Krieger von Petra jedoch griffen die feindliche Armee in der Nacht an und vernichteten sie. Die Nabatäer schickten einen Brief an Antigonos, der in Aramäisch geschrieben war, einer dem Kananäischen und Hebräischen verwandten Sprache, die vom 8. Jahrhundert v. Chr. bis Christi Geburt Umgangssprache der Syro-Palästinenser war. Nachdem die Einwohner von Petra durch eine scheinheilige Antwort beruhigt worden waren, schickte Antigonos seinen Sohn Demetrius mit viertausend

Saleh, 45 km north of al-'Ula, the tomb inscriptions date the Nabataean activities between the first century BC and 75 AD. Because of their attested connection with the Minaeans and Lihyanites of Central and North Arabia, but more precisely of their pantheon which was common to the same area, it seems plausible to assign their original homeland to Central Arabia, between Dedan and Tayma.

The Nabataeans and the Diadochoi (312–264 BC)

The first reference to the Nabataean presence in Southern Jordan is the account of Diodorus of Sicily (first century BC), copying the writings of Hieronymus of Cardia, a general and eye-witness of the events in 312 BC, during the two expeditions of Antigonos 'Cyclops', the One-Eyed. Diodorus reports²³ that the Nabataeans 'never at any time accept a man of another country as their overlord and continue to maintain their liberty unimpaired'. After Antigonos gained possession of Syria and Phoenicia, 'he desired to make a campaign against the land of the Arabs who are called Nabataeans'²⁴. The reason for this military expedition was his intention to attack Ptolemy I who was advised 'to settle the war in Egypt where he had plenty of supplies and could trust to the difficulty of the terrain'²⁵. Antigonos gave his friend Athenaeus four thousand evzones (foot-soldiers) and six hundred horsemen 'and ordered him to set upon the Barbarians suddenly and cut off all their cattle as booty'. The Greek general covered the 220 stades (25 miles) from Idumaea in three days. Apparently, he approached the rock (Greek 'petra') of the Nabataeans from the Negev, and attacked at midnight. The men were at a national gathering (Panegyria)²⁶ 'some to sell goods and others to purchase things that are needful to them'²⁷, leaving behind the women and children with all their possessions. Athenaeus' soldiers massacred the inhabitants of the rock and made off with five hundred talents of silver, myrrh and frank incense. The warriors of Petra, however, attacked Athenaeus' army at night and destroyed it. The Nabataeans despatched a letter to Antigonos that was written in Aramaic, a language resembling Cananaean and Hebrew that was the customary means of communication (lingua-franca) among Syro-Palestinians from the eighth century BC to the birth of Christ. Having pacified the Nabataeans with a hypocritical reply, Antigonos sent an army of four thousand foot-soldiers and as many on horseback under the leadership of his son Demetrius to attack the Nabataeans again. Yet the Arabs had sensed the Greek general's duplicity and, dispersing their flocks in the desert, withdrew to their rock. Diodorus Siculus reports that this rock was an excellent fortress, accessible solely via a path so narrow that only one person could pass through at a time. In three passages of his 'Library of History' Diodorus provides a vivid description of the rock: 'This place is exceedingly strong but unwalled, and it is distant two days journey from the settled country'²⁸. In another passage, Diodorus concludes the abortive campaign of Demetrius, the son of Antigonos: 'Demetrius received hostages and the gifts that had agreed upon and departed from the rock. After marching for three hundred stades, he camped near the Asphaltite Lake'²⁹. He provides a detailed description of the Dead Sea and the technique of collecting the bitumen that floats on the surface. Antigonos thought this was a good revenue for the Kingdom and ordered Hieronymus of Cardia to collect the product and bring it to a certain place. But the Arabs did not allow him to exploit this

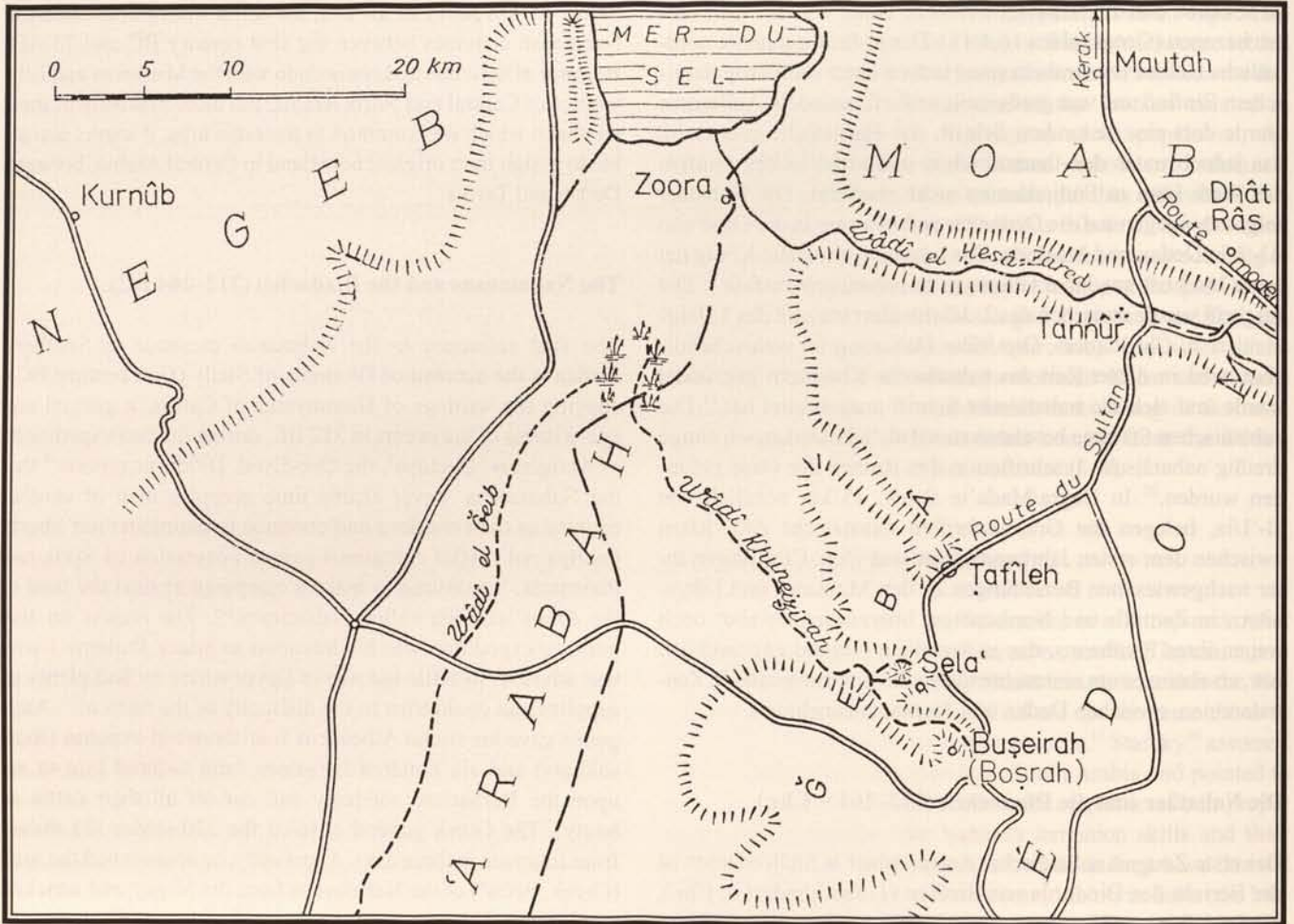


Abb. 1. Eine Karte des „Aqrabim Passes“, nach Atlas J. Starcky, Dict. de la Bible, supp. VII

Fig. 1. Map of the 'Aqrabim pass, see atlas J. Starcky, Dict. de la Bible, supp. VII

Fußkämpfern und ebenso vielen Reitern gegen sie. Aber die Araber, welche die Unehrlichkeit des griechischen Generals erwartet hatten, hatten ihre Herden in der Wüste zerstreut und sich auf ihren Felsen zurückgezogen. Diodorus von Sizilien berichtet, daß dieser Felsen eine hervorragende Zitadelle und nur über einen engen Pfad zugänglich war, auf dem jeweils nur ein einziger Mensch passieren konnte. An drei Stellen seiner „Geschichtsbibliothek“ liefert Diodorus eine lebendige Beschreibung des Felsens: „Dieser Ort ist außerordentlich stark aber unbefestigt, und er ist zwei Tagesreisen vom bewohnten Land entfernt“²⁸. An einer Stelle geht Diodorus auf den fruchtlosen Feldzug des Demetrius, dem Sohn von Antigonos, ein: „Demetrius erhielt Geiseln und die Geschenke auf die man sich geeinigt hatte und verließ den Felsen. Nachdem er dreihundert Stadien marschiert war, schlug er sein Lager in der Nähe des Asphaltsees auf“²⁹. Diodorus liefert eine genaue Beschreibung des Toten Meeres und der Technik, das auf der Oberfläche schwimmende Bitumen einzusammeln. Antigonos dachte, daß Bitumen eine gute Einnahmequelle für das Königreich sei und befahl Hieronymus von Cardia, es einzusammeln und fortzubringen. Die Araber aber gestatteten ihm nicht, die wertvollen Vorkommen auszubeuten, griffen an und töteten fast alle seine Leute.³⁰ Die vom Autor beschriebene Entfernung zwischen dem Felsen und dem Toten Meer beträgt dreihundert Stadien oder vierunddreißig Meilen, die 64 km entsprechen. Auch wenn die Zahlen

precious revenue, and attacked and killed almost all of the men of Hieronymus.³⁰ The distance recorded by the author between the Rock and the Dead Sea is three hundred stades or 34 miles, equivalent to 64 km. Although the figures of the ancient authors are not reliable, the recorded distance between the Dead Sea and the Rock is roughly correct. The detailed description of the Asphaltite Lake and the exploitation of the bitumen by Hieronymus, who was in charge of this lucrative trade, is good evidence of the proximity of the rock to that sea. Avraham Negev³¹ estimates that the description of Diodorus (after Hieronymus) of the country where the Nabataeans live does not correspond to Petra. The author entirely agrees with him. That this country is the Negev is possible since the Nabataeans are attested in this country in the third century BC.³²

From Diodorus' description of the two military campaigns we learn that the about ten thousand Nabataeans lived under the open sky, never built houses and did not cultivate the land. They bred camels and small domestic animals and transported spices from Arabia Felix to the coast. At this time, therefore, they were nomads and it was doubtless Antigonos' attacks that forced them to settle in order to be able to defend themselves more efficiently. It was as a sedentary people that, in 259 BC, Zenon, a merchant of the Egyptian king Ptolemy II Philadelphus (285–246 BC) encountered in the Hawran region, south of Damascus, and entrusted Rabilos, one of their chiefs, with the purchase of

des antiken Autors nicht verlässlich sind, stimmt die zwischen dem Toten Meer und dem Felsen beschriebene Entfernung im großen und ganzen. Die detaillierte Beschreibung des Asphaltsees und der Ausbeutung des Bitumens durch Hieronymus, der mit dem lukrativen Handel beauftragt war, bezeugt die Nähe des Felsens zum Toten Meer. Avraham Negev³¹ meint, daß die Beschreibung des Landes, in dem die Nabatäer lebten, durch Diodorus (nach Hieronymus), Petra nicht entspricht. Auch meiner Meinung nach ist es wahrscheinlicher, daß dieses Land der Negev ist, da die Nabatäer dort im 3. Jahrhundert v. Chr. nachgewiesen sind.³²

Aus der Beschreibung dieser beiden Expeditionen erfahren wir von Diodorus, daß die etwa zehntausend Nabatäer unter freiem Himmel lebten, nie Häuser bauten und auch kein Land kultivierten. Sie züchteten Kamele und Kleinvieh und brachten die Gewürze der Arabia Felix bis an das Meer. Demnach mußten sie damals Nomaden gewesen sein, welche wohl die Attacken des Antigonos gezwungen hatten, sich niederzulassen, um sich besser verteidigen zu können. 259 v. Chr. trifft sie Zenon, ein Händler Ptolemaeus' II. Philadelphus von Ägypten (285–246 v. Chr.), als seßhaftes Volk im Hauran südlich von Damaskus an, wo er Rabilos, einen ihrer Führer, mit einem Weizenkauf betraut. Einer nabatäischen Inschrift aus dem dritten Jahrhundert v. Chr. zufolge, scheinen die Nabatäer zu dieser Zeit einen König gehabt zu haben.

Der Felsen von as-Sela' als frühe Niederlassung der Nabatäer

Die Beschreibung des Felsens mit seinem steilen Zugang als natürliches Bollwerk ist am ehesten mit as-Sela' zu identifizieren: Dieser Felsen aus ordovicischem Sandstein, der sich bis zu einer Höhe von 800 m erhebt, liegt 10 km südöstlich von Tafileh und 3 km nördlich von Buseirah. Er wird durch die beiden Täler des Wadi al-Hirsh und Wadi Sidreh abgeschnitten (Abb. 2). Der einzige Zugang zu dem Berg führt durch den Khandaq, eine ursprünglich durch ein Tor geschützte enge Schlucht (Abb. 3), in die unregelmäßige Treppenfluchten geschnitten sind. Musil war der erste Forscher, der auf diesen Ort aufmerksam machte.³³ Es war ihm nicht möglich, den Felsen zu besuchen, und erst 1937 hat es Peake Pasha, der Kommandeur der arabischen Legion, Glueck ermöglicht, den steilen Berg zu erklimmen. Glueck publizierte seine Beobachtungen im selben Jahr, jedoch detaillierter und mit mehr Abbildungen erst 1970.³⁴ Er sammelte eisenzeitliche Keramikscherben, lehnte es aber ab, diesen Felsen mit dem biblischen Sela' zu identifizieren. 1961 wurde der Ort durch de Vaux und Parr besucht und im darauffolgenden Jahr von Bennett, Starcky, der von den Beschreibungen dieser beiden Pioniere profitierte, publizierte 1966 eine eingehende Analyse der auf as-Sela' bezogenen biblischen Erzählungen.

Das Buch der Richter (1,36) enthält die genaueste Bestimmung der Lage des Felsens: „Und die Grenze der Amoniter war, da man gen Akrabim hinaufgehet, von dem Fels an und weiter hinauf“. Der Paß von 'Aqrabim steigt vom Wadi 'Araba nach Qurnub/Memphis auf, und von dort führt eine Straße nach Hebron und Jerusalem (Abb. 1). Dieser Engpaß wird heute von den Beduinen Naqb as-Safa genannt und befindet sich in direkter Linie westlich von Tafileh und as-Sela'. Die Orakel von Isaias „Laßt die Einwohner von as-Sela' laut jammern und von den Bergspitzen herab schreien“ und Jeremias (49,16) „Dein Trotz und deines Herzens Hochmut hat dich betrogen, weil du in



Abb. 2. Ansicht von as-Sela'

Fig. 2. View of as-Sela'

wheat. According to a Nabataean inscription from the third century BC, they possessed a king at that time.

The Rock of as-Sela' as Early Settlement of the Nabataeans

The description of the rock, however, with its arduous access should be identified with a natural stronghold. As-Sela' is the best candidate: this Rock of Ordovician sandstone which rises to 800 m is situated 10 km south-east of Tafileh and 3 km north of Buseirah. It is isolated by the two valleys of Wadi al-Hirsh and Wadi Sidreh (fig. 2). The unique access to the mountain is through the Khandaq, a narrow cleft (fig. 3) originally protected by a gateway and carved with irregular flights of steps. Musil was the first explorer to bring the site to the attention of scholars.³³ He was not able to visit the rock and it was only in 1937 that Peake Pasha, the Commander of the Arab Legion arranged for Glueck to climb the arduous mountain. Glueck published his observations the same year and with more details and illustrations in 1970.³⁴ He collected Iron Age pottery sherds, but rejected the identification of this rock with biblical Sela'. In 1961 the site was visited by de Vaux and Parr and the following year by Bennett. Starcky, who benefited from the remarks of these pioneers, published in 1966 a penetrating analysis of the biblical narratives, related to Sela'.

Abb. 3. Der schmale Aufstieg zu dem Berg durch den „Khandaq“

Fig. 3. The narrow ascent to the rock through the 'Khandaq'



Felsenklüften wohnest und hohe Gebirge inne hast. Wenn du denn gleich dein Nest so hoch machtest als der Adler, dennoch will ich dich von dannen herunterstürzen, spricht der Herr“ sind sprechende poetische Bilder eines bergigen Landes mit schwierigem Zugang. Die anderen biblischen Erwähnungen, besonders im Zweiten Buch der Könige (14,7), erzählen die Einnahme des Felsens (as-Sela') durch Amaziah und die Niederlage der zehntausend Edomiter im Tal des Salzes. Dasselbe Tal erscheint im Zweiten Buch Samuel (8,13) in Verbindung mit dem Sieg König Davids über die Edomiter und im Zweiten Buch Chronica (25,11–12): „Und Amaziah ward getrost und führte sein Volk aus, und zog aus ins Salztal, und schlug der Kinder von Seir zehntausend“. Der Felsen (as-Sela'), von dem der König von Judaea zehntausend Edomiter herabstürzte, könnte östlich des Wadi 'Araba, in den Bergen von Seir oder al-Jibal lokalisiert werden. Der Umm al-Biyara im Becken von Petra, der von Glueck als das biblische Sela' und als der Felsen von Diodorus von Sizilien in Anspruch genommen wurde, ist vom Toten Meer ungefähr 130 km entfernt und entspricht nicht den biblischen Erzählungen und Prophezeiungen. Nach den Ausgrabungen von Umm al-Biyara schloß Bennett: „We did not find a single piece of evidence of a sedentary occupation at Umm al-Biyara in the time of Amaziah king of Judah“³⁵ (798–769 v. Chr.). Dieser Schluß befindet sich in Widerspruch zur Behauptung von Glueck: „The equation of Umm al-Biyara with Biblical Sela', previously made, is now archaeologically substantiated“³⁶.

Hart, der auf as-Sela' Keramik sammelte, die er in das 7. bis 6. Jahrhundert v. Chr. datierte, ist sich über die Identifizierung des Ortes nicht sicher: „The Rock is neither Sela' nor Umm al-Biyara“, schließt aber: „On the other ground, Sela' is perhaps to be preferred, but the question remains open“³⁷.

Das 1994 durch Dr. Hamad Qatamine der Mu'ta Universität entdeckte babylonische Relief bestätigt eher die nördliche Lage des biblischen Felsens. Die Maße des Reliefs sind 2 m bis 2,20 m in der Höhe und 2,95 m in der Breite.³⁸ Es stellt einen stehenden Herrscher dar, der in der rechten Hand ein langes Zepter hält, während die linke Hand zur Mondsichel, der geflügelten Sonnenscheibe und einem siebenstrahligen Stern erhoben ist (Abb. 4, 5). Er ist in ein langes Gewand gekleidet und trägt eine für babylonische Könige typische spitze Mütze. Eine unglücklichlicherweise stark verwitterte Keilinschrift befindet sich in der Mitte der Tafel und auf der rechten Seite des Sterns. Sie enthält ohne Zweifel die entscheidende Information über die Identität des Herrschers und die historische Begebenheit, welche sie darstellt. Das beste Vergleichsstück zum Relief von as-Sela' ist die Harran Stele, auf welcher die Figur des Nabonidus eingraviert ist. Auch er ist in ein langes Gewand gekleidet, trägt eine spitze Mütze und erhebt die Rechte zum Halbmond, der Sonnenscheibe und dem Strahlenstern.³⁹ Das Relief ist von einer langen Inschrift begleitet, welche sich auf den Aufbruch des Nabonidus aus Babylon nach Tayma bezieht. Eine andere Darstellung des Nabonidus befindet sich auf einer Negativform aus Lehm (19 x 7,9 x 3,5 cm), welche durch eine amerikanische Expedition in Nefer in Mesopotamien ausgegraben wurde.⁴⁰ Das Positiv dieser Form gibt einen stehenden Herrscher in derselben Haltung wie auf dem Harran und as-Sela' Relief wieder. So erscheint es sehr wahrscheinlich, daß das auf as-Sela' gefundene Relief Nabonidus darstellt, der wie oben beschrieben, 552 v. Chr. in Edom eingefallen ist.

Wenn man also abschließend die biblische Erzählung im Zweiten Buch der Könige (14,7), die prophetischen Orakel und den Bericht von Diodorus nach Hieronymus von Cardia in Be-

The most precise reference for the location of the rock is the Book of Judges 1:36 'The territory of the Edomites begins at the ascent of 'Aqrabim, runs to the Rock and continues upwards'. The pass of 'Aqrabim ascends from Wadi 'Araba to Qurnub/Memphis and from there a road leads to Hebron and Jerusalem (fig. 1). This defile is now called Naqb as-Safa by the Bedouins, and is situated in direct line west of Tafileh and as-Sela'. The oracles of Isaiah 'Let the inhabitants of as-Sela' cry aloud and shout from the mountain tops' and Jeremiah (49:16) 'you whose home is in the holes in the Rock, who cling to the top most peaks! Though you made your nest high as the eagle, I would still fling you down again', both of them are evocative poetic images of mountainous country of difficult access. The other biblical references, especially the 2nd Book of Kings (14:7) relate the capture of the Rock (as-Sela') by Amaziah and the defeat of the Edomites, ten thousand, in the Valley of the Salt. The same valley appears in the 2nd Book of Samuel (8:13) in relation to King David's victory over the Edomites and in the Book of Chronicles (25:11–12) Amaziah 'having reached the Valley of Salt, defeated ten thousand of the sons of Seir'. The Rock (as-Sela') from which the king of Judah hurled ten thousand Edomites should be located east of Wadi 'Araba, in the mountains of Seir or al-Jibal. The Umm al-Biyara in the Petra Basin which was advocated by Glueck as the biblical Sela' and the Rock of Diodorus of Sicily is distant about 130 km from the Dead Sea and does not correspond to the biblical narratives and prophecies. After the excavations of Umm al-Biyara Bennett³⁵ concluded: 'We did not find a single piece of evidence of a sedentary occupation at Umm al-Biyara in the time of Amaziah king of Judah' (798–769). This conclusion is in contradiction with the assertion of Glueck³⁶: 'The equation of Umm al-Biyara with Biblical Sela', previously made, is now archaeologically substantiated'.

Hart, who collected pottery at as-Sela' that he dates to the seventh–sixth century BC, is uncertain about the identification of the site: 'The Rock is neither Sela' nor Umm al-Biyara' but concludes: 'On the other ground, Sela' is perhaps to be preferred, but the question remains open'³⁷.

The discovery in 1994 of the Babylonian relief by Dr. Hamad Qatamine from Mu'ta University provides more confirmation of the northern location of the biblical Rock: The dimensions of the relief are 2.00–2.20 m in height and 2.95 m in width.³⁸ It depicts a standing monarch, holding a long sceptre in the right hand while the left hand is raised towards the crescent, the

Abb. 4. Die geflügelte Scheibe und der siebenstrahlige Stern
Fig. 4. The winged disk and the radiated star



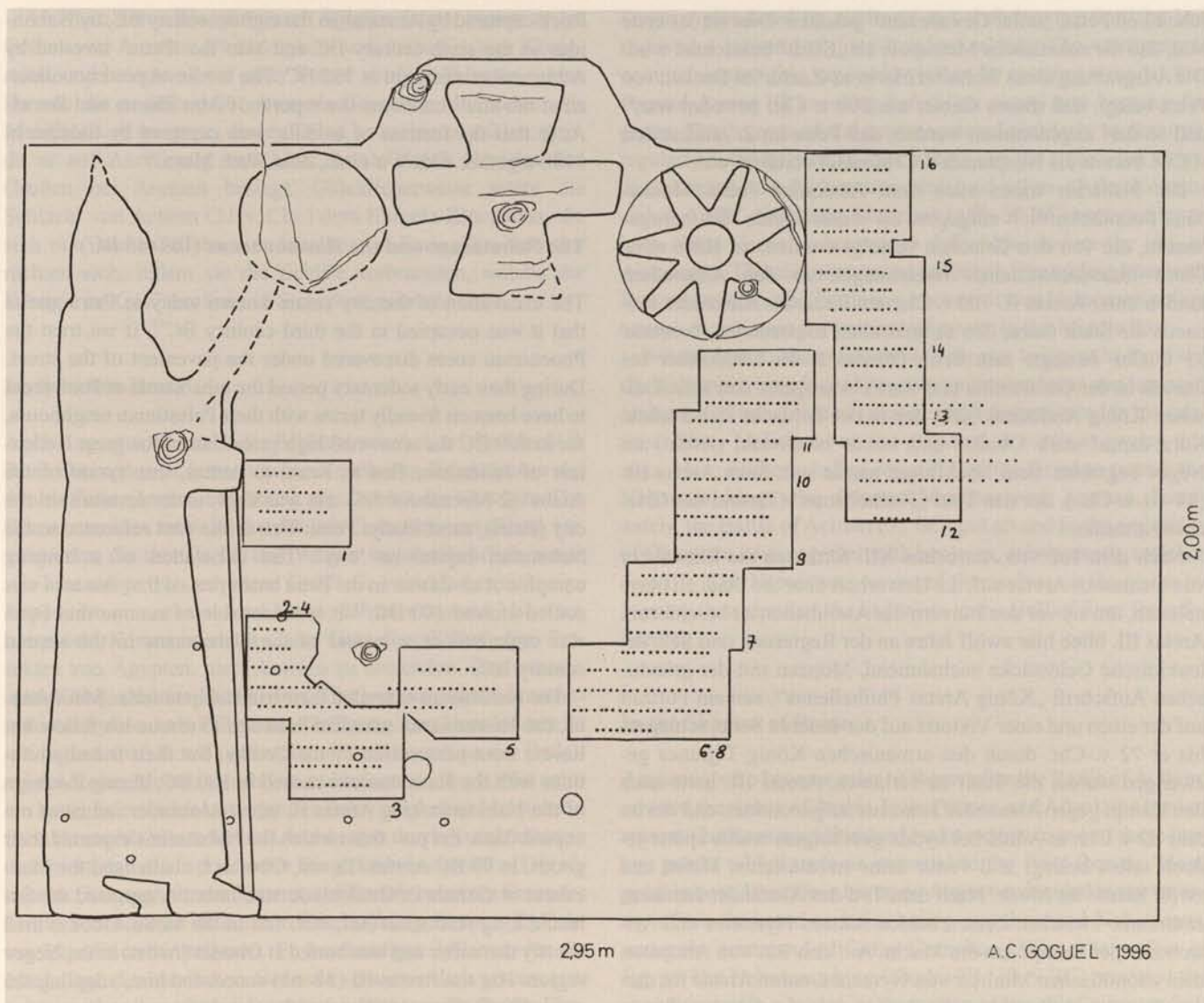


Abb. 5. Das babylonische Relief von as-Sela' / Fig. 5. The Babylonian relief of as-Sela'

tracht zieht, erscheint es sehr wahrscheinlich, daß as-Sela' bei Tafileh und Buseirah der Felsen gewesen ist, der im 8. Jahrhundert v. Chr. von Amaziah, im 6. Jahrhundert v. Chr. von Nabonidus eingenommen wurde und auch das „Petra“ war, das 312 v. Chr. um Mitternacht von Athinaeus heimgesucht wurde. Die mittelalterliche Keramik, die dort gefunden wurde,⁴¹ bestätigt die Berichte von Abu Shama und Ibn al-Athir, daß die Festung von as-Sela' zusammen mit Wu'eirah bei Wadi Musa 1188 von Saladin eingenommen wurde.⁴²

Die Nabatäer und die Asmonäer (169–65 v. Chr.)

Die Ausgrabungen im Zentrum der heute als Petra bekannten Stadt bezeugen, daß sie im 3. Jahrhundert v. Chr. bewohnt war, wenn wir den phoenikischen Münzen trauen, die unter dem Straßenpflaster gefunden wurden.⁴³ Am Anfang ihrer selbsthaften Zeit hatten die Bewohner von Petra anscheinend gute Beziehungen zu ihren palästinensischen Nachbarn unterhalten, denn 169 v. Chr. floh der berühmte Hohepriester Jason, der Jerusalem hellenisierte, nach Petra zu Aretas, dem „Tyranen der Araber“ (Makkabäus II, 5,8). Er wurde in der Stadt (Polis), höchstwah-

winged solar disc and a seven-branched star (figs. 4, 5). He is clad in a long robe and wears a pointed cap, typical of the Babylonian kings. A cuneiform inscription, unfortunately badly weathered, runs in the center of the panel and to the right of the radiated star. This will provide, no doubt, crucial information about the identity of the monarch and the historical episode it represents. The best parallel for the as-Sela' relief is the Harran Stele, engraved with the figure of Nabonidus, wearing the long garment and the pointed cap and raising the right hand towards the crescent, the solar disc and the radiated star.³⁹ The relief is accompanied by a long inscription relating to the departure of Nabonidus from Babylon to Tayma. Another representation of Nabonidus is a clay mould 19 x 7.9 x 3.5 cm excavated by an American Expedition to Nefer in Mesopotamia.⁴⁰ The positive of the mould reproduces a standing monarch in the same posture as the Harran and as-Sela' relief. So it seems to be very probable that the relief found at as-Sela' represents Nabonidus who invaded Edom in 552 as indicated above.

In conclusion, taking into consideration the biblical account of the 2nd Book of Kings (14:7) of the prophetic oracles and the report of Diodorus apud Hieronymus of Cardia, it appears most probable that the as-Sela' near Tafileh and Buseirah was the

scheinlich Petra, „unter Gewahrsam“ gehalten. Dies ist das erste Mal, daß die nabatäische Metropole als „Stadt“ bezeichnet wird. Die Ausgrabung eines Wohnbezirks in az-Zantur im Becken von Petra belegt, daß dieses Gebiet um 100 v. Chr. bewohnt war,⁴⁴ und so darf angenommen werden, daß Petra im 2. Jahrhundert v. Chr. bereits als Hauptstadt der Nabatäer etabliert war.

Die Nabatäer traten auch dem Asmonäer Judas Makkabäus freundschaftlich entgegen, als dieser seinen Glaubensgenossen, die von den Griechen verfolgt wurden, zu Hilfe eilte. Diese freundschaftlichen Beziehungen zu den Asmonäern fanden unter Aretas II. 100 v. Chr. ein Ende, als Alexander Jannaeus die Stadt Gaza, den nabatäischen Exporthafen, besetzte. 93 v. Chr. besiegte sein Sohn Obodas I. die Makkabäer bei Garada in der Gaulanitide und warf etwas später den seleukidischen König Antiochus XII., der in der Schlacht fiel, zurück. Kurz darauf starb Obodas und wurde in Obodat (Avdat) im Negev begraben. Sein Nachfolger wurde sein Sohn Aretas III. (84–61 v. Chr.), der den Titel „Philhellenus“ (Freund der Griechen) annahm.

Nach dem Tod von Antiochus XII. forderten die Einwohner von Damaskus Aretas auf, die Herrschaft über die Stadt zu übernehmen, um sie vor den Itureern des Antilibanon zu beschützen. Aretas III. blieb hier zwölf Jahre an der Regierung und ließ, seleukidische Geldstücke nachahmend, Münzen mit der griechischen Aufschrift „König Aretas Philhellenus“, seinem Portrait auf der einen und einer Viktoria auf der anderen Seite, schlagen, bis er 72 v. Chr. durch den armenischen König Tigranes gezwungen wurde, die Stadt zu verlassen. Aretas III. hatte auch den Kampf gegen Alexander Jannaeus aufgenommen und ihn im Jahr 82 v. Chr. in Adida bei Lydda geschlagen, wurde später jedoch selbst besiegt und verlor seine nabatäischen Häfen und zwölf Städte im Moab. Nach dem Tod des Alexander Jannaeus entbrannte zwischen dessen beiden Söhnen Hyrcanes und Aristobulus der Kampf um die Macht. Auf den Rat von Antipater, dem edomitischen Minister von Hyrcanes, nahm Aretas für diesen Partei und zerschlug die Armee von Aristobulus, der in Jerusalem Zuflucht suchte. Die Belagerung der heiligen Stadt begann im Jahr 65 v. Chr. Bald darauf traf jedoch der römische General Pompejus in Damaskus ein und zwang Aretas, die Belagerung aufzuheben.

Petra und die syrische Provinz (64–24 v. Chr.)

Pompejus schuf aus dem zerfallenden seleukidischen Königreich die römische Provinz Syrien, gründete die Städteliga der Decapolis und gab seinem General Scaurus den Befehl, das nabatäische Reich zu annektieren. Als dieser Petra nicht einnehmen konnte, plünderte er das ganze Umland und zog sich erst zurück, nachdem er ein Lösegeld von 300 Talenten erhalten hatte. Eitel wie Scaurus war, ließ er seinen vermeintlichen Sieg mit einer Gedenkmünze feiern, auf der Aretas III., vor seinem Kamel kniend und um Frieden flehend, dargestellt war. Die Legaten der Provinz verhielten sich ähnlich wie Scaurus und fanden sich regelmäßig in Petra ein, um seine Könige zu besteuern. Die Nabatäer blieben dennoch die Verbündeten der Römer und 47 v. Chr. sandte ihr König Malichos I. (60–30 v. Chr.) seine Reiterei Julius Cäsar zu Hilfe, der vor Alexandria in Schwierigkeiten geraten war. Das hat ihn jedoch später nicht daran gehindert, die Partei der Parther, der Feinde der Römer, zu ergreifen, da es die Politik der Nabatäer war, ein Gleichgewicht zwischen den verschiedenen politischen Kräften im Orient zu erhalten.

Rock captured by Amaziah in the eighth century BC, by Nabonidus in the sixth century BC and also the 'Petra' invested by Athinaeus at midnight in 312 BC. The medieval pottery collected at the site⁴¹ confirms the reports of Abu Shama and Ibn al-Athir that the fortress of as-Sela' was captured by Saladin in 1188 together with Wu'eirah, near Wadi Musa.⁴²

The Nabataeans and the Hasmonaeans (169–65 BC)

The excavation of the city center known today as Petra attests that it was occupied in the third century BC⁴³, if we trust the Phoenician coins discovered under the pavement of the street. During their early sedentary period the inhabitants of Petra seem to have been on friendly terms with their Palestinian neighbours, for in 169 BC the renowned high priest Jason, the great Hellenizer of Jerusalem, fled to Petra, to Aretas, the 'tyrant of the Arabs' (2 Maccabees 5.8). He was kept 'under restraint' in the city (Polis), most likely: Petra. This is the first reference to the Nabataean capital as 'city'. The excavation of a housing complex at az-Zantur in the Petra basin proved that this area was settled around 100 BC.⁴⁴ It is reasonable to assume that Petra was organised as a capital of the Nabataeans in the second century BC.

The Nabataeans extended their friendship to Judas Maccabaeus, the Hasmonaeon who had hastened to rescue his fellow believers from persecution by the Greeks. But their friendly relations with the Hasmonaeans ceased in 100 BC, during the reign of the Nabataean king Aretas II, when Alexander Jannaeus occupied Gaza, the port from which the Nabataeans exported their goods. In 93 BC Aretas II's son, Obodas I, challenged the Maccabees at Garada in Gaulanitide and, later on, repulsed the Seleucid king Antiochus XII, who fell in the battle. Obodas died shortly thereafter and was buried at Obodat (Avdat) in the Negev region. His son Aretas III (84–61) succeeded him, adopting the name 'Philhellenus' ('friend of the Greeks').

Following the death of Antiochus XII the inhabitants of Damascus called on Aretas to take over the government of the city and protect them from the Itureans of Antilibanon. Aretas governed Damascus for twelve years and, in imitation of the Seleucids, had coins minted with the inscription 'King Aretus Philhellenus' in Greek together with his portrait on one side and a figure of victory on the other. In 72 BC Aretas was forced to leave the city by the Armenian king Tigranes. He had previously taken up the fight against Alexander Jannaeus, defeating him in 82 BC at Adida near Lydda. Aretas himself was defeated later, losing his Nabataean ports and twelve towns in Moab. After the death of Alexander Jannaeus his sons, Hyrcanus and Aristobulus, battled for power. On the advice of Antipater, Hyrcanus' Edomite minister, Aretas joined forces with Hyrcanus, engaging with Aristobulus' army after the latter had taken refuge in Jerusalem. The siege of the Holy City began in 65 BC, but as soon as the Roman general Pompey entered Damascus Aretas was forced to put an end to the siege.

Petra and the Province of Syria (64–24 BC)

From the decaying Seleucid empire Pompey created the Roman province of Syria, freed the hellenized cities which became the 'Decapolis' or 'ten cities' and ordered his general Scaurus to annex the Nabataean kingdom. Unable to conquer Petra,

Als Marc Anton Kleopatra nach Ägypten folgte, trennte er das Gebiet von Amman (Philadelphia) vom nabatäischen Königreich, und belegte es mit einer Steuer von 200 Talenten – eine Summe die er seiner Geliebten als Geschenk mitbrachte. Als Malichos sich weigerte, diesen Tribut weiterhin zu zahlen, wurde er auf Anordnung von Marc Anton durch Herodes den Großen bei Amman besiegt. Glücklicherweise setzte die Schlacht von Actium (31 v. Chr.) dem Ehrgeiz Kleopatras, die sich mit ihrem Geliebten umbrachte, ein Ende. Die Nabatäer rächten sich, indem sie die Schiffe verbrannten, welche die Königin im Golf von Suez in Sicherheit gebracht hatte.

Im Schatten Roms

Auch Augustus, der nach der Schlacht von Actium die Macht in Rom übernommen hatte, trachtete nach den Reichtümern der Arabia Felix (Jemen und Aden), des Landes der Gewürze. Die Römer machten tatsächlich reichlich Gebrauch von diesen Luxusgütern, die damals für den Westen so unentbehrlich waren wie heutzutage das „schwarze Gold“. So entschied er sich, eine Expedition von zehntausend Mann, darunter tausend Nabatäer, unter dem Kommando von Gaius Cornelius Gallus, dem Präfekten von Ägypten, nach Arabien zu entsenden. Der nabatäische König Obodas III. (30–9 v. Chr.) stellte seinen Premierminister Syllaeus als Führer zur Verfügung. Das Heer landete 24 v. Chr. in Leukè Komè (wahrscheinlich 'Ainunah an der Ostküste des Roten Meeres), nachdem es Verluste an den Riffen erlitten hatte. Es erreichte unter großen Schwierigkeiten Marsiaba in Saba (heute Ma'rib im Jemen), wurde aber durch Krankheiten so dezimiert, daß es unverrichteter Dinge umkehren mußte. Der römische Geograph Strabo hat uns, auf Berichten seines Freundes Gallus fußend, eine detaillierte Beschreibung dieser mißglückten Expedition hinterlassen. Er beschuldigte Syllaeus, für die Niederlage des römischen Generals verantwortlich gewesen zu sein, „weil er ihm nicht die sichersten Wege weder für die Flotte auf dem Meer noch für die Armee auf dem Land gezeigt habe“. Aufgrund anderer Beschwerden wurde Syllaeus später von Augustus zum Tode verurteilt. Im folgenden hat der römische Kaiser den Gewürzhandel zugunsten Alexandrias umgeleitet: Die Schiffe transportierten die wertvollen Güter zum Hafen Myos Hormos an der ägyptischen Küste, von wo aus sie dann auf dem Nil bis Alexandria gebracht wurden. Die Übernahme des nabatäischen Handels durch Rom bedeutete für den Wohlstand Petras einen schweren Schlag.

Unter diesen offenbar schwierigen wirtschaftlichen Bedingungen trat Aenas, unter dem Namen Aretas IV. die Nachfolge seines Onkles Obodas III. an. Trotzdem wurde seine Regierungszeit die glänzendste Periode der nabatäischen Geschichte. Er konnte seine Macht von Hegra in Doumat in Arabien bis in den Negev und den Hauran in Syrien ausdehnen. Unter seiner Regierung blühte die nabatäische Kultur wie nie zuvor: Etwa zwanzig Gräber in Hegra zeugen von dieser Blüte, so wie auch in Petra al-Khazna, der Temenos von Qasr al-Bint und der Tempel der geflügelten Löwen.

Aretas IV. unterhielt gute Beziehungen zu seinen Nachbarn in Palästina und gab seine Tochter Herodes Antipas, dem Sohn Herodes des Großen, zur Frau. Dieser – eher unbedeutende König – ließ sich jedoch von seiner nabatäischen Frau scheiden und heiratete Herodias, seine Nichte und Schwägerin. Johannes der Täufer mußte seine Kritik an diesem Verhalten mit dem Leben bezahlen. Er wurde in Machaerus enthauptet. Später, im Jahr

Scaurus plundered its environs, not withdrawing until he had received a ransom of three hundred talents. The vain general commemorated this supposed victory by minting a medal that showed Aretas III kneeling before his camel and begging for peace. The legates of the province acted similarly to Scaurus, regularly entering Petra to impose taxes on the Nabataean kings. Nevertheless, the Nabataeans remained allies of the Romans and, in 47 BC, their king Malichos I (60–30 BC) sent cavalry to help Julius Caesar, who was in difficulties before the city of Alexandria. This did not prevent Malichos from siding later with Rome's enemies, the Parthians, because it was Nabataean policy to seek to maintain the balance of power in the Middle East.

When Marc Anthony followed Cleopatra to Egypt he deprived the Nabataean kingdom of Amman and its environs and imposed on it a tax of two hundred talents, which he presented to his mistress. Since Malichos was not prepared to continue paying this sum, Marc Anthony called upon Herod the Great to punish the Nabataean king, who defeated Malichos near Amman. Fortunately, the Battle of Actium (31 BC) put an end to the ambitions of Cleopatra who, together with her lover, subsequently took her own life. The Nabataeans revenged themselves on the queen by burning the ships that she had taken to the Gulf of Suez for safe-keeping.

In the Shadow of Rome

Augustus, who became ruler of Rome after the Battle of Actium, coveted the riches of Arabia Felix (Yemen and Aden), the land of spices. The Romans did indeed make extensive use of these luxury goods, which were as essential to the West then as 'black gold' is now. To achieve his ends, Augustus decided to use an army of ten thousand men, including one thousand Nabataeans, under the command of Gaius Cornelius Gallus, the prefect of Egypt. The Nabataean king Obodas III (30–9 BC) provided the expedition with a leader, in the person of his chief minister Syllaeus. The troops finally landed in 24 BC at 'Leukè Komè' (probably 'Ainunah on the eastern coast of the Red Sea) after sustaining heavy losses when many of their ships ran aground on reefs. With the greatest difficulty they reached Marsiaba in Saba (now Ma'rib in Yemen) but, decimated by disease, they turned back without having achieved their goal. Basing his account on information supplied by his friend Gallus, the geographer Strabo wrote a detailed description of this campaign. He blames Syllaeus for the defeat of the Roman general because 'he did not show Gallus the safest routes neither for the fleet at sea nor for the army on land'. As a result of other complaints Syllaeus was later condemned to death by Augustus. The Roman emperor subsequently diverted the spice trade, making the ships carry their precious cargo to the harbour of Myos Hormos on the Egyptian coast and thence along the Nile to Alexandria. Rome's taking control of this trade from the Nabataeans hit Petra's prosperity hard.

It was under these apparently difficult economic conditions that Aenas – who adopted the name Aretas – succeeded Obodas III as king of the Nabataeans. Yet Aretas IV's reign proved to be the most splendid in Nabataean history. He extended his power from Hegra in Doumat, Arabia, as far as the Negev and Hauran regions of Syria. Under Aretas IV Nabataean culture flourished as never before. Some twenty tombs in Hegra date from this period, as do al-Khazna, the temenos of Qasr al-Bint and the Temple of the Winged Lion in Petra.

37 n. Chr., rächte Aretas IV. die Ehre seiner Tochter, indem er die Armee des jüdischen Königs schlug. Kaiser Tiberius befahl daraufhin seinem Legaten Vitellius, den Nabatäer „lebend oder tot“ auszuliefern. Der Tod des römischen Kaisers hielt jedoch den General davon ab, diesem Befehl nachzukommen.

Über die Regierung von Malichos II. (40–70 n. Chr.) ist wenig bekannt, außer daß er Kaiser Vespasian während der jüdischen Revolte 69 n. Chr. unterstützte. Seine Frau Shaqilat II. (70–76 n. Chr.) übernahm nach seinem Tod bis zur Mündigkeit ihres Sohnes, Rabels II., die Regierung. Dieser letzte König der Dynastie verlegte seine Hauptstadt, offenbar aus wirtschaftlichen Gründen, nach Bosra (Bostra) im Hauran: Einerseits machten die reichen Ebenen des Hauran, die Kornkammer Roms, den Verlust des Gewürzhandels wett und andererseits befand sich die neue Hauptstadt in einem Netz wichtiger Handelsrouten, die vom persisch-arabischen Golf und Zentralarabien zum Wadi as-Sirhan führten. Die neuesten Ausgrabungen der Universität von Paris haben die Zugehörigkeit der großen Pforte zur Regierung Rabels II. bestätigt, doch warten noch weitere nabatäische Monumente im Ostviertel der Stadt darauf, freigelegt zu werden.

Im Jahr 106 n. Chr. nahm Kaiser Trajan bei seinen Vorbereitungen für den Krieg gegen die Parther das nabatäische Königreich wie es scheint ohne Gewalt ein und schuf die „Provincia Arabia“. Er machte Bosra (Bostra) zur Hauptstadt der neuen Provinz, bezeugte aber Petra seinen Respekt, indem er der Stadt den ehrenvollen Titel „metropolis“ verlieh, was durch eine griechische Inschrift auf den Stufen der oberen Agora bezeugt ist. Nach dem Besuch Kaiser Hadrians im Jahre 130 n. Chr. nahm sie den Namen „Hadriana Petra“ an. Der Kaiser, der in Jarash eine architektonische Blüte ausgelöst hat, scheint jedoch in Petra keine wichtigen Monumente hinterlassen zu haben. Sein Legat Sextius Florentinus ließ sich von seinem Sohn am Ende der Reihe der großen Monumente von al-Khubtha, die allgemein der königlichen Familie zugeschrieben werden, ein Grab aus dem Felsen meißeln. Nach dem Zeugnis der am Westufer des Toten Meeres gefundenen Papyri wickelte auch ein anderer hadrianischer Legat im Jahre 125 n. Chr. in Petra seine Regierungsgeschäfte ab.

Eine an Liber Pater, den Schutzgott von Kaiser Septimius Severus, gerichtete Inschrift, die im Temenos des Tempels in Petra gefunden wurde, bezeugt das Interesse, das auch dieser Kaiser an Petra gewonnen hatte. Ein in dieser Epoche wiederverwendetes nabatäisches Grab, das gegenüber von al-Khazna ausgegraben wurde, enthielt einen Dinar mit seinem Bildnis und verschiedene aus seiner Regierungszeit stammende Keramiken. Eliogabalus (218–222 n. Chr.) verlieh der Stadt den Titel „Colonia Romana“, und später, als Diokletian (284–305 n. Chr.) den Osten neu ordnete, wurde das Territorium von Petra bis zum Fluß Arnon (Wadi Mudjib), der Negev und ein Teil der Sinaihalbinsel der Provinz Palästina einverleibt. Damals, am Anfang des 4. Jahrhunderts, wurden die ersten Christen der Stadt verfolgt.

Die byzantinische Epoche (324–636 n. Chr.)

Tatsächlich hat das Christentum in Petra nur schwer Fuß fassen können, denn im 4. Jahrhundert beschreibt der aus dem Süden Palästinas stammende hl. Epiphanius in seinem „Panarion“ den Kult des Dusares, der von der Jungfrau von Kaabou geboren und im Idoleion der Stadt gefeiert wurde. Zu Beginn des 5. Jahrhunderts wurde dem syrischen Mönch Barsauma verboten, die Stadt, die unter Trockenheit litt, zu betreten, ohne ein Regen-

On friendly terms with his neighbours in Palestine, Aretas IV gave the hand of his daughter in marriage to the Jewish king Herod Antipas, son of Herod the Great. This insignificant king, however, divorced his Nabataean wife to marry Herodias, his niece and sister-in-law. John the Baptist paid with his life for criticizing this act, Herod Antipas having him beheaded at Machaerus. Later, in AD 37, Aretas IV revenged his daughter's honour by defeating Herod's army. Thereupon the Roman emperor, Tiberius, commanded his legate Vitellius to take the Nabataean king 'dead or alive'. The emperor's death, however, diverted Vitellius from carrying out this order.

Little is known of the reign of Malichos II (40-70 AD), except that he provided Emperor Vespasian with reinforcements during the Jewish revolt in the year 69. After Malichos' death his wife, Shaqilat II, reigned from 70 to 76, until their son Rabel came of age. Rabel, who was the last king of the Nabataeans, transferred his capital from Petra to Bostra (Bosra) in the Hawran, a move that seems to have been dictated by economic factors. On the one hand, the rich planes of the Hawran – the granary of Rome – compensated for the loss of the spice trade and, on the other, the new capital was located in a web of important trade routes leading from the Persian (or Arabian) Gulf through central Arabia to the Wadi as-Sirhan. The recent excavations carried out by the University of Paris confirmed that the large gate in Bostra (Bosra) belonged to the reign of Rabel; further Nabataean monuments await uncovering in the eastern parts of the town.

In 106, while preparing for war against the Parthians, the emperor Trajan annexed the Nabataean kingdom, apparently without using force, and created the province of Arabia. He made Bostra (Bosra) its capital, but showed his respect for Petra by granting it the privileged name of 'metropolis', as indicated by a Greek inscription on the steps of the upper agora. Following a visit by Emperor Hadrian in 130, Petra adopted the name 'Hadriana Petra'. The emperor, under whom architecture flourished in Jarash, seems to have left behind no notable monuments in Petra. However, Hadrian's legate, Sextius Florentinus, commissioned his son to have a tomb for himself hewn out of the rock at the end of the great series of monuments at al-Khubtha, a group of tombs generally taken for that of the Nabataean royal family. Moreover, on the evidence of the papyrus scrolls found on the western shore of the Dead Sea, in the year 125 another legate of Hadrian's was attending to his governmental duties in Petra.

An inscription found in the temenos at Petra and addressed to Liber Pater, the tutelary god of Emperor Septimius Severus, bears witness to the emperor's interest in the city. During his reign a Nabataean tomb, excavated opposite of al-Khazna, must have been re-used, because a dinar bearing his portrait was discovered there along with various pieces of pottery of the same period. Eliogabalus (218–222) granted the city the title Colonia Romana and later, in the course of the reorganization of the Middle East undertaken by Emperor Diocletian (284–305), Petra territory as far as the River Arnon (Wadi Mudjib) along with the Negev and a section of Sinai became part of the province of Palestine. It was at this moment in the early fourth century that the first Christians in Petra were subjected to persecution.

The Byzantine Era (324–636)

Actually Christianity found it difficult to gain a footing in Petra, for in the fourth century St. Epiphanius, who came from southern Palestine, described in his Panarion the cult of Dusares, who

wunder zu vollbringen. Dennoch wurde Petra gegen 358 n. Chr., zur Zeit Konstantins II. Metropole von „Palästina Salutaris“, einer Verwaltungseinheit, die aus der Zeit Diokletians stammte. Im Jahr 447 n. Chr. verwandelte Bischof Jason, Metropolit der Stadt, das dorische Grab in eine Kathedrale. Durch die kirchlichen Konzile sind die Namen mehrerer Bischöfe von Petra überliefert. Eine griechische Inschrift in Rabbat Moab, der Hauptstadt des Moab, weist jedoch darauf hin, daß nach der arabischen Eroberung 636 n. Chr. der Sitz der Metropolen dorthin verlegt worden war. Petra hatte also an Bedeutung eingebüßt, war aber nicht vollständig aufgegeben worden: Noch im Jahre 1812 stieß der Schweizer Johann Ludwig Burckhardt auf zwei von ihren Einwohnern kurz zuvor verlassene ehemalige christliche Dörfer, Debedbeh und Muheileh, bei Petra.

Das Mittelalter (12.–14. Jahrhundert)

Da sich Petra auf einer wichtigen strategischen Verteidigungslinie des lateinischen Königreichs von Jerusalem befand, erlebte es in der Zeit der Kreuzzüge wieder einen Aufschwung. 1116 errichtete Baudouin I. die Burg von Shaubak (Montréal), danach Burgen bei Wu'eirah und al-Habis (al-Aswit) nahe Petra sowie auf der Ile de Gray im Golf von 'Aqaba. Die „Franken“ scheinen sich aber nicht bewußt gewesen zu sein, daß sie die bedeutende Stätte des antiken Petra, die sie „Li vaux Moysse“ nannten, besetzt hatten.

Hatten überhaupt arabische Historiographen davon Kenntnis? 1225 erwähnt der Geograph Yaqut de Hama die Zitadelle as-Sela' bei Wadi Musa (das heutige Sela' zwischen Petra und Tafileh). Interessanter jedoch ist der Bericht des Chronisten Nuweiri, der einen Besuch des Sultans Baibars in Petra im Jahre 1276 in einer sehr bildhaften und präzisen Art und Weise beschreibt. Das Manuskript (1578) befindet sich in der Bibliothèque National in Paris. Aber es war erst Johann Ludwig Burckhardt, der Petra für Europa wiederentdeckt hat.

Anmerkungen

- 1 ANET, *Ancient Near Eastern Texts. Relating to the Old Testament*, Pritchard (Hrsg.), Princeton N.J. 1950, S. 262.
- 2 P. BIENKOWSKI, *The Beginning of the Iron Age in Southern Jordan*, in: *Early Edom and Moab*, P. Bienkowski (Hrsg.), Sheffield Arch. Monographs, 1992, S. 8.
- 3 A. MILLARD, *Assyrian Involvement in Edom*, in: *Early Edom and Moab* (wie Anm. 2), S. 35.
- 4 Ebd., S. 36.
- 5 S. HART, *Iron Age Settlement in the Land of Edom*, in: *Early Edom and Moab* (wie Anm. 2), S. 97.
- 6 F. VILLENEUVE, *Fouilles de Khirbet edh-Dharrah (Jordanie), 1984–85*, in: *CRAIBL*, avril–juin 1988, S. 463.
- 7 J. STARCKY, *Une Inscription Nabatéenne Provenant du Djof*, in: *R.B.*, 64, 1957, S. 215–17.
- 8 H. DONNER/W. RÖLLING, *Kanaanäische und Aramäische Inschriften*, Wiesbaden 1964, S. 179.
- 9 A. LEMAIRE, *Stèle de Meshah*, in: *La Voie Royale, 9000 ans d'art au Royaume de Jordanie*, Musée du Luxembourg, Paris 1986–87, S. 121.
- 10 C. M. BENNETT, *Excavations at Buseirah (Biblical Bazorah)*, in: *Median Moab and Edom*, J. F. A. Sawyer/D. J. A. Clines (Hrsg.), Sheffield 1983, S. 9–17.
- 11 Ebd., S. 16.
- 12 Ebd., S. 1.
- 13 J. BARTLETT, *Edom and the Edomites*, Sheffield 1989, S. 157.
- 14 A. LEMAIRE, *Les Inscriptions araméennes anciennes de Teima, sur*

was born of the virgin of Kaabou and was celebrated in the city's Idoleion, while in the fifth century the Syrian monk Barsauma was not permitted to enter the city, which was suffering from drought, unless he performed a rain miracle. Nevertheless, in 358, in the reign of the East Roman emperor Constantine II, Petra became the metropolitanate of Palestina Salutaris, an administrative entity that had existed in the time of Diocletian. In 447 Bishop Jason, metropolitan of the city, transformed its Doric tomb into a funeral church. Church councils have preserved the names of several bishops of Petra, yet a Greek inscription at Rabbat Moab, the capital of Moab, indicates that the metropolitanate had moved there in 636 in the wake of conquest by the Arabs. Petra had, then, declined in importance, but it was not completely deserted. In 1812 the Swiss traveller Johann Ludwig Burckhardt discovered two Christian villages, Debedbeh and Muheileh, whose inhabitants had emigrated to Kerak shortly beforehand.

The Middle Ages (12th–14th century)

For the Latin kingdom of Jerusalem, Petra laid on a strategically vital line of defence and the city therefore experienced a recovery during the Crusades. In 1116 Baldwin I erected the fortress of Shaubak (Karak de Montréal), subsequently, the two fortresses at Wu'eirah and al-Habis (al-Aswit) near Petra, as well as that on the Ile de Gray in the Gulf of 'Aqaba. The 'Franks', however, seem not to have realized that they had occupied an important site of antiquity, calling Petra 'Li vaux Moysse'. Did Arabian historiographers know? In 1225 the geographer Yaqut does at least mention the citadel as-Sela' near Wadi Musa (now Sela' between Petra and Tafileh). More interesting is a report in a chronicle by Nuwairi who describes the visit by Sultan Baybars in 1276 to Petra in a very detailed and colourful way (manuscript 1578 in the Bibliothèque Nationale, Paris). But it was only Johann Ludwig Burckhardt who for Europe rediscovered Petra.

Notes

- 1 ANET, *Ancient Near Eastern Texts. Relating to the Old Testament*, Pritchard ed., Princeton, N.J., 1950, p. 262.
- 2 P. BIENKOWSKI, 'The Beginning of the Iron Age in Southern Jordan', in *Early Edom and Moab*, P. Bienkowski ed., Sheffield Arch. Monographs, 1992, p. 8.
- 3 A. MILLARD, 'Assyrian Involvement in Edom', *Early Edom and Moab* (op. cit. note 2), p. 35.
- 4 *Ibid.*, p. 36.
- 5 S. HART, 'Iron Age Settlement in the Land of Edom', in *Early Edom and Moab* (op. cit. note 2), p. 97.
- 6 F. VILLENEUVE, 'Fouilles de Khirbet edh-Dharrah (Jordanie), 1984–85', *CRAIBL*, avril–juin 1988, p. 463.
- 7 J. STARCKY, 'Une Inscription Nabatéenne Provenant du Djof', *R.B.*, 64, 1957, pp. 215–217.
- 8 H. DONNER/W. RÖLLING, *Kanaanäische und Aramäische Inschriften*, Wiesbaden, 1964, p. 179.
- 9 A. LEMAIRE, 'Stèle de Meshah', *La Voie Royale, 9000 ans d'art au Royaume de Jordanie*, Musée du Luxembourg, Paris, 1986–87, p. 121.
- 10 C. M. BENNETT, 'Excavations at Buseirah (Biblical Bazorah)', in *Median Moab and Edom*, J. F. A. Sawyer/D. J. A. Clines (eds.), Sheffield, 1983, pp. 9–17.
- 11 *Ibid.*, p. 16.
- 12 *Ibid.*, p. 1.
- 13 J. BARTLETT, *Edom and the Edomites*, Sheffield, 1989, p. 157.
- 14 A. LEMAIRE, 'Les Inscriptions araméennes anciennes de Teima, sur

- les piste de Teima, in: *Présence arabe dans le Croissant Fertile Avant l'Hégire*, H. Lozachmeur (Hrsg.), Paris 1995, S. 61 f.
- 15 WINNETT/REED, *Ancient Records from North Arabia*, Toronto 1970, S. 99 f.
- 16 J. STARCKY, *Petra et la Nabaténe*, in: *Dict. De la Bible*, Suppl. VII, 1966, S. 900.
- 17 D. F. GRAF, *Nabataeans*, in: *The Anchor Bible Dictionary*, 4, Doubleday 1992, S. 970, IV.
- 18 A. KNAUF, *Nabataean Origins*, in: *Arabian Studies in Honour of Mahmoud Ghoul*, M. M. Ibrahim (Hrsg.), Wiesbaden 1984, S. 61–75.
- 19 J. T. MILIK, *Origines des Nabatéens*, in: *Studies in the History and Archaeology of Jordan*, I., Amman 1982, S. 261–265.
- 20 WINNETT/REED (wie Anm. 15), S. 89–93.
- 21 J. JAUSSEN/R. SAVIGNAC, *Mission Archéologique en Arabie*, II., Paris 1914, S. 221.
- 22 WINNETT/REED (wie Anm. 15), S. 120.
- 23 DIODORUS SICULUS, *The Library of History*, übersetzt von R. M. Geer, Loeb Classical Library, London, II, S. 48,5–6.
- 24 Ebd., XIX, S. 94.
- 25 Ebd., XIX, S. 93–96.
- 26 F. ZAYADINE, *Caravan Routes between Egypt and Nabataea and the Voyage of Sultan Baibars to Petra in 1276*, in: *Studies in the History and Archaeology of Jordan*, II., Amman 1985, S. 202 f. Der berühmteste Ort, an dem Panegyrien abgehalten wurden, ist Petra gewesen, wo ein Panegyriarches von Adraa mit Namen Sabinos Alexandros eine Widmung an seinen Gott im Siq hinterließ.
- 27 DIODORUS (wie Anm. 23), XIX, S. 95,1.
- 28 Ebd., XIX, S. 95,2.
- 29 Ebd., XIX, S. 98,1.
- 30 Ebd., XIX, S. 100 f.
- 31 A. NEGEV, *The Nabataeans and the Provincia Arabia*, in: ANRW, II, 8, Berlin/New York 1977, S. 527.
- 32 C. C. EDGAR/ZENON POPYRI, *Catalogue général des Antiquités égyptiennes du Musée du Caire*, I., Le Caire 1925, S. 406.
- 33 A. MUSIL, *Edom*, II., Wien 1907, S. 318 f.
- 34 N. GLUECK, *Explorations in Eastern Palestine*, III, AASOR, 65, 1937, pp. 197–205. – *The Other Side of the Jordan*, Cambridge, Mass., 1970, S. 197–209.
- 35 C. M. BENNETT, *Fouilles d'Umm el-Biyara*, in: *Revue Biblique*, 73, 1966, S. 402 f.
- 36 N. GLUECK, *Explorations in Eastern Palestine*, II, AASOR, Bd. XV, 1935, S. 49, 82.
- 37 HART (wie Anm. 5.), S. 93.
- 38 HAMAD QATAMINE, *al-lawha al-babilya al-muktashfa al-haditha fy qal'at al-Sela*, *The Babylonian Relief Recently Discovered at al-Sela' Fortress*, Paper presented at the Sixth Conference on the History and Archaeology of Jordan in Turino 1996. – A. GOGUEL, *Le relevé de la Stèle épigraphique de Sela' (Jordanie)*, in: *Proposition Technique*, Report on File at the Department of Antiquities, Amman 1996.
- 39 C. J. GADD, *The Harran Inscriptions of Nabonidus*, in: *Anatolian Studies*, 1958, S. 72–92, Pl. H2B.
- 40 M. SIAD BASSIM, *Soura haditha li-nabonaid, malik babel. A recently discovered representation of Nabonidus*, (manuscript), in: *Sumer*, 1–2, 1981, S. 67–71, Abb. 1.
- 41 M. LINDNER, *Edom outside the Famous Excavations: Evidence from Surveys in the Greater Petra Area*, in: *Early Edom and Moab* (wie Anm. 2), S. 145, n. 1.
- 42 ZAYADINE (wie Anm. 26), S. 167.
- 43 P. J. PARR, *Excavations at Petra, 1958–59*, in: *PEQ*, 1960, S. 130 f.
- 44 S. SCHMIDT, *Petra, antike Felsstadt zwischen arabischer Tradition und griechischer Norm*, Mainz 1997, S. 135–137.
- les piste de Teima', in *Présence arabe dans le Croissant Fertile Avant l'Hégire*, H. Lozachmeur (ed.), Paris, 1995, pp. 61 f.
- 15 WINNETT/REED, *Ancient Records from North Arabia*, University of Toronto, 1970, pp. 99 f.
- 16 J. STARCKY, 'Petra et la Nabaténe', in *Dict. De la Bible*, Suppl. VII, 1966, p. c. 900.
- 17 D. F. GRAF, 'Nabataeans', in *The Anchor Bible Dictionary*, 4, Doubleday, 1992, p. 970, IV.
- 18 A. KNAUF, 'Nabataean Origins', in *Arabian Studies in Honour of Mahmoud Ghoul*, M. M. Ibrahim (ed.), Wiesbaden, 1984, pp. 61–75.
- 19 J. T. MILIK, 'Origines des Nabatéens', *Studies in the History and Archaeology of Jordan*, I., Amman, 1982, pp. 261–265.
- 20 WINNETT/REED (op. cit. note 15), pp. 89–93.
- 21 J. JAUSSEN/R. SAVIGNAC, *Mission Archéologique en Arabie*, II., Paris, 1914, p. 221.
- 22 WINNETT/REED (op. cit. note 15), p. 120.
- 23 DIODORUS SICULUS, *The Library of History*, transl. by R. M. Geer, Loeb Classical Library, London, II, p. 48, 5–6.
- 24 Ibid., XIX, p. 94.
- 25 Ibid., XIX, pp. 93–96.
- 26 F. ZAYADINE, 'Caravan Routes between Egypt and Nabataea and the Voyage of Sultan Baibars to Petra in 1276', *Studies in the History and Archaeology of Jordan*, II., Amman, 1985, pp. 202 f. The most renowned site where panegyries were organized is Petra where a panegyriarches from Adraa, by the name of Sabinos Alexandros left a dedication to his god in the Siq.
- 27 DIODORUS (op. cit. note 23), p. 95, 1.
- 28 Ibid., XIX, p. 95, 2.
- 29 Ibid., XIX, p. 98, 1.
- 30 Ibid., XIX, pp. 100 f.
- 31 A. NEGEV, 'The Nabataeans and the Provincia Arabia', *ANRW*, II, 8, Berlin/New York, 1977, p. 527.
- 32 C. C. EDGAR/ZENON POPYRI, *Catalogue général des Antiquités égyptiennes du Musée du Caire*, I., Le Caire, 1925, p. 406.
- 33 A. MUSIL, *Edom*, II., Vienna, 1907, pp. 318 f.
- 34 N. GLUECK, 'Explorations in Eastern Palestine', III, *AASOR*, 65, 1937, pp. 197–205. – *The Other Side of the Jordan*, Cambridge, Mass., 1970, pp. 197–209.
- 35 C. M. BENNETT, 'Fouilles d'Umm el-Biyara', *Revue Biblique*, 73, 1966, pp. 402 f.
- 36 N. GLUECK, 'Explorations in Eastern Palestine, II', *AASOR*, Vol. XV, 1935, pp. 49, 82.
- 37 HART (op. cit. note 5), p. 93.
- 38 HAMAD QATAMINE, *Al-lawha al-babilya al-muktashfa al-haditha fy qal'at al-Sela'*, *The Babylonian Relief Recently Discovered at al-Sela' Fortress*, Paper presented at the Sixth Conference on the History and Archaeology of Jordan in Turino 1996. – A. GOGUEL, 'Le relevé de la Stèle épigraphique de Sela' (Jordanie)', *Proposition Technique*, Report on File at the Department of Antiquities, Amman, 1996.
- 39 C. J. GADD, 'The Harran Inscriptions of Nabonidus', *Anatolian Studies*, 1958, pp. 72–92, Pl. H 2 B.
- 40 M. SIAD BASSIM, 'Soura haditha li-nabonaid, malik babel. A recently discovered representation of Nabonidus' (manuscript), *Sumer*, 1–2, 1981, pp. 67–71, fig. 1.
- 41 M. LINDNER, 'Edom outside the Famous Excavations: Evidence from Surveys in the Greater Petra Area', in *Early Edom and Moab* (op. cit. note 2), p. 145, n. 1.
- 42 ZAYADINE (op. cit. note 26), p. 167.
- 43 P. J. PARR, 'Excavations at Petra, 1958–59', *PEQ*, 1960, pp. 130 f.
- 44 S. SCHMIDT, *Petra, antike Felsstadt zwischen arabischer Tradition und griechischer Norm*, Mainz, 1997, pp. 135–137.

Übersetzung aus dem Englischen ins Deutsche von Anna Wolsey

Abbildungsnachweis

MANFRED LINDNER, NÜRNBERG: Abb. 3
 FAWZI ZAYADINE, AMMAN: Abb. 2, 4
 ARCHIV DES AUTORS: Abb. 1, 5

Photo Credits

MANFRED LINDNER, NUREMBERG: Fig. 3
 FAWZI ZAYADINE, AMMAN: Figs. 2, 4
 ARCHIVE OF THE AUTHOR: Figs. 1, 5

Die nabatäischen Könige

Aretas I	170–160 v. Chr.
Aretas II	120–96 v. Chr.
Obodat I	96–85 v. Chr.
Rabel I	85–84 v. Chr.
Aretas III – Philhellenos	84–61 v. Chr.
Obodat II	61–60 v. Chr.
Malichus I	60–30 v. Chr.
Obodat III	30–9 v. Chr.
Syllaios	9–6 v. Chr.
Aretas IV – Philodemos	9 v. Chr.–40 n. Chr.
Malichus II	40–70 n. Chr.
Shaqilat II	70–76 n. Chr.
Rabel II	70–106 n. Chr.

The Nabataean Kings

Aretas I	170–160 BC
Aretas II	120–96 BC
Obodat I	96–85 BC
Rabel I	85–84 BC
Aretas III – Philhellenos	84–61 BC
Obodat II	61–60 BC
Malichus I	60–30 BC
Obodat III	30–9 BC
Syllaios	9–6 BC
Aretas IV – Philodemos	9 BC–40 AD
Malichus II	40–70 AD
Shaqilat II	70–76 AD
Rabel II	70–106 AD



Das Rahmenkonzept für die Restaurierung der Grabfassaden in Petra

The Basic Preservation Concept for the Tomb Façades in Petra

Das außergewöhnliche Vermächtnis der Nabatäer, welchem die Erhaltungsbemühungen des deutsch-jordanischen Projekts gelten, sind die Fassaden ihrer Grabanlagen. Sie sind in die Felswände von Petra gemeißelt und vermitteln uns die Vorstellung einer Architektur, die fast vollständig verschwunden ist. Das gesamte ehemalige Stadtgebiet von Petra, das ca. 880 inventarisierte Monumente umfaßt, ist so einmalig, daß es in die Liste des Weltkulturerbes der UNESCO aufgenommen wurde. Dieser Liste liegt der Gedanke zugrunde, daß die wichtigsten Monumente der Erde nicht nur nationales Besitztum, sondern geistiges Eigentum der gesamten Menschheit, also aller Nationen sind, die dadurch auch eine Mitverantwortung für deren Erhaltung tragen. Diesem Gedanken wird auch schon in der Einleitung zur Internationalen Charta von Venedig über die Konservierung und Restaurierung von Denkmälern 1964 deutlich Ausdruck verliehen: „Die Menschheit, die sich der universellen Geltung menschlicher Werte mehr und mehr bewußt wird, sieht in den Denkmälern ein gemeinsames Erbe und fühlt sich kommenden Generationen gegenüber für ihre Bewahrung gemeinsam verantwortlich. Sie hat die Verpflichtung, ihnen die Denkmäler im ganzen Reichtum ihrer Authentizität weiterzugeben.“ Dies ist letztlich auch einer der Gründe, warum sich die Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch die Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), in Jordanien engagiert hat. Das von Helge Fischer geleitete deutsch-jordanische Projekt hat zum Ziel, die fachliche Kompetenz und die technischen Möglichkeiten der einschlägigen Institutionen in Jordanien so zu verbessern, daß sie instand sind, die Konservierungs- und Restaurierungsarbeiten in Petra selbständig zu planen, zu beaufsichtigen und durchzuführen. Um dieses Ziel zu erreichen, wird ein funktionstüchtiges „Konservierungs- und Restaurierungszentrum in Petra“ (CARCIP) aufgebaut, das im Sinne einer Dombauhütte in den kommenden Jahrzehnten instand sein soll, die sukzessive Instandsetzung und fortlaufende Pflege der Felsfassaden durchzuführen. Die Größe des Areals und die hohe Anzahl der Monumente machen die Einrichtung einer solchen dauernd für dieses Weltkulturdenkmal verantwortlichen Institution zwingend erforderlich. Das Bayerische Landesamt für Denkmalpflege, repräsentiert durch den Autor dieses Beitrags, wurde von der GTZ als beratende Fachinstitution beigezogen. Es ist die führende Institution auf dem Gebiet der Denkmalpflege in der Bundesrepublik Deutschland, verfügt in allen Fachgebieten über speziell ausgebildete Restauratoren und in seinem chemisch-physikalischen Zentrallabor über eine 25jährige Erfahrung auf dem Gebiet der Sandsteinkonservierung. Im Rahmen des Projekts hat das Bayerische Landesamt für Denkmalpflege die Aufgabe der Beratung und Unterstützung in allen denkmalpflegerischen und restauratorischen Fragen übernommen, der fachlichen Fortbildung jordanischer Partner in Deutschland, der Vermittlung fachlicher Kontakte aller Art einschließlich der Empfehlung von Fachleuten als Kurzzeitexperten nach Jordanien, der Betreuung

The outstanding architectural heritage of the Nabataeans, subject of the present preservation efforts by the German-Jordanian project, are the façades of their tombs carved into the mountains of Petra. They give us an idea of an architecture which is by now nearly entirely lost. The whole area of the ancient city of Petra, with its approximately 880 listed monuments, is so important and exceptional, that it was included into the World Cultural Heritage List of UNESCO, which is based – as we know – on the idea that the most important monuments on earth are not only national property, but rather the spiritual possession of all mankind and that consequently all nations should be responsible for their maintenance. This opinion was already expressed in the introduction to the International Charter of Venice for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites in 1964: ‘Mankind is becoming more and more aware of the universal prevalence of human values, regards ancient monuments a common heritage and feels commonly responsible to safeguard them for future generations. Its duty is to pass them on to them in the full richness of their authenticity.’ This is one of the reasons why the Federal Republic of Germany, represented by the German Agency for Technical Cooperation (GTZ), is engaged in Jordan. The prime purpose of the German-Jordanian project, which is directed by Helge Fischer, is to enable appropriate Jordanian institutions to plan, supervise and execute conservation and restoration work in Petra independently. To achieve this aim an operating Conservation and Restoration Center is to be established in Petra (CARCIP), which – like the workshops of the big cathedrals in Europe – should be exclusively responsible for the preservation work and caretaking for the rock façades in the future. The dimensions of the area and the high number of monuments demand the establishment of an institution which is continuously responsible for this World Cultural Heritage Site. The Bavarian State Department of Historical Monuments – represented by the author of this contribution – was asked to participate in the project as an advisory institution. The Bavarian State Department of Historical Monuments is the leading institution in the field of the preservation of monuments within the Federal Republic of Germany. Here restorers specialized in all fields of restoration and a chemical-physical laboratory, engaged in sandstone conservation for 25 years already, work side by side. The main tasks of the Bavarian State Department of Historical Monuments within the outlines of the project are the support and advise in all questions concerning conservation and restoration, the training of the Jordanian partners in Germany, the mediation of all kinds of relevant contacts including the recruitment of specialists as short term

◁

Abb. 1. Senkrechter Kluftverlauf durch das gesamte Monument
Fig. 1. Vertical cleft through the monument

von Informationsbesuchen jordanischer Fachleute in Deutschland etc.

Grundlagen des Restaurierungskonzepts

Die komplexe Problematik der ungewöhnlichen Erhaltungsaufgabe in Petra erforderte das Ausschöpfen aller auf dem Gebiet der Sandsteinkonservierung bisher gemachten Erfahrungen und Forschungsergebnisse sowie das interdisziplinäre Zusammenwirken von einschlägig befähigten Fachleuten, wie Denkmalpflegern, Restauratoren, Bauforschern, Altertumswissenschaftlern, Mineralogen, Chemikern und Geologen, eine Notwendigkeit, welche ebenfalls 1964 in Artikel 2 der Charta von Venedig formuliert worden war: „Konservierung und Restaurierung der Denkmäler bilden eine Disziplin, welche sich aller Wissenschaften und Techniken bedient, die zur Erforschung und Erhaltung des kulturellen Erbes beitragen können.“

Die Monumente teilen alle Eigenschaften des jeweiligen Felsmassivs, in welches sie eingearbeitet sind. Sie sind teilweise von Klüften durchzogen und bestehen, entsprechend ihrer Höhe oder ihrer Höhenlage in den Bergen, jeweils aus den verschiedenen lithologischen Schichten, welche den Gesteinsaufbau der Bergmassive kennzeichnen. Außerdem nehmen sie am Wasseraustausch der Felsmassive teil, in dem nicht nur aufsteigende Feuchtigkeit und Niederschlagswasser von Bedeutung ist, sondern auch mit Wasser gerechnet werden muß, welches über wasserführende Schichten aus dem Inneren des Berges in die Fassadenarchitektur gelangt. Diese Felsarchitektur ist daher zum Teil anderen Gesetzmäßigkeiten unterworfen als Bauwerke aus Werkstein und deshalb auch wesentlich weniger manipulierbar. Seit der Aufgabe der Stadt Petra in der Spätantike ist – bis auf die Rekonstruktion einer Säule von al-Khazna, der Anastylose des Qasr al-Bint und der Ergänzung der Substruktionen des Urnengrabes in den 60er Jahren dieses Jahrhunderts (Abb. 2) – dem natürlichen Verfall und den sich fortschreitend multiplizierenden Schäden nie mehr wirksam begegnet worden. Vornehmste Aufgabe von Konservierungsmaßnahmen muß und kann es daher auch nur sein, soweit als möglich eine Verlangsamung des Verfalls zu erreichen durch Minderung der Schadensursachen und Verbesserung der statischen Struktur der Fassaden, um damit zu einer längerfristigen Erhaltung des bedeutenden Kulturdenkmälerbestandes beizutragen.

Die positiven, aber auch negativen Erfahrungen der letzten Jahrzehnte im Bereich der Restaurierung haben zu den im folgenden angeführten grundsätzlichen Forderungen moder-

experts to Jordan, the organisation and caretaking for delegations from Jordan or the studies of Jordanian experts in Germany.

Principles of the Restoration Concept

The complex problems of the exceptional preservation venture in Petra called for a mobilization of all experiences and a combination of all results from research projects in the field of sandstone preservation as well as for an interdisciplinary collaboration of conservators, restorers, specialists in architectural investigation, art historians and archeologists, mineralogists, chemists and geologists, a necessity that has long been recognized and already been formulated in article 2 of the Charter of Venice in 1964: ‘The conservation and restoration of monuments must have a recourse to all sciences and techniques, which can contribute to the study and safeguarding of the architectural heritage.’

The monuments share the physical properties of the surrounding natural rock, into which they were carved. Joints running through the rocky formation are crossing their façades which consist, depending on their height or their position within the mountainside, of those lithological layers, which characterize the stone structure of the region. They take part in the waterhousehold of the rocks, which means that they suffer not only from hygroscopic humidity and rain water, but also from water coming from within the mountain. Rock façades are therefore subjected to other conditions than constructed monuments and can consequently not be manipulated as such. Besides the reconstruction of one column of al-Khazna, of the anastylosis of Qasr al-Bint and the insets at the substructures of the Urn Tomb in the sixties (fig. 2), nothing has been done against the natural decay of the monuments and the accumulation of damages since the city was abandoned in late antique times. The most important objective of all possible preservation measures must therefore be – and can only be – to slow down deterioration as much as possible through the improvement of the static structure of the façades as well as the elimination of the causes of deterioration in order to contribute to a sustainable preservation of this important cultural heritage site.

The positive as well as the negative experiences of the past decades in the field of restoration have led to basic claims of modern conservation science, which should be integrated in all preservation concepts and considered before starting a new restoration campaign in regard to its realizability. The main arguments are:



Abb. 2. Urnengrab, Aufnahme von 1996 mit ergänzter Substruktion

Fig. 2. Urn Tomb, photo from 1996 with sub-
struction completed

ner Denkmalpflege geführt, die bei der Erarbeitung von Erhaltungs- und Instandsetzungskonzepten einzubringen und vor jeder Restaurierung auf ihre Realisierbarkeit hin zu überprüfen sind:

1. Jede Restaurierung muß sich auf gründliche Voruntersuchungen stützen, wie dies in Artikel 9 der Charta von Venedig gefordert wird: „Zu einer Restaurierung gehören vorbereitende und begleitende archäologische, kunst- und geisteswissenschaftliche Untersuchungen.“ Je gründlicher die Erfassung des überlieferten Bestandes und der Schadensursachen und je genauer die Feststellung der Schäden ist, desto verlässlicher kann die Diagnose und desto wirksamer, schonender und sachgerechter kann die Behandlung, d. h. die Instandsetzung, sein. Das bedeutet, daß der Denkmalpfleger nicht anders als ein Arzt vorzugehen hat, der keine Behandlung beginnen, keine Medizin verabreichen wird, ohne über den Patienten und seine Krankheit Bescheid zu wissen. Wenn er die Untersuchungen vor einer Behandlung vernachlässigt und einem Patienten Schmerzmittel verschreibt, der an Blinddarmentzündung leidet, wird er sein Leiden nicht lindern, sondern den Patienten möglicherweise verlieren. Damit soll nur gesagt sein, daß die Entwicklung eines verlässlichen Konservierungskonzepts das Ergebnis der Bemühungen und des Fachwissens von Spezialisten ist, die ihre Entscheidungen aufgrund gültiger Standards, der Untersuchungsergebnisse und persönlicher Erfahrung auf diesem Gebiet treffen.

2. Alle Arbeiten an einem Denkmal müssen dokumentiert werden. Auch dies wurde in Artikel 16 der Charta von Venedig gefordert: „Alle Arbeiten der Konservierung, Restaurierung und archäologischen Ausgrabung müssen immer von der Erstellung einer genauen Dokumentation in Form analytischer und kritischer Berichte, Zeichnungen und Photographien begleitet sein. Alle Arbeitsphasen sind hier zu verzeichnen: Freilegung, Bestandssicherung, Wiederherstellung und Integration sowie alle im Zuge der Arbeiten festgestellten technischen und formalen Elemente.“ Für die Zukunft wird die Dokumentation von heute zur Geschichtsquelle über das Denkmal. Diese ist Orientierungshilfe für die Restaurierungen oder die Pflegemaßnahmen von morgen. Arbeiten, die nicht dokumentiert worden sind, werden vergessen, eine zukünftige Restaurierung muß mit allen Untersuchungen von vorne beginnen, kontinuierliche Pflegemaßnahmen sind ohne Aufzeichnung, was jeweils bereits gemacht worden ist, nicht möglich.

3. Der Respekt vor den Leistungen der Vergangenheit gebietet, daß grundsätzlich so wenig als möglich und nur so viel als nötig getan wird. Es handelt sich darum, das richtige Maß der Eingriffe zu finden. Schäden und ihre Ursachen sollen so weit als möglich behoben werden, um den Erhalt der Denkmäler zu sichern, in jedem Fall aber so geartet sein, daß die unverfälschte Überlieferung des historischen Originals gewährleistet ist. Um die Authentizität der Denkmäler zu wahren, müssen restauratorische Eingriffe vornehmlich unter dem Gesichtspunkt der Erhaltung vorgenommen werden, also restauratorisch – technisch begründbar sein. Je mehr an einem Monument restauriert und verändert wird, desto mehr wird seine historische Aussage schwinden. Je mehr Fehler gemacht werden, desto mehr muß wieder unternommen werden, um sie – wenn überhaupt möglich – wieder zu korrigieren.

4. Jede Restaurierung muß objektgerecht, d. h. aus der materiellen Beschaffenheit und künstlerischen Eigenart des Denkmals abgeleitet und auf den speziellen Einzelfall abgestimmt sein.

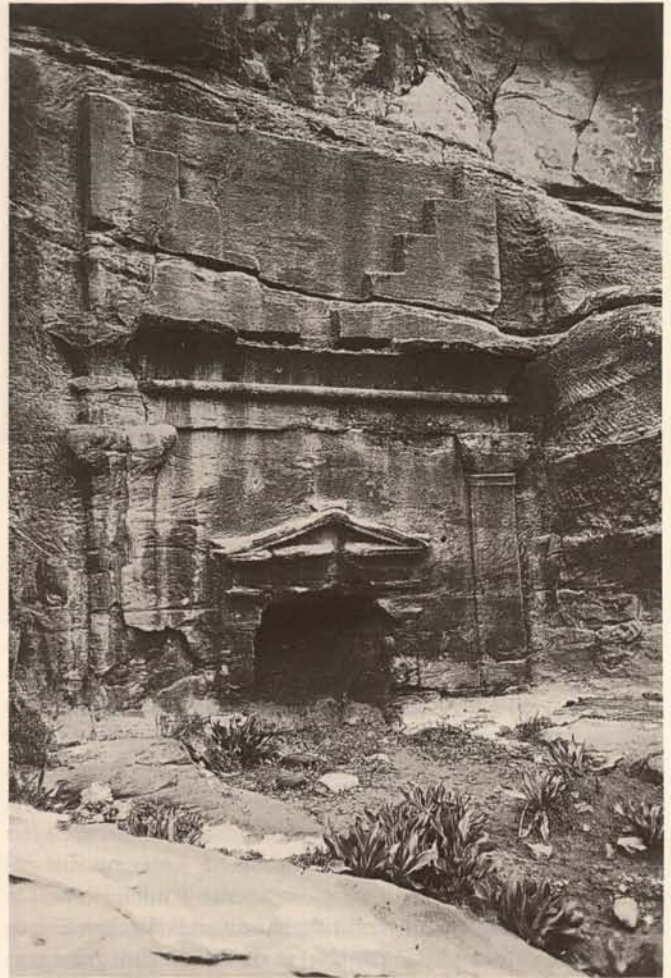


Abb. 3. Horizontaler Kluftverlauf im Treppengiebel
Fig. 3. Horizontal cleft in crow-step-pediment

1. Each restoration measure has to be prepared by a thorough study of the historical monument as it has been claimed in article 9 of the Charter of Venice: ‘The restoration in any case must be preceded and followed by an archaeological and historical study of the monument.’ The more complete the inventarisation of the characteristics of the monument, the assessment of the causes of decay and the identification of the damages is, the more reliable the diagnosis and the more efficient, careful and competent the restoration work will be. This means that the cultural resources manager should act in the same way as a physician does who will not begin a cure or start a medication without being well informed about his client and his client’s disease. If he neglects the examination before starting a treatment and prescribes a pain killer when his client actually suffers from an appendicitis, he will not cure the disease but rather lose his patient. What needs to be stressed in this respect is the fact that a reliable conservation concept is the result of the efforts and expertise of specialists who take their decisions based on known and established standards, the results of thorough examination and personal experiences in this field.

2. All conservation and restoration work at a monument must be documented. This has also been claimed in the Charter of Venice, article 16: ‘In all works of preservation, restoration or excavation, there should always be precise documentation in the form of analytical and critical reports, illustrated with drawings and photographs. Every stage of the work of clearing, consoli-



Abb. 4. Löwengrab, Riß an der Trennlage zweier Gesteinsschichten
 Fig. 4. Lions Tomb, crack following the line between two lithological layers

5. Die bei der Restaurierung eingesetzten Materialien sollen grundsätzlich den historischen Materialien entsprechen oder zumindest mit dem vorhandenen Materialbestand kompatibel sein. Die Verwendung nicht kompatibler Materialien ist oft die Ursache von manchmal sogar irreversiblen Schäden. Mineralische Substanzen z. B. vertragen sich mit Sandstein besser als Kunstharze, weil sie dem ähnlichen Materialverband angehören. Zement ist nicht kompatibel mit Sandstein und verursacht physikalisch als auch chemisch ernste Probleme wo er im Zusammenhang mit historischen Bauten verwendet worden ist, weil er härter als der Sandstein ist und durch seine alkalischen Eigenschaften schädliche Salze (Nitrate) in das Monument gelangen.

6. Die bei der Restaurierung angewandten Techniken sollen so weit als möglich den historischen Techniken entsprechen, um einer Verfremdung vorzubeugen. Dabei geht es vor allem um sinnvolle handwerkliche Reparaturen, die den alten Strukturen und besonders auch Oberflächen angepaßt sind. Der Einsatz moderner Techniken sollte auf besondere Fälle beschränkt bleiben, wenn die Schäden durch eine herkömmliche Reparatur nicht behoben werden können oder dadurch wesentliche Denkmalqualitäten zerstört würden. „Wenn sich die traditionellen Techniken als unzureichend erweisen, können zur Sicherung eines Denkmals alle modernen Konservierungs- und Konstruktionstechniken herangezogen werden, deren Wirkung wissenschaftlich nachgewiesen und durch praktische Erfahrungen erprobt ist.“ (Charta von Venedig Art. 10). Allerdings sind in dem besonderen Falle Petras dem Einsatz moderner Konservierungstechniken insofern Grenzen gesetzt, als die Monumente Teil eines Naturzusammenhangs und vollständig in diesen integriert sind.

7. Wenn irgend möglich, sollen die Restaurierungsmaßnahmen reversibel, d. h. ohne Schaden für die historische Substanz der Monumente wieder rückgängig zu machen sein. Es wird häufig angewendet, daß es gar nicht wünschenswert wäre, eine Restaurierung, die zur Sicherung eines Monumentes durchgeführt wurde, wieder rückgängig machen zu wollen. Die Vergangenheit hat aber gezeigt, daß Materialien mit schädlicher Auswirkung, die heute nicht mehr entfernbar sind, häufig aus falscher Einschätzung in Kunstwerke eingebracht oder Techniken angewandt wurden, deren Auswirkungen heute kaum mehr reparabel sind. Außerdem kann es notwendig werden, daß durchgeführte Maßnahmen aufgrund weiterer Schadenseinflüsse oder unzureichender bzw. fehlerhafter Applikation noch nicht dauerhaft sind bzw. wiederholt oder erneuert werden müssen. Es

dation, rearrangement and integration, as well as technical and formal features identified in the course of the work, should be included.' For the future the documentation of today will be a historical source on the monument and an orientation for the restoration or maintenance work to come. Interventions which have not been documented will be forgotten. Future restoration must start from the beginning with all investigations. Continuous measures of maintenance are not possible without reports of what has been done before.

3. The respect for the achievements of the past imposes principally that as little as possible and only as much as necessary should be done, which means that the adequate measure of intervention has to be found. Damages and their causes should be eliminated and at the same time the authentic preservation of the historical original be guaranteed. In order to preserve the authenticity of the monument, restoration measures should be planned and executed in regard to conservation principles rather than aesthetics, which means that interventions should primarily be justifiable by technical and conservatory arguments. The more a monument will undergo restoration and alteration, the more its authenticity will disappear. The more mistakes are committed, the more has to be done in order to correct them, if this should be possible at all.

4. Restoration work has to be accomplished conforming to the physical qualities and the artistic peculiarity of the monument and to be adapted to each singular case.

5. The materials applied should correspond to the historical materials, or at least be compatible to them. The use of incompatible materials is often the cause of irreversible damage. Mineral substances for instance work better with sandstone than artificial resins because of the similarities of their material property. Cement is incompatible with sandstone and poses chemically and physically serious problems in most cases when applied to ancient monuments. This is due to the fact that it is harder than sandstone and its alkaline properties support the transfer of harmful salts into the monument.

6. The techniques applied should match – as far as possible – the historical techniques in order to avoid changes in the character of the monument. The issue is intelligent workmanlike repair well adapted to the old construction and especially to the old surfaces. The use of modern techniques should be restricted to special cases where damages cannot be adjusted by using the traditional way of repair or where essential qualities of the monument would thereby be destroyed: 'Where traditional techniques prove inadequate, the consolidation of a monument can be achieved by the use of any modern technique for conservation and construction, the efficacy of which has been shown by scientific data and proved by experience.' (Charter of Venice, Article 10). But in the special case of Petra the use of modern restoration techniques is certainly limited in so far as the monuments are part of their natural environment and entirely integrated into it.

7. The measures taken for restoration should, as far as possible, be reversible, i. e. be removable without causing any damage to the historical substance of the monument. Very often people object, because they cannot see any sense in the claim to remove something again, which was carried out for the consolidation of the monument. But we have learned from the past that far too often, because of insufficient knowledge, materials with harmful after-effects were applied, which cannot be removed and that techniques were applied, the results of which are not repairable any more. It might happen furthermore that some inter-

ist daher ratsam, Restaurierungsmaßnahmen so vorzunehmen, daß deren Resultate, wenn sie sich als nicht verträglich erwiesen haben, wieder ohne Schaden entfernt werden können. Allein schon der Grad der Reversibilität einer Maßnahme gibt Auskunft über den Grad des schonenden Mitteleinsatzes bzw. wie stark auf ein Denkmal eingewirkt worden ist.

Das zu erarbeitende Restaurierungskonzept mußte also die Gegebenheiten in Petra berücksichtigen, den Monumenten entsprechen und den Forderungen und Erkenntnissen der modernen historisch-wissenschaftlich ausgerichteten Denkmalpflege Rechnung tragen. Materialien und Methoden waren so zu wählen, daß sie sich natürlich und harmonisch in die gewachsene Umgebung einfügen, d. h. keinesfalls als Störfaktor in Erscheinung treten.

Schäden

Die vorhandenen Schäden haben vornehmlich drei Ursachen: Erdbeben, Verwitterung, und mangelnden Unterhalt.

Klüfte und Spalten ziehen sich, verursacht durch tektonische Bewegungen der Gesteinsschichten, durch den Felsen. Ein Monument hat in der Regel nur ausschnittsweise Anteil an solch einem Klüftverlauf, der sich meist an beiden Seiten über die Begrenzung des Monuments hinaus im Felsen fortsetzt (Abb. 1, 3). Risse sind oft an der Grenze zweier verschiedener Gesteinsschichten entstanden (Abb. 4) oder durch Veränderungen der statischen Verhältnisse (Abb. 5, 6). Häufig verlaufen sie in spitzen Winkeln zueinander und haben so zu schwerwiegenden und großvolumigen Abscherungen von Fassadenteilen geführt. Hauptursache dürften Erschütterungen durch Erdbeben gewesen sein, in deren Folge es zu Ausbrüchen in den Fassaden kam, die wiederum zu neuerlichen Veränderungen der statischen Verhältnisse führten. Feinrisse sind im Unterschied dazu vornehmlich in der Oberfläche der Gesteinsschichten entstanden.

Fehlstellen gibt es vor allem durch abgescherte Blöcke architektonischer Gliederungselemente (Abb. 7), durch Absplitterungen in den Gesimsen (Farbtafel VI. 3), aber auch in Form von großvolumigen Ausbrüchen, die dem Einsturz ganzer Fassadenteile gleichkommen. Wie alte Aquarelle zeigen, haben diese schon im 19. Jahrhundert bestanden und dürften weit in die Vergangenheit Petras zurückgehend, alte Erdbebenschäden sein (Abb. 8, 9). Abgescherte Partien haben plastisch vorspringende Architekturteile ohne Stütze zurückgelassen. Durch Ausbrüche in den Gesimsen läuft Niederschlagswasser, welches ursprünglich über die Gesimskanten abgetropft ist, über die handwerklich bearbeiteten Fassaden und führt dort zu Auswaschungen und Versinterungen (Abb. 10).

Reliefbildung gibt es in vielerlei Form: Durch Absanden mit Kornverlust an der Oberfläche (Farbtafel VI. 4; XI. 4); durch tiefgreifende Verwitterung, die zu ausgesprochenen Mürbzonen geführt hat; durch Massenabtrag, der durch die Anwesenheit von Salzen verursacht ist und über Jahrhunderte zu einem Totalverlust der gestalteten Architektur und zu einem vollkommen amorphen Aussehen der betroffenen, namentlich der unteren Fassadenteile, geführt hat (Abb. 11, 12, Farbtafel VI. 1, 2); durch Schalenbildung, die zu klein- bis großformatigen Abplatzungen führt (Farbtafel VI. 5); durch Alveolarverwitterung mit zahlreichen, immer größer werdenden Kavernen (Abb. 13, 14); durch die Bildung von Mulden in allen horizontalen oder annähernd horizontalen Oberflächen, in denen Niederschlagswasser stehen bleibt, das langsam durch den Stein sickert und in die unmittelbar darunter befindlichen Fassadenbereiche eindringt. Durch



Abb. 5. Urnengrab, Peristyl, schrägverlaufender tektonischer Riß mit Absplitterung im Gebälk

Fig. 5. Urn Tomb, peristyl, diagonal tectonic fissure with splintering in the cornice

ventions which have already been realized have to be renewed, either because they suffered from further deteriorating influences or because they did not prove to be durable because of mistakes made during their application. Therefore it seems advisable to implement restoration measures in such a way that they can be eliminated if the results prove to be harmful to the monument. Even the degree of reversibility of a restoration measure can be an indication how intensively or carefully a monument has been treated.

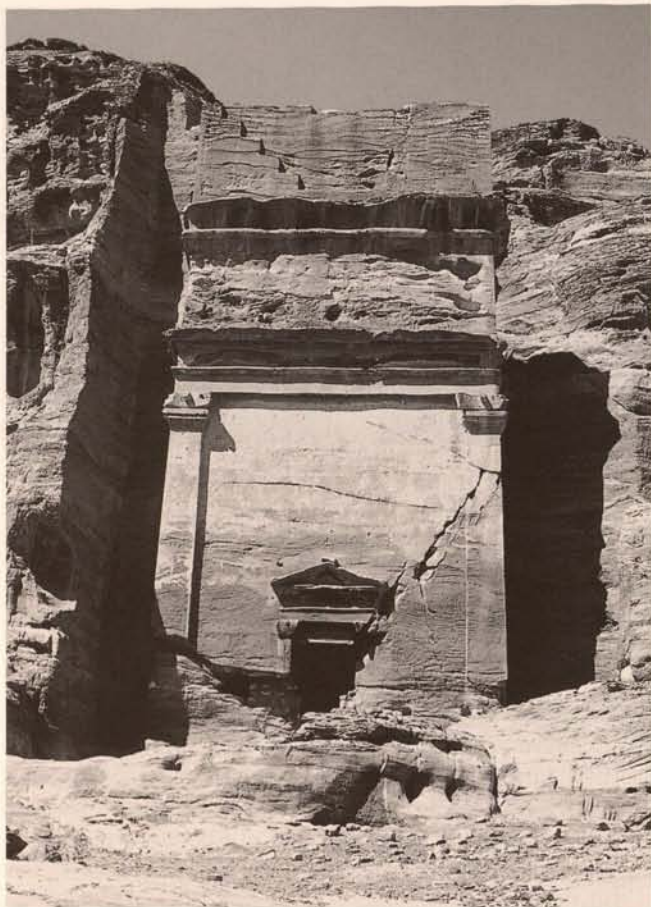
Therefore the preservation concept for Petra had to take into consideration the natural conditions of the site, the individual character of the monuments, and the claims and understanding of a modern, historically based and scientifically oriented conservation practice. Materials and methods had to be chosen to fit harmonically into the actual nature-bound condition of the site.

Damages

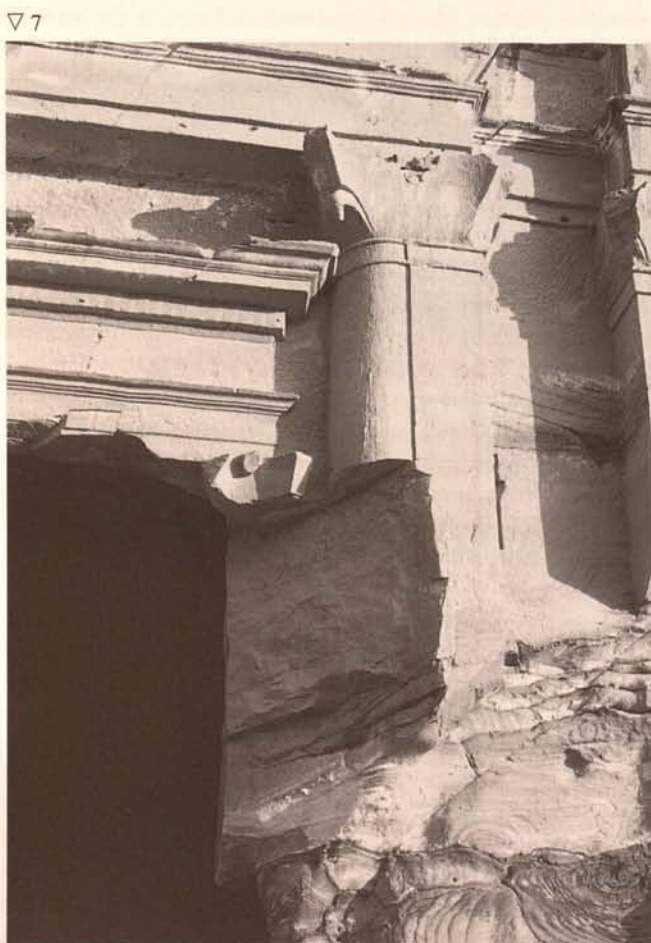
Existing damages are mainly due to three causes: earthquakes, weathering and lack of maintenance.

Faults and joints, caused by tectonic movements within the earth's crust are frequently found running through the rocks and are not restricted to the architecture of the monuments. A monument normally covers only a section of such a fault which usually continues within the rock beyond both sides of the architecture (figs. 1, 3). Joints are frequently encountered between different lithological layers (fig. 4), or they were caused by changes of the static conditions (figs. 5, 6). Very often they meet in sharp angles thereby causing outbreaks of all kind. It seems as if earthquakes have been responsible for static changes in the structure of the rock causing outbreaks in the façades, which have themselves later on been responsible for most of the further damages within the architecture. Fissures, on the contrary, occur mainly on the surface of the rock itself.

Gaps occur in the form of missing parts of architectural elements (fig. 7) as well as outbreaks in cornices and pediments (colour plate VI. 3), but also in the form of the collapse of entire parts of the façades. Concluding from water-colours of the 19th century these collapses seem to be old damages, probably caused by earthquakes in late antique times (figs. 8, 9). Outbreaks in vertical architectural elements have left protruding parts without support. Missing pieces in horizontal elements



△ 6



▽ 7

would let rainwater run down the façades, which originally would have dripped off the edges of the cornices, causing deep washouts in the elaborate surface (fig. 10).

The formation of relief can be traced in various forms: as granular disintegration on the surface (colour plate VI. 4; XI. 4); as deep backweathering leaving weak areas; as disintegration caused by salt activity (figs. 11, 12 and colour plate VI. 1, 2), which has led in the course of centuries to a total loss of architectural shape, to an almost amorphous appearance especially in the lower parts of the monuments; as scaling with the detachment of pieces of various size (colour plate VI. 5); as alveolar weathering which steadily enlarges the numerous caverns in the surface (figs. 13, 14); as troughs in all horizontal surfaces, in which rain water remains, penetrating slowly through the sandstone of the cornices and into the elaborate surface below. Through constant humidity in these areas salt will be transported which finally crystallizes thus causing losses in the surface of the sandstone. These processes are often to be observed as elongated flaglike configurations (fig. 10).

The observation of the damages of the rock façades in Petra, of which only the most important were mentioned here, shows that there are some against which measures can be taken and others which – unlike in buildings – cannot be influenced. The most important aim of the preservation measures will therefore be to reduce the causes of deterioration as much as possible and to repair the resulting damages accumulated by the lack of maintenance as far as possible. Which means that all efforts will be concentrated on the consolidation and conservation of the existing state of preservation. Thereby it must be taken into consideration that all interventions must be executed without disturbing the natural environment in which the monuments are integrated. Consequently also the degree of deterioration of a monument will be determinative for the intensity of conservative efforts.

Restoration

No measures can be taken against faults caused by tectonic movements of the ground, which extend far beyond the monuments. They should only be surveyed in order to define whether they might be dangerous for the present condition of the façade or not. Consolidation of such cracks by steel anchors or steel needles will be drawn into consideration only in case of imminent danger of collapse or outbreaks in that case. Sand anchors will be preferred whenever possible if they are technically improved in order to avoid the introduction of non compatible materials like cement or artificial resins. Bigger cracks which often cause further losses can be filled by mortars to reestablish adhesion and to avoid further damages by outbreaks at the edges and the penetration of water into the façade. Small fissures on the surface of the stone can be left untouched if they are considered

Abb. 6. Hegragrab, schrägverlaufender tektonischer Riß mit Schäden im Portalbereich

Fig. 6. Hegra tomb, diagonal tectonic fissure with damages at the portal

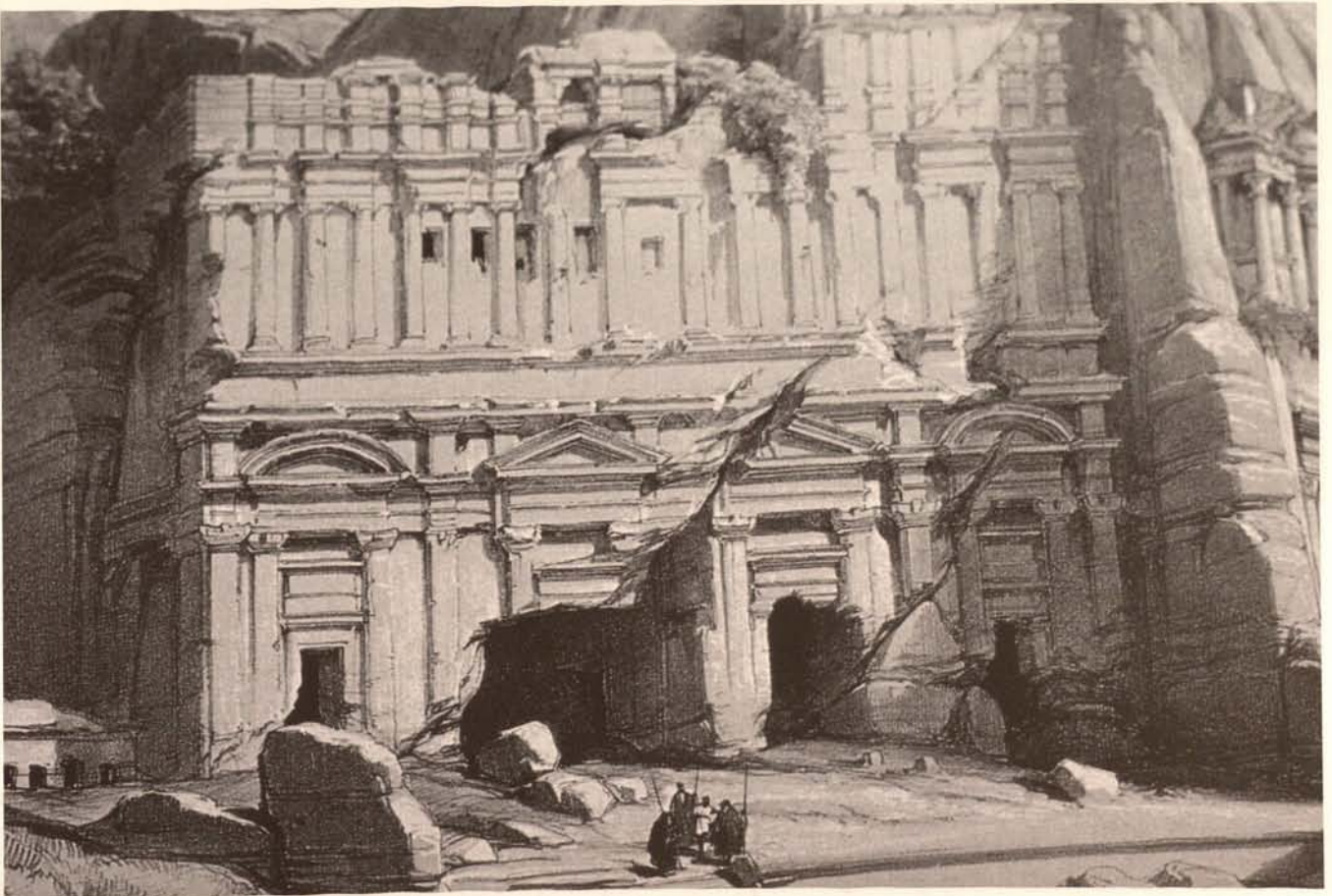
Abb. 7. Palastgrab, abgescherter Block

Fig. 7. Palace Tomb, dislocated stone block



Abb. 8. Palastgrab, Zustand 1998 / Fig. 8. Palace Tomb, condition of 1998

Abb. 9. Palastgrab, Lithographie von David Roberts, 1839 / Fig. 9. Palace Tomb, lithography by David Roberts, 1839



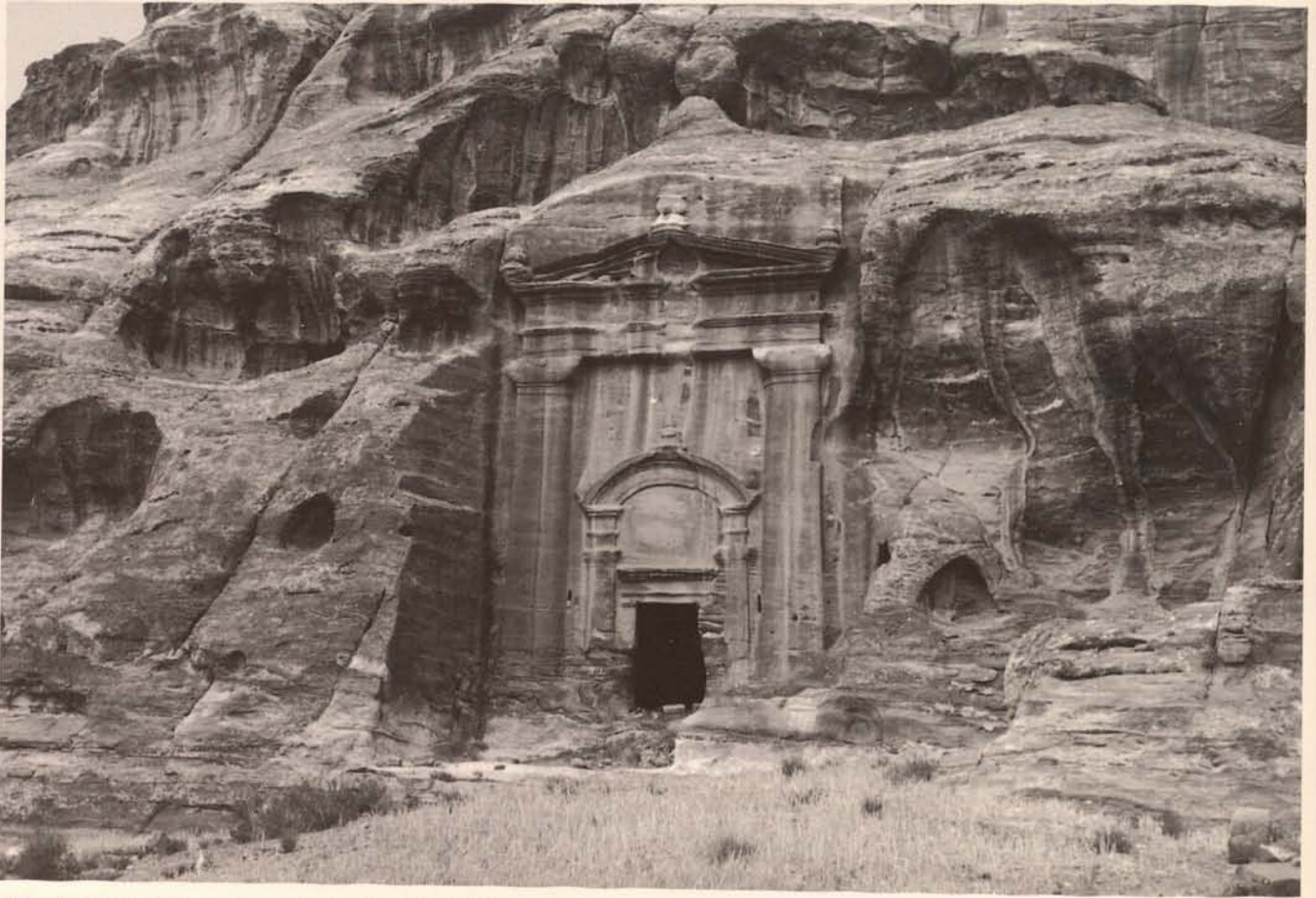


Abb. 10. Umfangreicher Wasserschaden durch Ausbrüche im Giebel des Renaissancegrabes
 Fig. 10. Extended damage by water due to breakouts in the pediment of the Renaissance Tomb

die in diesen Zonen anhaltende Feuchtigkeit wird Salz transportiert, welches ausblüht und zu Massenabtrag führt. Diese Schadensprozesse zeichnen sich oft durch fahnenartige Konfigurationen an den Fassaden ab (Abb. 10).

Die Beobachtung der Schäden an den Felsfassaden von Petra, von denen hier nur die wichtigsten Erscheinungsformen genannt sind, zeigt, daß es solche gibt, denen entgegengewirkt werden kann, aber auch solche – im Gegensatz zu gebauter Architektur –, die nicht beeinflussbar sind. Das wichtigste Ziel der Erhaltungsmaßnahmen muß daher eine möglichst weitgehende Reduzierung der Schadensursachen und Reparatur der Schäden sein, welche dadurch und durch den Mangel an Unterhalt entstanden sind. Das bedeutet eine Konzentration auf Konsolidierung und Konservierung des vorliegenden Zustands. Dabei ist zu beachten, daß alle Maßnahmen so durchgeführt werden müssen, daß sie den Naturzusammenhang, in den die Monumente eingebettet und dessen Teil sie heute sind, nicht stören. So wird auch der Zerstörungsgrad eines Monuments die Intensität konservatorischer Einflußnahme bestimmen.

Restaurierung

Klüften, die sich durch den Fels ziehen und nur ausschnittsweise in einem Monument sichtbar werden, kann durch örtlich begrenzte Sanierungsmaßnahmen nicht entgegengewirkt werden. Sie können im Einzelfall vermessen und das Ausmaß der davon ausgehenden Gefährdung auf die Fassaden festgestellt werden. Eine Sicherung durch Erdanker wird grundsätzlich nur bei ab-

not to cause further detachments. Loose parts, which seem to be detached, will be stabilized by injections with thin and liquid mortar.

Huge gaps caused by the collapse of parts of the façades are losses which have to be accepted. A completion by masonry of dressed stone blocks would only be partially effective considering the forces active within the rock formation. For aesthetical reasons such a completion of the architecture is not to be justified, because it would affect the authenticity of the monument and could, in most cases, not even be based on secured and detailed evidence about the parts missing.

Outbreaks of parts of the architectural elements have to be tackled with in the same way. In theory the supplementary use of insets could in certain cases be justified by the fact that also the Nabataean stone masons used this method when recognizing morbid sectors or disadvantageous lithological layers in the course of their work. But nevertheless, this kind of replacement strategy needs careful judging of the individual situation. It should only be drawn into consideration, if the completion of a single element, of which the original form can undoubtedly be deducted from the existing context, would be demanding considering the entity of the original substance or if the reconstruction would eliminate an inhibitant factor of the appearance of the monument as a whole. In case of a monument like the 'Palace Tomb' (figs. 8, 9) with its enormous losses, such a decision would easily lead to a total reconstruction, because one addition would call for another and because this kind of chain reaction would necessarily impair the authenticity of the historical monument. Such a type of reconstruction can nowadays as well and

sturzgefährdeten Fassadenteilen erwogen und, wenn möglich, Sandankern der Vorzug gegeben werden, wenn diese perfektioniert und einsatzbereit sind, um die Einführung von Fremdmaterialien, wie Zement oder Kunstharz, in das Gestein zu vermeiden. Größere Risse werden durch Mörtelmassen geschlossen: erstens, um eine Vergrößerung durch Randausbrüche zu verhindern; zweitens, um wieder Kraftschlüssigkeit herzustellen und drittens, um das Eindringen von Wasser in die Fassade durch diese Risse zu verhindern. In der Gesteinsoberfläche entstandene Feinrisse werden belassen, wenn sie zu keiner Lockerung von Teilbereichen geführt haben. Gelockerte Teilbereiche werden durch Injektionen mit dünnflüssigen Mörteln gesichert.

Großvolumige Ausbrüche, wie der Einsturz von Teilen der Fassaden sind Fehlstellen, die akzeptiert werden müssen. Eine Ergänzung durch Aufmauerung mit Werksteinen wäre bei den Kräften, die im Fels wirksam sind, statisch nur bedingt wirksam. Aus ästhetischen Gründen ist eine solche Komplettierung der Architektur nicht zu verantworten, weil sie zu einer Beeinträchtigung der Authentizität des Monuments führen würde und in den meisten Fällen auch auf keine gesicherte Detailkenntnis der fehlenden Bereiche aufbauen könnte.

Abb. 11. Urnengrab, Schäden durch aufsteigende Feuchtigkeit im Sockelbereich und durch wasserführende Schichten aus dem Berg im oberen Bereich der Halbsäulen

Fig. 11. Urn Tomb, damages caused by ascending water in the basic areas and by water transport in rock layers at the uppermost part of the semicolumns

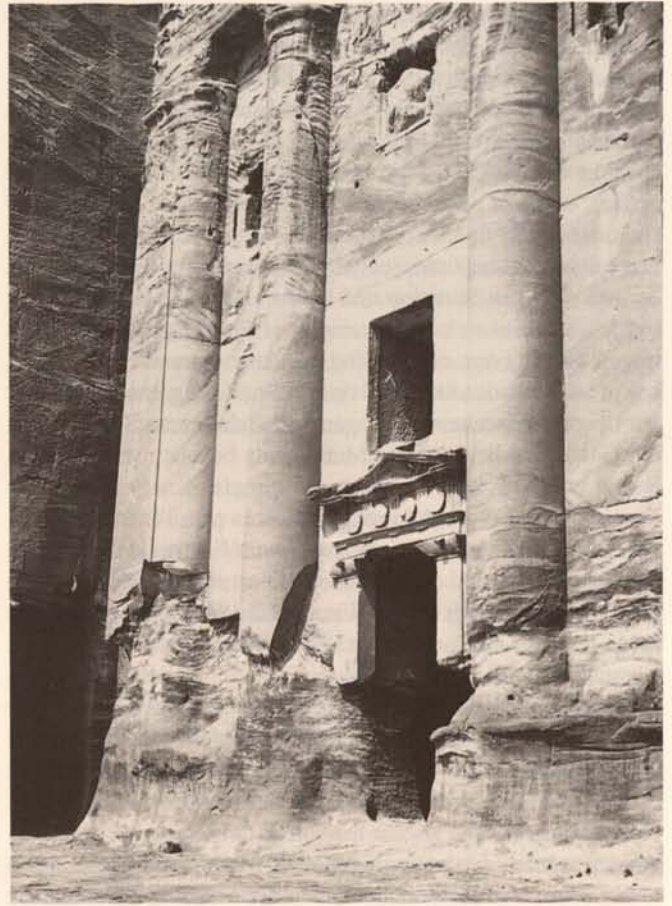


Abb. 12. Ad-Dayr, Schäden durch aufsteigende Feuchtigkeit, teilweise intensiviert durch stehendes Wasser vor dem Monument im Winter

Fig. 12. Ad-Dayr, damages caused by ascending water, partly intensified by standing water in front of the monument during the winter period



Genauso muß auch die Entscheidung beim Umgang mit Fehlstellen ausfallen, die durch ausgebrochene Teile architektonischer Gliederungselemente entstanden sind. Theoretisch kann die ergänzende Verwendung von Werksteinen in manchen Teilbereichen insofern und berechtigterweise erwogen werden, als auch die nabatäischen Steinmetze auf dieses Hilfsmittel zurückgriffen, wenn sie während ihrer Arbeit auf mürbe Gesteinsbereiche oder ungünstige lithologische Schichten stießen. Ergänzungen solcher Art bedürfen jedoch einer eingehenden Beurteilung der individuellen Situation und können eventuell dann erwogen werden, wenn es sich um ein einzelnes Element handelt, dessen ursprüngliche Form einwandfrei aus dem vorhandenen Bestand erschlossen werden kann und dessen Ergänzung von der gesamten Originalsubstanz mitgetragen und dadurch ein Störfaktor in der Gesamterscheinung des Monuments behoben würde. Beim Palastgrab (Abb. 8, 9) und dessen umfangreichen Schäden würde ein solches Vorgehen hingegen leicht in eine Totalrekonstruktion übergehen, weil die Ergänzung einer Fehlstelle die nächste nach sich ziehen und diese Kettenreaktion zu einer Verfälschung des Originals führen würde. Eine solche Rekonstruktion kann heute genauso anschaulich und ohne Eingriffe am Original im Computer simuliert werden (siehe Farbtafel XVIII). Das Original muß ohne Verfälschung als unverwechselbares Zeugnis der Geschichte Jordaniens unverändert überliefert werden. In allen diesen Fällen sind statische Stabilisierungen, wenn erforderlich, besser durch Anker oder Vernadelungen durchzuführen, wobei die gefährdeten Teile wieder fest mit der Masse des Felsens verbunden werden. Eine Beruhigung der gestörten Fassadenarchitektur wird ohnehin durch Schließen der Alveolen und Risse erreicht. Aus denkmalpflegerischer Sicht ist diese Sicherung der vorhandenen, schon seit Jahrhunderten bestehenden Situation durch die Verwendung von Füllmörteln bzw. Steinersatzmassen die verantwortungsvollste Haltung gegenüber der Authentizität des Monuments, weil dieses unangetastet bleibt und nicht durch rekonstruierende Zutaten verfremdet wird.

Gesimsausbrüche (Farbtafel VI. 3) müssen hingegen, wenn keine vollständige Abwitterung vorliegt, aus konservatorischen Gründen grundsätzlich geschlossen werden. Durch die Fehlstellen, ja auch über abgesplitterte oder abgewitterte Gesimskanten, rinnt das Niederschlagswasser über die Fassaden hinab und verursacht dort Zerstörungen der bearbeiteten Architekturoberfläche. Die interessantesten Beobachtungen zum Schadensablauf können oft bei Regenwetter gemacht werden. Das Wasser fließt nicht über die verwitterten, sondern über die intakt erscheinenden Oberflächen ab. Hier entsteht eine schnelle und starke Durchfeuchtung, die aber nach Versiegen des Wasserflusses auch ebenso schnell wieder verschwindet. Gelöste, transportierte Salze können sich dort nicht konzentrieren, weil sie wieder weggeschwemmt werden. In den Randzonen des Wasserlaufs, wo der Spüleffekt nicht mehr wirksam ist, oder in den Alveolen werden die Salze abgelagert. Hier kommt es zu einer länger anhaltenden Durchfeuchtung und bei Abtrocknung zu zyklischen, durch Salzkristallisation verursachten Schäden. Gesimskanten wiederherstellen heißt also, eine der Schadensursachen zu beheben und ein Fortschreiten der Zerstörung in den darunter befindlichen Fassadenflächen zu verhindern. Solche Reparaturen werden bei dem Pylongrab in Abbildung 13 sinnvoll sein, beim sog. Renaissancegrab (Abb. 10) sind die Zerstörungen schon so weit fortgeschritten, daß jeder mögliche Eingriff sorgsam überlegt werden muß. Kleinere Ausbrüche können durch Steinersatzmassen, große durch Güsse mit epoxyharzgebundenen Natursteinen oder gelegentlich auch durch Vierungen, d. h. Werksteine,



Abb. 13. Alveolenbildung, deutlich durch Schäden im Gesims verursacht
 Fig. 13. Alveoles, evidently caused by damages in the cornice

Abb. 14. Alveolenbildung in einem mit Flach- und Spitzseisen fein dressierten Pfeiler

Fig. 14. Alveoles in a pillar carefully dressed with a flat and pointed chisel



geschlossen werden. Die Gußstücke sind diffusionsfähig und vom gewachsenen Sandstein nicht zu unterscheiden. Die Verwendung eines Kunstharzes ist in diesem Falle statthaft, weil es nur zur Herstellung des Ersatzstückes verwendet und nicht in die Originalsubstanz des Gesteins eingebracht wird. Die Verwendung von Werksteinen in Gesimsen und Bedachungen ist eine alte nabatäische Technik und durch zahlreiche Beispiele belegt.

Die nabatäischen Steinmetze haben sich wie gesagt überall dort mit Werksteinen geholfen, wo die Qualität des Felsens eine Weiterarbeit in gewachsenem Stein nicht mehr zuließ. Die fehlenden Teile von Gesimsen und Bedachungen wurden linear als Nut, Pilaster und Kapitelle als Vertiefung in der Form der einzusetzenden Werksteine im Felsen ausgemeißelt (vgl. S. 97, Abb. 16), die Werksteine im Mörtelbett in die Vertiefungen eingesetzt und durch das Einschlagen von Keilsteinen an der Oberseite gesichert (S. 100, Abb. 20, 21). Heute befinden wir uns allerdings in einer ungleich schwierigeren Situation, weil der Respekt vor dem Original gebietet, bei der Instandsetzung die Eingriffe so gering als möglich zu halten, um das Original nicht zu beeinträchtigen und außerdem weil in nabatäischer Zeit – ganz im Gegensatz zur heutigen Situation – die Werksteineergänzungen und Reparaturen unter dem Fassadenmörtel unsichtbar geblieben sind. Das Problem ist, daß Reparaturen zwar aus konservatorischen Gründen gelegentlich notwendig, Eingriffe in die noch vorhandene Originalsubstanz jedoch weitgehend zu vermeiden sind. Beim Ersatz abgegangener Teile aus massivem Gestein, namentlich an horizontalen Gliederungselementen, wäre das Einsetzen von Vierungen in der historischen Technik gleichbedeutend mit gravierendem Substanzverlust, weil durch Ausmeißeln der Originalfassade die Versatzstücke richtig verankert werden müßten.

Die Forderung nach Anwendung der historischen Technik ist hier mit Rücksicht auf die Schonung der historischen Substanz, einer der übergeordneten Forderungen der Denkmalpflege, nicht zu realisieren. Eine substanzschonende und gleichzeitig weitgehend reversible Methode ist, wenn überhaupt eine solche Maßnahme in Betracht gezogen werden muß, das Befestigen der Vierungen mittels Stahl- oder Kunststoffdübeln. Auf die im Fels verankerten Dübel werden die vorher durchbohrten Versatzstücke aufgesteckt und mit einer Schraubenmutter gesichert. Die Muttern können versenkt angebracht und mit den Kappen der Bohrerkerne kaschiert werden. Die Werkstücke können auf diese Weise der Form der Fehlstellen angepaßt und der Anschluß zum umgebenden Gestein durch Mörtel hergestellt werden, so daß das Original nicht angetastet wird. Diese Methode ist statisch sicher und gleichzeitig weitgehend reversibel. Die Werkstücke können bei Bedarf wieder von den Dübeln abgenommen, diese aus der Wand entfernt und die verbleibenden Löcher mit Mörtel geschlossen werden, so daß nichts mehr an die durchgeführte Maßnahme erinnert. Der einzige Kompromiß wäre die Einführung der Dübel als materialfremde Elemente, allerdings unter der Prämisse von Reversibilität und uneingeschränkter Erhaltung der Originalsubstanz.

Absanden als kontinuierlich fortschreitender Schadensprozeß im Mikrobereich ist großflächig an den Fassaden zu beobachten. Es empfiehlt sich jedoch grundsätzlich, diesen nur sehr langsam fortschreitenden Prozeß eher hinzunehmen, als die Fassaden umfassend mit Steinfestigern zu behandeln. Aus Gründen der Materialgerechtigkeit und unter Berücksichtigung der Ergebnisse der jahrelangen Forschungen zur Sandsteinkonservierung, die das Zentrallabor des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege durchgeführt hat, stehen sowieso nur Festiger auf

even better be simulated and visualized in an appropriate way by the help of computers, without even touching the original (see colour plate XVIII). The original substance has to be preserved without falsifications as an unexchangeable testimony of the history of Jordan. In all these cases static stabilizations should be better realized by anchors or needles if necessary, in order to reensure good adhesion of endangered parts with the natural rock. The outward appearance of the façades will be improved and look more complete by closing the cracks and alveoles anyway. From the point of view of the conservationist this kind of stability and preserving the present situation, which has already existed for centuries, by the use of filling mortars is the only appropriate and responsible attitude towards the authenticity of the monument because falsification by reconstructions will be avoided.

Outbreaks in cornices (colour plate VI. 3), to the contrary, must be closed in any case for reasons of prevention, if they are not entirely in decay. Water is pouring down the façades through outbreaks and on deteriorated edges of a cornice, causing damages by washouts and salt transport in the dressed architectural surface of the façades. The most interesting observations of the process of decay can be made during the rain period. Water does not flow over the weathered areas, but over those looking still intact. Here, a fast and heavy moistening takes place, which is stopped rather quickly after the stream of water comes to its end. Dissolved salts cannot concentrate in these parts of the stone, since they are constantly washed away. At the rims and borders of the main stream, where the washing away does not become effective or in alveoles already existing, salts can concentrate. Here it comes to a longlasting moistening of the stone and, during the drying period, to a cyclic crystallization of salts causing heavy damages. The repair of cornices thus means to eliminate one of the main causes of apparent damages. Such repair work will be effective at the 'Pylon tomb' in figure 13; at the so-called 'Renaissance Tomb' (fig. 10), the damages have progressed so far, that every possible intervention requires careful consideration. Smaller outbreaks can be closed by mortars, larger ones by insets of casts with resinbound natural sands or sometimes by insets of dressed stones. Casts are diffusing and hardly to be distinguished from natural stone surfaces. The use of an artificial resin is to be justified in this special case, because it is only used for the manufacturing of the insets and will not be introduced into the original substance of the natural rock.

The use of such insets in cornices and pediments is an old technique of the Nabataeans, which is documented by many examples. The Nabataean stone masons themselves used stone insets as a remedy wherever the quality of the rock did not allow anymore carving into the natural stone (see p. 97, fig. 16). The missing parts of cornices and pediments have been cut into the rock in the form of linear slots, pilasters and capitals were carved out roughly in the form of the insets which then were imbedded with mortar into the cavities and fixed by smaller, wedgetailed stones as forelocks from above (see p. 100, figs. 20, 21).

Today we are in a more difficult situation, since the respect for the historical monument demands to minimize interventions as much as possible in order not to impair the original. Moreover the Nabataean repairs have been – in contrary to the present state – invisible under a layer of plaster. Today we are facing the problem that on the one hand repairs are necessary and on the other hand manipulations of the original fabric have to be avoided as far as possible. The substitution of missing parts within the massive rock, especially of horizontal architectural elements using



Abb. 15. Grab 636, mehrfache Mörtellage auf dem Hauptgesims

Fig. 15. Tomb 636, mortar layers on the main cornice

Silikatbasis, wie Kieselsäureester, zur Diskussion, deren Wirksamkeit durch den Salzgehalt in vielen Bereichen jedoch nicht gewährleistet ist. Außerdem ist das Risiko, eine unterschiedliche Spannung und Dichte zwischen der Oberfläche und den tiefer liegenden Schichten zu erzeugen, sowie bei Wiederholung der Festigung die Diffusionsfähigkeit des Steins herabzusetzen, bei dem natürlichen Feuchtehaushalt des gewachsenen Felsens als zu hoch einzuschätzen. Nach Artikel 10 der Charta von Venedig ist zwar der Einsatz moderner Konservierungstechniken dann zulässig, wenn diese durch praktische Erfahrungen erprobt sind und sich die traditionellen Techniken als unzureichend erwiesen haben. Von keinem der modernen Festigungsmaterialien liegen jedoch ausreichende und langjährige Erfahrungswerte in einer Petra vergleichbaren Situation vor und es steht außer Zweifel, daß ein Weltkulturdenkmal vom Range Petras kein Experimentierfeld sein kann. Die vorschnelle Gläubigkeit an neu entwickelte Materialien und Technologien hat in der Vergangenheit schon häufig zu bösen Überraschungen in Form von Nachfolgeschäden geführt. In den Fels eingebrachte Materialien sind irreversibel und ein einmal gemachter Fehler nicht mehr wieder gutzumachen. Man wird sich in Petra also nur dazu entschließen, besonders aussagekräftige wichtige Architekturdetails, die sonst nicht mehr zu retten wären, durch Festigung zu bewahren, eine Maßnahme, die natürlich durch entsprechende Messungen von Temperatur, Feuchte und Eindringtiefe sowie Entsalzung vorbereitet werden muß. Mit Rücksicht auf die Einmaligkeit der Felsmonumente ist die Frage der Steinfestigung bei den gegebenen Verhältnissen mit größter Vorsicht und Zurückhaltung zu behandeln.

Alveolen sind, so wie Risse, offene Stellen in den Fassaden, die das Eindringen von Wasser ermöglichen (Abb. 13, 14). Sie werden durch Füllmörtel geschlossen. Um Schrumpfrisse des eingebrachten Mörtels bei größeren Kavernen möglichst zu vermeiden, wird – wie dies auch schon die Nabatäer getan haben – das Volumen der Mörtelmasse durch Einsetzen von Steinbrocken, die den umgebenden lithologischen Schichten entsprechen, verringert. Die Einfärbung des Mörtels in Anpassung an die jeweilige Umgebung kann mit den vor Ort vorhandenen farbigen Sanden erfolgen. Die Forderung in Artikel 12 der Charta von Venedig nach der „die Elemente, welche fehlende Teile ersetzen sollen, ... vom Originalbestand unterscheidbar sein“ müssen, kann auf Reparaturen dieser Art nicht angewendet werden und ist auch nicht dafür gedacht. Alveolen sind nichts als stören-

the historical technique would imply serious losses of substance because the insets need to be fixed, as already mentioned, in caverns cut into the façade.

The claim for applying the historical technique can consequently not be realized with regard to the claim for minimal intervention and careful treatment, one of the main claims of preservation principles. A method with minimal intervention, which at the same time is largely reversible (if such a measure can be considered at all), would be to fix insets by steel or glassfibre dowels. The dowels would be set into the rock and fixed with nuts, and the previously perforated insets stuck onto them. In that case the insets could be adjusted to the outline of the outbreak, the gaps between the blocks and the original parts closed by mortar and nuts concealed in the same way. This method is statically secure and at the same time largely reversible. The insets could be taken off the dowels if necessary which themselves could be removed from the rock. The remaining holes could be closed by mortar so that nearly nothing would remind of the intervention executed. The only compromise would be the introduction of the dowels as an odd element to the stone, but with the option of reversibility and largely unimpaired preservation of the original fabric.

Granular disintegration as a slow but continuous process is to be perceived in large parts of the tomb façades. However, it is advisable to accept this slowly increasing process instead of treating it with consolidants. According to the results of the research work on sandstone preservation the laboratories of the Bavarian State Department of Historical Monuments have carried out through the years, the only products which correspond to the material properties of sandstone are silicic based consolidants like silicic acid ester, but whose efficiency is not guaranteed when humidity and salts are present. Moreover the risk of creating different tensions and densities between the surface and deeper strata or of lowering the rate of water diffusion in case of repetition of the treatment is too high, taking into consideration the watercontent of the rock. Article 10 of the Charter of Venice actually allows the use of modern preservation techniques and materials whenever traditional techniques have proved to be insufficient. But none of the modern consolidants have been tested for a sufficient length of time in conditions similar to those existing in Petra. And a world heritage monument cannot serve as a test object. The belief in the effectiveness of newly developed materials and technologies has many times had consequences in the form of consecutive damages. Materials with which the rock is impregnated are irreversible and mistakes made in that respect can be corrected no more. Therefore it seems advisable to use silicic acid ester only for the preservation of especially important architectural details, which otherwise could not be saved; a measure, which of course has to be prepared properly by measurements of temperature, humidity, penetration depth and salt extraction in the respective parts. Considering the unique importance of the monuments in Petra the question of using consolidants will be treated with utmost reserve.

Alveoles are like cracks defects in the façades and allow the penetration of water (figs. 13, 14). They have to be closed by filling mortars after preparation of the caverns, from which salt and morbid particles have to be scratched out before. In order to minimize shrinking fissures of the mortar in bigger caverns, the volume of the material will be reduced in the same way as the Nabataeans did namely by insertion of sandstone pieces, the physical properties of which should correspond to that of the surrounding lithological layers. The respective pigmentation of the mortar can be obtained by adding the local coloured sands. But in this case it is not reasonable to follow article 12 of the Charter of Venice too

de Löcher in einer gestalteten Oberfläche. Wenn sie geschlossen werden, ist ein Schaden behoben, die Fassadenfläche optisch wieder geschlossen, und es besteht kein Grund, etwa durch Zurückversetzen des Füllmörtels anzuzeigen, daß hier einmal ein Loch gewesen ist. Der Nachweis über die angetroffenen und ausgebesserten Schäden wird über die Vorzustandsdokumentation und Schadenskartierung geführt. Das ist eine der Aufgaben der Dokumentation.

Die Abdichtung aller horizontalen Oberflächen ist eine ebenso wichtige Konservierungsmaßnahme wie das Schließen aller Öffnungen in der Fassadenfläche, d. h., daß vor allem alle durch Auswitterung auf den Gesimsen entstandenen Mulden, in denen sich das Wasser nach Regenfällen sammelt und stehen bleibt und langsam durch das Gesims sickert, durch Mörtel ausgeglichen und abgedeckt werden müssen. Wenn diese Flächen abgedichtet sind und der Wasserablauf gewährleistet ist, ist eine der augenscheinlichsten Schadensursachen behoben. Die Sicherung durch Mörtel war, wie andere Monumente gezeigt haben, eine gängige Präventivmaßnahme der Nabatäer. An Monument 636 z. B. wurde der vorgefundene Abdeckmörtel mehrlagig und mit unterschiedlicher Zusammensetzung aufgebracht (Abb. 15). So wurden mögliche Schwundrisse einer Schicht durch die darüberliegende abgedeckt. Es konnte aber noch nicht geklärt werden, ob mehrlagige Abdeckmörtel ursprünglich in dieser Form aufgebracht wurden oder Ergebnis späterer Wartungs- oder Reparaturarbeiten sind. Diese Abdeckmörtel, welche bei Bedarf erneuert werden können, verhinderten damals und verhindern auch heute ein Abwittern der massiven Horizontalflächen und verhindern bei der Verwendung von Vierungen zudem das Eindringen von Wasser in die Fugen zwischen den einzelnen Werkstücken.

Solche prophylaktischen Maßnahmen zeigen, wie sehr den Nabatäern bewußt war, welche Schäden Wasser anrichten kann. Deswegen schufen sie u. a. auch bei vielen, vor allem auch bei den wichtigeren Monumenten oberhalb der Fassaden Wasserableitungen in Form von Kanälen und Drainagen (Abb. 16), die inzwischen ausnahmslos durch Sand zugeweht oder durch Ausbrüche und Abwitterung wirkungslos geworden sind. Diese Systeme wieder funktionstüchtig zu machen, ist ebenfalls eine der wichtigen Maßnahmen zur Beseitigung von Schadensursachen.

Hauptschadensfaktor ist aber auch das Wasser, das langsam durch die Bergmassive sickert, die Fassaden oft anhaltend von hinten durchfeuchtet oder in Form von aufsteigender Feuchtigkeit auf die unteren Fassadenbereiche einwirkt und für den Transport von Salzen sorgt (Abb. 11). Dieser Durchfeuchtung ist bei den Felsmonumenten in Petra sehr schwer entgegenzuwirken.

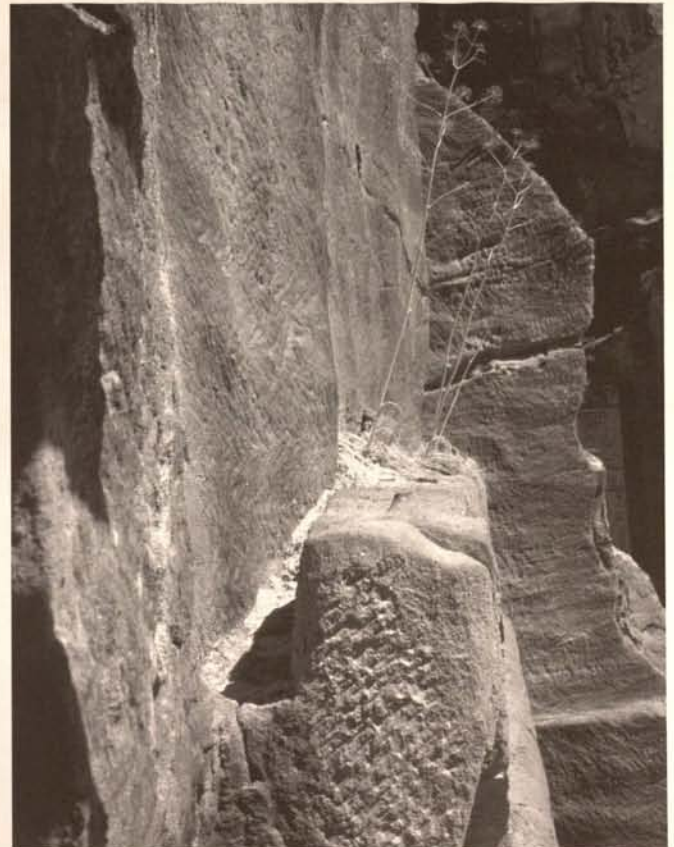
Eine horizontale Sperre ist bei Bauwerken wirksam, weil der Feuchttransport über die Mauerwerksohle in die Wand auf diese Weise unterbunden werden kann. Dies kann jedoch bei den allseitig mit dem gewachsenen Fels verbundenen Grabfassaden, die weiterhin aus dem Gestein Feuchtigkeit beziehen, nicht der Fall sein. Eine Horizontalisolierung wird bei allseitig möglichem Feuchteanfall sinnlos, außerdem besteht die Gefahr, daß dadurch Schadenszonen vollkommen unkontrolliert in andere Fassadenbereiche verlagert werden. In einigen Fällen allerdings scheinen Schäden durch stehendes Wasser, das sich nach Regenfällen vor den Fassaden angesammelt hat, entstanden oder zumindest intensiviert worden zu sein (Abb. 12). Diese Wasseransammlungen konnten sich erst im Laufe der Zeit durch unkontrollierte Geländeänderungen, wie zum Beispiel Anschwellen von Sand und Gestein oder Verschüttungen, wie auch durch den Verfall ehemals vorhandener Drainagen, entste-

literally, which says that the 'replacement of missing parts (...) must be distinguishable from the original, so that the restoration does not falsify the artistic or historic evidence.' Close reading of this passage, if not intelligently interpreted, too often had an impairing effect upon the overall appearance of the works of art, because in that case the repairs obtain the same importance as the original. Alveoles are nothing else but irritating holes in the façade. To close them means to repair a damage. The surface is optically intact again and there is no reason why it should be indicated that there was once a hole by differentiating between the fillings and the architectural surface in depth. The existing damages and their repair have to be documented in any case by an assessment of the 'as-found' state of preservation and the report of the execution of restoration work. This is one of the tasks of documentation.

The protective sealing of horizontal surfaces is an even more important measure. Troughs, caused by backweathering in the surface of horizontal elements of the architecture, are like small reservoirs retaining rainwater, which slowly penetrates through the cornices. They must be closed and the whole uneven surface should be covered with a protective mortar. If these surfaces are sealed so that the water can drip off again over the edge of the cornice, one of the most obvious causes for deterioration will be abolished. This kind of protection by mortars was one of the common preventive measures taken by the Nabataeans, as can be observed clearly from monuments like No. 636 (fig. 15). Here the protective mortar consists of several layers with different material compositions. Thus possible shrinking fissures in one layer could be covered by the other. It could not be cleared until now however, whether this type of mortar originally con-

Abb. 16. Grab 826, Wasserableitung oberhalb des Zinnengiebels

Fig. 16. Tomb 826, water drainage above the crenellated pediment



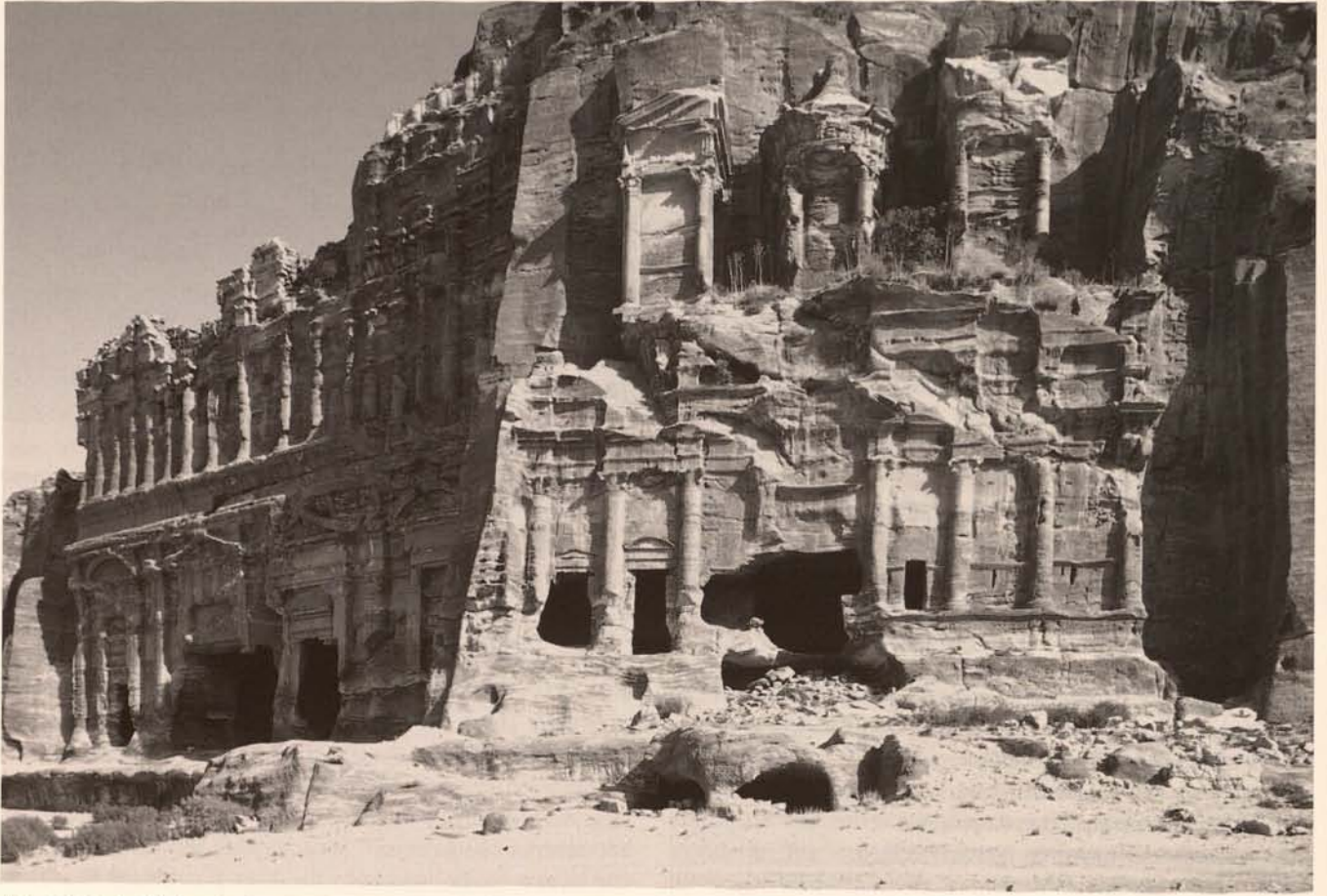
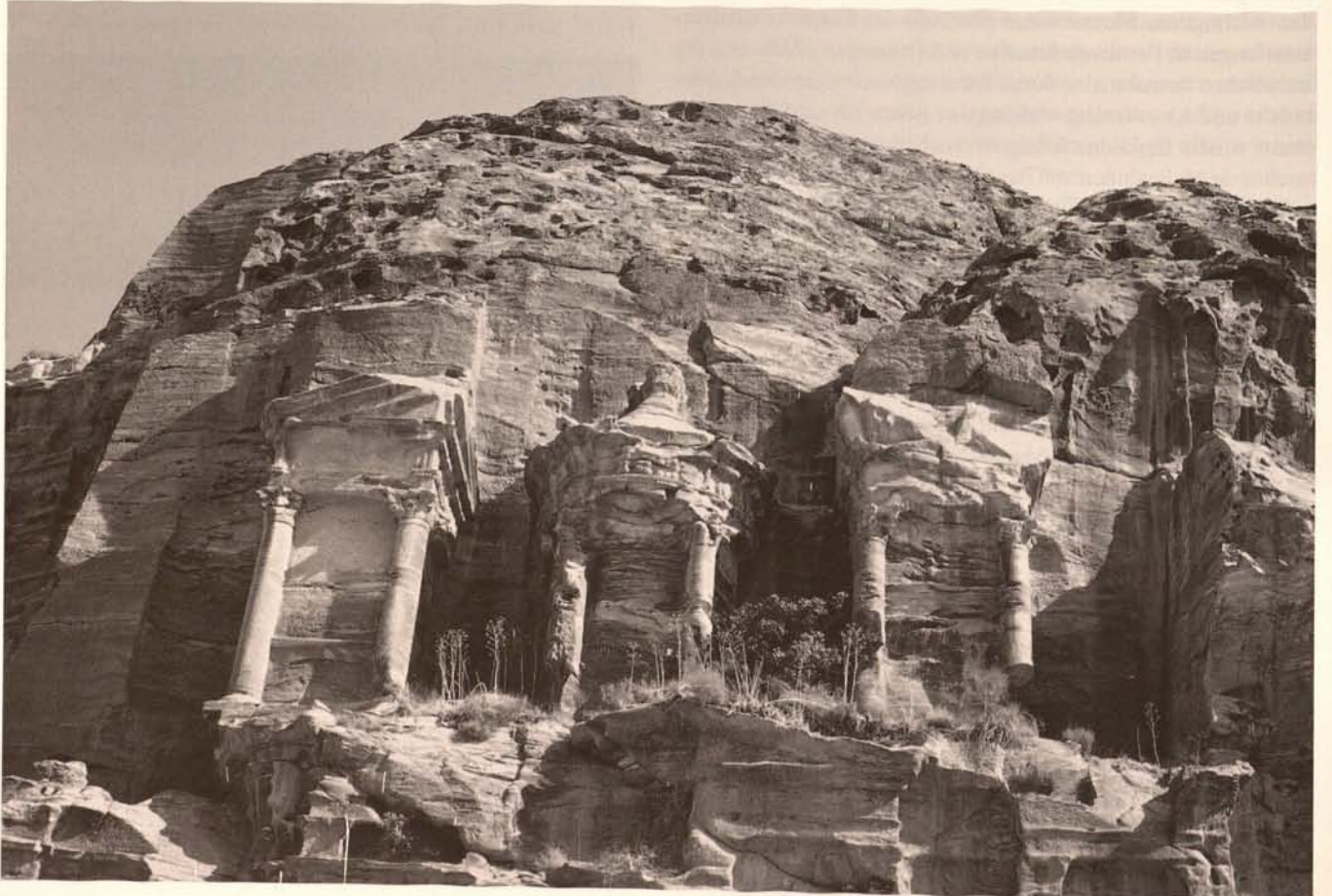


Abb. 17. Korinthisches Grab und Palastgrab / Fig. 17. Corinthian Tomb and Palace Tomb

Abb. 18. Korinthisches Grab, Pflanzenbewuchs / Fig. 18. Corinthian Tomb, verdure



hen. In solchen Fällen kann auf ganz einfache Weise durch Anlegen von Wasserabflußgräben oder Geländeänderungen vor dem Monument, welche für eine Wasserableitung sorgen, eine Verbesserung der Situation erreicht werden.

Bewuchs ist außer den Verwitterungsprozessen ein Mittel der Natur, von Menschenhand gestaltete und damit aus ihrem Zusammenhang herausgelöste Werke wieder in einen Naturzustand zurückzuführen (Abb. 17, 18). Die Begrünung der Fassaden in Petra ist romantisch und gliedert sie in zunehmendem Maße der natürlichen Umgebung ein. Sie hat aber nie zur Architektur der Monumente gehört. Pflanzen sind in den architektonisch gestalteten Fassaden Schadensfaktoren, weil sie Feuchtigkeit, die auf den Stein einwirkt, zurückhalten und ihre Wurzeln Sprengwirkung ausüben. Ihre Entfernung ist deshalb notwendig, aber mit der größten Vorsicht vorzunehmen, weil in manchen Teilbereichen gleichzeitig Sicherungsmaßnahmen des bereits gelockerten Gesteins durchgeführt werden müssen.

Materialgerechtigkeit

Die bei der Konservierung der Sandsteinfassaden verwendeten Verfüll- und Ersatzmassen müssen der vorhandenen Materialzusammensetzung der historischen Monumente weitestgehend entsprechen. Nach eingehender Prüfung haben sich Kieselsolemörtel, die unter wesentlicher Beteiligung von Restaurator Egon Kaiser entwickelt wurden und sich vorderhand bestens bewährt haben, am zweckdienlichsten erwiesen. Kieselsolemörtel werden wie Sandstein durch ihre Korngrößenverteilung und Bindemittel charakterisiert und können in unterschiedlicher Konsistenz eingesetzt werden. Sie sind in Härte, Aussehen und Zusammensetzung sandsteinähnlich und haben auch bei Massenabtrag und Bewitterung ein kongruentes Alterungsverhalten. Kieselsolemörtel sind als Verfüllmörtel von Rissen und Alveolen, als Gesimsabdeckung wie auch für kleinvolumigere Ergänzungen zu verwenden. Verdünnt können sie ebenso zum Hinterspritzen von Schalen, hohlen Stellen oder aufblätternen Partien verwendet werden. Sie können den lithologischen Schichten entsprechend ausgemischt und durch farbige Sande auf den Farbton der Umgebung eingestimmt und zudem bis auf die Nullfläche auslaufend angetragen werden, was sie für Ausbesserungsarbeiten besonders geeignet macht. Es bietet sich mit dieser Masse also die Möglichkeit, beim Verfüllen, Ersatz, Abdecken und Hinterspritzen bei einem einzigen Material zu bleiben. Für die Herstellung von Abdeckmörteln würde sich auch die Möglichkeit anbieten, die historischen Mörtel nachzubauen. Ob dies Vorteile bietet, muß erst durch Versuche festgestellt werden. In den Fällen, in denen der Einsatz von Steinfestigern erforderlich oder sinnvoll ist, wird, ebenfalls aus Gründen der Materialverträglichkeit, nur Kieselsäureester zum Einsatz kommen.

Historische Techniken

Ein Teil der Maßnahmen zur Behebung der Schadensursachen kann mit den in Petra festgestellten historischen Techniken der Nabatäer durchgeführt werden, wie z. B. Gesimsabdeckung mit Mörtellagen, Anlage oder Reparatur von Wasserableitsystemen, in einzelnen Fällen Ergänzung fehlender Teile durch Werksteine. Da die Werksteine in nabatäischer Zeit wegen der großenteils vorhandenen Verputze nicht sichtbar gewesen sind, bleibt es Versuchen und späteren Entscheidungen überlassen, ob die Er-

sistenz von unterschiedlichen Schichten oder wenn es das Ergebnis späterer Instandhaltung oder Reparaturarbeiten ist. Diese Schutzmörtel, die erneuert werden können, wurden in nabatäischen Zeiten und sind heute noch das Verwittern der horizontalen Oberflächen, sowie die Penetration von Wasser in die Fugen, an denen Stein-Einlagen verwendet wurden.

Preventive Maßnahmen dieser Art zeigen, daß die Nabatäer sehr wohl wußten, wieviel Wasser die Ursache von Schäden sein konnte. Deshalb bauten sie Drainagen und Kanäle oberhalb vieler Fassaden (Abb. 16), besonders der wichtigeren, die inzwischen als ineffektiv erwiesen wurden, weil sie sich mit Sand gefüllt hatten. Es wird deshalb zu den wesentlichen Operationen gehören, sie wieder in Funktion zu bringen.

Ein Hauptfaktor des Verfalls ist auch Wasser, das langsam durch den Felsmassiv dringt, die Fassaden kontinuierlich von hinten oder in Form von kapillarer Feuchtigkeit, die die unteren Teile der Fassaden durch den Transport von Salzen (Abb. 11). Diese Art von Feuchtigkeit kann in den Felsmonumenten von Petra nicht beseitigt werden.

Horizontale Isolation ist für Gebäude gut, weil in diesem Fall der Feuchtigkeitstransport vom Boden in die Wände effektiv unterbrochen werden kann. Das ist bei den Grabenfassaden nicht der Fall, da diese Teil des umgebenden Felsens sind, durch den Wasser von allen Seiten in die Architektur eindringt. Unter diesen Umständen ist eine horizontale Isolation sinnlos und könnte sogar schädlich sein, da die Schäden durch Wasser von anderen Teilen der Architektur unkontrollierbar verschoben werden könnten. In manchen Fällen könnten die Schäden in den unteren Zonen wohl von oben her entstanden sein oder durch Wasseransammlungen nach Regenfällen vor den Gräbern (Abb. 12). Die Ursache ist die Verschlechterung der Geländebedingungen durch Wind- oder Wasserabtrag, Sand und Erde. In solchen Fällen kann die Situation durch die Anlage von Kanälen oder die Veränderung des Geländes vor dem Monument verbessert werden, so daß das Wasser abfließen kann.

Vegetation ist – abgesehen von der Verschlechterung – ein wirksames Mittel der Natur, um man-made Gebäude und Stätten (Abb. 17, 18) wieder zu integrieren. Die Vegetation gibt der Architektur ein malerisches und romantisches Gepräge und integriert sie mehr und mehr in ihre natürliche Umgebung. Aber sie war nie als Teil der Architektur der Monumente gedacht. Für die Architektur sind Pflanzen eine Ursache von Schäden, weil sie Feuchtigkeit speichern, die mit dem Sandstein reagiert, und weil ihre Wurzeln einen Splittereffekt auf den Fels haben. Ihre Entfernung ist eine Vorsichtsmaßnahme, die mit größter Sorgfalt durchgeführt werden muß, da in vielen Fällen Maßnahmen zur Festigung des lockeren Steinmaterials gleichzeitig durchgeführt werden müssen.

Compatibility of Materials

Materialien wie Reparaturmörtel oder Stein-Ersatzstoffe, die bei der Konservierung der Sandsteinfassaden verwendet werden, müssen den Materialeigenschaften der historischen Monumente oder zumindest harmonisieren mit ihnen, soweit dies möglich ist. Nach gründlicher Untersuchung der Sandsteine von Petra, Silica-Solemörtel, die entwickelt wurden, mit der wesentlichen Beteiligung des Konservators Egon Kaiser, erwies sich als das geeignete Material. Silica-Solemörtel sind wie Sandstein durch ihre Korngrößenverteilung und Bindemittel charakterisiert und können in verschiedenen Konsistenzen eingesetzt werden. Sie sind dem Sandstein in ihrer Härte, ihrem Aussehen und ihrer allgemeinen Zusammensetzung ähnlich und zeigen in ihrer Massenreduktion und Verwitterung kongruente Alterungscharakteristika. Sie können be-

gänzungen, die vorgenommen werden können, so wie die heute noch vorhandenen nabatäischen, sichtbar bleiben oder durch Einsatz von Kieselolmassen kaschiert werden sollen.

Reversibilität

Die wichtige Forderung der Denkmalpflege, Restaurierungsmaßnahmen, wenn gewünscht, wieder rückgängig machen zu können, ist bei manchen Restaurierungsvorgängen technisch nur bedingt, bei vielen überhaupt nicht möglich. In Petra hingegen kann dieser Idealforderung weitestgehend entsprochen werden: Abdeckmörtel, eingesetzte Werksteine und Untermauerungen können ohne Schaden für das Original wieder entfernt und die zum Verfüllen und für Ergänzungen verwendeten Kieselolmassen mechanisch, mit Mikrosandstrahl sogar bis auf den letzten Rest, von der Sandsteinoberfläche rückstandsfrei wieder abgenommen werden. Daß dieses möglich ist, ist bei den Arbeiten an Monument 825, welches als erstes Monument in Petra derzeit restauriert wird, schon positiv bewiesen worden. Durch die Einarbeitung der einheimischen Kräfte sind Antrags- und Ausmischfehler vorgekommen, durch starke Salzaktivität waren viele Verfüllungen binnen kurzer Zeit wieder zersetzt, so daß viele Reparaturen erneuert werden mußten. Diese Prozedur war ohne Rückstand und Beschädigung der originalen Substanz möglich. Lediglich Anker und Vernadelungen sind nicht mehr problemfrei aus dem Fels zu lösen, die Tränkung mit Steinfestigern ist irreversibel. Das ist einer der Gründe, warum diese Technologien nur mit größter Zurückhaltung eingesetzt werden.

Das für die Restaurierung der Grabfassaden in Petra entwickelte Rahmenkonzept steht mit den Forderungen der Charta von Venedig und der modernen, wissenschaftlich orientierten Denkmalpflege, d. h. den Forderungen nach Denkmalverträglichkeit aller Konservierungs- und Restaurierungsmaßnahmen, in Einklang und setzt somit die allgemein gültigen internationalen Standards in die Praxis um. Unter allgemein gültigen internationalen Standards sind solche zu verstehen, die durch internationale Gremien festgelegt und von anerkannten Experten bei der Erhaltung des kulturellen Erbes auf höchstem Niveau zugrunde gelegt werden. Durch diese Standards sind Methoden und Vorgehensweisen festgelegt, welche die schonende, objektverträgliche Instandsetzung und die Erhaltung der Authentizität der Monumente zum Ziel haben. Daraus folgt, daß der in Petra beschrittene Weg, die Restaurierungskonzepte, die Wahl von Materialien und Methoden nicht eine Frage von verschiedenen Schulen, Ansichten oder Möglichkeiten, sondern eine Frage der Grundsätze der Denkmalpflege sind. Die Frage z. B., ob mineralische Steinfestiger oder Kunstharze an einer Fassade in Petra zum Einsatz kommen, ist keine Frage möglicher Alternativen, keine Frage persönlicher Ansichten, die vielleicht durch andere ersetzt werden können, sondern eine Frage der Wahl denkmalverträglicher oder denkmalunverträglicher Substanzen. Solche Entscheidungen, die aufgrund von Erfahrungen und Wissen, aufgrund der Ergebnisse von Analysen und Testserien getroffen werden, sind ausschließlich eine Frage der Standards und des Niveaus durch das eine Restaurierungskampagne gekennzeichnet ist.

In Petra sind manchem möglichen Eingriff durch die Einheit von Kunst und Natur, d. h. Architektur und gewachsenem Fels, Grenzen gesetzt. Es muß akzeptiert werden, daß es nicht beeinflussbare Schadensprozesse gibt, die, bedingt durch die natürli-

used as filling material for cracks and alveoles, as protective layers, as well as for the replacement of smaller outbreaks. Diluted they are also qualified for consolidating hollow, scaling or bedding parts by injections. They can be mixed in correspondence with the respective lithological layers and adapted to the changing colour of the sandstone by adding the coloured local sands. Thus silica sol mortars offer the ideal possibility to treat the monuments with only one material for fillings, repair, protection and injection. For the protective mortar a reconstruction of the historical mortars could, of course, principally also be taken into consideration, if – after tests and long term observation – this method turns out to be advantageous. In those cases, where the use of consolidants seems to be necessary, only silicic acid esters will be chosen, also because of their compatibility with the material properties of sandstone.

Historical Techniques

Part of the restoration measures at Petra can be carried out in terms of the historical techniques of the Nabataeans, namely the construction or repair of water drainages, the protection of cornices by mortars, the completion of cornices and other architectural elements by insets or dressed stone blocks. Insets made by the Nabataeans were not visible in former times, because the façades were coated with plaster. It must therefore be left up to tests and later decisions, whether the necessary replacements should remain visible, as the Nabataean repairs are today, or if they should better be made invisible by a coating of silica sol mortar.

Reversibility

The crucial claim of conservation to guarantee reversibility of interventions and materials, is in some of the restoration measures in technical terms only partially to be realized, in many cases not at all. In Petra, to the contrary, most of the operations can be carried out in keeping with that rather ideal claim: protective mortars, insets and undersets, if carried out properly, can be removed again without leaving any traces on the monuments. Fillings and repairs with silica sol mortar can be taken away mechanically, with air brasive even the smallest remains. That this is possible was already proved during the restoration work on Tomb 825, the first tomb which is at present undergoing restoration. Due to the training-on-the-job of local workers during the first restoration campaign in Petra, mistakes in mixing and applying the mortar occurred, so that several repairs and fillings as well as those damaged by salt activity had to be renewed. These procedures have been executed without leaving traces or causing any damages to the monument. Only steelneedles or anchors cannot be removed without problems whereas consolidants are irreversible. This is one of the reasons why these technologies are applied only with the utmost reserve.

The preservation concept for the tomb façades in Petra has been developed in accordance to the claims of the Charter of Venice and the modern, scientifically orientated practice of preservation, i. e. with the claims of compatibility of all conservation and restoration measures with the properties of the monuments and thus transformed the generally valid international standards into the practice of conservation. International standards are those which are agreed upon by international expert

chen Gegebenheiten, schon seit zwei Jahrtausenden ablaufen. Trotzdem wird durch Stabilisierung, Konservierung und Schutz vor schädigenden Umwelteinflüssen die Existenz dieser Weltkulturdurdenkmäler entscheidend verlängert und, wenn das „Conservation and Restoration Center in Petra“ zu einer funktionsfähigen Einrichtung geworden ist, durch kontinuierliche Pflege hoffentlich auch langfristig abgesichert werden können.

3. Entwicklung des Konservierungskonzepts im Konservierungszentrum
3.1. Funktion der Restaurierung
3.2. Zielsetzung der Restaurierung
3.3. Methoden der Restaurierung
3.4. Materialien der Restaurierung
3.5. Dokumentation der Restaurierung

Abbildungsnachweis

- HELGE FISCHER, AMMAN: *Abb. 13*
- EGON KAISER, OBERSCHNEIFELD: *Abb. 3*
- MICHAEL KÜHLENTAL, MÜNCHEN: *Abb. 1, 2, 4-9, 14-18*
- PAUL WERNER, MÜNCHEN: *Abb. 10-12*

Photo Credits

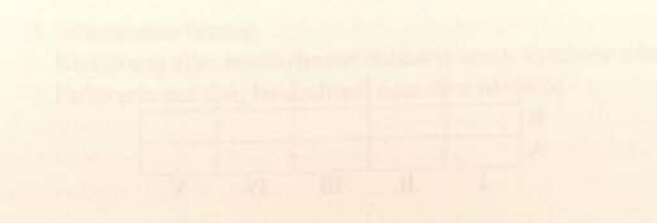
- HELGE FISCHER, AMMAN: *Fig. 13*
- EGON KAISER, OBERSCHNEIFELD: *Fig. 3*
- MICHAEL KÜHLENTAL, MUNICH: *Figs. 1, 2, 4-9, 14-18*
- PAUL WERNER, MUNICH: *Figs. 10-12*

teams and which are the criteria of the decisions of acknowledged specialists in the preservation of the cultural heritage on the highest level. By these standards, methods and procedures are stipulated which aim at a careful and compatible conservation and maintenance and thus at the preservation of the authenticity of the monument. As a consequence the methodological procedures, the conservation concept, the choice of materials and the methods applied in Petra are not a question of schools, opinions and possible alternatives but rather a question of preservation principles. The choice of mineral consolidants or artificial resins at the façades in Petra for instance is not a question of alternatives or personal opinions which could be replaced by others, but a question of compatibility or incompatibility of materials. Such decisions taken on the basis of experience, knowledge and the results of analyses and test series are exclusively a question of facts and standards by which a restoration measure is characterized.

In Petra the realization of some possible interventions is limited because of the unity of art and nature, i. e. the unity of elaborated architecture and natural rock. It must be accepted that there are processes of deterioration, which developed slowly over the past 2000 years and which cannot be influenced. Nevertheless there are possibilities to prolong the existence of these cultural heritage monuments by stabilization, conservation and protection against further environmental damages, especially by continuous care, when the Conservation and Restoration Center in Petra will have become an efficiently working institution.

Translation from the German into English by Susan Tipton and the author

4. Zusammenfassung
4.1. Einleitung
4.2. Zielsetzung
4.3. Methoden
4.4. Materialien
4.5. Dokumentation
4.6. Ergebnisse
4.7. Diskussion
4.8. Schlussfolgerungen
4.9. Literaturverzeichnis
4.10. Anhang
4.11. Index
4.12. Register



Richtlinien für den Ablauf von Restaurierungsmaßnahmen in Petra *Guidelines and Procedures for the Restoration of the Monuments in Petra*

Ziele und Methoden der Restaurierung sind heute nach wissenschaftlich-historischen Standards ausgerichtet, die durch internationale Vereinbarungen festgelegt sind. Diese Vereinbarungen beruhen auf der Erkenntnis, daß man nur aufgrund einer genauen Kenntnis der individuellen Eigenart eines Monuments, seiner Komponenten und ihrer Eigenschaften, seiner Herstellung, seiner Schäden und der Schadensursachen die angemessenen Methoden und geeigneten Materialien für eine objektverträgliche und schonende Konservierung und Restaurierung wählen kann. Das bedeutet, daß der Vorgehensweise und den Verfahren bei der Restaurierung eines Monuments ganz bestimmte Maßstäbe zugrunde gelegt werden müssen. Für Petra ergibt sich hieraus ein 15-Punkte-Programm für den Arbeitsablauf, das den gültigen internationalen Standards entspricht.

Today the aims and methods of restoration are based on scientific and historical standards laid down in international agreements and conventions. These agreed upon standards are based on the insight that appropriate methods and suitable materials employed in the conservation and restoration, can only be derived from a thorough understanding of a monument, its individual characteristics, its components and their properties, its making, the observed damages and the causes that brought them about. The restoration of a monument is therefore to be executed according to certain rules, guidelines and procedures. From such international standards a program of fifteen steps can be derived which should be adhered to in the conservation and restoration of the monuments of Petra.

1. Anfertigung eines Meßbildes

Diese Photographie dokumentiert den überlieferten Zustand eines Monuments bevor Eingriffe irgendwelcher Art vorgenommen werden. Vergrößerungen oder daraus abgeleitete Druckerzeugnisse können – namentlich bei einfachen Architekturen, wenn kein exaktes Bauaufmaß notwendig ist – für verschiedene Arten der grafischen Dokumentation, wie z. B. der Schadenskartierung oder des Maßnahmenplans verwendet werden.

1. Production of a rectified photograph

This photograph documents the 'as found condition' of a monument before any interventions are carried out. Enlargements or prints derived from them can be used as base maps or plans, especially in the case of relatively simple architectural structures and, if an exact survey is not required, for various kinds of graphical documentation, i. e. damage assessment, execution plan etc.

2. Bauaufmaß durch elektronische Vermessung

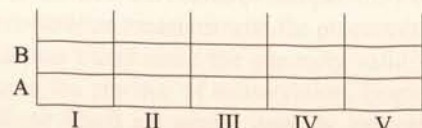
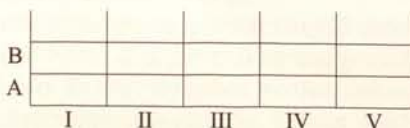
Mit dieser relativ schnellen Methode kann ein exaktes Aufmaß des Monuments angefertigt werden. Da ein Gerüst die Ausführung eines elektronischen Aufmaßes eher behindert, wird dieses am besten vor dessen Errichtung ausgeführt. Das elektronische Aufmaß ist Grundlage für den Bestandsplan, der später vom Gerüst aus durch Detailzeichnungen und die Ergebnisse der Bauforschung ergänzt wird. Kopien dieses Aufmaßes können für alle Arten der Dokumentation wie z. B. der lithologischen Charakteristika, der Werkzeugspuren, der Schäden etc. mit bestimmten Symbolen oder Farbcodes verwendet werden.

2. Electronic survey

With this relatively fast method an exact survey of a monument can be obtained. As a scaffolding would obstruct the execution of certain aspects of an electronic survey, it is best done before its erection. After erection of the scaffolding this survey may be completed by additional measurements that can be taken either manually or also electronically as well as by the result of the architectural investigation. This survey constitutes the bases for the inventory plan. Copies of the architectural survey can be used for all types of documentation, like e. g. the lithological characteristics, tool marks, damages etc., and marked by different colour codes.

Gleichzeitig sollte auf einer Kopie dieses Aufmaßes ein an der Architektur der Fassade sinnvoll orientiertes Gliederungsschema in Form eines Rasters mit Koordinaten festgelegt werden, das für die Lokalisierung z. B. von Detailfotos, gezogenen Bohrkernen, Probeentnahmen für Analysen, Mörtelfüllungen etc. notwendig ist. Dabei werden am besten Großbuchstaben und römische Ziffern verwendet, um ggf. durch Kleinbuchstaben (Aa, Ab, Ba etc.) und arabische Ziffern (I.1, I.2, II.1 etc.) weitere Detailbezeichnungen möglich zu machen.

At the same time a useful axis of coordinates should be projected onto a copy of the architectural survey for the entry of the exact location of detailed photographs, drill core proofs, sample areas, mortar fillings etc. Big letters and Roman numbers proved useful and can be enlarged by a more detailed setting of small letters (Aa, Ab, Ba, etc.) and Arabic numbers (I.1, I.2, II.1 etc.).



3. Sammeln aller historischer Informationen über das Monument aus Dokumenten, wissenschaftlicher Literatur und anderen einschlägigen Quellen, soweit verfügbar.
4. Beschreibung des Monuments, seiner architektonischen Struktur, seines Stils, seines Standorts und seiner Umgebung.
5. Errichtung des Gerüsts und photographische Dokumentation
Während der Errichtung des Gerüsts ist sowohl eine detaillierte photographische Dokumentation der strukturellen, architektonischen, stilistischen und technischen Eigenheiten, als auch der typischen Schadensbilder von jeder Gerüstlage aus anzufertigen. Photographien während dieses Vorgangs sind wichtig, weil sie stets von der jeweils obersten Gerüstetage in bester Beleuchtung aufgenommen werden können. Nachdem das Gerüst fertiggestellt ist, wird die Fassade immer durch die Bretter seiner verschiedenen Gerüstetagen verschattet und manche Detailansichten durch Gerüststangen gestört sein.
6. Bauforschung
Die Erforschung des Baubestandes wird durch genaue Beobachtungen Hand in Hand mit einer Ergänzung des Aufmaßes durch digitale oder manuelle Aufnahme wichtiger Details durchgeführt. Das Ergebnis ist ein Aufmaß mit umfassender Information über alle architektonischen Charakteristika der Fassade, ihrer Materialien (im Falle Petras der Sandsteinvarietäten), der Bearbeitungsspuren, von Putz- und Farbresten, Stuckergänzungen, Mörteln, Vierungen, Befestigungen für Dekorationselemente etc. Die Ergebnisse der Bauforschung und der Schlüsse, die daraus gezogen werden können, sind für die Fassaden von Petra von entscheidender Bedeutung, weil für diese Zeugnisse der Geschichte keine historischen Nachrichten und Dokumente zur Verfügung stehen und alle wichtigen Informationen nur von den Monumenten selbst gewonnen werden können.
7. Lithologische Kartierung
Kartierung der Abfolge von unterscheidbaren Sandsteinschichten am Monument
8. Wissenschaftliche Analyse und Tests
Es werden Proben für alle Arten naturwissenschaftlicher Analysen entnommen, die in den Labors durchgeführt werden sollen, wie z. B. die Bestimmung der petrologischen Charakteristika, der Materialeigenschaften, der qualitativen und quantitativen Zusammensetzung des Sandsteins, seiner Porosität, seiner Wasseraufnahmefähigkeit und Wasserdampfdurchlässigkeit, der Zusammensetzung der Mörtel und der Pigmente der Farbreste, wenn solche vorhanden sind. Gleichzeitig müssen Tests durchgeführt werden, um z. B. den Haftverbund zwischen Reparaturmörtel und Stein oder die Eigenschaften des Mörtels im Vergleich zu denjenigen des Steins zu bestimmen.
9. Schadenskartierung
Kartierung aller beobachteten Schäden durch Symbole oder Farbwerte auf dem Bauaufmaß oder dem Meßbild.
3. Description of the monument, its architectural structure, its style, its location and surroundings.
4. Gathering of all historical and other relevant information on the monument from documents, scientific literature and any other source of information available.
5. Erection of the scaffolding and photographic documentation
Using the erection of the scaffolding, a detailed photographic documentation of structural, architectural, stylistical and technical features as well as typical damages should be made from the respective uppermost level just finished. This allows for taking the photographs under the best possible lighting conditions. After erection of the scaffolding lighting conditions will be poor because of the boards of the different levels and details may be obstructed by pipes.
6. Architectural investigation
The investigation of the architectural structure is done by close inspection and the complimentary survey by electronic or hand measurements of important details. The result is an architectural drawing or plan with comprehensive information on all characteristics of the façade regarding its technical making and materials (in the case of Petra sandstone varieties), tool marks, plaster and colour remains, stucco completions, mortars, insets, holdings for decorative elements etc. The results of the architectural investigation and the conclusions that can be drawn from it are of prime importance for the tomb façades in Petra, because due to the lack of historical information and documents all important information can be drawn only from a study of the monuments themselves.
7. Lithological assessment
Assessment of the sequence of distinctive sandstone layers at the monument
8. Scientific analysis and tests
Samples are taken for various kinds of scientific analysis in laboratories like for definition of petrologic and lithological characteristics of the sandstone, the determination of its material properties such as porosity, water absorption, vapour diffusion coefficient, permeability etc., the composition of mortars or the pigments of colour remains if present. At the same time tests are executed to determine the bonding between the natural stone and the repair mortar or the properties of the mortar in relation to the stone.
9. Damage assessment
Assessment of all types of damages observed in specific symbols of colour codes using either the plan generated by electronic survey or the rectified photograph.

10. Restaurierungskonzept

Im Konservierungs- bzw. Restaurierungskonzept werden alle Entscheidungen hinsichtlich der geplanten Restaurierung festgelegt, so z. B. was mit der Restaurierung erreicht werden soll, welche Materialien eingesetzt werden sollen, wie weit man mit der Restaurierung gehen kann, Typus und Umfang der gewünschten Dokumentation, die anzuwendenden Verfahren und Techniken, die Logistik usw. Das Restaurierungs- bzw. Konservierungskonzept verwandelt alles Wissen über das Monument, welches durch Forschung und Analyse gewonnen wurde, in einen Plan für seine Konservierung und Restaurierung, d. h. einen Plan für seine Behandlung und Instandsetzung.

11. Maßnahmenplan

In Übereinstimmung mit dem Konservierungskonzept gibt der Maßnahmenplan alle zu ergreifenden Konservierungs- und Restaurierungsmaßnahmen in bestimmten Symbolen oder Farbwerten, wiederum unter Verwendung des Baumaßes, an. Er sollte logisch aus der Schadenskartierung entwickelt werden und mit ihr vergleichbar sein.

12. Musterfelder

An weniger sichtbaren, vorher genau bestimmten oder beschädigten Stellen, die ohnehin restauriert werden müssen, eventuell auch neben dem Monument in Bereichen, welche dieselben Eigenschaften wie die Fassade aufweisen, sollten Musterfelder angelegt werden, um nochmals zu überprüfen, wie sich die gewählten Materialien und Methoden unter den besonderen Bedingungen des zu restaurierenden Monuments bewähren.

13. Restaurierungsarbeiten

Ausführung der Restaurierung in Übereinstimmung mit dem Maßnahmenplan.

14. Abbau des Gerüsts und photographische Dokumentation

Während des Gerüstabbaus sollte eine detaillierte photographische Dokumentation des Endzustands nach der Restaurierung erstellt werden, die mit der Dokumentation während der Gerüstaufstellung vergleichbar ist. Die Photos sollen wiederum von der jeweils obersten Gerüstetage in den verschiedenen Stadien des Abbaus des Gerüsts gemacht werden.

15. Anfertigung eines Meßbildes

Diese Photographie dokumentiert das Ergebnis der Restaurierungskampagne und sollte von derselben Position wie das erste Meßbild aufgenommen werden.

Für die Anfertigung eines Inventars der Monumente in Petra oder die Festsetzung von Unterhaltsmaßnahmen kann die Bestandsaufnahme reduziert werden, soll aber im Mindestfall die folgenden Positionen enthalten:

1. Ein Meßbild
2. Eine Beschreibung des Monuments
3. Eine Beschreibung und Beurteilung des Erhaltungszustands
4. Eine Auflistung notwendiger Restaurierungs- oder Unterhaltsmaßnahmen, abgestuft nach ihrer Priorität.

10. Conservation concept

From the previous information the conservation or restoration concept is elaborated where all the decisions on how to proceed with the restorations are made, such as what the restoration intends to achieve, what materials will be used, what should be done and what should be avoided in the restoration process, the type and volume of documentation desired, the procedures and techniques to be employed, the logistics and so on. The conservation and restoration concept turns all knowledge about the monument gained by investigation and analysis into a plan for its conservation and restoration, i. e. a plan for its treatment and cure.

11. Execution plan

Based on the conservation concept an execution plan is developed. It indicates all conservation and restoration measures to be taken and is entered again by means of specific symbols or colour codes into the base map or plan. It should be logically developed from the damage assessment and be comparable with it.

12. Sample areas

On less obvious parts trial applications should be executed in carefully selected areas. The trials should be made in areas that will be restored later anyway and where the strain on the monument is least. If possible areas in the vicinity of the monument with similar properties should be selected. This step is often necessary as a last check on how the materials to be employed or the methods chosen behave under the specific conditions encountered on the monument to be restored.

13. Restoration

According to the execution plan the actual restoration is then executed.

14. Removal of the scaffolding and photographic documentation

During removal of the scaffolding again a detailed photographical documentation of the final condition after restoration should be carried out according to and comparable with the documentation during its erection. The photographs should be taken from the same position as before and again from the respective uppermost level in the various stages of removal of the scaffolding.

15. Production of a rectified photograph

This photograph documents the result of the restoration campaign and should be taken from the same position as the first rectified photograph.

For mere inventory or simple maintenance purposes the assessment can be reduced but should comprise at least the following items:

1. A rectified photograph
2. A description of the monument
3. A description and evaluation of the state of preservation
4. A list of the necessary maintenance measures and interventions ranked according to their priority.

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

Richtlinien für die Dokumentation der Restaurierungsmaßnahmen in Petra

Guidelines for the Documentation of the Restoration Measures in Petra

Die Dokumentation ist wichtiger Bestandteil aller Restaurierungs- und Unterhaltsmaßnahmen, die an einem Monument durchgeführt werden. Da jedes Baudenkmal ein einzigartiges unwiederholbares Zeugnis der Geschichte ist, erhalten alle daran durchgeführten Maßnahmen selbst Zeugnischarakter und müssen daher dokumentiert werden.

In der Dokumentation werden Sachverhalte festgehalten, die zu einem bestimmten Zeitpunkt beobachtet worden sind, die verlorengehen oder zumindest in absehbarer Zeit nicht mehr gewonnen werden können. Es werden Erhaltungszustände dokumentiert, die zu einem bestimmten Zeitpunkt zu beobachten waren und sich später wieder verändern können, Werkzeugspuren, Putz- und Farbreste, die durch Verwitterung zunehmend zerstört werden oder Architekturdetails, die nur vom Gerüst aus und daher vielleicht erst wieder bei der nächsten Restaurierung in 50–100 Jahren zugänglich sind.

Eine Dokumentation ist ein Rechenschaftsbericht über alle Maßnahmen, die an einem Monument durchgeführt worden sind. Damit ist sie eine wichtige Orientierung für die nächste Restaurierungs- oder Unterhaltsmaßnahme.

Eine Dokumentation ist ein Beleg über das Geschehene, der eingefordert werden kann, ein Zeugnis mit Beweiskraft für alle an der Restaurierung beteiligten Personen und Institutionen, wenn die durchgeführten Eingriffe, die angewendeten Methoden und Materialien genau darin beschrieben sind.

I. Identifikation

Die Kopfzeile jeder Dokumentation sollte drei Fragen über das Monument beantworten:

wo es ist, was es ist und wann es restauriert wurde,

z. B.:

Petra, innerer Siq

Monument 825 (mit Koordinaten), Proto-Hegra Grab

04/97 – 11/99

Eine eindeutige Lokalisierung kann gewährleistet werden, wenn jedes Monument in einen Plan mit einer Bezugsnummer eingetragen ist, so daß es leicht aufgefunden und identifiziert werden kann.

II. Schriftliche Dokumentation

Die schriftliche Dokumentation soll eine Beschreibung der Architektur, des Erhaltungszustands mit allen beobachteten Schäden, eine Interpretation der wissenschaftlichen Analysen und der Testergebnisse, die Schlüsse, die aus den wissenschaftlichen Untersuchungen gezogen werden, eine Zusammenfassung aller Forschungsergebnisse, einen Bericht über die ausgeführten Eingriffe, eine Beschreibung der angewendeten Methoden und eine Liste der verwendeten Materialien enthalten.

Documentation is an integral part of all restoration and conservation measures carried out on a monument. Since every historic monument is a unique, irretrievable evidence of the past, all interventions taken acquire the character of an evidence themselves and, therefore, have to be documented.

A documentation records facts, which have been observed at a certain point of time, which will be lost or, at least, cannot be regained before long. Conditions will be documented, which may change later on, tool marks, plaster or colour remains, which tend to deteriorate due to their exposure to weathering, or architectural details, which can be examined in detail from the scaffold only, and will therefore not be visible until the next restoration campaign, i. e. within the next 50 to 100 years.

A documentation is a statement of account of all interventions executed on a monument. As such it constitutes an important basis of orientation for subsequent restoration and maintenance measures.

A documentation is a proof of what was done that can be called upon, a piece of evidence for all those who were involved in the restoration, if all measures taken, the methods and materials applied are described in it in detail.

I. Identification

The heading of each documentation should answer three questions on the monument: where it is, what it is, and when it was restored,

i. e.:

Petra, inner Siq

Tomb 825 (with coordinates), Proto-Hegra Tomb

04/97 – 11/99.

A clear localization can be ensured if each monument is registered by means of the reference number in a map and corresponding list so that it can be easily found and identified.

II. Written Documentation

The written documentation should comprise a description of the architecture, of the state of preservation including all observed damages, an interpretation of the results of all tests and analyses, the conclusions drawn from such data, a summary of the results of all investigations, the report on the interventions executed, of the methods applied as well as a list of all materials used.

III. Graphische Dokumentation

Zur graphischen Dokumentation gehören:

- Das Bauaufmaß (Bestandsplan)
- Skizzen architektonischer Details, der Schichtenabfolge von Putzlagen, Umzeichnungen von Querschliffen etc.
- Alle Eintragungen, die mit Farbcodes oder graphischen Zeichen in dem Bauaufmaß oder dem Meßbild vorgenommen werden, wie z. B. die Schadenskartierung, die Aufzeichnung der Werkzeugspuren, der lithologischen Schichten, des Maßnahmenplans etc.

IV. Photographische Dokumentation

Die photographische Dokumentation soll die wichtigen Stadien vor, während und nach der Restaurierung enthalten: VZ = Vorzustand, ZZ = Zwischenzustand, EZ = Endzustand.

Der Vorzustand zeigt die uns überlieferte historische Situation, die während der Restaurierung verändert wird.

Die Dokumentation der Zwischenzustände ist eine Arbeitsdokumentation, die wichtige Phasen des Arbeitsprozesses festhält. Diese Photographien sind eine Ergänzung des Restaurierungsberichtes.

Der Endzustand nach der Restaurierung ist Bezugspunkt für die nächste Restaurierung und ein wichtiger Maßstab für mögliche Veränderungen zwischen dem Ende der einen und dem Beginn der nächsten Restaurierung oder Unterhaltsmaßnahme.

Photographien, welche Zustände vor und nach einer Intervention zeigen, sollten grundsätzlich von derselben Entfernung und demselben Blickwinkel aus aufgenommen werden, um vergleichbar zu sein. Sie sollten so aufgenommen werden, daß sie in überzeugender Weise die Dreidimensionalität des Objekts zeigen. Es sollten ausschließlich Farbdias oder Schwarz-Weiß-Negative, beide von professioneller Qualität, für die Photographische Dokumentation verwendet werden, da sie für die Archivierung besser als Farbnegative geeignet sind. Jede Photographie und jedes Dia muß zwingend beschriftet werden. Unbeschriftete Photos, die einmal aus ihrem Kontext gefallen sind, können sonst nie mehr bestimmt werden und sind als Informationsquelle somit wertlos.

Die Beschriftung einer Photographie oder eines Farbdias soll folgende grundlegende Informationen enthalten:

Lokalisierung, Objekt, Datum, Photograph und gezeigter Zustand (VZ, ZZ, EZ).

z.B.:

- Petra
- Monument 825
- 04/98 (= April 1998)
- May Shaer
- VZ, rechter Pilaster

Der Photograph sollte immer genau festhalten, für welchen Zweck das Bild gemacht worden ist, und was es darstellt.

Die Beschriftung auf Schwarz-Weiß-Photos sollte mit Bleistift, die Beschriftung der Plastikrahmen von Dias mit wasserfestem Permanentschreiber erfolgen. Dias sollten nicht eingeglast aber staubfrei aufbewahrt werden. Schwarz-Weiß-Photographien sollten nicht auf Papier oder Karton geklebt, sondern an den vier Ecken in Einschnitten des Kartons befestigt werden.

III. Graphical Documentation

A graphical documentation implies:

- The architectural survey
- Sketches representing architectural details, the sequence of plaster, layers, drawings of cross sections etc.
- All kinds of graphical records entered into the architectural survey or the rectified photograph by means of certain colour codes or other signatures like damage assessment, tool marks, lithological layers, execution plan etc.

IV. Photographical Documentation

The photographical documentation should provide information on the important conditions of a monument, i. e. before, during and after restoration: PC = previous condition, IC = intermediate condition, FC = final condition.

The previous condition shows the historical situation handed down to us which will be altered during restoration.

The documentation of intermediate conditions is a working documentation which records important phases of the work in progress. These photographs are meant to complement the written documentation.

The final condition after restoration is a point of reference for subsequent restorations and an important criterium for the assessment of possible alterations between the end of the last and the beginning of the next restoration or maintenance work.

Photographs showing conditions before and after an intervention should always be made from the same distance and the same angle in order to be comparable. Photos should be taken in such a way that they show the three dimensions of the object in a convincing way. Only colour slides or black and white negatives, both of professional quality, should be used for photographical documentation as they are more suitable for long term storage than colour prints. It is mandatory that each photograph and colour slide is carefully labelled. Unlabelled photographs once outside of their original context can otherwise never again be ascribed to a particular situation and will thus become useless as a source of information.

The label of a photograph or colour slide should contain the following basic informations: location, object, date, photographer and condition shown (PC, IC, FC).

i. e.:

- Petra
- Tomb 825
- 4/98 (= April 1998)
- May Shaer
- PC, right pilaster

The photographer should always clearly state for what purpose the picture was taken, i. e. what it is meant to show. The labels on black and white photos should be made with pencils, while on the plastic frames of slides with water proof marker pens. The slides should not be mounted between cover glasses, but stored under dust free conditions. Black and white photographs should not be glued on paper but fixed at the four corners by means of cuts in the paper.

Translation from the German into English by the author and Helge Fischer

Die Bautechnik der Nabatäer mit besonderer Berücksichtigung der Architektur von Monument 825 (Monument der Vierzehn Gräber)

Nabataean Building Techniques with Special Reference to the Architecture of Tomb 825 (Tomb of the Fourteen Graves)

Einleitung

Die verschiedenen für die Grabfassaden von Petra charakteristischen Architekturstile waren Thema der Studien vieler Wissenschaftler. Brünnow und Domaszewski haben viele der Monumente Petras auf Karten eingetragen und die Felsfassaden ihren architektonischen Eigenheiten entsprechend in sieben verschiedene Typen eingeteilt.¹ Kennedy² hat eine davon abweichende Typologie der Fassaden vorgestellt, die wiederum von Browning³ zurückgewiesen wurde, der andere Bezeichnungen verwendete und den Versuch unternahm, die verschiedenen Fassadentypen in eine zeitliche Reihenfolge zu bringen, die auf der Annahme beruhte, daß die Architekturstile im Laufe der Zeit einen Entwicklungsprozeß durchgemacht hätten. McKenzie⁴ wiederum hat die wichtigsten Monumente von Petra auf der Basis ihrer architektonischen Charakteristika in Gruppen eingeteilt und eine chronologische Abfolge innerhalb jeder Gruppe vorgeschlagen. Alle der genannten Studien postulieren stilistische Einflüsse von außen, aus dem hellenistischen und orientalischen Kulturbereich. Tatsächlich ist nicht verwunderlich in Petra architektonische Eigenheiten anzutreffen, die in anderen Kulturen entwickelt wurden, wenn man bedenkt, daß das nabatäische Königreich am Schnittpunkt vieler dieser Zivilisationen lag. Trotzdem weist die Architektur Petras ganz bestimmte individuelle und einzigartige Züge auf, die nicht nur als Kombination fremder Stile und Architekturelemente zu verstehen sind. So sehr den stilistischen Einflüssen nachgegangen worden ist, so wenig hat man sich bisher mit den Bau- und Konstruktionstechniken der Nabatäer beschäftigt. Die Kenntnis dieser Techniken ist jedoch für die Würdigung der Eigenart der nabatäischen Architektur, und ganz abgesehen davon, auch für die Restaurierung wichtig. Sie waren daher während der Vorbereitung zur Restaurierung des Monumentes 825 zum ersten Mal Gegenstand eingehender Forschung.

Auswahl von Gesteinen

Typus und Eigenschaften der Gesteine beeinflussen die Art, wie sie bearbeitet und für welchen Zweck sie verwendet werden können. Der in Petra vorhandene Sandstein gilt als eher weicher Stein, der die Bearbeitung leicht macht und detaillierte Meißelarbeit erlaubt.⁵ Seine Bearbeitbarkeit hängt aber von den Charakteristika der verschiedenen Gesteinsschichten, denen er angehört, ab. Nach Barjous und Jaser⁶ gehört der Sandstein Petras zu der Ram-Sandstein-Gruppe, die sich vom unteren Cambrium bis zum Ordovicium gebildet hatte. Die meisten in Petra zutage tretenden Sandsteine gehören den Umm 'Ishrin und Disi Formationen an, die auch im Wadi Rumm gefunden werden. Der Disi

Introduction

The diversity of architectural styles characteristic of the tomb façades of Petra has been the object of study by many scholars. Brünnow and Domaszewski recorded many of the monuments of Petra on maps and classified the rock-hewn tomb façades into seven types, based on their architectural features.¹ Kennedy² presented a different typology of these façades, which Browning³ rejected, giving yet another nomenclature and attempting to place the different façade types into a chronological order. This was based on the assumption that these architectural styles had undergone an evolutionary process through time. McKenzie⁴, on the other hand, divided the principal monuments of Petra into groups on the basis of the architectural features of these monuments and suggested a chronological sequence within each group. All the studies mentioned so far postulate external stylistic influences, either Hellenistic or oriental. Indeed, it is not surprising to find architectural features in Petra that have been known to exist in other cultures, considering the fact that the Nabataean kingdom was at the cross-roads of many of these civilizations. Yet, the architecture of Petra presents a certain individuality and uniqueness, that cannot be understood as a combination of foreign styles and architectural elements only. Although the stylistic influences have been thoroughly investigated, so far there has been very little research on the building and construction techniques of the Nabataeans. Knowledge of such techniques is, however, essential for the appreciation of the peculiarities of Nabataean architecture and, apart from that, for restoration. Therefore, during the preparation of the restoration of Tomb 825 they became the topic of detailed research for the first time.

Selection of Stones

The type and properties of a stone affect the way it can be worked and used. The sandstone present in Petra is considered a rather soft stone, which makes working it easy and allows detailed carving.⁵ Its workability, however, depends on the characteristics of the different layers it belongs to. According to Barjous and Jaser⁶, the sandstones of Petra belong to the Ram Sandstone Group, which were formed from the lower Cambrian to the Ordovician. Most of the sandstones cropping out in Petra belong to the Umm 'Ishrin and Disi formations which can also be found in Wadi Rumm. The Disi sandstone formation is a relatively weak stone and weathers out quickly. Thus it was not used for decorative carving.⁷ The Umm 'Ishrin sandstone is subdivided into the upper, middle and lower Umm 'Ishrin sandstone. The upper Umm 'Ishrin sandstone is characterized by its white and

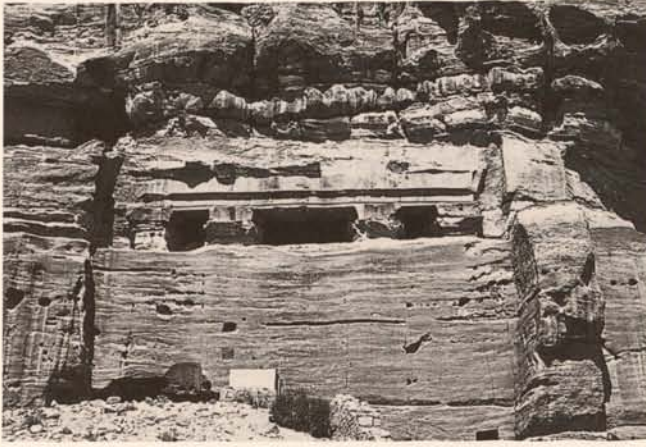


Abb. 1. Unfertiges Grabmonument in Petra
Fig. 1. Unfinished tomb in Petra



Abb. 2. Steinbruch im Wadi Siyyagh
Fig. 2. Quarry in Wadi Siyyagh

Sandstein ist relativ schwach, wittert schnell aus und wurde deshalb nicht für Steinmetzarbeiten herangezogen.⁷ Der Umm 'Ishrin Sandstein wird in den oberen, mittleren und unteren Umm 'Ishrin Sandstein unterteilt. Der obere Umm 'Ishrin Sandstein ist durch seine weiße und rote Farbe, seine Härte und durch sein grobes bis mittleres Korn charakterisiert und wurde deshalb von den Einwohnern als Werkstein für die Gebäude verwendet. Der mittlere Umm 'Ishrin Sandstein ist vielfarbig, weist eine mittlere bis feine Körnung und schalenartige Lagerung auf, bricht leicht, erlaubt aber trotzdem die Meißelarbeit im gewachsenen Fels.⁸ Der untere Umm 'Ishrin Sandstein schließlich ist von mauve-weißer Farbe, von mittlerer bis grober Körnung und ebenfalls ziemlich hart. Diese Sandsteinschicht wurde zum Meißeln dekorativer Vierungen als auch zum Bauen verwendet.⁹

Wenn es möglich war, haben sich die Nabatäer vorhandene geologische Strukturen zunutze gemacht, um sich die Arbeit zu erleichtern. So wurden gelegentlich Steinblöcke entsprechend der natürlichen Lagerung des Gesteins herausgebrochen, oder eine natürliche Verwerfung als Kante für die Blöcke, die herausgebrochen werden sollten, verwendet.

Die in Petra verwendeten Konstruktionstechniken

Die Nabatäer haben in Petra zwei Konstruktionstechniken verwendet. Bei der einen wurden verschiedenste Strukturen, angefangen von einfachen Nischen, kleinen Bassins, Wohnhöhlen und großen Zisternen bis hin zu architektonisch gestalteten Monumentalfassaden aus dem massiven Sandstein der Berge herausgemeißelt. Ein unfertiges Grabmonument (Abb. 1) zeigt, daß dessen Fassade von oben nach unten gearbeitet wurde: Zuerst waren das Gesims und die Kapitelle fertig, dann wurde, während die Steinmetze die Fassade nach unten fortschreitend weiter bearbeiteten, gleichzeitig der Innenraum aus dem Fels ausgehöhlt.¹⁰ Nach Hammond¹¹ wurde zuerst eine senkrechte, glatte Wandfläche geschaffen, aus der dann die Fassade mit allen ihren Details herausgearbeitet wurde. Aber nicht alle unfertigen Grabfassaden zeigen dieses Vorgehen. Dort, wo man den Felsen begehen konnte, scheinen die Steinmetze zunächst in der Höhe durch Abarbeiten des gewachsenen Felsens eine horizontale Plattform geschaffen zu haben, von der aus sie das obere Ende der Fassade aus dem Stein meißeln konnten, dann die nächste, tiefer liegende Plattform, von der sie die nächste Fassa-

mauve-red colour, its hardness, and by being coarse to medium grained. It was used by the ancient inhabitants for the quarry stones of their buildings. The middle Umm 'Ishrin sandstone is multi-coloured and has medium to fine grains. Moreover, it has silty sand and shale beds, and breaks easily, but nevertheless allows carving straight out of the rock.⁸ Finally, the lower Umm 'Ishrin sandstone is of a mauve-white colour, with medium to coarse grains and is also quite hard. This sandstone layer was used for carving decorative stone insets as well as for building.⁹

Whenever possible, the Nabataeans used existing geological structures to make their work easier. Therefore, stone blocks were occasionally quarried according to the natural bedding of the stone or, when a natural fault was present in the rock, it would be used as the edge for the blocks to be quarried.

The Building Techniques Used in Petra

The Nabataeans implemented two types of building techniques in Petra. The first technique is characterized by carving monuments out of solid sandstone mountains to create various structures, ranging from simple niches and small basins, rock-cut dwellings and cisterns, to the prominent architectural tomb façades. An unfinished tomb in Petra (fig. 1) shows that the façade was carved from top to bottom, where the entablature and capitals were first completed while the inside of the rock was hollowed out. Afterwards the stone-cutters proceeded with carving the façade downwards.¹⁰ According to Hammond¹¹, before the façades were shaped, the mountain rock was first cut and smoothly dressed, and this was followed by the carving of details. However, not all unfinished tombs reveal such evidence. It is possible that where the rock was used to stand on, the stone carvers came from above, and as they started from the top, they carved a portion of the upper part of the mountain, making a horizontal platform from which they continued cutting the stone to the inside. After that, they went down to cut another lower platform and again carved the façade at that level, continuing in this manner until the whole tomb was shaped. Another unfinished tomb has its upper part, including the crowsteps and cavetto cornice, already carved and dressed, while below, the rock is still irregular rather than being a smooth straight surface. The entrance of the tomb also appears to have been carved along with its interior chamber, which again appears not to be com-



Abb. 3. Steinbruch im Wadi Siyyagh, mit dem Fels verbundene Steinblöcke

Fig. 3. Quarry in Wadi Siyyagh, stone slabs still attached to the rock

denebene bearbeiteten und auf diese Weise nach unten fortgeschritten sind, bis das gesamte Grabmal fertiggestellt war. Bei einem anderen unfertigen Grab ist der obere Teil mit seinem Treppengiebel und Cavetto-Gesims fertig gemeißelt und dressiert, während der Fels darunter noch unregelmäßig und nicht geglättet ist. Der Eingang des Grabes ist gleichzeitig mit dem Innenraum, der ebenfalls nicht ganz fertig geworden ist, entstanden. Es scheint somit, als ob in diesem besonderen Fall zwei Gruppen von Steinmetzen gleichzeitig gearbeitet hätten: Eine an der Spitze und die andere im unteren Bereich des Grabmals, und daß die Arbeit beider Gruppen unvollendet geblieben ist. Man kann den bei der Bearbeitung der Fassaden in Petra angewendeten Arbeitsprozeß daher nicht verallgemeinern: Manchmal ist die Felswand geglättet und danach die Details herausgearbeitet worden, manchmal haben die Steinmetze an der Spitze begonnen und die Fassade mit all ihren Details nach unten fortschreitend aus dem Fels gemeißelt. In manchen Fällen scheint man auch mit der Arbeit oben und unten gleichzeitig begonnen zu haben. Die Innenräume sind in allen Fällen im selben Arbeitsgang herausgearbeitet worden. Wenn man aber die möglichen Arbeitsprozesse überdenkt, kann daraus geschlossen werden, daß die Nabatäer nicht ausschließlich von Felsplattformen, die ein Gerüst ersetzen, abhängig waren, sondern wahrscheinlich auch Gerüste und Seile bei ihrer Arbeit benutzten.

Die Ausführung der Felsfassaden war nach Hammond¹² nicht mit komplizierten technischen Problemen verbunden. Mit Wasserwaage und Senkblei konnte die Arbeit ohne Schwierigkeiten bewältigt werden.

Bei der zweiten Konstruktionstechnik, d. h. bei der Errichtung von Gebäuden, wurden gebrochene Steinblöcke verwendet. Einer der größten dafür verwendeten Steinbrüche Petras liegt im Wadi Siyyagh. Es scheint, als seien dort zuerst die Kanten der Wände relativ vertikal und mit einer grob dressierten Oberfläche ausgerichtet worden (Abb. 2). Durch die ganze Höhe der Wand wurden sodann Stufen geschlagen (Farbtafel VIII. 3) und am oberen Ende dieser Leiter zwei Aushöhlungen angelegt, die möglicherweise als Halt für die Hände beim Ausstieg aus der Leiter dienten. Dann wurden Rinnen von oben in die Felsplattform eingetieft und auf diese Weise Blöcke bzw. Platten geschaffen, die noch mit dem gewachsenen Fels verbunden waren (Abb. 3). Um die Platten oder Blöcke vom Fels zu lösen wurde höchstwahrscheinlich die von Rockwell¹³ beschriebene Methode angewendet. An der Basis der Blöcke wurden Löcher in den Fels ge-



Abb. 4. Steinbruch im Wadi Siyyagh, Steinblock mit Keillöchern

Fig. 4. Quarry in Wadi Siyyagh, carved stoneblock with holes for the wedges

pletely finished. It seems that in this particular case, two groups of stone masons began the carving process simultaneously: one group at the top and the other one below, while the work of both groups remained unfinished. Therefore, it is clear that one cannot generalize the procedure implemented for carving the façades in Petra, as sometimes the mountain was cut off vertically, and the details were carved afterwards, while in other cases cutting was begun from the top proceeding downward along the façade with the carving of details being done at the same time. In certain cases carving was done at the top and the bottom, the carving of the interior being carried out at the same time in all cases. Considering the above mentioned processes, it can be concluded that the Nabataeans did not depend solely on the rock which would have substituted a scaffolding. Instead they probably used scaffoldings as well as ropes.

According to Hammond¹², the execution of such constructions as the rock-cut façades of Petra did not cause complex engineering problems, and with the use of levels and plumb lines the work could be achieved without difficulty.

For the second technique of construction in Petra quarried stone blocks were used. One of the biggest quarries in Petra is situated in the area of Wadi Siyyagh. It seems that the quarry was first prepared by cutting the edges of the wall to have a relatively vertical, roughly dressed surface (fig. 2). Step ladders

Abb. 5. Natürliche Spalte als Kante einiger abzusprengender Blöcke

Fig. 5. Natural joint in the rock marking the edge of some slabs which were to be cut



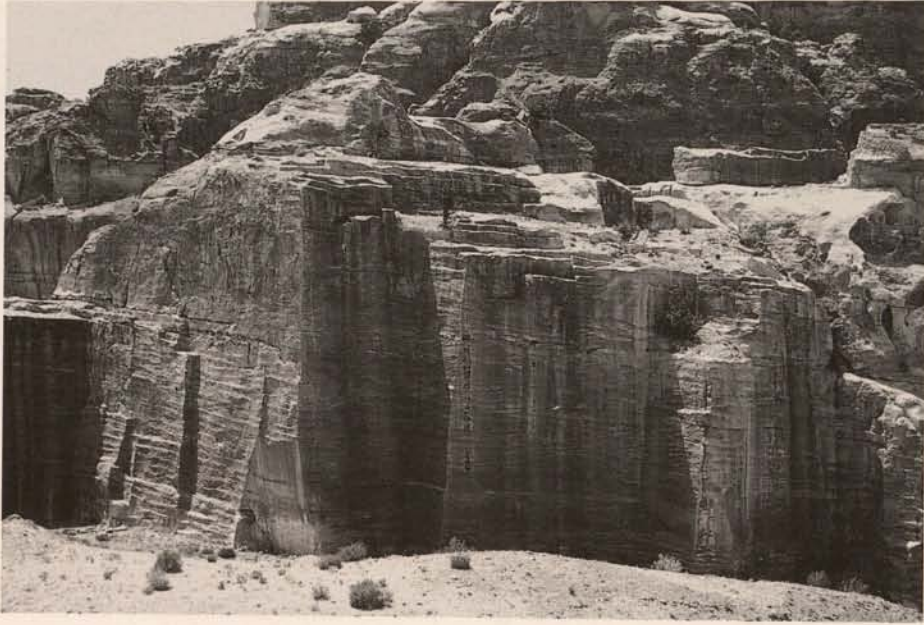


Abb. 6. Steinbruch in der Nähe des Dorfes Umm Sayhun

Fig. 6. Quarry near the village of Umm Sayhun

schlagen und hölzerne Keile eingesetzt (Abb. 4). Die Holzkeile wurden naß gemacht, dehnten sich durch Quellen aus und sprengten den Block ab. Alternativ könnten auch Metallkeile verwendet worden sein. Sie wurden zwischen zwei in die Löcher eingelegte Metallstreifen gesetzt, eingeschlagen und der Stein auf diese Weise abgesprengt. Normalerweise wurden mehrere Keile gleichzeitig in parallele Lochreihen eingesetzt, um den Block abzulösen. Außerdem scheint es, und das wird bei diesem Steinbruch deutlich, als ob die Nabatäer sich natürlicher Spalten bedient hätten, um die Prozedur des Absprengens zu vereinfachen (Abb. 5).

In einem anderen ähnlichen Steinbruch bei dem Dorf Umm Sayhun (Abb. 6) sind die senkrechten, grob behauenen Kanten der Wände und auch die nach oben führenden Reihen der Trittstufen ebenfalls deutlich zu beobachten. Die von den Steinmetzwerkzeugen zurückgelassenen Bearbeitungsspuren zeigen, daß die einzelnen Blöcke etwa 30–40 cm tief, manchmal auch etwas größer waren. Die Steinmetztechnik mit Schrotgängen und Keilen, welche die Nabatäer zum Herauslösen der Blöcke in den Steinbrüchen verwendeten, scheint auch bei der Abarbeitung der Plattformen von denen die Fassaden in den Fels gehauen wurden, als auch bei der Bearbeitung der Monumente selbst verwendet worden zu sein, wie die Oberseite der Giebel von ad-Dayr beweist.

Meißeln und Zurichten des Steins

Aus den Spuren, welche die Werkzeuge der Steinmetze im Fels hinterlassen haben, ist zu schließen, daß sie vor allem den Zweispitz (Abb. 7), der mit zwei Händen gehalten wird sowie Spitz-, Zahn- und Flacheisen, welche in einer Hand gehalten und mit Hilfe eines Fäustels geschlagen werden (Abb. 10), verwendet haben. Der Gebrauch des Zweispitzes in der Steinmetztechnik der Nabatäer ist nicht nur durch die kurzen Hackspuren, die dieses Werkzeug im Stein hinterläßt (Abb. 8), sondern auch durch eine wohl aus nabatäischer Zeit stammende Ritzzeichnung auf dem Weg zum High Place, dem Opferplatz (Farbtafel VIII.1) belegt.

were then carved into the rock all the way upwards and along the corner edges, with two hollowed out holes at the top horizontal plane of the mountain (colour plate VIII. 3); these were probably made for the hands to be placed and secured at the top of the climb. Channels were then cut into the platform from the top, creating slabs or blocks still attached to the bedrock (fig. 3). In order to detach the slabs from the rock, it is very probable that the method described by Rockwell¹³ was implemented. In this method, wooden wedges would have been hammered into the holes worked out at the base of a block (fig. 4), and upon wetting, the wood would then have swollen, thus splitting the stone slab. As an alternative, metallic wedges could have been used and metallic strips would have been placed between the stone and the single wedge, which was then hammered out. Usually, several wedges were used in a series of holes carved along a line, marking the edge of the block to be quarried. Moreover, in this particular quarry it seems as if the Nabataeans made use of a natural joint existing in the natural rock and hence made it to be the edge of quarried stones in order to simplify the cutting process (fig. 5).

In a similar quarry near the village of Umm Sayhun (fig. 6), there are vertical, roughly dressed edges with step ladders leading to the top. Marks made by the tools used for dressing show that each block is roughly 30–40 cm deep and occasionally deeper. The stone mason's technique with shot galleries and wedges (keys), used by the Nabataeans in their quarries to break off the stone blocks, seems to have been applied as well in the formation of the platforms from which the façades have been carved into the rock, and with the elaboration of the monuments themselves as may be concluded from the top of the pediment of ad-Dayr.

Carving and Dressing of the Stone

The marks left by the tools of the stonemasons prove that they primarily used the pick axe (fig. 7), which is held with two hands, as well as pointed, tooth and flat chisels, which are held

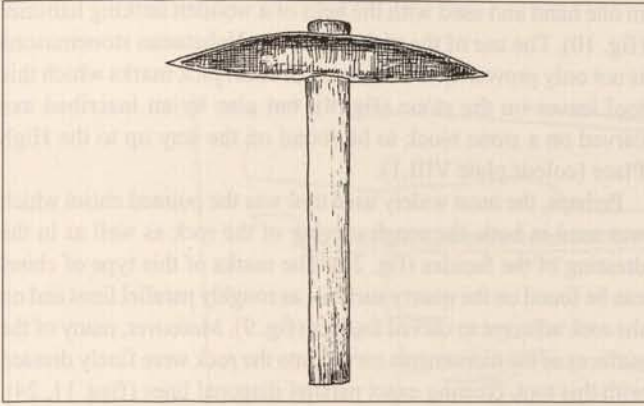


Abb. 7. Zweispietz / Fig. 7. Pick axe

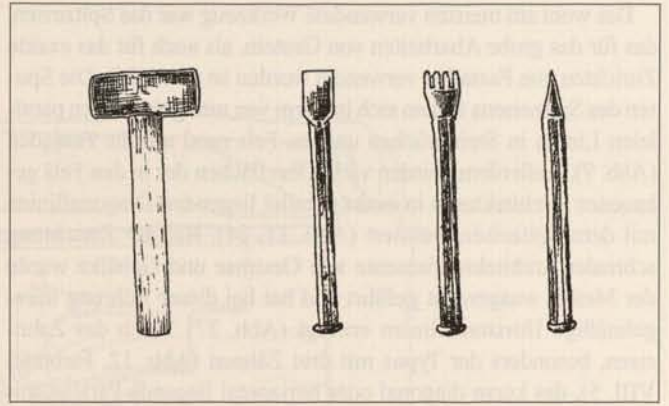


Abb. 10. Fäustel, Flach-, Zahn- und Spitzeisen
Fig. 10. Hammer, flat, tooth and pointed chisel



8

Abb. 8. Hackspuren eines Zweispietzes
Fig. 8. Marks of a pick axe

Abb. 9. Spuren der Bearbeitung mit dem Spitzeisen in einem Steinbruch
Fig. 9. Tool marks from the pointed chisel in a quarry



9

Abb. 11. Einsatz des Spitzeisens zur Ausarbeitung parallel liegender Diagonallinien
Fig. 11. Dressing of parallel diagonal lines with a pointed chisel

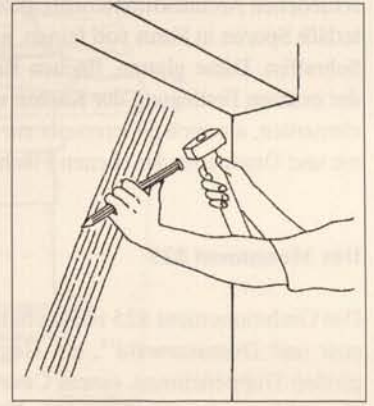


Abb. 12. Einsatz des Zahneisens
Fig. 12. Working with a tooth chisel

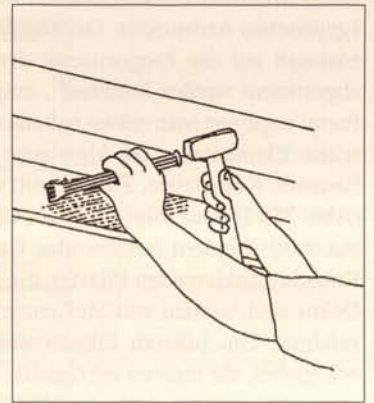
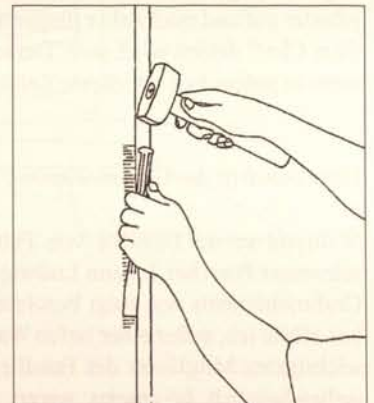


Abb. 13. Einsatz des Flacheisens an den Kanten
Fig. 13. Working with a flat chisel on the edges



Das wohl am meisten verwendete Werkzeug war das Spitz Eisen, das für das grobe Abarbeiten von Gestein, als auch für das exakte Zurichten von Fassaden verwendet worden ist (Abb. 26). Die Spuren des Spitz Eisens finden sich in Form von unregelmäßigen parallelen Linien in Steinbrüchen und im Fels rund um die Fassaden (Abb. 9). Außerdem wurden viele Oberflächen der in den Fels gehauenen Architekturen in exakt parallel liegenden Diagonallinien mit dem Spitz Eisen dressiert (Abb. 11, 24). Bei der Zurichtung schmaler Architekturelemente wie Gesimse und Gebälke wurde der Meißel waagrecht geführt und hat bei dieser Führung unregelmäßige Horizontallinien erzeugt (Abb. 27). Auch das Zahneisen, besonders der Typus mit drei Zähnen (Abb. 12, Farbtafel VIII. 5), das kurze diagonal oder horizontal liegende Parallellinien zurückläßt, wurde hauptsächlich zum Zurichten von schmalen Architekturelementen an den Fassaden verwendet. Mit dem Flach-eisen wurden die glatten Randschläge als Bezugskanten der verschiedenen Architekturelemente gelegt (Abb. 13, 27, 28). Es hinterläßt Spuren in Form von feinen, aufeinanderfolgenden geraden Schraffen. Diese glatten, flachen Randstreifen dienten einerseits der exakten Festlegung der Kanten von Blöcken und Architekturelementen, als auch andererseits zur Orientierung beim Ausarbeiten und Dressieren der ebenen Flächen.

Das Monument 825

Das Grabmonument 825 ist, nach der Klassifizierung von Brünnow und Domaszewski¹⁴, ein Hegrgrab und besteht aus zwei großen Treppenzinnen, einem Cavetto-Gesims, einer Attika und einem klassischen Gesims (Abb. 14, 16). Browning¹⁵ nannte den Hegr Typus den „Doppelgesimstypus“. Das Cavetto-Gesims in der Fassadenkomposition, welches im übrigen auch in der persischen Architektur nachgewiesen werden kann¹⁶, kommt aus der ägyptischen Architektur. Die abgetreppten Stufenzinnen, die im Maßstab auf die Proportionen der anderen Fassadenelemente abgestimmt werden konnten¹⁷, zeigen assyrischen Einfluß. Im Portal begegnet man neben nabatäischen Kapitellen auch klassischen Elementen. Das klassische Gesims besteht aus Sima, Eierstab, Kranzleiste, Zahnschnitt und einem weiteren Eierstab (Abb. 25). Darauf folgt ein Fries, ein Eierstab und Cyma und ein aus zwei Bändern bestehendes Gebälk. Die Kapitelle der die Fassade flankierenden Pilaster, die glatt, ohne jeglichen floralen Dekor sind, werden von McKenzie¹⁸ als „Typ 1 nabatäisch“ bezeichnet. Die äußeren Pilaster des Portals tragen einen Dreiecksgiebel, die inneren ein Gebälk. Die Fassade dieses Grabmonuments wird unterhalb des Frieses gerade über dem Eierstab von einer Wasserleitung aus gebrannten Tontubuli durchschnitten. Diese Wasserleitung läuft auch entlang der Nordseite des Siq. Sie liegt an einem bestimmten Punkt auf dem Straßenpflaster auf und muß daher jünger als die Anlage der Straße, die 50 n. Chr.¹⁹ datiert wird, sein. Daraus folgt, daß das Grabmonument in jedem Fall vor dieser Zeit entstanden ist.

Der Grundriß des Grabmonuments 825

Während seines Besuchs von Petra im August 1812 hat der schweizer Forscher Johann Ludwig Burckhardt²⁰ das Innere des Grabmonuments wie folgt beschrieben: „Im Boden eines Grabes zählte ich, außer einer tiefen Wandnische, wo die Körper der wichtigsten Mitglieder der Familie, welcher das Grab gehörte, wahrscheinlich beigesetzt waren, zwölf Eintiefungen dieser

in one hand and used with the help of a wooden striking hammer (fig. 10). The use of the pick axe by the Nabataean stonemasons is not only proved by the evidence of short pick marks which this tool leaves on the stone (fig. 8), but also by an inscribed axe carved on a stone block to be found on the way up to the High Place (colour plate VIII.1).

Perhaps, the most widely used tool was the pointed chisel which was used in both, the rough carving of the rock as well as in the dressing of the façades (fig. 26). The marks of this type of chisel can be found on the quarry surfaces as roughly parallel lines and on the rock adjacent to carved façades (fig. 9). Moreover, many of the surfaces of the monuments carved into the rock were finely dressed with this tool, creating exact parallel diagonal lines (figs. 11, 24). To dress narrow architectural elements, such as cornices and entablatures, the chisel was held horizontally, creating discontinuous horizontal lines (fig. 27). The tooth chisel, as well, especially the type with three fine teeth (fig. 12, colour plate VIII. 5), was mainly used to dress narrow architectural elements of the façades, leaving series of short, either diagonal or horizontal parallel lines.

The flat chisel was used to create the smooth bands along the vertical and horizontal edges of the architectural elements of the façades, with the marks being similar to a hatching of successive straight lines (figs. 13, 27, 28). These flat smooth horizontal edges of stone blocks or architectural details of the façades were essential for the definition of the exact measured edges of the overall shape, and afterwards as an orientation for the chiselling of the plane surfaces.

Tomb 825

Tomb 825 is a Hegr Tomb, as classified by Brünnow and Domaszewski¹⁴, and consists of two sets of large steps, a cavetto cornice, an attic storey, and a classical cornice (figs. 14, 16). Browning¹⁵ called the Hegr type of tombs the ‘Double Cornice’ type. Here, we find the Egyptian influence of using the cavetto cornice in the composition of the façade, which has also been found in Persian architecture.¹⁶ The Assyrian influence is found in the presence of crowsteps, which could be adapted and modified in scale to fit the proportions of the rest of the façade elements.¹⁷ There are also the Nabataean capitals which, together with classical elements, form the doorway order. The classical cornice is made up of a sima, bevelled ovolo, corona, dentil elements and another bevelled ovolo (fig. 25). This is followed by a frieze, a bevelled ovolo and cyma reversa, and a two fascia entablature. The capitals flanking the two sides of the façade are classified by McKenzie as ‘Type 1 Nabataean’.¹⁸ They are actually plain-faced, lacking any floral ornamentation. The doorway consists of an outer triangular pediment order and an inner entablature order. The façade of this tomb is cut through at the bottom of the frieze just above the bevelled ovolo where a ceramic pipe was inserted. This pipe also runs along the northern side of the Siq. At a certain point it sits on the road paving and must therefore be later than the road construction, dated 50 A. D.¹⁹ Consequently, the tomb was definitely built before this date.

The Ground Plan of Tomb 825

During his visit to Petra in August 1812, the Swiss explorer Johann Ludwig Burckhardt²⁰ described the interior of the tomb: ‘in the floor of one sepulchre I counted as many as twelve cavi-

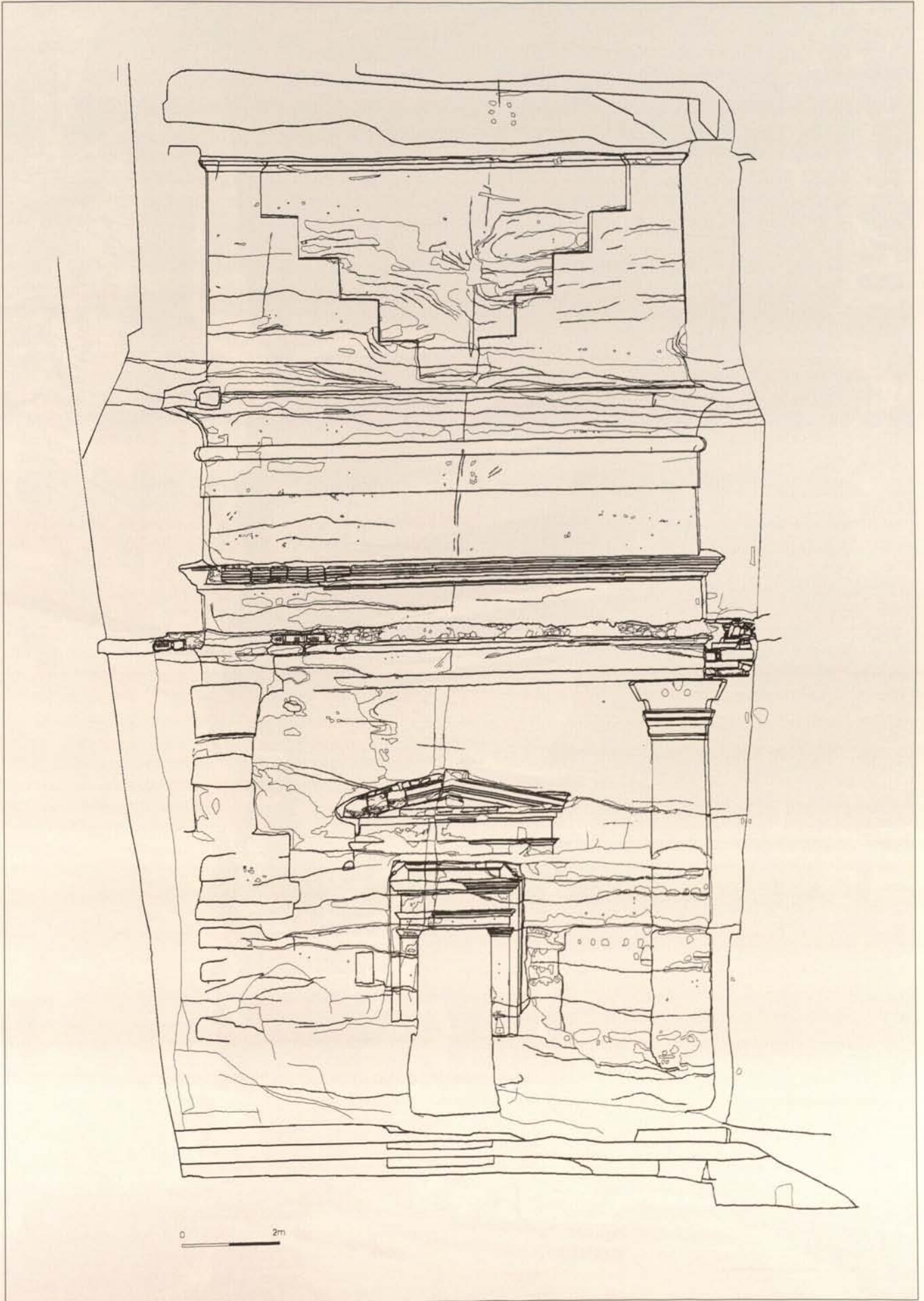


Abb. 14. Aufmaß der Fassade des Grabmonuments 825 / Fig. 14. Elevation of the façade of Tomb 825

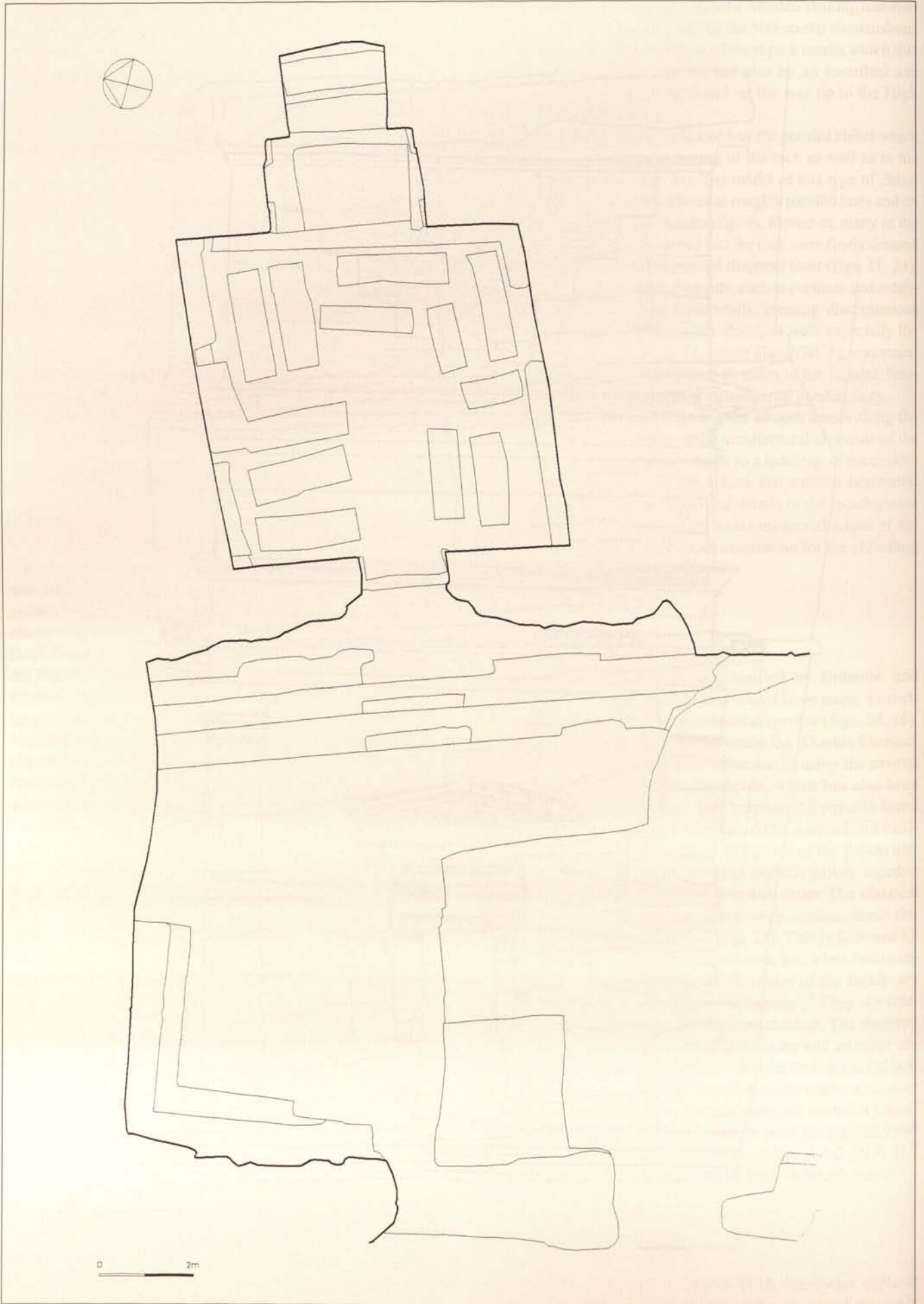


Abb. 15. Grundriß des Grabmonuments 825 / Fig. 15. Ground plan of Tomb 825

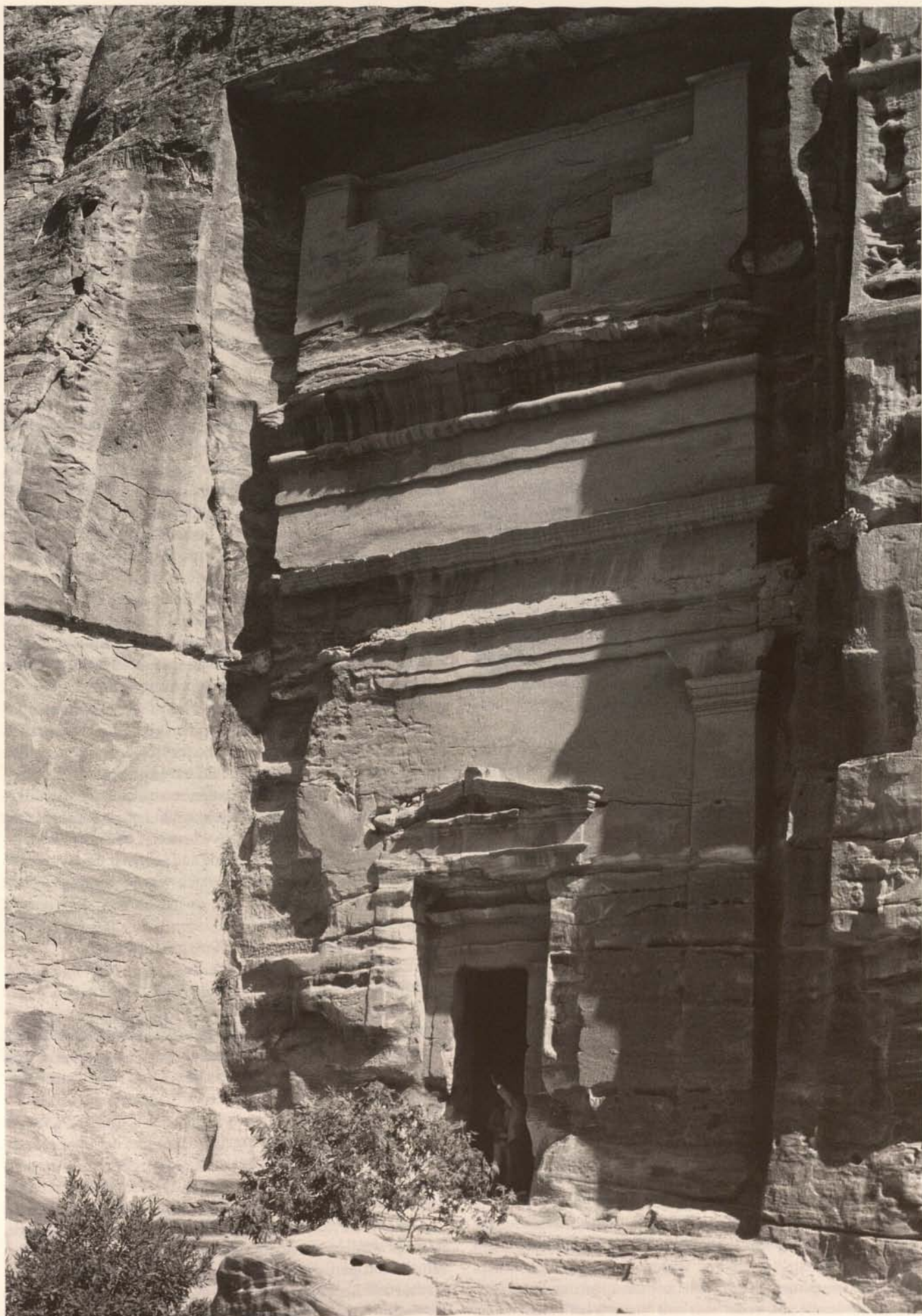


Abb. 16. Fassade des Grabmonuments 825 vor der Restaurierung / Fig. 16. Façade of Tomb 825 before restoration

Art“. Tatsächlich besteht das Innere aus einem rechteckigen Raum mit vierzehn Gräbern, die in den Fels des Bodens eingetieft sind (Abb. 15). Auch die dem Eingang gegenüberliegende Wandnische besitzt eine große Öffnung im Boden, die wesentlich größer als die anderen ist und ebenfalls als Grab gedient haben könnte. Diese rundbogige Nische wird von Pilastern flankiert und öffnet sich in eine andere kleinere Nische in deren Boden sich noch zwei weitere Gräber befinden (Abb. 17, 18).

Vor dem Eingang des Grabmonuments befindet sich ein halb geschlossener Raum, der an der Nord- und Westseite von gewachsenen Felswänden eingeschlossen ist und von dem drei Stufen zur Grabkammer hinaufführen. Die Nordwestecke besitzt so etwas wie eine aus dem gewachsenen Fels gemeißelte „Bank“, die aus zwei Ebenen besteht und möglicherweise einmal als Biclinium gedient hat.

Die Ausarbeitung der Fassade

Wie die meisten anderen Grabmonumente in Petra ist das Monument 825 aus dem gewachsenen Sandsteinfelsen gemeißelt worden. Die Fassade wurde, mit einem gewissen Freiraum darüber und auf beiden Seiten, in die Felswand eingeschnitten. Auf der linken Seite der Wand befindet sich eine horizontal ausgeschnittene Plattform, die möglicherweise den Steinmetzen als Ausgangspunkt gedient hat. Oberhalb des abschließenden Gesimses ist die Felswand in einer Höhe von 1,95 m auf der linken und 0,7 m auf der rechten Seite ausgearbeitet. Dieser Teil konnte von unten nicht eingesehen werden und ist deshalb nur mit dem Spitz Eisen grob ausgearbeitet worden. Etwas rechts der Mitte dieses Bereichs befinden sich sechs flach gedrückte Mörtelklümpchen mit dem Abdruck eines textilen Musters (Abb. 19), an denen offensichtlich einmal ein Stück Stoff befestigt gewesen ist. Höchstwahrscheinlich hat dieses Stück Stoff eine Information enthalten, die aber nicht sicher gedeutet werden kann. Es könnte ein Art Widmung gewesen sein, die bei Beginn oder der Einweihung des Werks dort angebracht worden war. Es könnte sich aber auch um den Namen des Grabinhabers, des Auftragnehmers oder auch um einen Aufriß der Fassade gehandelt haben. Die erste Interpretation scheint die wahrscheinlichste zu sein, weil die Position der angeklebten Mörtelstücke deutlich macht, daß das, was daran befestigt war, von keinem, außer von demjenigen, der sich direkt davor befunden hat, gesehen werden konnte. An der linken Seite der Fassade, ungefähr auf dem Niveau des Gesimses, befindet sich eine aus dem Fels gearbeitete Öse, in der vielleicht ein Seilzug oder auch ein Senkblei befestigt gewesen ist.

Vierungen

Viele Teile der Fassade wurden, namentlich auf der linken Seite des Monuments, aus Werksteinen konstruiert (Abb. 16). Solche Werksteine oder Vierungen befinden sich in der linken Hälfte des klassischen Gesimses und auch in der linken Hälfte des Giebels über dem Portal (Abb. 20, 21). Eintiefungen zeigen außerdem deutlich, daß auch der linke Pilaster der Fassade und der rechte Pilaster des Portals aus Werksteinen aufgeführt worden waren. Das Cavetto-Gesims war vollständig aus dem gewachsenen Sandstein gemeißelt und weist nur am äußersten linken Ende eine Fehlstelle auf, in der sich eine Vierung befunden hat. Es scheint, als ob die schlechte Steinqualität in diesen Fassadenbe-

ties of this kind, besides a deep niche in the wall, where the bodies of the principal members of the family, to whom the sepulchre belonged, were probably deposited'. The interior actually consists of a squarish room with fourteen graves cut into the bedrock floor (fig. 15). The wall opposite the doorway has a recess with an opening in the ground, which is much larger than the others and may have served as a grave. This round-arched recess is flanked by pilasters and opens into another smaller recess with two other graves cut into the ground (figs. 17, 18).

In front of the entrance is a semi-enclosed space, which is framed on its northern and western sides by bedrock walls and leads into the interior chamber by three steps. The north-western corner has what appears to be a 'bench' that has been carved out of the bedrock, consisting of two levels, and would have probably served as a biclinium.

The Working of the Façade

Like most of the other tombs in Petra, Tomb 825 was carved out of the sandstone rock. The façade is actually set into the mountain with a certain free area above and along its sides. There is a horizontal cut on the left side of the wall which was probably used as a platform from which the stone cutters proceeded to carve inside the mountain. Thus, just above the uppermost cornice, the mountain is cut to the inside at a height of 1.95 m on the left side and 0.7 m on the right side. This part was not meant to be seen from below and is therefore crudely finished with a pointed chisel. In the middle of that area but more to the right, we find six mortar patches with textile impressions (fig. 19), to which obviously a piece of cloth was once attached. Most probably this piece of cloth held some information, to which, however, there is no certain interpretation. One of these interpretations would be that it was a kind of dedication, placed at the initiation of the work, while another would be that it held the name of the owner or the contractor, or it could have contained a sketch of the façade. The former interpretation seems to be the most likely since the position of the patches would not permit what ever was held there to be seen from anywhere else other than from directly in front. On the left hand side and nearly at the level of the cornice, a hole can be noticed, which was probably used as a hook to carry a rope for lifting, or maybe even for fixing a plumb.

Stone Insets

Many parts of the façade were constructed from stone insets, found especially along the left side of the monument (fig. 16). Such stone insets are found in the left part of the classical cornice and the left part of the doorway pediment (figs. 20, 21), while evidence clearly shows that stone insets were used to construct the left pilaster flanking the façade and the right side pilaster of the outer doorway order. The cavetto cornice was totally carved out of the natural sandstone except for the extreme left part, which retains the place of one missing stone inset. It seems that, due to the stone's poor quality in such areas of the façade, it was preferable to insert quarried stone blocks. In order to insert the left part of the doorway pediment, a cavity was first created with an area a little bigger than the exact final size needed, and then the moulded stone pieces were inserted with mortar, fitted with smaller stone fragments, and then covered with

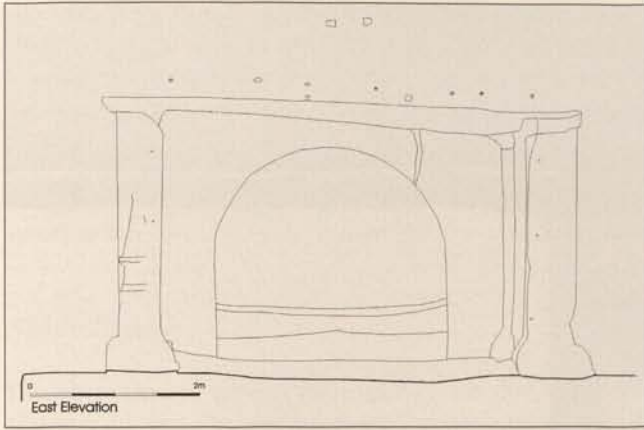


Abb. 17. Aufmaß der Frontwand im Inneren von Grabmonument 825
 Fig. 17. Elevation of the interior front of Tomb 825



Abb. 18. Frontwand im Inneren von Grabmonument 825
 Fig. 18. Interior front of Tomb 825

reichen eine Konstruktion mit Werksteinen notwendig gemacht hat. Um den linken Teil des Giebels über dem Eingang einzufügen, wurde zuerst eine Vertiefung ausgemeißelt, die etwas größer als die Vierungen war. Dann wurden die Vierungen in ein Mörtelbett eingesetzt, mit kleinen Keilsteinen verklemmt und anschließend mit einem Abdeckmörtel versehen. Auf den Vierungen befindet sich das Sima, der Eierstab und die Kranzleiste, während der Zahnschnitt und der untere Eierstab, die gleichzeitig als Stütze für die Vierungen dienten, aus dem gewachsenen Fels gemeißelt wurden. Die Vierungen des Giebels beginnen genau dort, wo sich eine Verwerfung im natürlichen Gestein befindet. Die rechte Seite der ersten Vierung, welche an den gemeißelten Teil des Gesimses anschließt, nimmt den Verlauf dieser Verwerfung auf und ist auf ihrer rechten Seite unregelmäßig behauen. Dieses war möglicherweise eine bewußt angewendete Technik, um dem auf dem gemeißelten Sandstein des Gesimses aufliegenden Werkstück einen besseren Halt zu verleihen. Auch für die Vierungen von vertikalen Architekturelementen wurden Eintiefungen in der Fassade geschaffen und die Blöcke von unten nach oben fortschreitend eingesetzt.

Die Wasserleitung

Am unteren Ende des Frieses, oberhalb des Cymas und des Eierstabs, wurde die Fassade zur Aufnahme der Tontubuli der Wasserleitung (Abb. 22) von einem Ende zum anderen in Form eines schmalen Kanals aufgemeißelt. Die Tubuli wurden mit kleinen Bruchsteinen und Mörtel in der Aushöhlung fixiert und mit Mörtel bedeckt, so daß sie in der Fassadenarchitektur nur in relativ geringfügigem Maß in Erscheinung traten. Auf der linken Seite der Fassade, wo die Wasserleitung ausgebrochen ist, sind Mörtelreste vorhanden, die anders aussehen als der Mörtel, der zum Einsetzen der Tubuli benutzt worden ist und möglicherweise der Mischung angehörten, die für die Vierungen der ersten originalen Phase verwendet wurde. In der unteren Hälfte der rechten Kante der Fassade sind, möglicherweise während der Installation der Wasserleitung, einige ösenartige Löcher ausgemeißelt worden (Abb. 23). Durch diese Ösen könnte ein Seil geführt worden sein, das vielleicht als Aufstiegshilfe bis zum Gesimsniveau gedient hat. Da die Wasserleitung von rechts kommend das Monument durchquert, wurden auf der rechten Seite der Fassade Steinblöcke als Stütze für die Wasserleitung aufgemauert (Farbtafel VIII. 4). Zuerst wurde eine einzige

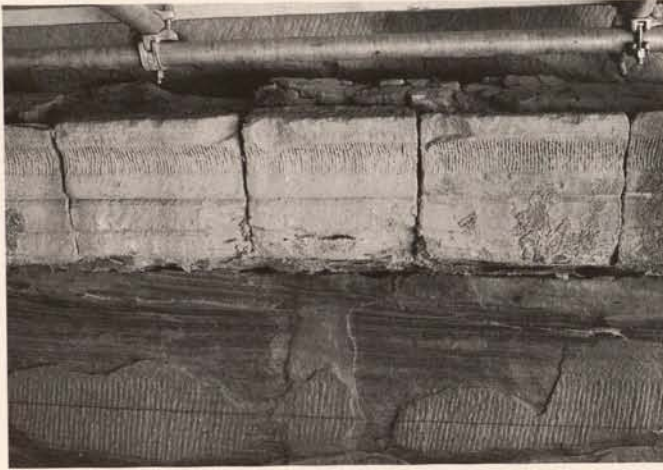


Abb. 19. Mörtelreste mit dem Abdruck eines textilen Musters
 Fig. 19. Mortar patches with textile impressions

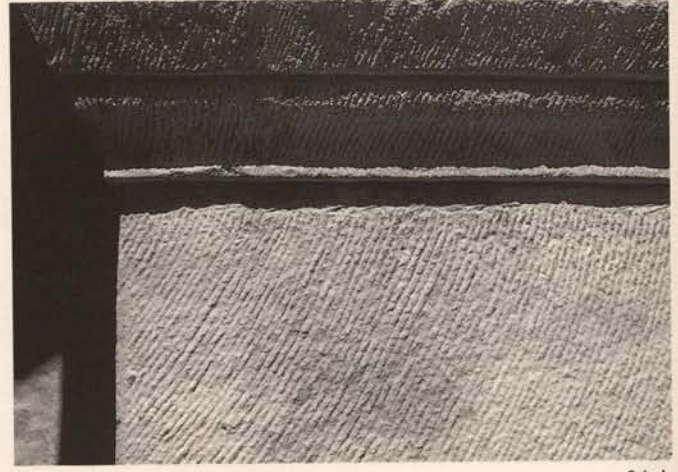
mortar. The cornice insets include the sima, the bevelled ovolo and the corona, while the dentil element and the bevelled ovolo below, which provide support for the insets, are cut out of the natural stone. The pediment insets begin just where a natural fault of the stone is found. The right edge of the first inset, which follows the carved section of the cornice, takes up the alignment of the fault. On its right side, it is cut in a staggering manner. This was probably a technique implemented for the stone insets to make the cut stone sit on the original carved sandstone cornice in a more stable manner. For insets of vertical architectural elements, grooves were again cut into the façade and building blocks were built from the bottom, proceeding upwards.

Pipe Installation

At the bottom of the frieze, and just above a moulding which consists of a cyma reversa and a bevelled ovolo, the stone face was cut and hollowed out creating a cavity in which ceramic pipes were installed (fig. 22). They were fixed in position with stone fragments and a mortar mix that was also used to cover the installations, giving it a hidden appearance with minimum damage to the façade architecture. On the left part of the façade where the pipe has fallen off, there are some remains of mortar which look different from that used in binding the ceramic pipe. Hence, this mortar was probably the mix used for fixing the



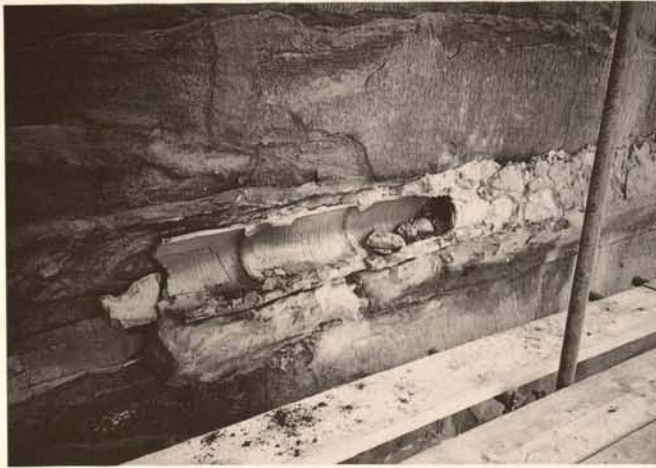
△ 20



24 △



△ 21



△ 22

23 ▽

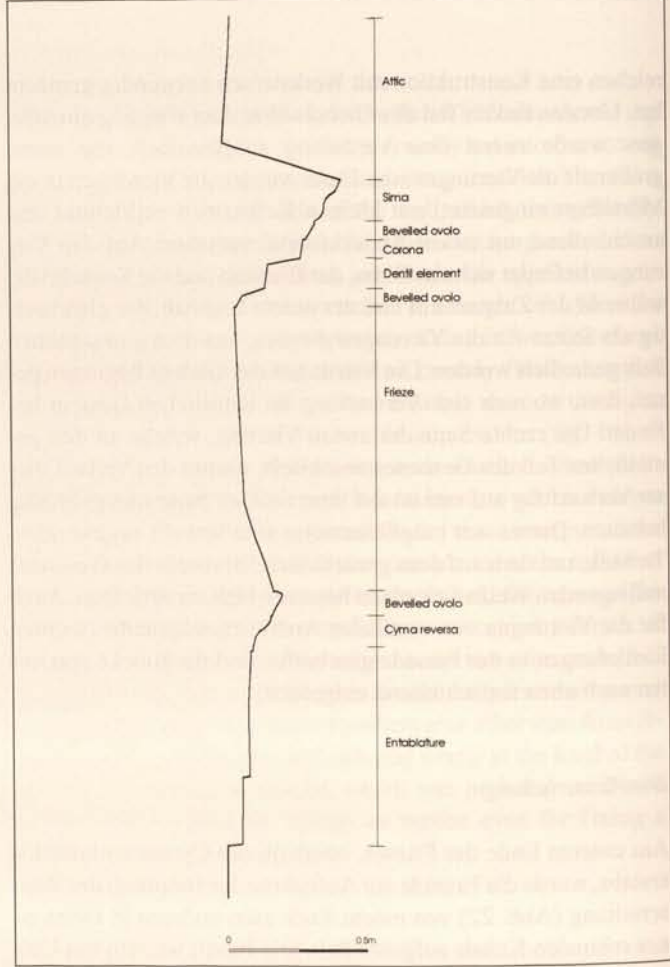


Abb. 25. Gesims, Fries und Gebälk des Grabmonuments 825
 Fig. 25. Cornice, frieze and entablature of Tomb 825

Abb. 20. Vierungen (Werkstücke) im klassischen Gesims
 Fig. 20. Insets in the classical cornice

Abb. 21. Vierungen (Werkstücke) im Giebel
 Fig. 21. Insets in the pediment

Abb. 22. Wasserleitung
 Fig. 22. Pipe installation

Abb. 23. Gemeißelte Aushöhlung auf der rechten Seite der Fassade
 Fig. 23. Carved hollowing on the right side of the façade

Abb. 24. Diagonale Zurichtung des Steins mit dem Spitzisen
 Fig. 24. Diagonal dressing of the stone with a pointed chisel

Steinplatte verlegt, die die Entfernung zwischen dem rechten Ende des Pilasterkapitells und dem gegenüberliegenden Ende des Felsens überbrückt, und so ein Auflager bildete, auf dem die anderen Steine aufgemauert werden konnten. Die Wasserleitung führt nach dem Monument weiter in den gewachsenen Fels und zum nächsten Monument, wo noch der Ansatz eines Bogens erhalten ist, der früher einmal an dieser Stelle die Wasserleitung getragen hat.

Wasserableitung

Das obere Gesims und die Stufen der Zinnen sind nach vorne abgeschrägt, um das Abtropfen des Wassers zu ermöglichen. Das klassische Gesims besteht, wie schon beschrieben, zu einem Drittel aus Vierungen, die mit einem Abdeckmörtel versehen sind, der so wie der übrige Teil des gemeißelten Gesimses, angebösch ist. Das obere Ende der Vierungen, das an die Fassadenwand anschließt, ist in Form eines kleinen Kanals eingetieft. Hier wurde Mörtel angetragen und bis an die Fassadenwand verstrichen, um den Anschluß zwischen Vierung und Wand zu versiegeln.

Die Zurichtung der Fassade

An der Fassade des Grabmonuments 825 sind noch gut dressierte Oberflächen erhalten. Offenbar wurden während des Arbeitsprozesses die vorspringenden Architekturelemente zunächst in einfacher Blockgestalt belassen, während die anschließenden Fassadenflächen gemeißelt und dressiert worden sind. Danach erst scheinen die Architekturelemente behauen und zugerichtet worden zu sein. Beim Abarbeiten des Gesteins scheinen vor allem Zweispitz und Spitzeisen zum Einsatz gekommen zu sein. Der Zweispitz, der vor allem für Grobarbeiten, wie das Zurichten von Wandflächen und das Abarbeiten von Gesteinsmaterial in der unmittelbaren Umgebung der Monumente verwendet worden ist, hinterläßt kurze Hack- bzw. Schlagspuren (Abb. 8, 9). Am Monument 825 sind Spuren des Zweispitzes in den Vierungsnischen der Pilaster des linken Fassadenteils sowie an den nicht sichtbaren Oberseiten von Architekturelementen wie Gesimsen und Giebeln zu beobachten. Auch das Spitzeisen ist zum Abarbeiten von Gesteinsmaterial, vor allem aber auch zum Dressieren der Fassadenflächen verwendet worden, wobei ein Muster paralleler Linien entstanden ist, das für die meisten, wenn nicht gar für alle nabatäischen Monumente, charakteristisch ist (Abb. 24, 26). Diese schräg liegenden Linien weichen von der Vertikalen im allgemeinen um 15° bis 30° ab. In großen Flächen beginnen sie relativ gerade mit einer Abweichung von 15° von der Vertikalen und weisen im unteren Teil dann eine immer stärkere Biegung auf. Der Abstand zwischen den Linien variiert zwischen 6 mm in kleinen Bereichen und ungefähr 1 cm in großen Flächen. Da unterhalb vorspringender Architekturelemente nicht gleich mit einer Dressur angesetzt werden konnte, ist in solchen Fällen in einer Höhe von einigen Zentimetern zunächst horizontal zugerichtet und von da ab erst mit der regelmäßigen, schräg liegenden Dressur begonnen worden. Die Bereiche, die in Form von diagonal verlaufenden parallelen Linien dressiert wurden, sind meistens von einem ein bis zwei Zentimeter breiten Band, welches die Kanten der Architektur oder des Architekturelements markiert, gerahmt. Es wurde mit dem Flacheisen (Abb. 27, 28 und Farbtafel VIII. 5) ausgeführt,

stone insets of the original first phase. Several holes were cut along the lower half of the right edge of the monument probably during the phase of the channel installation (fig. 23). These holes could have held a rope which perhaps was used for climbing in order to reach the level of the cornice. Since the ceramic pipe continues before and after the monument itself, stone blocks were constructed to the right side of the façade, providing support for the pipe (colour plate VIII. 4). There, a single stone slab was first laid out, spanning the distance from just above the right side of the pilaster capital to the edge wall of the façade and acting as a beam, on top of which the other stones were laid. The pipe continues into the adjacent rock mountain and to the next monument, where at a certain point we still see evidence of the springing of an arch that was once built to carry the pipe at that specific point.

Water Drainage

The upper cornice and the tops of the crowsteps are inclined downward, enabling the water to drain out. About one third of the classical cornice was built from stone insets and covered at the top with mortar which slopes down to the outside along with the rest of the carved cornice, thus acting as a coping. The top edge of the insets closest to the façade wall were hollowed out, creating a kind of channel. There, mortar was laid out, continuing on the back wall in order to seal off the connection between the inset stones and the wall.

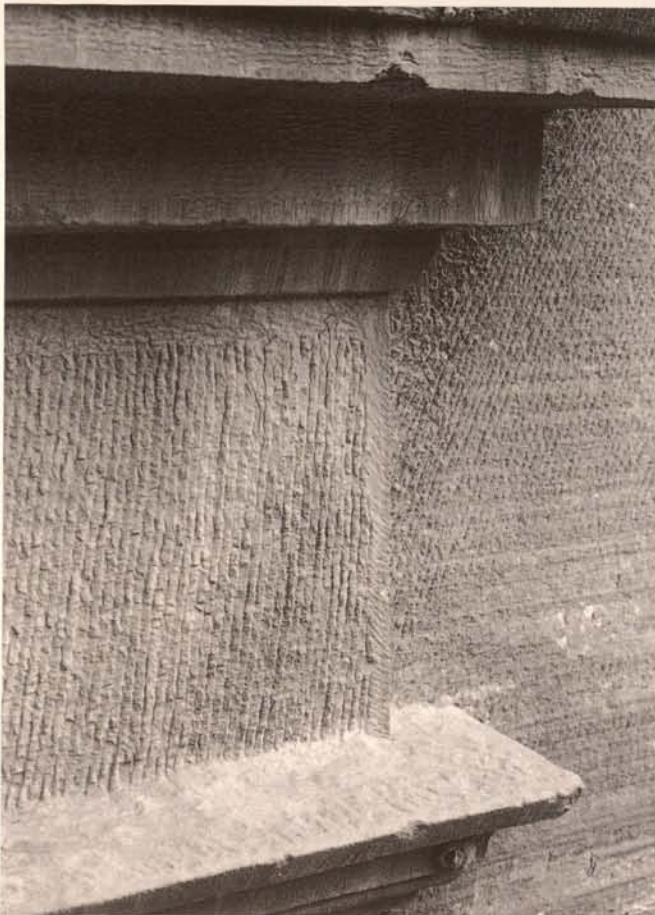
The Dressing of the Façade

The façade of Tomb 825 retains well dressed final surfaces. Apparently, the protruding architectural elements were first left as simple blocks, while the plane surfaces next to them were cut and dressed. After that, the elements were shaped and finely dressed. The pick axe has mainly been used for rough working like the dressing of the walls and the treatment of the stone material around the monuments, leaving short picking and beating traces (figs. 8, 9). With Tomb 825 traces of the pick axe in the inset niches of the left part of the façade as well as on the non visible upper parts of the architectural elements, like cornices and pediments, are to be observed. The pointed chisel has also been used to treat the stone material, as well as for the dressing of the façades, creating a surface of parallel lines which is characteristic of most, if not all, Nabataean monuments (figs. 24, 26). Such dressing lines are normally inclined from the vertical by 15° to 30°. In large areas, these parallel lines begin by being relatively straight with an inclination of 15° from the vertical, and then curve to become more inclined at the lower part. The spacing between the lines varies between 6 mm for small areas, and about 1 cm for the large areas. Sometimes the protrusion of architectural elements from above renders it difficult to have these parallel straight lines starting immediately from the upper edge. Hence at a thickness of a few centimeters, the upper part was dressed with the tool held horizontally, leaving small thin horizontal lines. The areas dressed with the parallel diagonal lines are most often framed with a 1–2 cm dressing, marking the edge of an architectural element, achieved by the use of flat chisels and made up of fine parallel lines that are either perpendicular or at a 45° angle to the edge (figs. 27, 28 and colour plate VIII. 5). This exact shaping of the edges prevents the



Abb. 26. Diagonale Zurichtung des Steins mit dem Spitzeisen
 Fig. 26. Diagonal dressing of the stone with a pointed chisel

Abb. 27. Kantenzurichtung mit dem Flacheisen, unter dem Gesims mit dem Spitzeisen
 Fig. 27. Dressing the edges with a flat chisel, below the cornice with a pointed chisel



28 △



Abb. 28. Profilarbeitung mit dem Flacheisen
 Fig. 28. Dressing the profile with a flat chisel

29 △

Abb. 29. Rest des ursprünglichen Fassadenputzes
 Fig. 29. Remains of the original plaster of the façade

splitting off of stone particles during the process of dressing, because the chiselling starts and ends at a distance of some centimeters from the edge. Some of the fine architectural elements such as those of the pediments with their ornamental mouldings, are also found to have been totally dressed by the use of a flat chisel, giving them a finely polished finish (fig. 28). Besides the rims of the portal walls on Tomb 825 also the right pilaster, the capital and architrave, the profiles of the lintel and the roof of the portal as well as the round profile have been worked out with a flat chisel. In colour plate VII all the tool marks of the façade of Tomb 825 are shown. The stone dressing had in all probability a functional purpose, though it has been suggested by others that it could have served merely as a decoration of bare stone walls.²¹ Through this process, flat surfaces could indeed be created in a controlled way. Also, creating a structured surface was the necessary prerequisite for the adhesion of the plaster with which the façade was finally covered.

Plaster and Stucco

Close examination of the façade of Tomb 825 has revealed that it was either fully, or at least, partially covered with plaster. Very thin scanty remains are found in the middle of the attic storey which is between the cavetto and the classical cornices (fig. 29). Moreover, the floral motif on the capital of the outer order of the doorway was moulded in stucco, which shows that it was used as an original repair, moulded in order to replace the stone which had been broken off (fig. 30). There is also some stucco cover-



30 △

Abb. 30. Modelliertes Stuckmotiv am rechten Kapitell
 Fig. 30. Modelled plaster motif on the right capital



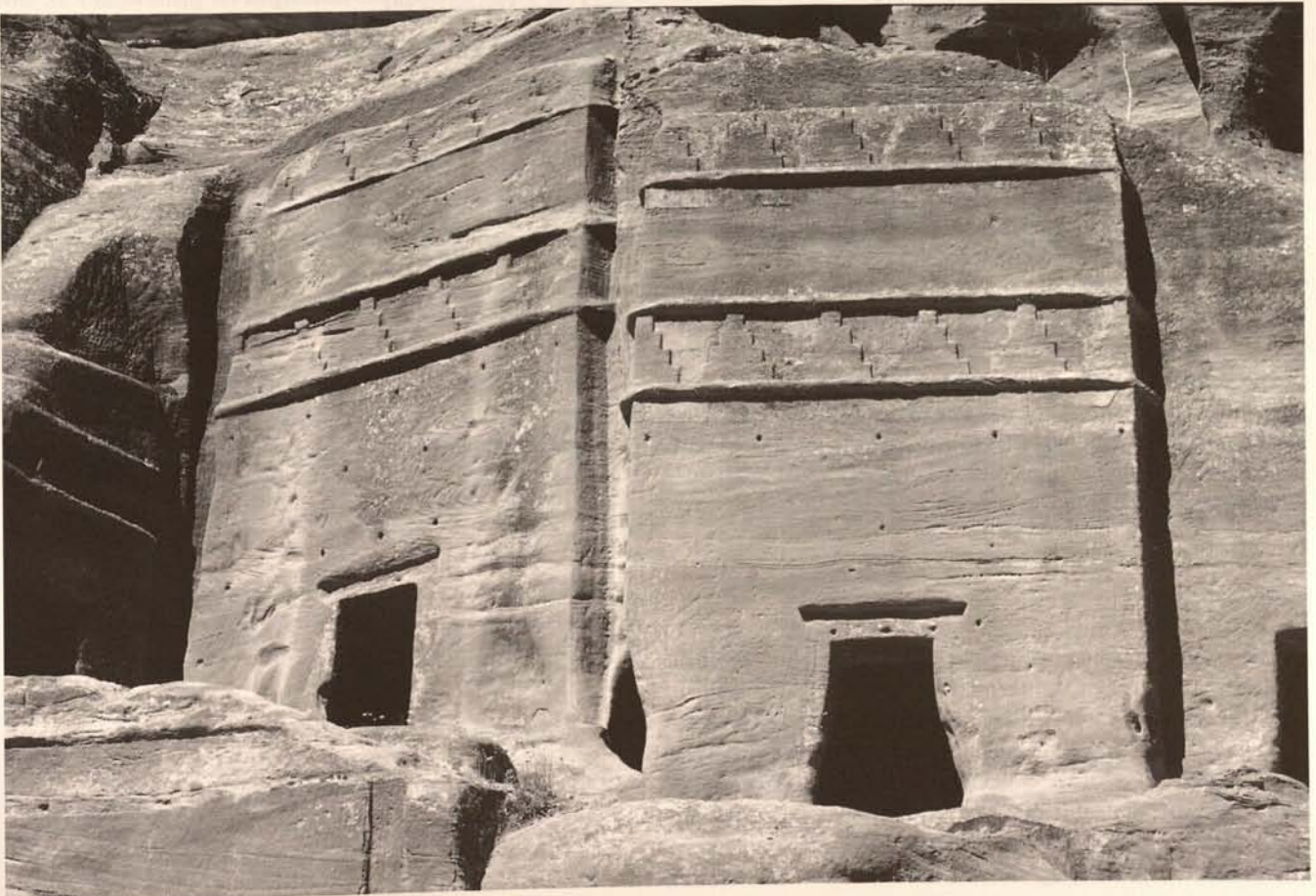
31 △

Abb. 31. Loch mit Mörtelfüllung
 Fig. 31. Hole with mortar filling



Abb. 32. Loch mit Resten von Holz
 Fig. 32. Hole with fragments of wood

Abb. 33. Zinnengräber mit Lochreihen
 Fig. 33. Crenellated tombs with horizontal rows of holes



das feine Schraffen hinterließ, die entweder senkrecht oder im Winkel von 45° zur Kante verlaufen. Diese genaue Ausarbeitung der Kanten verhindert während des Dressierens ein Abplittern von Steinpartikeln, da die Meißelarbeit einige Zentimeter vor der Kante beginnt oder endet. Manche detailliert ausgeführten Architekturelemente wie zum Beispiel Giebel mit ihren verschiedenen Zierleisten, wurden vollständig mit dem Flacheisen ausgearbeitet, das eine glatte Oberfläche hinterließ (Abb. 28). An Monument 825 wurden außer den Randschlägen des Portalgewändes, des rechten Pilasters und Kapitells oder des Architravs vor allem die Profile des Sturzes und der Verdachung des Portals sowie der Rundstab mit dem Flacheisen ausgeführt. Der in Farbtafel VII wiedergegebene Fassadenplan zeigt alle am Monument 825 festgestellten Bearbeitungsspuren. Das Dressieren der Oberfläche ist sicherlich rein funktionell zu deuten, auch wenn schon vorgeschlagen wurde, daß es Dekoration der unverputzten Fassaden gewesen sein könnte.²¹ Tatsächlich konnten durch das Dressieren, d. h. Zurichten der Fassade, kontrolliert ebene Flächen geschaffen werden. Außerdem war eine strukturierte Oberfläche Voraussetzung für die Haftung des anschließend aufgetragenen Verputzes.

Verputz und Stuck

Die Untersuchung der Fassade des Grabmonuments 825 hat ergeben, daß sie entweder ganz oder zumindest teilweise verputzt gewesen ist. Geringe Putzreste sind noch in der Mitte der Attika zwischen dem Cavetto- und dem klassischen Gesims gefunden worden (Abb. 29). Außerdem ist das florale Motiv am rechten Kapitell der äußeren Ordnung des Portals in Stuck modelliert, um den Stein zu ersetzen, der offensichtlich weggebrochen ist (Abb. 30). Dies ist ein Beweis dafür, daß es sich um eine originale Reparatur handelt. Die Tatsache, daß Stuckreste auch auf der Steinoberfläche um dieses florale Motiv herum gefunden wurden, könnte auch darauf hindeuten, daß möglicherweise die ganze Oberfläche stuckiert gewesen ist.

Das innenliegende Gebälk des Portals als auch die beiden die Fassade flankierenden Pilaster weisen Löcher auf, in welchen sich noch Mörtelreste befinden (Abb. 31). Drei weitere Löcher wurden etwa auf derselben Höhe im rechten Teil der Fassade gefunden. In einem davon befindet sich noch Mörtel mit einem kleinen quadratischen Loch in der Mitte, während in einem anderen kein Mörtel, sondern ein rechtwinkliges Stück Holz gefunden wurde (Abb. 32). Darunter befindet sich eine andere Reihe von fünf ausgewitterten Löchern, die ursprünglich wohl ähnlich gewesen sind. Auch das Innere des Grabmals weist auf der dem Eingang gegenüberliegenden Wand solche Löcher auf. Wahrscheinlich sind in allen diesen Löchern einmal Putz- oder Stuckdekorationen befestigt gewesen.

Ritzzeichnungen

Verschiedene Zeichnungen, welche die Steinmetze in den Fels graviert haben, geben weiteren Einblick in ihre Arbeitsweise. Auf der rechten Seite der Felsaushöhlung, in welcher sich die Fassade befindet, knapp oberhalb des klassischen Gesimses, ist eine in den Fels geritzte Architekturzeichnung gefunden worden (Abb. 34, 36). Sie stellt den Querschnitt eines Gesimses mit Sima, Eierstab, Kranzleiste, Zahnschnitt und nochmals einem Eierstab dar. Und da sie große Ähnlichkeiten mit dem Gesims

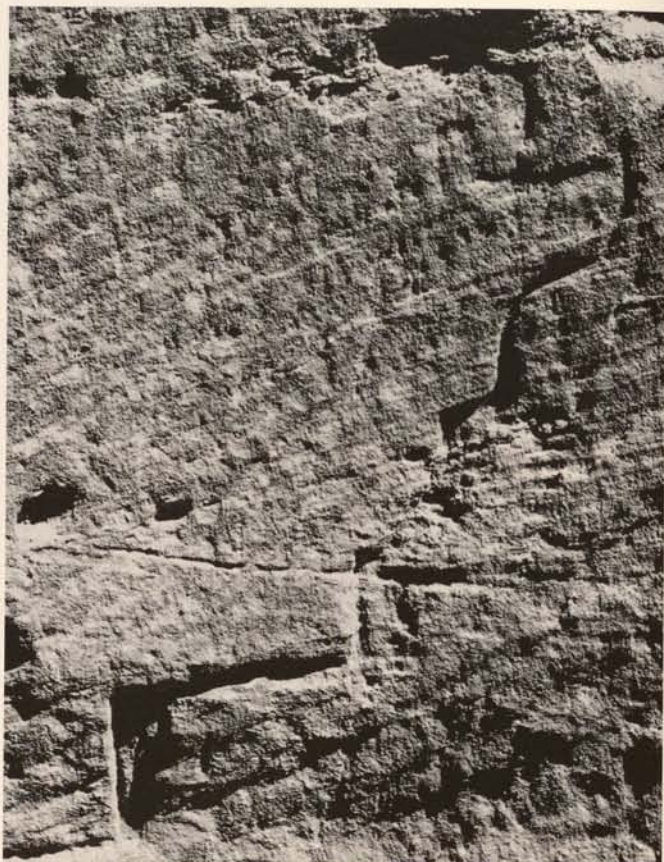
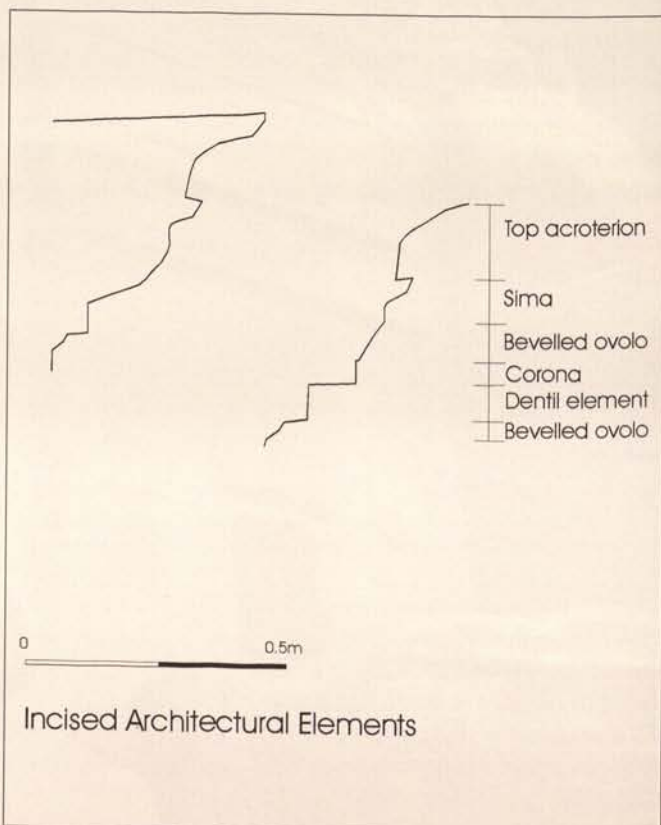


Abb. 34. Ritzzeichnung eines Gesimsprofils rechts neben Monument 825
Fig. 34. Incised drawing of a cornice profile at the right hand side of Tomb 825

Abb. 35. Ritzzeichnungen weiterer Gesimsprofile an der linken Felswand neben Monument 825

Fig. 35. Incised drawings of other cornice profiles in the rock left of Tomb 825



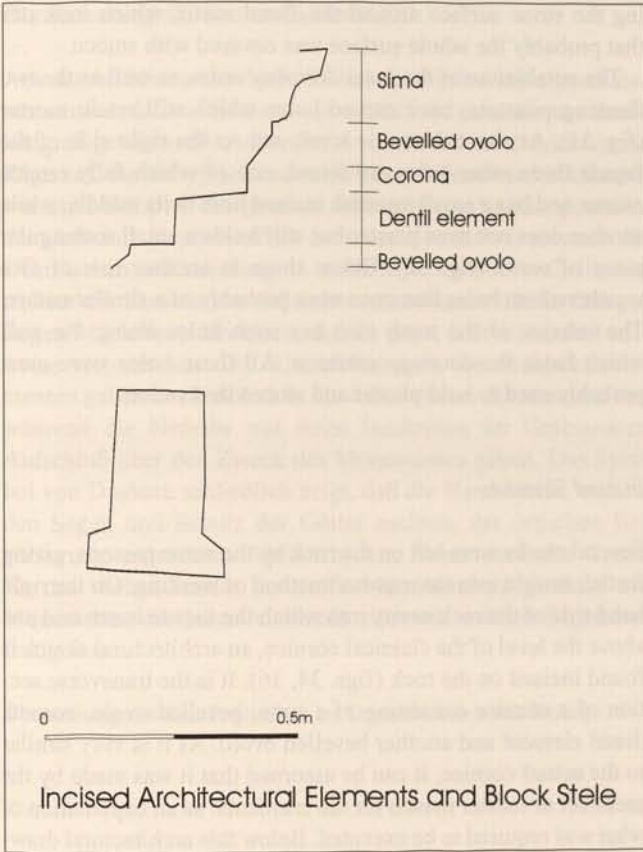


Abb. 36. Umzeichnung des geritzten Gesimsprofils (Abb. 34) und der Blockstele (Abb. 37)

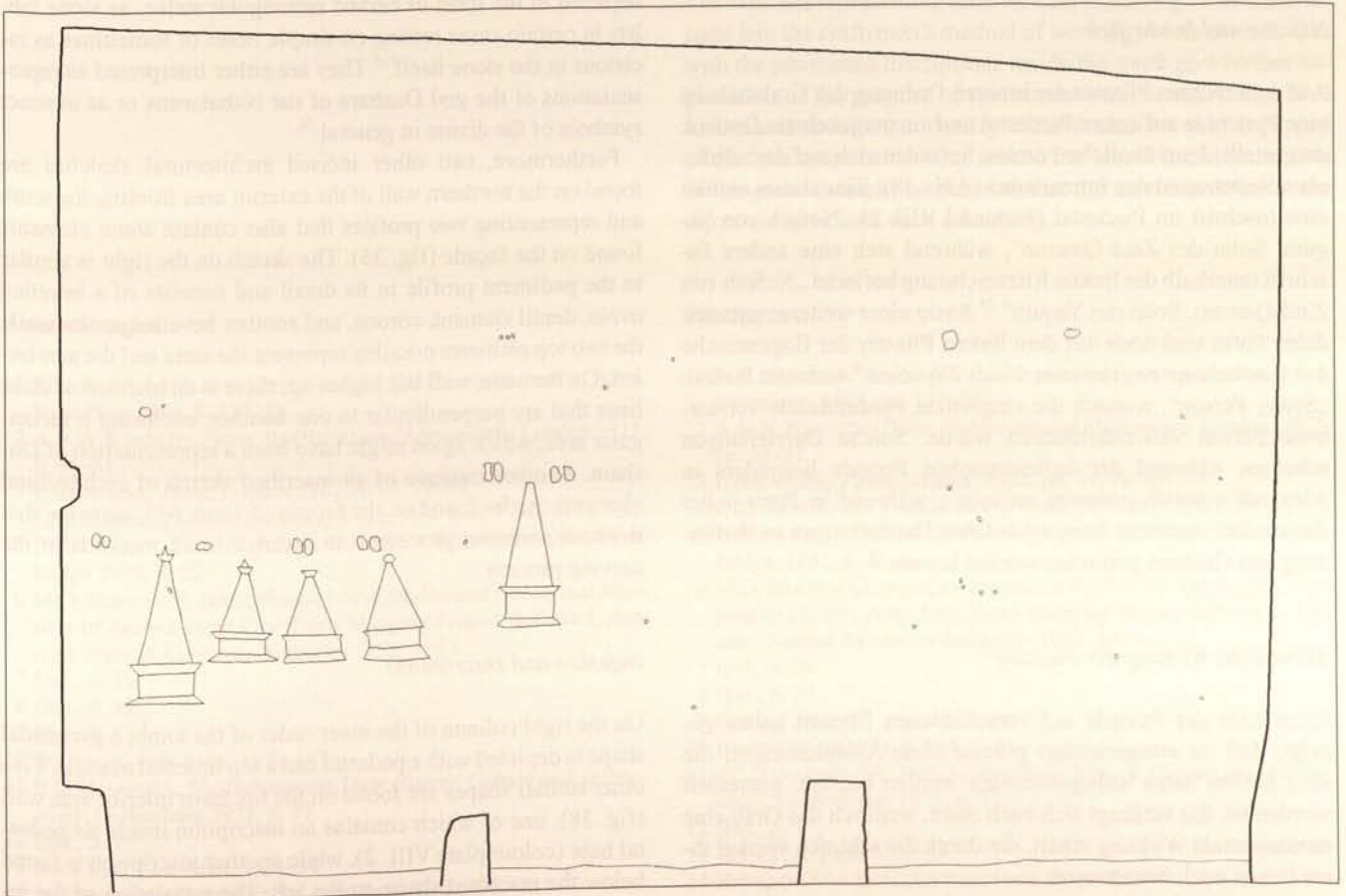
Fig. 36. Drawing of the incised cornice profile (34) and the block stele (37)



Abb. 37. Blockstele geritzt neben Monument 825

Fig. 37. Block stele incised near Tomb 825

Abb. 38. Umzeichnung der eingeritzten Obeliskens im Innern von Monument 825 / Fig. 38. Drawing of the incised obelisks in Tomb 825



der Fassade hat, kann angenommen werden, daß die Zeichnung vom Architekten oder Steinmetzmeister als Erklärung für das, was ausgeführt werden sollte, angefertigt worden ist. Unterhalb dieser Architekturzeichnung befindet sich eine eingeritzte Blockstele, die wahrscheinlich als Darstellung des nabatäischen Hauptgottes Dushara angesprochen werden kann (Abb. 37). Viele Autoren haben schon auf diese Darstellungsform bei den Arabern hingewiesen. Tatsächlich ist es – wie viele Beispiele beweisen – in Petra, wo u. a. ein Dusharasymbol als quadratischer, auf einer goldenen Basis stehender Steinblock gefunden wurde²² – üblich gewesen, die Götter in Form von rechtwinkligen Stelen oder Steinplatten, in gewissen Fällen auf einer einfachen Basis, manchmal auch nur in den Stein geritzt, darzustellen.²³ Sie werden entweder als Darstellung des Gottes Dushara der Nabatäer oder als abstrakte Symbole des Göttlichen schlechthin gedeutet.²⁴

Zwei weitere eingeritzte Architekturzeichnungen befinden sich auf der Nordwand des vor dem Grab befindlichen Bereiches und stellen zwei Profile dar, die ebenfalls Elemente enthalten, die an der Fassade beobachtet werden können (Abb. 35). Die rechte Zeichnung entspricht weitgehend dem Giebelprofil und besteht aus Eierstab, Zahnschnitt, Kranzleiste und einem weiteren Eierstab, während die beiden obersten Elemente wohl ein Sima und Acroterion sein sollen. An derselben Wand befindet sich etwas höher oben eine Ritzzeichnung aus drei Linien, die im rechten Winkel zueinander stehen und einen rechteckigen Bereich einschließen, möglicherweise wiederum eine Darstellung Dusharas. Als weiteres Beispiel ist die Ritzzeichnung eines Architekturelementes an der Fassade des Grabmonuments 633 zu erwähnen, die vielleicht ein Hinweis darauf sein kann, daß es nicht unüblich gewesen ist bei der Herstellung einer Steinfassade auf solche Methoden zurückzugreifen.

Nefeshe und Inschriften

Auf dem rechten Pilaster der inneren Ordnung des Grabmals ist eine Pyramide auf einem Piedestal und ein umgekehrtes Dreieck dargestellt. Fünf ähnliche Formen befinden sich auf der nördlichen Seitenwand des Innenraums (Abb. 38). Eine davon enthält eine Inschrift im Piedestal (Farbtafel VIII. 2) „Nefesh von Yaqum, Sohn des Zaid-Qawmo“, während sich eine andere Inschrift unterhalb der linken Ritzzeichnung befindet „Nefesh von Zaid-Qawmo, Sohn des Yaqum“. ²⁵ Reste einer weiteren pyramidalen Form sind noch auf dem linken Pilaster der Bogennische des Innenraums zu erkennen. Nach Zayadine²⁶ bedeutet Nefesh „Seele, Person“, wonach die eingeritzte Pyramide die verstorbene Person versinnbildlichen würde. Solche Darstellungen scheinen während der hellenistischen Periode besonders in Alexandria üblich gewesen zu sein²⁷, während in Petra außer diesem kein weiteres Beispiel solcher Darstellungen in Verbindung mit Gräbern gefunden werden konnte.²⁸

Ästhetische Wirkung der Fassade

Grundrisse der Fassade auf verschiedenen Ebenen haben gezeigt, daß sie einigermaßen präzise ohne Abweichungen, die vom bloßen Auge wahrgenommen werden können, gemeißelt worden ist. Sie verjüngt sich nach oben, wodurch das Grab eine monumentale Wirkung erhält, die durch die schiefen Winkel ihrer Ecken noch betont wird.

ing the stone surface around the floral motif, which indicates that probably the whole surface was covered with stucco.

The entablature of the inner doorway order, as well as the two flanking pilasters, have carved holes which still retain mortar (fig. 31). At about the same level, and on the right side of the façade three other holes are found, one of which fully retains mortar and has a small squarish incised hole in its middle, while another does not have plaster but still holds a small rectangular piece of wood (fig. 32). Below these is another row of five weathered out holes that once were probably of a similar nature. The interior of the tomb also has such holes lining the wall which faces the doorway entrance. All these holes were most probably used to hold plaster and stucco decoration.

Incised Sketches

Several marks were left on the rock by the stone masons, giving further insight into the masons' method of working. On the right hand side of the rock cavity into which the façade is set, and just above the level of the classical cornice, an architectural sketch is found incised on the rock (figs. 34, 36). It is the transverse section of a cornice consisting of a sima, bevelled ovolo, corona, dentil element and another bevelled ovolo. As it is very similar to the actual cornice, it can be assumed that it was made by the architect or master mason for the craftsmen as an explanation of what was required to be executed. Below this architectural drawing is an incised block stele which is probably a depiction of the Nabataean god Dushara (fig. 37). Many authors have referred to the fact that the Arabs used to represent their god in the form of a stone slab. Particularly in Petra, the principal god Dushara is represented as a black stone block, square shaped and placed on a base made of gold.²² In Petra, it is common that the gods are depicted in the form of carved rectangular stelae, as stone tablets in certain cases resting on simple bases or sometimes as incisions in the stone itself.²³ They are either interpreted as representations of the god Dushara of the Nabataeans or as abstract symbols of the divine in general.²⁴

Furthermore, two other incised architectural sketches are found on the northern wall of the exterior area fronting the tomb and representing two profiles that also contain some elements found on the façade (fig. 35). The sketch on the right is similar to the pediment profile in its detail and consists of a bevelled ovolo, dentil element, corona, and another bevelled ovolo, while the two top elements possibly represent the sima and the acroterion. On the same wall but higher up, there is an incision of three lines that are perpendicular to one another, enclosing a rectangular area, which again might have been a representation of Dushara. Another instance of an inscribed sketch of architectural elements can be found on the façade of Tomb 633, showing that it was a common procedure to revert to such methods in the carving process.

Nefeshes and Inscriptions

On the right column of the inner order of the tomb, a pyramidal shape is depicted with a pedestal and a top inverted triangle. Five other similar shapes are found on the northern interior side wall (fig. 38), one of which contains an inscription inside its pedestal base (colour plate VIII. 2), while another inscription is found below the inscribed shape on the left. The translation of the in-

Aus den im Innenraum befindlichen Inschriften kann geschlossen werden, daß das Grabmonument 825 ein nabatäisches Familiengrab gewesen ist. Außerdem weist es viele architektonische Züge auf, die als typisch nabatäisch bezeichnet werden können, wie zum Beispiel die gesamte architektonische Komposition, die einfachen Kapitelle ohne ornamentalen Dekor, als auch die Oberflächenstrukturierung in nahezu perfekten Parallellinien, welche der Fassade ein vollendetes Aussehen verleiht. Die geringen Mörtelreste beweisen, daß sie ganz, oder zumindest teilweise verputzt war. Die Ritzzeichnungen von Architekturelementen geben uns Einblick in die Arbeitsweise der Handwerker, während die Nefeshe mit ihren Inschriften im Grabinneren Aufschluß über den Zweck des Monumentes geben. Das Symbol von Dushara schließlich zeigt, daß die Handwerker, welche den Segen und Schutz der Götter suchten, der örtlichen Bevölkerung angehörten. Vielleicht war dieses auch der Grund für das Vorhandensein der sechs Mörtelmarken oberhalb des Monuments, an denen vielleicht einst ein solcher Segen befestigt war.

Übersetzung aus dem Englischen ins Deutsche von Anna Wolsey



Anmerkungen

- 1 R.E. BRÜNNOW/A. VON DOMASZEWSKI, *Die Provincia Arabia*, Bd. 1, Strassburg 1904, S. 137–58.
- 2 A.B.W. KENNEDY, *Petra. Its History and Monuments*, London 1925, S. 38–51.
- 3 I. BROWNING, *Petra*, London 1982, S. 77, 79–99.
- 4 J. MCKENZIE, *The Architecture of Petra*, New York 1990, S. 33–53.
- 5 P. ROCKWELL, *The Art of Stoneworking: A Reference Guide*, Cambridge 1993, S. 22.
- 6 M.O. BARJOUIS/D. JASER, *Geotechnical Studies and Geological Mapping of Ancient Petra City*, Town Mapping Project Bulletin I, Amman: Natural Resources Authority 1992, S. 6 f.
- 7 Ebd., S. 29.
- 8 Ebd., S. 29.
- 9 Ebd., S. 35.
- 10 BROWNING (wie Anm. 3), S. 165.
- 11 P.C. HAMMOND, *The Nabataeans. Their History, Culture and Archaeology*, Gothenburg 1973, S. 77.
- 12 Ebd., S. 77.
- 13 ROCKWELL (wie Anm. 5), S. 34.
- 14 BRÜNNOW/VON DOMASZEWSKI (wie Anm. 1), S. 406.

scription below the pyramidal shape is: 'Nefesh of Zaid-Qawmo, son of Yaqum'²⁵, and the translation of the inscription inside the pedestal of the right pyramid reads: 'Nefesh of Yaqum son of Zaid-Qawmo'. Another similar pyramidal shape is incised on the left pilaster flanking the interior arched recess. According to Zayadine²⁶ nefesh means 'soul, person', and hence, the incised stele would then represent the deceased person. Such representations appear to have been common during the Hellenistic period, and particularly in Alexandria²⁷, while in Petra, it is considered as the only case where these shapes are depicted in relation to tomb burials.²⁸

Aesthetic Effect of the Façade

Horizontal projections of the façade at various levels revealed that the façade had been carved with a relatively good precision without any warping that might be conceived by the naked eye. The façade is tapering towards the top, giving the tomb a monumental effect that is further emphasized by the fact that the corners of the façade are at oblique angles.

The Significance of Tomb 825

From the inscriptions found inside the chamber, Tomb 825 appears to be a Nabataean family tomb, and furthermore, it has many architectural features that can be considered as typically Nabataean, as e.g. the whole architectural composition, the plain capitals which lack any ornamental features as well as the carving and dressing of the monument in nearly straight parallel lines, giving it a final polished finish. The scanty plaster remains show that the façade was at least partially coated with plaster. The sketches representing architectural features give us some insight into the craftsmen's method of working, while the nefeshes with the associated inscriptions inside the tomb give further explanation of the purpose of this monument. Finally, the symbol of Dushara reveals the identity of the craftsmen: they belonged to the local population who sought the blessing and protection of the gods. It might be possible that the mortar patches at the top could have held such a blessing.

Footnotes

- 1 R. E. BRÜNNOW/A. VON DOMASZEWSKI, *Die Provincia Arabia*, vol. 1, Strassburg, 1904, pp. 137–58.
- 2 A.B.W. KENNEDY, *Petra. Its History and Monuments*, London, 1925, pp. 38–51.
- 3 I. BROWNING, *Petra*, London, 1982, pp. 77, 79–99.
- 4 J. MCKENZIE, *The Architecture of Petra*, New York, 1990, pp. 33–53.
- 5 P. ROCKWELL, *The Art of Stoneworking: A Reference Guide*, Cambridge, 1993, p. 22.
- 6 M.O. BARJOUIS/D. JASER, *Geotechnical Studies and Geological Mapping of Ancient Petra City*, Town Mapping Project Bulletin I, Amman: Natural Resources Authority, 1992, pp. 6–7.
- 7 Ibid., p. 29.
- 8 Ibid., p. 29.
- 9 Ibid., p. 35.
- 10 BROWNING (note 3), p. 165.
- 11 P.C. HAMMOND, *The Nabataeans. Their History, Culture and Archaeology*, Gothenburg, 1973, p. 77.
- 12 Ibid., p. 77.
- 13 ROCKWELL (note 5), p. 34.
- 14 BRÜNNOW/VON DOMASZEWSKI (note 1), p. 406.

- 15 BROWNING (wie Anm. 3), S. 87.
 16 Ebd., S. 83.
 17 KENNEDY (wie Anm. 2), S. 47.
 18 MCKENZIE (wie Anm. 4), S. 170.
 19 Ebd., S. 38.
 20 JOHANN LUDWIG BURCKHARDT, *Travels in Syria and the Holy Land*, London 1822, S. 426.
 21 HAMMOND (wie Anm. 11), S. 77.
 22 J. PATRICH, *The Formation of Nabataean Art. Prohibition of a Graven Image Among the Nabataeans*, London 1990, S. 51.
 23 Ebd., S. 59 f., 76.
 24 HAMMOND (wie Anm. 11), S. 96.
 25 F. ZAYADINE, *A New Commemorative Stele at Petra*, Perspective Bd. XII, 1&2, 1971, S. 59.
 26 Ebd., S. 58 f.
 27 Ebd., S. 65.
 28 BROWNING (wie Anm. 3), S. 128. – KENNEDY (wie Anm. 2), S. 49.

Literatur

P. C. HAMMOND, *Nabataean Architectural Technology*, Studies in the History and Archaeology of Jordan V, 1995, S. 215–221.

Abbildungsnachweis

MICHAEL KÜHLENTHAL, MÜNCHEN: *Abb. 1, 3, 4, 6, 9, 16, 18–24, 26–34, 37*
 MAY SHAER, AMMAN: *Abb. 2, 5, 8 (Photos); Abb. 7, 10–15, 17, 25, 35, 36, 38 (Zeichnungen)*

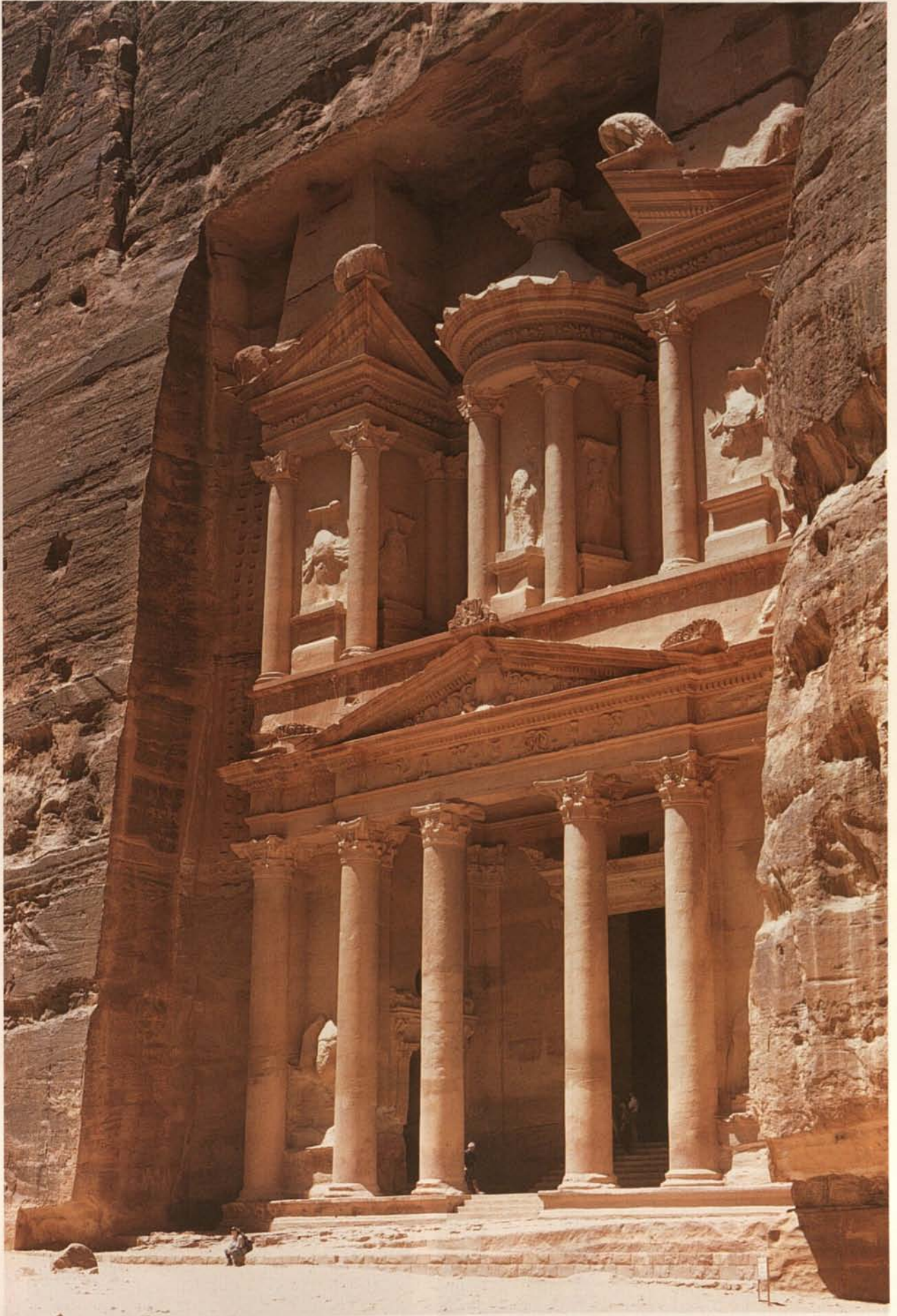
- 15 BROWNING (note 3), p. 87.
 16 Ibid., p. 83.
 17 KENNEDY (note 2), p. 47.
 18 MCKENZIE (note 4), p. 170.
 19 Ibid., p. 38.
 20 JOHANN LUDWIG BURCKHARDT, *Travels in Syria and the Holy Land*, London, 1822, p. 426.
 21 HAMMOND (note 11), p. 77.
 22 J. PATRICH, *The Formation of Nabataean Art. Prohibition of a Graven Image Among the Nabataeans*, London, 1990, p. 51.
 23 Ibid., pp. 59 f., 76.
 24 HAMMOND (note 11), p. 96.
 25 F. ZAYADINE, *A New Commemorative Stele at Petra*, Perspective vol. XII, 1&2, 1971, p. 59.
 26 Ibid., pp. 58 f.
 27 Ibid., p. 65.
 28 BROWNING (note 3), p. 128. – KENNEDY (note 2), p. 49.

Literature

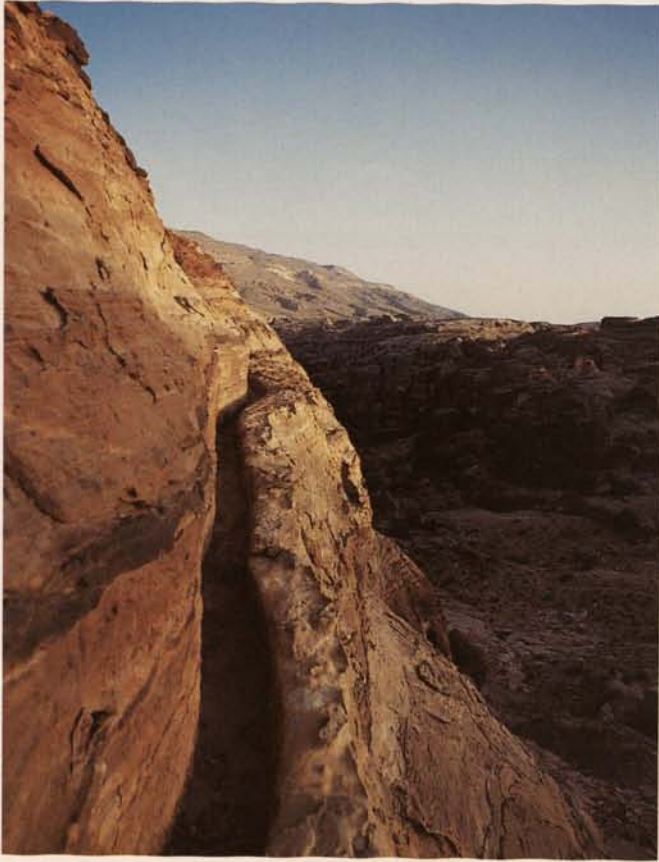
See also P. C. HAMMOND, *Nabataean Architectural Technology*, Studies in the History and Archaeology of Jordan V, 1995, pp. 215–221.

Photo Credits

MICHAEL KÜHLENTHAL, MUNICH: *Figs. 1, 3, 4, 6, 9, 16, 18–24, 26–34, 37*
 MAY SHAER, AMMAN: *Figs. 2, 5, 8 (photographs); Figs. 7, 10–15, 17, 25, 35, 36, 38 (drawings)*



Al-Khazna / Al-Khazna



1 In den Fels gemeißelte Wasserleitung auf al-Khubtha
1 Water pipe carved into the rock on al-Khubtha

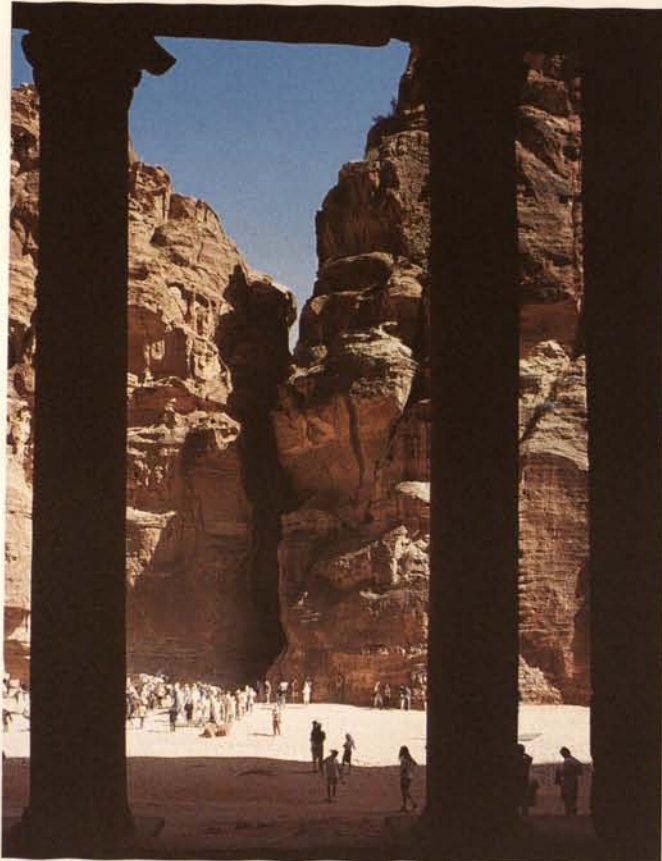


▽ 3

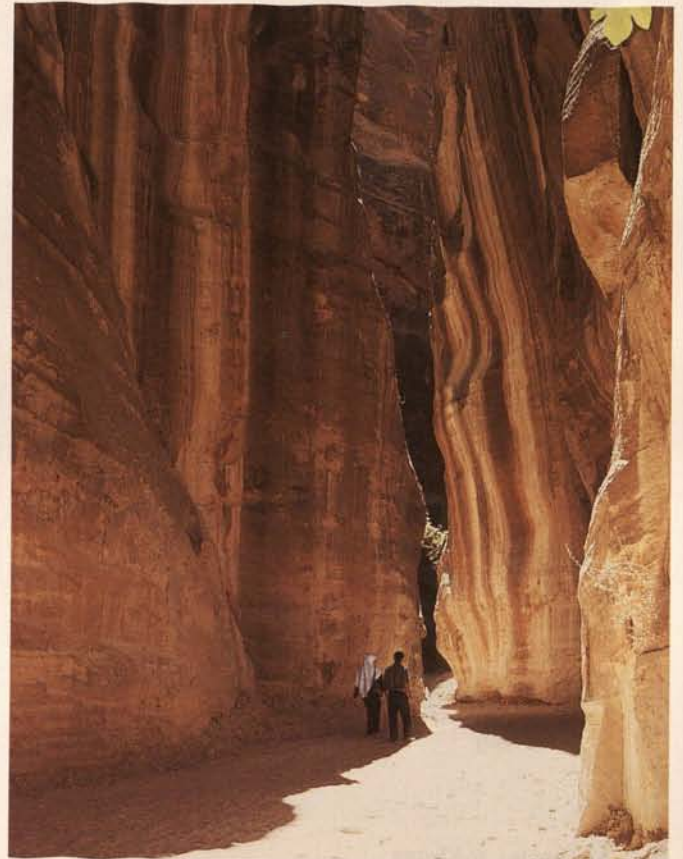
2 △



4 Blick aus der Vorhalle von al-Khazna auf den Ausgang des Siq
4 View from the hall of al-Khazna onto the Siq



2 Innerer Siq, Führung der Wasserleitung oberhalb der Gräber
2 Inner Siq, guideline of the water pipe above the tomb monuments
3 Äußerer Siq, mit originaleem Pflaster und Wasserleitung
3 Outer siq with original pavement and water pipe
5 Siq, mit originaleem Pflaster und Wasserleitung
5 Siq with original pavement and water pipe

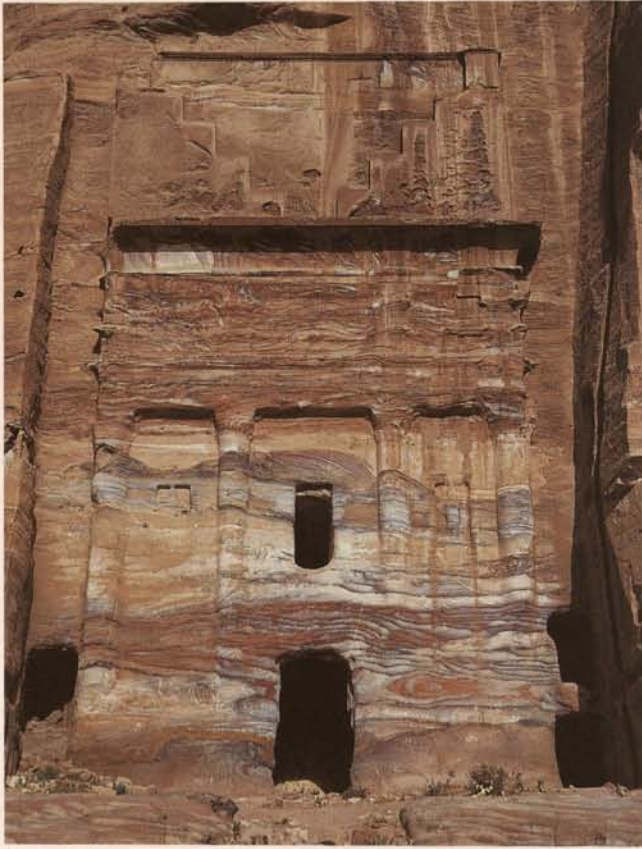




1 Blick auf das Becken von Petra vom Aufstieg nach ad Dayr
1 View onto the basin of Petra from the path up to ad Dayr

2 Blick auf das antike Stadtgebiet von Petra und Qasr al-Bint
2 View onto the ancient city area of Petra and Qasr al-Bint





1



4 Δ

▽ 2



▽ 3



1 Sogenanntes Seidengrab, flächiger Massenabtrag durch Wassereinwirkung und Winderosion

1 So-called Silk Tomb, spacious surface deterioration caused by water and wind erosion

2 Schäden durch Salzbelastung

2 Damages caused by oversalting

3 Gesimsausbrüche mit Wasserschäden

3 Breakouts in the cornice caused by water

4 Winderosion an einem Blockgrab mit eingesetztem Gesims

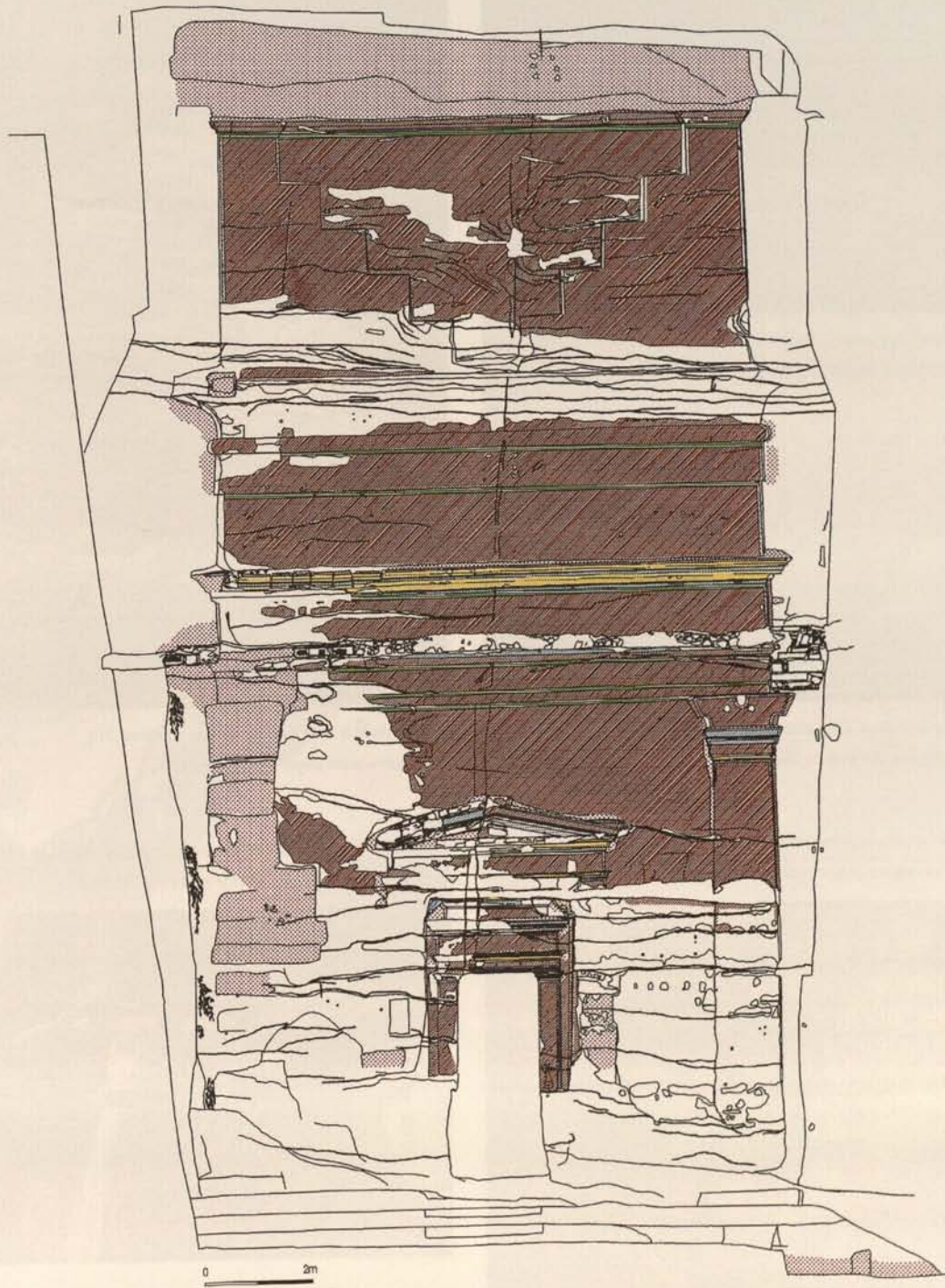
4 Wind erosion at a block tomb with inset of cornice

5 Schalenbildung

5 Scales

5 ▽












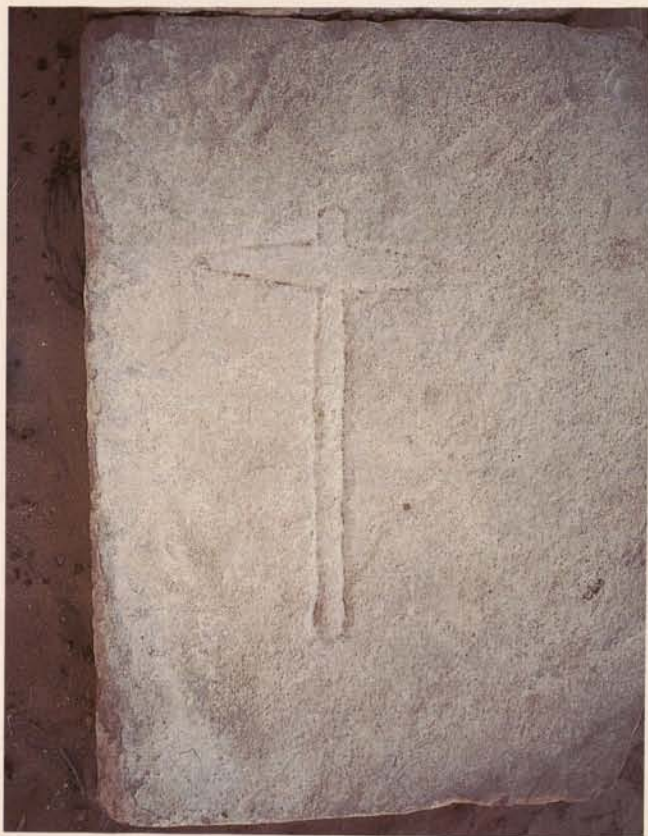
Tomb 825 – Tool Marks / Werkzeugspuren

Legend – Tool Marks

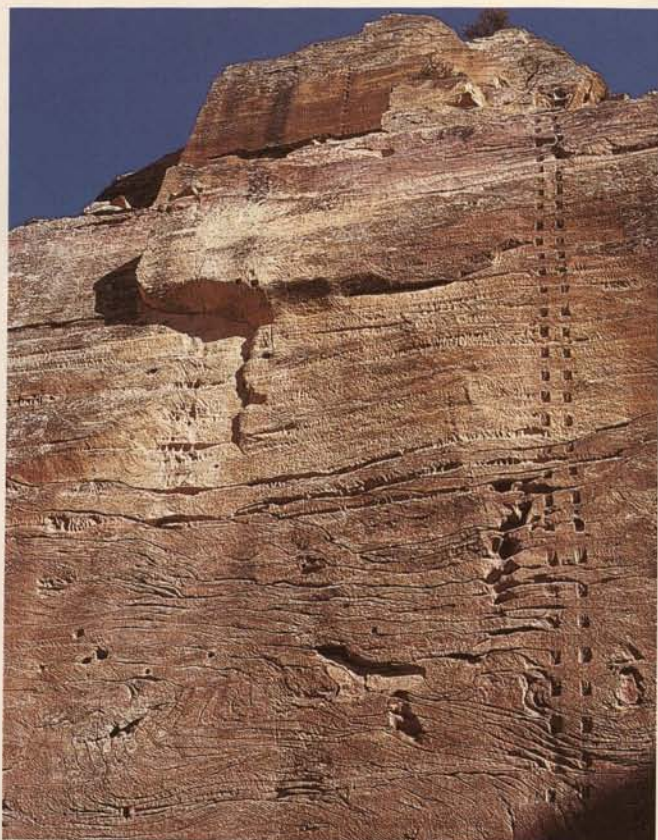
Legende – Werkzeugspuren

-  Pick axe (carvers pick)
Zweispitz
-  Pointed chisel
Spitzzeisen
-  Pointed chisel – parallel diagonal lines
Spitzzeisen – Diagonallinien

-  Pointed chisel – horizontal dressing lines
Spitzzeisen – waagrechte Bearbeitungsspuren
-  Flat chisel
Flacheisen
-  Tooth chisel – horizontal lines
Zahneisen – waagrechte Bearbeitungsspuren
-  Tooth chisel – vertical lines
Zahneisen – vertikale Bearbeitungsspuren



1 Ritzzeichnung auf dem Weg zum High Place
1 *Incised drawing on the way to the High Place*



3 Steinbruch mit Trittstufen im inneren Siq
3 *Quarry with steps at the inner Siq*

2 Nefesh an der nördlichen Innenwand von Monument 825
2 *Nefesh at the northern inner wall of Tomb 825*



4 Brücke für die Wasserleitung vor dem Eintritt in Monument 825
4 *Bridge for the pipe before entering Tomb 825*



5 Bearbeitungsspuren von Flach- und Zahneisen
5 *Tool marks of flat and tooth chisel*





1 Grabmonument 524, Reste des Verputzes
1 Tomb 524, remains of plaster



4 Grabmonument 524, Verputz mit Farb Spuren im Gebälk
4 Tomb 524, plaster with colour remains in the entablature



2 Grabmonument 524, Verputz mit Farbbrechen im Gebälk
2 Tomb 524, plaster with colour remains in the entablature



5 Grabmonument 633, rot gefaßte Putzreste in der Mittelnische
5 Tomb 633, red painted plaster remains in the central niche

3 Grabmonument 524, Farbrechte auf dem linken Kapitell
3 Tomb 524, colour remains on the left capital



6 Grabmonument 826, Rundstabprofil mit Putzband und blauem Farbrechte über dem unteren Zinnenfries
6 Tomb 826, round bar profile with mortar ribbon and remains of blue colour above the lower crow step frieze





1 Palastgrab, gemalte Zahnschnittfriese

1 *Palace Tomb, painted dentils*

2 Qasr al-Bint, Reste der ehemaligen Stuckierung und die dazu gehörigen Dübellöcher

2 *Qasr al-Bint, remains of a former stucco decoration and the respective dowel holes*

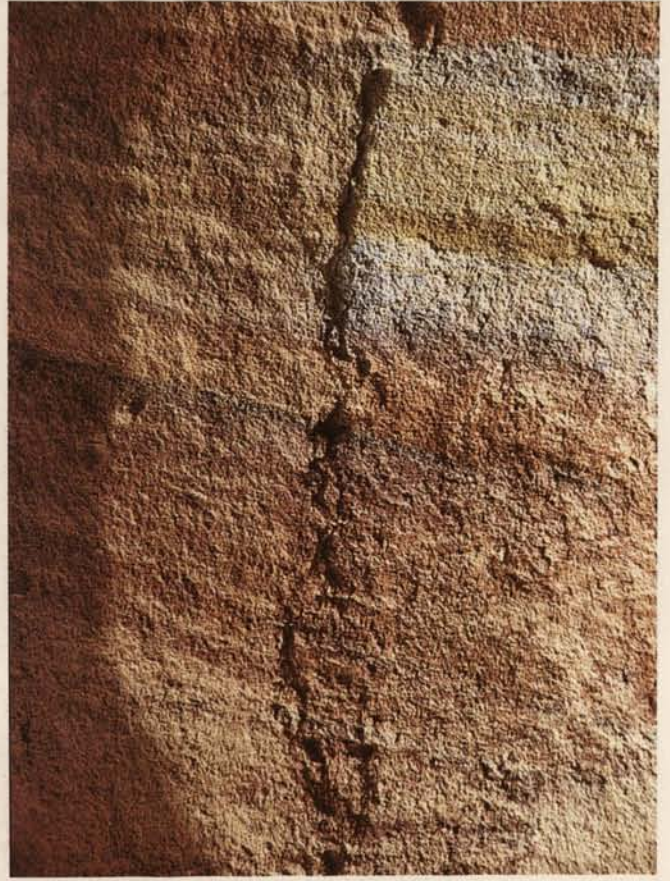




△ 1



△ 2



4 △



△ 3



▽ 5

1 Schuppenbildung / Flaking

2 Limonitader / Limonite

3 Schalenbildung / Scaling

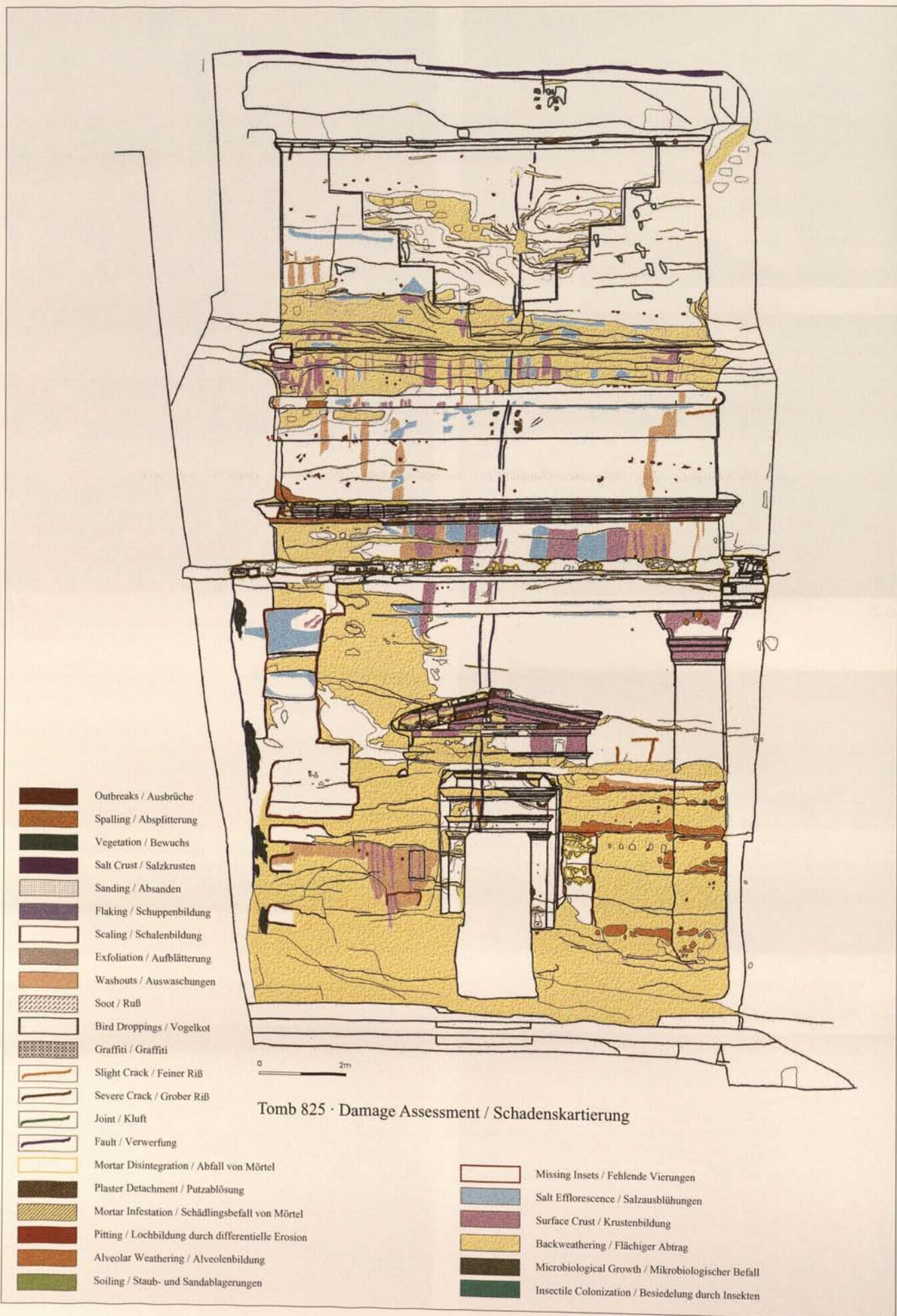
4 Absanden / Sanding

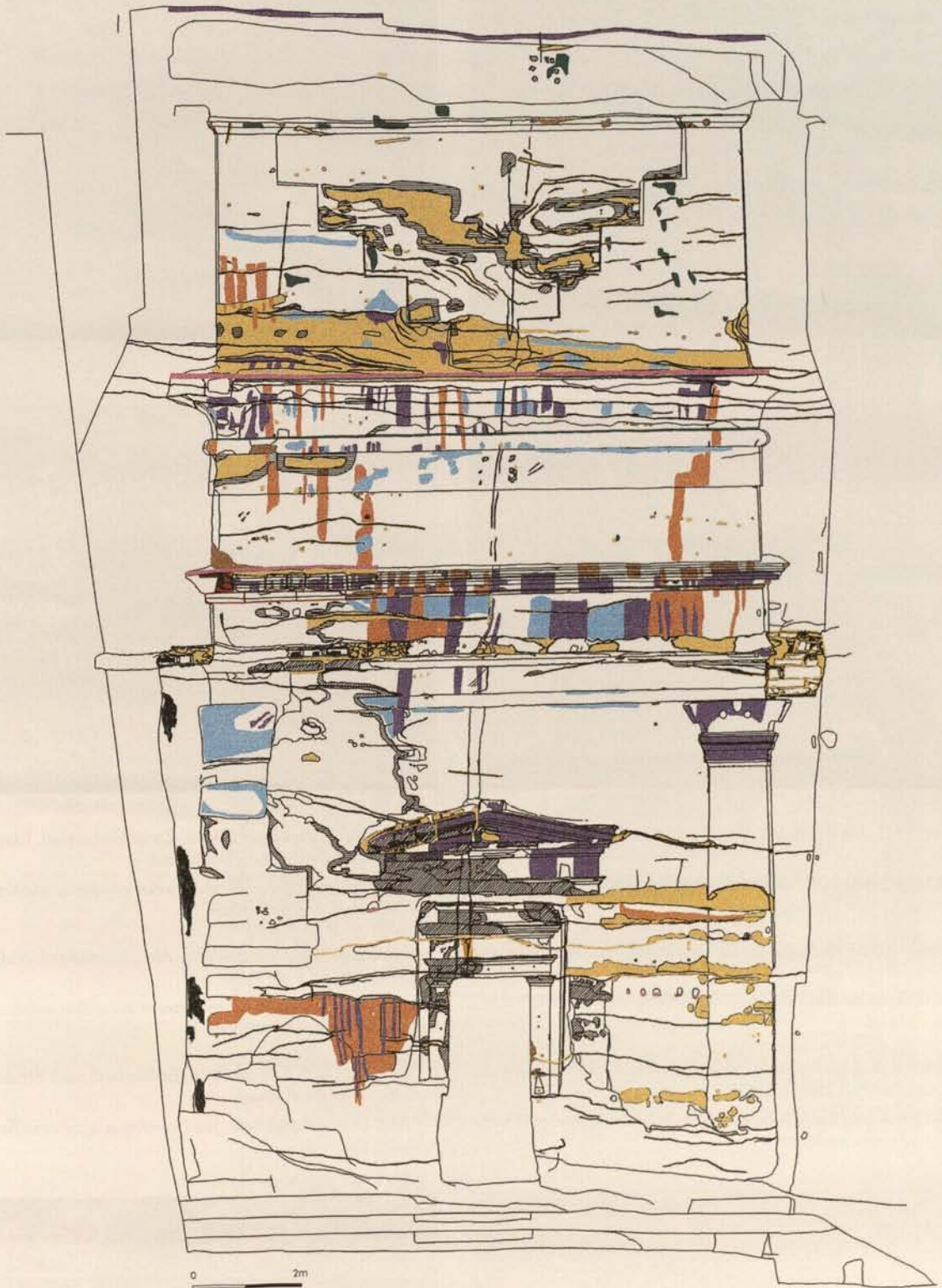
5 Aufblätterung / Exfoliation

6 Ausgewaschene Absplitterungen / Washed out Spalling



6 ▽





Tomb 825 · Plan of Execution / Maßnahmenplan

- | | | | |
|--|---|---|---|
|  | Application of consolidants / Steinfestigung |  | Stone insertions / Steinversatz |
|  | Injection / Hinterspritzung |  | Replacement of stone insets / Ersatz von Vierungen |
|  | Mortar infillings / Verfüllungen |  | Cleaning / Oberflächenreinigung |
|  | Remodeling / Modellierung |  | Removal of crusts / Entfernung von Krusten |
|  | Mortar patching / Ergänzungen mit Mörtel |  | Removal of salt efflorescence / Entfernung von Salzausblühungen |
|  | Application of protective mortar / Abdeckmörtel als Schutzschicht |  | Removal of flowmarks / Entfernung von Ablaufspuren |



1



4



2

1 Monument 825, Einschußloch, Vorzustand, Trockenreinigung

1 Tomb 825, shooting hole, as-found-condition (before treatment), dry cleaning

2 Monument 825, Einschußloch, Zwischenzustand, Benetzung mit KSE

2 Tomb 825, shooting hole, in-between-condition, treatment with Silica Acid Ester

3 Monument 825, Einschußloch, Zwischenzustand, Aufbringung der Kieselolschlämme als Haftvermittler

3 Tomb 825, shooting hole, in-between-condition, application of silica sol wash as adhesive mediator

3



5

4 Monument 825, Einschußloch, Zwischenzustand, Einmassieren der ersten Mörtelschicht in die Schlämme

4 Tomb 825, shooting hole, in-between-condition, rubbing first layers of repair mortar into the wash

5 Monument 825, Einschußloch, Zwischenzustand, Auftrag des Kieselolmörtels auf volle Höhe

5 Tomb 825, shooting hole, in-between-condition, application of silica sol repair mortar in full height

6 Monument 825, Einschußloch, Endzustand nach Strukturierung und Retusche der Oberfläche

6 Tomb 825, shooting hole, final condition after structurizing and retouching the surface

6





Monument 825 nach der Teilausrüstung
Tomb 825 after partial removal of the scaffold



△ 1

2 ▽



4

Monument 825 während der Restaurierung
Tomb 825 during the restoration

1 Projekt-LKW mit Generator, Druckluft und farbigen Sanden vor dem Gerüst

1 Project-truck with generator, compressed air and coloured sands in front of the scaffolding

2 Oberste Stufe des linken Treppengiebels, Absplitterung und Auswitterung über einer Limonitader. Vorfestigung mit KSE

2 Uppermost step of left crow step gable, shivering and weathering above a limonite vein. Pre-consolidation with SAE

3 Mörtelantrag in mehreren Schichten bis auf volle Höhe, Ablaufspuren des KSE noch sichtbar

3 Application of filling mortar in full height with traces of SAE running down still visible

3



4 Erneuerung der Mörtelantragung auf der Kante der obersten Stufe

4 Renewal of mortar application at the edge of the uppermost step

5 Fertiggestellte Ergänzung mit Oberflächenstrukturierung

5 Finished addition with structurized surface

5





1

1 Monument 825, abgeschlossene Restaurierung des Treppengiebels

1 Tomb 825, the crow step gable after restoration

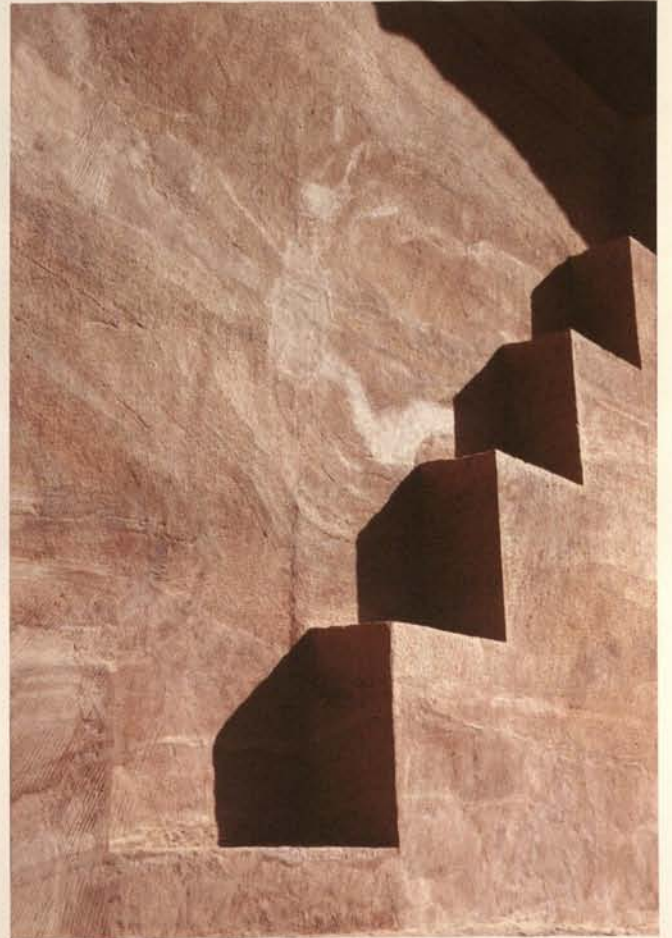
2 Oberste Stufe des linken Treppengiebels nach abgeschlossener Restaurierung und nach einem Jahr der Abtrocknung

2 Uppermost step on the left side after restoration and one year of drying

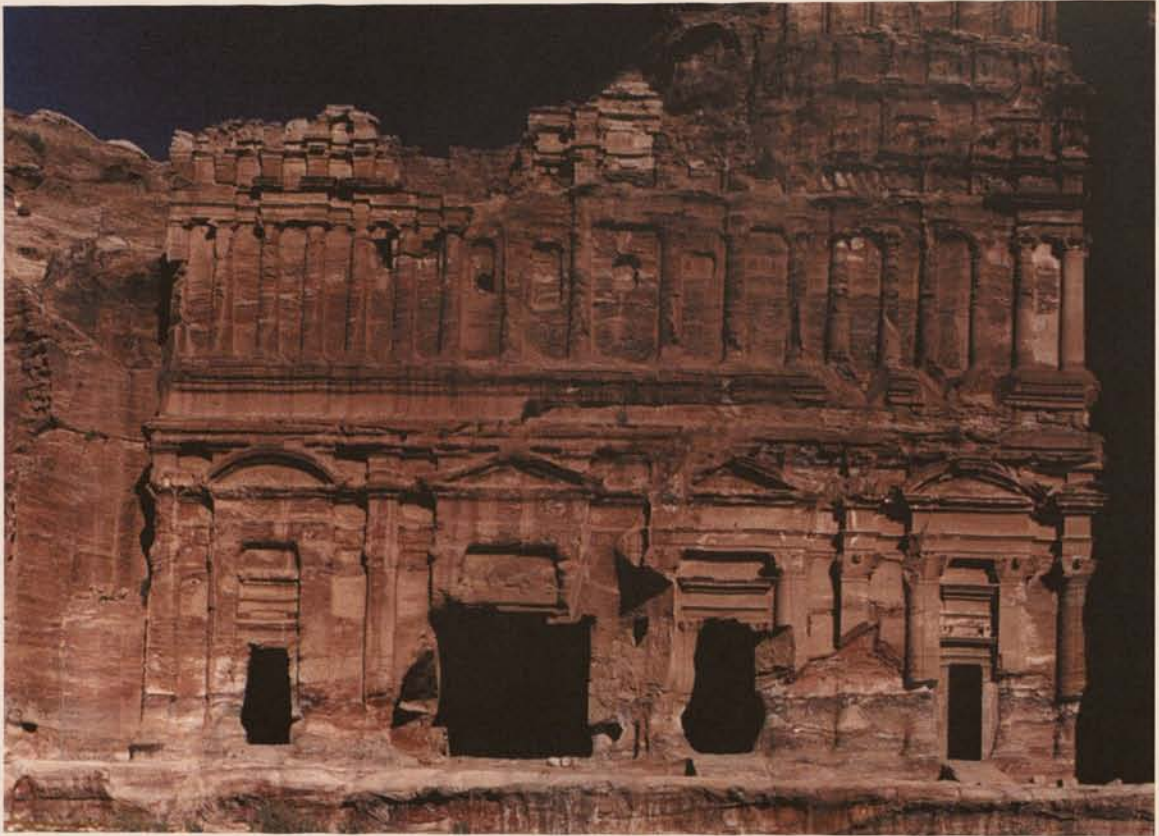
3 Treppengiebel, rechte Hälfte nach abgeschlossener Restaurierung

3 Crow step gable, right half after restoration

2



3

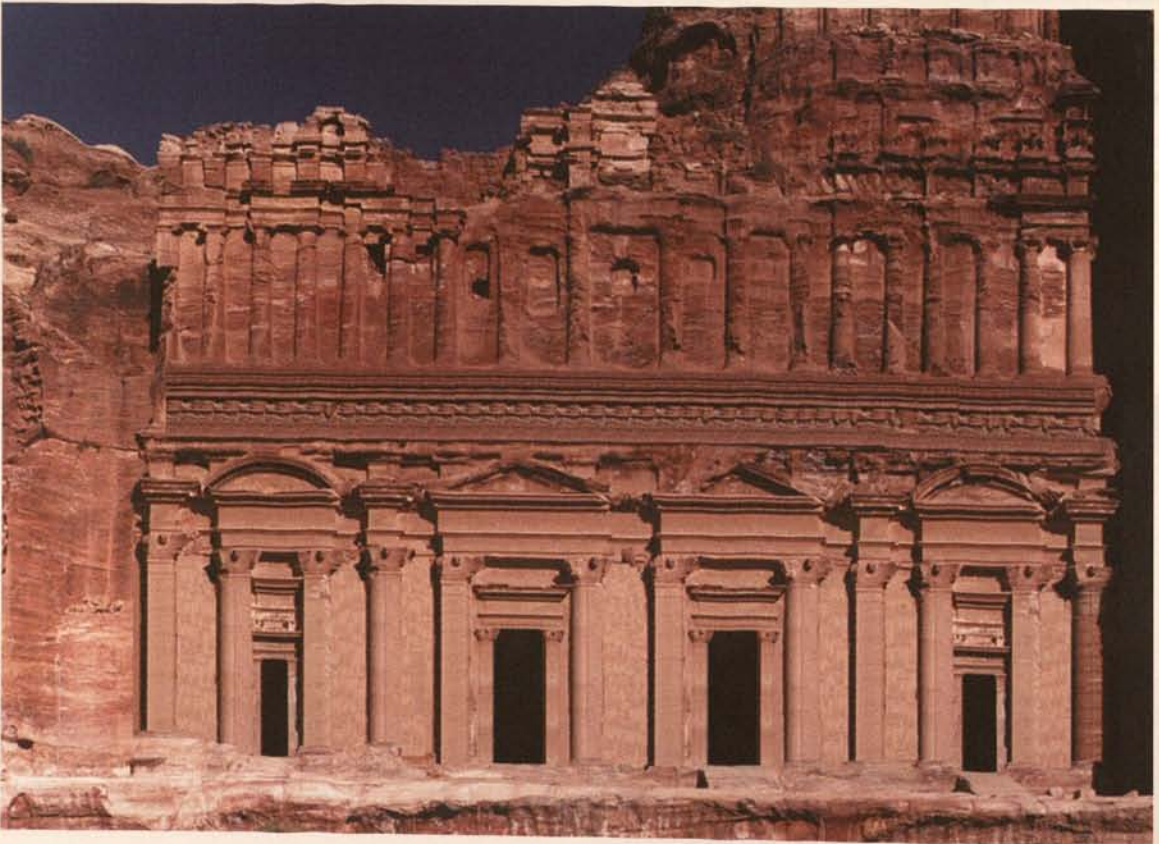


Echtfarbenphoto des Palastgrabes / *True colour photo of the Palace Tomb*

Eine computergestützte Teilrekonstruktion eines Photos des Palastgrabes mit symmetrischer Ergänzung liefert eine ungefähre Vorstellung von der ursprünglichen Form eines Großteils der Fassade

Partial computer restitution of a photo of the Palace Tomb using symmetry provides an approximate idea about the original shape of a good part of the façade

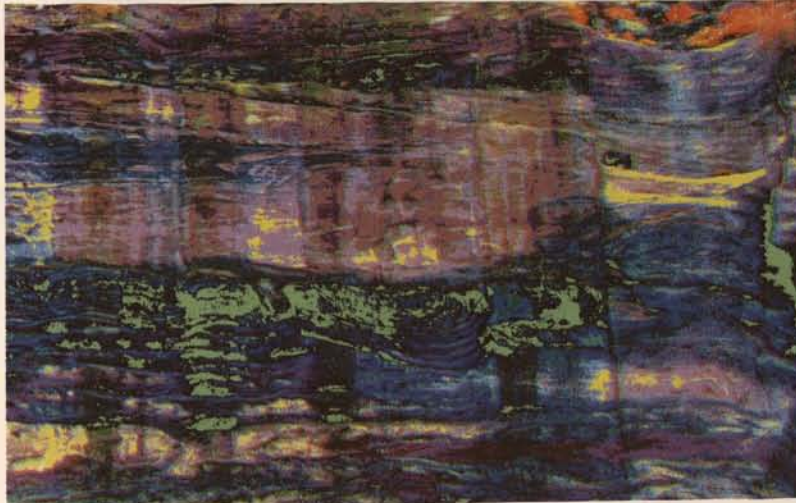
Computergestützte Teilrekonstruktion des Palastgrabes / *Partial computer restitution of the Palace Tomb*





Echtfarbenphoto / True colour photo

Handkolorierung / Manual painting



Tomb 774 is seriously weathered. Manual painting using a mask on a popular computer photoediting program, reveals clearly plants (orange). Various red sandstones appear in pink to deep red. Greyish sandstone appears in various shades of blue. The teardrop effect (due to water flowing down the façade) is also clear. The multispectral image obtained by computer merging of IR, UV and filtered black and white films, shows the same features

Multispektrales Bild: zusammengesetzt aus Infrarot-, grün gefilterten und UV-Photographien
Composite of IR, green filtered and UV photographs: Multispectral image

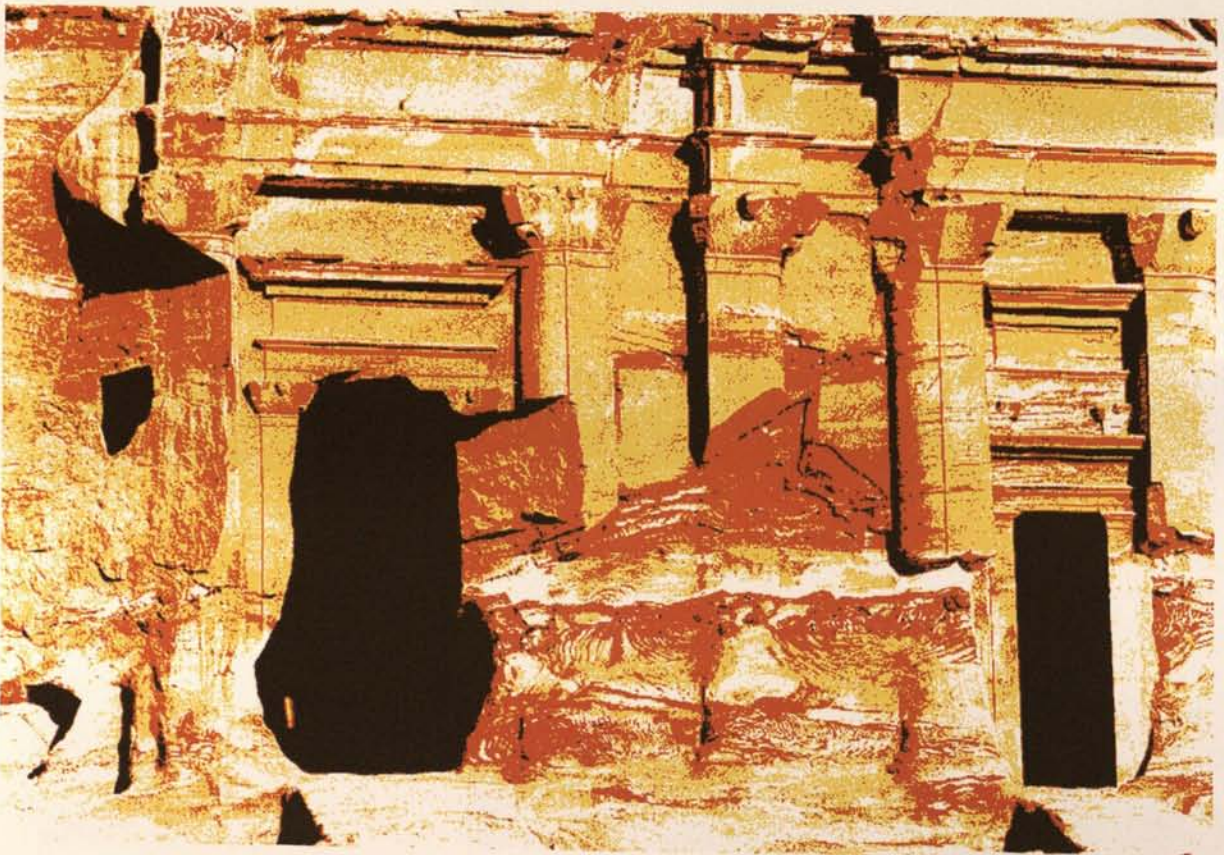




<1

Schwellen, Kurven- und Farbkarten-Adjustierungen des Echtfarbenphotos eines Teils des Palastgrabes sind die herkömmlichen Techniken einer gängigen Software. Bei der Abbildung *threshold* verweist die gelbe Farbe auf glatte, gesunde Oberflächen. Gemischte rot-gelbe Bereiche zeigen Beschädigungen an. Weiß erscheint bei sehr hellen, sonnenbeschienenen Oberflächen oder Salz oder weißem Sandstein. In der Farbkarte erscheinen gesunde Oberflächen gelb, Salz und weißer Sandstein weiß, während lilafarbene Töne beschädigte Oberflächen anzeigen

Threshold, curve and colour map adjustments of the true colour photo of part of the Palace Tomb are common techniques in popular software. In threshold, yellow colours indicate smooth healthy surfaces. Mixed red and yellow areas show damages. White is due to very bright sunlit surfaces or salt or white sandstone. In colour map, healthy surfaces are shown as yellow, salt and white sandstone appear white, while lilac colours represent damaged surfaces



<2



△ 3

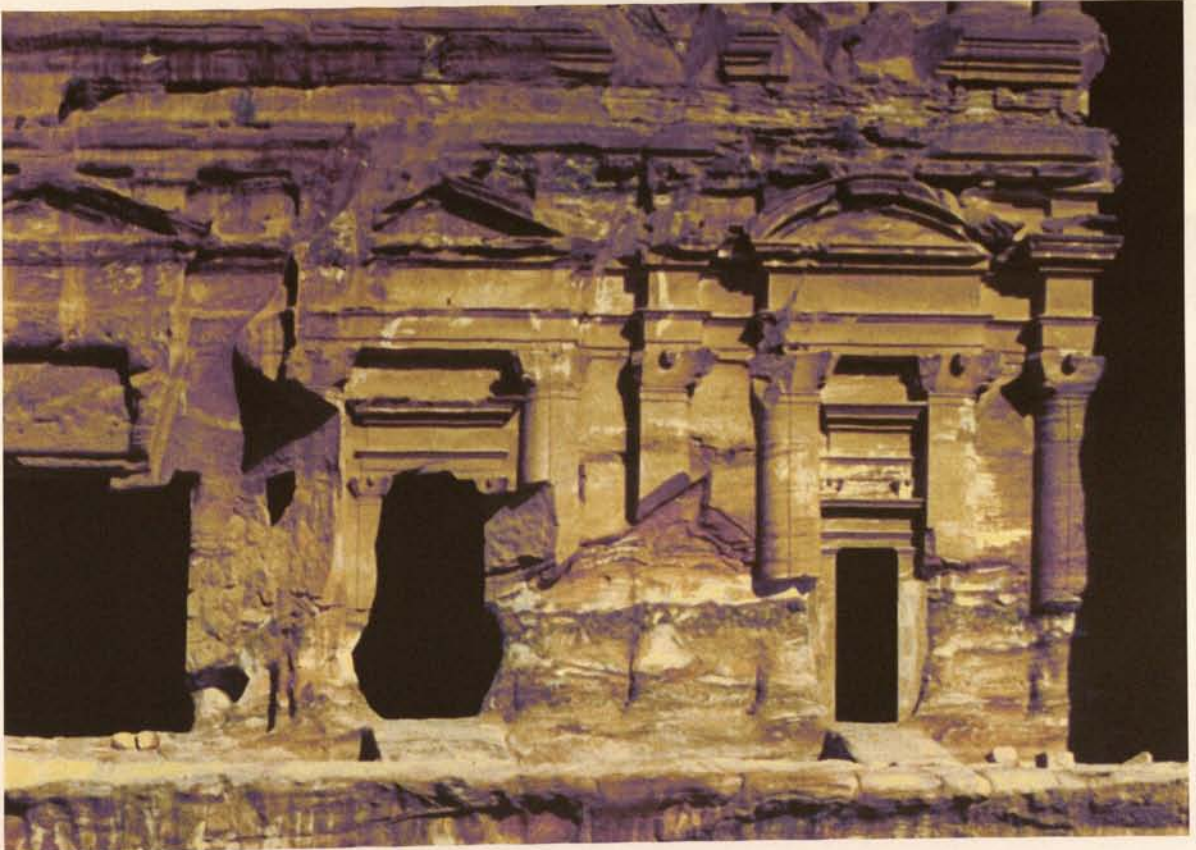
◁ 1 Echtfarbenphoto / True colour photo

3 Farbkarte / Colour map

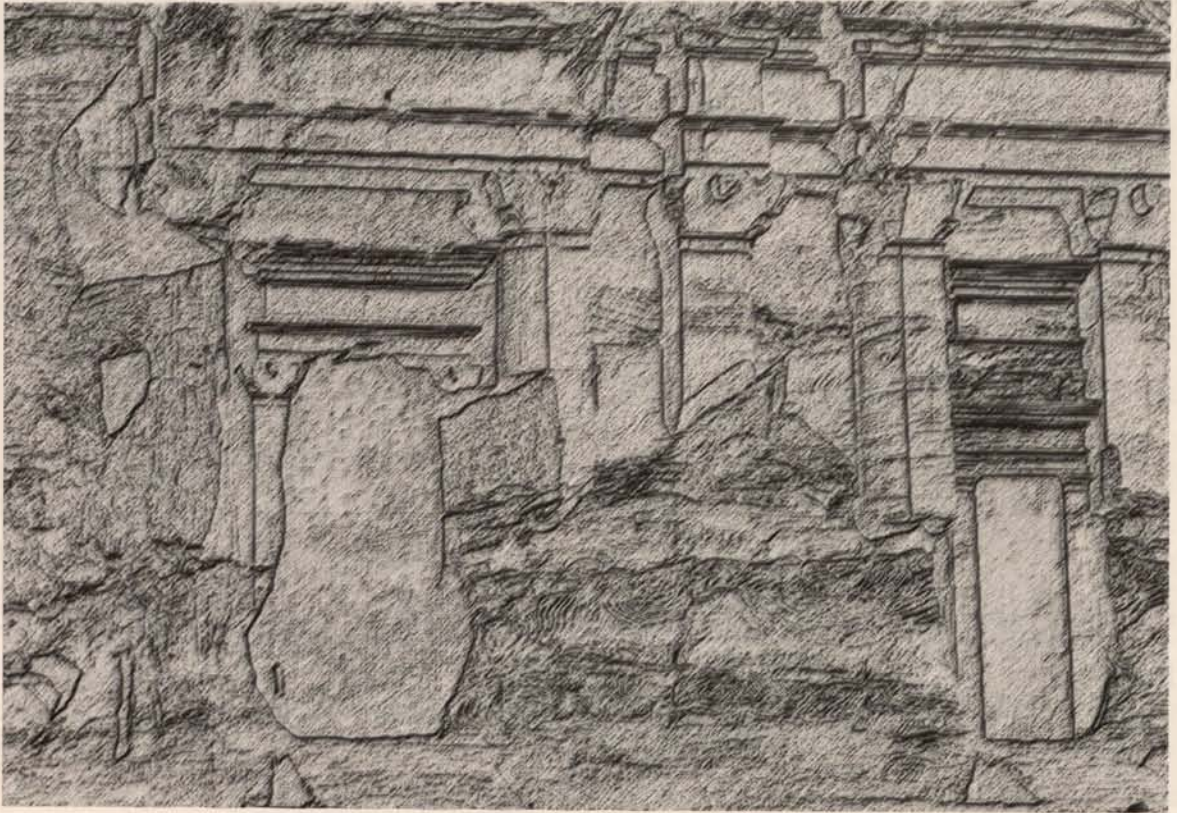
◁ 2 Threshold (Saum/Grenze) / Threshold

4 Kurvenadjustierungen / Curve adjustments

▽ 4



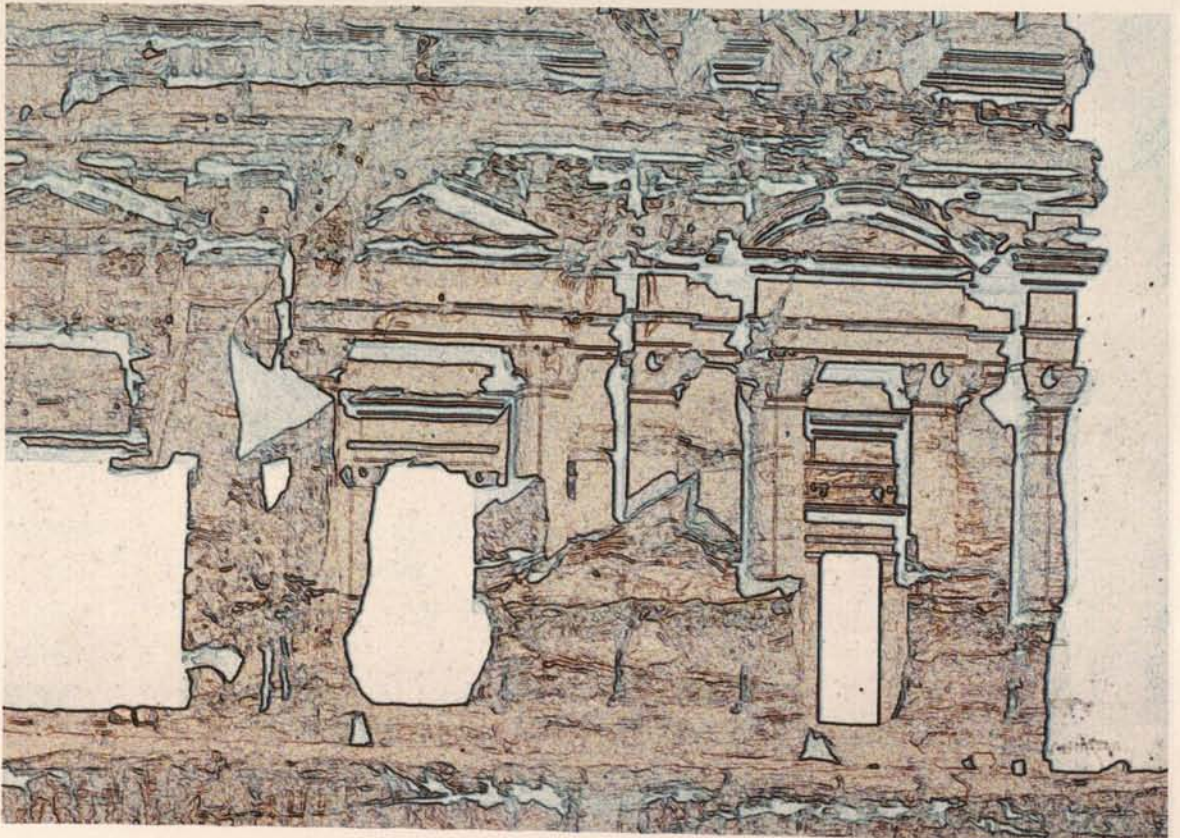
4



◁1

Es gibt verschiedene computergesteuerte Techniken, mit deren Hilfe ein Echtfarbenphoto in eine gängige Kunstform – etwa in eine Kohlezeichnung oder eine Linienskizze – konvertiert werden kann. Die Nützlichkeit der o. gen. Photos für Dokumentationen ist offensichtlich. Der Vergleich der Größe eines Risses oder eines anderen Merkmals im vereinfachten Bild (nach der Bearbeitung) zwischen zwei ähnlich behandelten Bildern kann uns über das Ausmaß des Schadens informieren

Various techniques are available on the computer to convert a true colour photo into a popular art form such as charcoal drawing or edge-enhanced drawing. The usefulness of the photos above in documentation is obvious. The comparison of the size of a crack or feature in the simplified image (after treatment) between two similarly treated images could inform us about the rate of damage



◁2



3 Δ

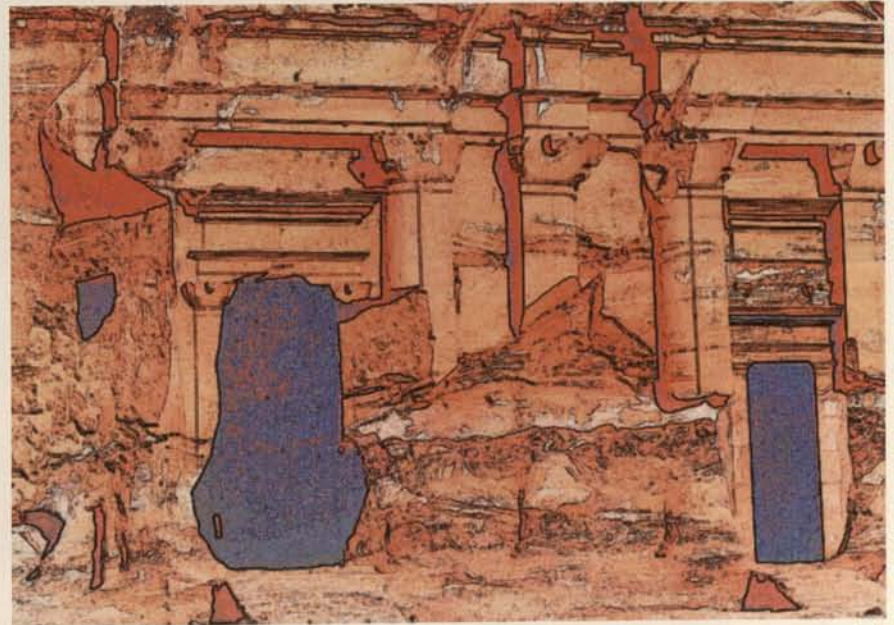
◁ 1 Kohlezeichnung / *Charcoal drawing*

◁ 2 Kantendetektion / *Find edges*

▷ 3 Linienzeichnung / *Line art*

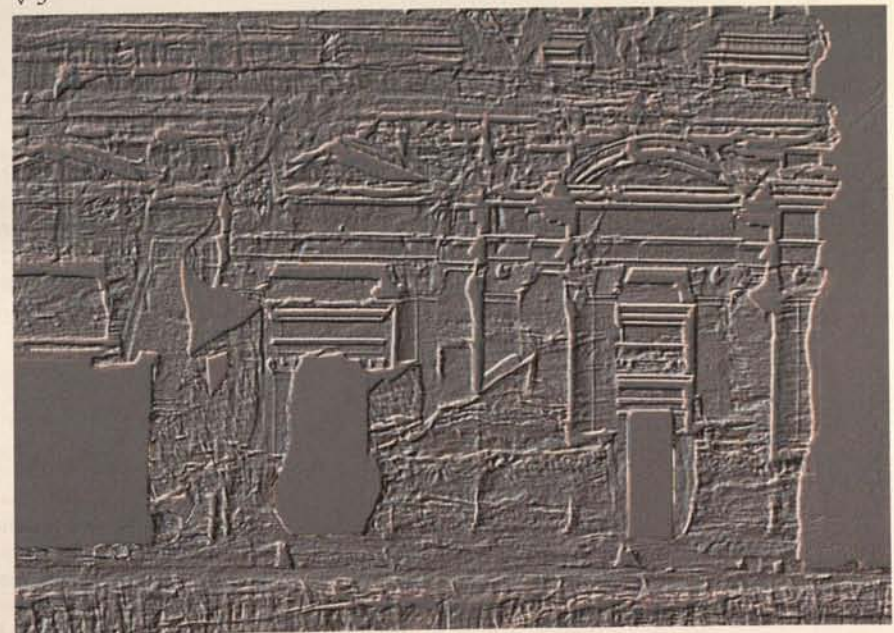
▷ 4 Wasserfarben / *Water colours*

▷ 5 Prägen / *Emboss*



▽ 5

4 Δ





Solarisation gefolgt von Decorrolations-Stretching des Bildes eines Fassadenteils des Palastgrabes führt zu einer sehr hellen gelben Linie, die eine Limonit-Ader anzeigt, die sich bis zum korinthischen Grab unmittelbar neben der Fassade sowie an beiden Seiten der nicht bearbeiteten Bergflanke erstreckt

Solarization followed by Decorrolation Stretching of an image of part of the Palace Tomb façade leads to a very bright yellow line indicating a limonite vein which extends to the Corinthian Tomb right next to the façade as well as on both sides of the uncarved hillside

Tassel-Cap-Analyse eines Landsat TM7 Bildes von 1995 des Gebiets um Wadi Musa und Petra zeigt verschiedene Vegetationsformen. Der Einsatz von Satellitenaufnahmen zur Sichtbarmachung von Besiedelung, Pflanzenbewuchs, Ackerfluren, Überschwemmungen, Erosion und unterirdischen Merkmalen hat im Text bereits Erwähnung gefunden. In der Abbildung verweisen dunkel- bis hellblaue Pixel in Wadi Musa (aber nicht in Petra) auf Obstpflanzungen mit Bewässerungsanlagen. Grüne Pixel bezeichnen Vegetation anderer Art. Hellgelbe Pixel entstehen bei stark reflektierenden Oberflächen, wie etwa den Zementhäusern in Wadi Musa und Umm Sayhun (oben links) oder auch den felsigen Bergspitzen aus ordovizischem Sandstein (weiß), die zwischen Petra und Wadi Musa auf dem al-Khubtha-Plateau liegen

Tassel Cap analysis of a 1995 landsat TM7 image of the Wadi Musa area and Petra, reveals various forms of vegetation. The use of satellite imagery as a monitoring tool of urbanization, plant cover, landuse, flash-floods, erosion, and subterranean features, has been alluded to in the text. In the figure, dark to light blue pixels in Wadi Musa (but not in Petra) indicate irrigated fruit groves. Green pixels indicate other vegetation. Bright yellow pixels are due to highly reflecting surfaces, such as concrete houses in Wadi Musa and Umm Sayhun (top left side), as well as rocky Ordovician (white) sandstone hilltops lying between Petra and Wadi Musa on the al-Khubtha Plateau

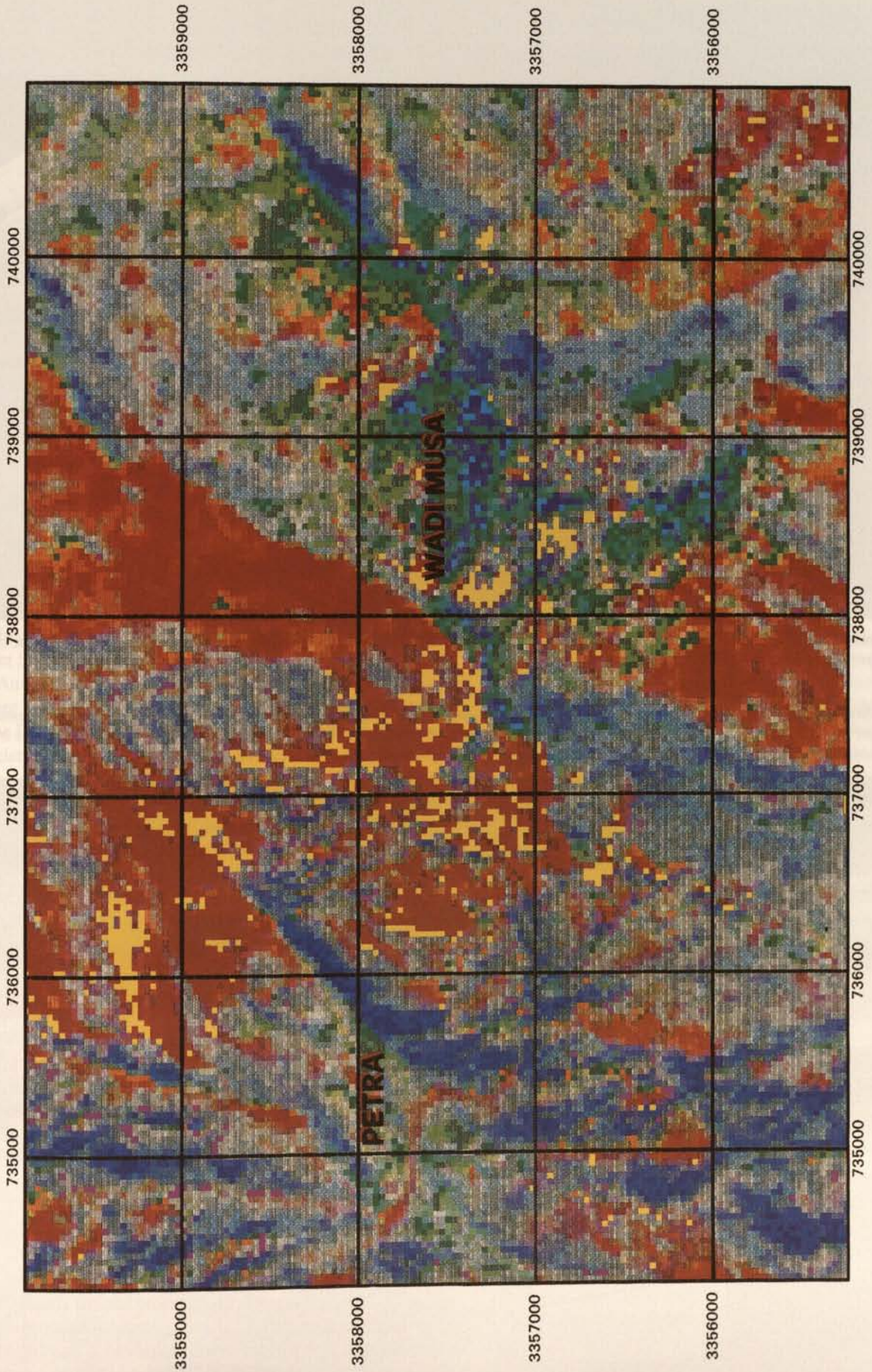




Abb. 1. Grabmonument 826. Putzreste zwischen den Zinnen und unterhalb des Rundstabes / Fig. 1. Tomb 826. Plaster remains between the crow-steps and under the round bar (torus)

Abb. 2. Grabmonument 676. Putzreste auf dem Türsturz und einem daneben befindlichen Pilaster mit Viertelsäule. Die Spitzeisendressur ist eindeutig Träger des Verputzes / Fig. 2. Tomb 676. Plaster remains on the door frame and a nearby pilaster with quarter of a column. The traces of chiselling with the pointed chisel are unquestionably the support of the plasterwork



Verputz und farbige Fassung der Felsfassaden von Petra

Plaster and Colour on the Rock-Cut Tomb Façades of Petra

Die Grabfassaden von Petra, die aus den Sandsteinfelsen der Bergmassive herausmodelliert wurden, sind für ihre „rosarote“ Farbe berühmt, die eine Einheit mit der umgebenden Landschaft bildet. Trotzdem gibt es eindeutige Beweise dafür, daß die meisten, wenn nicht alle dieser Monumente, einmal einen Verputz getragen haben, der vielfach auch farbig gefaßt war. Mörtel wurde ganz allgemein in Petra häufig verwendet und an den Wänden von Bassins, Zisternen und aus dem Fels geschlagenen Räumen gefunden worden. Auch Reste von Außenputz wurden schon verschiedentlich an den Monumenten beobachtet und haben Zayadine¹ zu der Äußerung veranlaßt: „It is indeed surprising for the modern visitor that the ancient inhabitants of Petra were not particularly sensitive to the natural beauty of the colorful rocks which are today the main attraction of this city, and that they coated the sandstone with stucco.“ Er fügt hinzu, daß viele der Grabfassaden verputzt gewesen und Architekturelemente wie Gesimse und Giebel in Stuck hinzugefügt worden seien. Auch andere Autoren wie Browning² und McKenzie³ haben die Tatsache erwähnt, daß die Felsfassaden in Petra mit Putz oder Stuck verkleidet waren.

Auf dem Weg zum Gipfel des Berges al-Khubtha, dicht bei einer aus dem Felsen herausgearbeiteten Nische, befindet sich eine Inschrift, in welcher von zwei Stelen die Rede ist. Eine der Stelen stellt die Göttin al 'Uzza dar, während die andere diejenige des „Herrn des Tempels“ ist. Die Inschrift erwähnt außerdem, daß die Arbeit an diesen beiden Stelen von einem gewissen Wahballahi, dem Putzer, ausgeführt worden sei.⁴ Das zeigt, daß Verputzen bereits als Beruf betrachtet worden ist, anhand dessen bestimmte Leute identifiziert werden konnten.

Die Feldforschung, die als Teil einer Diplomarbeit⁵ zur Identifizierung von Mörteltypen und ihrer Anwendung durchgeführt wurde, erstreckt sich auf die Areale des inneren Siq, des Theaters, Jabal Umm al 'Amr, Wadi al-Mataha, Mughur an-Nasara und Mughur al-Mataha. Andere Monumente wurden in der Gegend von Wadi al-Farasa, Jabal al-Mu'aysra ash-Sharqiyya, Jabal al-Mu'aysra al-Gharbiyya, Jabal Umm Zaytuna und al-Habis untersucht. Während dieser Untersuchung konnte festgestellt werden, daß Reste von Verputz noch an vielen Grabfassaden in Petra vorhanden sind (Abb. 15). Eine hohe Konzentration dieser Grabfassaden befindet sich in den Arealen des inneren Siq, Jabal Umm Zaytuna und Jabal al-Mu'aysra al-Gharbiyya. Beim Typus des Pylon Grabes, das eine oder zwei Reihen abgetreppter Zinnen besitzt, konnten Verputzreste zwischen den Zinnen, auf dem Torus, in einem breiten Band unterhalb des Torus oder in den zwischen den Zinnenreihen liegenden Flächen gefunden werden. Beispiele sind die Fassaden von Grab 471 (Abb. 3) und Grab 539 (Abb. 4). Der Verputz auf und unterhalb des Torus von Grab 826 ist offenbar blau gefaßt gewesen (Abb. 1, 7). Treppengräber wie Nr. 537 (Abb. 5) und Proto-Hegr Gräber wie Nr. 127 (Abb. 6) haben Putzreste zwischen den Treppen oder unterhalb des Torus. Beim Grab 127 befinden sich die Putzreste unterhalb einiger Steinblöcke, die zu einem Gesims gehören, das sich einmal oberhalb

The monuments of Petra, sculptured out of the sandstone rocks, are famous for their 'rose-red' colour, blending with the natural landscape. Nevertheless, evidence clearly shows that most, if not all, of these monuments were at one point covered with a plaster coating that was sometimes even coloured. Mortar in general was extensively used in Petra, and it has been found as a coating for basins, cisterns and interiors of rock-cut caves. Exterior plaster remains have already been noted on the monuments, which has led Zayadine¹ to comment: 'It is indeed surprising for the modern visitor to learn that the ancient inhabitants of Petra were not particularly sensitive to the natural beauty of the colourful rocks which are today the main attraction of this city, and that they coated the sandstone with stucco.' He adds that many of the carved tombs had a plaster cover, with architectural elements such as cornices and pediments being added in stucco. Other scholars, like Browning² and McKenzie³ have also mentioned the fact that the rock-hewn façades in Petra were covered with plaster or stucco.

On the way to the top of the mountain of al-Khubtha, and close to a niche carved in the rock, there is an inscription mentioning the presence of two stelae. One of the stelae represents the goddess al 'Uzza, while the other is that of the 'Lord of the Temple'. The inscription further mentions that the work of these stelae was executed by a certain Wahballahi the plasterer.⁴ This shows that plastering was already considered to be a profession by which certain people could be identified.

The field survey which was conducted as part of a Master's thesis⁵ that aimed at identifying mortar types and applications, covered the areas of the inner Siq, the theatre area, Jabal Umm al-'Amr, Wadi al-Mataha, Mughur an-Nasara and Mughur al-Mataha. Other monuments were surveyed in the areas of Wadi al-Farasa, Jabal al-Mu'aysra ash-Sharqiyya, Jabal al-Mu'aysra al-Gharbiyya, Jabal Umm Zaytuna and al-Habis. During this survey, it was found that traces of plaster are still present on the façades of many of Petra's tombs (fig. 15). A high concentration of these tombs can be found in the areas of the inner Siq, Jabal Umm Zaytuna and Jabal al-Mu'aysra al-Gharbiyya. For the Pylon Tombs, which have a single or a double row of multiple crowsteps, remains of plaster have been found between the steps, on the torus, below the torus in thick horizontal bands, or on the fascia. Examples of this type with traces of plaster are the façades of Tomb 471 (fig. 3) and Tomb 539 (fig. 4), while the plaster found on and below the torus of Tomb 826 appears to have had a bluish colour (fig. 1, 7). Step Tombs like No. 537 (fig. 5) and Proto-Hegr Tombs like No. 127 (fig. 6) seem to have their remaining plaster between the steps or below the torus. In the case of Tomb 127, plaster is found below some stone blocks which belong to an upper cornice that was once built just above the crowsteps. These stone blocks probably helped to protect the plaster from disintegration.

As for the Hegr Tombs, which are characterized by the presence of the large steps at the top, a cavetto cornice and a classi-

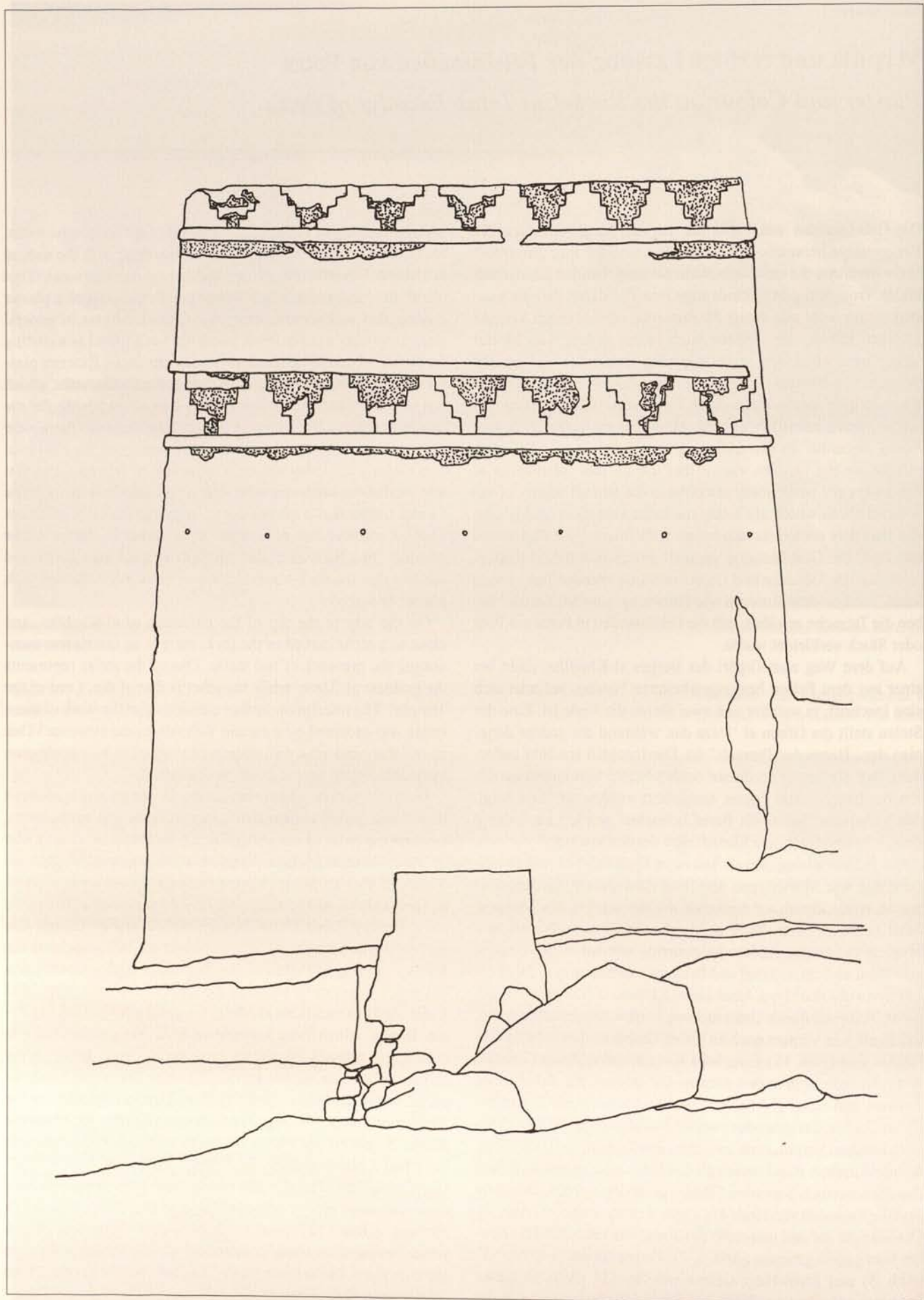


Abb. 3. Grabmonument 471. Putzreste zwischen den Zinnen und unterhalb der Rundstabprofile

Fig. 3. Tomb 471. Plaster remains between the crenellation and below the respective torus

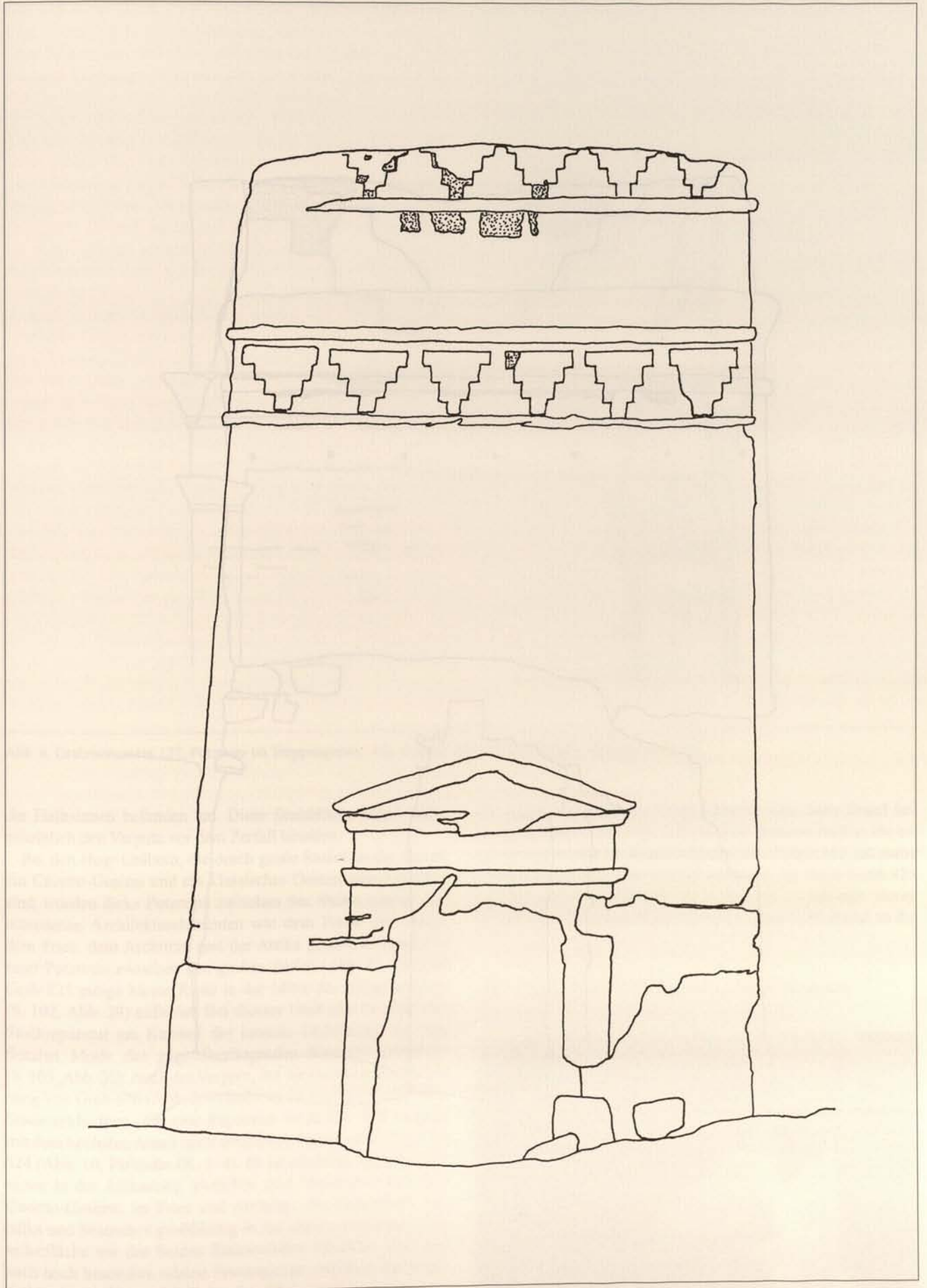


Abb. 4. Grabmonument 539. Putzreste zwischen den Zinnen und unterhalb des oberen Torus
Fig. 4. Tomb 53. Plaster remains between the crenellation and below the upper torus

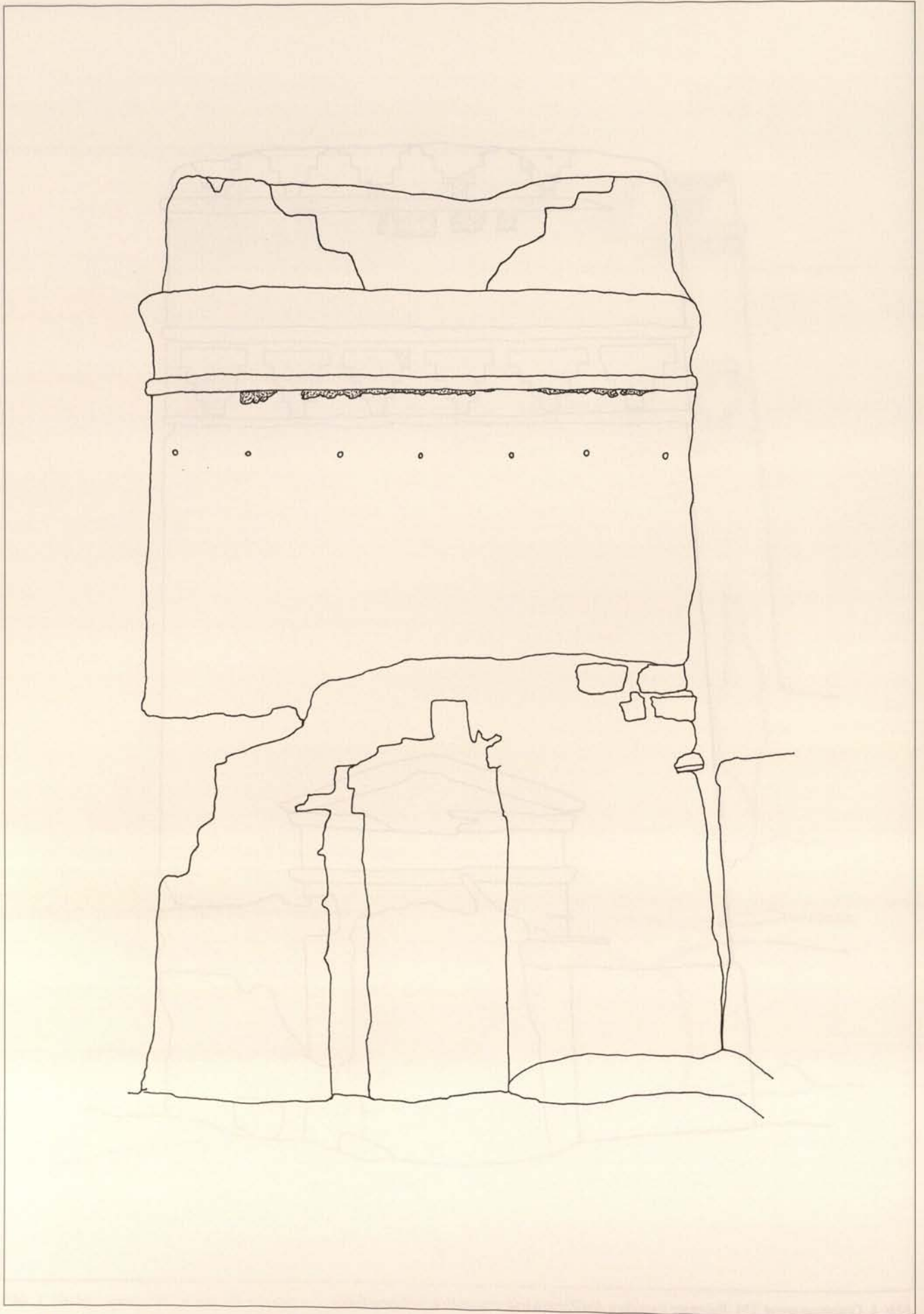


Abb. 5. Grabmonument 537. Putzreste unterhalb des Rundstabs / Fig. 5. Tomb 537. Plaster remains below the torus

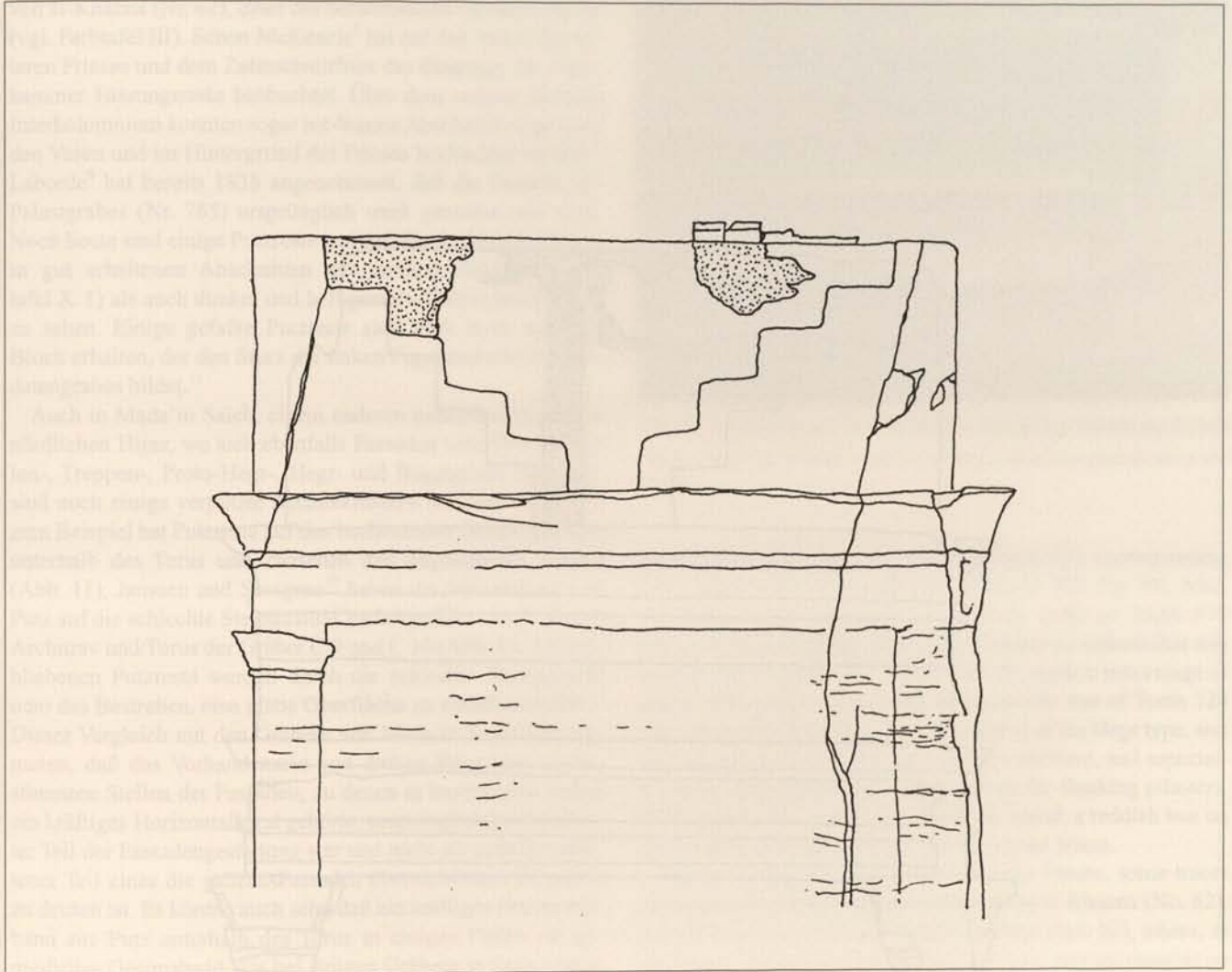


Abb. 6. Grabmonument 127. Putzreste im Treppengiebel / Fig. 6. Tomb 127. Plaster remains between crowsteps

der Halbzinnen befunden hat. Diese Steinblöcke haben wahrscheinlich den Verputz vor dem Zerfall bewahrt.

Bei den Hegr Gräbern, die durch große Stufen an der Spitze, ein Cavetto-Gesims und ein klassisches Gesims charakterisiert sind, wurden dicke Putzreste zwischen den Stufen und an verschiedenen Architekturelementen wie dem Torus, der Fascia, dem Fries, dem Architrav und der Attika gefunden. Grab 813 zeigt Putzreste zwischen den großen Stufen (Abb. 8), während Grab 825 einige kleine Reste in der Mitte des Hauptgesimses (S. 102, Abb. 29) aufweist. Bei diesem Grab gibt es auch eine Stuckreparatur am Kapitell der inneren Türöffnung, die dem floralen Motiv des gegenüberliegenden Kapitells entspricht (S. 103, Abb. 30). Auch der Verputz, der die Ordnung der Türöffnung von Grab 676 (Abb. 2, 9) bedeckt, ist nach Zayadine⁶ eine Stuckverkleidung, die eine Reparatur verdeckte. Die Fassade mit dem höchsten Anteil noch erhaltenen Putzes gehört zu Grab 524 (Abb. 10, Farbtafel IX. 1–4). Es ist ein Hegr Typ mit Putzresten in der Attikazone, zwischen dem klassischen und dem Cavetto-Gesims, im Fries und Architrav des klassischen Gebälks und besonders großflächig in der darunterliegenden Fassadenfläche mit den beiden flankierenden Pilastern. Hier sind auch noch besonders schöne Fassungsreste erhalten: Rot in der Attikazone zwischen den Gesimsen, Blau und Rot im Fries.

Auch am Typ der römischen Tempelgräber konnten Reste von Verputz festgestellt werden, wie zum Beispiel an der Fassade

cal cornice, again thick plaster remains have been found between the steps and on the architectural elements such as the torus, fascia, frieze, architrave and sub-attic. Tomb 813 has some plaster remains between its large steps (fig. 8), while Tomb 825 has few plaster remains in the middle of its sub-attic storey (p. 102, fig. 29). There is also a stucco repair to be found on the

Abb. 7. Grabmonument 826. Verputz mit blauen Farbresten / Fig. 7. Tomb 826. Plaster with blue colour remains



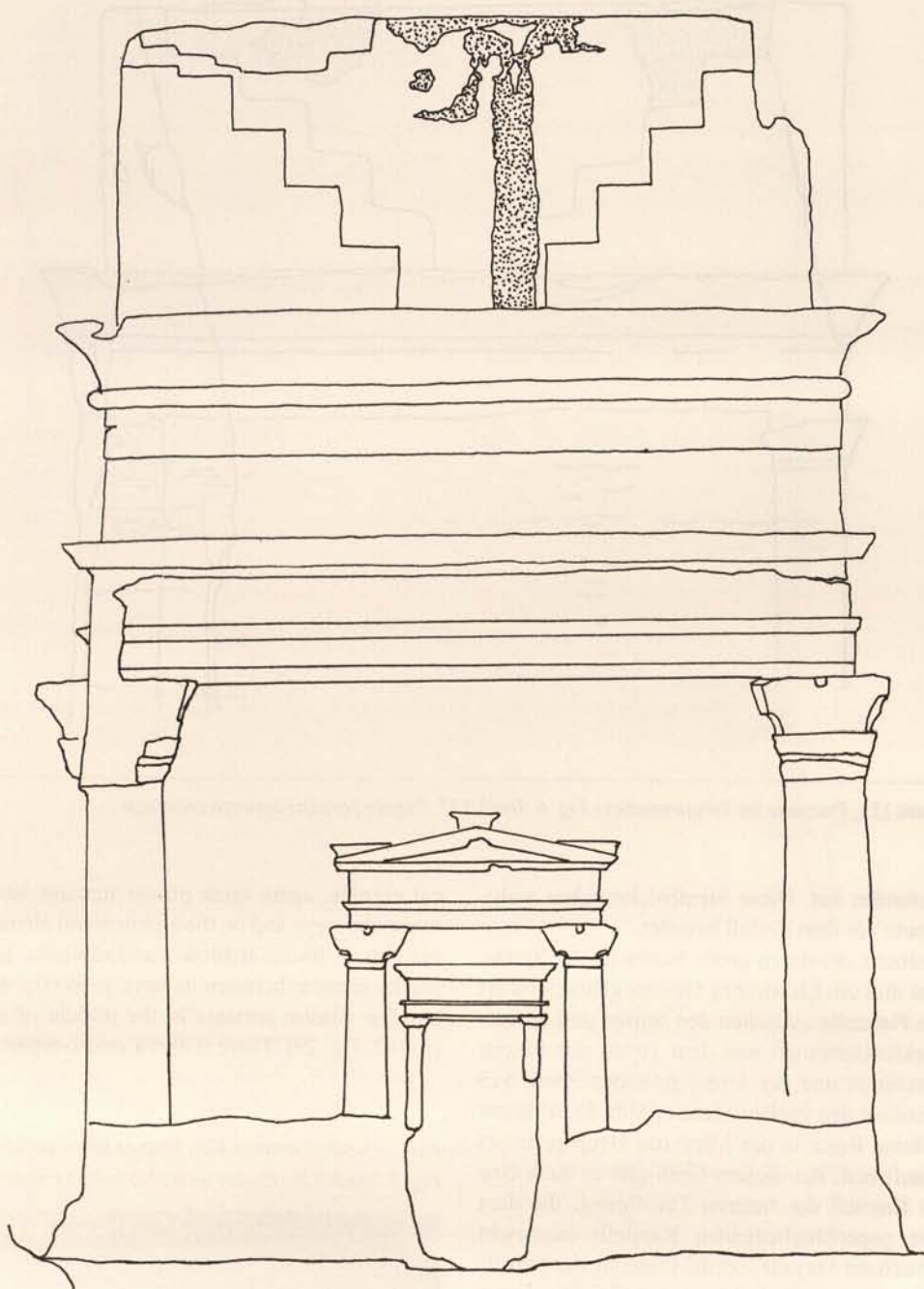


Abb. 8. Grabmonument 813. Putzreste im Treppengiebel / Fig. 8. Tomb 813. Plaster remains between the crowsteps

von al-Khazna (Nr. 62), einer der berühmtesten Fassaden Petras (vgl. Farbtafel III). Schon McKenzie⁷ hat auf den Vasen des unteren Frieses und dem Zahnschnittfries des Eingangs zur Grabkammer Fassungsreste beobachtet. Über dem rechten äußeren Interkolumnium konnten sogar rot-braune Abschattierungen auf den Vasen und im Hintergrund des Frieses beobachtet werden.⁸ Laborde⁹ hat bereits 1838 angenommen, daß die Fassade des Palastgrabes (Nr. 765) ursprünglich weiß gewesen sein muß. Noch heute sind einige Putzreste und gefaßte Architekturdetails in gut erhaltenen Abschnitten der unteren Gebälke (Farbtafel X. 1) als auch dunkel und hell gemalte Zahnschnittfriese¹⁰ zu sehen. Einige gefaßte Putzreste sind auch noch auf dem Block erhalten, der den Sturz der linken Figurennische des Soldatengrabes bildet.¹¹

Auch in Mada'in Saleh, einem anderen nabatäischen Ort im nördlichen Hijaz, wo sich ebenfalls Fassaden vom Typ des Pylon-, Treppen-, Proto-Hegr-, Hegr- und Bogengrabs befinden, sind noch einige verputzte Architekturteile erhalten. Grab E 8 zum Beispiel hat Putzreste auf den horizontalen Gesimsbändern unterhalb des Torus und zwischen den abgetreppten Zinnen (Abb. 11). Jaussen und Savignac¹² haben die Verwendung von Putz auf die schlechte Steinqualität zurückgeführt. Auch die auf Architrav und Torus der Gräber C 9 und C 10 (Abb. 12, 13) verbliebenen Putzreste werden durch die schlechte Steinqualität oder das Bestreben, eine glatte Oberfläche zu schaffen erklärt.¹³ Dieser Vergleich mit den Gräbern von Mada'in Saleh läßt vermuten, daß das Vorhandensein von dicken Putzresten an bestimmten Stellen der Fassaden, zu denen in bestimmten Zeiten ein kräftiges Horizontalband gehörte, ursprünglich beabsichtigter Teil der Fassadengestaltung war und nicht als zufällig erhaltener Teil eines die ganzen Fassaden überziehenden Verputzes zu deuten ist. Es könnte auch sein, daß ein kräftiges Horizontalband aus Putz unterhalb des Torus in einigen Fällen ein gemeißeltes Gesimsband, das bei einigen Gräbern in Petra und in Mada'in Saleh zu beobachten ist, ersetzt hat.

An vielen Grabfassaden befinden sich Löcher, die häufig in Reihen angebracht und oft noch mit Mörtel gefüllt sind (vgl. S. 103, Abb. 33). Solche Löcher sind auch an Grab 825 gefunden worden. Drei davon liegen auf einer Linie. In einem steckt noch ein altes Holzstück (S. 103, Abb. 32), während in einem anderen eine weiße Mörtelfüllung erhalten ist, die bis zur Steinoberfläche reicht und ein kleines quadratisches Loch in der Mitte aufweist (S. 103, Abb. 31). Diese Löcher könnten ursprünglich dazu gedient haben, Elemente aus Putz oder Stuck anzubringen. Das heißt, daß der vorhandene Befund darauf schließen lassen könnte, daß Löcher in regelmäßigen Abständen in die Fassade gebohrt und mit Putz gefüllt worden sind, um ein Stück Holz aufzunehmen, in das wiederum Kupfer- oder Eisennägeln eingeschlagen wurden, an denen man die dekorativen Stuckelemente befestigte. Solche gegossenen Putz- oder Stuckelemente wurden nicht nur an Grabfassaden, sondern auch an Fassaden und in Innenräumen gebauter Architektur verwendet. Eines dieser Beispiele ist Qasr al-Bint (Nr. 403). Schon Laborde¹⁴ hat darauf aufmerksam gemacht, daß die Innenwände ursprünglich mit Stuckplatten, die mit der Zeit zerstört worden sind, ausgekleidet waren. Tatsächlich sind an verschiedenen Wänden des Tempels (Farbtafel X. 2) noch Stuckelemente erhalten, die zeigen, daß die Löcher, die dort nach einem architektonischen System ausgeteilt sind, zur Befestigung der Stuckelemente gedient haben.¹⁵ Stuck wurde, wie der Eingang zur Grabkammer von Nr. 825 zeigt, auch zur Reparatur oder Ergänzung abgebrochener Architekturelemente oder – wie zum Beispiel an der Fassade des Gar-

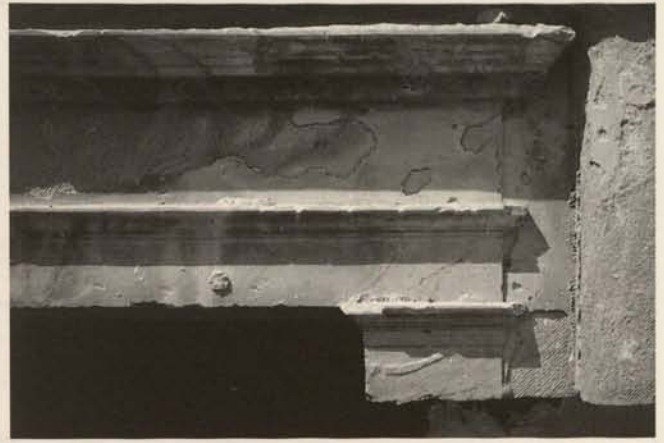


Abb. 9. Grabmonument 676. Putzreste im und um das Gebälk des Portals
Fig. 9. Tomb 676. Plaster remains on and around the entablature of the portal

capital of the inner doorway order of Tomb 825, corresponding to the floral motif of the opposite capital (p. 103, fig. 30). Also, the plaster found covering the doorway order of Tomb 676 (fig. 2, 9), is according to Zayadine⁶, a stucco revetment that was used to cover a repair. The façade with the highest percentage of plaster still evident on its surface is possibly that of Tomb 524 (fig. 10, colour plate IX. 1-4). This tomb is of the Hegr type, and has remains on its sub-attic, frieze and architrave, and especially on the lower part of the façade and on the flanking pilasters. Here, application of colour can also be found: a reddish hue on the sub-attic and red and blue colours on the frieze.

Moreover, regarding the Roman Temple Tombs, some traces of plaster can still be seen on the façade of al-Khazna (No. 62), one of Petra's most famous façades (colour plate III), where, as McKenzie⁷ has noted, there are indeed some painted remains on the carved vases of the lower frieze and on the dentils of the central doorway. Other painted remains can be found above the bay to the right, and these are represented by reddish-brown carinations on the vase and the frieze background.⁸ As early as 1838 Laborde⁹ postulated that the façade of the Palace Tomb (No. 765) must have been originally painted white. There are still some plaster remains of painted details to be seen on its lower entablatures (colour plate X. 1), as well as painted dentils of the lower order in black and white.¹⁰ In addition to these two monuments, there are some remains of painted plaster on the exterior of the Roman Soldier's Tomb. These are found on the top stone block of the left niche that contains a male figure holding a cloak.¹¹

Plastered architectural elements are also found on some of the façades of Mada'in Saleh, which is another Nabataean site in the northern Hijaz, with its façade types represented by the Pylon, Step, Proto-Hegr, Hegr and Arch Tombs. Tomb E8, for example, has been noted to have stucco on the horizontal projections (fascia) below the torus mouldings (fig. 11). Jaussen and Savignac¹² attributed the application of stucco to the poor quality of the stone. Also, the remains of stucco on the architrave and torus of Tombs C9 and C10 (figs. 12, 13), are attributed either to the poor stone quality, or to the purpose of creating a polished surface.¹³ Such a comparison with the tombs of Mada'in Saleh draws attention to the fact that the presence of thick plaster remains on architectural elements could have been intentional, and that it is not just by mere coincidence that the plaster was left there unspoil, especially since at times a thick horizontal band

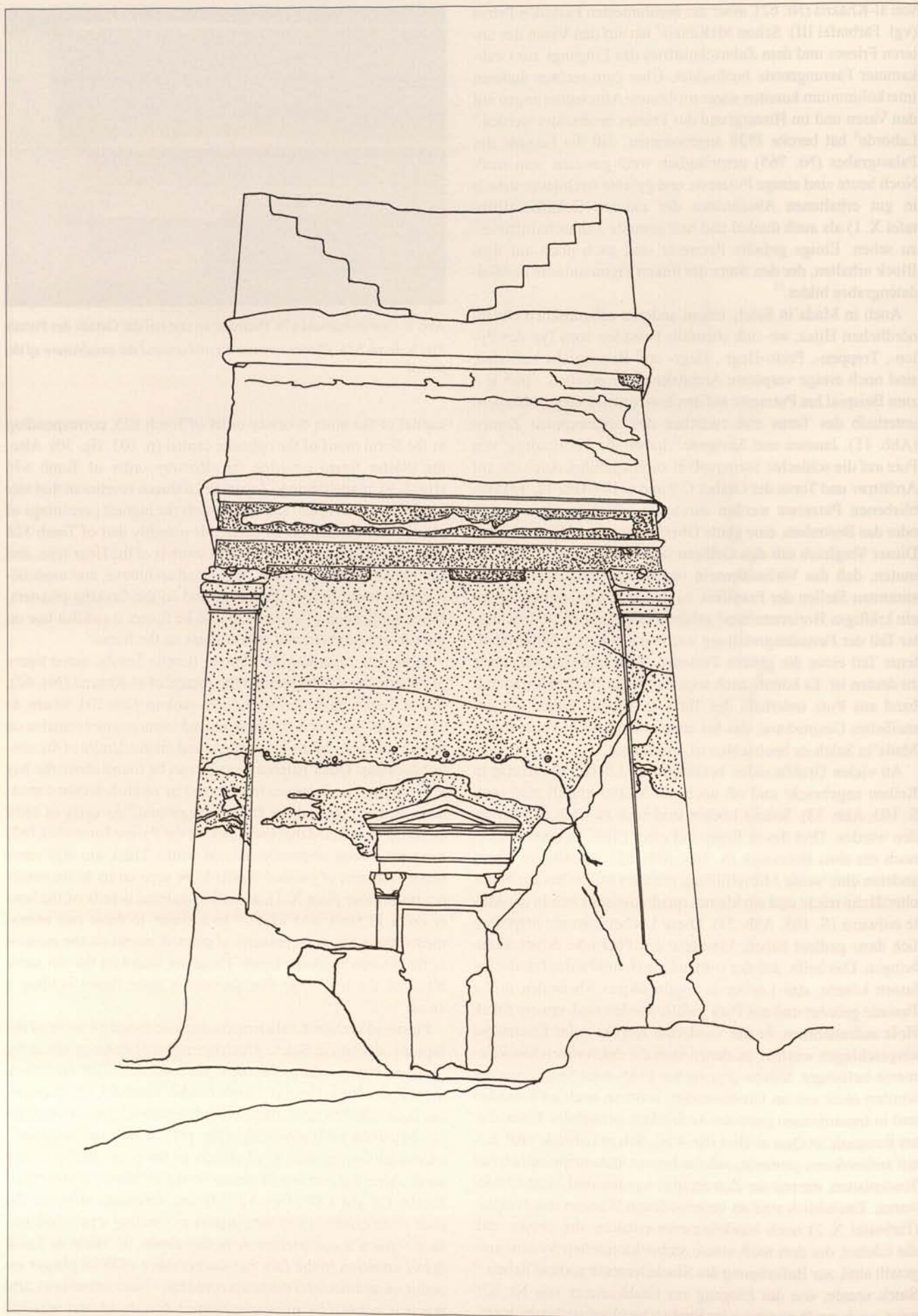


Abb. 10. Grabmonument 524. Großflächige Reste des Fassadenputzes / Fig. 10. Tomb 524. Rich remains of the original plastering



Abb. 11. Grabmonument E8 in Mada'in Saleh (nach McKenzie 1990, Abb. 12d) / Fig. 11. Tomb E8 in Mada'in Saleh (McKenzie 1990, plate 12d)

tengrabes (Abb. 16) – zur Imitation von Mauerwerk verwendet. Manchmal, wie zum Beispiel die dunkel und hell abgestuften Zahnschnittfriese an der Fassade des Palastgrabes (Farbtafel X.1), sind Architekturelemente auch nur aufgemalt gewesen. Die dunklen Töne konnten noch nicht untersucht werden. Bis eine Klärung durch entsprechende Analysen herbeigeführt werden kann, bleibt aber immerhin die Frage offen, ob es sich dabei um dunkle Abschattierungen oder eventuell auch um eine verschwärzte Grundierung einer ehemaligen Vergoldung handelt.

Am Turkmaniyya Grab (Nr. 633) sind keine Putzreste an der Fassade, aber in der oberhalb der Inschrift befindlichen Nische (Farbtafel IX. 5) und zwar mit einer starken roten und blauen Pigmentierung erhalten. Die Analyse der roten Putzprobe ergab, daß es sich um eine Zusammensetzung aus Quarz, Gips, Whewellit (in der Natur organisch vorkommendes Calciumoxalat), Kaolinit, Anhydrit und Hämatit, bei der blauen Putzprobe um eine Zusammensetzung aus Quarz, Gips, Whewellit ($\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) und Cuprorivait ($\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$) handelt. Der Putz ist also ein Gipsmörtel mit zum Teil „totgebranntem“ Gips (Anhydrit). Pigmentbestimmende Elemente sind im einen Fall Eisen (Hämatit)

is part of the architectural outline of the façades. Hence, there is a possibility that an application of a thick horizontal band of plaster below the torus moulding was used in certain cases as a substitute for a fascia, as is the case with several tombs in Petra as well as in Mada'in Saleh.

On many of the tomb façades, carved holes are to be observed, which are often regularly spaced, and in certain cases still retain a mortar fill (p. 103, fig. 33). Such holes have been found on Tomb 825, where three of them are carved in a row. One of the holes has an ancient piece of wood inside (p. 103, fig. 32), while another has a white mortar fill that reaches the stone surface, with a small squarish hole in the middle (p. 103, fig. 31). The purpose of such holes could have actually been to hold architectural or ornamental elements of plaster or stucco. From that example, it seems evident that sometimes for applying stucco, a wooden piece was inserted into the holes filled with mortar, and then an iron or copper nail was hammered into the wood, which would then hold the stucco plaques. Plaster and stucco mouldings were not only used for tomb façades, but also for covering the exterior or interior of built monuments. Such a monument is,

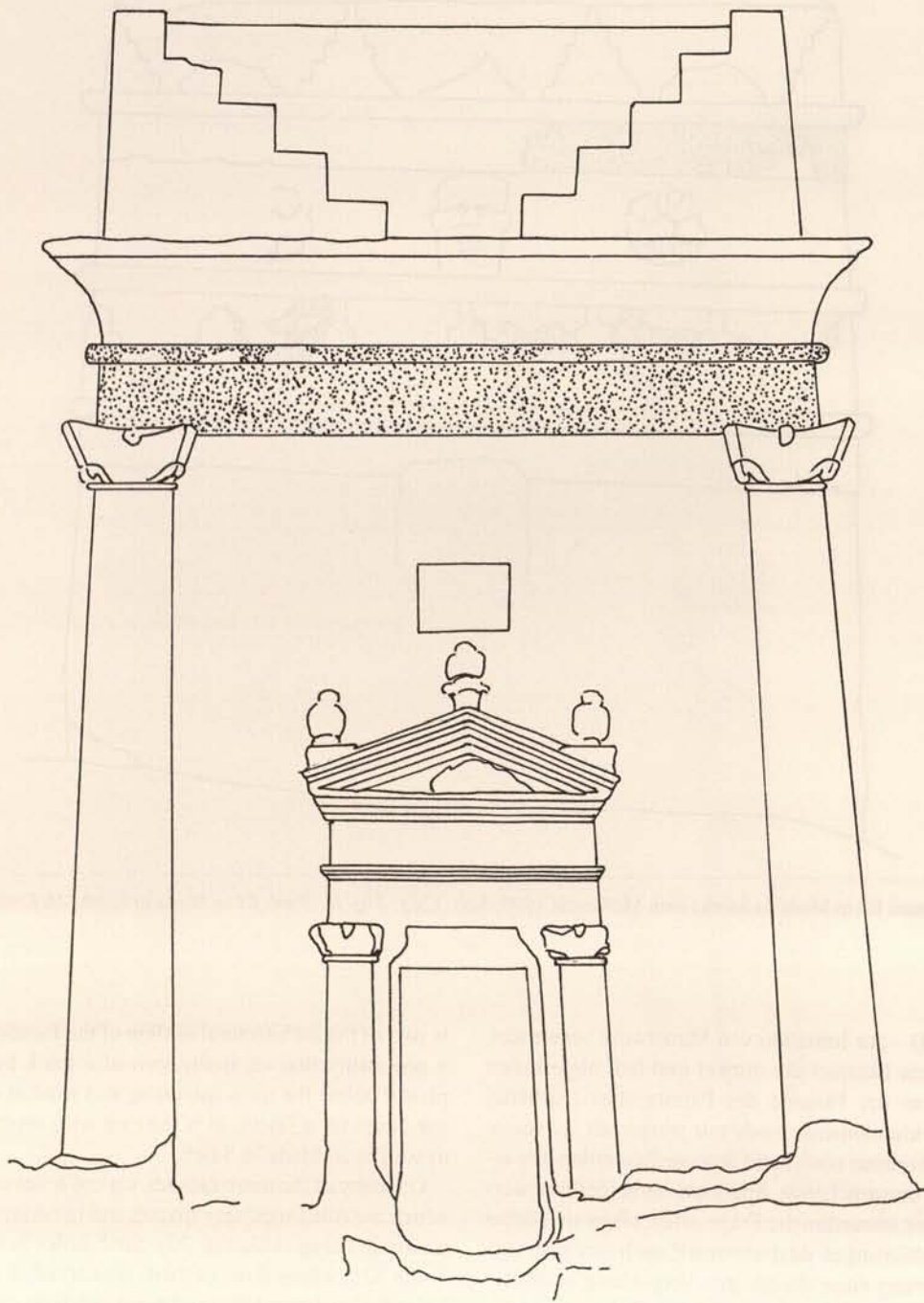


Abb. 12. Grabmonument C9 in Mada'in Saleh (nach McKenzie 1990, Abb. 16d) / Fig. 12. Tomb C9 in Mada'in Saleh (McKenzie 1990, plate 16d)

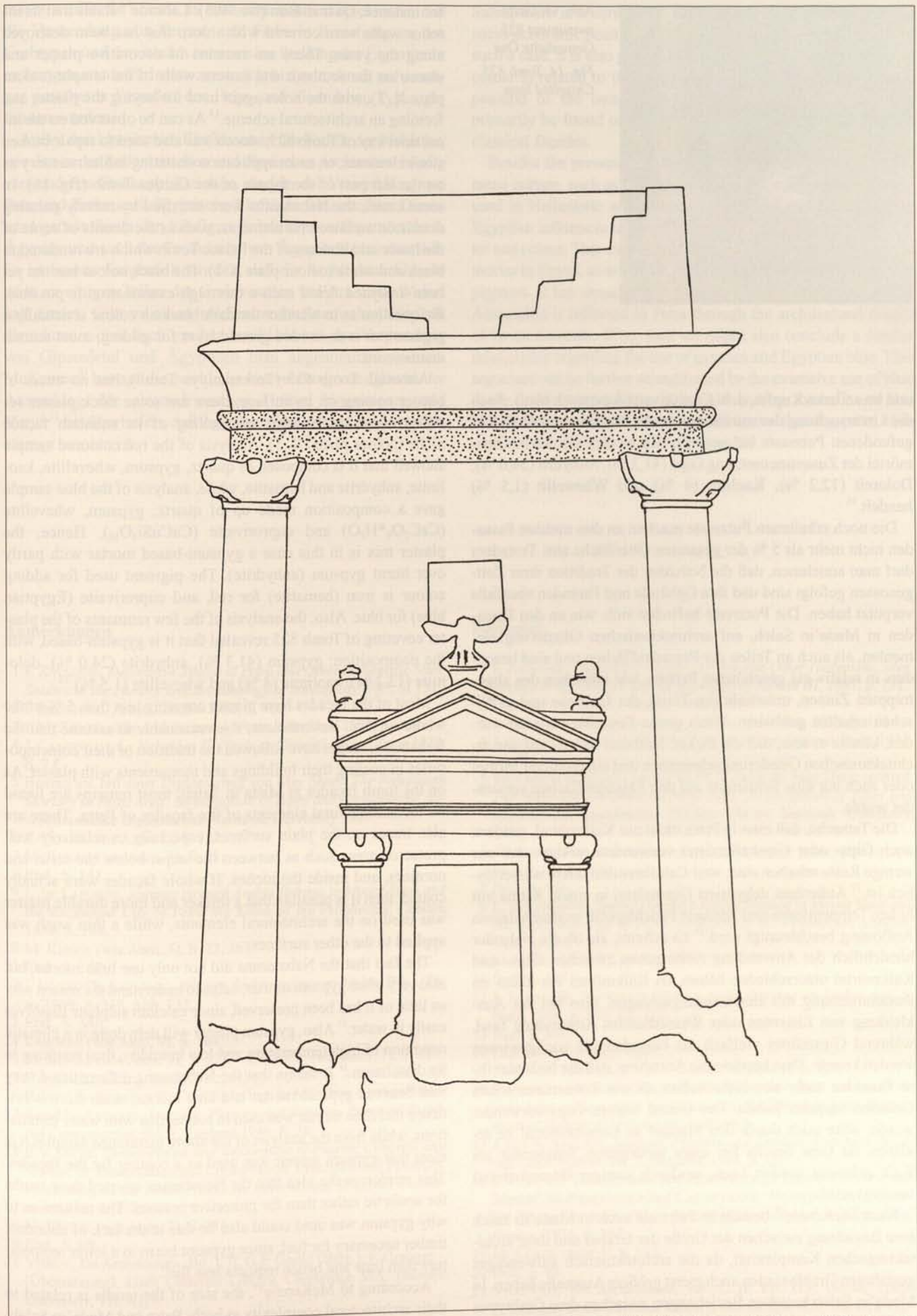


Abb. 13. Grabmonument C10 in Mada'in Saleh (nach McKenzie 1990, Abb. 16a) / Fig. 13. Tomb C10 in Mada'in Saleh (McKenzie 1990, plate 16a)



Abb. 14. Grabmonument 825.
Gemeißelte Öse

Fig. 14. Tomb 825.
Chiselled loop

und im anderen Kupfer, d. h. Cuprorivaite (Ägyptisch blau). Auch die Untersuchung der minimalen an der Fassade von Grab 825 gefundenen Putzreste hat gezeigt, daß es sich um einen Gipsmörtel der Zusammensetzung Gips (41,3 %), Anhydrit (24,0 %), Dolomit (12,2 %), Kaolinit (4 %) und Whevellit (1,5 %) handelt.¹⁶

Die noch erhaltenen Putzreste machen an den meisten Fassaden nicht mehr als 5 % der gesamten Oberfläche aus. Trotzdem darf man annehmen, daß die Nabatäer der Tradition ihrer Zeitgenossen gefolgt sind und ihre Gebäude und Fassaden ebenfalls verputzt haben. Die Putzreste befinden sich, wie an den Fassaden in Mada'in Saleh, auf architektonischen Gliederungselementen, als auch an Teilen der Fassadenflächen und sind besonders in relativ gut geschützten Partien, wie zwischen den abgetreppten Zinnen, unterhalb des Torus, der Gesimse und in Nischen erhalten geblieben. Wenn ganze Fassaden verputzt wurden, könnte es sein, daß ein dicker, haltbarer Mörtel auf den architektonischen Gliederungselementen und ein dünnerer Mörtel oder auch nur eine Schlämme auf den Fassadenflächen verwendet wurde.

Die Tatsache, daß man in Petra nicht nur Kalkmörtel, sondern auch Gips- oder Gipskalkmörtel verwendete, erklärt, daß nur wenige Reste erhalten sind, weil Calciumsulfat leicht wasserlöslich ist.¹⁷ Außerdem dehydriert Gipsmörtel in einem Klima mit hohen Temperaturen und geringer Feuchtigkeit, wodurch dessen Auflösung beschleunigt wird.¹⁸ Es scheint, als ob die Nabatäer hinsichtlich der Anwendung recht genau zwischen Gips- und Kalkmörtel unterschieden hätten, da Kalkmörtel vor allem im Zusammenhang mit Bewässerungsanlagen, also bei der Auskleidung von Zisternen oder Wasserbassins Anwendung fand, während Gipsmörtel vielfach als Fassadenputz nachgewiesen werden konnte. Dies bestärkt die Annahme, daß die Nabatäer ihre Fassaden mehr aus ästhetischen als aus konservatorischen Gründen verputzt haben. Der Grund warum Gips verwendet wurde, wäre auch durch den Mangel an Brennmaterial zu erklären, da Gips bereits bei einer niedrigeren Temperatur als Kalk gebrannt werden kann, wodurch weniger Brennmaterial benötigt wird.

Nach McKenzie¹⁹ besteht in Petra als auch in Mada'in Saleh eine Beziehung zwischen der Größe der Gräber und ihrer architektonischen Komplexität, da die architektonisch aufwendiger gestalteten Grabfassaden auch meist größere Ausmaße haben. In Mada'in Saleh bestehen Beziehungen zwischen dem Grabtypus und der sozialen Stellung einer Person, für die das Grabmal ge-

for instance, Qasr al-Bint (No. 403). Laborde¹⁴ states that its interior walls were covered with stucco that has been destroyed along the years. There are remains of decorative plaster and stucco on the southern and eastern walls of the temple (colour plate X. 2), with the holes again used for keying the plaster and forming an architectural scheme.¹⁵ As can be observed on the inner doorway of Tomb 825, stucco was also used to repair broken stone elements, or, as an application imitating ashlar masonry as on the left part of the façade of the Garden Tomb (fig. 16). In some cases, the Nabataeans were satisfied by merely painting details on architectural elements, such as the dentils of some of the lower entablatures of the Palace Tomb which are rendered in black and white (colour plate X. 1). The black colour has not yet been analyzed. Until such a thorough examination is possible, the question as to whether the dark blackish colour is actually a pigment, or is an eroded ground layer for gilding, must remain unanswered.

Although Tomb 633 (Turkmaniyya Tomb), has no traces of plaster coating on its surface, there are some thick plaster remains covering the wall and ceiling of its squarish façade niche (colour plate IX. 5). Analysis of the red coloured sample showed that it is composed of quartz, gypsum, wehellite, kaolinite, anhydrite and hematite, while, analysis of the blue sample gave a composition made up of quartz, gypsum, wehellite ($\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) and cuprorivaite ($\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$). Hence, the plaster mix is in this case a gypsum-based mortar with partly over burnt gypsum (anhydrite). The pigment used for adding colour is iron (hematite) for red, and cuprorivaite (Egyptian blue) for blue. Also, the analysis of the few remnants of the plaster covering of Tomb 825 revealed that it is gypsum-based, with the composition: gypsum (41.3 %), anhydrite (24.0 %), dolomite (12.2 %), kaolinite (4 %) and wehellite (1.5 %).¹⁶

Most of the façades have plaster covering less than 5 % of the whole surface. Nevertheless, it is reasonable to assume that the Nabataeans might have followed the tradition of their contemporaries in coating their buildings and monuments with plaster. As on the tomb façades at Mada'in Saleh, most remains are found on the architectural elements of the façades of Petra. There are also traces on the plain surfaces, especially in relatively well protected areas such as between the steps, below the torus and cornices, and inside the niches. If whole façades were actually coated, then it is possible that a thicker and more durable plaster was used on the architectural elements, while a thin wash was applied to the other surfaces.

The fact that the Nabataeans did not only use lime mortar, but also very often gypsum mortar, helps to understand the reason why so little of it has been preserved, since calcium sulphate dissolves easily in water.¹⁷ Also, gypsum plaster will dehydrate in a climatic condition of high temperature and low humidity, thus resulting in its dissolution.¹⁸ It seems that the Nabataeans differentiated very well between gypsum mortar and lime mortar, since there is evidence that lime mortar was used in connection with water installations, while from the analysis of the above mentioned samples it is clear that gypsum mortar was used as a coating for the façades. This reinforces the idea that the Nabataeans covered their tombs for aesthetic rather than for protective reasons. The reasons as to why gypsum was used could also be due to the lack of abundant timber necessary for fuel, since gypsum burns at a lower temperature than lime and hence requires less fuel.

According to McKenzie¹⁹, the size of the tombs is related to their architectural complexity at both, Petra and Mada'in Saleh, since the more complex tombs have a larger size. At Mada'in

macht wurde. So könnte es auch einleuchtend erscheinen, daß die Verwendung von Verputz und Farbe in Beziehung zu den Grabtypen und damit auch zur sozialen Stellung der Eigentümer zu bringen ist, da Farbreste zumindest bisher mehr an aufwendiger gestalteten Fassaden des Hegr- und klassischen Typus gefunden wurden.

Außer den klassischen Einflüssen in der Kultur der Nabatäer, wie den in der hellenistischen und römischen Architektur häufig verwendeten Stuckapplikationen, sind in der Verwendung von Putz und Farbe auch ägyptische Einflüsse festzustellen. Dieses wird gerade durch den häufigen Gebrauch von Gipsmörteln in Ägypten und auch der Produktion von Ägyptisch blau deutlich. Es ist bereits festgestellt worden, daß die Architektur Alexandrias an einigen Teilen der Grabfassaden in Petra ihren Widerhall findet. Gibt es einen solchen architektonischen Einfluß, dann kann sicher auch ein handwerklicher in der Verwendung von Gipsmörtel und Ägyptisch blau angenommen werden. McKenzie²⁰ hat auf die reichliche Verwendung von Blau in der Ausmalung der alexandrinischen Gräber hingewiesen und Vitruv²¹ hat überliefert, daß Ägyptisch blau zuerst in Alexandria erzeugt worden ist.

Saleh, there is a correlation between the type of tomb and the socio-economic position of the person for whom it was made. In such a case, it is also plausible that the application of plaster and colour is related to the tomb type, and hence to the economic position of the owner, since the application of colour can primarily be found on the more elaborate Hegr Tombs and the classical façades.

Besides the presence of classical influences within the Nabataean culture, such as the stucco applications which were widely used in Hellenistic and Roman architecture, one can also find Egyptian influences in aspects relating to the application of plaster and colour. This can be seen by the wide use of gypsum-based mortar in Egypt, as well as in the production of the Egyptian blue pigment. It has already been recognized that the architecture of Alexandria is reflected in Petra through the architectural details of its monuments. If so, then we might also conclude a similar relationship regarding the use of gypsum and Egyptian blue. This argument can be further strengthened by the extensive use of blue in the decorative paintings of the Alexandrine tombs²⁰, and also by the account of Vitruvius²¹ which states that Egyptian blue pigment was first produced in Alexandria.

Anmerkungen

- 1 F. ZAYADINE, *Decorative Stucco at Petra and Other Hellenistic Sites. Studies in the History and Archaeology of Jordan III*, 1987, S. 131.
- 2 I. BROWNING, *Petra*, London 1982, S. 40.
- 3 J. MCKENZIE, *The Architecture of Petra*, New York 1990, S. 114.
- 4 J. CANTINEAU, *Le Nabatéen II. Choix de Textes-Lexique*, Paris 1932, S. 7 f.
- 5 Beitrag als Teil einer Diplomarbeit von May Shaer, *The Nabataean Mortars in Petra Area: Investigation of Types and Applications*, unveröffentlichte Diplomarbeit, Yarmouk University 1997.
- 6 ZAYADINE (wie Anm. 1), S. 132.
- 7 MCKENZIE (wie Anm. 3), S. 33.
- 8 Ebd., S. 141.
- 9 L. DE LABORDE, *Journey through Arabia Petraea to Mount Sinai and the Excavated City of Petra the Edom of the Prophecies*, London 1838, S. 188.
- 10 MCKENZIE (wie Anm. 3), S. 33, 163.
- 11 Ebd., S. 147.
- 12 J. JAUSSEN/R. SAVIGNAC, *Mission Archéologique en Arabie*, Bd. 1, Paris 1909, S. 318, Abb. 132.
- 13 Ebd., S. 340.
- 14 LABORDE (wie Anm. 9), S. 164.
- 15 MCKENZIE (wie Anm. 3), S. 137. – ZAYADINE (wie Anm. 1), S. 135.
- 16 Die Untersuchung dieser Putzproben wurde im Zentrallabor des Bayer. Landesamtes für Denkmalpflege in München durchgeführt.
- 17 J. and N. ASHURST, *Mortars, Plasters and Renders. Practical Building Conservation*, Bd. 3, England 1988, S. 28.
- 18 E.V. SAYRE, *Deterioration and Restoration of Plaster, Concrete and Mortar*, in: *Preservation and Conservation: Principles and Practices. Proceeding of the North American International Regional Conference 1976*, S. 197.
- 19 MCKENZIE (wie Anm. 3), S. 115.
- 20 Ebd., S. 98.
- 21 VITRUV, *De Architectura*, Bd. I, II, G.P. Goold (Hrsg.), F. Granger (Übersetzung), Loeb Classical Library, Cambridge MA: Harvard University, VII, XI, 1.

Footnotes

- 1 F. ZAYADINE, *Decorative Stucco at Petra and Other Hellenistic Sites. Studies in the History and Archaeology of Jordan III*, 1987, p. 131.
- 2 I. BROWNING, *Petra*, London, 1982, p. 40.
- 3 J. MCKENZIE, *The Architecture of Petra*, New York, 1990, p. 114.
- 4 J. CANTINEAU, *Le Nabatéen II. Choix de Textes-Lexique*, Paris, 1932, pp. 7f.
- 5 This article is actually part of an M.A. thesis by May Shaer entitled: *The Nabataean Mortars in Petra Area: Investigation of Types and Applications*, unpublished Masters Thesis, Yarmouk University, 1997.
- 6 ZAYADINE (note 1), p. 132.
- 7 MCKENZIE (note 3), p. 33.
- 8 Ibid., p. 141.
- 9 L. DE LABORDE, *Journey through Arabia Petraea to Mount Sinai and the Excavated City of Petra the Edom of the Prophecies*, London, 1838, p. 188.
- 10 MCKENZIE (note 3), pp. 33, 163.
- 11 Ibid., p. 147.
- 12 J. JAUSSEN/R. SAVIGNAC, *Mission Archéologique en Arabie*, vol. 1, Paris, 1909, p. 318, fig. 132.
- 13 Ibid., p. 340.
- 14 LABORDE (note 9), p. 164.
- 15 MCKENZIE (note 3), p. 137. – ZAYADINE (note 1), p. 135.
- 16 The results of the mortar analysis used in this paper are based on tests done at the central laboratories of the Bavarian State Department of Historical Monuments in Munich.
- 17 J. and N. ASHURST, *Mortars, Plasters and Renders. Practical Building Conservation*, vol. 3, England, 1988, p. 28.
- 18 E.V. SAYRE, 'Deterioration and Restoration of Plaster, Concrete and Mortar', in *Preservation and Conservation: Principles and Practices. Proceeding of the North American International Regional Conference*, 1976, p. 197.
- 19 MCKENZIE (note 3), p. 115.
- 20 Ibid., p. 98.
- 21 VITRUVIUS, *De Architectura*, vol. I; II, Ed. G.P. Goold, Trans. F. Granger, Loeb Classical Library, Cambridge MA: Harvard University, VII, XI, 1.

Tabelle der Grabfassungen

Grab Nr.	Typus der Fassade	Vorkommen von Putzresten	Putzreste in %
Grab Nr. 62 al-Khazna	Römisches Tempelgrab/ klassisch nabatäischer Typus	Auf dem Fries, dem Zahnschnitt des Türsturzes und über der rechten Nische farbig gefaßte Putzreste	< 5%
Grab Nr. 64B	Hegr Grab/Doppelcavettotypus	Zwischen den Stufen und an der oberen rechten Seite	< 5%
Grab Nr. 67	Hegr Grab/Doppelcavettotypus	Zwischen den Zinnen	< 5%
Grab Nr. 70	Hegr Grab/Doppelgesimstypus	Auf dem unteren Teil des Gesimses	< 5%
Grab Nr. 823	Pylon Grab/assyrischer Typus mit 2 Friesen von Stufenzinnen	Zwischen den Stufenzinnen des oberen Frieses und unterhalb des oberen Torus	< 5%
Grab Nr. 825	Hegr Grab/Doppelgesimstypus	In der Mitte der Attica geringe Reste; Putzreste in den Löchern	< 5%
Grab Nr. 826	Pylon Grab/assyrischer Typus mit 2 Friesen von Stufenzinnen	Zwischen den Stufenzinnen, auf und unterhalb des Torus, blaue Rahmung der Stufenzinnen	< 10%
Grab Nr. 813	Hegr Grab/Doppelgesimstypus	Zwischen den Stufenzinnen und in den in die Fassade gebohrten Löchern	< 5%
Grab Nr. 805	Proto-Hegr Grab/Cavettotypus	Zwischen den Treppengiebeln, über dem Eingang Nut für den Giebel	< 5%
Grab Nr. 765 Palastgrab	Römisches Tempelgrab/ klassisch nabatäischer Typus	Im unteren Gebälk farbig gefaßte Details, Zahnschnittfries in schwarz und weiß	< 5%
Grab Nr. 114	Pylon Grab/assyrischer Typus mit 2 Friesen von Stufenzinnen	Zwischen den Stufenzinnen und unterhalb des Torus; horizontale Nut über dem Eingang und Bohrlöcher in der Fassade	< 5%
Grab Nr. 115	Pylon Grab/assyrischer Typus mit 2 Reihen von Stufenzinnen	Zwischen den Zinnen und unterhalb des Torus; horizontale Nut über dem Eingang und Bohrlöcher in der Fassade	< 10%
Grab Nr. 117	Pylon Grab/assyrischer Typus mit 2 Reihen von Stufenzinnen	Zwischen den Stufenzinnen und unterhalb des unteren Torus; horizontale Nut über dem Eingang und den Bohrlöchern in der Fassade	< 5%
Grab Nr. 118	Pylon Grab/assyrischer Typus mit 1 Reihe von Stufenzinnen	Zwischen den Stufenzinnen und unterhalb des Torus	< 5%
Grab Nr. 127	Proto-Hegr Grab/Cavettotypus	Zwischen den Stufenzinnen Verputzreste	< 5%
Grab Nr. 239	Römisches Tempelgrab/ klassisch römischer Typus	Auf dem obersten Stein der linken Figurnische Putzreste	
Grab Nr. 244	Römisches Tempelgrab/ klassisch römischer Typus	Im linken oberen Teil der Fassade Stuckreste	
Grab Nr. 676	Hegr Grab/Doppelgesimstypus	Auf dem Architrav, dem Gesims und den Kapitellen zu Seiten des Eingangs Verputz/Stuck	
Grab Nr. 633	Hegr Grab/Doppelgesimstypus	In der Mittelnische farbig gefaßter Verputz (rot und blau)	
Grab Nr. 634	Hegr Grab/Doppelgesimstypus	Zwischen den Stufenzinnen, auf dem Torus der Faszia, dem Gebälk und den linken Pilastern	< 5 %
Grab Nr. 519	Bogengrab	Auf dem linken Pilaster zu Seiten des Eingangs	< 5%
Grab Nr. 522	Hegr Grab/Doppelgesimstypus	Auf Torus und Fries Verputzreste; Bohrlöcher in der Fassade	< 5%
Grab Nr. 523	Hegr Grab/Doppelgesimstypus	Auf dem Architrav Verputz mit glatter Oberfläche; Bohrlöcher in der Fassade	< 5%
Grab Nr. 524	Hegr Grab/Doppelgesimstypus	Auf der unteren Attica (rot), Fries (rot und blau), Architrav, im unteren Teil der Fassade und auf den Pilastern	35-40%
Grab Nr. 505	Pylon Grab/assyrischer Typus mit 1 Reihe von Stufenzinnen	In der Dressur des Steins weißer Verputz; Bohrlöcher in der Fassade	
Grab Nr. 537	Treppengrab/Cavettotypus	Unterhalb des Torus; regelmäßige Bohrlöcher in der Fassade	
Grab Nr. 539	Pylon Grab/assyrischer Typus mit 2 Reihen von Stufenzinnen	Zwischen den Stufenzinnen und unterhalb des oberen Torus	< 5%
Grab Nr. 542	Treppengrab/Cavettotypus	Obere linke Ecke zwischen den Stufenzinnen	< 5%
Grab Nr. 495	Pylon Grab/assyrischer Typus mit 2 Reihen von Stufenzinnen	Zwischen den Zinnen dicker, ausgeweiteter Verputz	< 5%
Grab Nr. 430	Hegr Grab/Doppelgesimstypus	Auf und zwischen den Treppengiebeln blau, auf der Faszia unterhalb des Torus, auf dem Fries (violett) und dem Architrav	< 10%
Grab Nr. 431	Pylon Grab/assyrischer Typus mit 2 Reihen von Treppenzinnen	Zwischen den Zinnen und dem unteren Teil des Torus unterhalb der Zinnen	< 10%
Grab Nr. 432	Pylon Grab/assyrischer Typus mit 1 Reihe von Treppenzinnen	Auf dem Torus und auf Teilen der originalgetreuen Faszia	< 10%
Grab Nr. 471	Pylon Grab/assyrischer Typus mit 2 Reihen von Treppenzinnen	Zwischen den Zinnen und unterhalb des Torus dicker Verputz; unterhalb dünne Verputzreste; regelmäßige Bohrlöcher in der Fassade	< 10%
Grab Nr. 649	Hegr Grab/Doppelgesimstypus	Regelmäßige Bohrlöcher im Giebel des Eingangs mit Mörtelfüllung	
Grab Nr. 652	Hegr Grab/Doppelgesimstypus	Bohrlöcher im Giebel des Eingangs mit Mörtelfüllung	

Table of the Tomb Façades

Façade	Typology of Façade	Presence of Plaster	Remains in %
Tomb 62 al-Khazna	Roman Temple Tomb / Nabataean Classical	Painted plaster remains on frieze and dentils of doorway and above the right bay	< 5%
Tomb 64B	Hegr Tomb / Double Cavetto type	Between the steps and on the upper right side	< 5%
Tomb 67	Hegr Tomb / Double Cavetto type	Between the crowsteps	< 5%
Tomb 70	Hegr Tomb / Double Cornice type	On bottom part of cornice	< 5%
Tomb 823	Pylon Tomb / Assyrian type with two bands of multiple crowsteps	Between crowsteps of upper band and below upper torus	< 5%
Tomb 825	Hegr Tomb / Double Cornice type	Scanty remains in the middle of the sub-attic; holes filled with plaster	< 5%
Tomb 826	Pylon Tomb / Assyrian type with two bands of multiple crowsteps	Between the crowsteps, on and below the torus mouldings (blue) framing the crowsteps	< 10%
Tomb 813	Hegr Tomb / Double Cornice type	Between the crowsteps and inside the holes cut into the façade	< 5%
Tomb 805	Proto-Hegr Tomb / Cavetto type	Between the steps; doorway is topped by pediment grooves	< 5%
Tomb 765 Palace Tomb	Roman Temple Tomb / Nabataean Classical	Painted details on lower entablature and dentils painted in black and white	< 5%
Tomb 114	Pylon Tomb / Assyrian type with two bands of multiple crowsteps	Between crowsteps and below torus mouldings; horizontal groove over doorway and carved holes on the façade	< 5%
Tomb 115	Pylon Tomb / Assyrian type with two bands of multiple crowsteps	Between crowsteps and below torus mouldings; horizontal groove over doorway and carved holes on the façade	< 10%
Tomb 117	Pylon Tomb / Assyrian type with two bands of multiple crowsteps	Between crowsteps and below lower torus moulding; horizontal groove over doorway and carved holes on the façade	< 5%
Tomb 118	Pylon Tomb / Assyrian type with a single band of crowsteps	Between crowsteps and below the torus moulding	< 5%
Tomb 127	Proto-Hegr Tomb / Cavetto type	Plaster remains between crowsteps	< 5%
Tomb 239	Roman Temple Tomb / Roman Classical	Remains on the top stone block of left niche containing statue	
Tomb 244	Roman Temple Tomb / Roman Classical	Stucco remains high up left of the façade	
Tomb 676	Hegr Tomb / Double Cornice type	Plaster / stucco on the architrave, cornice and capitals of doorway	
Tomb 633	Hegr Tomb / Double Cornice type	Painted plaster in middle niche (with red and blue colours)	
Tomb 634	Hegr Tomb / Double Cornice type	Between the crowsteps, on the torus, fascia, entablature and left pilasters	< 5%
Tomb 519	Arch Tomb (most probably)	On the left pilaster flanking the doorway	< 5%
Tomb 522	Hegr Tomb / Double Cornice type	Plaster remains on the torus and frieze; holes cut into the façade	< 5%
Tomb 523	Hegr Tomb / Double Cornice type	Plaster with a smooth surface on the architrave; presence of carved holes	< 5%
Tomb 524	Hegr Tomb / Double Cornice type	On the sub-attic (red), frieze (red and blue), architrave, lower part of façade and dressing of pilasters	35-40%
Tomb 505	Pylon Tomb / Assyrian type with a single band of crowsteps	White plaster between dressing of stone; presence of regularly carved holes	
Tomb 537	Step Tomb / Cavetto type	Below torus; presence of regularly carved holes	< 5%
Tomb 539	Pylon Tomb / Assyrian type with two bands of multiple crowsteps	Between crowsteps and below the upper torus	< 5%
Tomb 542	Step Tomb / Cavetto type	Upper left corner between crowsteps	< 5%
Tomb 495	Pylon Tomb / Assyrian type with two bands of multiple crowsteps	Thick weathered out plaster between crowsteps	< 5%
Tomb 430	Hegr Tomb / Double Cornice type	On the steps and between them (blue), on the fascia below torus; on frieze (violet) and architrave	< 10%
Tomb 431	Pylon Tomb / Assyrian type with two bands of multiple crowsteps	Between crowsteps and on the bottom part of the torus mouldings below the crowsteps	< 10%
Tomb 432	Pylon Tomb / Assyrian type with a single band of multiple crowsteps	On the torus and on parts of the fascia – which still retain their original shape	< 10%
Tomb 471	Pylon Tomb / Assyrian type with two bands of multiple crowsteps	Thick plaster between crowsteps and below torus mouldings; lower thin traces of plaster; presence of regularly carved holes	< 10%
Tomb 649	Hegr Tomb / Double Cornice type	Regularly spaced carved holes on the doorway pediment filled with mortar	
Tomb 652	Hegr Tomb / Double Cornice type	Carved holes on doorway pediment filled with mortar	

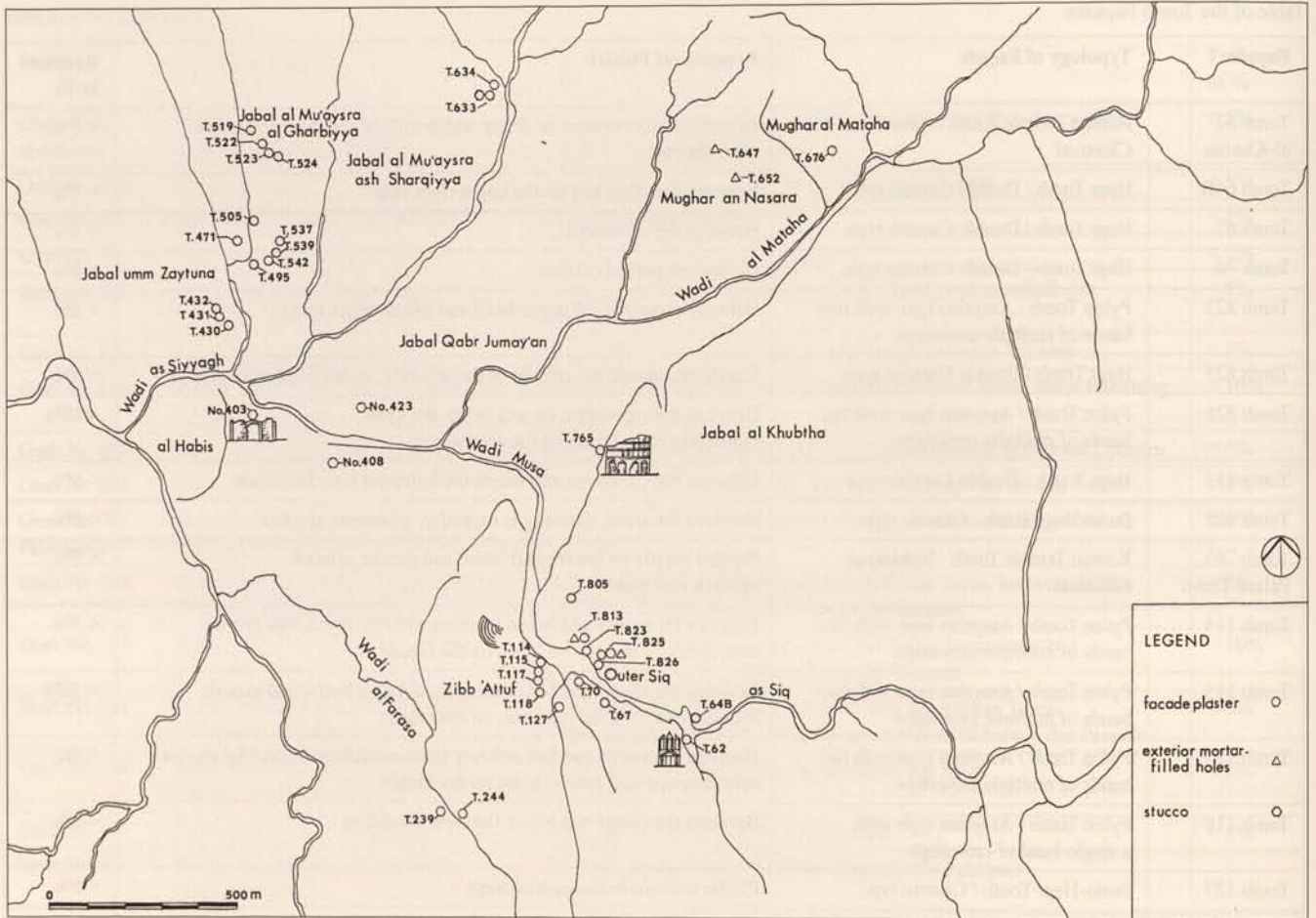


Abb. 15. Plan von Petra mit Einzeichnung der Grabfassaden, an denen Putzreste erhalten sind

Fig. 15. Map of Petra showing the distribution of the tomb façades with plaster remains

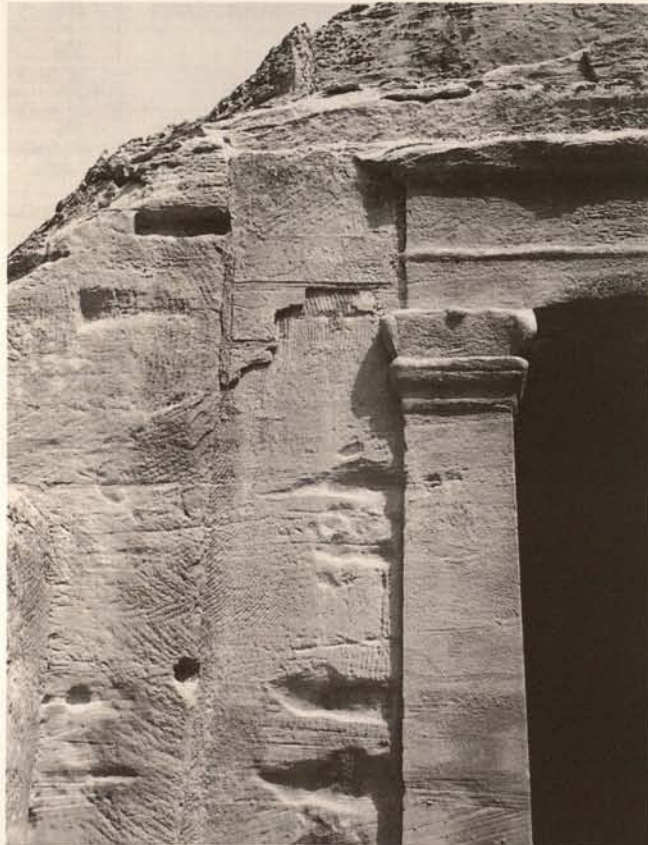


Abb. 16. Gartengrab. Putzreste neben dem linken Pilaster

Fig. 16. Garden Tomb. Plaster remains beside the left pilaster

Abbildungsnachweis

MICHAEL KÜHLENTHAL, MÜNCHEN: *Abb. 1, 2, 7, 9, 14, 16*
 MAY SHAER, AMMAN: *Abb. 15* (Die Einzeichnung der Grabfassaden ist der archäologischen Karte von Petra entnommen im Royal Jordanian Geographic Center)
 MAY SHAER: *Abb. 3–6, 8, 10* (Zeichnungen)
 MAY SHAER: (Zeichnungen nach McKenzie 1990, Tafeln 12d, 16a und b): *Abb. 11–13*

Photo Credits

MICHAEL KÜHLENTHAL, MUNICH: *Figs. 1, 2, 7, 9, 14, 16*
 MAY SHAER, AMMAN: *Fig. 15* (The site mapping is taken from the archaeological map of Petra at the Royal Jordanian Geographic Center)
 MAY SHAER: *Figs. 3–6, 8, 10* (Drawings)
 MAY SHAER: (Drawings after McKenzie 1990, plates 12d, 16a and b): *Figs. 11–13*

Ein Dokumentations- und Archivierungssystem für die Monumente in Petra *A Documentation and Archiving System for the Monuments in Petra*

Voraussetzung und Grundlage für jede Form von schützenden, restaurierenden oder rekonstruierenden Eingriffen ist die Bestandsdokumentation des entsprechenden Denkmals. Der wissenschaftliche und kulturelle „Wert“ von Ausgrabungen und Kulturdenkmälern ist in großem Maße abhängig von Art und Umfang der Dokumentation. Der Verzicht auf die genaue Protokollierung der Restaurierung in Wort und Bild, von der Bestandsaufnahme über die Schadenskartierung, der Kartierung und der genauen Beschreibung der Maßnahmen bis zur Wiederholungsdokumentation nach fest vorgegebenen Zeiträumen ist fahrlässig und kommt der Beschädigung eines Denkmals ebenso gleich wie unpublizierte, unzureichend dokumentierte Ausgrabungen. Die Notwendigkeit und die Verpflichtung zur Dokumentation aller Arbeiten der Konservierung, Restaurierung und Ausgrabung von Baudenkmalern sind nicht umsonst durch internationale Grundsatzpapiere wie der Charta von Venedig (1964) und der Charta von Lausanne (1989) festgelegt. Es versteht sich daher von selbst, daß die Arbeit an einem Weltkulturdenkmal wie Petra besonders hohe Anforderungen an die Dokumentation und die dauerhafte Archivierung der dabei anfallenden Daten stellt. Da angesichts der großen Anzahl von 880 erfaßten, als solche noch erkennbaren und erhaltenswerten Monumenten ausgeschlossen sein dürfte, den Verfall der architektonischen Elemente insgesamt aufhalten zu können, kommt einer umfassenden und dauerhaft archivierbaren Dokumentation des gegenwärtigen Bestandes eine ebenso konservierende Bedeutung in ideeller Hinsicht zu, wie der physischen Konservierung des Objektes selbst.

Die Dokumentation denkmalpflegerischer Maßnahmen dient als wichtiger Grundlagenfundus, auf den bei späteren Maßnahmen zurückgegriffen werden kann. Sie bildet darüber hinaus eine wichtige Grundlage für spätere Fragestellungen, von denen etliche zum jetzigen Zeitpunkt noch gar nicht gestellt werden. So wäre es für das „Petra Stone Preservation“ Projekt sehr sinnvoll, ja absolut notwendig, auf Angaben zu Umfang und Art der bereits vor längerer Zeit erfolgten Restaurierungen an Monumenten in Petra zurückgreifen zu können. An al-Khazna, am Palastgrab oder an Grab 12 gegenüber des Obeliskengrabes sind Rekonstruktionen erkennbar, die völlig unterschiedliche Erhaltungszustände der Ausbesserungen zeigen. Trägt man diesem Umstand Rechnung, so stellt sich nicht die Frage, welche Maßnahmen in welchem Umfang dokumentiert werden sollen und welche nicht. Es gilt vielmehr, ein Dokumentations- und Archivierungssystem zu führen, das dem späteren Nutzer so viele Daten wie möglich zur Verfügung stellen kann. In diesem Zusammenhang stehen Überlegungen zu Haltbarkeit und Pflege der Medien im Vordergrund, da das ausgereifteste Kodierungs- und Inventarisierungsschema von Farbphotographien sinnlos ist, wenn die Photographien in 25 Jahren aufgrund widriger chemischer und physikalischer Lagerungsbedingungen nicht mehr erkennbar sind.

Grundsätzlich beinhalten Denkmaldokumentation und -archivierung das Erfassen, Klassifizieren, Verwalten, Auffinden und

Presupposition and basis for every form of protective measure, restoration campaign or reconstructive intervention to be taken is a detailed documentation and exact recording of the respective monument. The scientific and cultural ‘value’ of archeological excavations and cultural monuments today depends to a great deal on the method and extent of its documentation. The renunciation of an exact recording of the monument in word and picture, of its condition by means of a careful damage mapping and exact descriptions of all measures taken from the beginning as well as all repetitive measures taken after a fixed period of time would be reckless and do harm to the monument in almost the same way as an unpublished or insufficiently documented excavation. For good reasons the necessity and obligation of recording every single step in a conservation, restoration or excavation campaign was laid down in international papers, like the Charta of Venice (1964) and the Charta of Lausanne (1989). It is evident that work on a World Cultural Heritage Monument like Petra puts high demands on the standards of documentation and a long-lasting archiving of the results and data. Nevertheless, in respect to the great number of about 880 registered monuments which are still preserved and worth being protected from further decay, it seems very unlikely, that the process of deterioration of the architectural elements can be slowed down as such. Therefore, a comprehensive and long-lasting documentation and archiving system is at least as important – from the conservationist’s point of view – as the physical conservation of the monuments themselves.

A detailed documentation of preservation measures on the monument may serve as an important stock of knowledge, and will support all following conservation measures. Furthermore, it may give an answer to those questions, which are still beyond our horizon today. For the ‘stone preservation project’ in Petra, for example, it would be necessary, if not indispensable, to study documents on former restoration campaigns in greater detail and to a larger extent. At ‘al-Khazna’, the ‘Palace Tomb’ or at ‘Tomb 12’ opposite the ‘Obelisk Tomb’ reconstruction measures are still recognizable today, showing completely different states of repair conditions. This observation taken into account, it is not a question which measures are to be documented and to what extent, and which are not. The point is rather, to run a documentation- and archiving system, which can supply the future user with as many data as possible. In this context, considerations concerning the duration and maintenance of the media have priority. A sophisticated coding- and inventory system for colour photography makes no sense, when, after 25 years, the photos are not recognizable any more due to adverse chemical and physical storage conditions.

Basically, monument documentation and -archiving include registration, classification, administration, tracing and holding at disposal the complete information material concerning type and size of the restoration- and conservation measures. The administration of the data of a monument in Petra starts with the recording of existent documents (sources), which is followed by further records like architectural surveys, damage mappings,

Bereitstellen sämtlicher Informationen zu Art und Umfang der Restaurierungs- und Konservierungsmaßnahmen. Die Verwaltung der Daten eines Monuments in Petra beginnt mit der Aufnahme vorhandener Dokumente (Quellen), sie wird ergänzt durch anzufertigende Unterlagen wie Bauaufmaß, Schadenskarten, Restaurierungskonzepte und -dokumentationen usw. Im weiteren Verlauf der Pflege kommen erneute Dokumentationen hinzu, darunter Photos, Zeichnungen, mit Bemerkungen versehene Skizzen, Tabellen, Analyseergebnisse, beschreibende Texte oder Maßnahmenkataloge, die alle über eine zentrale Verwaltung zu einem – oder mehreren – Monumenten zugeordnet werden müssen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Erstellung der Dokumentation in allen Arbeitsphasen einer Denkmalsbearbeitung anfällt (vgl. Anhang 1) und ganz oder zum Teil in bestimmten zeitlichen Abständen wiederholt werden muß.

Quellen

Einen wichtigen Teil der Dokumentation bilden Quellen in Text und Bild:

Eine erste umfangreiche Dokumentation der Monumente in Petra wurde durch Brünnow und Domaszewski unternommen, die vor 100 Jahren Petra aufsuchten und mehr als achthundert Monumente, Grabfassaden und Inschriften photographisch und in Skizzenform dokumentierten.¹ Spätere Arbeiten umfassen bei weitem nicht mehr eine solche Vielzahl der dokumentierten Monumente, weisen jedoch mehr Details der einzelnen Objekte auf.² Die Ende der 60er Jahre vom „Institut Géographique National de Paris (IGN)“ beauftragten photogrammetrischen Aufnahmen betreffen mit knapp 20 bearbeiteten Grabfassaden³ nur einen kleinen Teil der insgesamt vorhandenen Monumente.

Wie diese Unterlagen, so gehören alle weiteren zugänglichen Quellen von älteren Photos bis zu handschriftlichen Notizen etwa über angewandte Methoden und Produkte über wie auch immer geartete Ausbesserungsarbeiten zu den im Zusammenhang mit einer Denkmalsbearbeitung zu archivierenden Dokumenten.

Graphische Bestandsdokumentation

Der zweite große Komplex der Denkmalsdokumentation bildet die vor Beginn jeglicher Restaurierungs- und Konservierungsmaßnahmen durchzuführende Bestandsdokumentation. Diese dient als Beleg des Vorzustandes und als Grundlage für die unterschiedlichsten Kriterien, angefangen von der Schadenskartierung, über die Maßnahmenkartierung, graphische Verortung von Photos bis zu Grundlagen für wissenschaftliche Forschungen im Bereich der Archäologie und Kunstgeschichte.

In der europäischen Denkmalsanierung variieren die Methoden für Schadens- oder Maßnahmenkartierungen zwischen dem Handaufmaß mit Schnurgerüst, Bleistift und säurefreiem Karton am eingerüsteten Monument einerseits und der Schwarz-Weiß-Photokopie eines Farbphotos aus dem automatischen Kleinbildapparat, auf der mit leuchtend gelben Markierstift die bearbeiteten Stellen des Monuments hervorgehoben sind, andererseits. In Petra stellt sich dem Bearbeiter die Aufgabe, möglichst viele Monumente so detailliert wie möglich aufnehmen zu müssen, was zu einer sinnvollen Kombination unterschiedlicher Dokumentationsmethoden führt. Es wurden daher beispielsweise sowohl ein Baugerüst, als auch eine elektronische reflektorlose Tachymeter-Station mit Laptop und Software zur Architek-

restoration concepts and restoration documentations etc. In the further course of maintenance, other documentations are added, photos, drawings, sketches with remarks, schedules, analysis results, descriptive texts or measure catalogues, which have to be related to one – or several – monuments by a centralized administration. Here it is necessary to consider that the formation of the documentation occurs in all work phases of a monument's treatment (cf. suppl. 1) and must be wholly or partly repeated in certain intervals.

Sources

An important part of the documentation are sources in text and picture:

A first extensive documentation of the monuments in Petra was carried out by Brünnow and Domaszewski, who went to Petra a hundred years ago and documented more than eight hundred monuments, tomb façades and inscriptions in photograph and draft.¹ Later works are far from this multitude of documented monuments, though showing more details of the individual objects.² With merely 20 treated façades the photogrammetrical recordings commissioned by the 'Institut Géographique National de Paris (IGN)' in the late sixties, concern only a small part of the total number of subsisting monuments.³

Just like these documents, all other accessible sources of older photos up to handwritten notes about applied methods and products, repair work – no matter what type they are – belong to the documents to be archived in the context of monument treatment.

Graphic Condition Documentation

The second great complex of monument documentation is the condition record, to be carried out before the start of any restoration- and conservation measure. It serves as evidence of the pre-condition and as a basis for diverse procedures, from damage mapping, through measure charting, graphic locating of photos up to the bases for scientific research in the fields of archaeology and art history.

In European monument restoration, there is a variation of methods concerning damage- or measure mapping from manual measuring with cord framework, pencil and acid-free cardboard at the scaffolded monument on the one hand, and the black and white photocopy of a colour photograph, taken by the automatic 35 mm camera, in which the treated parts of the monument are marked with a luminous yellow pen on the other hand. In Petra, the editor is faced with the task of having to record as many monuments as possible in as great detail as possible, which leads to a combination of different documentation methods. That is why, for example, a scaffolding was purchased as well as an electronic reflectorless total-station with laptop and software for architectural measuring. A further acquisition was a high quality 6 x 6 camera with shift lens. This is how the advantages of hand measuring with 'simple' methods, for example, can be combined with the advantages of touchless methods as there are architecture photography, photogrammetry and modern measuring instruments.

The listed documentation methods thus make their contribution to the preservation of the Petra buildings to a different extent. Furthermore, especially the photographic condition docu-

turvermessung angeschafft, aber auch eine hochwertige 6 x 6 Kamera mit Shiftobjektiv. Auf diese Weise können die Vorteile etwa des Handaufmaßes mit „einfachen“ Mitteln mit den Vorteilen „berührungsloser“ Dokumentation mit Hilfe der Architekturphotographie, der Photogrammetrie und moderner Vermessungsgeräte miteinander kombiniert werden.

Die aufgeführten Dokumentationsmethoden erbringen somit in unterschiedlichem Maße ihren Beitrag zur Erhaltung der Bauwerke von Petra. Darüber hinaus bietet insbesondere die photographische Bestandsaufnahme dem späteren Bearbeiter eine Basis für Maßnahmen, die heute noch gar nicht klar zu umreißen sind. Die Bedeutung einer umfangreichen Sammlung von auswertbaren Meßfotos für zeitlich deutlich auseinanderliegende Arbeiten wird beispielsweise recht gut veranschaulicht durch die Restaurierungsarbeiten an der Akropolis von Athen, an den Bauten von Persepolis oder der Hagia Sofia in Istanbul. In diesen Fällen wurden 90 Jahre alte Meßbilder der ehemaligen „Königlich Preussischen Meßbildanstalt“ in Berlin ausgewertet und als Grundlagen für Sanierung und Rekonstruktion verwertet.

Angesichts der immer größer werdenden Besucherscharen, die den fast unwirklichen Reiz der Landschaft und den großartigen Eindruck der Monumente von Petra mit eigenen Augen aufnehmen werden, wird die Stadt noch ganz anderen Widrigkeiten ausgesetzt werden, als den Erosionsvorgängen durch Wind oder Wasser. Es bleibt daher der Wunsch, daß die in 50 Jahren erkennbaren Unterschiede zwischen den heute erstellten Photographien der Sandsteinfassaden und ihrer Originale, wenn überhaupt, dann nur nach sehr sehr langem Betrachten deutlich werden.

Die wichtigsten, im Projekt angewandten, graphischen Bestandserfassungen sind das verformungsgerechte Bauaufmaß und photogrammetrisch erstellte Pläne und Bildpläne.

Durch das verformungsgerechte Bauaufmaß lassen sich die verschiedenen Beobachtungen am Monument konzentrieren, räumlich aufeinander beziehen und dauerhaft festhalten. Das aus der Methodik der Archäologie abgeleitete Aufmaß umfaßt die zeichnerische Darstellung der Geometrie des Objekts sowie verschiedene Details nach unterschiedlichen Genauigkeitsvorgaben in Bleistift und Tusche oder als EDV-gestützte Graphik. Es wird vervollständigt durch Beschreibungen, Skizzen, spezielle (Teil)Aufmaße und Photographien. Durch den Einsatz elektronischer Meßgeräte wird das Aufmaß erleichtert, wobei die Einsatzmöglichkeiten von der Einmessung einzelner Referenzpunkte zur exakten Erstellung der Geometrie bis zur kompletten Zeichnungserstellung vor Ort mittels Meßgerät und CAD reichen. Der größte Vorteil des Handaufmaßes gegenüber anderen Dokumentationsmethoden liegt in der Nähe des Bearbeiters zum Objekt. Zu den Nachteilen zählen die Zeit-, Kosten- und Personalintensität sowie die Einmaligkeit des Vorgangs, d. h., die Aufnahme ist weder überprüfbar noch wiederholbar. Im Fall des Projekts Petra wird diese Form der Dokumentation an einigen ausgesuchten Monumenten durchgeführt und nicht außer Acht gelassen, daß die aufwendige Dokumentation einiger weniger Objekte zu Lasten der Aufnahme zahlreicher anderer Bauten inakzeptabel ist.

Während für die „klassische“ Variante des verformungsgerechten Bauaufmaßes bei den teilweise über 30 m hohen Grabfassaden in Petra (die Fassade von Grab 765, des sogenannten Palastgrabes, ist 46 m hoch und fast 50 m breit) die dauerhafte Einrüstung des Monumentes notwendig ist, kann ein exaktes Bauaufmaß mit Hilfe elektronischer Meßgeräte auch berührungslos durchgeführt werden. Dazu werden im Umfeld des

mentation offers the later user a basis for future measures, which cannot yet be clearly outlined. The importance of an extensive collection of evaluable measurement photos for works of great temporal distance is demonstrated quite well by the restoration works at the Acropolis of Athens, the buildings of Persepolis or the Hagia Sofia in Istanbul. In these cases, ninety-year-old measurement pictures of the former 'Königlich Preussische Meßbildanstalt' in Berlin have been evaluated and used as a basis for restoration and reconstruction.

In view of continuously increasing crowds of visitors, taking up the almost unreal charm of the landscape and the magnificent impression of the Petra monuments with their own eyes, the city will be exposed to still further unpleasant disturbances apart from the erosion processes caused by wind or water. What remains is the wish that the differences between today's photographs of the sandstone façades and their originals, recognizable in fifty years' time, will only become visible – if at all – after a very, very long scrutiny. The most important graphic condition recordings, applied in the project, are building measurement, photogrammetrically produced plans and picture plans.

With a deforming-proportionate building measurement, the various observations at the monument can be concentrated, related to one another three-dimensionally and stored permanently. This measuring, derived from methods in archaeology, comprises the graphic representation of the object's geometry as well as various details meeting different demands of precision in pencil or ink or as computer-aided design. It is completed with descriptions, sketches, cross-sections and photographs. With the employment of electronic measuring instruments the measurement is facilitated, the possibilities reaching from fixing individual reference points through the exact formation of geometry to a complete drawing on the spot by using measuring instruments and CAD. The greatest advantage of manual measuring to other methods of documentation lies in its proximity to the object. Among the disadvantages are time-, cost- and personnel intensity as well as the uniqueness of the procedure, i. e. it is neither possible to verify the recording, nor is it repeatable. As to the Petra project, this form of documentation is carried out on some selected monuments only, though it is clear that the preference of an intensive documentation of some few objects to the disadvantage of the recording of numerous other buildings is unacceptable in the long run.

While the permanent scaffolding of the monument is necessary for the 'classical' variant of the deforming-proportionate building measurement at the partly more than 30 metres high tomb façades in Petra (the façade of Tomb 765, the so-called Palace Tomb is 46 metres high and almost 50 metres wide), a precise building measurement can also be produced from the ground, untouched by hand, with the help of electronic measuring instruments. To do this, several benchmarks, serving as reference points, are permanently marked and measured in the surrounding of the monument. According to necessity, it is possible with these benchmarks to carry out the measurement over a period of several days and from different positions. For that purpose, an electro-optical total station (theodolite with distance measuring) is erected and connected with a portable computer. The total station, used in Petra, works without reflecting, i. e. this instrument, deriving from the field of mine surveying, needs no prisms as sighting mechanism for distance measuring. The measured points are located three-dimensionally and – if desired with connecting lines – are directly presented in the computer drawing program. Thus, an electronic three-dimensional copy of

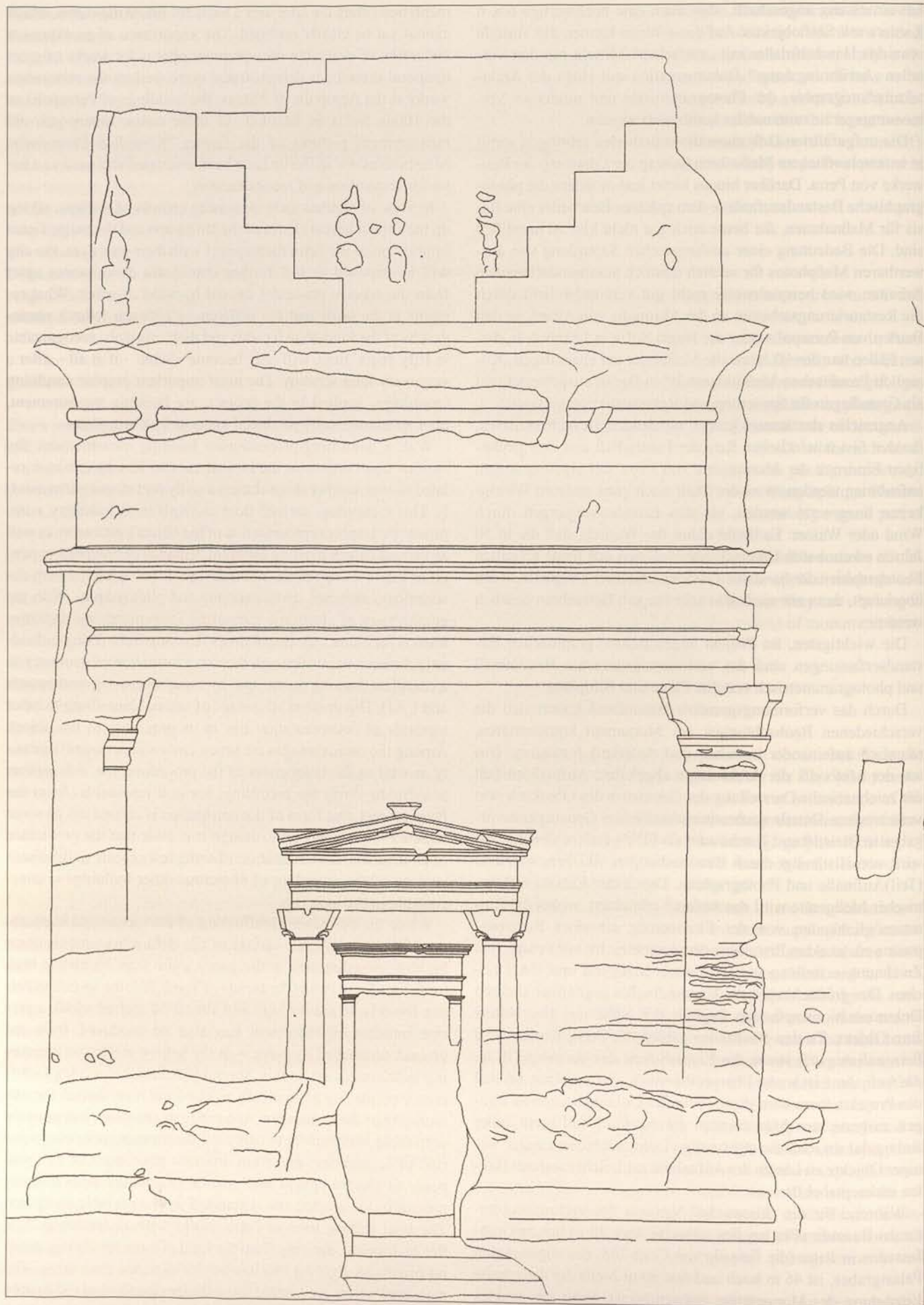


Abb. 1. Petra, Grabmonument 813, Photogrammetrie, Maßstab 1 : 100 / Fig. 1. Petra, Tomb 813, photogrammetric plan, scale of 1:100



Abb. 2. Grabmonument 813, Überlagerung von Bildplan und Photogrammetrie / Fig. 2. Tomb 813, photogrammetrical elevation superimposed to the picture plan

Monumentes einige Festpunkte als Referenzpunkte dauerhaft vermarktet und eingemessen. Mittels dieser Festpunkte kann während des mehrere Tage dauernden Aufmaßes je nach Erfordernis von verschiedenen Standpunkten aus gemessen werden. Dazu wird ein elektrooptischer Tachymeter (Theodolit mit Entfernungsmessung) aufgestellt und mit einem tragbaren Computer verbunden. Der in Petra eingesetzte Tachymeter arbeitet reflektorlos, d. h. dieses – aus dem Bereich des Markscheidewessens hervorgegangene – Instrument benötigt für die Streckenmessung keine Prismen als Zielvorrichtung. Die gemessenen Punkte werden dreidimensional ermittelt und – auf Wunsch durch Linien verbunden – direkt im Zeichenprogramm des Computers dargestellt. Auf diese Weise kann das Monument elektronisch dreidimensional „abgemalt“ werden, wobei die gemessenen Punkte sowohl für die Grundrißzeichnung, als auch für Schnitte und Fassadenabwicklungen verwendet werden. Das aufgeführte Beispiel des Fassadenaufmaßes von Grab 825 wurde 1995 in einer kombinierten Erarbeitungsweise mit reflektorloser Totalstation und Laptop (nach zweiwöchiger Schulung) sowie „konventionellem“ Aufmaß mit Maßband und Zollstock durch May Shaer und Zaki Aslan erstellt (vgl. S. 179, Abb. 1).

Photogrammetrisch erstellte Pläne sind – streng genommen – gleichfalls Bestandteil des verformungsgerechten Bauaufmaßes. Mit Hilfe von Meßkameras, deren exakte innere Geometrie bekannt ist, wird das Monument fotografiert. Dabei können unterschiedliche Methoden gewählt werden, etwa die Erstellung eines einzelnen Bildes, die Aufnahme von genau parallel ausgerichteten oder von zueinander gekippten Bildpaaren. Zusätzlich dazu müssen zwingend einzelne Referenzpunkte (Paßpunkte) des Objekts in ihrer Lage und Höhe eingemessen werden, die als geometrisches Gerüst für die Auswertung der Photographien dienen. Resultat der Aufnahme ist eine mittels der Photos erstellte, maßliche Strichzeichnung, die ebenfalls je nach Aufgabenstellung und gewähltem Maßstab unterschiedliche Detailstufen beinhaltet. Zu den Vorteilen dieser Aufnahmemethode zählen der Verzicht auf ein Baugerüst, die Wiederholbarkeit der Planzeichnung mit anderen Aufgabenstellungen, die Überprüfbarkeit der Zeichnung wie auch die Möglichkeit der Erstellung des gesamten Plans erst zu einem späteren Zeitpunkt. Als Nachteil der photogrammetrischen Methode kann sich die Abhängigkeit der Auswertung vom Photo erweisen, da Bereiche oder Details des Objekts, die entweder durch Architekturdetails verdeckt sind oder aufgrund unzureichender Qualität des Materials oder der Ausführung auf der Photographie nicht erkennbar sind, in der Zeichnung nicht erfaßt sind. Zur Erstellung von Photogrammetrien bedarf es ferner komplexer Geräte und entsprechender Software sowie ausreichend exakt gemessener Paßpunkte. Die Berechnungen sind kompliziert, und fern vom Objekt erstellte Zeichnungen können jene Details nicht aufweisen, auf die der Bearbeiter erst aufmerksam wird, wenn er sich länger in unmittelbarer Nähe des Denkmals aufgehalten hat.

Im Petra Projekt wurden je nach Aufgabenstellung einige Gräber oder Grabbereiche photogrammetrisch aufgenommen und ausgewertet (Abb. 1), die Pläne werden dann vor Ort weiter bearbeitet und Details ergänzt.

Die Erstellung von Bildplänen bietet eine Dokumentationsform, deren Aufwand in einem sehr günstigen Verhältnis zu den bisher erwähnten Techniken steht, die sich aber als Grundlage für Schadens- oder Maßnahmenkartierungen dennoch sehr gut eignet. Dazu wird der Aufnahmestandpunkt einer mittel- bis großformatigen Kamera mit schwenkbarer Achse exakt in Lage

the monument can be produced, with the measured points to be used for the ground-map as well as for cross-sections and façade developments. The façade measurements on Tomb 825 were taken in 1995 by May Shaer and Zaki Aslan in a combined formation method with reflectorless total station and laptop (following a two-weeks' training) as well as 'conventional' measurement with measuring tape and yard-stick (see p. 179, fig. 1).

Photogrammetrically produced plans are – strictly speaking – also part of the deforming-proportionate architectural survey. With the help of measurement cameras, whose exact inner geometry is known, the monument is photographed. Various methods can be chosen, such as the production of a single picture, the taking of picture pairs which are arranged exactly in parallel or tilted towards each other. In addition it is necessary to measure single reference points (benchmarks) of the object in their position and height, serving as geometrical frame for the evaluation of the photographs. The result of the recording is a measure-proportionate line drawing, produced by means of a photograph, which – depending on the task and scale chosen – also contains different detailed stages. Among the advantages of this recording method is the renunciation of a scaffolding, the repeatability of the plan drawing with other tasks, the verifiableness of the drawing as well as the possibility to produce the complete plan at a later point of time. A disadvantage of the photogrammetrical method can show in the dependence of the evaluation on the photo, as sections or details of the object, which are either covered up by architectural details or are not recognizable due to insufficient quality of the material or the completion, are not recorded in the drawing. To produce photogrammetries, there is furthermore a need of complex instruments and respective software as well as sufficiently precisely measured benchmarks. The calculations are complicated and drawings made at a distance from the object cannot show those details, the attention of the user is drawn to only after a closer examination of the monument.

In the Petra project, depending on the task, several tombs and tomb areas have been photogrammetrically recorded and evaluated (fig. 1), the plans are worked over and details are added in front of the original.

The setting up of picture plans offers a documentation form whose expense is in a very favourable relation to the so far mentioned techniques, but which is nevertheless very suitable as a basis for damage- or measure mapping. For the picture plan the recording position of a middle- to large-size camera with a swivel axis is exactly fixed in position and height, and with the help of a measuring instrument, the exact perpendicular drop onto the main level of the tomb façade is found. Thus, the monument's plummeting lines in vertical direction as well as trapezoid distortions in the horizontal area are avoided. With the help of a reference line, e. g. the line between two columns enclosing the tomb, the photo is enlarged on a firm scale on paper or foil in the laboratory. Alternatively or as addition to this, the negative is transferred onto a Photo-CD-ROM, an increasingly employed addition for the archiving of negatives. In the Petra project, the archiving of photographs on CD-ROM is also reasonable for the fact that the climatic and logistic presuppositions for a longer-lasting storage of photo material, negatives and paper copies are little favourable. Starting from the Photo-CD-ROM, on which the picture can be stored in extremely fine graining, picture plans, even of size DIN A 0, can be printed on paper or transparent paper / transparency film via a respective printer, which then serve as mapping basis at the object.

und Höhe festgehalten und mit Hilfe eines Meßgeräts die genaue Lotrichtung auf die Hauptebene der Grabfassade ermittelt. Auf diesem Weg werden sowohl stürzende Linien in vertikaler Richtung des Monumentes, als auch trapezförmige Verzerrungen im horizontalen Bereich vermieden. Mit Hilfe einer am Objekt gemessenen Bezugsstrecke, etwa der Strecke zwischen zwei das Grab einschließenden Säulen wird das Photo im Labor in einem festen Maßstab auf Papier oder Folie vergrößert. Alternativ oder in Ergänzung dazu wird das Negativ auf Photo-CD übertragen, einer zunehmend eingesetzten Ergänzung zur Archivierung von Negativen. Im Projekt Petra ist die Archivierung von Photographien auf CD auch deshalb sinnvoll, weil die klimatischen und logistischen Voraussetzungen für ein längerfristiges Lagern von Photomaterial, Negativen und Papierabzügen wenig günstig sind. Ausgehend von der Photo-CD, auf der das Bild in sehr feiner Auflösung gespeichert werden kann, können über einen entsprechenden Drucker Bildpläne auch in der Größe von DIN A0 auf Papier oder Transparent ausgedruckt werden, die dann am Objekt als Kartierungsgrundlage dienen. Zusätzlich dazu kann der Bildplan – einmal in die EDV überführt – insgesamt oder in Teilen einer Strichzeichnung unterlegt werden. Im aufgeführten Beispiel (Abb. 2) ist die photogrammetrische Auswertung dem zwangsläufig auf nur eine Ebene orientierten Bildplan überlagert, wobei die erkennbare Abweichung durch die Neigung der Grabfassade in den Berg hinein zustande kommt.

Bildpläne sind für ein Restaurierungs- und Konservierungsprojekt wie Petra in mehrfacher Hinsicht von Bedeutung. Zu ihrem Einsatzgebiet gehören neben der Erstellung von Unterlagen für Zustandsdokumentationen oder Kartierungen die Erstellung graphischer Grundlagen für Planungen von Restaurierungen (Visualisierung von Farbfassungen, Modellen zu Rekonstruktionsdetails). Durch den Einsatz von großformatigen Negativen und der verschiebbaren optischen Achse der zum Einsatz kommenden Kamera können wesentlich mehr Details visualisiert werden, als bei der herkömmlichen Photographie. Die Photos erlauben die Ermittlung absoluter Proportionen von Strecken und Flächen. Das eingesetzte Material und die angewandte Technologie erlauben die Archivierung der Photographien für die in der Denkmalsdokumentation notwendigen Zeiträume von mehr als 50 oder 100 Jahren. In Petra wurden über 30 Grabfassaden mit einer optischen Bank (Format 6 x 9) in Verbindung mit einem elektronischen Theodoliten photographisch aufgenommen. Von diesen Aufnahmen wurden Meßbilder erstellt, die als Grundlage für Kartierungen (etwa Schadens- oder Maßnahmenskartierungen) dienen.

Neben den Bildplänen bilden Photographien unterschiedlichster Art und Formate einen weiteren größeren Komplex der graphischen Dokumentation. Dies beginnt mit den verschiedensten Kleinbildaufnahmen von Testreihen, Architekturdetails, Arbeitsphotos, bis zu Erinnerungsphotos, mit denen es zu einem viel späteren Zeitpunkt durchaus möglich sein kann, über festgehaltene Situationen und Personen nach Jahren noch Informationen über entfallene Details der Arbeiten zu erschließen.

Nicht-graphische Dokumente

Der dritte große Datenkomplex, der bei der Bearbeitung eines Monuments anfällt, ist das, was informell gern mit Bezeichnungen wie „Papierkrieg“ und „Verwaltungsaufwand“ umschrieben wird. Die Einkaufsliste von Geräten und Materialien gehört jedoch ebenso zur Denkmalsdokumentation wie die bei der

Additionally to this, the picture plan – once it is transferred into electronic data processing – can be matched with a line drawing as a whole or in parts. In the example mentioned above (fig. 2) the photogrammetrical evaluation is superimposed to the picture plan, being inevitably orientated to one only level, which leads to the recognizable deviation due to the tilt of the tomb façade into the mountain.

Picture plans are of importance for a restoration- and conservation project like Petra in manifold respects. The fields of their employment are, apart from the formation of material for condition documentation or mappings, the formation of graphic bases for planning of restorations (visualisations of colour coatings, models of reconstruction details). With the employment of large-scale negatives and the shifting optical axis of the employed camera it is possible to visualize considerably more details than with traditional photography. The photos permit the finding of absolute proportions of distances and areas. The employed material and the applied technology enable the archiving of photographs for periods necessary in monument documentation of more than fifty or a hundred years. In Petra more than thirty tomb façades have been recorded with an optical bank (format 6 x 9) in connection with an electronic theodolite. Of these recordings measuring pictures were produced, serving as a basis for mapping, e. g. damage- or measurement mapping.

Apart from the picture plans, photographs of the most different types and formats make up a further bigger complex of the graphic documentation. This does already start with the most diverse 35 mm photos of test sets, architecture details, work photos up to remembrance photos with which it can be quite possible at a much later point of time to retrace information about vanished details of the work of art via situations and persons put on record.

Non-graphic Documents

The third great data complex to be preserved in the procedure of caretaking of a monument, is what is often paraphrased in German as ‘paper war’ and ‘administrative expense’. The shopping list of instruments and materials, however, belongs as much to monument documentation as do the diary notes from the measurement campaign. It should therefore be archived as well and likewise uncomplicated. A brief and concise restoration diary with references to materials used in the respective case, with hints to photographs and drafts makes more sense than a finely structured data bank with index keys and data lists, which may be misleading for a future user. A recommendable procedure is the keeping of a documentation report, which is made parallel to the works and finishes after the completion of the works as a concluding report.

Lists and schedules are added to the report, it contains or refers to all data (all minutes, indexes, documents and remarks, arising in the context of a restoration campaign), which permit conclusions as to type and success of the measure.

Administration and Archiving of the Documentation

The extent and the manifold combinations of the documents (cf. suppl. 2) concerning the monuments in Petra imply two important requirements in practice – the reasonable administration of

Durchführung der Maßnahmen entstehenden Tagebuchaufzeichnungen und sollte ebenso selbstverständlich wie unkompliziert mit archiviert werden. Ein knapp und bündig ausformuliertes Restaurierungstagebuch mit Verweisen auf die im jeweiligen speziellen Fall genutzten Werkstoffe und Materialien mit Hinweisen im Text auf Photographien und Skizzen ist sinnvoller als eine fein aufgesplittete Datenbank mit Indexschlüsseln und Datenlisten, in der sich der Benutzer im wahrsten Sinne des Wortes verzettelt. Eine empfehlenswerte Vorgehensweise ist die Führung eines Dokumentationsberichts, der parallel zu den Arbeiten erstellt und nach abgeschlossenen Arbeiten als Abschlußbericht endet. Dem Bericht werden Listen und Tabellen beigelegt, er enthält oder verweist auf alle Daten (alle Protokolle, Verzeichnisse, Unterlagen und Bemerkungen, die im Umfeld einer Restaurierung entstehen), die Rückschlüsse auf Art und Erfolg der Maßnahme zulassen.

Verwaltung und Archivierung der Dokumentation

Der Umfang und die vielschichtige Zusammensetzung der Unterlagen (vgl. Anhang 2) zu den Monumenten in Petra bedingen in der Praxis zwei wichtige Forderungen, die sinnvolle Verwaltung der Daten und ihre sichere Archivierung. Für beide Aufgaben gibt es sowohl analoge, als auch digitale Anwendungen. Die analoge Verwaltung und Archivierung der Denkmalsdokumentation des Petra-Projekts detailliert zu durchleuchten, würde an dieser Stelle zu weit führen, es wird im folgenden insbesondere auf den Einsatz der EDV in diesen beiden zentralen Fragestellungen eingegangen.

Verwaltung

Während für die Datenarchivierung des Projekts bereits eine applikable Lösung vorliegt, ist die elektronische Datenverwaltung der Monumente von Petra derzeit noch im Aufbau. Gegenwärtig nutzt das Projekt die EDV überwiegend für administrative Arbeiten (Textverarbeitung, Zeitplaner), Vermessung und Zeichnung (CAD) sowie Bildbearbeitung (Photographien und Graphik). Wie in vielen vergleichbaren Projekten ist in Amman und Petra der Einsatz von Computern natürlich gewachsen, wobei sich streng nach den darwinistischen Gesetzmäßigkeiten die schnelleren Computer und die ansprechendere Software durchgesetzt haben. Zwischen einem ersten Rechner mit einer simplen Software zur Verwaltung von Diapositiven und dem halben Dutzend heute zu einem internen Windows NT – Netzwerk zusammengeschlossenen PCs und Laptops mit Laserdruckern und einem DIN A 0 Farbplotter liegen mehrere Jahre wechselvoller Erfahrungen mit unterschiedlicher Software, arabischen Betriebssystemen und mehrsprachigen Computerviren. Internetanschluß, CD-Brenner, Photo CD und Magneto-optische Sicherungslaufwerke gehören heute ebenso zur täglichen Arbeit wie die Beherrschung der Grundlagen unterschiedlicher CAD Systeme und Bürosoftware, aber auch landesspezifische Eigenarten wie arabische Tastaturen, Stromausfälle und Plotterpatronen mit eigenwilligen Verfallsdaten. In diesem Bereich hat sich längst eine gegenseitige Entwicklungshilfe von Orient und Okzident entwickelt, die bei Hard- und Software die Vorzüge beider Kulturkreise vereint.

Die Grundlagen für eine zentrale Projektverwaltung sind in Anhang 3 zusammengefaßt. Die wesentlichen Merkmale dieser

the data and their safe archiving. For both tasks, there are analogue as well as digital applications. To illuminate analogue administration and archiving of monument documentation of the project in Petra would lead too far in this context, for this reason the emphasis here is especially put on computer employment in respect to these two central questions.

Administration

While there is already an applicable solution for the project's data archival, at present, electronic data management of the Petra monuments is presently still in construction. This concerns the administration of the plans and photographs in first line. The project uses EDP predominantly for administrative work (word processing, time planner), measurement and drawing (CAD) and image processing (photographs and graphic) at present. As in many comparable projects, the use of computers in Amman and Petra has grown naturally: faster computers and more attractive software have gained acceptance, as if in accordance with the Darwinian laws. Between a first computer with a simple software for the administration of colour slides and the half dozen PCs and laptop computers with laser printers and one DIN A 0 colour printer, today combined in an internal Windows NT network, lie several years of varied experience with various types of software, English and Arabian operating systems and multilingual computer viruses. Internet connection, CD-ROM burner, Photo-CD-ROM and magneto-optical disk drives are part of the daily work today just like the mastering of the bases of various CAD systems and office software, but also country specific peculiarities like Arabian keyboards, power failures and plotter cartridges with self-willed expiration dates. In this area a mutual foreign aid of Orient and Occident has developed long ago, uniting the advantages of both cultural areas in hard- and software.

A central project administration is in development at present, its bases are summarized in supplement 3. The essential characteristics of this data structure are contained in the digital construction-data-management-system 'PV 2' of the superior finance administration of several German states, produced in our house and adaptable to similar projects such as Petra. For the archival of the project data a prototype already exists with the data of Tomb 825, which is introduced below:

Archiving

The need and necessity of an archive do not have to be explained in greater detail here. The best documentation is senseless if, decades after the measures have been carried out, it is usable no more or only partially. Physical conditional losses (yellowed or faded photographs, bleached documents) are as harmful as disorganized, incomplete or scattered, therefore not traceable documents. Bases of the archive are the fast resort to information as a basis for decision-, control-, and direction flows, the transparency and mastering of mass data, as well as the possibility of assigning and administrating new data meaningfully. In the case of Petra the jobs and examinations of the single businesses and people involved must be traceable also after larger interval and be kept evaluative. A maximum of information is thus provided to reduce the harmfulness of the intervention into the original substance, inevitable in reconstruction, to a minimum.

Datenstruktur sind im digitalen Baudaten-Management-System „PV 2“ der Oberfinanzdirektionen mehrerer deutscher Bundesländer enthalten, die in unserem Hause erstellt wurde und auf ähnliche Projekte wie Petra angepaßt werden kann. Für die Archivierung der Projektdaten existiert bereits ein Prototyp mit den Daten des als erstes bearbeiteten Monumentes 825, der im folgenden vorgestellt wird.

Archivierung

Sinn und Notwendigkeit eines Archivs müssen an dieser Stelle nicht ausführlicher erläutert werden. Die beste Dokumentation ist sinnlos, wenn sie Jahrzehnte nach erfolgter Maßnahme nicht mehr oder nur zum Teil verwertbar ist. Physikalisch bedingte Verluste (vergilbte oder verblaßte Photographien, ausgebleichene Dokumente) sind dabei ebenso schädlich wie unorganisierte, unvollständige oder verstreute, daher nicht auffindbare Dokumente. Grundlagen des Archivs sind der schnelle Rückgriff auf Informationen als Basis für Entscheidungs-, Kontroll-, und Steuerungsabläufe, die Überschaubarkeit und Beherrschbarkeit von Massendaten sowie die Möglichkeit neue Daten sinnvoll zuzuordnen und zu verwalten. Im Fall von Petra müssen die Tätigkeiten und Untersuchungen der einzelnen Gewerke/Mitarbeiter auch nach größerem Zeitabstand auffindbar und auswertbar gehalten werden. Auf diese Weise wird ein Maximum an Information zur Verfügung gestellt, um die Schädlichkeit des bei Rekonstruktionen zwangsläufigen Eingriffs in die Originalsubstanz möglichst gering zu halten.

Das Dokumentations- und Archivierungssystem für Petra muß so einfach wie möglich gehalten werden und soll leicht auf PC-gestützte Systeme übertragbar sein. Die technischen Möglichkeiten der EDV sind mittlerweile so weit entwickelt, daß die Anpassung des Dokumentationssystem an PC-relevante Grundbedingungen bewußt auf ein Minimum beschränkt werden kann. Es gilt eher Software zu wählen und anzupassen, die der „analogen Vorgehensweise“ entspricht und nicht umgekehrt. Ein klar definiertes Ordnungsprinzip, das sich bei jedem bearbeiteten Monument wiederholt, ist notwendig, wobei lediglich der Umfang durch die Komplexität des jeweils bearbeiteten Monuments bestimmt wird und gewährleistet ist, daß die bei allen Beteiligten, Bearbeitern und Fachfirmen entstehenden Unterlagen in dieses Ordnungsprinzip eingegliedert werden können.

Als Minimalform eines zusammengehörigen Archivs sollen alle Dokumente mit einer fortlaufenden Bezeichnung versehen werden, die in Form eines einfachen Stempels aufgebracht und ausgefüllt wird (Abb. 3). Wichtigster Zuordnungsfaktor ist das Monument, nicht das Medium, danach kommt das Datum bzw. die Dokumentationsphase, der Name des Bearbeiters und eine Kurzbezeichnung des Inhalts. Sinnvolle Bezeichnungen sind beispielsweise „Grab 825 – IV/95 – Liste der Paßpunkte“ oder „Testfeld Steinbruch – 96/7 – Räumliche Anordnung der Materialproben“.

Wünschenswert ist es, mehrseitige Dokumente entsprechend zusammenzufassen und zu bezeichnen, z. B.: Seite 3 von 16. Sinnvoll ist die fortlaufende Numerierung der Photographien – nach Jahren differenziert – wobei Abzüge von SW- oder Farbnegativen und Diapositive getrennt gezählt werden. Negative sollen rein chronologisch numeriert und mit Register versehen werden, z. B. „96-SW-1...“ (für SW-Negativfilm Nr. 1 des Jahres 1996). Eine Alternative wäre die Bezeichnung nach Objekten (Monumenten), dies ist in der Praxis jedoch nicht immer

The documentation and archiving system for Petra must be kept as simple as possible and shall easily be transferrable to PC supported systems. The technical possibilities of EDP have by now been developed so far that customization of the documentation system to PC relevant atomic conditions can deliberately be reduced to a minimum. The point is rather to choose and adjust software according to its capacity to correspond to the ‘analogue approach’ and not vice versa. A clearly defined order principle, which recurs with every finished monument, is necessary, at which solely the extent is defined by the complexity of the respectively finished monument. This is to guarantee the incorporation of all documents arising at all persons involved, users and special branch companies into this order principle.

As a minimal form of a matching archive all documents are to be provided with an ongoing name which is applied in form of a

Beispiel für Stempel und Beschriftungscode:

Datum: 1.9.96	Objekt: 825	Code: 1996-D-0901
Gegenstand: Besprechung bei 825 mit Zaki und May		
Stichworte: 825, Festpunkte erneuern, neue Befunde mit Putz, w.d.G.		
bearbeitet: Fischer		archiviert: Thust, 9/96

Beispiel für Beschriftungscodes

1997 - BW - 8/14	S/W - Negativ, Film 8, Bild 14
1997 - CS - 315	Color Slide Nr. 315, oder
1997 - CS - 8 -21	Color Slide Film 8 / Bild 21, von Vorteil, wenn Dias nicht gerahmt gelagert werden
1997 - D - 0804	Dokument, 4 stellige Zahl enthält das Datum, kann erweitert werden als 0804/1, 0804/a, usw., auch weiter differenzierbar wie
1997 - DT -	Textdaten
1997 - DO -	Offizielle Dokumente
1997 - DC -	Besprechungen
1997 - DPR	Public Relation, ...

Abb. 3. Beispiel für Archivstempel und angewandte Codes

Fig. 3. Example of an archival stamp and coding system

simple stamp (fig. 3). The most essential allocation factor is the monument, not the medium, followed by the date, resp. the documentation phase, the name of the editor and a short term for the contents. Meaningful terms are e. g. ‘Tomb 825 – IV/95 – list of benchmarks’, or ‘Test field quarry – 96/7 – Spatial arrangement of material samples’.

It is desirable to summarize and name multi-paged documents accordingly, e. g.: page 3 of 16. The ongoing numbering of the photographs – defined in years – with copies of black and white or colour negatives and slides being counted separately, are meaningful. Negatives are to be numbered only chronologically and to be provided with a register, e. g. ‘96-b/w-1...’ for black and white negative film no. 1 of 1996. An alternative would be a naming of the film after objects (monuments), which cannot always be carried through in practice, however, as during the time of processing a monument other photographs must be taken as well, like of test fields or further monuments.

durchzusetzen, da während der Bearbeitungszeit eines Monumentes auch andere Photos erstellt werden müssen, etwa von Testfeldern oder weiteren Monumenten.

Digitales Archiv

Ein einfaches Beispiel für ein digitales Archiv mit Übertragungsmöglichkeit auf Petra ist die Archivierung der Betriebsdaten eines bestimmten Flugzeuges der Lufthansa AG. Hier werden sämtliche Dokumente eines Verkehrsflugzeuges (Flugberichte, Reparaturprotokolle, Ersatzteillisten etc.) gescannt und als Faksimiles digital archiviert. Die Inventarisierung erfolgt über wenige Stichworte, die in den Texten enthaltenen Wörter und Tabellen können lediglich angezeigt und ausgedruckt, nicht jedoch geändert werden.

Die Vorgaben für das Archiv der Petra-Daten lassen sich folgendermaßen umreißen:

- Das digitale Archivsystem muß der herkömmlichen Büroorganisation weitestgehend entsprechen.
- Es müssen Dokumente aller Art hinzufügar sein, unabhängig von Medium, Format und Größe.
- Es muß auch von ungeübten Benutzern ohne tiefere Programmkenntnisse zu bedienen sein, wobei mehrere Benutzer (unter Umständen auch gleichzeitig) auf die Daten zugreifen können (Netzwerkfähigkeit).
- Archivierte Dateien müssen unabhängig von der Software, mit der sie erzeugt wurden, lesbar, betrachtbar bzw. zur weiteren Bearbeitung kopierbar sein.
- Rechtliche Bestimmungen sind einzuhalten.⁴
- Archivierte Daten müssen grundsätzlich unverändert bleiben, um die Revisionsfähigkeit bzw. den Entstehungsnachweis von Daten zu erhalten. Geänderte Dokumente werden als Neueintrag archiviert und mit Verbindungen zu den Ursprungsdaten versehen.

Neben diesen Grundbedingungen bedarf es einer grundsätzlichen Aufgeschlossenheit der Arbeit mit dem PC gegenüber, die in weiten Bereichen der Denkmalpflege und der Archäologie nicht selbstverständlich ist. Der Einzug der Computer in diesen Arbeitsraum ist geprägt von einer deutlichen Polarisierung in generelle Befürwortung und deutliche Ablehnung, wobei der gewinnbringende Weg auch hier in der goldenen Mitte liegt. Unser Büro arbeitet mit Buntstift und Millimeterpapier, mit Bleistift und säurefreiem Karton, wir benutzen Pergamin und liefern dem Brandenburgischen Landesmuseum in unserer Dokumentation entsprechend den Archivierungsgesetzmäßigkeiten lediglich einen SW-Kontaktabzug der SW-Filme ab. Andererseits arbeiten wir in dafür geeigneten Projekten im Denkmalsbestand vor Ort jedoch auch direkt mit Laptop und elektronischem Meßgerät und archivieren unsere Unterlagen auch in digitaler Form auf CD-ROM. Fähigkeit und Qualifizierung zur Behandlung eines Denkmals stehen grundsätzlich vor der Beherrschung eines PCs. Wenn diese Beherrschung jedoch vergleichbar ist mit der Bedienung eines Photokopierers oder einer elektrischen Schreibmaschine, so läßt sich die oben genannte Polarisierung schnell aufweichen.

In mittlerweile sehr vielen Ausstellungen stehen Rechner, mit denen sich Informationen erschließen lassen, indem man lediglich die Tasten „Weiter“ und „Zurück“ betätigt und oft funktionieren diese Geräte auch noch 3 Wochen nach der Ausstellungseröffnung. Anlässlich der großen Ausstellung über die Franken in Berlin im Juli–Oktober 1997 standen in fast allen Räumen

Digital Archive

A simple example of a digital archive with transmitting possibility on Petra is the archiving of the production data of a specific airplane of Lufthansa AG. Here, all documents of a commercial aircraft (flight reports, repair minutes, spare part lists etc.) are scanned and digitally archived as facsimiles. Inventorying is carried out with few keywords, the words and tables, contained in the texts can solely be shown and printed, but not changed.

The outlines for the archive of the Petra data can be described as follows:

- A digital archiving system must correspond to traditional office management to the greatest extent.
- It must be possible to add documents of all kind, no matter which medium, format and size.
- Even unskilled users without profound knowledge of the program must be able to run the program.
- The access to the data should be possible for several users simultaneously.
- Archived files must be legible, examinable, resp. copyable for further processing independently of the software with which they were produced.
- Legal determinations have to be adhered to.⁴
- In principle, archived data must remain unchanged to preserve the revision ability, resp. the proof of origin of data. Changed documents are archived as new entry and provided with connections to the original data.

Besides these basic requirements a fundamental open-mindedness towards work with the PC is necessary, an attitude which is not self-evident in wide areas of the preservation of historical monuments and archaeology. The move of the computer into this field of work is characterized by a clear polarization into general support and plain rejection, at which the profitable way is in the golden middle here as well. Our office works with coloured pencil and millimeter paper, with pencil and acid-free carton, we use pergamin and deliver solely a b/w contact print of the b/w films to the Brandenburg country museum according to the archival legitimacies. On the other hand, we also work directly with laptop and electronic device on the spot in projects where it seems profitable for the stock of monuments. Additionally, we archive our documents also in digital form on CD-ROM. In principle, ability and training for the treatment of a monument range above the control of a PC. If this control, however, is comparable with the operation of a xerox machine or an electric typewriter, the polarization mentioned above can be neglected.

In many exhibitions computers can be found by now, with which information can be disclosed simply by using the keys 'next' and 'back' and often these devices still work three weeks after the exhibition opening. On the occasion of the large exhibition about the Franks in Berlin from July till October 1997 almost all rooms were equipped with computers with the help of which basic information about the exhibits could certainly be presented more attractively than on extensive but tiring text panels. The operation with Internet is not more complicated by now. To get the desired information it is generally sufficient to move the computer mouse onto the text or the symbol which is of interest and subsequently to press one of the mouse buttons. In case the desired result is not attainable there is another button with the label 'back', helping to return to the starting point. To stick to the example of museum exhibitions, the computer mouse helps disclose information about exhibitions all over

Rechner, mit deren Hilfe Hintergrundinformationen zu den Exponaten durchaus attraktiver dargestellt waren, als auf umfangreichen – aber ermüdenden – Texttafeln. Die Bedienung des Internets ist mittlerweile nicht viel komplizierter, es genügt in der Regel die Computermaus auf den Text oder das Symbol zu bewegen, das den Benutzer interessiert, und dann auf eine der Maustasten zu drücken, um die gewünschte Information zu erhalten. Wenn das gewünschte Ergebnis nicht zustande kommt, gibt es ebenfalls einen Knopf mit der Aufschrift „Zurück“, mit dessen Hilfe man wieder dorthin gelangt, wo man hergekommen ist. Um beim Beispiel von Museumsausstellungen zu bleiben, lassen sich mit Hilfe der Computermaus vorab Informationen zu Ausstellungen in ganz Deutschland erschließen, einschließlich virtueller Rundgänge durch die Räume und der Möglichkeit, dort angebotene Musik aus den eigenen Lautsprechern zu hören.

Wichtigste Voraussetzungen für ein Archiv sind die Zusammenfassung aller Daten einer Dokumentation, deren Fähigkeit zur Langzeitarchivierung sowie einfache Zugänglichkeit und Verbreitungsmöglichkeit. Wichtigste Arbeitsansätze sind daher die Wahl eines geeigneten Datenträgers, die Wahl geeigneter Daten-Software für die Verwaltung der Daten und die Wahl der geeigneten Erschließungs-Software.

Als Wahl des Datenträgers bietet sich die CD-ROM an, wobei die Nutzung der CD-ROM zur Langzeitarchivierung die Wahrung einiger archivarischer Regeln bedarf wie korrekte Beschreibung, Überprüfung, Mitarchivierung von entsprechender Software, sachgerechter Lagerung und mittelfristiger Erstellung von Sicherheitskopien.

Jeder neuere PC verfügt über ein entsprechendes Laufwerk, da die überwiegende Masse der käuflich zu erwerbenden Software kaum noch auf Disketten erhältlich ist, sondern auf CD-ROM vorliegt. Auf einer CD-ROM ist die vollständige Dokumentation vorhanden, kann ganz oder in Teilen verlustfrei kopiert werden, und ist schnell zugänglich. Der Aufwand zur Erstellung dieser Kopie auf CD-ROM ist nicht viel anders als die Erstellung einer Kopie der Dokumentation aller Pläne und Photos. Ein Aspekt der Archivierbarkeit ist zudem, daß die gespeicherten Daten auf der CD nicht manipuliert werden können, sie kann jedoch – wie jedes Buch auch – kopiert werden, im Gegensatz zu analogen Daten wie Buch, Diapositiv oder Papierabzug jedoch verlustfrei und zu einem sehr geringen Preis.

Es ist also naheliegend, als Datenträger die CD-ROM zu wählen, auch wenn nicht unberücksichtigt bleiben sollte, daß die Angaben über die Langzeithaltbarkeit von CD-ROMs zwischen 50 und mehreren Tausend Jahren divergieren, während die Gewährleistung der Hersteller durchschnittlich bei 5 Jahren liegt. In diesen Differenzen spiegelt sich wider, daß die Entwicklung dieses Datenträgers noch keine sehr lange Geschichte hat und Angaben über Haltbarkeit auf hypothetischen und schematischen Berechnungen beruhen müssen. Setzt man sich mit diesen Angaben ohne Vorbehalte auseinander – die Gewährleistung für ein Kraftfahrzeug liegt ebenfalls weit unter der möglichen Lebensdauer – so sollte man sich die Möglichkeit der verlustfreien Kopiermöglichkeit der Daten zu Nutze machen und den Inhalt der CD-ROM nach einer festgelegten Zeitdauer auf eine neue CD-ROM schreiben, wobei davon auszugehen ist, daß sich dieser Sicherheitszeitraum von gegenwärtig etwa 5–10 Jahren in naher Zukunft deutlich erhöhen wird.

Kern der Überlegungen, wie die Daten auf dieser CD-ROM strukturiert sein sollten und mit welcher Software sie erschlossen werden kann, ist dabei die Anlehnung an Formate und Spielregeln, wie sie das Internet bietet. Mit den Systemen des Inter-

Germany in advance, including virtual walks through the rooms and the possibility to listen to music offered there with personal loudspeakers.

Most essential presuppositions for an archive are the combination of all data of a documentation, their capability for long term archival as well as easy accessibility and distribution possibility. Most important starting points of work are therefore the choice of a suitable data carrier, the choice of suitable software for data administration and the choice of suitable retrieval software.

The CD-ROM offers itself as choice of the data carrier, but using it for long-time archival requires the observance of some archive rules such as correct description, checking, con-archival of corresponding software, proper storage and medium-term construction of safety copies.

Every newer PC has a corresponding disk drive, since the predominant mass of the software to be purchased is hardly available on discs, but rather on CD-ROM. Greater parts of a documentation are available on a single CD-ROM, can be copied fully or in parts free of loss, and are quickly accessible. The expense necessary for the construction of these copies on CD-ROM is not much different from the construction of a copy of the documentation of all projects and photos. One aspect of the possibility of being archived is moreover that data stored on CD-ROM cannot be manipulated, though the latter can be copied – just like any book, but in contrast to analogue data such as book, slide or paper copy – loss-free and at a very low price.

It is obviously consequent to choose the CD-ROM as data carrier even though it should not remain unconsidered that the details on the long-time durability of CD-ROMs diverge between fifty and several thousand years, while the guarantee of the manufacturers covers an average of around five years. These differences reflect that the development of this data carrier has not had a long history yet, and that the details concerning durability are founded on hypothetical and schematic calculations. Looking at these details without reservations – the guarantee for a motor vehicle is also far below the possible life time – one should make use of the possibility for a loss-free copying of the data and write the contents of the CD-ROM on a new disc after a fixed period. Here, one can set out from the consideration that in the near future this safety period will clearly increase from the presently five to ten years.

The core of the considerations of how data should be structured on a CD-ROM and what kind of software should be used is the accordance with the formats and the rules of the game as offered by Internet. With Internet systems, unifications and standards have inevitably risen, otherwise the data would not be deducible by anybody who has access to the Internet worldwide.

The software necessary for this is available on every new computer – a circumstance which recently caused legal trouble for the Microsoft company as it integrated a corresponding software into its 'Windows' operating system while the contention system is free of charge by now.

The way of the raw data in analogue or digital form to the formats of the Internet is presented in simplified form in figure 4. Generally, analogue sources of the most various kind are digitalized by means of the scanner. While up to a few years ago, this possibility was reserved for special laboratories, everybody can now afford devices with which DIN A4 formats can be treated – in general flat board scanners comparable to a xerox machine. Photoscanners, at least for the digitalization of 35 mm films (slides and negative films), are presently obtainable for less than

nets sind ganz zwangsläufig Vereinheitlichungen und Standards entstanden, sonst wären die Daten nicht von jedem, der weltweit Zugriff auf das Internet hat, erschließbar.

Die dazu notwendige Software ist auf jedem neueren Rechner vorhanden – ein Umstand, der jüngst der Firma Microsoft juristischen Ärger machte, da sie eine entsprechende Software in ihr Betriebssystem „Windows“ integrierte – während das Konkurrenzsystem mittlerweile kostenlos ist.

Der Weg der Ursprungsdaten in analoger oder digitaler Form zu den Formaten des Internet ist in Abbildung 4 vereinfacht dargestellt. Generell werden analoge Quellen unterschiedlichster Art mittels Scanner digitalisiert. Während bis vor wenigen Jahren diese Möglichkeit speziellen Labors vorbehalten blieb, sind Geräte, mit denen sich DIN A4 Formate bearbeiten lassen – in der Regel einem Fotokopierer vergleichbare Flachbettscanner – mittlerweile für jedermann erschwinglich geworden. Auch sind Photoscanner zumindest für die Digitalisierung von Kleinbildfilmen (Diapositiven oder Negativstreifen) gegenwärtig für weniger als 1000.- DM erhältlich – und kosten bei Drucklegung dieses Manuskriptes wahrscheinlich nurmehr die Hälfte.

Das Scannen von größeren Formaten als DIN A4 sowie Mittel- oder Großformatphotos überläßt man günstigerweise entsprechenden Labors, wobei sich zumeist auch die Laborbearbeitung von Diapositiven zur bereits erwähnten KODAK-CD-ROM lohnt, bei der man für den Preis von ca. 1 DM pro Bild eine Serie von fünf verschiedenen auflösenden Bildern je Diapositiv erhält, von denen das kleinste vergleichbar ist mit der Größe eines Kleinbildnegativs, das größte dagegen einem gestochen scharfen Abzug in der Größe DIN A0 entspricht.

Abbildung 4 zeigt gleichzeitig die erwähnte Problematik, daß digitale oder digitalisierte Daten in den unterschiedlichsten Formaten vorliegen, deren Erschließung somit unterschiedliche und damit mehr als eine Software benötigt, zuweilen sogar ein anderes Betriebssystem. Die unter Graphikern sehr beliebte Umgebung von Apple Macintosh ist beispielsweise nur mit viel Mühe und guten Worten auf einem Windows PC erschließbar. Die Daten werden daher umgespielt in jene hier mit „WWW-Formaten“ bezeichnete Formen, die im Internet publiziert werden können. Man verzichtet auf diese Weise zwar auf einzelne Anwendungsmöglichkeiten, etwa der Möglichkeit zur stufenlosen Verkleinerung oder Vergrößerung von Bildern oder der Bearbeitbarkeit von Texten. Letzteres ist jedoch bei einem Datenarchiv ohnehin nicht gewollt, das gewährleisten muß, daß die Quelle selbst nicht manipulierbar ist.

Das Archiv wird wie jede andere Applikation durch Eingabe eines Befehls über die Tastatur oder Mausklick gestartet (Abb. 5). Die Bedienung der Dokumentation erfolgt durch Anklicken mit der Maus, der Taste „Zurück“ und den Bildlaufleisten. Es erscheint die Titelseite mit einer Reihe von blau hervorgehobenen und unterstrichenen Texten oder Zeilen. Durch Mausklick auf eine dieser Bezeichnungen wählt der Benutzer die einzelnen Dokumente aus, vergleichbar dem Inhaltsverzeichnis eines Buches. Die Dokumentation des Grabes 825 umfaßt (da die Bearbeitung noch nicht abgeschlossen ist) exemplarisch vier Datenblöcke (Abb. 6):

- General Information
- General Documentation
- Measurement
- Documentation of Conservation Activity

Der erste Block, General Information, enthält allgemeine Angaben zum bearbeiteten Monument, so etwa eine digitalisierte Karte der Stadt Petra, auf der die Lage des betreffenden Monu-

1.000 DM and at printing of this manuscript probably cost merely half of it.

Scanning larger formats than DIN A4 as well as middle- or large format photos are better left to the respective laboratories, at which, mostly the laboratory processing of slides to the already mentioned KODAK CD-ROM mostly proves rewarding, too. At the price of about 1 DM per picture one receives a series of five differently dissolving pictures per slide of which the smallest is comparable with the size of a 35 mm negative, the largest, on the other hand, to a crystal clear copy of size DIN A0.

Figure 4 simultaneously shows the mentioned difficulties that digital or digitalized data are given in the most various formats whose disclosure thus needs different and therefore more than one software, sometimes even a different operating system. The surrounding of Apple Macintosh for example, very popular among graphic artists, is disclosable on a Windows PC with a lot of effort and good words only. That is why the data are transferred into those forms, here called 'WWW-formats' which can be published in the Internet. Although one works without different application possibilities, such as the possibility of a continuous reduction or enlargement of pictures or that of a new treatment, the latter, however, is not needed anyway for a data archive that has to guarantee the impossibility of manipulating the source itself.

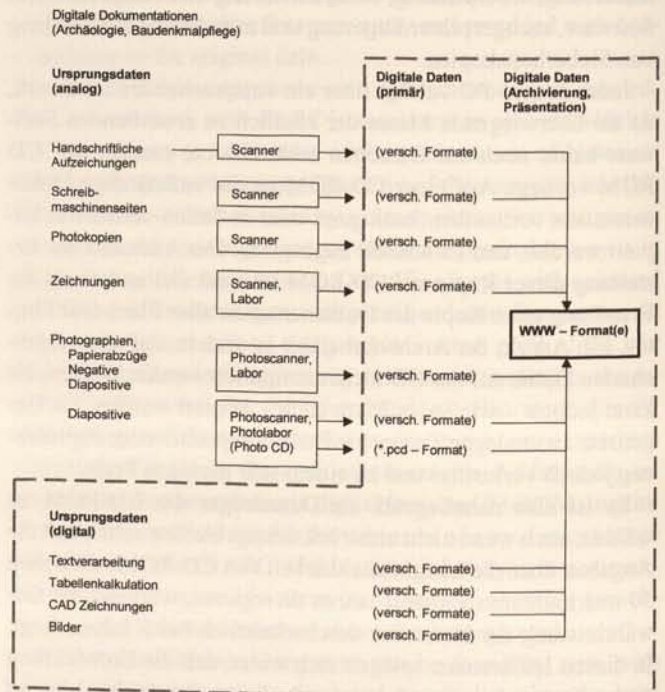


Abb. 4. Struktur analoger/digitaler Dokumentation
Fig. 4. Structure of analogous/digital documentation

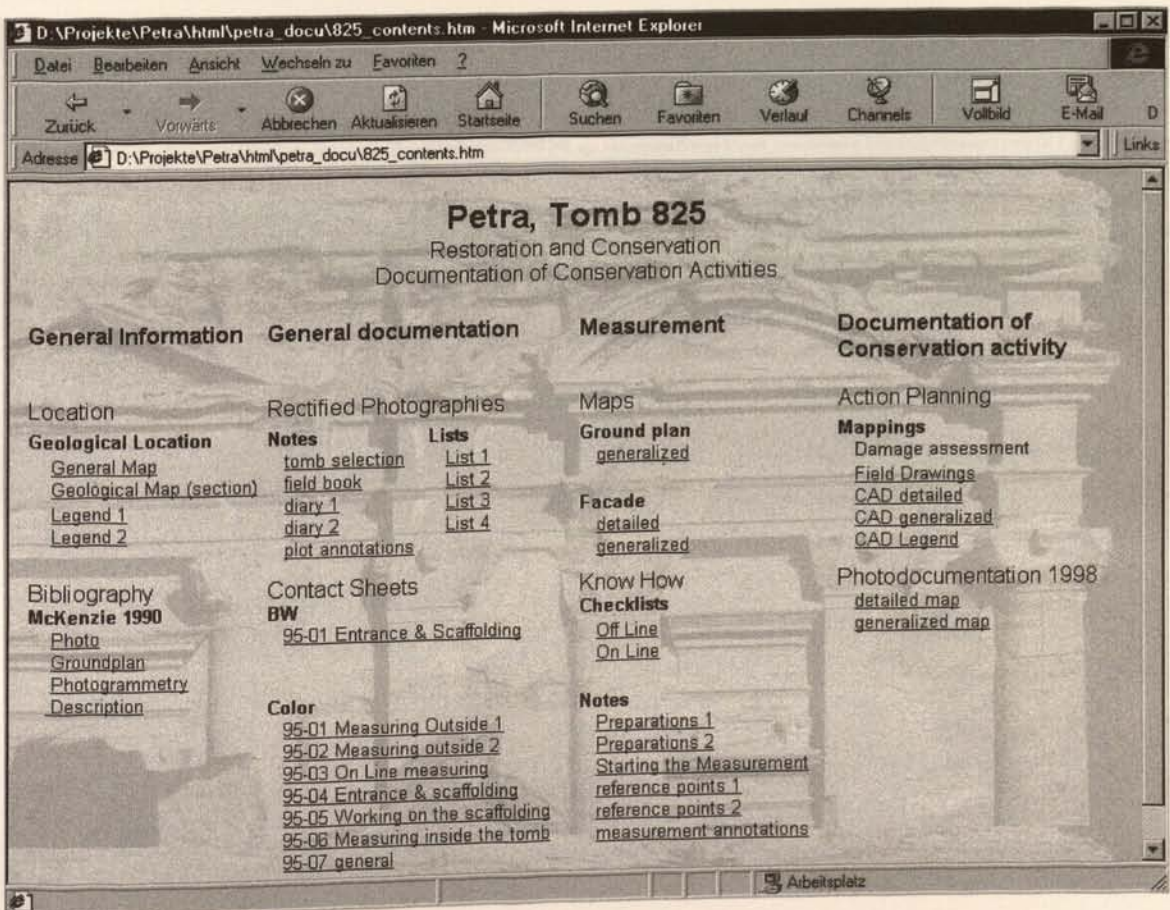
Like every other application the archive is started by input of an instruction via keyboard or mouse click (fig. 5). The operation of the documentation is made by selecting with the mouse, the back key and the scroll bars. The title page appears with a number of texts or lines highlighted in blue and underlined. By mouse click on one of these names the user selects the single documents, comparable to the directory listing of a book. The documentation of Tomb 825 exemplarily comprises (as the processing hasn't been finished yet) four data blocks (fig. 6):

- General Information



Abb. 5. Dokumentation Grab 825, Deckblatt / Fig. 5. Record of Tomb 825, cover page

Abb. 6. Dokumentation Grab 825, Inhaltsverzeichnis / Fig. 6. Record of Tomb 825, table of contents



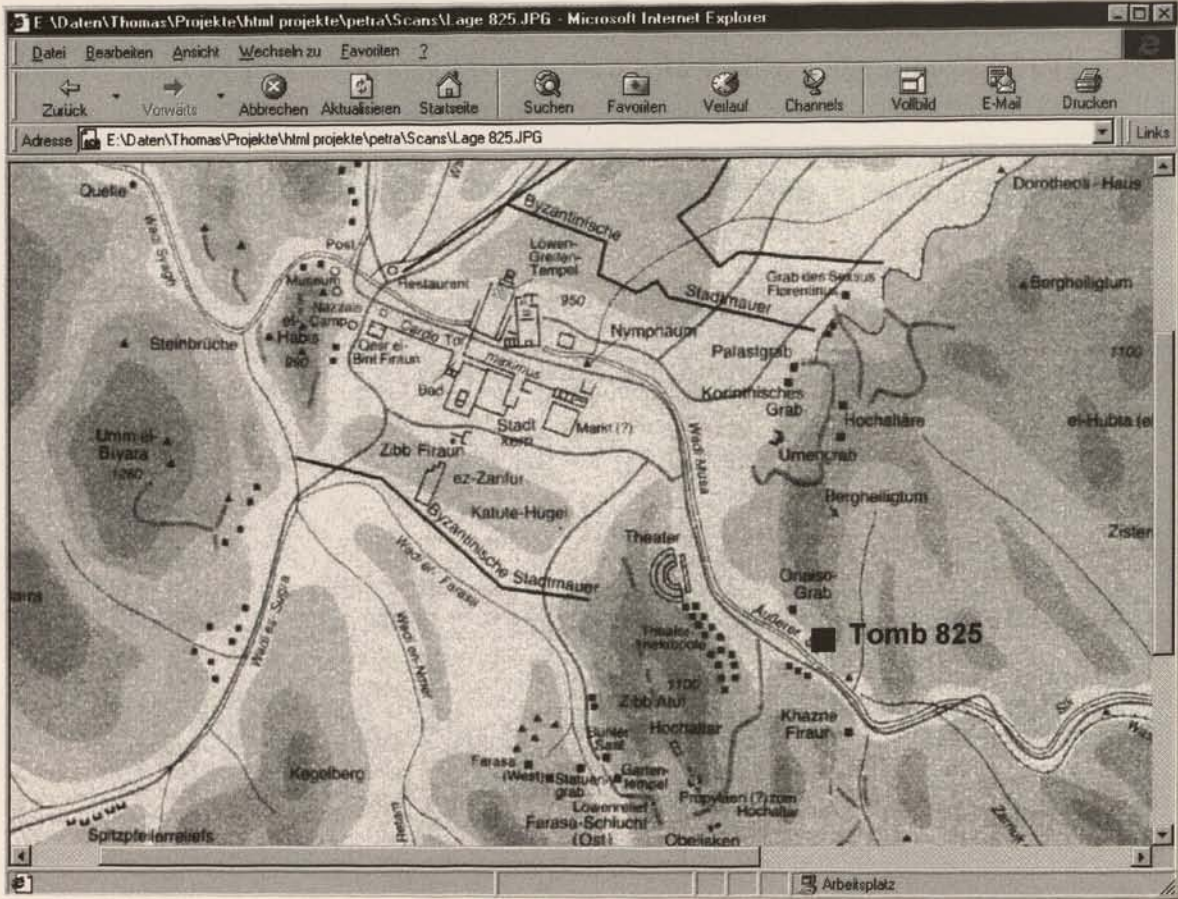
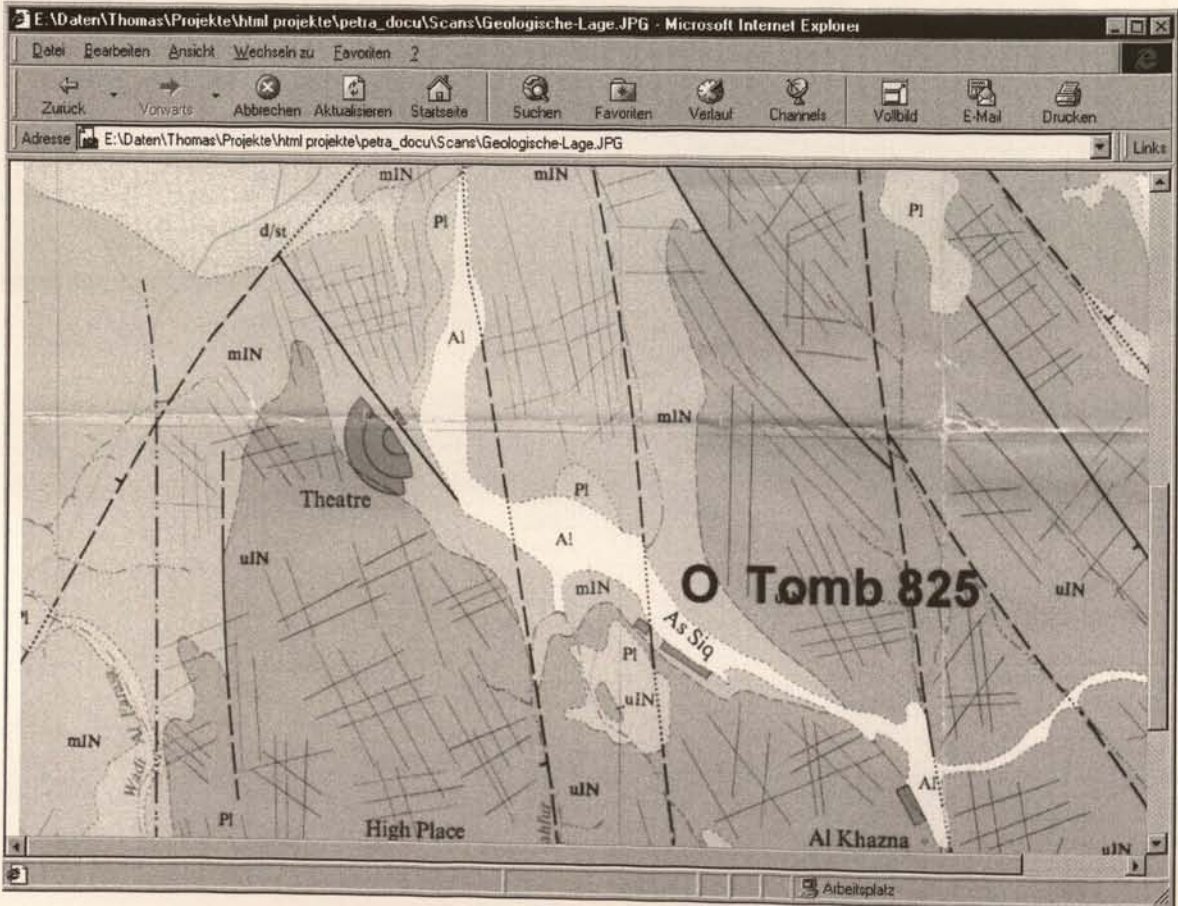


Abb. 7. Dokumentation Grab 825, Lage des Monumentes in Petra (Ausschnitt) / Fig. 7. Record of Tomb 825, location of the monument in Petra (detail)

Abb. 8. Dokumentation Grab 825, geologische Lage des Monumentes in Petra (Ausschnitt) / Fig. 8. Record of Tomb 825, geological location of the monument in Petra (detail)



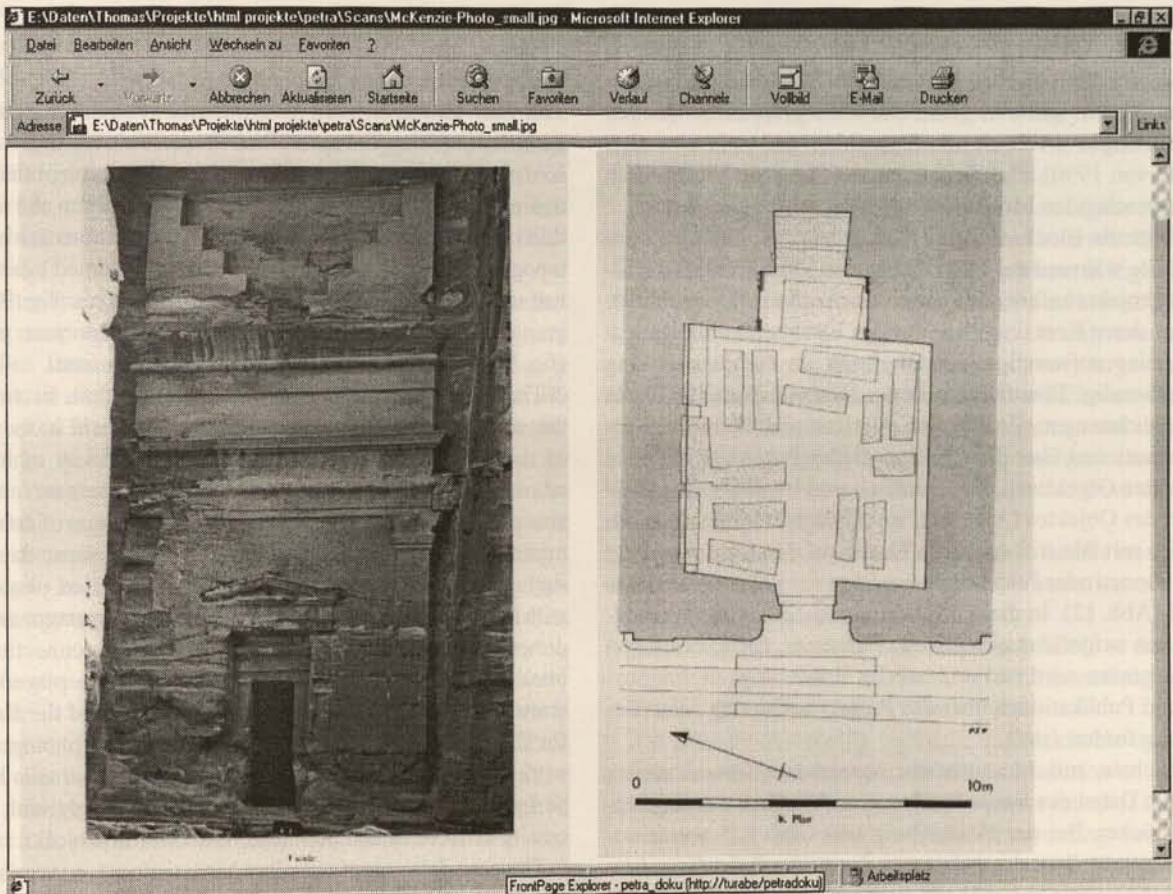


Abb. 9. Dokumentation Grab 825, Altunterlagen; Photo und Grundriß nach McKenzie 1990 / Fig. 9. Record of Tomb 825, old records; photograph and ground plan after McKenzie 1990

Abb. 10. Dokumentation Grab 825, Altunterlagen; Texterwähnung nach McKenzie 1990 / Fig. 10. Record of Tomb 825, old records; notions in texts after McKenzie 1990

On the colonnade on the left it is finished with lines of tooling at between sixty and forty-five degrees with a band of tooling along the side and top with a roughly pecked patch in the top right corner and a roughly dressed ceiling.

Zayadine excavated most of the tomb and found an inscription which could be restored to read "Shuqailat" (Zayadine 1974, 148). He considered that the inscription referring to 'Unaishu, supposedly found in Tomb 808, was actually found in Tomb 813 (see p. 37).

Tomb 825

(Tomb of Fourteen Graves)

References: 38, 54, 109, 110, 114.

Illustrations:
 FACADE: Pl. 165; Brünnow 1904, fig. 456.
 ELEVATION: Pl. 166a; Brünnow 1904, fig. 168.
 PLAN: Pl. 166b; Brünnow 1904, fig. 457.
 INTERIOR: Brünnow 1904, fig. 458; Maurer 1978, pl. 45.
 MOULDINGS: Pl. 38f-h.
 CAPITAL: Schmidt-Colinet 1980, fig. 14.
 INSCRIBED NEFESHES: CYS II 352-353; Brünnow 1904, fig. 459-460; Horsfield 1938, pl. 68.2; Browning 1973, fig. 72.
Bibliography: Brünnow 1904, 406-408; Kennedy 1925, 48-49, 76; Horsfield 1938, 9; Browning 1973, 128; Wennig 1987, 276, 285, 286.

then there is a fascia, torus and large cavetto cornice supporting two sets of five steps facing each other. Along the very top of the facade there is a cyma reversa and bevelled ovolo.

The exterior tooling is fine, sometimes aligned in sweeps (Schmidt-Colinet 1980, fig. 14).

The water pipe system was inset across the facade above the principal architrave crown.

The facade is approached by three steps.

The interior consists of an approximately square chamber (w. 7.1 m, l. 7.0 m) with graves in the floor and a broad recess in the back wall (Pl. 166b). The floor is clear to bedrock. It has a ledge (h. 0.20 m) along the base of the back and right side walls. The floor of the chamber contains fifteen graves (not cleared), those along the left side-wall being cut slightly into the wall. The side walls are plain. The back wall contains a broad recess with a wide (? double) grave in the floor. It has pillars at the front and back with bevelled bases and grooves for inset capitals visible on the plan. In the back wall of the recess there is a further recess with two graves in the floor and a small niche with a curved top in the wall at either end of the front grave. The ceiling at the front of the second recess curves downwards to meet the back wall.

The interior chamber walls are finished in fine straight diagonal lines (Horsfield 1938, pl. 68.2).

There are some obelisk shaped nefeshes with an inscription carved in the left side-wall (Horsfield 1938, pl. 68.2).

menten markiert ist (Abb. 7). Analog zur Lokalisierung auf der schematischen Übersichtskarte sind Verortungen auf topographischen oder geologischen Karten (Abb. 8) vorhanden. Zu den weiteren Quellen gehören gescannte bibliographische Quellen als Abbildungen (Abb. 9, Photographien und schematischer Grundriß von 1990) oder Textpassagen (Abb. 10), die sich mit dem entsprechenden Monument befassen.

Der folgende Block, General Documentation, führt Unterlagen auf, die während der Bearbeitung des Monuments im Rahmen des Projekts anfallen. Es handelt sich um eine Übersicht aller Filme, deren Kontaktabzüge auf den Flachbettscanner gelegt werden, eine aufwendige Bilddatenbank ist auf diesem Weg nicht notwendig. Ebenfalls in diesen Datenblock fallen Scans von Aufzeichnungen, Protokollen, Notizen und Skizzen, so etwa Informationen über die erstellten Orthophotos mit Angaben zu genutzten Objektiven, Verschlusszeit und Blende sowie Maßangaben des Objektes (Abb. 11), wobei auch Feldbücher handschriftlich mit Bleistift erstellten Daten auf den Scanner gelegt werden können oder Feldskizzen zur Lage der Paßpunkte für das Aufmaß (Abb. 12). In diesem Zusammenhang können auch Arbeitsphotos aufgeführt werden, ein Datensatz, der in der Regel gerne vergessen wird und erst bei der Notwendigkeit von Vorträgen und Publikationen über das Projekt nachhaltig seine Berechtigung fordert (sic!).

Der nächste, mit Measurement bezeichnete Datenkomplex enthält die Daten des Bauaufmaßes, einschließlich der abgelegten Feldbücher. Bei der Bearbeitung von Grab 825 wurde sowohl die unmittelbare Umgebung in das Aufmaß der Grundrisse mit einbezogen (Abb. 13), als auch selbstverständlich die innere Gliederung der Grabkammern mit der Lage der Gräber. Das Aufmaß der Fassade (Abb. 14) liegt digital vor und kann ganz oder in Teilen – in unterschiedlichen Maßstäben – ausgedruckt werden, etwa zur Verortung von Maßnahmen oder Standpunkten von Photos.

Die im vierten Datenblock zusammengefaßte Documentation of Conservation Activity beinhaltet beispielsweise die Schadens- und Maßnahmenkartierung: Abbildung 15 zeigt als Beispiel einen Ausschnitt der Schadenskartierung, Abbildung 16 die Ergänzung der digitalen Zeichnung um eben diese Kartierung, etwa zum Zwecke der Vervielfältigung oder Publikation. Den umfangreichsten Teil nimmt jedoch die Photodokumentation der Maßnahme ein. Zur Erleichterung der Lokalisierung der z. T. aus sehr geringer Nähe und daher schwer zuordbaren Aufnahmen wurde eine Kopie des Fassadenaufmaßes digital mit graphischen Verweisen versehen (Abb. 17), die zur Verortung der Photos dienen und eine durchlaufende Numerierung aufweisen. Dieser Photoplan ist dank einer speziellen Zusatzsoftware, die auf jeder Archivierungs-CD-ROM mit gespeichert wird, eines sogenannten „Plug-Ins“ stufenlos vergrößert oder verkleinert (Abb. 18), um eine genaue Lokalisierung des Monumentenbereiches zu ermöglichen, über den sich informiert werden soll. Bei diesen „Plug-Ins“ handelt es sich um kleinere, frei kopierbare Programme, mit denen die Erschließung komplexer Daten im Internet möglich ist. Während die genauere Betrachtung von Bildern ohne diese Hilfen nur durch Verschieben von Ausschnitten auf dem Bildschirm möglich ist, erlaubt das o. g. „Plug-In“ das stufenlose Zoomen. Andere „Plug-Ins“ ermöglichen es beispielsweise, über das Internet Videos zu sehen oder Musik zu hören.

Durch einen Mausklick auf diese Symbole wird eine neue Seite geöffnet mit der Darstellung des Photos, seiner Numerierung und der Lokalisierung auf der entsprechenden Photo-CD

– General Documentation

– Measurement

– Documentation of Conservation Activity

The first block, General Information, contains general statements concerning the monument in question, such as a digitalized map of the city of Petra, on which the position of the respective monument is marked (fig. 7). Analogously to the localization on the schematic general map, identifications are given on topographical or geological maps (fig. 8). Scanned bibliographical sources as images are part of further sources (fig. 9, photographs and schematic plan view of 1990) or text passages (fig. 10), which deal with the respective monument.

The following block, General Documentation, lists material that arises during the treatment of the monument in the context of the project. These are, for example, a survey of all films whose contact prints are put on the flat board scanner, an expensive picture data base is thus unnecessary. Scans of comments, minutes, notes and drafts are grouped into the same data block, such as information about the produced rectified photographs with details on used lenses, shutter speed and aperture as well as dimension details of the object (fig. 11). In this connection, field books with data, handwritten in pencil, can be placed on the scanner or field drafts concerning the position of the fix points for the measurement (fig. 12). In this context photographs of work in process may also be added, a set of data that is likely to be forgotten and only demands attention lastingly with the necessity of lectures and publications about the project.

The next data complex, called Measurement, contains data of all measurements made, including the corresponding entries in the field diaries. With the treatment of Tomb 825, the immediate surroundings were integrated into the measurement of the plan views (fig. 13) as well as the inner structure of the grave chambers with the position of the graves. The measurements on the façade (fig. 14) are digitalized and can be printed completely or in parts together with different scales, e. g. for the localization of measures or standpoints of photographs taken.

The Documentation of Conservation, for example, comprised in data block four includes damage- and measure mapping (figure 15 shows a section of the damage mapping as example, figure 16 the addition of just that mapping to the digital drawing for the purpose of something like reproduction or publication), the most extensive part, however, is taken up by the photo documentation of the measure. To facilitate the localization of the photos – partly taken from close-up and therefore difficult to allocate – a copy of the façade measurement was digitally provided with graphical remarks (fig. 17), serving for the localization of the photos and showing a continuous numbering. Thanks to a special additional software which is also stored on every archival-CD-ROM, a so-called plug-in, the photo plan can be continuously enlarged or reduced (fig. 18) in order to enable a precise localization of the monument area which is the object of information. These plug-ins are smaller, freely copyable programs with which the disclosure of more complex data in the Internet is possible. While the more exact observance of pictures without this help is only possible by scrolling sections on the display, the above-mentioned plug-in permits a continuous zooming. Other plug-ins, for example, make it possible to watch videos via the Internet or to listen to music.

By mouse click on these symbols, a new page is opened presenting the photos, its numbering and the localization on the respective Photo-CD-ROM (fig. 19) as well as the possibility of taking up remarks. The photo itself is arranged as small resolu-

(Abb. 19) sowie der Möglichkeit zur Aufnahme von Bemerkungen. Das Photo selbst ist als kleinformatige Abbildung angelegt, da große Bilder den Rechner stark verlangsamen und große Speicherkapazitäten binden. Durch Mausklick auf das Bild selbst wird die nächst höhere Auflösung aufgerufen (Abb. 20). Dieses Bild ist bereits so hochauflösend, daß es nicht mehr in voller Größe auf dem Bildschirm dargestellt werden kann, man verschiebt den Ausschnitt mittels der seitlich sichtbaren Bildlaufleisten.

Zur Betrachtung des Bildes in noch größere Auflösungen muß dann die entsprechende Photo-CD eingelegt werden. Aufgrund der großen Datenmenge, die ein Photo in größerer Auflösung einnimmt, ist die Anzahl der Bilder auf einer CD auf etwa 100 begrenzt. Die höchste Auflösung wird nur für Vergrößerungen sehr kleiner Ausschnitte oder für sehr großformatige Abzüge benötigt. Von den Dokumentationsphotos werden im digitalen Archiv daher nur zwei unterschiedliche Auflösungen verwaltet und damit ermöglicht, die komplette Dokumentation auf einen Datenträger zu begrenzen. Wird die höchste Auflösung gewünscht, so muß sie von der entsprechenden Photo-CD geladen werden.

Das vorgestellte Archiv auf CD-ROM erfüllt somit mehrere Aufgaben:

- es dient als Sicherungskopie der Dokumentation eines Projektes oder eines Projektabschnittes
- es ist publizierbar, d. h. so wie es ist, dem Internet zugänglich und erfüllt damit eine der Empfehlungen der Charta von Venedig
- es ist im wahrsten Sinne des Wortes universell lesbar, d. h. von Interessierten in aller Welt erschließbar, die über einen Internet-Anschluß verfügen
- es dient als Archivierungsmedium (unter Wahrung der entsprechenden Regeln, d. h. Überprüfung der Daten nach dem Bespielen, korrekte Behandlung und Lagerung, Mitarchivierung der notwendigen Software)

Ob digitale Daten auf Dauer säurefreies Papier und Barytpapier ersetzen können, wird abzuwarten sein, den Archivar werden sie jedenfalls nicht überflüssig machen, da auch die digitale Archivierung der Pflege bedarf, damit die Archivierbarkeit gewährleistet ist. Gewohnte Methoden und Vorgehensweisen werden sich aber wohl ändern müssen, auch ich habe mich jahrelang geweigert, meine alten Schallplatten wegzuräumen. Wie selbstverständlich klingt es nun eben von der Musik-CD: „La Forza del Destino“.

Anmerkungen

- 1 R. E. BRÜNNOW/A. VON DOMASZEWSKI, *Die Provincia Arabia*, Bd. I, Strassburg 1904, S. 125–532.
- 2 G. DALMANN, *Petra und seine Felsheiligtümer*, Leipzig 1908. – W. BACHMANN/C. WATZINGER/T. WIEGAND, *Petra. Wissenschaftliche Veröffentlichungen des deutsch-türkischen Denkmalschutzkommandos*, Heft 3, Leipzig 1921. – G. HORSFIELD/A. HORSFIELD, *Sela-Petra*, *Quarterly of the Department of Antiquities of Palestine*, 7, 1938, S. 1–42. – Vgl. auch J. MCKENZIE, *The Architecture of Petra*, *Brit. Acad. Monogr. in Arch.* 1, Oxford 1990, S. 1, Anm. 7.
- 3 F. ZAYADINE, *Photogrammetrische Arbeiten in Petra*, *Bonner Jahrbücher* 180, 1980 (1981), S. 109–124.
- 4 Vergleiche dazu die Vorschriften des Gesetzgebers zu Revisionsicherheit sowie weitere Schriften des AWV (Arbeitsgemeinschaft für die wirtschaftliche Verwaltung e.V.) Eschborn.

tion picture as high resolution pictures slow down the computer considerably and bind large memory capacities. By mouse click on the picture itself the next higher resolution is activated (fig. 20). This picture already has such a high resolution that it cannot be shown full size on the display – the section is shifted by means of the scroll bars visible at the side.

For the observance of the pictures in even higher resolutions the respective Photo-CD-ROM must be inserted. Due to the enormous amount of data, taken up by a photo in higher resolution, the number of pictures on a CD-ROM is limited to approximately a hundred. The highest resolution is only necessary for enlargements of very small sections or for very large-scale copies. Of the documentation photos only two different resolutions are therefore administered in the digital archive and thus enable to limit the complete documentation to one data carrier. If the highest resolution is desired, it must be loaded from the respective Photo-CD-ROM.

The presented archive on CD-ROM thus fulfills several tasks:

- it serves as a security copy of the documentation of a project or the section of a project
- it can be published, i. e. as it is, it is accessible to the Internet and thus fulfills one of the main recommendations of the Charter of Venice
- it is literally universally legible, i. e. disclosable by users all over the world who have an Internet connection
- it serves as archival medium (under preservation of the respective rules, i. e. checking the data after recording, correct treatment and storage, con-archival of the necessary software).

Whether digital data can be a long-term replacement for acid-free paper and barite paper will have to be proved in the future, the archivist, in any case, will not run out of work since digital archival also requires care in order to guarantee the possibility of archival. Nevertheless, accustomed methods and procedures will have to change. I have also refused for years to store away my old records. Just as self-evident does it now sound from the Music-CD: ‘La Forza del Destino’.

Notes

- 1 R. E. BRÜNNOW/A. VON DOMASZEWSKI, *Die Provincia Arabia*, vol. I, Strassburg, 1904, pp. 125–532.
- 2 G. DALMANN, *Petra und seine Felsheiligtümer*, Leipzig, 1908. – W. BACHMANN/C. WATZINGER/T. WIEGAND, *Petra. Wissenschaftliche Veröffentlichungen des deutsch-türkischen Denkmalschutzkommandos*, Heft 3, Leipzig 1921. – G. HORSFIELD/A. HORSFIELD, ‘Sela-Petra’, *Quarterly of the Department of Antiquities of Palestine*, 7, 1938, pp. 1–42. – See also J. MCKENZIE, *The Architecture of Petra*, *Brit. Acad. Monogr.*, in: *Arch.* 1, Oxford 1990, p. 1, note 7.
- 3 F. ZAYADINE, *Photogrammetrische Arbeiten in Petra*, *Bonner Jahrbücher* 180, 1980 (1981), pp. 109–124.
- 4 See also the legislation concerning revision security as well as further publications of the AWV (Arbeitsgemeinschaft für die wirtschaftliche Verwaltung e.V.) Eschborn.

Photo Credits

All photographs by BERNHARD STRACKENBROCK + DR. THOMAS URBAN

Abbildungsnachweis

Alle Abbildungen von BERNHARD STRACKENBROCK + DR. THOMAS URBAN

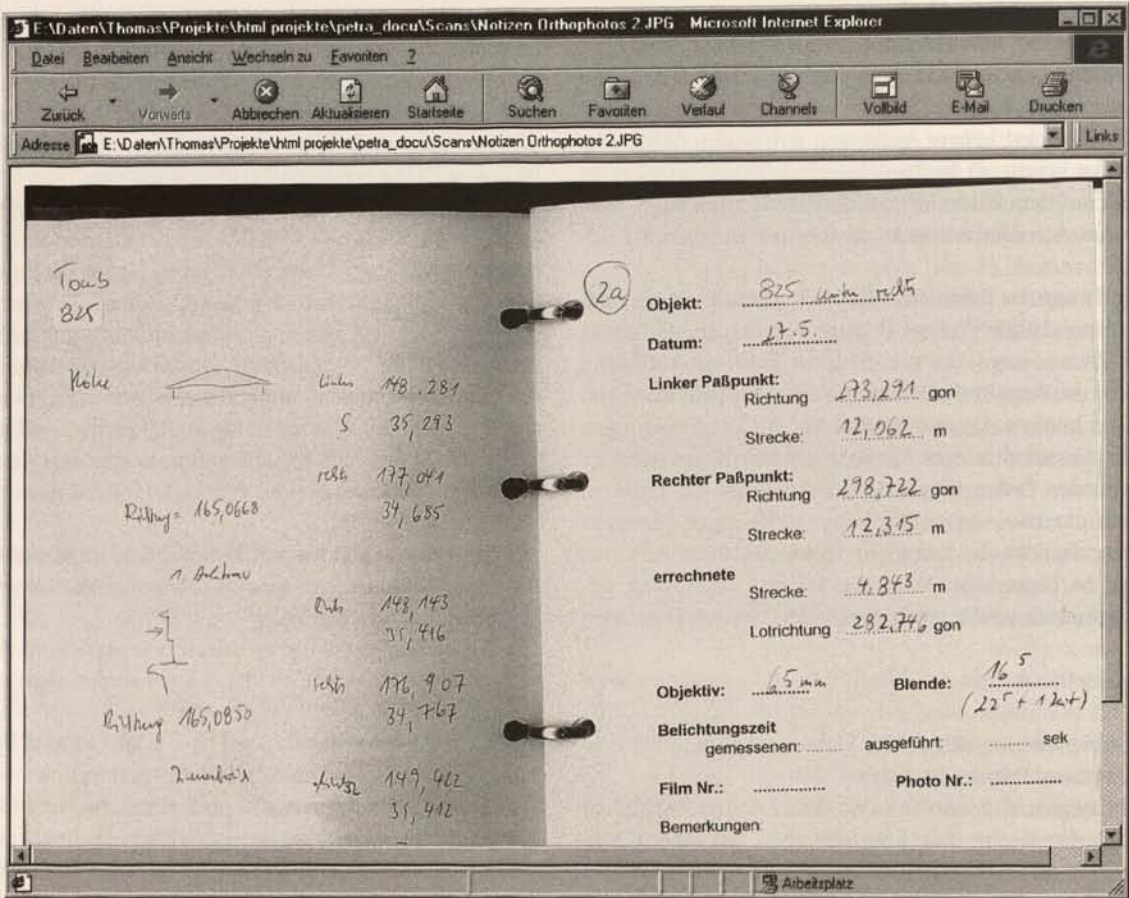
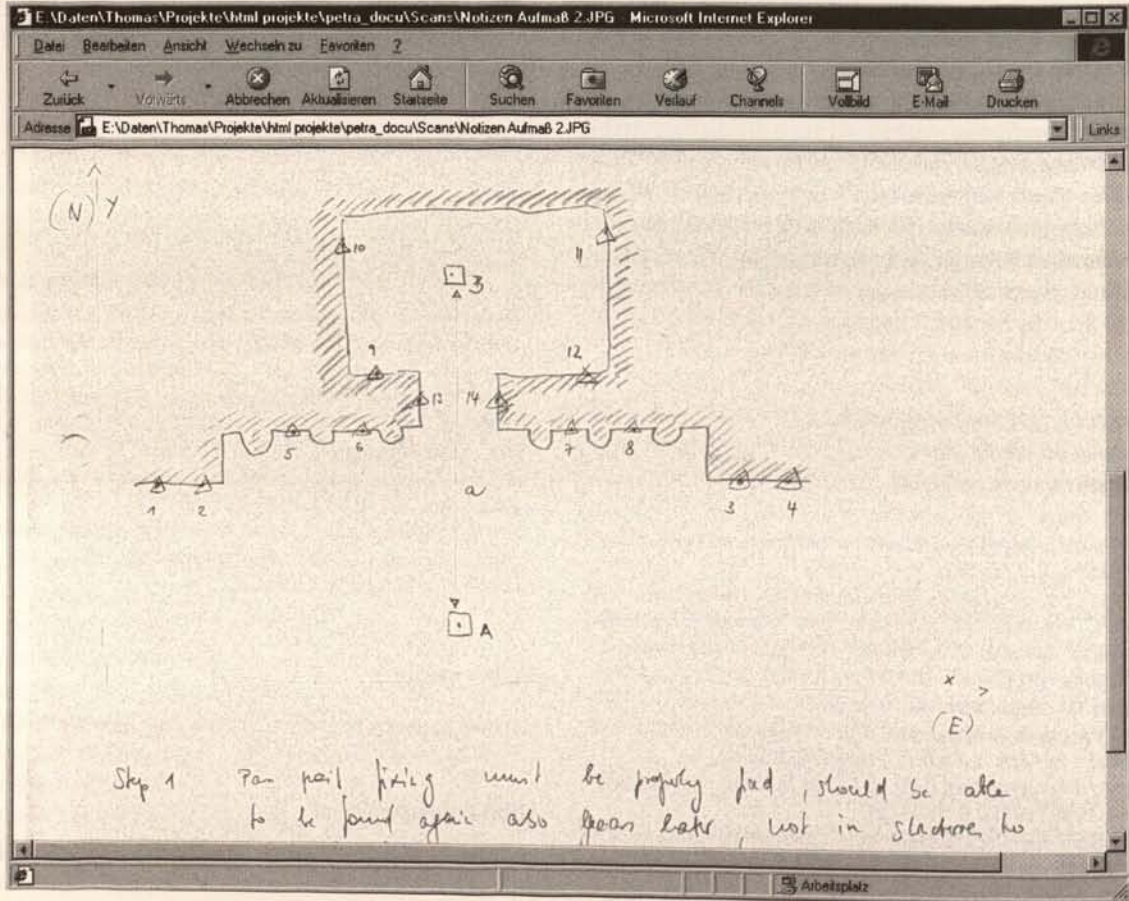


Abb. 11. Dokumentation Grab 825, handschriftliche Unterlagen, Protokoll, Orthophoto / Fig. 11. Record of Tomb 825, handwritten papers, protocol/minute, orthophoto

Abb. 12. Dokumentation Grab 825, handschriftliche Unterlagen, Vermessungsprotokoll / Fig. 12. Record of Tomb 825, handwritten papers, measuring protocol



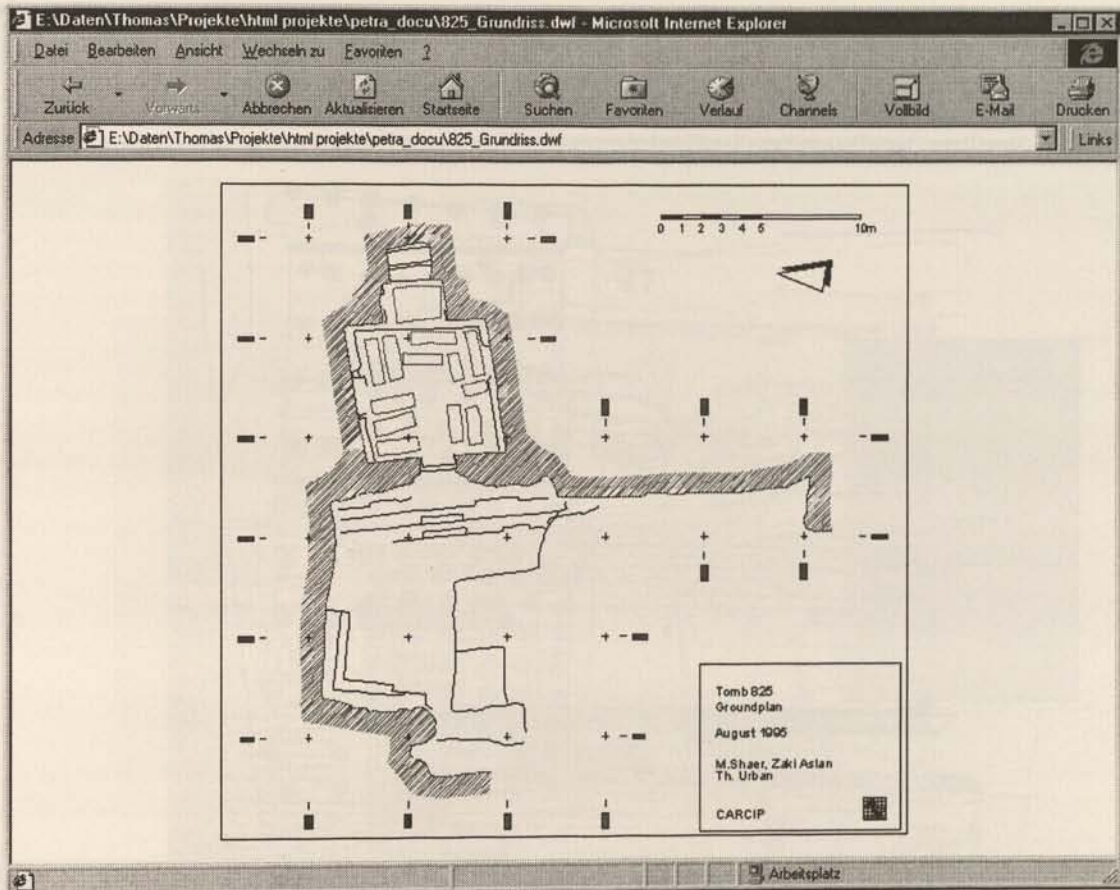
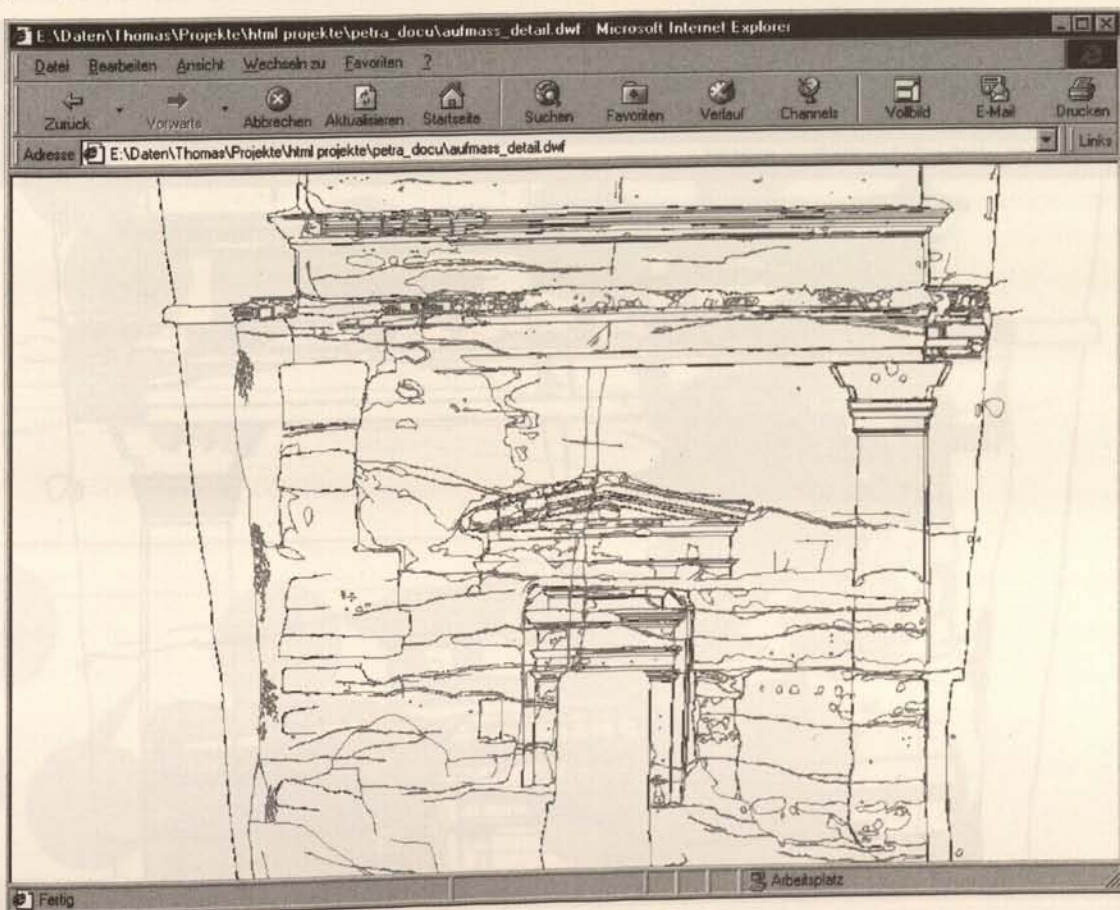


Abb. 13. Dokumentation Grab 825, Grundriß / Fig. 13. Record of Tomb 825, ground plan

Abb. 14. Dokumentation Grab 825, Aufmaß: Fassade (Ausschnitt) / Fig. 14. Record of Tomb 825, elevation of the façade (detail)



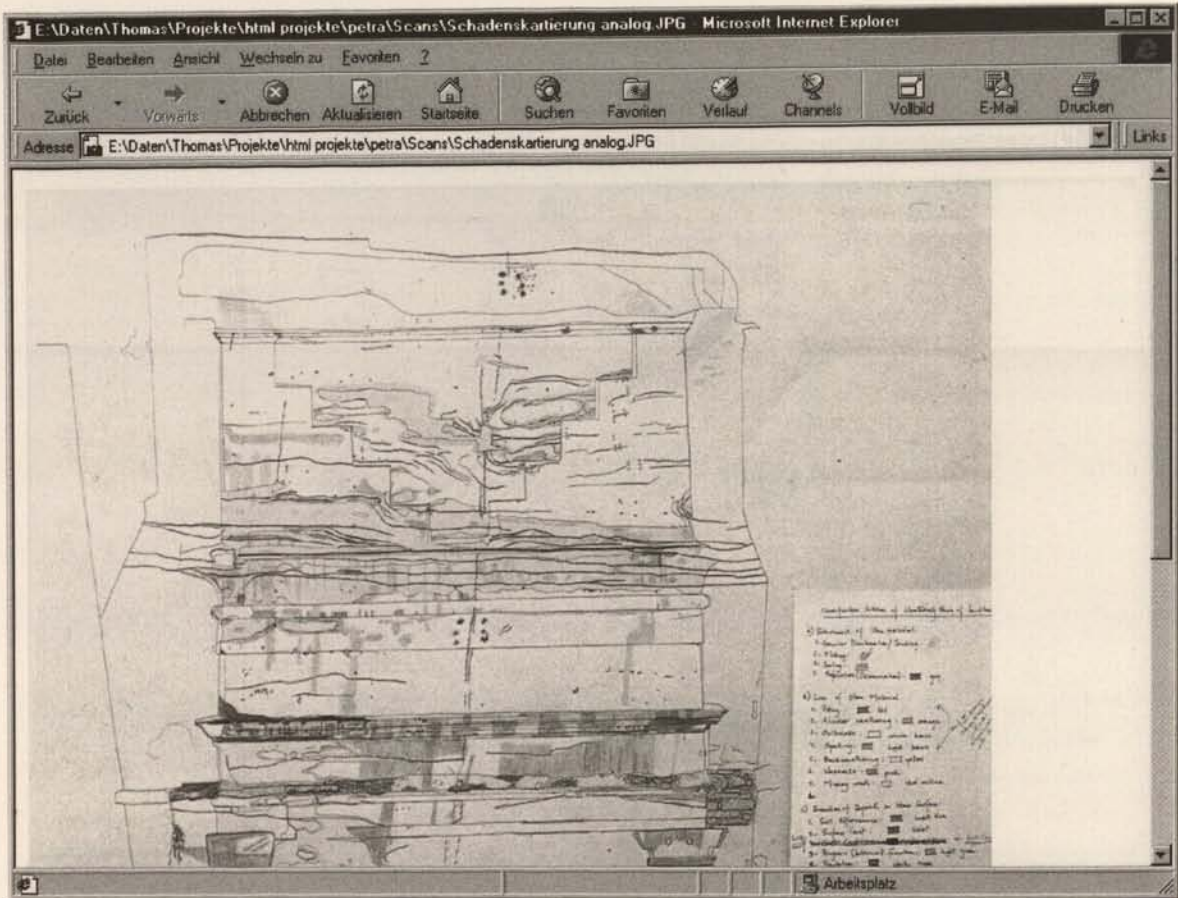
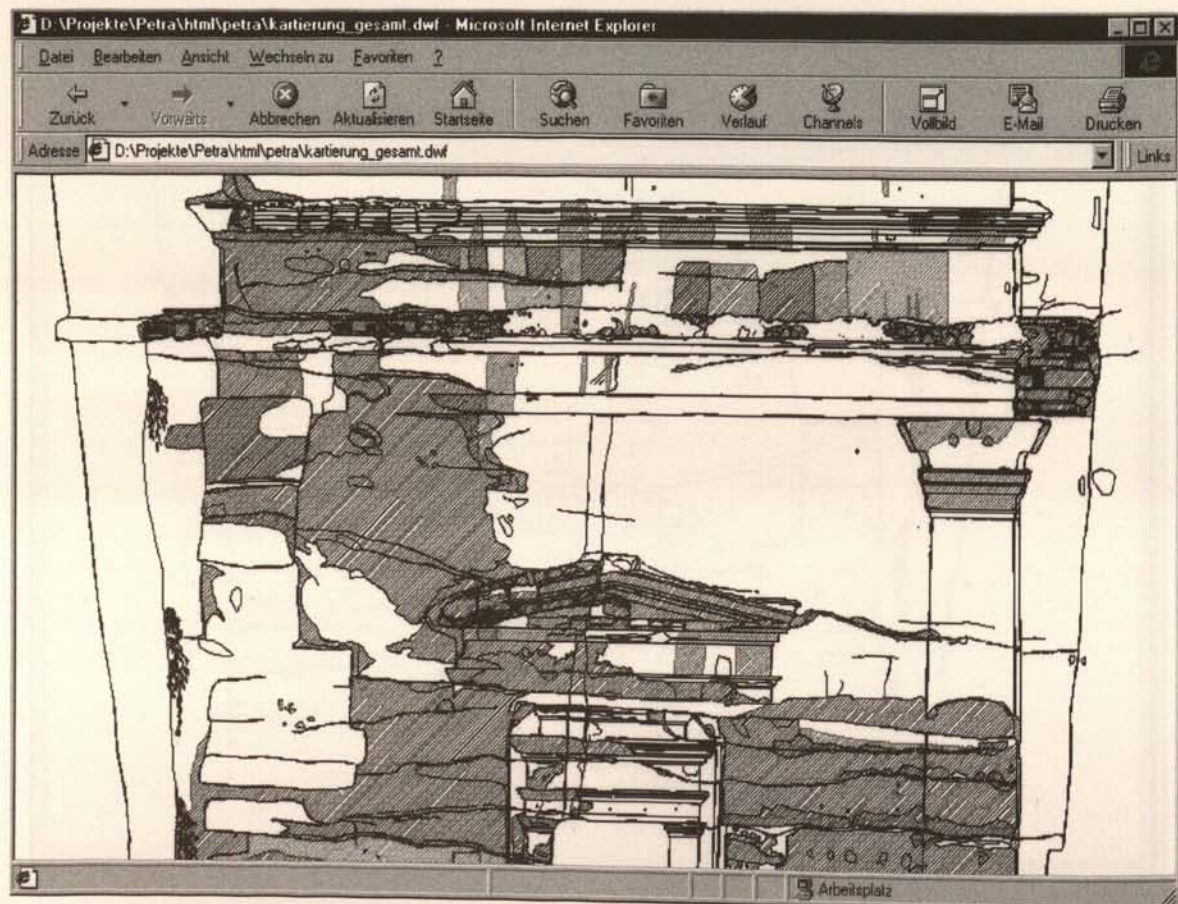


Abb. 15. Dokumentation Grab 825, Schadenskartierung (analog) / Fig. 15. Record of Tomb 825, damage mapping (analogous)

Abb. 16. Dokumentation Grab 825, Schadenskartierung (digital) / Fig. 16. Record of Tomb 825, damage mapping (digital)



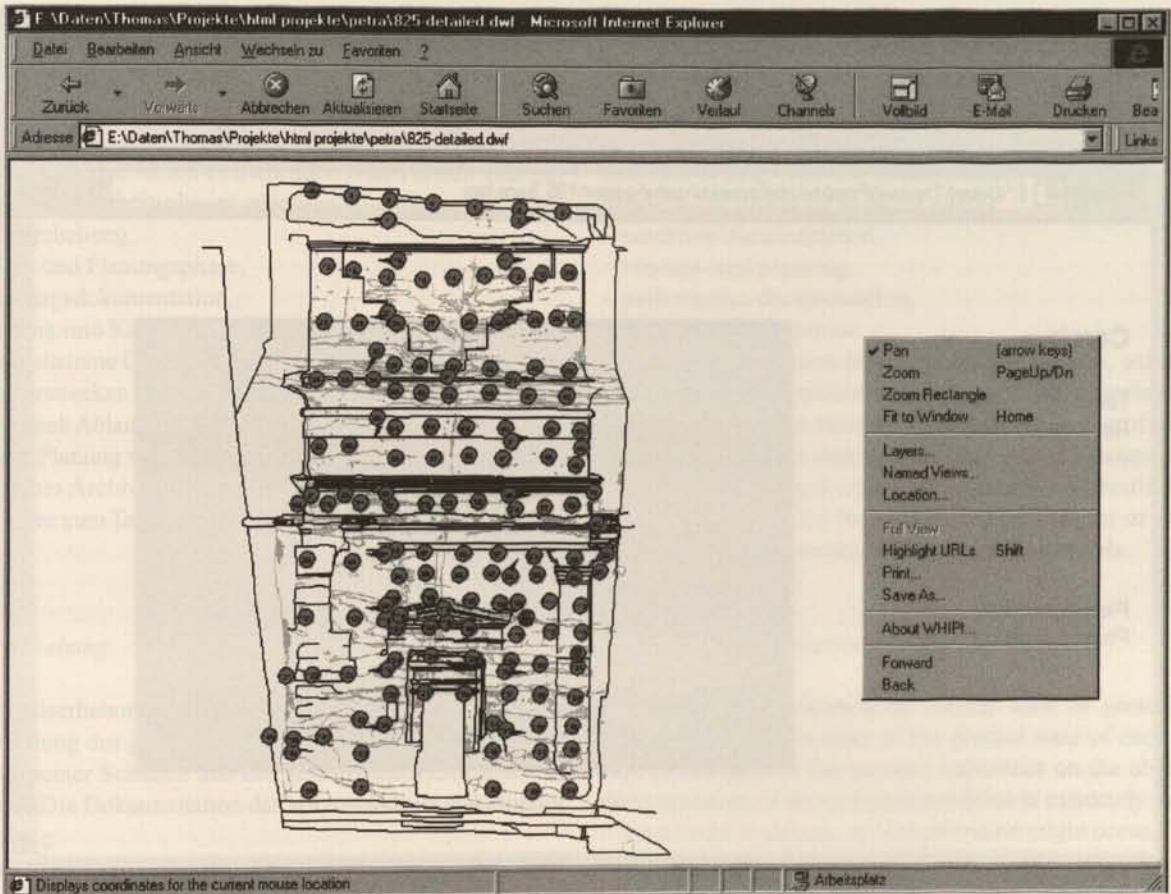
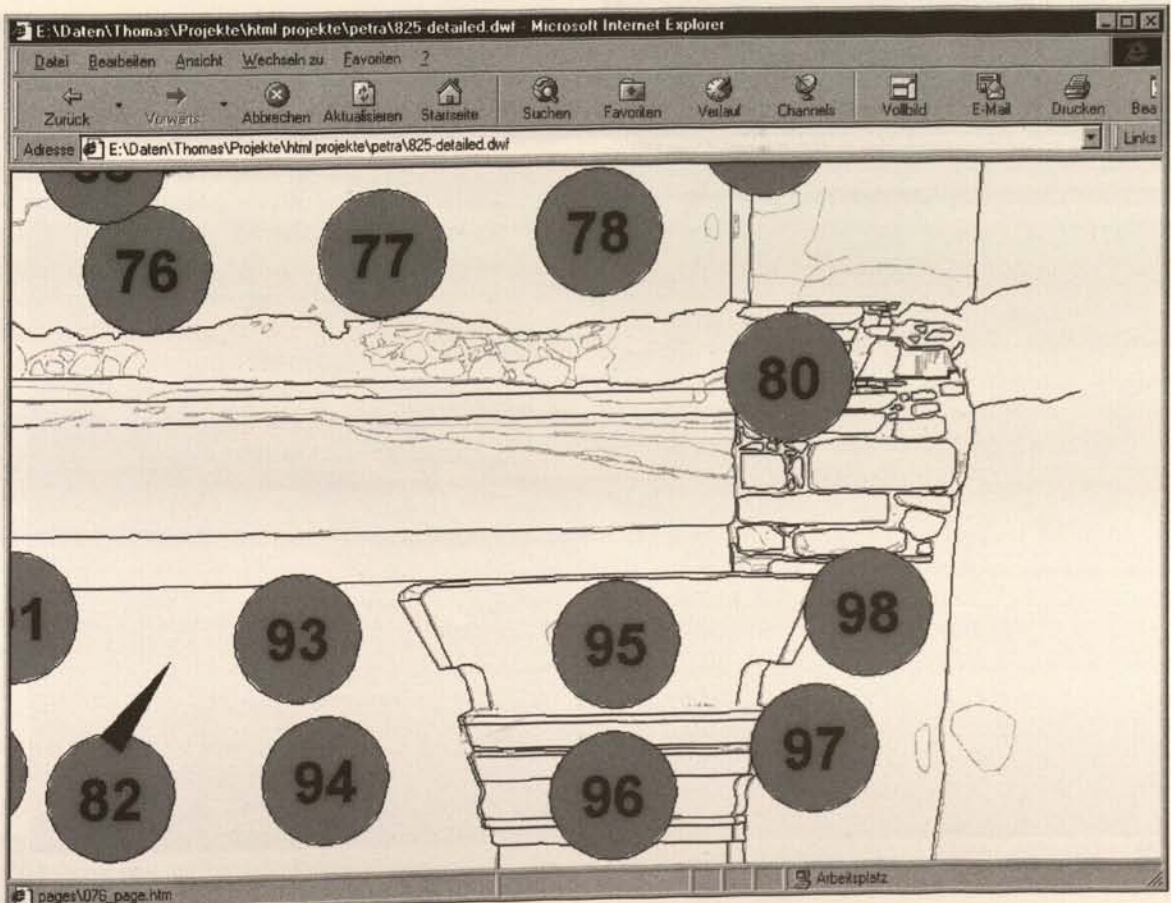


Abb. 17. Dokumentation Grab 825, Maßnahmen 1998, Verortung der Übersichtsfotos / Fig. 17. Record of Tomb 825, measures 1998, localizing survey photos

Abb. 18. Dokumentation Grab 825, Maßnahmen 1998, Verortung der Übersichtsfotos (Detail) / Fig. 18. Record of Tomb 825, measures 1998, localizing survey photos (detail)



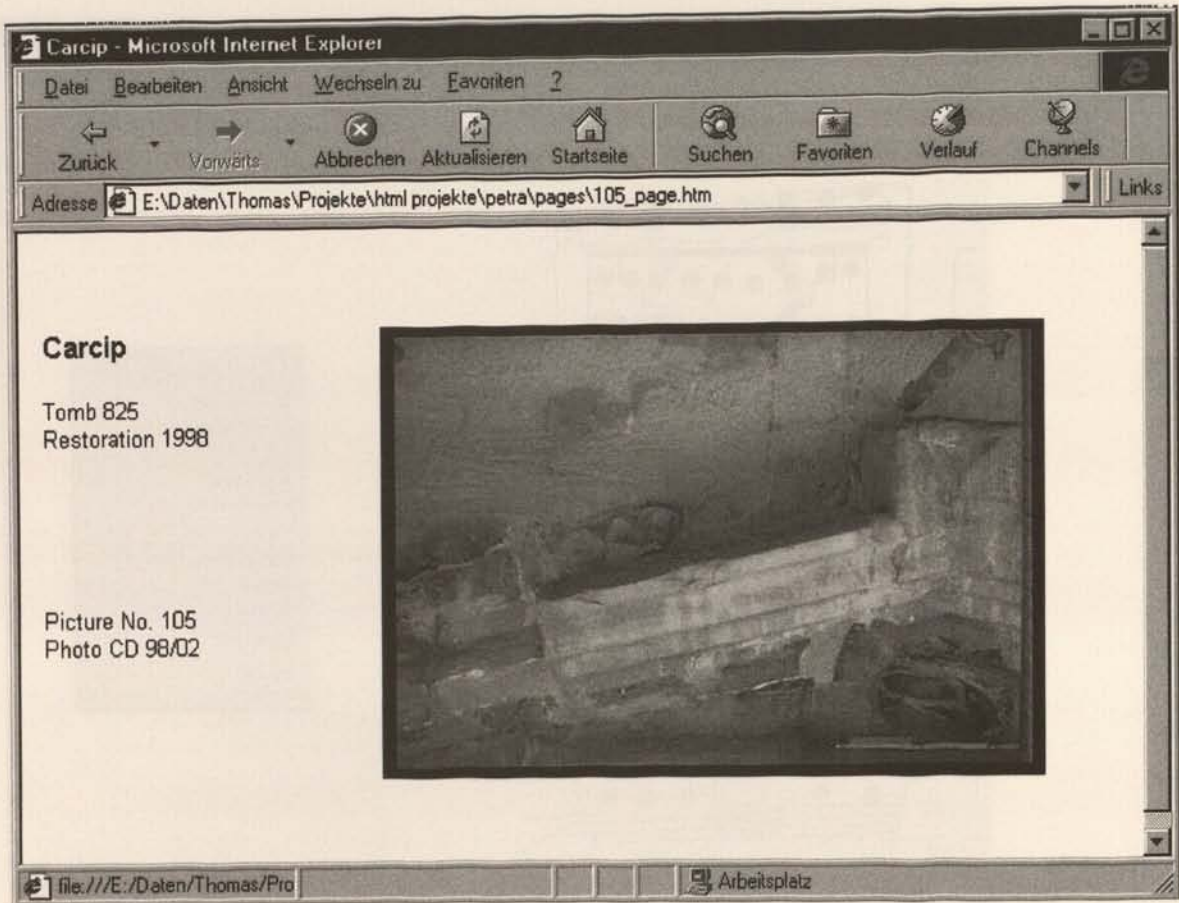


Abb. 19. Dokumentation Grab 825, Maßnahmen 1998, Übersichtsfoto (kl. Auflösung) / Fig. 19. Record of Tomb 825, measures 1998, survey photograph (small resolution)

Abb. 20. Dokumentation Grab 825, Maßnahmen 1998, Übersichtsfoto (mittl. Auflösung, Detail) / Fig. 20. Record of Tomb 825, measures 1998, survey photograph (medium resolution, detail)



Anhang 1 – Phasen der Denkmaldokumentation

Die bei der Dokumentation entstehenden Daten lassen sich generell folgenden Arbeitsphasen zuordnen:

- Bestandserhebung,
- Konzept- und Planungsphase,
- Ausführungsdokumentation,
- Monitoring und Kontrolle,

wobei sich einzelne Dokumentationsvorgänge auch über mehrere Phasen erstrecken können, da ein denkmalpflegerischer Eingriff auch nach Ablauf der oben genannten Phasen nicht beendet ist. Bei der Planung von Maßnahmen und der Einrichtung bzw. Führung eines Archivs ist zu beachten, daß sich die Arbeitsphasen ganz oder zum Teil in bestimmten zeitlichen Abständen wiederholen.

Bestandserhebung

Die Bestandserhebung (Vorzustand oder Istzustand) beinhaltet die Feststellung des gegenwärtigen Zustandes des Objekts, insbesondere seiner Schäden und der gefährdenden Einflüsse auf das Objekt. Die Dokumentation des Vorzustands ist insbesondere notwendig:

- aus wissenschaftlichen Gründen, da bei allen Maßnahmen z. T. erhebliche Veränderungen erfolgen können,
- als Grundlage zur Orientierung,
- als Basis für Erfolgskontrolle, spätere Maßnahmen, Schadensgeschichte,
- als Grundlage für Fragen der Reversibilität der Maßnahmen.

Hauptleistungen der Bestandserhebung sind:

- Festlegung und Begründung der Auswahl des Monuments,
- Archivarbeit zum Objekt und seiner (Restaurierungs)geschichte (Auswertung bisheriger Arbeiten, Altunterlagen, Bibliographien, Denkmallisten, Inventare, (Bau)Akten, Archive), Restaurierungsgeschichte auch mit Angaben zu negativen Ergebnissen („In diesem Archiv gibt es keine Unterlagen zum ausgewählten Objekt“),
- Dokumentation zu Standort und Umfeld, Lokalisierung des Monumentes, Lageskizze,
- Berichte, Protokollnotizen, Besprechungsprotokolle, Besichtigungsprotokolle, Notizen, Skizzen,
- Generelle Untersuchungen zu Klima- und Feuchtesituation, Geologie, Mineralogie, Tektonik und Statik,
- Bestandsaufnahme einschließlich Beschreibung (Befundbeobachtungen und Befunduntersuchung) zu: Materialeigenschaften und Zusammensetzungen, Werkstoffen, Werkspuren, Oberflächenbearbeitungen, Putzresten, Putzart Löchern, Arbeitsspuren, Inschriften, Marken, Zeichen, Farbmustern, Farbplänen, Farbarten, Fassungsschemata stratigraphischen Befunden (Putzschichten, baulichen Veränderungen, Schäden und Schadensbilder, Schadenskartierung, Gebrauchs- und Alterungsspuren,
- Exposition (Definition der objektspezifischen schadensrelevanten Einflüsse und der Umgebung),
- besondere Beobachtungen (wie die Klärung historischer

Supplement 1 – Phases of Historical Monument Documentation

The data arising with the documentation can generally be assigned to the following working phases:

- condition documentation,
- concept- and planning,
- performance documentation,
- monitoring and control.

Certain documentation processes may, of course, extend over several phases as a preservation campaign for historical monuments is usually not finished with the completion of the steps mentioned above. In regard to the planning of measures and the installation, resp. up-keeping of an archive, it should furthermore be kept in mind that single working phases or even the whole process will usually recur in certain intervals.

Condition Documentation

The condition documentation (earlier state or present state) comprises the observation of the present state of each object, esp. its damages or the harmful influences on the object. The documentation of the as-found-condition is extremely valuable:

- for scientific reasons, in case alteration might occur,
- as a basis for orientation,
- as a basis for success control, further measures, damage history etc.,
- as a basis for questions concerning the reversibility of the measures.

Main achievements of a detailed condition documentation are:

- determination and reasoning for the selection of the monument,
- archive work concerning the object and its (restoration) history (evaluation of previous work, old documents, bibliographies, monument lists, inventories, (structure) files, archives), restoration history integrating references to negative results as well (‘in this archive there are no documents about the selected object’),
- documentation of location and associated field, localization of the monument, draft of position,
- reports, minutes notes, minutes of meetings, minutes of inspections, notes, drafts,
- general examinations of climate- and humidity situation, geology, mineralogy, tectonics and statics,
- condition documentation including description (observance and investigation of outcome) concerning material qualities and compositions, materials, working tracks, surface, processings, plaster rests, plaster types, holes, work traces, inscriptions, marks, signs, colour patterns, colour plans, colour types stratigraphic results (plaster layers, structural alterations) damage and damage pictures, damage mapping, use and ageing tracks,
- exposition (definition of object-specific damage-relevant influences and surroundings),
- special observations (such as clarification of historical techniques at the object, architectural details, performance details),

Techniken am Objekt, Verhältnis der Tiefe des Einlasses zum Auskragen etwa von Gesimsen, Ausführungsdetails),

- Erläuterung und Begründung zu Art und Umfang der Bestandsaufnahme (warum (k)ein verformungsgerechtes Baumaß, ausschließlich Kleinbilddokumentation).

Konzept- und Planungsphase, Auswertung der Bestandserhebung

Die Konzept- und Planungsphase beruht in erster Linie auf der Auswertung der Bestandserhebung. Die Dokumentation dieser Phase ist insbesondere notwendig:

- aus wissenschaftlichen Gründen, zur Nachvollziehbarkeit der getroffenen Konservierungs- und Restaurierungsarbeiten,
- als Unterlage für Erfolgskontrolle, spätere Maßnahmen, Schadensgeschichte,
- Grundlagen für die Weiterführung begonnener Arbeiten bei Personalwechsel.

Hauptleistungen der Konzept- und Planungsphase sind die Erstellung von:

- Übersichtsplänen, Photoserien, Textunterlagen zu:
- Schadensdiagnostik, Materialverlust,
- besonderen Befundstellen,
- Maßnahmen (Restaurierungsplan),
- Testreihen zu Restaurierungsmethoden und Werkstoffen, Überprüfung und Auswahl der Restaurierungsmethodik,
- Rekonstruktionen von ursprünglichen Zuständen und Bauphasen,
- Gutachten und Bewertungen u. a. der Schadenspläne, der baugeschichtlichen Darstellung und der denkmalpflegerischen Bedeutung, Rahmenentwicklungsplan,
- Befundberichte, denkmalpflegerisches Konzept, Gestaltungskonzept, Sicherungskonzepte, Machbarkeitsstudien,
- Dokumente zur Klärung rechtlicher Fragen (wo kann was gefahrlos durchgeführt werden und über Jahre kein Gefahrenpotential für Monument und Besucher darstellen?),
- Untersuchungen zu vergleichbarer Problematik und Lösungen ähnlicher Fragestellungen in der Umgebung.

Durchführung der Maßnahmen, Ausführungsdokumentation

Die Ausführungsdokumentation ist insbesondere notwendig:

- als Entstehungsbeleg der baulichen Veränderungen,
- zur Erfolgsbeurteilung der getroffenen Maßnahmen,
- als Grundlage für Fragen der Reversibilität der Maßnahmen.

Hauptleistungen der Ausführungsdokumentation sind:

- die Erstellung von Planmaterialien mit der Verortung der getroffenen Maßnahmen (Steinaustausch, Vierungen, Festigungen, Überarbeitungen durch den Steinmetz, Probenentnahmen). Es werden Arbeitsabschnitte dokumentiert, nicht jede einzelne Tätigkeit, i. e.: Photos vor der Maßnahme, nach der Säuberung, nach der Anbringung von Dübeln und erfolgter Anbringung der Steinersatzmasse;
- die Führung eines „Projekttagbuches“ (Erläuterungen zu den Gründen, warum welche Monumente wie bearbeitet wurden und andere nicht, die es vielleicht nötiger gehabt hätten, welche Personen haben wobei mitgearbeitet und können grundlegende oder zusätzliche Informationen dazu liefern);

- explanation and reasoning concerning type and size of fact finding (why no / a deformation-adjusted construction measure, exclusively 35 mm photo documentation).

Strategy- and Planning Phase, Evaluation of Condition Documentation

The strategy- and planning phase first of all bases on the evaluation of the condition documentation. The documentation of this phase is especially needed:

- for scientific reasons, for the verification of the executed conservation and restoration work,
- as a basis for success controlling, later measures, damage history,
- as a basis for the continuation of the ongoing work in case of a staff change.

Main achievements of the strategy- and planning phase are the construction of:

- survey plans, photo series, text documents concerning,
- damage diagnosis, material losses,
- special evidence spots,
- restoration plan,
- test series concerning restoration methods and materials, checking and selection of the restoration method,
- reconstructions of original conditions and construction phases,
- consultants' reports and assessments etc. of the damage plans, the presentation of construction history and the importance in the field of monument care, frame-development plan,
- evidence reports, concept of monument care, styling strategy, saving strategies, studies concerning possibilities of realization,
- documents about the clarification of legal questions (what can be carried out where safely and without danger potential for monument and visitor?),
- examinations of comparable problems and solutions to similar questions in the surroundings.

Execution of the Measures, Performance Documentation

The performance documentation is especially necessary:

- as evidence of the rise of structural alterations,
- as success judgement of the taken measures,
- as basis for questions concerning the reversibility of the measures.

Main achievements of the performance documentation are:

- the construction of plan materials with the localization of the taken measures (stone exchange, squarings, strengthenings, revisions by the stonemason, samplings). Work sections are documented, not every single activity, i. e.: photos before the measure, after the cleaning, after the attachment of dowels and the application of a stone substitute;
- the keeping of a 'project diary' (explanations of the reasons for what reason a monument was treated in which way, why others were not, although it may have been more urgent, which persons cooperated where and can give basic or additional information);

- Protokolle zu den mit den einzelnen Maßnahmen gemachten Erfahrungen (Technologiebeschreibung, Ergänzungen, Korrekturen, Wiederholungen);
- Protokolle (Abnahme der Endkontrolle).

Monitoring, Kontrolle

Das in regelmäßigen Abständen vorzunehmende Monitoring der durchgeführten Restaurierungs- und Konservierungsarbeiten dient insbesondere der:

- Überprüfung des Konservierungs- und Restaurierungserfolges,
- Überprüfung und Hinterfragung der eingesetzten Methoden und Materialien.

Hauptleistungen des Monitorings sind generell:

- Prüfprotokolle,
- die Ergänzung vorhandener Dokumente, bzw.
- die Erarbeitung neuer Dokumente aus dem Spektrum sämtlicher bisher aufgeführter Leistungen.

Anhang 2 – Datenformen der Denkmaldokumentation

Die bei der Dokumentation anfallenden Datenformen lassen sich zusammenfassen in:

Texte

In Textform liegen in erster Linie die Dokumente der Verwaltung (Listen, Berichte, Korrespondenz) und der Methodenkritik (Analysen, Gutachten, Testreihen) vor. Sie werden in unterschiedlichen Ordnungssystemen inventarisiert und in unterschiedlichen Bürosystemen (Schubladen, Hängeregistaturen, Ordnern u. ä.) aufbewahrt. Die Verwaltung dieser Daten ist individuell sehr verschieden und reicht vom einfachen Ablegen bis zur Berücksichtigung von Kriterien wie nicht ausreichende Dokumentenechtheit bei licht- und wärmeempfindlichem Faxpapier, Computerausdruck auf säurefreiem Qualitätspapier und dokumentenechten Klarsichthüllen.

Zeichnerische Darstellungen, Pläne

Die zweite größere Dokumentklasse bilden Pläne und Zeichnungen. Diese dienen als Grundlagen für Kartierungen und Darstellungen sowie zur Veranschaulichung und Interpretation, sie werden durch textliche Beschreibungen ergänzt oder dienen als Ergänzung von Texten. Sie sind immer selektiv und interpretativ, erleichtern auf diese Weise die Darstellung des Wesentlichen im Sinne des Verfassers, ihr Wert ist demzufolge jedoch in sehr hohem Maße abhängig von der Spezialisierung und der Erfahrung des Erstellers. Wichtigste Dokumente in Planform sind Altunterlagen, Bestandspläne, Kartierungen, Maßnahmenpläne, u. ä.

Pläne und Zeichnungen weisen eine gegenüber den Texten deutlich umfangreichere Varianz an Formaten und Medien auf: In Pappmappen aufbewahrte Zeichnungen mit Bleistift auf Karton; Blaupausen in Aktenschränken, Bildpläne auf Folie oder Papier stellen nur einen Teil des vorhandenen Spektrums dar und

- minutes of the experiences made with the different measures (description of technology, additions, corrections, repetitions);
- minutes (approval of final check).

Monitoring, Control

The monitoring of the executed restoration- and conservation work in regularly repeated intervals especially serves the:

- checking of the preservation and restoration success,
- checking and critical questioning of the employed methods and materials.

Main achievements of the monitoring are in general:

- testing minutes,
- completion of existent documents,
- acquirement of new documents from the range of all achievements listed so far.

Supplement 2 – Data Forms of Monument Documentation

The data forms arising with the documentation can be comprised in:

Texts

In textform there are primarily the administration documents (lists, reports, correspondence) and those of method criticism (analyses, expert opinions, test series). They are inventoried in different order systems and stored in different office systems (drawers, hanging registries, files,...). The administration of these data is individually very diverse ranging from simple filing to the consideration of criteria such as insufficient document authenticity with light- and heat sensitive fax paper, computer print on acid-free quality paper and plastic folders accepted for official documents.

Graphic Presentations, Plans

The second larger group of documents comprises plans and drawings. These serve as bases for mappings and presentations just like for illustration and interpretation. They are completed by descriptions in textform or serve as addition to texts. They are always selective and interpretative, thus facilitating the presentation of the essentials in the author's intention, accordingly, however, their value is dependent on the specialization and experience of the editor to a great extent. The most important documents in plan form are older documents, condition plans, mappings, measure plans etc.

In contrast to the texts, plans and drawings are characterized by a clearly greater variance of formats and media: drawings in pencil on cardboard, stored in cardboard folders; blueprints in filing cabinets, picture plans on transparent film or paper only represent part of the existent spectrum and are dependent on the basic financial resources. Not only in oriental monument care

stehen in Abhängigkeit zu den finanziellen Grundbedingungen. Nicht nur in der orientalischen Denkmalpflege werden Originale platzbedingt gefaltet oder gerollt gelagert. Ein besonderer Hinweis gilt der z. Zt. noch nicht gegebenen Sicherheit zu Fragen der Langzeitarchivierung von CAD-erstellten Plänen, die gegenwärtig grundsätzlich auf Folie archiviert werden sollten sowie zusammen mit den Originaldaten auf elektrooptischen Datenträgern, von denen verlustfreie Kopien erstellt werden können.

Photos

Photos stellen Dokumente mit hoher Informationsdichte und Detailtreue dar. Sie sind zwar strenggenommen keine neutrale Dokumentationsform (räumliche Wirklichkeit wird flächig abgebildet, Farb-, Kontrastwerte und gewählte Papiersorte interpretieren das Monument), bieten jedoch Informationen, die durch die zeichnerische und beschreibende Dokumentation teilweise nicht abgedeckt werden können.

Historische Photos, Bilder aus Testreihen, die Photodokumentation der Bestandsaufnahme bilden einen Datenfundus, der gegenüber den übrigen Dokumentationsmedien am ehesten die Möglichkeit bietet, zu einem späteren Zeitpunkt Informationen abzurufen, derer man sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch gar nicht bewußt ist.

Während Zeichnungen und Pläne die Beurteilung von Materialien und ihren Eigenschaften, bedingt durch Farbe und Oberflächenstruktur nur sehr eingeschränkt ermöglichen, ist dies mit Photographien möglich.

Die Erstellung sinnvoll nutzbarer Photographien bedarf einer gewissen längeren Erfahrung und Routine, die Nutzungsmöglichkeiten der Photos sind jedoch wesentlich weniger abhängig von Können und Erfahrung des Erstellers als dies für Pläne und Zeichnungen gilt. Problembereiche können entstehen durch Kriterien wie Schärfe, Beleuchtung und Ausarbeitung. Schlecht oder gar nicht abrufbare Informationen aus Photos gibt es in Dunkel- oder Schattenzonen sowie verdeckten Partien.

Photos sind die empfindlichsten Medien der Dokumentation, ihre Langzeitarchivierung unterliegt einem vergleichsweise höheren Pflegeaufwand. Dieser beginnt bereits bei der professionellen Entwicklung, Fixierung und Wässerung, wie sie von den automatischen Entwicklungsmaschinen der meisten Labors nicht gewährleistet wird.

Von größerer Bedeutung sind die Auswahl des Materials und des genutzten Formates.

SW oder Farbe

Das SW-Negativ ist aufgrund der längeren Haltbarkeit und der größeren Schärfe dem Farbnegativ vorzuziehen, wird Farbinformation gewünscht, so sollten Diapositive gemacht werden. Im Fall von Petra und seiner geologischen Aspekte der Monumente kommt der Farbphotographie insofern auch besondere Bedeutung zu, als die höhere Erkennbarkeit und Interpretationsmöglichkeit von Farbphotographien auch dann gegeben ist, wenn die Farbwerte nicht identisch mit den natürlichen Farben sind. Mit Hilfe von Farbkarten ist eine Kalibrierung auch digitaler Farbphotos möglich, jedoch nicht einfach.

are originals stored in folded or rolled manner due to the space available. A special note aims at security, which is not yet given, concerning questions of long-term archival of CAD-constructed plans. At present, they should basically be archived on transparent film, and together with the original data on electro-optical data carriers, of which loss-free copies can be made.

Photos

Photos present documents with high information density and detail exactness. Though they have never been a neutral means of documentation (spatial reality is shown flat, colour-, contrast results and selected paper quality interpret the monument), they give information only partially covered by graphical and descriptive documentation.

Historical photos, pictures from test series, the photo documentation of condition documentation form a data source, which, compared to the other documentation media, is most likely to offer the possibility to find information still beyond our horizon today at a later point of time.

While drawings and plans enable a judgement of materials and their qualities only to a limited extent, due to colour and surface structure, photographs are more easily readable.

The production of usable photographs requires some experience and routine, the possibilities of understanding on the side of the user, however, are considerably less dependent on skill and experience of the producer than this is true for plans and drawings. Problems may arise from criteria like sharpness, illumination and elaboration. Only in dark or shady zones or covered areas are photos not able to provide satisfactory results and detailed information.

Photography is still the most sensitive medium for documentation, long-term archival of photographs is thus submitted to a comparably higher care intensity. The latter does already start with professional development, fixation and hydration, as it is not guaranteed by the automatic developer machines of most laboratories.

The selection of the material and the used formats are of greater importance.

Black and White or Colour

Due to its longer durability and its greater sharpness the black and white negative is to be preferred to the colour negative. If colour information is desired, slides should be made. In the case of Petra and its geological aspects colour photography gains special importance. The higher recognizability and the possibility of interpretation of colour photographs is given even where the colour values are not identical with the natural colours. With the help of colour boards a calibration even of digital colour photos is possible, though not easy.

Mittelformat wird in der Regel eingesetzt für Aufnahmen im Übersichtsbereich, während die Kleinbildkamera den gesamten Fortgang der Arbeiten begleitet (Detaildokumentation von Befunden vor, während und nach den Restaurierungen, Dokumentation von Versuchsreihen, Arbeitsphotos, Diapositive für Demonstrationen etc.). Ausschlaggebend für die Formatwahl ist jedoch auch die Erkennbarkeit (Entfernung zum Objekt) des gewählten Ausschnittes und das photographische Know How („gute Kleinbilder sind besser als mittelmäßige Mittelformatphotos“): je größer das Negativ, desto komplexer die Ausleuchtung.

Beim Kleinbild muß zudem die höchste Leistungsstufe bei Objektiven, Filmen und Ausarbeitung gewählt werden, mittelmäßige Objektive sind wertlos. Eingebaute Belichtungsmesser und Prismensucher sind zweckmäßig, die Beschränkung auf vollautomatische Belichtungen dagegen nicht.

In der Praxis der Restaurierungsdokumentation liegt das Verhältnis von Abbildungen im Mittelformat zu Photos im Kleinbildformat erfahrungsgemäß zwischen 1 : 10 und 1 : 20. In naher Zukunft ist darüber hinaus davon auszugehen, daß die Detailphotographie zur Befund- oder Arbeitsdokumentation mit Hilfe digitaler Kameras durchgeführt wird. Digital aufgenommene Photos werden dann mit wenigen Stichworten wie Objekt, Datum, Inhalt in einer Datenbank abgelegt. Der gegenwärtig bestehende, vergleichsweise hohe Aufwand der Nachbearbeitung (Rahmung und Beschriftung der Dias, Zuordnung der Negative usw. und der kontraproduktive Umstand, daß die Bearbeitung immer deutlich zeitlich versetzt stattfindet, wenn ein Film voll ist, wird durch digital aufgenommene Detailphotos gemindert.

Die gegenwärtig herstellbare Qualität von Mittelformat-Negativen wird dagegen mittelfristig nicht durch digitale Technik ersetzt werden können. Hier sollte daher vor allem langfristig haltbares Photomaterial (SW) benutzt werden und auf eine sachgerechte Lagerung der Filme geachtet werden.

Desweiteren zur Photodokumentation

Eines der wichtigsten Requisiten ist eine Nummerntafel oder auch ein Nummernblock (kann aus einem Ringbuch selbstgefertigt sein), der als Beschriftung des Negativs mit abgebildet wird (muß enthalten: Monument, Datum, Filmnummer, evtl. Farbskala):

Photographieren in der Denkmalpflege ist Arbeitsgrundlage für mehrere Generationen: Eine Gesamtaufnahme von Grab 825 ist auch später identifizierbar, das Übersichtsphoto eines der „nabatäischen Gräber“ läßt sich nur selten, Detailphotos einzelner Gräber dagegen gar nicht mehr eindeutig einem bestimmten Grab zuordnen. Der weitaus größte Teil der Photos benötigt daher Beschriftungen und Erkennungsmerkmale, um als Arbeitsvorlage dienen zu können. Nicht beschriftete Photos sind – mit Ausnahme von Gesamtaufnahmen – wertlos. Auch Maßstäbe oder als Maßstab dienende Gegenstände sollten mit photographiert werden.

Farben lassen sich trotz Farbkarten kaum richtig wiedergeben, Farbmaterial ist zudem eher Änderungen durch Alterung unterworfen. Wird Farbdokumentation gewünscht, so müssen Farbkarten mit photographiert werden.

Die Lagerung der Negative sollte in Pergamintaschen erfolgen, angesichts der klimatischen Situation und des Staubes in

The middle format is usually applied for photos in the overview area, while the 35 mm camera accompanies the complete progress of the work (detail documentation of evidences), during and after the restorations, (documentation of test series, work photos, slides for demonstrations, etc.). Decisive for the choice of the format, however, is also the detectability (distance from the object) of the chosen section and the photographical know-how ('good 35 mm photos are better than middle-format photos of medium quality'): the bigger the negative, the more complex the illumination.

With the 35 mm photo, the highest performance level of lenses, films and elaboration must be chosen, mediocre lenses are worthless. Integrated exposure meter and viewfinder are suitable, whereas the limitation to fully automatic exposures is not.

In the practice of restoration documentation experience has shown that the ratio of images in middle-format to photos in 35 mm format lies between 1 : 10 and 1 : 20. It is moreover to be assumed that in the near future detail photography for evidences or work documentation will be carried out with the help of digital cameras. Digitally taken photos will then be filed in a data base with few keywords like object, date, contents. The presently existent, comparably high expense of post-processing (framing and lettering of the slides, allocation of the negatives) and the contra-productive circumstance that the processing always takes place with a clear time lag once a film is full, is made much easier by detailed photos taken digitally.

A medium-term replacement of the presently producible quality of middle-format negatives by digital technique will not be possible, however. Here, long-term durable photo material (black and white) ought to be used and attention paid to a proper storage of the films.

Further Remarks on Photographic Documentation

One of the most important requisites is a number panel or a number block (can be self-made from a ring binder) which is shown as lettering of the negative as well (must contain monument, date, film number, possibly colour range):

Photographing in the field of monument care is the working basis for several generations: a complete taking of Tomb 825 is identifiable even later, the overview photo of one of the 'Nabataean Tombs' is rare, detailed photos of individual tombs, on the other hand, are not at all unmistakably allocable to a specific tomb any more. By far the greatest part of the photos therefore need lettering and recognition characteristics in order to serve as working material. Unlettered photos are worthless – except for total takings. Scales or objects serving as scales should also be included in the photograph. Despite the use of colour boards colours can hardly be reproduced properly, colour material is also more likely submitted to change due to ageing. If colour documentation is desired it is necessary to include colour boards into the photograph.

The storage of the negatives should be practiced in glassine bags and, considering the climatic situation and the dust in Jordan, better not in the office rooms of the project. With professional storage, black and white negatives have a life expectancy of 50 to 100 years, colour negatives and -slides a much shorter one (< 20 years) and it is not even possible to base considerations on incoming photographical stock (colour or black and

Jordanien besser nicht in den Büroräumen des Projektes. SW-Negative haben bei professioneller Behandlung eine Lebensdauer von 50–100 Jahren, Farbnegative und -Diapositive eine erheblich kürzere (< 20 Jahre), es kann in Amman jedoch noch nicht einmal davon ausgegangen werden, daß photographische Neuzugänge (Farbe oder SW) denkmalpflegerischen Kriterien entsprechend entwickelt und gewässert wurden. Abzüge werden daher nur bei Bedarf erstellt, auch um die Lagerungsproblematik von Abzügen zu umgehen. Dias sollten grundsätzlich auf CD-ROM kopiert werden, was bei einem Preis von ca. 1 DM pro Aufnahme nicht nur wirtschaftlich sinnvoll ist, während die Originale ausgelagert sind.

Digital gespeicherte Medien (Papier, Photos) verändern sich nicht, sondern sind – bei entsprechender Pflege – nach langen Zeiträumen unverändert darstellbar und kopierbar, im Gegensatz etwa zu Diapositiven oder Farbphotos, deren Farbe sich schon in kürzester Zeit verändern kann.

Anhang 3 – Zentrale EDV-gestützte Projektverwaltung

Die elektronische Datenbank eines Autohauses, in der sämtliche Einzelteile verschiedener Produktlinien verschlüsselt in Verbindung mit Preisklassen, Bestandsmengen und Varianten abgefragt werden, würde im Petra-Projekt eine schwer einzugrenzende Eigendynamik entwickeln. Übertragen auf die Gebiete der Archäologie und Kunstgeschichte könnten aus einer mit großem Aufwand eingerichteten und penibel verschlüsselten Datenbank komplexe Abfragen durchgeführt werden, die zwar sehr schnell zu Ergebnislisten führen, deren methodische Aussagekraft jedoch nicht gesichert ist. Soll beispielsweise eine Aussage über sämtliche Stellen getroffen werden, bei denen ein bestimmtes Konservierungsmaterial eingesetzt wurde, so bedarf es einer sehr detaillierten (exakte Angaben zu Verdünnung, Menge, Behandlung) und fehlerfreien Eingabe (bereits ein falsch gesetztes Leerzeichen verhindert das erfolgreiche Suchen in einer Datenbank) sowie einer dieser Verschlüsselung exakt gehorchenden Abfrage (suche alle Objekte für die gilt ja/nein und/oder, nicht, kleiner, größer und Kombinationen davon). Die dann erhaltene Ergebnisliste berücksichtigt möglicherweise nicht den Materialaufbau verschiedener Objekte oder andere der Vergleichbarkeit der Monumente entgegenstehenden Kriterien.

Eine globale digitale Dokumentationsdatenbank ist für das Projekt in Petra daher nicht zu empfehlen, die Führung einer EDV gestützten Anwendung zur Projektverfolgung und Kontrolle dagegen ebenso sinnvoll wie die bisher genutzten EDV-Komponenten wie Textverarbeitung und CAD. Dieses „Projekt Management Tool“ bietet sich zur Vereinheitlichung, Strukturierung und Kontrolle von Dokumentation und Vorbereitung der Archivierung (unabhängig ob analog oder digital) an. Es handelt sich dabei um eine Datenbank-Anwendung, die einen Überblick über den Bearbeitungsstand der jeweiligen Monumente ermöglicht oder beispielsweise auch die für die einzelnen Arbeiten notwendigen Formblätter ausgibt, also einer Checkliste vergleichbar genutzt werden kann.

Die Auswahl des abzufragenden Monumentes erfolgt über die Darstellung einer topographischen Karte von Petra, auf der die einzelnen Monumente als Symbole dargestellt sind. Als Grundlage kann hier gescanntes Kartenmaterial oder eine digitale topographische Karte dienen, auf der das gewünschte Monument mit Mausklick ausgewählt wird.

white) being developed and watered according to criteria of monument care. Copies are therefore only made on demand and additionally to avoid the storage problems of copies. Slides should principally be copied on CD-ROM, which – considering the price of approx. 1 DM per recording – is not only economically reasonable, while the originals are evacuated.

Digitally stored media (paper, photos) do not alter, but are presentable unchanged and copyable after a long time in contrast, for example, to slides or colour photos, whose colour may change within a very short period of time.

Supplement 3 – Central EDP-Supported Project Administration

The electronic data bank of a car dealing business, in which all components of different product lines are retrieved as codes in connection with price ranges, stock quantities and variants, would develop a momentum in the Petra project which would be difficult to confine. Transferred to the fields of archaeology and history of art, complex inquiries could be carried out from a data bank established at great expense and encoded pedantically, which would lead to result lists quickly but whose methodic propositional force, however, is not secured. If, for example, a statement is to be made about all fields in which a certain preservation material has been used, an input is required which is very detailed (exact statements concerning thinning, quantity, treatment) and faultless (searching a data bank successfully can already be undermined by a wrongly positioned space mark). Additionally, an enquiry is necessary which follows the encoding exactly (searching for all objects for which is valid yes/no, and/or, not, smaller, larger and combinations of this). The result list, then obtained, possibly does not take the material structure of different objects into account or other criteria, opposed to the comparability of the monuments.

A global digital documentation data bank is thus not recommendable for the Petra project, the keeping of an EDP-based application for the purpose of project tracing and control, on the other hand, as meaningful as the so far used EDP-components such as text processing and CAD. This ‘project management tool’ offers itself for unification, structuring and control of documentation and preparation of archival (no matter if analogue or digital). This is a matter of data bank application which enables a survey of the processing status of the respective monuments or also hands out the forms necessary for the various types of work, for example, meaning that it can be used comparably to a checklist.

The selection of the monuments to be queried happens via the presentation of a topographical map of Petra, on which the different monuments are presented as symbols. Here, scanned map material or a digital topographical map on which the desired monument is selected by mouse click, can serve as a basis.

In view of the conditions given in the project – with generally different languages, different professional training, a number of different programs on strongly varying computers as well as the

Angesichts der im Projekt vorhandenen Gegebenheiten mit generell unterschiedlichen Sprachen, unterschiedlichen Ausbildungen, einer Fülle von verschiedenen Programmen auf stark variierenden Rechnern sowie den unterschiedlichsten Formen von Dokumenten bedarf es eines Verwaltungswerkzeugs, das diese Varianz berücksichtigt, nicht aber den erfolglosen Versuch unternimmt, dieses kreative Durcheinander zu stoppen.

Wichtigste Kriterien dieses Werkzeuges sind:

- eine Vorgabe zu den einzelnen Arbeitsschritten. Bei Eingabe eines neuen zu bearbeitenden Monuments werden entsprechend vorbeschriftete Formblätter und Listen eingerichtet. Auf diesem Weg wird eine größere Vollständigkeit der Dokumentation erreicht, bzw. das versehentliche Auslassen einzelner Dokumentationsvorgaben erschwert;
- die Verwaltung analoger und digitaler Dokumente aller Formate. Es sollte zudem eine Datenbankstruktur gewählt werden, die sämtliche Informationen eines Details – in diesem Fall zu einer Grabfassade – verwaltet und zugänglich macht, d. h. auch EDV-verwaltete Texte, Zeichnungen oder Datenbankdaten sowie gescannte Unterlagen wie handschriftliche Notizen, Publikationen o. ä. Nach dem Aufruf der ausgewählten Daten sollte es dann möglich sein, aus der Datenbank heraus ein Textverarbeitungsprogramm aufzurufen, das die entsprechenden Texte präsentiert, bzw. ein CAD Programm zu starten, um entsprechende Zeichnungen zu bearbeiten;
- Sortier- und Gruppiermöglichkeiten, etwa um auf Tastendruck alle Informationen zu einem Monument oder einer Seite eines Monumentes zu erschließen, z. B. als Zugriff in die Bilderverwaltung. Die Bilder können in einer geringeren Auflösung auf dem Bildschirm angezeigt werden, zusammen mit entsprechenden Verweisen auf Art und Ablage der Originale. Gedacht ist hier nicht an eine relationale Datenbank mit dezidiert aufgeschlüsselten Kriterien, sondern an eine objektorientierte Datenbank, in der die Daten nicht zerlegt, sondern als komplexe Objekte abgespeichert werden. Such- und Erschließungskriterien sind wenige Angaben, die auch bei der Archivierung der Daten berücksichtigt werden, wie Datum, Bearbeiter, ein sinnvoller Kurzcode und einige Stichworte.

most different forms of documents, there is the need of an administration tool which takes this variance into account and does not attempt to stop this creative disorder.

The most important criteria of this tool are:

- an assignment for the different work steps. When inputting a new monument to be treated forms and lists, which are correspondingly lettered, are established. Thus, a greater completeness of the documentation is achieved, resp. the accidental omission of singular documentation assignments are made more difficult.
- the administration of analogue and digital documents of all formats. Furthermore, a data bank structure should be chosen, which administers the full amount of information of one detail – in this case of a tomb façade – and makes it accessible, i.e. EDP-administered texts, drawings or data bank dates as well as scanned documents such as handwritten notes, publications and others. After calling up the selected data it should be possible to activate a word processing program from the data bank, which presents the respective texts, resp. to start a CAD program in order to work on corresponding drawings.
- Sorting and grouping possibilities like deducing all information about a monument or a side of a monument on keystroke, e. g. as access to picture administration. The pictures can be shown on the display in a lower resolution, together with respective references to type and filing of the originals. A relational data base with decidedly unfolded criteria is not thought of here, but an object-oriented data bank, in which the data are not taken apart but stored as complex objects. Search- and unfolding criteria are few details which are also taken into account with the archival of the data, such as date, editor, a meaningful short code and several keywords.

Translation from the German into English by Bettina Urban

Methoden und Techniken, die bei der Dokumentation der Monumente in Petra angewendet werden

Methods and Techniques Applied in the Recording of the Monuments in Petra

Methoden der Erfassung

Grundlage aller Konservierungs- und Restaurierungsmaßnahmen ist die Erfassung und Beurteilung des Denkmälerbestandes, dem die Erhaltungsbemühungen gelten. Auf diese Notwendigkeit ist schon 1964 in der Charta von Venedig hingewiesen worden, doch haben sich die dort formulierten Forderungen international erst langsam durchgesetzt. In Jordanien werden sie im Rahmen des deutsch-jordanischen Projekts zum Aufbau eines Konservierungs- und Restaurierungszentrums in Petra umgesetzt und, den Zielsetzungen des jeweiligen Vorhabens entsprechend, auf zwei Arten angewandt. Diese unterscheiden sich lediglich im Grad der Genauigkeit und dem Ausmaß der eingesetzten Mittel. Die erste ist eine allgemeine Erfassung und Beurteilung der Monumente im Rahmen einer Inventarisierung, die zweite ist eine detaillierte Erfassung und Beurteilung durch exakte Aufmaße, Bauforschung und naturwissenschaftliche Untersuchungen, die den geschichtlichen und technischen Aspekt aus Anlaß einer geplanten Maßnahme darstellt. Durch diese Arbeiten werden die für die Festlegung eines Konservierungskonzeptes wichtigen Daten gewonnen. Jedes andere Vorgehen wäre grob fahrlässiger Umgang mit den Denkmälern, weil Eingriffe ohne Kenntnis der Objekte, an denen die Eingriffe vorgenommen werden, zwangsläufig zu Zerstörung und Schäden führen.

Für die allgemeine Bestandserfassung wird ein Orthophoto, d. h. eine photographische Gesamtaufnahme des Monuments mit metrischen Angaben, die weitgehend maßstabsgetreu und verzerrungsfrei ist, angefertigt. Sie dient als Dokumentation des überlieferten Zustands eines Monuments vor allen Eingriffen. Maßstabsgerechte, mit einer Spezialsoftware bearbeitete Ausdrucke des Orthophotos werden als Kartierungsgrundlage verwendet, auf die jeweils verschiedene Beobachtungen und Arbeitsanweisungen eingetragen werden können.

Die detaillierte Bestandserfassung enthält ebenfalls ein Orthophoto als Vorzustandsdokumentation eines Monuments, aber zusätzlich ein exaktes Aufmaß der Fassade mit allen ihren architektonischen Charakteristika. Dieses Aufmaß, der Bestandsplan, wird im allgemeinen in zwei Etappen erarbeitet: In der ersten Etappe, vor der Errichtung des Gerüsts an der Fassade, wird das Monument elektronisch vermessen. In der zweiten Etappe, nach der Errichtung des Gerüsts, wenn alle Teile des Monuments zugänglich sind, wird das elektronische Aufmaß durch wichtige Detailzeichnungen ergänzt, die wiederum elektronisch und/oder durch exaktes Handaufmaß angefertigt werden. Das detailgetreue Handaufmaß ist für die Bauforschung insofern von unschätzbarem Wert, als der Architekt dabei zu genauester Beobachtung gezwungen ist. Gleichzeitig werden Materialproben des Gesteins, von Putz und Farbresten und möglicherweise auch von Ablagerungen für naturwissenschaftliche Analysen entnommen. Das Resultat dieser detaillierten Dokumentation ist im allgemeinen ein Satz von vier thematisch verschiedenen Plänen, in

Methods of Recording

The recording and evaluation of monuments and sites, to which the preservation efforts are dedicated, forms the basis of all conservation and restoration measures. Though the Charter of Venice has pointed to this necessity in 1964 already, the demands formulated have not been implemented on an international scale. In Jordan they will be realized in the framework of the German-Jordanian project with the installation of a conservation and restoration center in Petra. In regard to the aims of the project, the recording will be accomplished in two different ways, which differ only in the degree of precision and in the quantity of means acquired to produce them. The first type of record is a general recording and characterization of the monuments within the outlines of an inventory. The second type of record is a more detailed recording by means of an exact architectural survey, architectural research and scientific investigation, including an historical account and scientific data related to the conservation and restoration campaign. From such information the conservation concept can be elaborated. Any other approach conducted without such essential preparatory steps prior to the actual restoration would not only be irresponsible, but could also lead to unforeseen results and an even increased damage to the monument.

The general record essentially includes i. e. a rectified photograph, a photographic record of the whole monument that contains metric information, is widely true to scale and distortion free. They serve on one hand as documentation of the 'as found condition' of a monument, previous to any interventions and on the other hand, if computer prints are produced, also as simple basemaps into which preliminary working plans for various purposes can be drawn. These basemaps are e. g. used to enter the results of a condition assessment of the overall state of preservation of a monument, lithological observations, or for monitoring and recording any changes in the condition of the monuments. They may also be used in the planning and execution of preventive or maintenance measures through appropriate entries in the basemap.

The detailed record consists of a much larger number of documents. It also includes a rectified photograph as documentation of the 'as found condition', but additionally an exact measurement of the façade including all architectural features. This type of survey is commonly obtained in two stages: In the first stage prior to erection of the scaffolding in front of the façade, the monument is electronically surveyed. Then, in the second stage, after the scaffolding has been erected, accessibility to all parts of the monument allows further detailed documentation by using again either the electronic surveying technique and/or exact hand measurements. Exact hand measurements are of unequalled value for architectural research, as the architect is forced to record extremely detailed observations. At the same time ma-

welche alle Beobachtungen und Informationen mit Farbcodes oder graphischen Symbolen eingetragen sind:

- ein Bestandsplan als Ergebnis detaillierter Untersuchungen, in dem alle Spuren menschlicher Tätigkeit wie z. B. architektonische Charakteristika, Werkzeugspuren, Inschriften, Einritzungen und Spuren der Bautätigkeit eingezeichnet sind;
- eine Schadenskartierung, welche die verschiedenen Typen des materiellen Substanzverlusts, der Verwitterung und der Veränderung bezüglich des originalen Zustandes enthält;
- eine lithologische Kartierung mit Angaben der sedimentären und/oder petrologischen Charakteristika der verschiedenen Teile des Monuments, die im allgemeinen auf ganz bestimmte Gesteinsschichten beschränkt sind;
- ein Maßnahmenplan, der in Korrespondenz zur Schadenskartierung alle geplanten Maßnahmen zur Behebung bzw. Reduzierung der Schäden, ebenfalls in Form von Farbcodes oder graphischen Symbolen, enthält.

Die drei zuerstgenannten Pläne bilden die Grundlage und unverzichtbare Voraussetzung für die Ausarbeitung des vierten Plans, in dem alle Festlegungen des Restaurierungskonzepts graphisch dargestellt sind.

Eine detaillierte Erfassung wird für gewöhnlich nur dann durchgeführt, wenn die Konservierung und Restaurierung eines Monuments geplant ist, d. h. wenn der Konservator die notwendigen Informationen und der Restaurator entsprechende Instruktionen benötigt.

material samples of stone, plaster and remains of colour and possibly also sediments are taken for scientific analysis. The result of this detailed record is a set of four maps or theme plans into which all observations and information are entered by means of specific colour codes and symbols. The four thematic plans thus generated are:

- an exact measurement which is the result of a detailed examination and includes all traces or signs of human intervention, such as architectural features, tool marks, inscriptions, graffiti and signs or remnants of the construction activity;
- a damage assessment indicating the various types of material loss, destruction and changes from the original state;
- a lithological map, providing information on sedimentary and/or petrologic characteristics of various parts of the monument that are commonly confined to specific layers;
- an action plan indicating the actions to be taken in the restoration process, introducing all measures of caretaking and reduction of faults in the form of colour codes or graphic symbols.

The first three maps mentioned and the other documents and investigations outlined before form the bases and essential prerequisite for the elaboration of the restoration concept.

The detailed record is usually elaborated only where the conservation and restoration of a monument is planned and the curator is in need of information and the restorer of the respective instructions.

Abb. 1. Arbeit mit der Totalstation on-line mit dem Computer / Fig. 1. Working with total station connected on-line to the computer



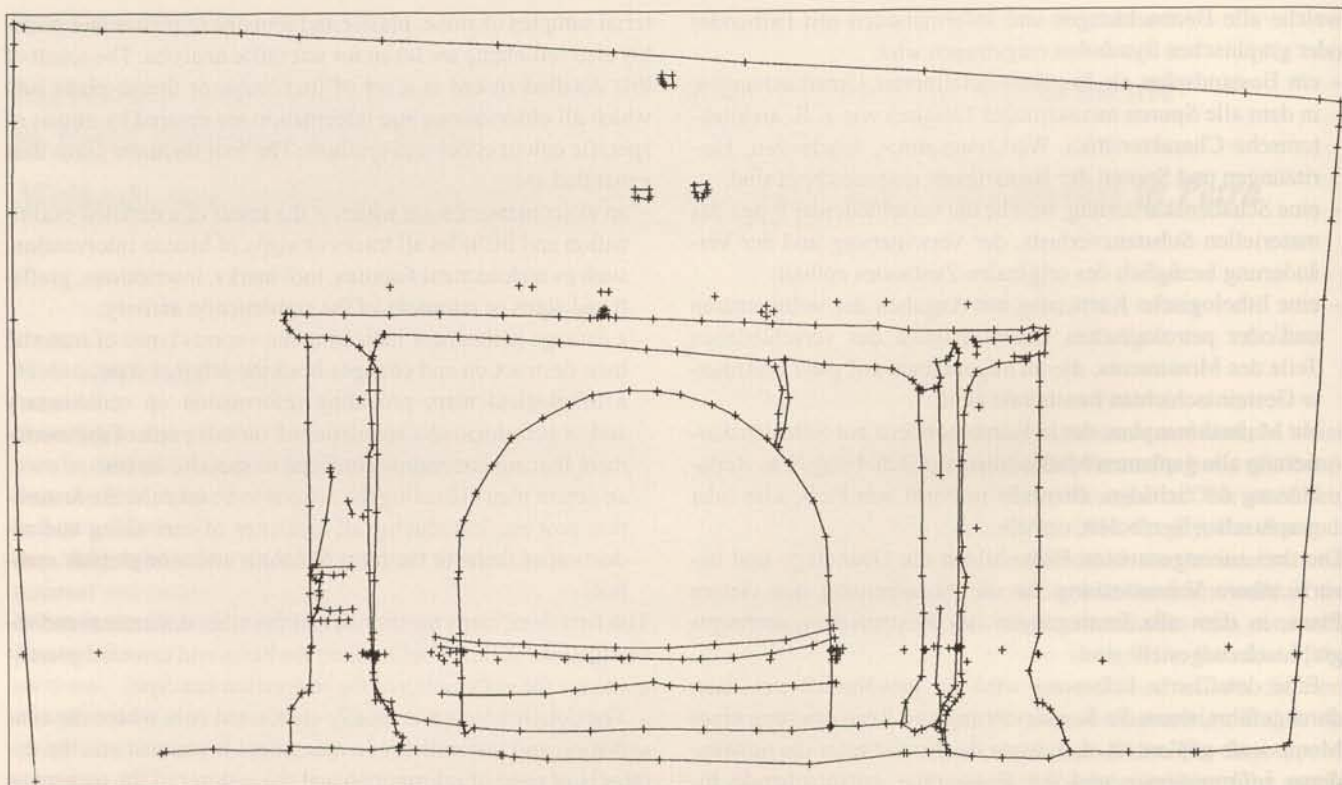


Abb. 2. Elektronisches Aufmaß, Stirnwand des Innenraums von Monument 825 / Fig. 2. Electronic measurement, front wall of the interior of Tomb 825

Aufnahme- und Vermessungstechniken

Das wichtigste Gerät für die allgemeine Bestandserfassung ist ein Photoapparat. Das Projekt benutzt für die Herstellung der Orthophotos eine 6 x 6 cm-Rolleiflex 6008 SCR 1000 Camera mit einem Shiftobjektiv. Eine Kleinbildkamera ist für diesen Zweck weniger geeignet, weil die bedeutend niedrigere Auflösung die relativ großen Pläne und Karten, die als Arbeitsunterlagen aus den Orthophotos hergestellt werden, ungünstig beeinflussen würde. Für die Detailaufnahmen, die zusätzlich zum Orthophoto angefertigt werden, ist hingegen eine Kleinbild- oder Digital-Kamera praktischer.

Bei der Herstellung detaillierter Bestandspläne werden in Petra händische, elektronische und digitale Aufnahme- und Vermessungstechniken, die auch zu kombinieren sind, verwendet. D. h., daß im Handaufmaß angefertigte Details z. B. später digitalisiert und in den digitalen Plan eingefügt werden können. Das produzierte Bild kann, dem Verwendungszweck entsprechend, entweder eine Vector- oder Bitmap-Graphik sein.

Für das elektronische Aufmaß von Grab 825 wurde eine Totalstation mit eingebautem Laserpointer verwendet. Die Totalstation, die vom Projekt benutzt wird, besteht aus einem Leica Wild DIOR 3002 S Distomat und einem Wild T 1010 elektronischen Theodoliten. Sie ist mit einem HP Omnibook 4000 CT notebook Computer verbunden (Abb. 1). Der Distomat, welcher eine reflektorlose elektronische Distanzmessung (EDM) erlaubt, ist auf den elektronischen Theodoliten montiert, während beide mit dem Computer verbunden sind. Die Meßpunkte werden on-line auf den Laptop-Bildschirm übertragen (Abb. 2) und erlauben so eine Kontrolle des Arbeitsprozesses und möglicher Fehler. Das Instrument ist ein Zeit-Impuls EDM, d. h. es mißt die Entfernung durch die Zeit, die ein Impuls infraroten Lichts

Recording and Processing Techniques

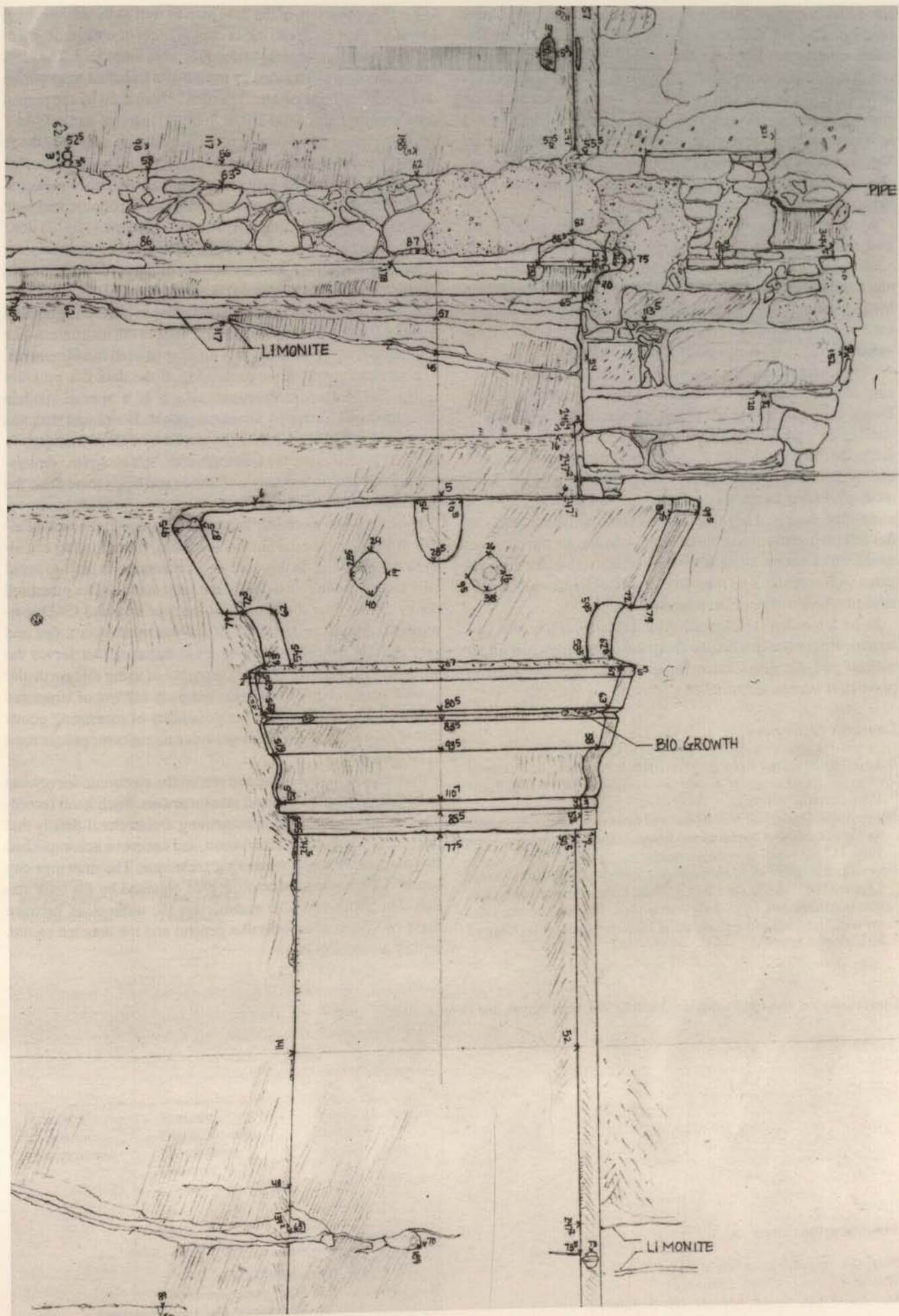
The most important recording tool for a general recording is a photo camera.

A 6 x 6 cm Rolleiflex 6008 SCR 1000 camera with a shift lens is used by the project for rectified photography, though a 6 x 9 camera might actually be more useful for the recording of the façade, because they are elongated in one direction. A 35 mm camera is not useful for this purpose due to the considerably lower resolution that would adversely affect the relatively large plans or maps generated as working documents.

For the advanced recording in addition to rectified photography of course complementary close-ups have to be made. For these pictures it is more practical to use the 35 mm or a digital camera.

A number of different recording and processing techniques and tools are used in the preparation of these two types of records. Essentially one can distinguish between manual, electronic and digital devices, where depending on the scope of the recording they may also be used in combination, e. g. survey or plans may be obtained manually and digitally. Portions of a plan generated by hand measurement can later be digitalized and added into the digital plan. Depending on the purpose, the image produced can be either a vector or bitmap image.

Abb. 3. Detailgetreues Handaufmaß, Detail von Monument 825
Fig. 3. Exact hand measurement, detail of Tomb 825



zur reflektierenden Oberfläche und zurück zum Instrument benötigt. Das auf dem Computerbildschirm erscheinende Resultat entsteht aus einer Anzahl solcher Messungen. Die verwendete Software heißt „Gebäudeaufmaß“. Sie ist eine spezielle Modifizierung, die von Urban und Strackenbrock in Berlin entwickelt und in die von RIB in Stuttgart entwickelte CAD Software integriert worden ist. Zusätzlich zur Aufzeichnung der Meßpunkte verwaltet dieses Programm auch alle von einer Architektur erhaltenen Daten und hilft die Totalstation für die Messungen richtig zu positionieren.

Wenn eine solche On-line-Aufzeichnung nicht möglich ist, weil das dazu notwendige Programm oder das Notebook oder beides nicht vorhanden sind, kann die Aufzeichnung auch offline durchgeführt werden. In diesem Fall können die einzelnen Meßpunkte auf einer in der Totalstation integrierten Speicherkarte gespeichert werden. Die gemessenen Punkte können dann später auf der CAD-Software eingelesen werden.

Diese elektronische Distanzmessung mit der Totalstation ist eine schnelle und sehr verlässliche Methode, mit der die dem Zweck entsprechende große Genauigkeit erreicht werden kann. Die beiden großen Vorteile dieses Vermessungssystems liegen darin, daß Eckpunkte von Architekturen mit großer Präzision und auch solche Punkte gemessen werden können, die sonst nicht erreichbar wären, da der Gebrauch von Reflektorprismen nicht notwendig ist. Für Darstellungen von Architekturdetails ist das elektronische Aufmaß durch Handaufmaße, die mit einer genauen Objektbeobachtung des Bauforschers verbunden sind, ergänzt worden (Abb. 3). Diese wurden später in den mit der Totalstation hergestellten Plan integriert.

In der folgenden Tabelle wird abschließend versucht, den Unterschied zwischen den beiden Dokumentationsarten, der allgemeinen und der detaillierten Bestandserfassung, die in Petra praktiziert werden, darzustellen.

Literatur / Literature

R. LETELLIER, 'Heritage Recording Principles & Practices', *International Architectural Conservation Course '96 Handouts*, ICCROM, Rome 1996, (unveröffentlicht).

International Council on Monuments and Sites (ICOMOS), Principles for the Recording of Monuments, Groups of Buildings & Sites, Sofia 1996, 11th ICOMOS General Assembly.

International Council on Monuments and Sites (ICOMOS); The Venice Charter (The International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites), Venice 1964, IInd International Congress of Architects and Technicians of Historic Monuments (Adopted by ICOMOS in 1965).

For the production of the base map as well as the architectural inventory plan for Tomb 825 a combination of electronic, manual and digital processing techniques were employed. The electronic survey was executed by means of a so-called total station with a built-in laser pointer. The total station used by the project consists of a Leica Wild DIOR 3002 S Distomat and a Wild T 1010 electronic theodolite. It is connected with a HP omnibook 4000 CT portable notebook computer (fig. 1). The distomat that allows for reflectorless long range electronic distance measurement (EDM) is mounted on the electronic theodolite and both are connected to the computer. The measurements (fig. 2) done are recorded online and immediately displayed on the computer screen and thus allow for easy control of the work progress and possible errors. The instrument is a time-pulse EDM, i. e. measures the distance from the time that a pulse of infrared light takes to travel to the reflecting surface and back to the instrument. The result displayed is the mean of a number of such measurements. The software used for the processing of the data is a program called 'Building Measurement', which is a special module developed by Urban und Strackenbrock in Berlin and that was integrated to a CAD software developed by RIB in Stuttgart. In addition to displaying the measurements, this program administers also all available data of a structure and helps to position the total station for measurements.

If such on-line recording is not possible due to the lack of either this program or the notebook or both, the recording can also be done off-line. In this case single points measured are saved on a record module inserted in the total station. The measured points can be later displayed by means of standard CAD software. Measuring with the use of the total station is a fast and very reliable method, achieving great accuracy that serves the purpose well. The two major advantages of using this particular system are its ability to measure points in corners of structures with a great precision, and the possibility of measuring points that are not accessible otherwise, since no reflector prisms need to be used (fig. 3).

Particularly for the advanced record the electronic survey has to be complemented by hand measurements. Such hand recording is more useful when documenting architectural details that go in hand with a close observation, and cannot be accomplished by using the distance measuring technique. The drawings can lateron be incorporated into the plan obtained by the total station. The following table summarizes the differences between these two types of records, the general and the detailed record, as they are used in Petra.

Übersetzung aus dem Englischen ins Deutsche von Anna Wolsey und Helge Fischer

Abbildungsnachweis

THOMAS URBAN, BIRKENWERDER: *Abb. 1*

MAY SHAER, AMMAN: *Abb. 2 (Aufmaß)*

ZAKI ASLAN/MAY SHAER, AMMAN: *Abb. 3 (Aufmaß)*

Photo Credits

THOMAS URBAN, BIRKENWERDER: *Fig. 1*

MAY SHAER, AMMAN: *Fig. 2 (measurement)*

ZAKI ASLAN/MAY SHAER, AMMAN: *Fig. 3 (measurement)*

	Allgemeine Bestands- erfassung	Detaillierte Bestands- erfassung
Zweck	<ul style="list-style-type: none"> - Inventar der Monumente - Information über den allgemeinen Erhaltungszustand - Planung von Präventiv- und Unterhaltsmaßnahmen - Überwachung von Veränderungen 	<ul style="list-style-type: none"> - Planung von Konservierungs- und Restaurierungsmaßnahmen - Anweisung für den Restaurator - Dokumentation ausgeführter Arbeiten - Quelle für wissenschaftliche Forschung
Art der Dokumente	<ul style="list-style-type: none"> - Meßbild - Übersichtsplan als Zeichnung über der Photographie - Erfassung des allgemeinen Erhaltungszustands - Maßnahmenkartierung im Übersichtsplan 	<ul style="list-style-type: none"> - Meßbild (Orthophoto) - Dias/Ausdrucke/digitale Bilddokumente - Übersichtsplan als exaktes Aufmaß - Bestandsplan - Schadenskartierung - Lithologische Kartierung - Maßnahmenplan - Restaurierungskonzept - Plan der vorhandenen Photos - Plan der entnommenen Proben - Schriftliche Dokumente
Verwendete Geräte	<ul style="list-style-type: none"> - 6 x 6 oder 6 x 9 Kamera 	<ul style="list-style-type: none"> - 6 x 6 oder 6 x 9 Kamera - Kleinbild oder digitale Kamera - Totalstation - Notebook Computer mit geeigneter Software - Ausstattung zum Zeichnen
Techniken der Bestandsdokumentation	<ul style="list-style-type: none"> - Professionelle Photographie - Zeichnung 	<ul style="list-style-type: none"> - Elektronisches Aufmaß - Handaufmaß mit Detailbeobachtungen - Zeichnung - Professionelle Photographie - Farbige Codierung von Karten/Plänen - Beobachtung und Analyse
Techniken der Dokumentationsprozesse	<ul style="list-style-type: none"> - Scannen - Digitalisierung - Photoedition - Drucken 	<ul style="list-style-type: none"> - Bildbearbeitungssoftware - Digitale Datenverarbeitung („Baufmaß“-Software) - CAD - Digitalisierung von Bildern und Zeichnungen - Drucken/Plotten

	General record	Detailed record
Purpose	<ul style="list-style-type: none"> - inventory of monuments - information on overall condition - planning of preventive and maintenance measures - monitoring of changes 	<ul style="list-style-type: none"> - planning of conservation and restoration measures - instruction for the restorer - documentation of executed measures - reference for scientific research
Types of documents	<ul style="list-style-type: none"> - rectified photograph - base map as a drawing from the photograph - general condition assessment - interventions recorded in the base map 	<ul style="list-style-type: none"> - rectified photograph - slides/reprints/digital images - base map as exact measurement - architectural inventory plan - damage assessment - lithological plan - action plan - restoration concept - photo key plan - sample key plan - written documents
Tools for obtaining record	<ul style="list-style-type: none"> - 6 x 6 or 6 x 9 camera 	<ul style="list-style-type: none"> - 6 x 6 or 6 x 9 camera - 35 mm camera or digital camera - total station - notebook computer plus appropriate software - drawing equipment
Techniques employed in recording	<ul style="list-style-type: none"> - professional photography - sketching/drawing 	<ul style="list-style-type: none"> - electronic surveying - hand measurements and records - drawing - professional photography - colorcoding of maps/plans - observation and analysis
Techniques employed in processing	<ul style="list-style-type: none"> - scanning - digitalization - photo editing - printing 	<ul style="list-style-type: none"> - commercial and dedicated software - digital data processing ('Baufmaß'-software) - CAD - digitalization of images and drawings - printing/plotting

Erprobung und Prüfung von Steinerfüllungsmitteln in Petra

Testing and Evaluation of Stone Repair Materials in Petra

Einleitung

Die Wüstenstadt Petra verdankt ihre Besiedlung einem von den Nabatäern entworfenen, ausgeklügelten System der Wasserversorgung. Umlaufende kleine Kanäle sammelten das Regenwasser und führten es zu zentralen Zisternen. Auch die Fassaden der berühmten Grabdenkmäler waren in das System der Wasserversorgung und Wasserableitung eingebunden. Nach der Zerstörung durch Erdbeben und dem Verlassen der Stadt verfielen die Wasserkanäle immer mehr, so daß in Folge das Regenwasser ungehindert über die Felswände und Fassaden fließen konnte.

Es scheint zunächst verwunderlich, sich in einem Wüstengebiet mit der Zerstörung von Naturstein durch Feuchte und Salz beschäftigen zu müssen, gerade so, als läge das Denkmal in den gemäßigten Zonen Mitteleuropas. Betrachtet man die in Petra auftretenden Gesteinsschäden näher, so muß man zwischen zwei, in unterschiedlichen Zeiträumen wirksamen Schadensprozessen unterscheiden. Da sind zum einen die imposanten Aushöhlungen und Kavernen, beides Extremformen der Alveolarverwitterung, wie sie nur in wenigen Ausnahmefällen so eindrucksvoll beobachtet werden können. Dieser Verwitterungsprozess ist in geologischen Zeiträumen abgelaufen, und hat seinen Anfang bereits mit der Freilegung der Sandsteinschichten und der einsetzenden Wüstenbildung genommen.

Die an den Fassaden auftretenden Schäden haben sich hingegen erst in historischer Zeit seit dem Verlassen der Stadt entwickelt. Betroffen sind beispielsweise auskragende Gesimse, auf denen das Regenwasser in Senkungen zunächst stehen bleibt, dann aber durch das Gestein hindurchsickert und an der Unterseite intensive Abwitterungen und Aushöhlungen verursacht, die sich in der Nachbarschaft von Rissen besonders ausprägen. Auch die Sockelzone weist in den meisten Fällen gravierende Schäden auf, weil sich hier auf dem ebenen Felsplateau vor der Grabmalfassade das Regenwasser in Pfützen sammelt und in der vertikalen Steinfassade nach oben steigt. Am Verdunstungshorizont führt die Kristallisation der Salze zu tiefgreifendem Absanden, von dem auch dicke Wandflächen derart betroffen sein können, daß sie stark ausgehöhlt und deshalb einsturzgefährdet sind.

Die geschilderten Schadensmechanismen zwingen also dazu, den Feuchtehaushalt der Fassaden wieder in Ordnung bringen zu müssen. Hierzu ist neben der Einfügung von Natursteinverierungen bei größeren Fehlstellen auch die Verwendung von Steinersatzstoffen erforderlich, um Aushöhlungen und Risse zu verschließen bzw. den geregelten Ablauf des Regenwassers auf Gesimsen und Giebeln wiederherzustellen.

Aus diesem Grunde bestand eine wichtige Aufgabe der naturwissenschaftlichen Begleitung des Projekts darin, geeignete Steinersatzstoffe für den Sandstein aus Petra zu bestimmen.

Introduction

Settlement of the desert city of Petra was made possible by the sophisticated water supply system the Nabataeans devised. Small channels surrounding the city collected rainwater and carried it to central cisterns. Even the façades of the famous tomb monuments were incorporated into the water supply and drainage system. After the city was destroyed in an earthquake and abandoned, the water channels increasingly fell into decay, with the result that rainwater was able to run freely over the cliff walls and façades.

It seems odd at first sight to be concerned with the destruction of natural stone by damp and salt in a desert area, as if the monument was sited in the moderate zones of Central Europe. When the rock damage in Petra is examined more closely, it can be seen that there are two processes of damage involved, with effects that take place in different time scales. First, there are remarkable erosions and cavern formations – extreme forms of alveolar weathering, of which comparably impressive examples are only rarely seen. This weathering process has occurred on a geological time scale, beginning as soon as the sandstone layers were exposed and desertification commenced.

The damage occurring in the façades, by contrast, has only developed in historical times, since the abandonment of the city. Areas affected are, for example, projecting cornices – where the rainwater first collects in depressions and then seeps through the rock, causing severe weathering and erosion on the underside, which is particularly marked around cracks. The base zone also shows serious damage in most cases, since the rainwater gathers here on the flat rock plateau in front of the monuments and then rises upwards in the vertical façade. At the level at which the moisture evaporates, salt crystallization leads to severe sanding loss, which can affect even thick wall surfaces in such a way that they become seriously eroded and are consequently threatened with collapse.

These damage mechanisms mean that the moisture balance in the façades needs to be brought under control again. To do this, it is necessary, in addition to placing natural stone inserts in the larger gaps, to use artificial stone to seal up hollows and cracks and to restore regulated rainwater flow at cornices and pediments.

One of the important tasks facing the scientific team accompanying the Petra Stone Conservation Project was therefore to identify suitable artificial stone materials for the sandstone in Petra.

Artificial Stone Materials

Artificial stone materials (also known as stone repair materials or restoration mortar), can be used to repair minor gaps in a manner that imitates the natural appearance of the rock. The use

Steinersatzstoffe

Steinersatzstoffe, auch Steinerergänzungsstoffe, Steinersatzmassen oder Restauriermörtel genannt, dienen dazu, begrenzte Fehlstellen in einer das natürliche Aussehen des Gesteins imitierenden Weise auszubessern. Ihre Verwendung ist so alt wie die Steinmetzarbeit und die Steinbildhauerei selbst. Im Einzelfall ist zu entscheiden, wann eine Fehlstelle durch eine Vierung geschlossen werden soll oder ob sich die Ausbesserung mit einer Steinersatzmasse als zweckdienlicher erweist. In den meisten Fällen ist die Verwendung von Steinersatzstoffen die kostengünstigere und für das Monument wesentlich schonendere Lösung.

Aufbau von Steinersatzstoffen

Steinersatzstoffe bestehen prinzipiell aus den gleichen Materialien wie Fugenmörtel; sie stellen also lediglich eine Spezialart von Mörteln dar und unterliegen deshalb den gleichen Verarbeitungsvorschriften. Einige wesentliche Unterschiede sind jedoch bemerkenswert. Da Steinersatzstoffe in vielen Fällen allseitig vom Muttergestein umgeben sind, müssen die Anforderungskriterien besonders kritisch eingehalten werden, da sich alle Abweichungen langfristig in einem veränderten Aussehen zwischen Stein und Steinersatzstoff abzeichnen.

Anders als bei Fugenmörteln muß die strukturbestimmende Kornverteilung dem Gestein angepaßt werden und kann sich nur in engen Grenzen an den gewünschten Festigkeitswerten orientieren. Die Verformungskennwerte dürfen die des Gesteins vor allen Dingen nicht gravierend unterschreiten. Auch Gesamtporosität und Saugfähigkeit müssen mit dem des Gesteins möglichst übereinstimmen. Wesentlich für ein Gesamtkonzept einer Restaurierung unter Zuhilfenahme von Steinersatzstoffen ist, daß der Steinersatzstoff immer auf das Originalgestein abgestimmt ist, damit in der Zukunft bei weiterer Verwitterung nur der Steinersatzstoff, nicht aber die Originalsubstanz zerstört wird.

Bindemittel

Kommerzielle Steinersatzstoffe sind beinahe ausnahmslos auf der Verwendung von Zement als Bindemittel aufgebaut. Die Eigenschaften werden in den meisten Fällen durch Zusätze von Kunststoffdispersionen modifiziert. Ähnliche Eigenschaften wie die zementgebundenen Steinersatzstoffe weisen diejenigen Restauriermörtel auf, die unter Verwendung von hydraulischem Kalk oder hochhydraulischem Kalk hergestellt sind. Von Restauratoren selbst hergestellte Steinersatzstoffe bestehen häufig auch aus reinem Kalkhydrat.

In jüngster Zeit sind kieselgelgebundene Steinersatzmassen in den Vordergrund getreten, für deren Herstellung entweder Kieselsäureester oder Kieselsol verwendet wird. Diese Steinersatzstoffe besitzen gegenüber anderen Materialien im wesentlichen zwei Vorteile.

- Durch Nachtränkungen mit einem Kieselsäureester kann die Festigkeit der Masse erhöht und vor allem ein fließender Übergang zum Gestein geschaffen werden.
 - Die Massen können ohne Probleme so hergestellt werden, daß sie „auf Null auslaufen“ können, so daß die Antragsflächen nicht abgearbeitet zu werden brauchen.
- Kieselsäureester bezeichnen allgemein eine Gruppe von Verbindungen, die durch die Reaktion der Orthokieselsäure mit ei-

of such materials is as old as the arts of stone masonry and sculpture themselves. It has to be decided in individual cases whether it is better to close a gap using a natural stone insert, or whether repairing it with artificial stone is more appropriate. In many cases, the use of artificial stone is a less expensive and for the monument more careful solution.

Composition of Artificial Stone Materials

In principle, artificial stone materials consist of the same components as the mortar used in joints; they are therefore simply a special type of mortar. Consequently, they are subject to the same processing regulations as mortar. A few basic differences should be noted, however. Since artificial stone materials are in many cases surrounded by the original rock, the specification criteria need to be observed with particular care, since in the long term any deviation will be reflected in alterations in the appearance of the stone and artificial stone material.

In contrast to joint mortar, the structurally determining particle distribution has to be adapted to the rock, and must be kept within only a narrow range around the desired values for stability and physical properties. Above all, strength and elasticity must not be substantially lower than those of the rock. In addition, the total porosity and absorbency have to be as similar as possible to those of the rock. An essential aspect of the overall planning of restoration work using artificial stone materials is that the substitute should always be adapted to the original rock, so that if weathering recurs later on, it is the artificial stone that is destroyed, and not the original substance.

Binder

Commercial artificial stone materials are almost without exception based on the use of cement as a binder. In most cases, the properties of the material are modified by the addition of synthetic dispersions. Restoration mortars with properties similar to those of cement-bound artificial stone materials can be produced using hydraulic lime or highly hydraulic lime. Artificial stone materials produced by restorers themselves often consist of pure hydrated lime.

More recently, artificial stone substances bound with silica gel have emerged, which are produced using either silicic acid or silica sol. These artificial stone materials have two basic advantages in comparison with other materials:

- Subsequent soaking with a silicic acid ester can increase the strength of the substance, above all creating a smooth transition to the rock.
 - It is easy to thin out the borders of the substance in such a way that the application surface does not need to be worked down.
- Silicic acid esters designate a group of chemical compounds which are formed by the reaction of orthosilicic acid with an alcohol. For stone conservation, only the Tetraethoxysilane (TEOS or ethylsilicate) is important which is mainly used for sandstone strengthening. It is, however, also appropriate for producing stone repair mortars if certain requirements regarding the aggregates are observed and if the gaps that have to be filled are of minor size. TEOS is commercially available in different formulations, as monomer molecule as well as in precondensed form where oligomer molecules of four formula units prevail. Most products are diluted in organic solvents.

nem Alkohol entstanden sind. Für die Steinkonservierung ist nur der Orthokieselsäure-tetraethylester, kurz TEOS oder Ethylsilikat, von Bedeutung, der in erster Linie für die Steinfestigung eingesetzt wird. Er ist jedoch auch für die Herstellung von Steinersatzstoffen geeignet, wenn bestimmte Anforderungen in Bezug auf die Zuschlagstoffe eingehalten werden und nur kleinere Fehlstellen ergänzt werden müssen. TEOS ist in verschiedenen Formulierungen im Handel erhältlich, sowohl als monomeres Molekül als auch in vorkondensierter Form, wobei in diesem Fall oligomere Moleküle von etwa vier Formeleinheiten vorliegen. Die meisten Produkte sind mit Lösungsmitteln verdünnt.

Kieselsole sind kolloidale Lösungen von SiO_2 in Wasser. Es liegen kleine SiO_2 -Partikel vor, deren Oberfläche negativ geladen ist. Die negativen Ladungen werden durch positiv geladene Kationen, z. B. Na^+ kompensiert. Chemisch sind Kieselsole mit Wassergläsern verwandt, sie enthalten jedoch wesentlich weniger Alkalien. In Wasserglas beträgt das Verhältnis Alkalien zu SiO_2 im Normalfall 1 : 4, während es im Kieselsole in einer Größenordnung von 1 : 100 liegt. Die meisten auf dem Markt erhältlichen Kieselsoleprodukte besitzen einen SiO_2 -Gehalt von 30 Gew.-%. Die Größe der SiO_2 -Partikel liegt je nach Alkaligehalt zwischen etwa 30 und 150 nm. Die Lösungen weisen einen pH-Wert von etwa 10 auf.

Der Vorteil der Kieselsole gegenüber den Wassergläsern liegt vor allem in dem wesentlich niedrigeren Alkaligehalt, so daß Salzausblühungen nicht zu befürchten sind. Vorsicht ist allerdings bei farbigen Sandsteinen und Kalksteinen angebracht, wenn die Färbung auf Eisenverbindungen beruht, die im alkalischen Milieu nicht stabil sind.

Acrylharze oder Acrylharzdispersionen eignen sich vor allem für das Injizieren von Rissen und das Füllen dünner Spalten. In ähnlicher Weise finden auch Epoxidharze als Bindemittel Verwendung, die jedoch durch einen hohen Zuschlaganteil entsprechend gemagert werden müssen. Beide Stoffe haben ihr Haupteinsatzgebiet dort, wo beim Verkleben und Injizieren kraftschlüssige Verbindungen gefordert werden.

Zuschlagstoffe

Als Zuschlag für die Herstellung von Steinersatzstoffen dienen Sande, die nach Möglichkeit eine optimale Sieblinie aufweisen sollen. Es muß jedoch berücksichtigt werden, daß für eine Anpassung des Aussehens an das Gestein das Größtkorn der Sieblinie entscheidend ist. Da immer die Nachahmung der Struktur des Gesteins im Vordergrund steht, kann eine vorteilhafte Sieblinie nicht immer realisiert werden. In sehr vielen Fällen greift man auf gemahlene Originalgestein zurück, das durch Schlämmen von zu viel Feinanteilen und Tonmineralen befreit werden muß. Auf der anderen Seite können Tonminerale aber auch durchaus erwünscht sein, um die hygrische Quellung an das Originalgestein anzupassen.

Zur Verbesserung der Verarbeitungseigenschaften werden in den meisten Fällen hochdisperse Kieselsäure (HDK) und Mikroglassfasern zugegeben. HDK dient zur Herstellung einer ausreichenden Steifigkeit des frischen Restauriermörtels, damit dieser auch an vertikalen Flächen oder über Kopf angetragen werden kann. Mikroglassfasern mindern das primäre Erhärtungsschwinden und setzen die Rißneigung herab. Sie haben die gleiche Funktion wie die Zugabe von Stroh oder Tierhaaren bei historischen Kalkmörteln.

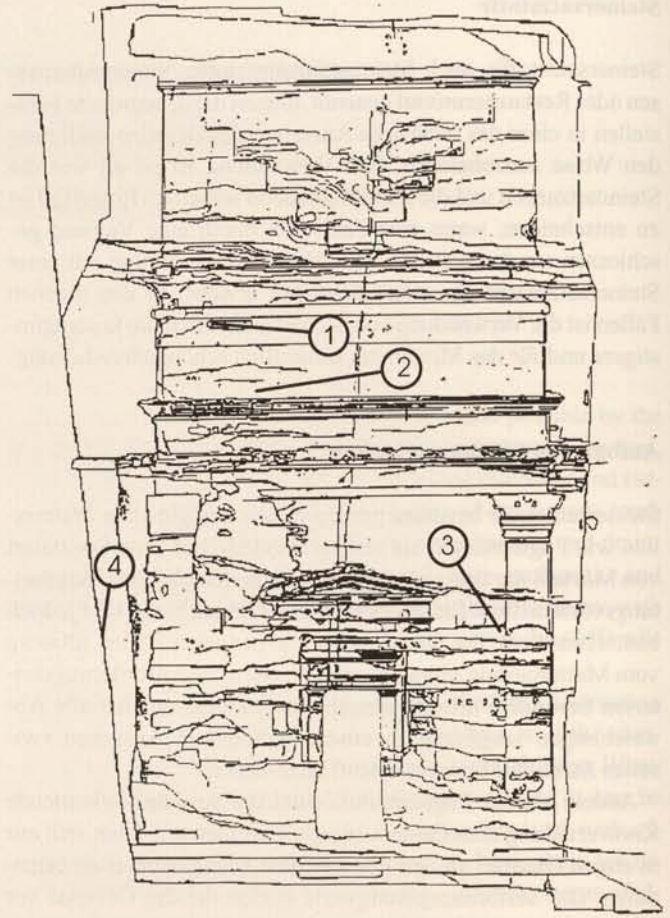


Abb. 1. Probeentnahmestellen am Monument 825. Die Bohrkern wurden zur Bestimmung der Gesteinseigenschaften verwendet

Fig. 1. Points from which samples were taken on Tomb 825. The cores were used to measure the properties of the rock

Silica sols are colloidal solutions of SiO_2 in water. The surface of the small SiO_2 -particles is negatively charged. The negative charges are balanced with positively charged cations, e. g. Na^+ . Chemically, silica sols are related to water glass, however, they contain much less alkalis. In water glass, the ratio of alkalis to SiO_2 amounts to 1 : 4, whereas in silica sols the ratio is in an order of 1 : 100. Most marketable brands have a SiO_2 -content of 30 % by weight. The size of the SiO_2 -particles ranges from 30-150 nm, depending on the alkali content. The pH of the solution is close to 10.

In comparison to water glass, silica sols offer the advantage of having much less alkalis so that no contamination with salts can take place. However, in the case of colored sandstones and limestones silica sols can cause awful discolorations if the coloring iron compounds are unstable under alkaline conditions.

Acrylic resins or acrylic resin dispersions are particularly suitable for injection into cracks, or for filling narrow cracks. Similarly, epoxy resins can also be used as binding agents, although they have to be suitably mixed with a high proportion of aggregate. These two materials are mainly used when high gluing bonds are required for adhesion and injection.

Einfärbung

Die Einfärbung von Steinersatzstoffen setzt große Erfahrung und vor allem restauratorisches Geschick voraus. Der Grundfarbton wird am besten getroffen, wenn gemahlene Originalgesteine zugegeben wird. Wenn eine zusätzliche Nachfärbung mit Pigmenten erforderlich ist, sollten nur natürliche Pigmente Verwendung finden.

Qualitätsprüfungen

Das vollständige Prüfprogramm für Steinersatzstoffe ist in Tabelle 1 wiedergegeben. Grundlegende Informationen zum Untersuchungsprogramm finden sich in Knöfel & Schubert.¹ Die Wirkungsweise von historischen Zusätzen auf Steinersatzstoffe und Mörtel ist in Knöfel & Winnefeld, Winnefeld & Knöfel und Snethlage beschrieben.²

Die Proben müssen unter möglichst realitätsnahen Bedingungen präpariert werden, so daß man schon beim Aushärten im Labor beobachten kann, ob das Erhärtungsschwinden (Primärschwindung) zu Flankenabrissen führt.

Der Wasseraufnahmekoeffizient w und die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ sollen zwischen 50 und 100 % des Wertes für den Naturstein betragen. Eine gut abgestimmte Wasseraufnahme und Wasserdampfleitfähigkeit haben einen ausgeglichenen Feuchtehaushalt zwischen Mörtel und Gestein zur Folge und sind deswegen eine der Grundvoraussetzungen für eine gute Haltbarkeit und eine dauerhaft gleichbleibende optische Erscheinung.

Das feuchtebedingte Quellverhalten und die thermische Dehnung sind für die Dauerhaftigkeit einer Steinantragung von maßgeblicher Bedeutung. Gemeint ist hier das sekundäre Quellen und Schwinden im bereits erhärteten Zustand. Die Werte für den Steinersatzstoff sollen in einer Bandbreite von 50 bis 100 % bei der hygri-schen Dehnung α_{Hy} und 50 bis 150 % bei der thermischen Dehnung α_T , bezogen auf den Naturstein, liegen.

Mit den mechanischen Eigenschaften wird die Qualität des Verbundes Naturstein-Steinersatzstoff beschrieben. Die Druckfestigkeit stellt zwar keine direkte Meßgröße zur Beschreibung dieser Eigenschaften dar, sie ist jedoch mit den anderen Kenngrößen korreliert. Sie soll 20 bis 60 % des Natursteins betragen.

Die am besten geeignete Größe zur Beurteilung des Haftverbundes Naturstein-Steinersatzstoff ist die Haftzugfestigkeit. Sie soll zwischen 0,5 bis 0,8 der Haftzugfestigkeit des Substrats betragen. Dadurch ist gewährleistet, daß im Falle eines Versagens der Riß nicht im Stein, sondern in der Grenzfläche oder im Steinersatzstoff erfolgt. Der letztgenannte Fall wird aber nur dann eintreten, wenn die Zugfestigkeit des Mörtels kleiner als seine Haftzugfestigkeit ist, was bei einer günstigen Oberflächenbeschaffenheit des Substrats und einer guten Verarbeitung durchaus möglich ist. Von besonders großer Bedeutung ist der Elastizitätsmodul (E-Modul) des Steinersatzstoffs. Er soll 80 % des E-Moduls des Gesteins nicht übersteigen, damit die durch thermische und hygri-sche Verformungen verursachten Spannungen an der Grenzfläche nicht zum Abriß führen. In erster Linie durch den E-Modul wird sichergestellt, daß sich auf mechanische Ursachen zurückgehende Schäden in der Steinersatzmasse, und nicht im Originalgestein manifestieren.

Additive Materials

As an aggregate for the production of artificial stone materials, sands that have an optimal grading curve should be used if possible. However, it should be borne in mind that it is the largest particle of the grading curve that is decisive for matching the appearance to that of the rock. Since imitating the structure of the rock is always the primary consideration, it is not always possible to achieve an advantageous grading curve. In many cases, ground original rock should be resorted to, out of which, however, all fine dust particles and clay minerals must be removed by washing. On the other hand, clay minerals may actually be desirable in order to match the material's hygric expansion to that of the original rock.

For improving the workability of stone repair mortars, in many cases highly dispersed silica (HDS) and micro glass fibers are added. HDS is used to ascertain a sufficient stiffness of the fresh mortar so that it can be applied on vertical surfaces as well as above head. Micro glass fibers lower the primary shrinkage and prevent the formation of shrinkage cracks. They have the same function like straw or animal hairs in case of historic lime mortars.

Dyeing

The dyeing of artificial stone requires considerable experience, and above all skill in restoration work. The basic color tone is probably best matched when ground original rock is added. If subsequent dyeing is necessary only natural pigments should be used.

Quality Tests

The complete testing program for the artificial stone materials is given in table 1. Basic information about the examination program can be found in Knöfel & Schubert.¹ The effect of historical additives on artificial stone materials and mortar is described in Knöfel & Winnefeld, Winnefeld & Knöfel, and Snethlage.²

The samples have to be prepared in conditions as close as possible to reality, so that even during the maturing process in the laboratory it can be observed whether the hardening shrinkage (primary shrinkage) leads to detachments.

The water absorption coefficient w and the value of water vapor diffusion resistance μ should lie between 50 % and 100 % of the values for the natural stone. Well adapted water absorption and water vapor conductivity lead to a harmonious moisture balance between the mortar and the rock, and are therefore one of the basic preconditions for good durability and long-term stability in the visual appearance.

Moisture-dependent expansion behavior and thermal expansion are decisive factors in the durability of applied stone. This relates to the secondary expansion and shrinkage after the material is already in its hardened state. Relative to the values for the natural stone, the values for the artificial stone should lie in the range of 50-100% for hygric expansion α_{Hy} and 50-150 % for thermal expansion α_T .

The quality of the bond between the natural stone and the artificial stone is described by its mechanical properties. The compressive strength does not represent a direct measurement of these properties, but it does correlate with the other parameters.

Ergebnisse

Bei den untersuchten Steinersatzstoffen handelt es sich um Proben, die Restaurator Egon Kaiser während seines Aufenthalts in Petra vom 7. Dez. bis 14. Dez. 1996 entnommen hatte. Die Natursteinproben (Abb. 2) stammen vom Monument 825 und sind auf Abbildung 1 markiert.

Von den in Tabelle 1 genannten Prüfungen konnten wegen unzureichender Probenformen nur drei durchgeführt werden: Die w-Wert-Bestimmung, die Messung der Biegezugfestigkeit an Bohrkernscheiben mit E-Modulbestimmung als Ersatz für die Druckfestigkeit und die Messung der Mikrobohrhärte zur Analyse des Übergangs Steinersatzstoff – Naturstein. Außerdem eignet sich die Bohrhärte auch zum Festigkeitsvergleich, da sie mit der Druck- und Biegezugfestigkeit korreliert ist.

In Tabelle 2 sind die Meßwerte für E-Modul, Biegezugfestigkeit und w-Wert aufgeführt. Die Werte im Vergleich zeigen, daß die Steinersatzmasse die Anforderungen erfüllt. Lediglich der Wasseraufnahmekoeffizient liegt geringfügig über dem Anforderungskriterium.

Die Bohrhärtemessung wurde eingesetzt, weil an den Bohrkernproben die Haftzugfestigkeit, die eigentlich vorgesehen war, wegen falscher Geometrie nicht bestimmt werden konnte. Angegeben wird der Bohrvorschub in mm/s bei 1 kg Anpreßdruck.

Wie Tabelle 3 zeigt, weist die Steinersatzmasse eine wesentlich geringere Festigkeit als das Gestein auf. Der Bohrer erreicht im Mittel eine Vorschubgeschwindigkeit von 4 mm/s. Die Nachfestigung mit Wacker OH oder Remmers 510 ist als vorteilhaft zu bewerten, da die Steinersatzmasse in sich gleichmäßiger wird und der Unterschied zum Naturstein geringer ausfällt. Die Nachfestigung ist in den Bohrkurven deutlich als Unstetigkeit ablesbar. An allen Bohrkurven zeigt sich ferner, daß der Übergang zwischen Steinersatzmasse und Gestein ohne störende Diskontinuität erfolgt. Abgelöste Trennflächen bestehen nicht. Die von Restaurator Egon Kaiser in der Werkstatt hergestellten Steinersatzmassen erreichen dieselben Werte wie die am Probefeld in Petra applizierten Massen. Die Vorort-Verarbeitung erfüllt damit dieselben Qualitätsanforderungen.

Alle Meßergebnisse lassen sich zu folgenden Aussagen zusammenfassen:

- Die Festigkeit des Sandsteins und sein E-Modul sind sehr niedrig. Aus diesem Grund genügen auch für die Steinersatzmassen niedrige Werte.
- Gesamtporosität, w-Wert und B-Wert des Gesteins sind mittel bis zum Teil sehr hoch. Die Steinersatzmasse paßt sich diesen Werten an.
- Die Nachfestigung der Steinersatzmasse mit Wacker OH wird als positiv gewertet, um die Festigkeit der Massen zu verbessern. Erforderlich sind jedoch größere Applikationsmengen, da die Eindringtiefe, wie mit Hilfe der Bohrhärtemessungen nachgewiesen wurde, nicht die gesamte Steinersatzmasse erreicht.
- Die Verwendung der roten Steinersatzmasse kann für die Durchführung freigegeben werden. Eine Nachfestigung wird dringend empfohlen, da diese Maßnahme zu einer besseren Anpassung und zu einer Homogenisierung der Eigenschaften führt.
- Die Alveolen und sandenden Oberflächen müssen abgekehrt bzw. ausgekratzt werden, um die versalzten Oberflächenschichten zu entfernen.

It should lie in the range of 20-60 % of that of the natural stone. The most suitable parameter for assessing the adhesion between the natural stone and the artificial stone is the adhesive strength. This should lie between 0,5 and 0,8 of that of the substrate. This ensures that in case of failure, the crack does not occur in the stone but at the interface, or in the artificial stone material. However, the latter can only occur if the tensile strength of the mortar is less than its adhesive strength, which is certainly possible if the substrate has favorable surface qualities and has been well finished.

The elasticity module (E-module) of the artificial stone material is particularly important. It should not exceed 80 % of the E-module of the rock, so that thermal and hygric stress does not lead to material detachments. The E-module is the main way of ensuring that damage arising due to mechanical causes affects the artificial stone and not the original rock.

Results

The artificial stone materials investigated consist of samples taken by the restorer Egon Kaiser during a visit to Petra from 7 to 14 December 1996. The natural stone samples (fig. 2) are from Tomb 825 and are shown on fig. 1.

Due to unsuitable sample shapes, it was only possible to carry out three of the tests listed in table 1: measurement of the w value; measurement of bending strength of drill core disks as a substitute for compressive strength; and measurement of the microdrill hardness, to analyze the transition between artificial stone and natural stone. Drill hardness can also be used to compare the strengths of the materials, since it correlates with compressive strength and bending strength.

Table 2 gives the measurement results for the E-module, bending strength and w value. Comparison of the values shows that the artificial stone meets the requirements. Only the water absorption coefficient is slightly above the specification criterion.

Measurements of drill hardness were used because it was not possible to measure the adhesive strength as originally planned, due to incorrect geometry in the core samples. The drilling speed is given in mm/s at 1 kg contact pressure.

As table 3 shows, the strength of the artificial stone is much lower than that of the rock. The drill reaches speed rates of 4 mm/s on average. Subsequent strengthening with Wacker OH or Remmers 510 is advantageous, since this makes the artificial stone more uniform and reduces the difference from the natural stone. Subsequent strengthening appears as irregularities in the drill curves. In addition, all of the drill curves show that the transition between the artificial stone and the rock has no disruptive discontinuities. There are no loose rupture surfaces. The artificial stone produced in the workshop by the restorer, Egon Kaiser, has the same values as the substances applied in the sample area in Petra. Local processing therefore meets the same quality standards.

The measurement results can all be summed up in the following statements:

- The strength of the sandstone and its E-module are very low. Low values are therefore also sufficient for the artificial stone.
- The total porosity, w value, and B value of the rock show figures ranging from medium to sometimes very high. The artificial stone adapts itself to these values.

Tabelle 1. Zusammenstellung der Qualitätsprüfungen für Steinersatzstoffe zur Beurteilung der Anpassung der Eigenschaften an den Naturstein³

Qualitätsprüfungen für Steinersatzstoffe		
Eigenschaft	Symbol	Anforderung*
Dynamischer E-Modul	E-dyn	bis 80 %
Druckfestigkeit	β_{CS}	bis 60 %
Feuchtedehnkoeffizient	α_{Hy}	50-100 %
Wärmedehnkoeffizient	α_T	50-150 %
Wasseraufnahmekoeffizient	w	50-100 %
Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl	μ	50-100 %
Haftzugfestigkeit**	β_{AS}	0,5 ... 0,8 β HZ, Substrat
*) Die Anforderungen sind auf die Eigenschaften des Substrats bezogen.		
**) Ein Versagen ist im Steinersatzstoff wünschenswert.		

Table 1. List of quality tests carried out on artificial stone materials to assess adaptation to the properties of the natural stone³

Quality tests for artificial stone materials		
Property	Symbol	Specification*
Dynamic E-module	E-dyn	Up to 80 %
Compressive strength	β_{CS}	Up to 60 %
Hygic expansion coefficient	α_{Hy}	50-100 %
Thermal expansion coefficient	α_T	50-150 %
Water absorption coefficient	w	50-100 %
Value of water vapor diffusion resistance	μ	50-100 %
Adhesive strength **	β_{AS}	0.5 ... 0.8 β HZ, Substrate
* The specifications relate to the properties of the substrate.		
** Failure in the artificial stone material is desirable.		

Tabelle 2. Eigenschaften der roten Steinersatzmasse im Vergleich zum Naturstein

Eigenschaft	Naturstein	Rote Steinersatzmasse	Anforderung
E-Modul	4,4 bis 7,3 kN/mm ²	2,1 kN/mm ²	bis 80 %, möglichst um 60 %
Biegezugfestigkeit	0,47 bis 2,10 N/mm ²	0,36 N/mm ²	bis 60 %, möglichst um 60 %
Wasseraufnahmekoeffizient w-Wert	3,5 bis 7,7 kg/m ² √h	8,1 kg/m ² √h	50-100 %

Table 2. Properties of the red artificial stone substance in comparison with the natural stone

Property	Natural stone	Red artificial stone substance	Specification
E-module	4.4-7.3 kN/mm ²	2.1 kN/mm ²	Up to 80%, ca. 60% if possible
Bending strength	0.47-2.10 N/mm ²	0.36 N/mm ²	Up to 60%, ca. 60% if possible
Water absorption coefficient (w value)	3.5-7.7 kg/m ² √h	8.1 kg/m ² √h	50-100%

Tabelle 3. Bohrhärte (mm/s) von Kieselolmassen (SES) mit und ohne Nachfestigung im Vergleich zum Naturstein von Monument 825. Nachfestigung mit Wacker OH bzw. Remmers 510

Material	Mittel (mm/s)	Max (mm/s)	Min (mm/s)
SES ohne	4,2	7,3	2,5
SES mit	2,5	4,3	3,3
Stein	0,3	1,2	0,2

Table 3. Drill hardness (mm/s) of silica sol repair mortars (SES) with and without subsequent strengthening, in comparison with the natural stone of Tomb 825. Subsequent strengthening with Wacker OH or Remmers 510

Material	Average (mm/s)	Max. (mm/s)	Min. (mm/s)
SES without	4.2	7.3	2.5
SES with	2.5	4.3	3.3
Stone	0.3	1.2	0.2

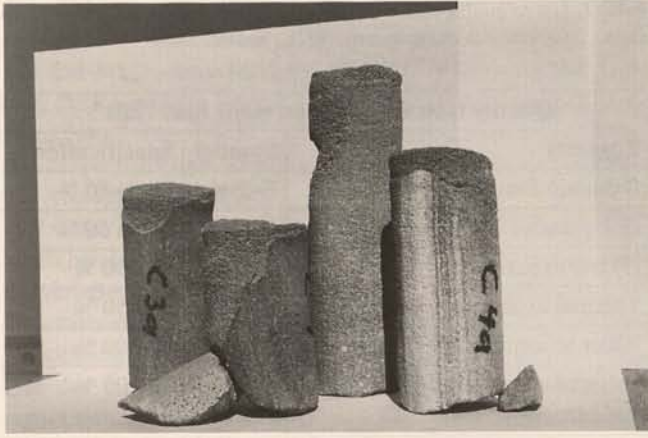


Abb. 2. Bohrkern mit roter Steinersatzmasse vom Probefeld
 Fig. 2. Cores from the sample area with red artificial stone material

Anmerkungen

- 1 D. KNÖFEL/P. SCHUBERT (Hrsg.), *Handbuch der Mörtel und Steiner-gänzungsstoffe in der Denkmalpflege*, Sonderheft der Publikationsreihe BMFT-Verbundforschung für die Denkmalpflege, Berlin 1993, S. 225.
- 2 D. KNÖFEL/F. WINNEFELD, *Anpassung von Fugendeckmörteln an Ziegelmauerwerk*, in: Rolf Snethlage (Hrsg.), *Jahresberichte Steinerfall-Steinkonservierung*, Bd. 5 (1993), Berlin 1995, S. 147–157. – F. WINNEFELD/D. KNÖFEL, *Modifizierung von Kalkmörteln zur Fugenreparatur von Ziegelmauerwerk*, in: Rolf Snethlage (Hrsg.), *Jahresberichte Steinerfall-Steinkonservierung*, Bd. 6 (1994–1996), Stuttgart 1998 a, S. 227–236. – F. WINNEFELD/D. KNÖFEL, *Entwicklung eines Kalkputzmörtels für Ziegelmauerwerk am Beispiel der Orangeriesäle im Schloß Schwerin*, in: Rolf Snethlage (Hrsg.), *Jahresberichte Steinerfall-Steinkonservierung*, Bd. 6 (1994–1996), Stuttgart 1998 b, S. 261–267. – ROLF SNETHLAGE, *Leitfaden Steinkonservierung*, Stuttgart 1997.
- 3 SNETHLAGE (wie Anm. 2).

Abbildungsnachweis

Alle Abbildungen vom Autor

- Subsequent strengthening of the artificial stone using Wacker OH shows positive values in improving the strength of the substances. However, larger amounts have to be applied, since the drill hardness measurements show that the full depth of the artificial stone is not penetrated.
- The use of red artificial stone can be approved for implementation. Subsequent strengthening is strongly recommended, since this leads to improved adaptation and homogenization of the material's properties.
- The alveoli and sanding surfaces must be brushed or scraped in order to remove salted surface layers.

Translation from the German into English by Michael Robertson

References

- 1 D. KNÖFEL/P. SCHUBERT (eds.), *Handbuch der Mörtel und Steiner-gänzungsstoffe in der Denkmalpflege*, Special issue of series 'BMFT-Verbundforschung für die Denkmalpflege', Berlin, 1993, p. 225.
- 2 D. KNÖFEL/F. WINNEFELD, 'Anpassung von Fugendeckmörteln an Ziegelmauerwerk', *Jahresberichte Steinerfall-Steinkonservierung*, Rolf Snethlage (ed.), vol. 5 (1993), Berlin, 1995, pp. 147–157. – F. WINNEFELD/D. KNÖFEL, 'Modifizierung von Kalkmörteln zur Fugenreparatur von Ziegelmauerwerk', *Jahresberichte Steinerfall-Steinkonservierung*, Rolf Snethlage (ed.), vol. 6 (1994–1996), Stuttgart, 1998 a, pp. 227–236. – F. WINNEFELD/D. KNÖFEL, 'Entwicklung eines Kalkputzmörtels für Ziegelmauerwerk am Beispiel der Orangeriesäle im Schloss Schwerin', *Jahresberichte Steinerfall-Steinkonservierung*, Rolf Snethlage (ed.), vol. 6 (1994–1996), Stuttgart, 1998 b, pp. 261–267. – ROLF SNETHLAGE, *Leitfaden Steinkonservierung*, Stuttgart, 1997.
- 3 SNETHLAGE (note 2).

Photo Credits

All figures by the author

Ein Laborversuchsprogramm zur Beurteilung verschiedener Arten von Steinfestigern zur Erhaltung der Sandsteinmonumente von Petra

A Laboratory Test Program for the Evaluation of Various Types of Stone Preservatives for Consolidating the Sandstone Monuments of Petra

1. Einleitung

Das gesamte Areal von Petra ist aufgrund natürlicher Schadensprozesse und mangelnder Pflege unmittelbar bedroht. Einer der wichtigsten Schadensfaktoren ist die Erosion durch Wind und Wasser. Durch die fortschreitende Verwitterung werden Steinkörnchen und größere Partikel aus den ausgesetzten Gesteinsoberflächen herausgelöst. Dieser Verlust des Oberflächenmaterials ist weitgehend entweder der Auflösung des Bindemittels, das die Steinkörnchen zusammenhält, oder der Störung von Bindungsmechanismen innerhalb der Sandpartikel aufgrund erhöhter innerer Zugspannungen zuzuschreiben.¹

Bei Versuchen, die Festigkeit des verwitterten Gesteins und die Bindung innerhalb des Kornverbandes wiederherzustellen, sind verschiedene Arten von Steinfestigern bereits eingesetzt worden. Wenn auch erwiesen ist, daß verwitterter Stein wieder gefestigt werden kann, ist die Langzeitwirkung der meisten Steinfestiger häufig unbefriedigend. In einigen Fällen wurde festgestellt, daß sie dem Gestein sogar größeren Schaden zufügen als die natürlichen Verwitterungsprozesse.²

Es wäre grob fahrlässig, bei einem Kulturdenkmal von solch hohem künstlerischem Wert und historischer Bedeutung wie Petra unerprobtes Material zu verwenden. Die Bausubstanz von Petra muß jedoch dringend behandelt werden. Deshalb sind zuverlässige Verfahren zur schnellen Auswertung möglicher Konservierungsstoffe und Steinfestiger sehr wichtig.

Universell anwendbare Schutzmittel oder Steinfestiger gibt es nicht. Doch läßt sich mit Hilfe des Testprogramms das Risiko verringern, daß Maßnahmen ergriffen werden oder Produkte zur Anwendung kommen, die ungeeignet sind.³

Das Institut für Archäologie und Anthropologie der Yarmouk Universität ist Partner des deutsch-jordanischen Projekts zur Erhaltung der Felsfassaden in Petra. Im Rahmen dieses Projekts hat das Institut Forschungen zur Erprobung und Auswertung verschiedener Steinkonservierungsmaterialien und -techniken durchgeführt, wie u. a. ein Laborversuchsprogramm zur Erprobung und Auswertung verschiedener handelsüblicher Steinfestiger.

Labortests sind deshalb wichtig, weil sich Versuche an den Objekten selbst verbieten. Wissenschaftler müssen daher vom einfachen Modell auf die komplexe Situation am Monument schließen. Die Gesteine der Monumente und deren Reaktion auf Umwelteinflüsse sind jedoch so unterschiedlich, daß nicht alle auftretenden Konservierungsprobleme nur im Laborversuch ohne Feldversuch vorweggenommen werden können.⁴ Deshalb wurden parallel zum Laborerprobungsprogramm auch Feldversuche durchgeführt.

Wenn ein Produkt untersucht wird, das bei einer bestimmten Gesteinsart angewendet werden soll, so ist es unerlässlich, Test-

1. Introduction

The entire site of Petra is under the imminent threat of destruction due to natural processes of deterioration and lack of maintenance. The constant attack of the stone monuments by various weathering agents causes the loss of stone grains and large particles from exposed surfaces. The loss of surface materials is largely attributable to processes which involve either the dissolution of the cementing material that binds the stone grains together or the disruption of intergranular bonds by increased internal tensile stresses.¹

Various types of stone preservatives have been tried in attempts to restore the integrity of decayed stone by re-establishing the bonds between the adjacent grains. While there is evidence that decayed stone can be consolidated, the long-term effectiveness of most consolidants has often been unsatisfactory. In some cases, the consolidants have been found to cause more harm to stone than natural weathering processes.²

It would be greatly irresponsible to apply any unproved material to a cultural monument of such high artistic value and historical importance like Petra. However, the architectural substance is in the most urgent need for treatment. Therefore, reliable procedures for the rapid evaluation of potential preservatives and consolidants are very essential.

A universally applicable preservative or consolidant does not exist. However, with the aid of the pre-testing program, the risk of taking unsuitable measures or products is minimized.³

The Institute of Archaeology and Anthropology at Yarmouk University is a partner of the German-Jordanian project for the preservation of the rock façades in Petra. Within the framework of that project the Institute of Archaeology and Anthropology has initiated and conducted research devoted to the testing and evaluation of various stone conservation materials and techniques. One of the programs executed is a laboratory-testing program for the purpose of testing and evaluating various types of commercially available stone consolidants.

Laboratory tests are important because the experiments cannot be carried out with the objects themselves. The scientists must conclude from the simple models to the complex situation on a monument. However, stone material of the monument and its response to the environmental influence are so different that all problems of a conservation cannot be anticipated in the laboratory experiment alone without undertaking field tests.⁴ Therefore, field testing was executed parallel with the laboratory testing program.

When one wishes to study a particular product to be applied to a certain type of stone, it is essential to run a series of tests that take into consideration the nature of the stone, its weathering behaviour and the ultimate aim of the conservation process.

reihen durchzuführen, die die Gesteinsbeschaffenheit, ihr Verwitterungsverhalten und das endgültige Ziel des Konservierungsprozesses berücksichtigen.

Dem vorliegenden Programm lag eine Versuchsanordnung zugrunde, die geeignet ist, eine Reihe vielversprechender, handelsüblicher Steinfestiger mit dem Ziel zu bewerten, ein geeignetes Material für den Schutz der durch Verwitterung bedrohten Monumente von Petra auszuwählen.

2. Leistungsanforderungen an Steinfestiger

Die wichtigste Funktion eines Steinfestigers ist die Wiederherstellung der Bindung innerhalb des geschädigten Gesteins. Dies wird durch die Einlagerung eines neuen, haltbaren Bindemittels in die Poren des verwitterten Gesteins erreicht.⁵ Außerdem sollten Steinfestiger noch weitere, genau bestimmte Anforderungen erfüllen, um den Grundsätzen und Richtlinien denkmalgerechter Konservierungen zu entsprechen.⁶ Es handelt sich dabei um folgende Anforderungen:

- 1) Gute Eindringtiefe und Ablagerung des Steinfestigers in der gesamten Schichtstärke des verwitterten Gesteins,
- 2) keine schädlichen chemischen oder physikalischen Reaktionen zwischen Steinfestiger und Gestein hervorzurufen,
- 3) Erzielung eines kontinuierlichen Festigkeitsprofils,
- 4) niedriger Wärmeausdehnungskoeffizient,
- 5) Verträglichkeit mit dem natürlichen Charakter des Gesteins,
- 6) Wasserdampfdiffusionsfähigkeit und hydrophobierende Wirkung dort, wo es angebracht ist,
- 7) leichte Verarbeitbarkeit,
- 8) unbedenkliche und wirtschaftliche Anwendung,
- 9) Langzeitwirkung.

3. Material und Methode

3.1 Gesteinsmaterial

Die Gesteinsproben für diese Untersuchung stammen aus einem alten Steinbruch, den bereits die Nabatäer benutzten. Dieser Steinbruch eignet sich in idealer Weise zur Probenentnahme, da das dortige Gestein in der gleichen Weise wie die Fassaden der Monumente bearbeitet worden ist. Bohrkerne und 5 x 5 x 5 cm große Würfel wurden an verschiedenen Stellen des Steinbruchs entnommen, um alle vorhandenen Sandsteinvarietäten zu erfassen.

Steinfestigungsmittel	Handelsname	Chemische Formel	Funktion
Nr. 1	Wacker OH	Kieselsäureester	Steinfestiger
Nr. 2	Wacker H	Kieselsäureester+ Alkylalkoxysilan	Steinfestiger+ Hydrophobierungsmittel
Nr. 3	Funcosil OH	Kieselsäureester	Steinfestiger
Nr. 4	Befix	Silicate+natürliche Gesteinsprodukte	Steinhärter+ Hydrophobierungsmittel
Nr. 5	Silan Z-6070	Methyltrimethoxysilan	Hydrophobierungsmittel

This program was based on designing a test regime that could be effectively used to evaluate a series of promising commercially available stone consolidants. The aim is to select the suitable material that can be used to protect the threatened and weathered monuments of Petra.

2. Performance Requirements for Stone Consolidants

The most important function of a consolidant is to restore the cohesion of the deteriorated stone. This is achieved by the deposition of new, durable binding materials within the pores of the decayed stone.⁵ In addition, stone consolidants should fulfill other clearly defined requirements in order to be compatible with conservation ethics and guidelines.⁶ These requirements are:

- 1) Substantial penetration depth, accompanied by deposition of the consolidant to the full thickness of the weathered zone of the stone,
- 2) absence of deleterious chemical or physical interactions between the consolidant and the stone,
- 3) creation of a continuous hardness profile,
- 4) low coefficient of thermal expansion,
- 5) compatibility with the nature of the stone,
- 6) water vapour permeability/water repellence (where applicable),
- 7) ease of application,
- 8) safe and economical application,
- 9) long term effectiveness.

3. Materials and Methods

3.1 Stone Materials

The stone samples used in this study were taken from an old quarry that was used by the Nabataeans. The quarry is ideal for taking experimental samples as the stone there was treated in the same way as the façades of the monuments. Drill cores and 5 x 5 x 5 cm cubes were taken from different locations of the quarry to represent all varieties of sandstone existent.

Consolidant	Commercial name	Chemical nature	Function
No. 1	Wacker OH	Silicic acid ester	Stone strengthener
No. 2	Wacker H	Silicic acid ester+ alkylalkoxysilane	Stone strengthener + water repellent
No. 3	Funcosil OH	Silicic acid ester	Stone strengthener
No. 4	Befix	Silicate + natural stone products	Stone hardener + water repellent
No. 5	Silane Z-6070	Methyl trimethoxy silane	Water repellent

3.2 Steinfestiger

Für die Auswertung in der vorliegenden Untersuchung wurden fünf Materialien ausgewählt, die für die Steinfestigung geeignet zu sein scheinen. Es sind handelsübliche Materialien, die von Herstellern und Großhändlern in Europa bezogen wurden. Die Materialien wurden gemäß der Herstellerangaben mit einem Pinsel aufgetragen oder aufgesprüht und anschließend ausgehärtet oder getrocknet. Die vorangestellte Tabelle gibt die allgemeine chemische Struktur der ausgewählten Materialien wieder.

Wacker OH und Wacker H sind Produkte der Firma Wacker-Chemie GmbH, Deutschland. Funcosil wird von der Firma Remmers Bauchemie GmbH, Deutschland, hergestellt. Befix ist ein Produkt der Firma Snoway in Österreich. Silan Z-6070 ist ein Produkt der Firma Dow Corning, USA.⁷

3.3 Laborversuchsprogramm

Es wurde eine Serie von Labortests sorgfältig ausgearbeitet und durchgeführt, um messen und auswerten zu können, in welchem Maße die zu untersuchenden Steinfestiger den vorgegebenen Anforderungen genügen. Diese Tests umfassen:

3.3.1 Eindringtiefe

Bei dieser Untersuchung wurden Bohrkern mit einem Durchmesser von 4.1 cm und bekanntem Gewicht verwendet. Die Aufnahme des Steinfestigers durch das Gestein erfolgte durch Kapillarwirkung. Die Bohrkern wurden auf Schwämme gesetzt, die mit den verschiedenen Mitteln getränkt waren. Die Gewichtszunahme und Steighöhe des Steinfestigers wurde als Funktion der Zeit ermittelt und Messungen nach 30, 60, 120, 300, 600, 1200, 1800 und 2400 Sekunden vorgenommen.

3.3.2 Wasseraufnahme

Die Auswirkungen der verschiedenen Steinfestiger auf die Wasseraufnahmefähigkeit des Gesteins wurde in zwei Tests ermittelt:⁸

a) Kapillare Wasseraufnahme

Die Messung der kapillaren Wasseraufnahme wurde nach DIN 52617 durchgeführt. Die Bohrkern wurden durch Aufsprühen der verschiedenen Steinfestiger behandelt, während unbehandelte Bohrkern als Kontrollproben dienten. Jede einzelne Probe wurde auf eine wassergetränkte Unterlage gestellt, wobei das Wasser nur durch die Unterseite der Probe eindringen konnte. Nach jeweils 30, 60, 120, 300, 600, 1800, 2400 und 6000 Sekunden wurden der Wasserspiegel und die aufgesogene Wassermenge gemessen und die Steighöhe als auch die Gewichtszunahme notiert.

b) Wasserabsorption unter atmosphärischem Druck

Um die Wasserabsorption unter atmosphärischem Druck zu messen, wurden die Proben (5 x 5 x 5 cm) in Wasser getaucht. Die Absorption wurde als prozentuale Gewichtszunahme aufgezeichnet. Die Meßwerte wurden jeweils nach 10, 30 und 60 Minuten sowie nach 24 Stunden notiert.

3.3.3 Wasserdampfabsorptions-Isotherme

Die Testverfahren wurden nach DIN 52620 durchgeführt. Von jeder Probe wurden sieben Scheiben von etwa 7 bis 10 mm Dicke entnommen und in Klimakammern bei einer Temperatur von 20 °C unterschiedlichen relativen Feuchtigkeitswerten ausgesetzt: 32 % (CaCl₂), 45 % (K₂CO₃), 76 % (NaCl), 86 % (KCl) und 98 % (CuSO₄·5H₂O). Die Gewichtszunahme wurde alle 24

3.2 Consolidating Materials

Five materials that have been claimed to be useful for consolidating stone were selected for evaluation in this study. These materials are commercially available and were obtained from producers and distributors in Europe. The materials were applied with a brush or sprayed and then cured or dried according to manufacturers' recommendations. The selected materials with their general chemical structure are listed in the preceding table.

Wacker OH and Wacker H are products of Wacker-Chemie GmbH, Germany. Funcosil OH is a product of Remmers Bauchemie GmbH, Germany. Befix is a product of Snoway, Austria. Silane Z-6070 is a product of Dow Corning, USA.⁷

3.3 Laboratory Testing Program

A series of laboratory tests were carefully designed and applied to measure and evaluate to what degree the studied stone consolidants fulfill the pre-set requirements. These tests are:

3.3.1 Depth of Penetration

Drill cores with 4.1 cm diameter and known weights were used in this test. The consolidant was added to the stone by capillary rise method. The drill cores were placed on the top of a sponge saturated with different consolidants. The weight increase and rising height of the consolidant were recorded as a function of time. Readings were taken after 30, 60, 120, 300, 600, 1200, 1800, and 2400 seconds.

3.3.2 Water Absorption

The impact of treatment of various consolidants on the ability of the stone to absorb water was measured by two tests:⁸

a) Capillary Water Absorption

The capillary water absorption test was performed according to DIN 52617. Drill cores were treated with the different consolidants by spraying. Some untreated cores were kept as a control. Each test sample was individually placed on top of a water-saturated pad to allow water to penetrate from the bottom surface of the samples only. After 30, 60, 120, 300, 600, 1800, 2400 and 6000 seconds the level of water and the amount of water sucked up were measured and recorded by height and weight increase.

b) Water Absorption under Atmospheric Pressure

To measure water absorption under atmospheric pressure specimens (5 x 5 x 5 cm) were immersed into water. The absorption was recorded as percentage increase in weight. Readings were recorded after 10, 30, and 60 minutes and after 24 hours.

3.3.3 Water Vapour Absorption Isotherm

The testing procedures were applied according to DIN 52620. Seven slices with a thickness of about 7 to 10 mm from each sample were taken and subjected to different relative humidity values, 32 % (CaCl₂·6H₂O), 45 % (K₂CO₃), 76 % (NaCl), 86 % (KCl) and 98 % (CuSO₄·5H₂O) in climatic chambers, at a temperature of 20 °C. The weight increase is recorded every 24

Stunden bis zum Erreichen eines Konstantwertes aufgezeichnet. Diese Behandlung erfolgte über eine Dauer von 1 bis 23 Tagen je nach verwendetem Steinfestiger.

3.3.4 Wasserdampfdiffusion

Diese Untersuchung wurde nach DIN 52615 anhand von sechs Proben durchgeführt. Von jeder Probe wurden jeweils zwei Scheiben von etwa 7 bis 10 mm Dicke, eine für die dry-cup- und eine für die wet-cup-Messung entnommen. Für jede Probe wurden spezielle Schalen mit weitem Hals verwendet. Der eine Behälter wurde bis zu etwa einem Drittel mit einem Trocknungsgel (dry-cup) gefüllt, der andere mit destilliertem Wasser (wet-cup). Anschließend wurden die Scheiben am Hals der Becher mittels einer Paste abgedichtet, um einen Transport von Wasserdampf zwischen Gesteinsscheibe und Glas zu verhindern. Anschließend wurde der Becher in einen Glas-Exsikkator gestellt, der mit einer gesättigten Lösung von Kaliumcarbonat (K_2CO_3) gefüllt ist, um eine konstante relative Luftfeuchte von 45 % sicherzustellen. Alle 24 Stunden wurde die Gewichtszunahme gemessen, bis keine Zunahme mehr zu verzeichnen war.

3.3.5 Salzkristallisationstest

Bei diesem Test, der nach DIN 5211 erfolgte, wurden fünf Bohrkern verwendet. Behandelte und unbehandelte Proben wurden für die Dauer von 16 Stunden in eine Natriumsulfatlösung gelegt, wobei sie nicht mehr als 1 cm tief in die Lösung eingetaucht wurden. Die Proben wurden anschließend aus der Lösung genommen und in einem Ofen 5 Stunden lang bei 110 °C erhitzt. Jeweils ein Tauch- und Erhitzungsvorgang wurde als ein Zyklus bezeichnet. Die Proben wurden einer Serie von Zyklen ausgesetzt, nach jedem Zyklus visuell beurteilt und die Gewichtsverluste bestimmt. Während eines Zyklus wird das Natriumsulfat kristallisiert, hydratisiert und dehydratisiert. Bei jedem Zyklus wurden von dem Stein weitere Mengen Salz aufgenommen, wodurch der zerstörerische Kristallisationsdruck gesteigert wurde. Diese Behandlung dauerte 1–30 Tage.

3.3.6 Mechanische Festigkeit des behandelten Steins

a) Druckfestigkeitsmessungen

Die Druckfestigkeit wurde in Anlehnung an DIN 1164 gemessen. Die zu untersuchenden Steinfestiger wurden auf jeweils zwei gleiche Gesteinsprismen mit den Abmessungen 65 x 150 x 25 mm aufgebracht, während vom unbehandelten Gestein ebenfalls Doppelpismen angefertigt wurden. Die Druckfestigkeit wurde mittels einer hydraulischen Presse gemessen (Maximaldruck 10 T).

b) Biaxiale Biegefestigkeit

Behandelte und unbehandelte Bohrkern wurden in Scheiben von 5 mm Dicke unterteilt. Die mechanische Festigkeit wurde für jede Scheibe getrennt bestimmt.⁹

3.3.7 Widerstandsfähigkeit gegen Frostschäden

In diesem Versuch wurde die Wirksamkeit verschiedener Gesteinsbehandlungen zur Verbesserung der Frostbeständigkeit nach DIN 52104 untersucht. Proben, die mit verschiedenen Steinfestigern behandelt worden waren sowie unbehandelte Kontrollproben wurden für die Dauer von vier Stunden einem schnellen Gefrierprozess bei -25 °C unterzogen, und die gefrorenen Proben anschließend zum Auftauen bei 15 °C in Wasser gelagert. Diese Zyklen wurden kontinuierlich wiederholt und der jeweilige Gewichtsverlust aufgezeichnet.

hours till there is no more increase in weight. The application process took 1–23 days according to the consolidant being applied.

3.3.4 Water Vapour Permeability

The test was carried out according to DIN 52615. Six samples were used; from each sample, two slices, about 7 to 10 mm thick, one for dry-cup and the other for wet-cup, were taken. For each sample special cups with a wide neck were used. One cup was filled (about one third) with a drying gel (dry-cup) and the other cup with distilled water (wet-cup). After that, the slices were fixed onto the neck of the cups by using a paste to prevent the transportation of the water vapour in between the slice and the glass. Then the cups were put in a glass dissector containing a saturated solution of potassium carbonate (K_2CO_3) to establish a constant relative humidity of 45 %. The weight increase was recorded every 24 hours till there was no more increase.

3.3.5 Salt Crystallization Test

The test was carried out according to DIN 5211. Five drill cores were used in this test. Treated and untreated samples were immersed in a sodium sulfate solution for 16 hours, not deeper than 1 cm. Samples were then removed from the solution and heated in an oven for 5 to 7 hours at 110 °C. A one time soaking and heating procedure was considered to be one cycle. The specimens were subjected to a series of cycles; after each cycle they were examined visually and weight losses were determined. During one cycle, sodium sulfate undergoes crystallization, hydration and dehydration. By each cycle additional amounts of salts were absorbed by the natural stone, increasing the disruptive crystallization pressures. The application process took 1–30 days.

3.3.6 Mechanical Strength of the Consolidated Stone

a) Compressive Strength Measurements

Compressive strength measurements were carried in accordance with DIN 1164. The tested consolidants were applied to duplicate prism specimens of stone, 65 x 150 x 25 mm. Duplicate prism specimens of untreated stone were also tested. The compressive strength was measured under a hydraulic press (maximum compression 10 T).

b) Biaxial Flexural Strength

Treated and untreated drill cores were cut into thin slices of a thickness of 5 mm. The mechanical strength of each slab is determined separately.⁹

3.3.7 Resistance to Freeze-Thaw Damage

This test was done to evaluate the effectiveness of different consolidation treatments to improve frost damage resistance of the stone. The tests were performed according to DIN 52104. Samples treated with different consolidants in addition to a control untreated sample were subjected to rapid freezing to -25 °C during a period of four hours, followed by storage of frozen sample in water at 15 °C. The cycles were continuously repeated and weight loss of the samples was recorded.

4. Ergebnisse und Diskussion

Auswertung des Eindringvermögens der Steinfestiger

Die Aufnahme des jeweiligen Steinfestigers wurde als Gewichtszunahme der Bohrproben in Abhängigkeit von der Zeit, während der sie mit der Festigerlösung in Kontakt waren sowie durch Messung der Höhe, die die Festigerlösung in der Probe erreicht hatte, aufgezeichnet. Das Eindringvermögen der verschiedenen Steinfestiger ist in Abbildung 1 dargestellt: Wacker H > Silane > Wacker OH > Funcosil > Befix. Dieses Ergebnis läßt sich durch die Unterschiede in den chemischen und physikalischen Eigenschaften der verschiedenen Steinfestiger erklären. Das geringe Molekulargewicht und die geringe Viskosität der Ethylsilikate und des Silans ermöglicht gute Eindringwerte. Befix auf Wasserbasis zeigte das geringste Eindringvermögen, was hauptsächlich auf die hohe Partikelgröße dieses Materials zurückzuführen ist.

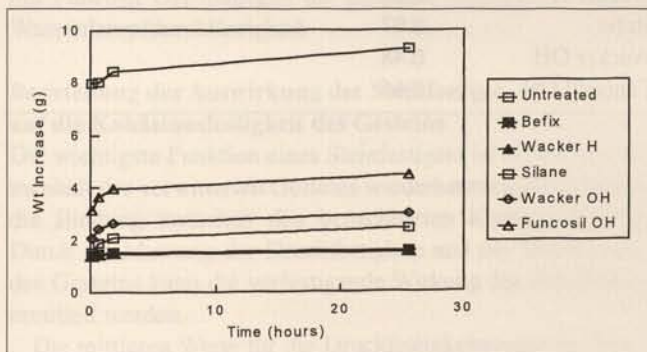


Abb. 1. Wasserabsorption der behandelten und unbehandelten Proben

Es ist bekannt, daß das Endergebnis der Gesteinszerstörung, ganz gleich, welcher Zerstörungsmechanismus am Werk ist, das Fehlen des Bindemittels in der zerstörten Gesteinszone ist. Aufgrund dieses Bindemittelmangels ist die zerstörte Gesteinschicht poröser und hat eine geringere Festigkeit als die gesunden Gesteinsschichten. Für gewöhnlich werden dann sehr brüchige, manchmal völlig bindemittellose, sandende Zonen vorgefunden.

Eines der Hauptziele der Steinfestigung ist das tiefe Einbringen von neuem Bindemittel in die verwitterte Zone. Um dies zu erreichen, sollte der Steinfestiger ein gutes Eindringvermögen besitzen. Der Steinfestiger ist dann nicht geeignet oder sogar schädlich, wenn er lediglich eine Schale ausbildet, anstatt die gesamte brüchige Zone vollständig zu festigen. Die Bildung einer Schale wird später zu Ablösungen führen; eine typische Begleiterscheinung bei der Behandlung mit organischen Harzen, die deshalb nicht mehr zulässig ist. Steinfestiger mit geringem Eindringvermögen sollten daher ausgeschlossen und schon aus diesem Grund abgelehnt werden.

Wirkung der Steinfestigung auf die kapillare Wasserabsorption des Gesteins

Der wichtigste Wasserabsorptions-Mechanismus bei den Steinmonumenten Petras beruht auf Kapillarkwirkung. Unter dem Einfluß der Kapillarkräfte wird das Wasser vom porösen Gestein aufgesogen.

Die kapillare Wasseraufnahme des Sandsteins in Petra ist ziemlich hoch, kann jedoch variieren. Dies ergibt sich aus den hohen, wenn auch unterschiedlichen Wasseraufnahmekoeffi-

4. Results and Discussion

Evaluation of the Penetration Depth of the Consolidants

The results of the consolidant uptake were recorded as weight increase with time of the stone samples being in contact with the consolidant solutions and by measuring the increase in the distance travelled upward by the consolidant. The penetration ability of the various consolidants is shown in figure 1.: Wacker H > Silane > Wacker OH > Funcosil > Befix. The obtained results could be explained based on the difference in the chemical and physical properties of the different consolidants. The low molecular weight and low viscosity of the ethylsilicates and Silane enable them to achieve good penetration levels. The water-based Befix has the lowest ability to penetrate. This is mainly due to the large particle size of the basic components forming this material.

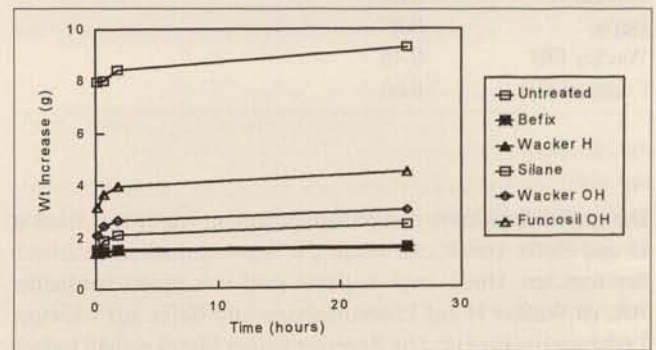


Fig. 1. Water absorption of treated and untreated samples

It is a well-known fact that the ultimate result of the deterioration of stone irrespective of the deterioration mechanism responsible is the lack of stone binder in the destroyed zone. Due to the lack of the binder, the destroyed stone layer will have a higher porosity and a smaller strength than the sane core of the stone. Very friable, sometimes completely binder-less sanding zones are usually to be found.

One of the major aims of the stone consolidation is to deposit new binding material deep in the weathered zone. To achieve this aim, the consolidant should have a high penetration power. The stone consolidation is wrong, even damaging, if a shell is being formed instead of completely strengthening the friable zone. The shell formation will result in posterior spallings; a typical phenomenon for a treatment with organic resins that is not accepted any more due to that reason. Therefore consolidants with low penetration power should be excluded and could be rejected on this ground alone.

Effect of the Consolidation Treatment on the Capillary Water Absorption of the Stone

Capillary rise is the most important water absorption mechanism of the monuments of Petra. Under the influence of capillary forces the water imbibes into the porous stone.

The capillary water uptake of the sandstone of Petra is quite high, but variable. This is shown by the high and varied water absorption coefficients of different samples of untreated sandstone samples taken from the quarry. The calculated w values range

zienten verschiedener unbehandelter Sandsteinproben aus dem Steinbruch. Die berechneten w-Werte liegen im Bereich von 3.26 bis 7.69 kg/m²h^{0.5}. Dies ist hauptsächlich auf die unterschiedlichen Sandsteinarten und das unterschiedliche Ausmaß der Verwitterung zurückzuführen.

Es hat sich herausgestellt, daß alle Steinfestiger die kapillare Wasserabsorption des Sandsteins von Petra herabsetzten, wobei jedoch das Ausmaß erheblich schwankt. Die Berechnung des Wasseraufnahmekoeffizienten (Tab. 1) gibt die Reihenfolge der Reduktion durch die Steinfestiger wie folgt wieder: Wacker H = Befix > Silan > Wacker OH > Funcosil OH > unbehandelt.

Tabelle 1. Wasserabsorptionskoeffizient von Proben, die mit verschiedenen Steinfestigern behandelt wurden

Probe	w-Wert (kg/m ² (h))
Unbehandelt	4.45
Silan	0.12
Wacker H	0.07
Befix	0.07
Wacker OH	0.48
Funcosil OH	0.66

Die größte Reduktion der Wasserabsorption wurde mit Wacker H und Befix erzielt, die beide die Wasseraufnahme drastisch herabsetzten. Diese zwei Systeme sind von unterschiedlicher Art, da Wacker H auf Lösemittelbasis und Befix auf wäßriger Lösung aufgebaut ist. Die Rezeptur beider Mittel enthält jedoch wasserabweisende Zusätze. Wacker H übt seine hydrophobierende Wirkung aufgrund des Alkoxysilan-Bestandteils aus. Alkoxysilane haben den Vorteil, daß sie dem Gestein ihren Hydrophobierungs-Effekt über ihre Alkylgruppe, in den meisten Fällen eine Methylgruppe, vermitteln. Dies erklärt die Verringerung in Wasserabsorption, wenn Silan getrennt, ohne den Kieselsäureester, angewandt wird. Befix ist eine wäßrige Lösung, die aus einem organischen Teil und einem reaktiven Silikatanteil besteht. Der reaktive Silikatanteil reagiert mit den löslichen Calcium- und Magnesium-Ionen der Gesteinsoberfläche, wohingegen die organischen Bestandteile den hydrophobierenden Effekt verursachen.

Die OH Kieselsäureester, sowohl bei Wacker OH als auch bei Funcosil OH, haben, verglichen mit den anderen Systemen eine verhältnismäßig geringfügige hydrophobierende Wirkung. Diese beiden Festiger können durch die Ablagerung von Silika-Gel in den Gesteinsporen dem verwitterten Gestein Festigkeit verleihen. Sie enthalten jedoch keine chemischen Gruppen mit wasserabweisender Wirkung. Ihr hydrophobierender Effekt kann von der geringeren Porosität des Gesteins aufgrund der Ablagerung von Silika-Gel herrühren. Deshalb können diese beiden Festiger immer noch zu einem beträchtlichen Teil die Wasseraufnahme herabsetzen, wie aus den dargestellten Ergebnissen ersichtlich ist (Abb. 1).

Die Ergebnisse zeigen, daß der Hauptanteil des Wassers, den die Proben insgesamt aufnehmen können, innerhalb der ersten zehn Minuten des Versuchs aufgenommen wird. Das bedeutet, daß sich die meisten Gesteinsporen bei Niederschlag innerhalb der ersten Minuten mit Wasser füllen. Es besteht kein Zweifel, daß alle erprobten Steinfestiger die Neigung der Poren, Wasser aufzunehmen, herabsetzten. Hierbei sind diejenigen mit hydrophobierendem Effekt (Wacker H, Befix und Silan) überlegen.

from 3.26 to 7.69 kg/m²h^{0.5}. This is mainly due to the difference in the nature of the sandstone and due to the different extent of weathering that the stones suffered.

It has been found that all the consolidants have decreased the capillary water absorption of the sandstone of Petra. However, the magnitude of that decrease varies. The calculated water absorption coefficients (table 1) indicate that the order of reduction was: Wacker H = Befix > Silane > Wacker OH > Funcosil OH > untreated.

Table 1. Water absorption coefficients of samples treated with various consolidants

Sample	w-Value (kg/m ² (h))
Untreated	4.45
Silane	0.12
Wacker H	0.07
Befix	0.07
Wacker OH	0.48
Funcosil OH	0.66

The largest decrease in water absorption was observed in the case of Wacker H and Befix. They both reduced the water uptake drastically. The two systems are of different nature since Wacker H is a solvent base while Befix is an aqueous base. However, both contain as part of their formulation hydrophobing groups. Wacker H imparts its water repellence effect due to its alkoxy-silane component. Alkoxysilanes have the advantage of imparting a degree of water repellence to the stone by virtue of their alkyl group which is a methyl group in most cases. This explains the reduction in water absorption when the Silane is used separately without the silicic acid ester. Befix is an aqueous solution consisting of an organic part and of a reactive silicate part. The reactive silicate part reacts with the dissolved calcium and magnesium ions of the stone surface while its organic part imparts a hydrophobing effect.

The OH silicic acid esters, both Wacker OH and Funcosil OH, have a relatively low hydrophobing power when compared with the other systems. These two consolidants can impart a strengthening effect on the weathered stone by the deposition of silica gel within the stone pores. However, they contain no chemical groups, which might impart water repellence. Their hydrophobing effect may result from the decrease in the porosity of the stone due to the deposition of silica gel. Therefore, both consolidants can still reduce the water absorption to a considerable extent as shown by the obtained results (fig. 1).

The obtained result shows that all samples absorbed most of the water that they can contain in the first ten minutes of the test. This means that in the first minutes of rain most of the pores of the stone are filled with water. It is quite clear that all the tested consolidants reduce the stone affinity for water. Those that have water repellence characteristics (Wacker H, Befix and Silane) are more effective in that regard.

Untersuchung der Wasserdampfdurchlässigkeit (Wasserdampfdiffusion)

Die Fähigkeit eines Steinfestigers, das Material nach der Behandlung auch „atmen“ zu lassen, ist eine der wichtigsten geforderten Eigenschaften. Wenn die Behandlung die Wasserdampfdurchlässigkeit behindert, wird die Trocknung verzögert und die Salzkristallisation findet innerhalb des Porenraums an der Grenze „behandelt-unbehandelt“ statt.

Die Gewichtsveränderung der Proben in Abhängigkeit von der Zeit in den wet-cup- und dry-cup-Versuchen wurde zur Beurteilung der Auswirkung der verschiedenen Mittel auf die Wasserdampfdurchlässigkeit des Gesteins herangezogen. Die Wasserdampfdurchlässigkeit wurde in kg/m^2 errechnet und in Abbildung 2 dargestellt.

Die Ergebnisse beweisen, daß die Behandlung mit den verschiedenen Steinfestigern eine Abnahme der Gesteinsdurchlässigkeit bewirkt, die jedoch nicht nennenswert ist. Die Behandlung mit Wacker H bewirkte die größte Herabsetzung (28 %), mit Funcosil OH hingegen die geringste Abnahme (8 %) der Wasserdampfdurchlässigkeit.

Beurteilung der Auswirkung der Steinfestiger auf die Kohäsionsfestigkeit des Gesteins

Die wichtigste Funktion eines Steinfestigers ist es, den Zusammenhalt des verwitterten Gesteins wiederherzustellen, indem er die Bindung zwischen den benachbarten Körnern erneuert. Durch die Messung der Druckfestigkeit und des Bruchmoduls des Gesteins kann die verfestigende Wirkung der Steinfestiger ermittelt werden.

Die mittleren Werte für die Druckfestigkeitsversuche sind in Tabelle 2 zusammen mit dem prozentualen Anstieg der Druckfestigkeit in den Gesteinsproben dargestellt.

Tabelle 2. Druckfestigkeit un behandelter und behandelter Sandsteinproben

Probe	Druckfestigkeit (MPa)	Prozentuale Steigerung der Druckfestigkeit
Unbehandelt	16.78	–
Behandelt mit Wacker H	30.23	80
Behandelt mit Wacker OH	28.37	69
Behandelt mit Funcosil OH	27.68	64.9
Behandelt mit Befix	29.14	73
Behandelt mit Silan	25.22	50

Die erzielten Ergebnisse zeigen, daß die Behandlung mit Wacker H den größten Anstieg der Druckfestigkeitswerte erzielte, die Behandlung mit Silan jedoch den geringsten. Es ist jedoch offensichtlich, daß alle Steinfestiger die Druckfestigkeit des Gesteins wirksam verbesserten. Der Anstieg der Druckfestigkeit in den Proben, die mit Wacker OH und Funcosil OH behandelt wurden, ist durchaus vergleichbar. Dieses beruht darauf, daß diese Mittel Kieselsäureester als reaktive Bestandteile enthalten, die für die Verfestigung des Gesteins verantwortlich sind. Kieselsäureester wirken als Steinfestiger durch die Ablagerung von Silicagel, einem natürlichen Gesteinsbindemittel, in den Poren des verwitterten Gesteins, wodurch die Kohäsionsfestigkeit verbessert wird. Befix verdankt seine verfestigende Wirkung ei-

Investigation into the Water Vapour Permeability (Water Vapour Diffusion)

The ability of a consolidant to allow the material in which it is used to 'breathe' is one of its most important characteristics. If the consolidating treatment hinders the water vapour permeability, the drying rate will be reduced and salt crystallization will take place in the interior of the pore space at the transition zone 'treated-untreated'.

The change in the weight of the sample with time in the wet-cup and dry-cup experiments was used to evaluate the impact of treatment with different consolidants on the stone permeability to water vapour. The permeability of stone was calculated and expressed in kg/m^2 as shown in figure 2.

It is quite evident from the results that the treatment of the stone with the different consolidants brings about a decrease in the permeability of the stone. However the decrease in permeability results from the treatment is not remarkable. The largest decrease in water vapour permeability was caused by treatment with Wacker H (28 %) while the lowest decrease was caused by treatment with Funcosil OH (8 %).

Evaluation of the Efficiency of Consolidants Concerning the Cohesion Strength of the Stone

The most important function of a consolidant is to restore the integrity of decayed stone by re-establishing the bonds between adjacent grains. The measurement of compressive strength of the stone and the modulus of rupture can evaluate consolidating abilities of the stone consolidants.

The average test results obtained from the compressive test are presented in table 2 together with the increase in percent of compressive strength observed in treated samples.

Table 2. Compressive strength of untreated and treated sandstone samples

Sample	Compressive strength (MPa)	% Increase in compressive strength
Untreated	16.78	–
Treated with Wacker H	30.23	80
Treated with Wacker OH	28.37	69
Treated with Funcosil OH	27.68	64.9
Treated with Befix	29.14	73
Treated with Silane	25.22	50

The obtained results show that treatment with Wacker H provided the greatest increase in compressive strength, while the treatment with Silane provided the smallest increase. However it is quite evident that all the test stone consolidants were effective in improving the compressive strength of the stone. The increase in the compressive strength of the samples treated with Wacker OH and Funcosil OH is quite comparable. This because these consolidants contain silicic acid esters as the reactive components that are responsible for the consolidation of the stone. Silicic acid esters act as stone consolidants by depositing silica gel, the natural stone binder within the pores of the weathered stone leading to an improvement in its cohesion strength. Befix imparts its consolidation strength by a different mechanism. Its reactive in-

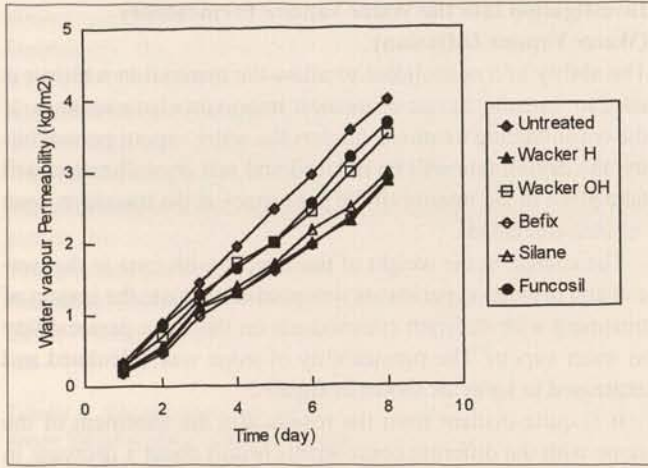


Abb. 2. Wasserdampfdurchlässigkeit behandelter und unbehandelter Gesteinsproben

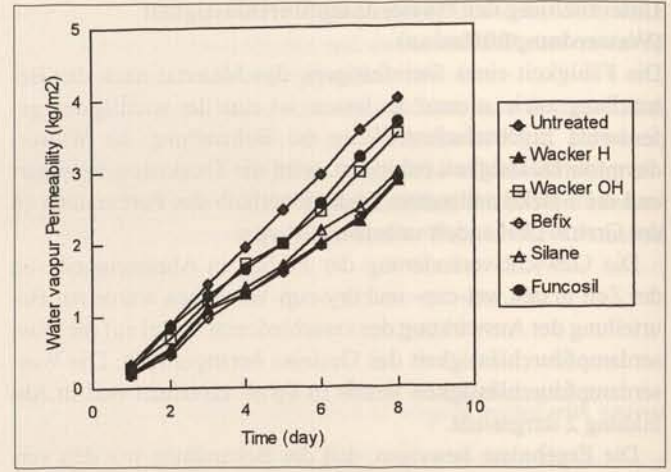


Fig. 2. Water vapour permeability of treated and untreated samples

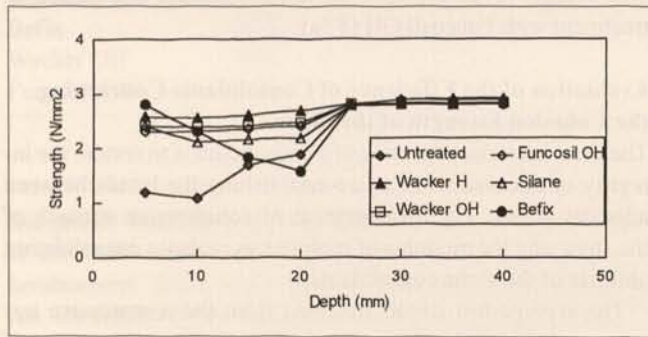


Abb. 3. Festigkeitsänderungen als Funktion der Eindringtiefe bei behandelten und unbehandelten Bohrkernen

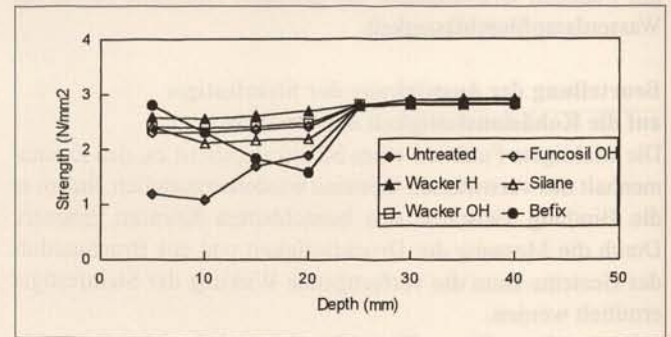


Fig. 3. Variation of strength as a function of the penetration depth of treated and untreated drill cores

nem anderen Mechanismus: Seine reaktiven inorganischen Bestandteile reagieren mit den gelösten Calcium- und Magnesium-Ionen des verwitterten Gesteins, wodurch neue, stabile Silikatverbindungen gebildet werden (Abb. 3).

Aus der obigen Darstellung geht klar hervor, daß das Gestein bis in 25 mm Tiefe verwittert ist. Eine erfolgreiche Festigung dieses Gesteins bedeutet, daß der Kornverband der verwitterten Zone wiederhergestellt ist. Mit anderen Worten, die mechanischen und physikalischen Eigenschaften sollten auf das Niveau des gesunden Gesteinskerns angehoben werden. Wie Abbildung 3 zeigt, wird eine deutliche Verbesserung der Festigkeit der verwitterten Zone und ein weitgehend gleichmäßiges und ausgeglichenes Festigkeitsprofil durch die Behandlung mit Wacker H erzielt. Die Behandlung mit Wacker OH und Funcosil ergibt gleichmäßige Festigkeitsprofile bei geringerer Verbesserung der Festigkeit der verwitterten Zone. Die Verfestigung mit Befix ergibt eine hohe mechanische Festigkeit an der Oberfläche. Mit zunehmender Tiefe nimmt die Festigkeit jedoch plötzlich ab. Dies ist hauptsächlich auf die ungenügende Eindringtiefe des Mittels zurückzuführen. Wenn der Steinfestiger nicht ausreichend tief eindringt, wird eine künstliche Kruste gebildet, die nur eine lose Bindung zum inneren, gesunden Gesteinskern aufweist.

Widerstand der behandelten Proben gegen Salzkristallisation

Die Hauptursache für die Gesteinsverwitterungen in Petra ist die Auskristallisierung von Salzen in den Gesteinsporen. Wieder-

organische part reacts with the dissolved calcium and magnesium ions of the weathered stone. This results in the formation of new stable silicate compounds (fig. 3).

It is quite clear from the above figure that the stone is weathered to a depth of around 25 mm. A successful consolidation of this stone means that the integrity of the weathered zone is restored. In other words, the mechanical and physical properties shall be improved to the same level as the sound core of the stone. As shown in figure 3, consolidation with Wacker H clearly improves the strength of the weathered zone and produces a rather smooth and level strength profile. Consolidation with Wacker OH and Funcosil gives smooth strength profiles but less improvement to the strength of the weathered zone. Consolidation with Befix results in a high mechanical strength of the outer surface. However, the strength suddenly decreases as the depth increases. This is mainly caused by an insufficient penetration depth of the consolidant. Incomplete penetration of a consolidant will create an artificial crust, which is only loosely bonded to the internal sound core of the stone.

Resistance of the Treated Samples to Salt Crystallization

The most important cause of stone decay in Petra is the crystallization of salts within the pores of the stone. The repeated crys-

holte Kristallisation dieser Salze bewirkt ein Absanden oder Blasenbildung sowie die Bildung tiefer Aushöhlungen der Oberfläche. Es ist daher besonders wichtig zu untersuchen, in welchem Maße Steinfestiger die Widerstandsfähigkeit des Gesteins gegen Salzkristallisationsschäden zu erhöhen vermögen.

Die Widerstandsfähigkeit der verschiedenen beim Salzkristallisationsversuch verwendeten, behandelten und unbehandelten Proben wurde nach jedem Zyklus durch visuelle und mikroskopische Untersuchung bestimmt und der Gewichtsverlust der Proben registriert.

Die Überprüfung des Zustandes der Proben im Verlauf des Versuchs zeigt, daß alle Steinfestiger den Widerstand des Gesteins gegen Schäden durch Salzkristallisation verbesserten. Lediglich die unbehandelte Probe war bereits zu Versuchsbeginn in einem schlechten Zustand. Die ersten Anzeichen von Verwitterung und Auflösung zeigten sich bei den behandelten Proben erst nach dem 7. Zyklus und traten deutlicher in Erscheinung bei den mit Silan, Befix und Wacker OH behandelten Proben. Die mit Wacker H und Funcosil OH behandelten Proben erwiesen sich als verwitterungsresistenter, da sie lediglich in den Spätphasen des Versuchs Abblätterscheinungen und Schuppenbildung aufwiesen.

Widerstand gegen Frostschäden

Sowohl bei unbehandelten als auch bei behandelten Proben wurden nach 25 Zyklen keine meßbaren Veränderungen festgestellt. Dies läßt vermuten, daß bei der Zerstörung des untersuchten Gesteins Schäden aufgrund von Gefrieren und Auftauen keine große Rolle spielen. Die Anzahl der Zyklen ist jedoch sicherlich nicht ausreichend, um schlüssige Ergebnisse aus dieser Versuchsart erzielen zu können, da sich Schäden durch Gefrieren und Auftauen nur sehr langsam entwickeln. Der Versuch läuft derzeit und weitere Zyklen werden noch durchgeführt. Die Ergebnisse werden zur Verfügung gestellt, sobald sie ausgewertet sind.

5. Schlußbetrachtung

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, daß die getesteten Steinfestiger zwar akzeptable, aber unterschiedliche Festigungseigenschaften besitzen. Keines der getesteten Materialien zeigte eine konstante Tendenz. Bei manchen Versuchen erzielten einige Mittel sehr positive Ergebnisse, doch sind die meisten Versuche eher mit gemischten Resultaten ausgefallen. Alle Festiger haben letztendlich ihre Vor- und Nachteile. Es zeigt sich ganz deutlich, daß es keinen perfekten und universellen Steinfestiger gibt, der alle Probleme zu lösen imstande wäre. Beispielsweise hatten die Steinfestiger auf Lösemittelbasis (Wacker OH, Wacker H, Silan und Funcosil OH) generell ein größeres Eindringvermögen als diejenigen auf der Basis wäßriger Lösungen (Befix). Andererseits kann die Verwendung stark flüchtiger und entflammbarer Lösemittel, insbesondere in einem heißen Klima, ernsthafte negative Auswirkungen auf Mensch und Umgebung haben. Überdies bewirkt die Verdunstung des Lösemittels, daß erhebliche Anteile des Steinfestigers zusammen mit dem Lösemittel wieder an die Gesteinsoberfläche gebracht werden und dadurch die Wirksamkeit des Steinfestigers Einbußen erleidet.

Steinfestiger mit hydrophobierender Wirkung (Wacker H, Silan und Befix) reduzieren die Wasseraufnahme wirksamer als die anderen Materialien, die hinwiederum eine bessere Wasser-

tallization of these salts causes a powdering or a blistering of the surface and the formation of deep cavities. Therefore it is quite essential to test the ability of any stone preservative and consolidant to improve the stone resistance to the damage caused by salt crystallization.

The degree of resistance of the different untreated and treated samples used in the salt crystallization test was evaluated by visual and microscopic examination of the samples after each cycle and by recording the weight loss of the samples.

The monitoring of the sample conditions as the test progressed showed that all the consolidation treatments improved the resistance of the stone towards damage caused by salt crystallization. Only the untreated sample suffered at the early stages of the test. The first signs of weathering and disintegration of the treated samples appeared after the completion of cycle 7. This was more obvious in the samples treated with Silane, Befix and Wacker OH. Samples treated with Wacker H and Funcosil OH proved to be more resistant to weathering as they suffered only from little flaking and scaling at the late stages of the test.

Resistance to Frost Damage

No measurable changes were found either in the treated or untreated samples after twenty five cycles. This suggests that freeze-thaw damage may not be an important process in the deterioration of the tested stone. However, the number of cycles performed is definitely not sufficient to obtain conclusive results from this type of tests since damage by freeze-thaw cycles is very slow. The test is still running and more cycles are being performed. The results obtained will be made available as soon as they are obtained.

5. Concluding Remarks

The results obtained in this study demonstrate that the tested stone consolidants have acceptable but variable consolidating abilities. There is no constant trend for any of the tested materials. Some materials obtained very good results in one or the other of the tests, but most of the tests showed rather mixed results. All the tested consolidants have their positive merits but also negative ones. It is quite obvious that there is no perfect and universal consolidant that can solve all the problems. For instance, the consolidants applied as solvent base solutions (Wacker OH, Wacker H, Silane and Funcosil OH) have in general better penetration depths than those applied as an aqueous solution (Befix). On the other hand using highly volatile and flammable solvents, especially in hot climate, may have a serious negative impact on man and the environment. In addition, evaporation of the solvents results in bringing with them to the surface of the stone considerable amounts of the consolidant that consequently decreases the effectiveness of that consolidant.

The consolidants with hydrophobing effects (Wacker H, Silane and Befix) have better abilities to reduce the water uptake when compared to the other consolidants which on the other hand have a better water vapour permeability. The main conclusion of this study is perhaps that there is no single stone consolidant that could satisfy and meet all the requirements, applying

dampfdiffusionsfähigkeit aufweisen. Die wichtigste Schlußfolgerung aus dieser Untersuchung ist vielleicht, daß es, obwohl es keinen einzelnen Steinfestiger gibt, der alle Anforderungen zufriedenstellend erfüllen könnte, doch besser ist, Steinfestiger bei stark verwitterten und gefährdeten Zonen einzusetzen, als nichts zu unternehmen. Dies gilt jedoch nur dann, wenn alle Variablen sorgfältig optimiert werden. Jedes Objekt und jedes Material bringt spezielle Probleme mit sich, die je nach Sachlage gelöst werden müssen und dies kann nur durch sorgfältig geplante Feldversuche unter Heranziehung der Ergebnisse der Laborversuchsprogramme erreicht werden.

Anmerkungen

- 1 S. AMOROSO/V. FASSINA, *Stone decay and conservation*, in: *Materials Science Monographs*, 11, Amsterdam Elsevier 1983.
- 2 J.R. CLIFTON, *Adhesives and Consolidants*, in: Reprint of contributions to the Paris Congress 2.–8. September 1984, N.S. Brommelle/Elizabeth M. Pye/Perry Smith/Garry Thomson (Hrsg.), International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, London 1984, S. 151–155.
- 3 G.A. SLEATER, *A Laboratory Test Programme for Stone Preservatives*, in: RILEM/UNESCO Symposium on Deterioration and Protection of Stone Monuments, Paris 1976, S. 6, 13. – G.A. SLEATER, *Stone Preservatives: Methods of Laboratory Testing and Preliminary Performance Criteria*, National Bureau of Standards Technical Note 941, Washington DC 1977. – H. WEBER/K. ZINSMEISTER, *Conservation of Natural Stone*, Ehningen 1990.
- 4 R. SNETHLAGE/E. WENDLER/L. SÄTTLER, *The Application of Laboratory Processes and Studies to Real Structures*, in: Proc. Sympo. "Analytical Methodologies for the Investigation of damaged Stones", 14.–21. September, Pavia 1990.
- 5 C.A. PRICE, *The Evaluation of Stone Preservatives*, Garston, Watford 1980. – AMOROSO/FASSINA (wie Anm. 1).
- 6 G. TORRACA, *Porous Materials. Building Materials Science for Architectural Conservation*, 3. Ausg., Rom 1988. – PRICE, 1975. – AMOROSO/FASSINA (wie Anm. 1). – CLIFTON (wie Anm. 2). – WEBER/ZINSMEISTER (wie Anm. 3). – H. WEBER, *Stone Renovation and Consolidation using Silicones and Silicic Esters*, Wacker-Chemie GmbH München 1980, S. 375–385.
- 7 Wacker, *Wacker Silicones for Masonry Protection*, Wacker-Chemie GmbH Deutschland 1995. – Remmers, *Funcosil Façade Protection and Restoration Systems*, Remmers Bauchemie GmbH Deutschland 1995. – Sanotec Austria, *Innovation, Research and Development for the Protection of the Environment, Special Products for Buildings, Construction, Preservation and Treatment*, Sanotec Austria Technical Report, Österreich 1995.
- 8 WEBER/ZINSMEISTER (wie Anm. 3).
- 9 L. SÄTTLER/R. SNETHLAGE, *Durability and Stone Consolidation Treatments with Silicic Acid Ester*, in: Proc. Sympo. (wie Anm. 4).

Abbildungsnachweis

Alle Abbildungen vom Autor

Übersetzung aus dem Englischen ins Deutsche von Hannelore Meier

consolidants to heavily weathered and endangered stone is much better than doing nothing. This is only true if extreme care is taken to optimize all the variables involved. Every object and material present peculiar problems which must be faced according to circumstances. And this can only be achieved by the careful design of field testing programs utilizing the results obtained by the laboratory testing programs.

Footnotes

- 1 S. AMOROSO/V. FASSINA, 'Stone decay and conservation', *Materials Science Monographs*, 11, Amsterdam, Elsevier, 1983.
- 2 J.R. CLIFTON, 'Adhesives and Consolidants', in *Reprint of contributions to the Paris Congress 2–8 September 1984*, N.S. Brommelle/Elizabeth M. Pye/Perry Smith/Garry Thomson (eds.), International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, London, 1984, pp. 151–155.
- 3 G.A. SLEATER, 'A Laboratory Test Programme for Stone Preservatives', *RILEM/UNESCO Symposium on Deterioration and Protection of Stone Monuments*, Paris, 1976, pp. 6, 13. – G.A. SLEATER, *Stone Preservatives: Methods of Laboratory Testing and Preliminary Performance Criteria*, National Bureau of Standards Technical Note 941, Washington DC, 1977. – H. WEBER/K. ZINSMEISTER, *Conservation of Natural Stone*, Ehningen, 1990.
- 4 R. SNETHLAGE/E. WENDLER/L. SÄTTLER, 'The Application of Laboratory Processes and Studies to Real Structures', *Proc. Sympo. 'Analytical Methodologies for the Investigation of damaged Stones'*, 14–21 September, Pavia, 1990.
- 5 C.A. PRICE, *The Evaluation of Stone Preservatives*, Garston, Watford, 1980. – AMOROSO/FASSINA (note 1).
- 6 G. TORRACA, *Porous Materials. Building Materials Science for Architectural Conservation*, Third edition, Rome, 1988. – PRICE, 1975. – AMOROSO/FASSINA (note 1). – CLIFTON (note 2). – WEBER/ZINSMEISTER (note 3). – H. WEBER, *Stone Renovation and Consolidation using Silicones and Silicic Esters*, Wacker-Chemie GmbH, Munich, 1980, pp. 375–385.
- 7 Wacker, *Wacker Silicones for Masonry Protection*, Wacker-Chemie GmbH, Germany, 1995. – Remmers, *Funcosil Façade Protection and Restoration Systems*, Remmers Bauchemie GmbH, Germany, 1995. – Sanotec Austria, *Innovation, Research and Development for the Protection of the Environment, Special Products for Buildings, Construction, Preservation and Treatment*, Sanotec Austria Technical Report, Austria, 1995.
- 8 WEBER/ZINSMEISTER (note 3).
- 9 L. SÄTTLER/R. SNETHLAGE, 'Durability and Stone Consolidation Treatments with Silicic Acid Ester', in *Proc. Sympo. (note 4)*.

Photo Credits

All figures by the author

Testergebnisse und Verfahrensweisen bei der Einstellung des Reparaturmörtels

Test Results and Procedures in the Fine Tuning of the Repair Mortar

Wichtige Voraussetzung für den Erfolg aller Konservierungs- und Restaurierungsmaßnahmen an den Grabfassaden in Petra ist die genaue Kenntnis der Eigenschaften des in den Monumenten anstehenden Steinmaterials, d. h. die Ermittlung der sog. Gesteinsdaten sowie die danach ausgerichtete Wahl kompatibler Restaurierungsmaterialien und wirksamer Methoden ihrer Anwendung. Da vor allem alle offenen Schadstellen, z. B. Risse, Ausbrüche oder Alveolen, geschlossen werden mußten, um die durch Wasser verursachten Schadensprozesse zu unterbinden, war die Auswahl einer passenden Steinersatzmasse von entscheidender Bedeutung. Die Wahl ist – unter anderem wegen seiner sandsteinähnlichen Eigenschaften – auf Kieselsolmörtel gefallen. Doch mußte die richtige Mischung seiner Komponenten in Angleichung an die Kenndaten der jeweiligen Sandsteinvarietäten, als auch die geeignetste Applikationsmethode durch Austesten gefunden werden. Um diese Parameter festzustellen, wurden Probefelder angelegt, die während der Testphase des Projekts beprobt und beobachtet werden konnten. Hierfür wurde ein nabatäischer Steinbruch ausgewählt, der ähnliche Bearbeitungs- und Verwitterungsspuren wie die Monumente aufwies und dessen Oberflächen außerdem genau so lange der Verwitterung ausgesetzt waren (Abb. 1, 2).

Diesen Probefeldern ist insofern eine besondere Bedeutung zugekommen, als bisher in ganz Jordanien – und somit auch bei den wenigen älteren Restaurierungsmaßnahmen in Petra – ausschließlich Mischungen mit Portland-Zement verwendet worden waren. Die Wechselwirkungen dieses Materials mit Sandstein sind jedoch sehr problematisch und es stellte sich heraus, daß es dort, wo es an antiken Monumenten eingesetzt wurde, mitverantwortlich für gravierende Schäden an der historischen Substanz ist. Ein Grund dafür sind die im Zement enthaltenen löslichen Alkalien, welche in Reaktion mit den eher sauren Elementen des natürlichen Gesteins zur Ausbildung von schädlichen Salzen führen. Ein weiterer Grund ist der, daß Zement wesentlich härter als Sandstein ist. Der weichere Sandstein wittert schneller zurück, so daß schließlich nur die Zementreparaturen als erhabenes Profil wie ein störendes Gerippe stehen bleiben. Auf diese Weise erhält die Reparatur, die nur Mittel zum Zweck sein sollte, gegenüber dem Original ein widersinniges Eigenleben. Da Zement ausgesprochen gute Hafteigenschaften besitzt, reißt er meistens Stücke des Originalgesteins mit ab, wenn es aufgrund von Materialspannungen zu Abrissen kommt. So führt Zement, an historischen Monumenten eingesetzt, sehr häufig nicht zur Lösung der Probleme, sondern viel eher zu zusätzlichen, in Langzeitwirkung auch zu gravierenden Nachfolgeschäden.

In der heutigen Restaurierung, d. h. in einer auf wissenschaftlicher Analyse basierenden Restaurierung, gehört die Anwendung solcher Materialien daher im großen und ganzen der Vergangenheit an. Der Weg zu solchen Erkenntnissen, d. h. überhaupt die Hinwendung zu einer wissenschaftlichen Einstellung und Akzeptanz strukturierter Abläufe, ist in allen Ländern, die nicht über eine längere Restaurierungsgeschichte verfügen, ein

An allimportant prerequisite for the success of the conservation and restoration measures taken at the tomb façades in Petra is an exact knowledge of the natural properties of the primary rock constituting the monuments, the consequent selection of compatible surrogates and repair substances for sandstone as well as the determination of the most effective methods of application. As primarily all open faults – fissures, cracks, alveoles – had to be closed in order to stop the process of decay caused by the influx of water, the choice of a fitting and compatible mass substituting sandstone was of decisive importance. A silica sol repair mortar has been chosen because its properties are very similar to that of sandstone. Nevertheless, the proper mixture of components in adaptation to the varying consistencies of the local sandstone, as well as the most efficient method of application had first to be found out in a series of tests. In order to determine these parameters test fields have been installed and carefully observed during the procedure of application in the course of the project. An old Nabataean quarry has been chosen for this purpose, which showed characteristic traces of weathering and dressing of the natural rock similar to that seen on the monuments and whose surfaces had been exposed to weathering during almost the same length of time (figs. 1, 2).

These test fields had a special importance due to the fact that in all recent restoration measures in Petra, and all over Jordan, mixtures of Portland cement had been used exclusively until then. The exchange effect of these materials, as with cement and sandstone in general, turned out to be disastrous, as it became more and more obvious that wherever it was applied to ancient monuments it was responsible for heavy damages and losses of the historical substance. One major reason is the soluble alkalines imminent in Portland cement, which, as a reaction to the sour elements imminent in the natural sandstone, lead to the formation of salts. Another reason is the physical incompatibility of cement with sandstones. Since cement is much harder than the soft stone, repair elements in cement will remain as a disturbing skeleton wherever exposed to weathering, while the sandstone is being washed away. In this way the repair material, only a token for the purpose of restoration, gains a life of its own in contradiction to the historical original. As cement has extremely good adhesion qualities, it tends to break away parts of the original stone or rock when it comes to outbursts and breakouts because of different tensions within the materials. Therefore, cement when applied to historical substance, does not lead to a solution of the main problems but tends to cause even more problematic losses and deterioration in the long run.

In modern restoration, i. e. a restoration based on scientific analysis, the application of such materials does nowadays belong to the past. The long way to such knowledge, i. e. the turn to a scientific perception and the decision for structured concepts, still remains, at least in all countries which cannot look back to a longer history of restoration, a hard process of learning. At first, basic knowledge and esteem of the only recently established science of conservation is still not widely spread and

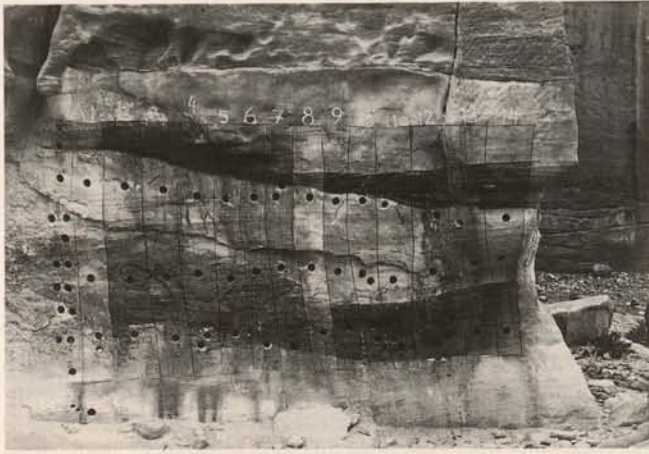


Abb. 1. Testfeld A im Steinbruch bei Umm Sayhun

Fig. 1. Test field A in the quarry of Umm Sayhun



Abb. 2. Testfeld C im Steinbruch bei Umm Sayhun

Fig. 2. Test field C in the quarry of Umm Sayhun

harter Lernprozeß. Erstens war eine allgemeine Kenntnis und Wertschätzung der relativ neu etablierten Konservierungswissenschaften noch nicht weit genug verbreitet und somit all den Institutionen und Personen, die in Jordanien für die Restaurierungskampagnen verantwortlich sind, nicht bekannt. Zweitens ist die Anwendung gut ausgearbeiteter Verfahren und Praktiken, die auf wissenschaftlicher Forschung basieren, zeitaufwendig. Die Zeit, welche für die Tests benötigt wurde, stellte die mit Petra befaßten und mit solchen Vorgehensweisen bisher nicht vertrauten Institutionen auf eine harte Geduldprobe, weil während dieses über zwei Jahre währenden Zeitraums keine sichtbaren Fortschritte hinsichtlich tatsächlicher Restaurierungsarbeiten zu verzeichnen waren. Das „Konservierungs- und Restaurierungszentrum in Petra“ ist im Begriff, diese modernen, wissenschaftlich orientierten Restaurierungstechniken und -verfahren in Jordanien einzuführen und zu institutionalisieren.

Kieselsolmörtel werden schon seit etlichen Jahren in der Restaurierung angewendet. Doch sind diese Mörtel keine Fertigprodukte, die auf dem Markt erworben und nach Gebrauchsanweisung angewendet werden können. Sie müssen an die besonderen Materialeigenschaften jedes historischen Monuments angepaßt werden, wobei der Einsatz sich naturgemäß auf Sandsteinobjekte beschränkt.

Dieser Prozeß der Anpassung des Reparaturmörtels an die Eigenschaften des zu behandelnden Steins ist anspruchsvoll und beinhaltet eine Anzahl von Verfahren, die in der modernen Restaurierung Standard sind, aber in Jordanien – und möglicherweise im ganzen mittleren Orient – in Petra zum ersten Mal durchgeführt wurden.

Das gesamte Verfahren nahm deshalb fast zwei Jahre in Anspruch, weil gleichzeitig geeignete Testmöglichkeiten aufgebaut, die benötigten Geräte gekauft und installiert sowie jordanische Partner fortgebildet werden mußten, um damit sicherzustellen, daß diese Tests auch in Zukunft durch jordanisches Personal ausgeführt werden können.

Für die Restaurierung der Grabfassaden in Petra mußten verschiedene Restaurierungsverfahren an den Probeflächen ausgetestet werden:

- Vorfestigung von sandenden bis morbiden Sandsteinoberflächen mit geeigneten Festigern;
- Feinmörtelschlämmen auf Schuppenbildungen und stark morbiden Oberflächen;

has been unknown to institutions and persons responsible for the restoration campaigns in Jordan. Secondly, the application of detailed procedures and working practices, based on scientific evidence, need a lot of time. The time needed for testifying calls for a lot of understanding and patience from the side of institutions not yet used to such means of research, because during a span of time of almost two years no visible progress is made in restoration. The ‘Center of Conservation and Restoration in Petra’, CARCIP, is in the process of implementing and institutionalizing scientific restoration techniques and methods in Jordan.

The proving and fine tuning of silica sol repair mortar is just one example, and its adjustment for the situation in Petra showed to all responsible institutions involved in an exemplary way, what modern restoration means.

Silica sol mortars have been known and applied in the field of restoration for years. But these mortars are no final products, available on the market and to be applied after an instruction for use or one singular recipe or formula. The mortars have to be adapted in their mixture to the special physical qualities of the historical monument, whereby the use must naturally remain exclusively restricted to sandstone objects.

Therefore, the application of such mortars on any historical monument will always pose a new set of challenges. The adaptation though is demanding and not easily to be achieved. But there is no way around it unless risks with unpredictable results will be taken. The process of adaptation of a repair mortar with the proper qualities of the stone at first requires a thorough analysis of the sandstone itself, and implies a set of procedures that are standard in modern restoration, but in Jordan – and probably all over the Middle East – have now and for the first time been implemented in Petra. The building up of appropriate testing facilities, the purchase and installation of tools and equipment, and the training of people at hand, ensuring that tests will be executed by Jordanians in the future, took almost two years altogether.

For the restoration of the tomb façades in Petra various restoration procedures had to be examined in test fields:

- prefixing of heavily sanded and morbid sandstone surfaces with adequate fixatives;
- washing of scales and deeply morbid surfaces with fine mortar;
- application, filling and sloping of substitutes bound with silica sol;

- Antrag, Kittungen, Anböschungen mit KieselsoI gebundenen Ersatzmassen;
- Injektion von Schalen und Rissen mit KieselsoI gebundenen Injektionsmassen;
- Nachfestigung von Ergänzungen.

Um bei diesen Tests zu quantifizierbaren Ergebnissen zu kommen, wurden im einzelnen die folgenden Schritte unternommen:

- Trockene Entnahme von Bohrproben des Sandsteins (eine trockene Entnahme ist notwendig, weil Bohrungen mit Wasser die im Sandstein enthaltenen Salze, die ebenfalls bestimmt werden mußten, lösen würden, Abb. 3);
- Bestimmung der Sandsteineigenschaften, wie Porosität, Wasserdiffusionswiderstand, Wasseraufnahme, Wärmeausdehnung, mineralogische Zusammensetzung und Korngrößenverteilung;
- Ausmischen eines Versuchsreparaturmörtels auf der Basis der vorher festgestellten Kenndaten des Sandsteins und der aus dem Gebrauch solcher Reparaturmörtel bereits bestehenden Erfahrungen;
- Vorbereitung von Testwürfeln aus dem Versuchsmörtel;
- Bestimmung der Eigenschaften des Versuchsmörtels;
- Vergleich der Daten des Sandsteins und des Mörtels und Korrektur des Rezeptes, bis eine optimale Angleichung an die Eigenschaften des Sandsteins erreicht war;
- Angleichung der Farbe des Reparaturmörtels an den natürlichen Sandstein durch Beimischung verschiedenfarbiger Sande, die durch Zerkleinern monochromer Sandsteine gewonnen wurden;
- Testen verschiedener Steinfestiger für die notwendige Vorbehandlung der Steinoberflächen, um eine genügende Haftung des Reparaturmörtels zu gewährleisten;
- Aufbringen des angepaßten Reparaturmörtels auf verschiedene vorbehandelte Oberflächen in einem besonders entworfenen Testfeld für Langzeitbeobachtungen;
- Bestimmung der Hafteigenschaften durch visuelle Überprüfung in situ; Messung der Abzugsstärke, makroskopische und mikroskopische Untersuchungen der Nahtstelle zwischen Reparaturmörtel und Sandstein an Bohrkernen, die durch die Mörtel in den Sandstein gebohrt wurden;
- Abwandlung der Vorbehandlung und der Applikationstechniken des Mörtels, bis optimale Ergebnisse erzielt worden sind.

Es wurden drei Probefelder mit unterschiedlicher Zielsetzung angelegt:

- Probefeld A – für die Festigung mit Kieselsäureester;
- Probefeld B – für Schlämmen als Oberflächenkonsolidierung;
- Probefeld C – für die Ergänzung von Fehlstellen mit angepaßten KieselsoIsteinersatzmassen (Tabelle 1).



Abb. 3. Entnahme von Bohrkernen

Fig. 3. Drilling of cores

- injection of scales and cracks with silica sol bound injection liquids;
- partial afterfixing of fillings and restored faults on requirement.

To get to results of the examinations the following steps had to be taken:

- dry extraction of core samples from the sandstone (a dry extraction is necessary since core drilling with water would dissolve the salts contained within the sandstone, which need to be analyzed as well, fig. 3);
- determination of the sandstone properties, such as porosity, vapor diffusion resistance, water absorption (caloric expansion, mineralogical composition and grain size distribution, the latter two through microscopic investigation);
- mixing of a trial repair mortar based on the parameters obtained from the sandstone data and experiences made in the use of such repair mortars;
- preparation of test cubes from the repair mortar;
- determination of the repair mortar properties;
- comparison of the sandstone data with the mortar and modification of the recipe in order to adjust the parameters to the ones obtained from the sandstone;
- adjustment of the color of the repair mortar to the natural sandstone, through generation of various mixtures of monochrome sands crushed from sandstones of the area;
- testing of various consolidants in the required pre-treatment of the sandstone surfaces in order to ensure satisfactory adhesion of the repair mortar;

Tabelle / Table 1. Probefläche A, Festigung mit Kieselsäureester / Test field A, consolidation with silicic acid ester

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14
A1, A8 ungefestigt / non consolidated													
A2, A3, A4 gefestigt mit / consolidated with Wacker OH, 2 Ltr./m ²													
A5, A6, A7 gefestigt mit / consolidated with Wacker OH 3 Ltr./m ²													
A9, A10, A11, gefestigt mit / consolidated with Remmers 510, 2 Ltr./m ²													
A12, A13, A14 gefestigt mit / consolidated with Remmers 510, 3 Ltr./m ²													

Die Probefelder wurden so gewählt, daß alle Teilflächen vergleichbare Schäden aufwiesen. Außerdem sollte eine Beprobung in verschiedenen zeitlichen Abständen, nach vier Wochen, drei und zwölf Monaten möglich sein.

Am Probefeld A (Abb. 1) wurden zwei Kieselsäureester in unterschiedlichen Mengen von zwei Litern und drei Litern pro Quadratmeter zur Festigung des Sandsteins verwendet. Das Testfeld mit starker Absandung in der Sockelzone repräsentiert das durchschnittliche Schadensbild am Fuß der Monumente. Die Festigermenge von zwei und drei Litern pro Quadratmeter wurde frei gewählt, da keine Erfahrungen mit den Sandsteinen in Petra vorlagen und zu Beginn der Tests auch keine Gesteinskenndaten, die Anhaltspunkte hätten geben können, bekannt waren. Sie entsprechen aber durchschnittlichen Festigermengen, die bei der Festigung von vergleichbaren Sandsteinen verwendet werden.

Die Untersuchungen ergaben zunächst einen zu geringen Festigungseffekt. Der Grund war in der verminderten Gelabscheidung auf dem zu trockenen Sandstein zu suchen. Darauf wurden Messungen an befeuchteten Sandsteinoberflächen ausgeführt, um das Trocknungsverhalten zu beobachten, da erwartet werden durfte, daß Festigungsversuche an Oberflächen mit erhöhtem Feuchtegehalt zu besseren Festigungsergebnissen führen würden. Diese Erwartungen haben sich bei erneuten Versuchen bestätigt. Allerdings waren die Festigkeitswerte noch deutlich unter dem Wert, den das intakte Gestein aufweist. Außerdem gab es Meßwertstreuungen, die teilweise die Wirksamkeit in Frage stellten. Deshalb wurden an stark morbiden Stellen Versuche mit einer Tropftränkung durchgeführt. Dazu wurden Bohrkanülen mit einem Durchmesser von 6 mm ungefähr ca. 8 cm tief in den morbiden Sandstein gebohrt. Der Bohrkanal wurde dann mit einem passenden Schlauchstück ausgekleidet und die Tropfflasche angeschlossen, so daß der Festiger nur über den Boden des Bohrkanals von innen nach außen den Sandstein durchdringen konnte. Auf diese Weise wurde der Kieselsäureester tiefer in das morbide Gestein eingebracht und eine innige Verbindung zwischen den durchtränkten Bereichen und dem massiven Gestein sichergestellt. Die dabei festgestellte Aufnahmemenge von ca. 6 Litern pro Quadratmeter war wesentlich größer, als dies bei Flutungen der Oberfläche möglich ist. Dabei wurden Radien von ca. 30 cm um das Bohrloch mit dem Festiger durchtränkt. Die guten Festigungsergebnisse zeigten, daß es grundsätzlich möglich ist, auf diese Weise morbide, tief verwitterte Stellen zu behandeln. Doch sollen solche Maßnahmen nur in besonderen Fällen ergriffen werden. Der wichtigere Anwendungsbereich für Steinfestiger ist die Vorbehandlung von Fehlstellen als Haftbrücke für die anzutragende Kieselsolsteinersatzmasse.

Als Ergebnis der Beprobung wurde für die Arbeiten in Petra der Steinfestiger Funcosil 510 von Remmers gewählt. Der in diesem Steinfestiger vorhandene höhere Anteil an Feststoffen bewirkt bei dem sehr porösen Sandstein in Petra bessere Festigungsergebnisse.

Am Probefeld B sollten auf sandenden bis morbiden Sandsteinflächen Schlammnanträge als Konservierungsmethode getestet werden. Das Wirkungsprinzip ist einfach. Die Schlämme wird auf die vorher leicht mit Wasser angefeuchteten sandenden Oberflächen als dünnflüssige Suspension aufgestrichen und mit einem weichen Pinsel einmassiert. Die aus Kieselgelen und feinsten Gesteinsgelen bestehenden Partikel setzen sich in die offene, angewitterte Kornstruktur und wirken so als Kittmasse von Korn zu Korn. Die Schlammn können in unterschiedlichster Schichtdicke aufgetragen werden und sollen vor allem als

- application of the adjusted repair mortar to various pre-treated surfaces in a particularly chosen open-air test-field for long-term-observation;
- determination of adhesion properties through visual inspection and measurement of pull off strenght values in situ, macroscopic and microscopic investigation of the interface from core samples drilled through the repair mortar into the sandstone;
- modification of pre-treatment and mortar application techniques until optimal results are obtained.

Three test fields with different purpose have been installed:

Test field A – for the fixing of silica acid ester;

Test field B – for washing as a means of surface consolidation;

Test field C – for the filling of break outs and losses with adapted silica sol stone substitutes (table 1).

The test fields have been chosen because of comparable damages. Besides, it should be possible to take proofs in different time spans, after four weeks, after three months and after twelve months.

With test field A (fig. 1) two different types of silica acid ester in differing quantities of two, respectively three liters per qm, have been used to consolidate the sandstone. The test fields represent an average picture of damages on the historical monuments in Petra: deep washouts of sand in the lower zones and bases. The quantity of consolidants of two or three liters per qm was a free choice, since no experiences had been made before with the sandstone from Petra and at the beginning of the test series no analysis of the sandstone components had been made, which could have given any further indications. But the quantities tested matched the average quantities of consolidants that had been used and applied for the fixing and consolidation of comparable sandstones.

The investigations at first showed an insufficient effect of consolidation. The reason was to be found in a reduced outcome of gel on the extremely dried out sandstone. As a consequence measurements have been made on the surfaces of sandstones moistened with water, to observe the drying behaviour, since it could be expected that an application of consolidants on surfaces with a higher degree of humidity would lead to better results. These expectations had to be supported by a new test series. Nevertheless, the consolidation results were still remarkably under the values of an intact stone. Besides, the strawing of measurements partially questioned the results and effectiveness. Therefore, on extremely morbid parts of the stone, test series were made by dropping in consolidation liquid. To this purpose small channels of a diameter of 6 mm have been drilled into the morbid sandstone unto a depth of about 8 cm. The drilling channel was afterwards closed by an adapted tube, which forced the fixative to pass the sandstone from inside. By this way the silica acid ester could be implemented much deeper into the morbid rock. The quantity of liquid of about 6 ltr per qm was much higher than this would have been with an application on the surfaces and a radius of about 30 cm around the drilling holes, which were now floated with consolidants. The positive results showed, that it was generally possible to consolidate by this means morbid and deeply weathered areas of natural stone.

But these measures would only be taken in very difficult cases. A more important field of application for stone consolidation is the preparation of holes and faults as a fixing bridge for the mass of silicar sol repair mortar as a sandstone substitute.

As a result of the test series the stone consolidant Funcosil 510 by Remmers has been chosen for restoration work in Petra. The

schützende Verschleißschicht wirken. Sie werden von der natürlichen Bewitterung angegriffen und wieder abgebaut, schützen aber während dieses Zeitraums die Steinoberfläche vor Witte- rung. Wenn die Schlämmen abgebaut sind, müssen sie erneuert werden. Sie können durch Zusatz von Kieselsäureester oder durch Nachfestigung mit Kieselsäureester unterschiedlich resistent gegen Bewitterung ausgestattet werden.

Zur Schlämmenherstellung wurde ein vorbereitetes Stein- mehlssubstrat mit Kieselsol im Verhältnis 2 : 1 angemischt und im frischen Zustand aufgetragen. Voruntersuchungen hatten er- geben, daß die Salzgehalte relativ gering und nur oberflächen- nahe Bereiche betroffen sind. Deswegen wurden die Ober- flächen vor dem Aufbringen der Schlämme durch trockenes Ab- bürsten und alternativ mit Mikropartikelstrahl gereinigt. Die Probeflächen wurden teilweise nur geschlämmt und teilweise mit 2 bzw. 3 Litern pro Quadratmeter gefestigt. Die Testergeb- nisse waren jedoch durchaus negativ, denn schon nach kurzer Standzeit waren alle Schlämmen durch den im Stein vorhande- nen Feuchte- und Salzgehalt vollkommen zerstört, so daß diese Methode der Oberflächenkonservierung nicht weiter verfolgt werden konnte.

Im Probefeld C (Abb. 2, 4) wurde das Schließen von Fehlstel- len, d. h. das Auffüllen von Kavernen, das Kitten von Rissen und das Anböschchen von Schalen mit Kieselsolsteinersatzmassen ge- testet (Tabelle 2).

higher amount of solid particles in this particular stone consoli- dant reached better fixing results with the very porous sand stones in Petra.

With test field B wash application as a method of consolida- tion on morbid sandstone areas had to be tested. The principle is rather simple. The wash will be applied as a thin and liquid sus- pension on the sandy surfaces, moistened with water before ap- plication and will be rubbed into with a soft brush. The particles consisting of silica gels and extremely fine stone gels will im- plement themselves inbetween the open, weathered and corny structure of the stone and will thereby work as a kit or consoli- dant between the single grains. Adhesion will be supported by the accumulation of silica gel within the grained surfaces of the sandstone. The wash can be applied in layers of different width and is ment to be effective in the first place as a protective layer against deterioration and decay. The wash will be attacked by everyday weathering and be reduced, but will at least protect the natural stone surface during a space of time from weathering and deterioration. When the wash has been reduced, it has to be re- newed. It can be made more resistant by adding silica acid ester or by an ex post-consolidation with silica sol ester.

To produce the wash a prepared stone flour substrate with si- lica sol in relation 2 : 1 has been mixed and applied in fresh con- dition. Pre-examinations had proven, that the consistency of salts was rather low and had only attacked areas near the surface.

Tabelle / Table 2. Probefläche C, Ergänzung mit Kieselsol-Ersatzmassen auf alveolar verwitterten Oberflächen /
Test field C, fillings of alveoles with silica sol repair mortar

C1		C2		C3		C4	
W OH	R 510			W OH	R 510		
						W OH	R 510

Die Arbeitsgänge an den 4 Probeflächen in ihrer Reihenfolge /
Work cycles on 4 test sections in the following order:

- C1 Oberfläche mit Wasser leicht befeuchtet
Auftrag von Schlämme als Haftbrücke
Antrag des Kieselsolmörtels
Nachfestigung mit
– W-OH 1 Ltr. / m² (KSE-Wacker OH)
– R-510 1 Ltr. / m² (PKSE-Remmers 510)
- C2 Oberfläche mit Wasser leicht befeuchtet
Auftrag von Schlämme als Haftbrücke
Antrag des Kieselsolmörtels
- C3 Vorfestigung mit
– W-OH 0,325 Ltr. / m² (KSE-Wacker OH)
– R-510 0,325 Ltr. / m² (PKSE-Remmers 510)
Auftrag von Schlämme als Haftbrücke
Antrag des Kieselsolmörtels
- C4 Vorfestigung mit
– W-OH 0,325 Ltr. / m² (KSE-Wacker OH)
– R-510 0,325 Ltr. / m² (PKSE-Remmers 510)
Auftrag von Schlämme als Haftbrücke
Antrag des Kieselsolmörtels
Nachfestigung mit
– W-OH 1 Ltr. / m² (KSE-Wacker OH)
– R-510 1 Ltr. / m² (PKSE-Remmers 510)

- C1 surface moistened with water
application of mortar wash as adhesion bridge
application of the silica sol repair mortar
consolidation of the fillings with
– W-OH 1 Ltr. / m² (KSE-Wacker OH)
– R-510 1 Ltr. / m² (PKSE-Remmers 510)
- C2 surface moistened with water
application of mortar wash as adhesion bridge
application of the silica sol repair mortar
- C3 consolidation of the surface with
– W-OH 0,325 Ltr. / m² (KSE-Wacker OH)
– R-510 0,325 Ltr. / m² (PKSE-Remmers 510)
application of mortar wash as adhesion bridge
application of the silica sol repair mortar
- C4 consolidation of the surface with
– W-OH 0,325 Ltr. / m² (KSE-Wacker OH)
– R-510 0,325 Ltr. / m² (PKSE-Remmers 510)
application of mortar wash as adhesion bridge
application of the silica sol repair mortar
consolidation of the fillings with
– W-OH 1 Ltr. / m² (KSE-Wacker OH)
– R-510 1 Ltr. / m² (PKSE-Remmers 510)

Für alle Tests wurde dieselbe Mörtelmischung verwendet:

- 200 ml Kieselsol
- 300 ml Mineralsubstrat rot
- 300 ml Natursand Petra weiß
- 150 ml Natursand Petra rot
- 50 ml Natursand Petra schwarz

Dem Anstrichmörtel wurde ca. 3 % Kieselsäureester bezogen auf das Gesamtvolumen zugesetzt, der auch zur Vor- und Nachfestigung an den entsprechenden Probestellen verwendet worden ist. Durch die Zusammensetzung der Steinersatzmasse, die weniger widerstandsfähig als der Sandstein ist, wird sichergestellt, daß die Ergänzungsmasse eher als der Sandstein durch Verwitterung angegriffen wird. Reaktionen, wie sie oft von harten, zementgebundenen Mörteln bekannt sind, die zwar sehr gut haften, aber nach einer gewissen Standzeit abreißen und noch Teile des Sandsteines mit ablösen, sind damit ausgeschlossen.

Zusätzlich zu den Ergänzungen von Schädstellen wurden unterschiedliche Muster der Kieselsolsteinersatzmasse auf die Oberfläche des Sandsteins aufgebracht und ihre Bruchigenschaften durch Abzugsmessungen geprüft. Für die Haftzugmessungen wurden mit der Hohlbohrkrone zylindrische Bohrkerne von 25–50 mm Tiefe ausgefräst, die mit dem Untergrund fest verhaftet blieben. Die Bohrkerne hatten an der Oberfläche einen Durchmesser von 20 und 42 mm. Auf diese Flächen wurden Kopplungsplatten aus Metall aufgeklebt, an denen dann die Kraftmeßuhr mit Stativ angesetzt werden konnte (Abb. 5). Die Ergebnisse zeigen, daß der Bruch in der deutlich überwiegen-

That was the reason why the surfaces have been cleaned by dry brushing and alternatively with the help of micro-particle-rays prior to the application of wash. The test fields have been partially washed and partially fixed with 2 or 3 litres per qm. But, nevertheless, the test series and results were negative, because after only a short time all applied wash had been destroyed by humidity and salt-concentration inherent within the stone, so that this method of consolidating the surfaces could not be traced any further.

Test field C (figs. 2, 4) has been implemented by closing the faults and filling the caverns, kitting the cracks and sloping the scales with a filling liquid of silica sol stone substitute (table 2).

For all tests the same mixture of mortar was applied:

- 200 ml silica acid ester
- 300 ml mineral substrate red
- 300 ml natural sand Petra white
- 150 ml natural sand Petra red
- 50 ml natural sand Petra black

The application mortar has been added with ca. 3 % of the silica sol ester, that had been proved as pre-and after-consolidant at the respective test areas. The stone substitute has been mixed to reduce its resistance factor compared to that of sandstone to make sure weathering attacks the filling consolidant rather than the original sandstone surfaces. Examples, as they are known, of hard mortars on cement basis, are longlasting, but, after a certain time, tend to break out and tear parts of the original substance with them, which is completely excluded in this case.

Abb. 4. Mörtelantrag im Testfeld C

Fig. 4. Mortar application in test field C

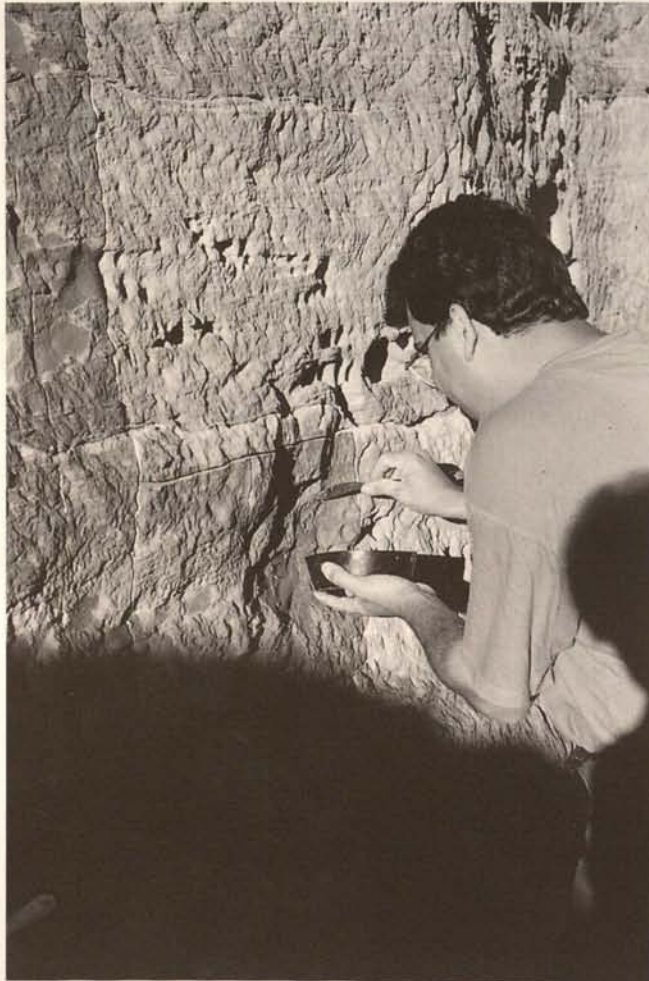


Abb. 5. Haftzugmessung

Fig. 5. Measurement of adhesion properties

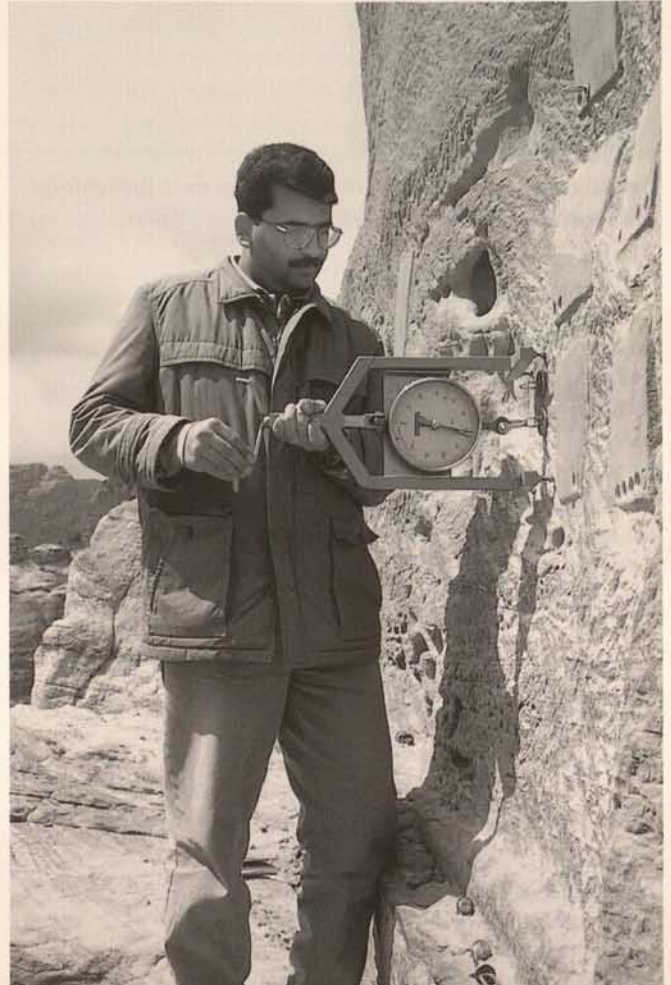




Abb. 6. Haftzugmessung. Stempel nach Bruch in der Ersatzmasse
 Fig. 6. Measurement of adhesion properties. Stamp after fraction within the filling substitute

den Zahl der Haftzugmessungen so, wie gewünscht, in der Steinersatzmasse und nicht im Sandstein erfolgte (Abb. 6).

Die Wasseraufnahmemengen wurden mit dem Karstenschen Prüfröhr gemessen. Die vergleichenden Messungen an Ergänzungsmassen und Sandsteinoberflächen ergaben letztendlich sehr nahe beieinanderliegende Werte. Unterschiedlich ist lediglich die Art der Wasseraufnahme.

Die Anwendungsmethode der Kieselersatzmassen auf alveolar verwitterten Oberflächen wurde in vier Probeflächen getestet:

Die Ergebnisse dieser an den Probeflächen durchgeführten Anträge waren sehr gut. Überprüfungen nach drei und zwölf Monaten ergaben keine erkennbaren Veränderungen. Es konnten weder Abplatzungen noch Hohlstellen festgestellt werden. Die Antragungen mit der Steinersatzmasse erwiesen sich als resistent gegen die herrschende Bewitterung, die einerseits durch starke Aufheizung in direkter Sonnenbestrahlung und andererseits, namentlich im Winter, zeitweise durch starke Durchfeuchtung bei Regen in Verbindung mit hoher Versalzung charakterisiert ist. Stellenweise wurden die Ersatzmassen extrem fein, bis auf die Steinoberfläche auslaufend, angetragen, was den höchsten Anspruch an eine Ersatzmasse stellt. Selbst in diesen Bereichen konnten nach längerer Standzeit keine Mängel festgestellt werden.

Nachdem die Ergebnisse dieses Testfelds zufriedenstellend waren, wurde nun vor Beginn der eigentlichen Restaurierungsmaßnahmen zur Sicherheit noch eine Musterachse an Monument 825 angelegt. Dafür wurde der oberste Bereich der Fassade zwischen den Treppengiebeln ausgewählt, der die wichtigsten an der Fassade auftretenden Schäden aufwies. Bei der Anlage dieser Musterachse ist in derselben Weise wie bei der Anlage des Probefelds C im Steinbruch verfahren worden, wobei jedoch die dort erzielten Ergebnisse ausgewertet und unmittelbar umgesetzt wurden. Die versalzene, ausgewitterten Bereiche wurden 2–3 mm tief mechanisch abgearbeitet, um das Salzpotehtial an der Kontaktfläche zwischen Stein und Mörtel zu vermindern. Außerdem wurde die Oberfläche nicht mit Wasser, sondern mit Kieselsäureester befeuchtet, um noch vorhandene Salze nicht zu mobilisieren. Darauf wurde dann im noch feuchten Zustand, die Haftschlämme und anschließend die Steinersatzmasse in verschiedenen Schichten angetragen. Die Musterflächen wurden nach einem, drei und zwölf Monaten in der ge-

Fillings with silica sol substitute are washed out before the sandstone is attacked, which means a further protection of original substance. In addition to these fillings in faults and cracks different test fields of silica sol mortar substitute have been applied to test fields in order to analyse their crack-properties by measuring the adhesion tension. For adhesion tension measurements cylindrical drill holes in 25 to 50 mm depth have been torn out with a drill-crown, which had been fixed onto the ground. The drill core had a diameter of 20 to 42 mm on the surface. Metal coping plates have been glued onto this plain, to which a power measurement watch with a stand was applied (fig. 5). The results of adhesion measurements prove that break-outs had occurred in most cases in the mortar substitute and not in the sandstone (fig. 6).

The quantity of water take-up has been measured with the help of the Carsten tube. Comparable measurements on repair substitute and sandstone showed almost equal values. They differ mostly in the way of water take-up.

The application method of silica sol substitutes on alveolar weathered surfaces has been tested in four test fields:

The results of the application measures carried out on these test fields have been very positive. Examinations after three and after twelve months did not show any changes. There were no outbursts or hollows. The treatment with stone substitute proved resistant against weathering, direct heating in the sunshine and was characterized, namely during the winter rain period, by a strong humidity caused by rainfalls in combination with a high degree of oversalting. Here and there the substitutes have been applied in extremely thin layers, sometime down to 0, which means to put the highest demands onto the substitute. But, after a longer period of observation, no faults or deficiencies could be watched even in these areas. The stability of the surfaces and their overall consistency remained unchanged. There are no traces of weathering, nor deterioration of sands through a lowered degree of adhesion or the loss of binding substance to be observed.

After the results of this test field have been appropriate and satisfactory, now, for security reasons, before starting the restoration campaign, a test field was applied on Tomb 825. For this purpose the uppermost area of the façade was chosen between the crow-step-gables, which showed the heaviest losses and damages. The installation of a test field was performed in the same way as in test field C at the quarry, but with the difference that here the results had been tested and verified before. The salted and weathered areas have been reduced mechanically in a depth of 2 to 3 mm, in order to sway away the salts on the surfaces with direct contact to the mortar substitutes. Besides, the surface was not moistened with water, but with silica sol ester, not to mobilize the salts still inherent. Onto the moistened surface adhesion wash was applied and subsequently substitute mortar in different layers. The proof axis or test fields have been examined after one, three and twelve months with the same methods, dry drill cores and measurements of adhesion properties (fig. 6) and water take-up with the Carsten tube. The results of the measurements confirmed the experiences made with the test fields in the quarry, that had remained without any indication of changes for a time of over two years by then. Only at the borders of the mortar applications, where the repair mortar had been applied in extremely thin layers, the loss of sands due to salt activity could be observed. These parts have been removed and repaired by new layers of mortar. The analysis of salt consistencies within the drill cores on Tomb 825 had proven a rather

wohnten Weise mit Entnahme von trocken gebohrten Bohrkernen beprobt und durch Haftzugmessungen (Abb. 6) und Wasseraufnahmetests nach Karsten geprüft. Die Meßergebnisse bestätigten die Erfahrungen, die mit den Probenflächen im Steinbruch gemacht worden waren, die zu dieser Zeit bereits zwei Jahre ohne optische Veränderungen bestanden. In Grenzbereichen, wo die Ersatzmasse dünn bis auf die Steinoberfläche auslaufend angetragen war, sind die Mörtelantragungen durch Salzwanderung abgesandet. Diese Stellen wurden entfernt und erneut mit Steinersatzmasse ergänzt. Da die Salzanalyse an den von Monument 825 gezogenen Bohrkernen einen unbedenklichen Versalzungsgrad ergab, ist daraufhin mit den Restaurierungsarbeiten begonnen worden. Das bis dahin noch nicht bekannte Ausmaß der Salzproblematik wurde erst während der Restaurierung deutlich. Hier mußten andere Lösungen gefunden werden, die im Beitrag über die Restaurierung des Monuments 825 erörtert sind.

Abbildungsnachweis

MICHAEL KÜHLENTHAL, MÜNCHEN: *Abb. 1, 2, 4*
HELGE FISCHER, AMMAN: *Abb. 3, 5*
EGON KAISER, OBERSCHEINFELD: *Abb. 6*

unimportant degree of oversalting. Restoration work could now begin. The extent of the salt problematic was only realized in the course of the project. Here, new solutions had to be found, which are discussed in our contribution on the restoration of Tomb 825.

Photo Credits

MICHAEL KÜHLENTHAL, MUNICH: *Figs. 1, 2, 4*
HELGE FISCHER, AMMAN: *Figs. 3, 5*
EGON KAISER, OBERSCHEINFELD: *Fig. 6*

Translation from the German into English by the authors

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: Rißbildungen 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 Splintern oder Stücken von begrenzten Bereichen der Gesteinsoberfläche als Folge natürlicher Verwitterung (Farbtafel XI. 6).
5. Flächiger Abtrag (Zurückwitterung): Gradue ller 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 weg gewaschen 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



3

Abb. 3. Salzausblühung

Fig. 3. Salt efflorescence

Abb. 4. Salzkruste unterhalb des Felsüberhangs

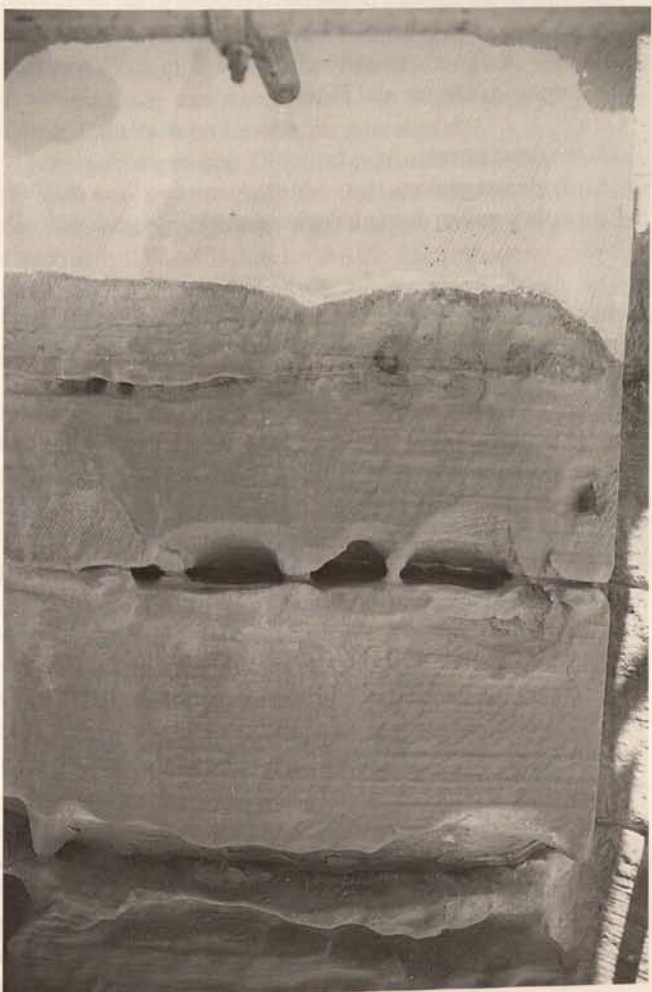
Fig. 4. Salt crust beneath the rocky cliff

Abb. 5. Besiedlung durch Insekten

Fig. 5. Insect colonization

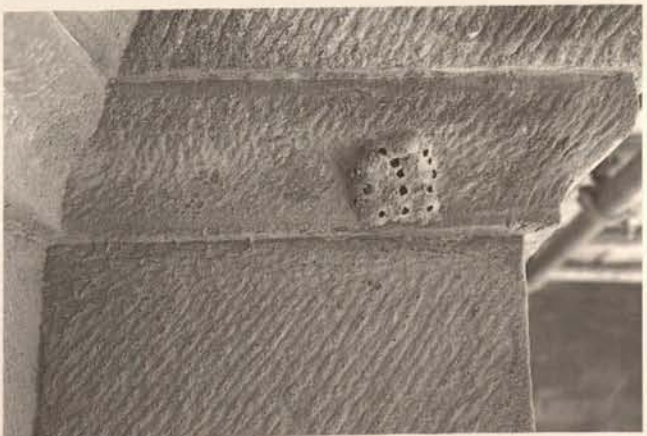
Abb. 2. Alveolenbildung

Fig. 2. Alveolar weathering



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.

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 abgechrägt, 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



Abb. 6. Ruß / Fig. 6. Soot

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 Felsüberhangs 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 Schenskartierung 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.

Anmerkungen

- 1 Die Formel von Limonit ist $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$. 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.

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.

Notes

- 1 Limonite has the composition: $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$. 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.

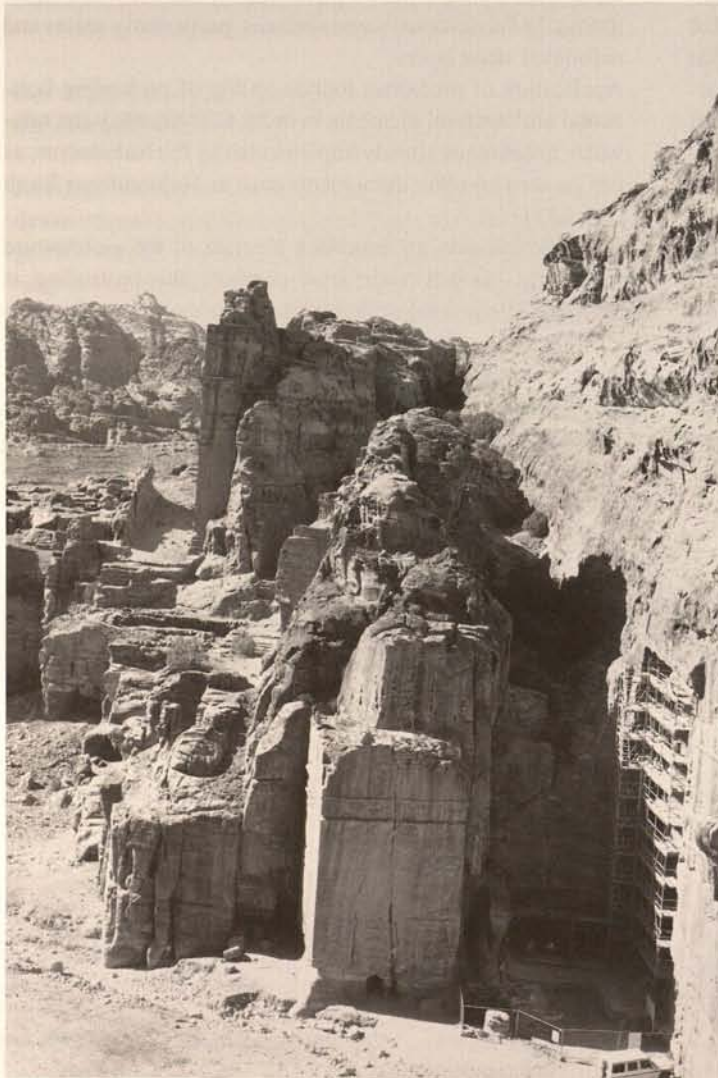
Literatur

- 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: Laboratório 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, OBERSCHNEIFELD: *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, Laboratório 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, OBERSCHNEIFELD: *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

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

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

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 Restaurierung²

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



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.¹

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.

Restoration²

The restoration of Tomb 825 has been realized dependant on the disposal of trained restorers in four different campaigns: from Jan. 18th–April 7th 1998, from June 1st–Oct. 10th 1998 and from April 20th–Dec. 1st 1999. The fourth and last phase will presumably last from Feb. 1st to April 30th, 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 recipy for the repair mortar has been developed by the stone restorer Egon Kaiser.¹ 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 Ziehklänge 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 Kompensationswirkung und mußte aus diesem Grund mehrfach ausgewechselt werden.

Feinmörtelreparaturen

Durch nachlässiges Verarbeiten des Kieselolmörtels kommt es vor, daß die Ränder der Anstrichmasse 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 schadhaften Ränder nochmals mit einem Feinmörtel überarbeitet. Dieser wird unter anderem auch dazu benutzt, Schalenränder anzuböscheln 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 nachzuzahlen 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 blättern 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 Heißklebmasse 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 Antrag 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 vorge-mischter 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 Kompresse nimmt den Salzkrusten die Auflage und Haftung auf der Steinoberfläche. Das Salz wandert in die Kompresse und auch die Krusten befinden sich als sandige Beläge auf der Oberfläche der Kompresse. 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 Salzpotentials 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 Lehm Böden 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. Salzschiäden am Randantrag einer Reparaturstelle
 Fig. 12. Damages caused by salts at the application rim of a repair area

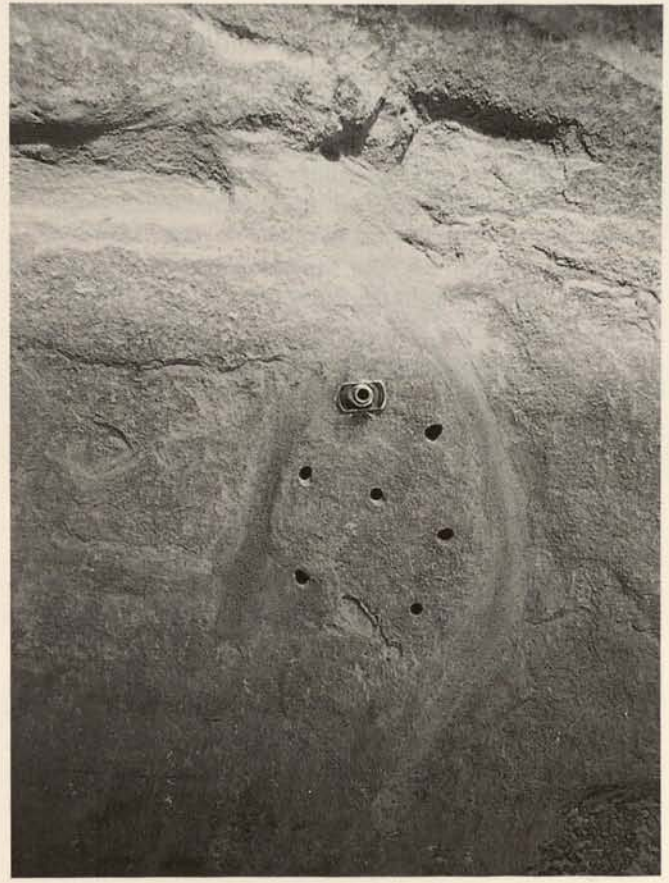
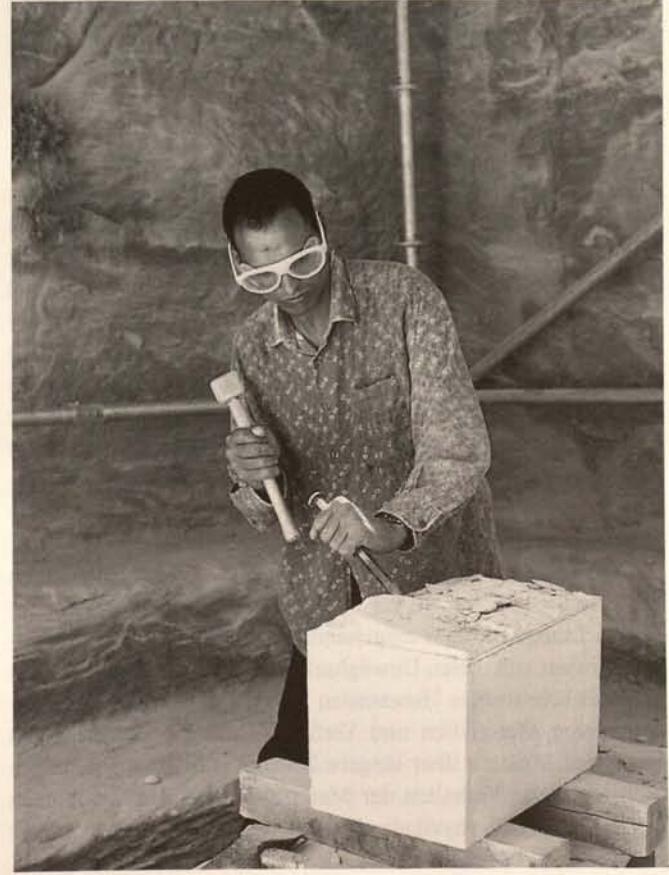


Abb. 14. Aufbringen der Packer auf die Injektagestelle mit Heißkleber
 Fig. 14. Application of 'nipples' (packer) at the hollow scale with hot adhesive paste

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

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 ungelerner 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 Austesten 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 structuring 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 Erhaltungs-bemühungen 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 Kieselsohmörtels 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 Kurzzeitexperten 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 Kurzzeitexperten 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 unterwiesen 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*

Eine Datenbank für Petra

A Database for Petra

Schon zu einem sehr frühen Zeitpunkt während der Planungsphasen des Steinkonservierungsprojekts in Petra wurde erkannt, daß ein umfassendes Dokumentationssystem wichtiges Erfordernis für den Erfolg des Projekts sein würde. Das Sammeln von Informationen und Daten über die Monumente von Petra und ihren Erhaltungszustand wurde als notwendig erachtet, um die Wissenschaftler, Architekten und Ingenieure zu unterstützen, welche die Aufmaße und Laboruntersuchungen durchführten, die Restaurierungskonzepte vorbereiteten und entwickelten sowie schließlich Verfahrensmodelle entwarfen, um einen guten Schutz der Monumente sicher zu stellen. Zuvor hatte seine Königliche Hoheit Prinz Al-Hassan Bin Talal das National Technical Committee für Petra beim Higher Council for Science and Technology eingerichtet. Der Ausschuß hatte rasch die Notwendigkeit eines Datenzentrums mit umfassenden Informationen über Petra erkannt. Dies hat sich in der Tat als äußerst nützlich für das Projekt erwiesen, stellte es sich doch bald heraus, daß zwar die Verwitterung des Steinmaterials die unmittelbare Ursache des Verfalls der Monumente ist, deren Schutz jedoch nur durch einen ganzheitlichen Ansatz gewährleistet werden kann, in dem alle Prozesse, die eine Bedrohung für die archäologische Stätte darstellen, Berücksichtigung finden. Tourismus, plötzliche Überschwemmungen, das Vordringen der Wüste, Erosion, Auspuffgase, archäologische Ausgrabungen und Urbanisierung sind nur einige der Facetten der natürlichen, aber auch der vom Menschen eingeleiteten Prozesse, die in ihrer Gesamtheit eine so bedeutende Stätte des Weltkulturerbes zu gefährden vermögen.

Das Datenzentrum hat seine Dokumentation über die Monumente hinaus zu einem umfassenden und integrierten System ausgeweitet, in dem alle mit Petra in Verbindung stehenden Aspekte gesammelt sind und abgerufen werden können. Das zusammengetragene Material beinhaltet Bücher, Artikel, Photographien, Satellitenbilder, Landkarten, digitale Höhenmodelle usw. Es wurde eine elektronische Datenbank eingerichtet, die Tabellen, Berichte, Photographien, Bibliographien und sogar Landkarten liefert. Die Landkarten können mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems (GIS) hergestellt werden. Dies ist eine Technik, die im allgemeinen von Planern verwendet wird, welche Karten zu verschiedenen Themenbereichen herstellen, wie etwa den Grad der Verminderung des Pflanzenwachstums in einem bestimmten Gebiet oder die Verteilung der Monumente, ihre Standorte und architektonischen Charakteristika. In unserem besonderen Fall zeigt eine auf dem Bildschirm erscheinende Karte den Standort verschiedener Monumente in Petra, und wenn man mit dem Mouse Cursor ein bestimmtes Monument anklickt, erscheint eine Datentabelle mit den geographischen UTM-Koordinaten des Monuments und einigen seiner wesentlichen Charakteristika.

Da die Datenbank durch neue Informationen ständig auf den neuesten Stand gebracht wird, ist der Dokumentationsprozeß keineswegs statisch. Darüber hinaus wird das grundlegende Da-

Early in the planning phases of the Petra Stone Preservation Project, it has been recognized that an important requirement for the success of the project is a comprehensive documentation system. In this respect gathering of information and data on the monuments of Petra and their state of preservation was deemed necessary in order to support scientists, architects, and engineers who would conduct measurements, prepare, design and draw restoration plans, perform laboratory tests and finally implement standard procedures to ensure good protection for the monuments. Earlier on the National Technical Committee for Petra was established at the Higher Council for Science and Technology by his Royal Highness Prince Al-Hassan Bin Talal. The Committee had already recognized the need for a comprehensive database for gathering and retrieval of information on Petra. This has proved to be an extremely useful process as far as the project is concerned, for soon it was realized that while weathering of the stone material itself is the direct cause of the deterioration of the monuments, their protection could only be practically ensured by an integrated approach in which all the interacting processes, that pose threat to the site are considered. Tourism, flashfloods, desertification, erosion, traffic pollution, archaeological excavations, and urban development are but a few of the many facets of the natural and anthropogenic processes that can collectively and cooperatively endanger such an important World Heritage Site.

This Center has extended the documentation activities beyond the monuments themselves to a comprehensive and integrated system, in which data collection and retrieval covered all aspects related to Petra. The material gathered included books, articles, photographs, satellite images, maps, digital elevation models etc. An electronic database was created with the ability to produce useful tables, reports, photographs, bibliographies and even maps. The maps can be produced through a Geographic Information System (GIS). This is a technique commonly used by planners aiming at producing maps with various thematic topics such as the degree of degradation in the plant cover in an area or the distribution of monuments, their location and architectural properties. In our particular case, a map shown on the screen locates various Petra monuments, and if the mouse cursor is clicked on a particular monument a table of data is shown containing the geographic UTM coordinates of the monument and some of its main characteristics.

The documentation process is not static. Rather, the database is constantly updated with new information. Moreover, the basic database design is modified as new types of data, never used be-

tenbankdesign nach Maßgabe neu zur Verfügung stehender Datentypen ständig neu zugeschnitten. Und was noch wichtiger ist, die Eingaben in die Datenbank (inputs) beschränken sich nicht nur auf die von anderen Institutionen und Einzelpersonen gesammelten Angaben, ihre Erstellung und Analyse ist vielmehr untrennbar mit der täglichen Arbeit des Dokumentationszentrums verbunden. Wissenschaftliche Arbeitsweise und Technologie sind die Grundlagen für die Anlage der Datensammlung, für Analyse, Auswertung und Berichterstattung.

Die Bedeutung der Dokumentation mit all ihren Facetten kann nur durch eine schrittweise Beschreibung der verschiedenen Verfahren, die nötig sind, um zu einer effizienten und vielschichtigen Datenbank zu gelangen, richtig ermessen werden. In Abbildung 1 sind die wichtigsten Elemente der Datenbank in einem schematischen Diagramm dargestellt.

Die Tabelle ist in vier Hauptspalten gegliedert. Die Daten entstammen entweder Quellen von außen (d. h. aus der verfügbaren Literatur) oder der Feldforschung, die vom Zentrum selbst durchgeführt wird. Nach der Feldarbeit ist stets eine Datenauswertung erforderlich. Das trifft aber auch für einige der extern verfügbaren Materialien, wie etwa Satellitenbilder von Landsat (Farbtafel XXV) oder Spot zu. Die meisten bislang gesammelten Daten fallen unter die zweite Spalte mit der Auflistung der verschiedenen Informationstypen. Aus finanziellen und anderen Gründen ist das tatsächlich vorhandene Material oft nicht am Zentrum selbst verfügbar. In derlei Fällen gibt die Datenbank darüber Auskunft, in welcher der vielen Bibliotheken Jordaniens es zur Verfügung steht. Es steht zu hoffen, daß zukünftig auch von Bibliotheken außerhalb Jordaniens Bibliographien ihrer Buchbestände über Petra besorgt werden können, was den Forschern eine umfassende Dokumentation der Weltliteratur über Petra erlauben würde. Das dem Zentrum zur Verfügung stehende Material ist in der dritten Spalte unter Bestände (holdings) aufgelistet und beinhaltet die materielle Sammlung (hardcopies) der gedruckten Berichte, Bücher, Artikel usw. und die elektronische Datenbank, die eine Beschreibung der Bestände mit einem leicht zu bedienenden Suchsystem enthält. Die Suche im Computer erlaubt den raschen Zugriff auf alle Unterlagen in der materiellen Sammlung.

Die elektronische Datenbank enthält auch Informationen über jedes bislang registrierte Monument. Die Haupttabelle mit der Beschreibung der Monumente stützt sich auf die im CNRS (Centre National de Recherche Scientifique, Paris) geschaffene Datenbank, die uns freundlicherweise von Denzer und Nemé zur Verfügung gestellt wurde. Die Liste wird während der Erforschung neuer Monumente laufend auf den neuesten Stand gebracht. So ist zum Beispiel ein kürzlich vom PNT (Petra National Trust) erstellter Plan der Dämme und Zisternen im Bereich des Siq – der Schlucht, die den Zugang nach Petra bildet – der Liste als Anhang hinzugefügt worden. Desgleichen hat das Zentrum Dämme und Zisternen im Mataha-Tal aufgenommen und eingemessen.

Ein beträchtlicher Arbeitsaufwand ist erforderlich, bevor man endgültige Resultate (outputs) unterschiedlicher Art vorlegen kann. Die Art der Ergebnisse hängt weitgehend von der Feldarbeit und der folgenden Datenauswertung ab. Dieser Prozeß läßt sich am besten durch eine detaillierte Beschreibung der Bestimmung und Behandlung jeden Datentyps verständlich machen,

before, become available. More importantly, input to the database is not restricted solely to data gathered by other institutions and individuals. Instead, data creation and analysis is part and parcel of the daily activities of the Documentation Center. In order to achieve the goals of the Project, the documentation process heavily relies on science and technology as the main tools for data collection, analysis and reporting.

The importance of this documentation with all its facets can only be appreciated from a detailed step by step description of the various procedures needed to arrive at an efficient multifaceted database. In figure 1 a schematic diagram is drawn to illustrate the main features of the database.

The figure is divided into four main groups. The Sources of Data are either available from outside sources (i. e. available literature) or created by field work carried out by the Center. Data analysis is always needed after field work, but often is necessary for some of the externally available material. This for example, applies to satellite images from Landsat or Spot (colour plate XXV). Most of the data thus far collected, falls under the second column which describes the various forms of information that can be acquired. Frequently, for financial or other reasons, the actual material might not be available at the Center. In such cases, the database gives information as to the availability of the material in one of the many libraries in Jordan. It is hoped that, in the future, bibliographies of library holdings on Petra outside of Jordan will also be obtained, thus allowing researchers a full documentation of world literature on Petra. The material available to the Center is described under Holdings in the third column. This includes the physical collection of hardcopies of reports, books, articles etc. and the electronic database. The latter includes a description of the holdings with an easy system of retrieval. Searching the computer allows the fast location of any material in the physical collection.

The electronic database also contains information about each monument thus far recorded. The main table, describing monuments, relies on the database formed at the French CNRS (Centre National de Recherche Scientifique, Paris) which was kindly provided by Denzer and Nemé. The table is continuously updated as new monuments are surveyed. For example, a recent survey by PNT (Petra National Trust) on dams and cisterns in the Siq area (the gorge entrance to Petra) has been appended to the table. Similarly dams and cisterns in the Mataha valley were surveyed by the Center.

Considerable work is needed before final outputs, in the various forms, could be produced. The nature of the output largely depends on the field work and the data treatment that follows. This process can be best understood by a detailed description of the fate of each type of data, how it is treated, for what purpose it is needed, and what is the final outcome.

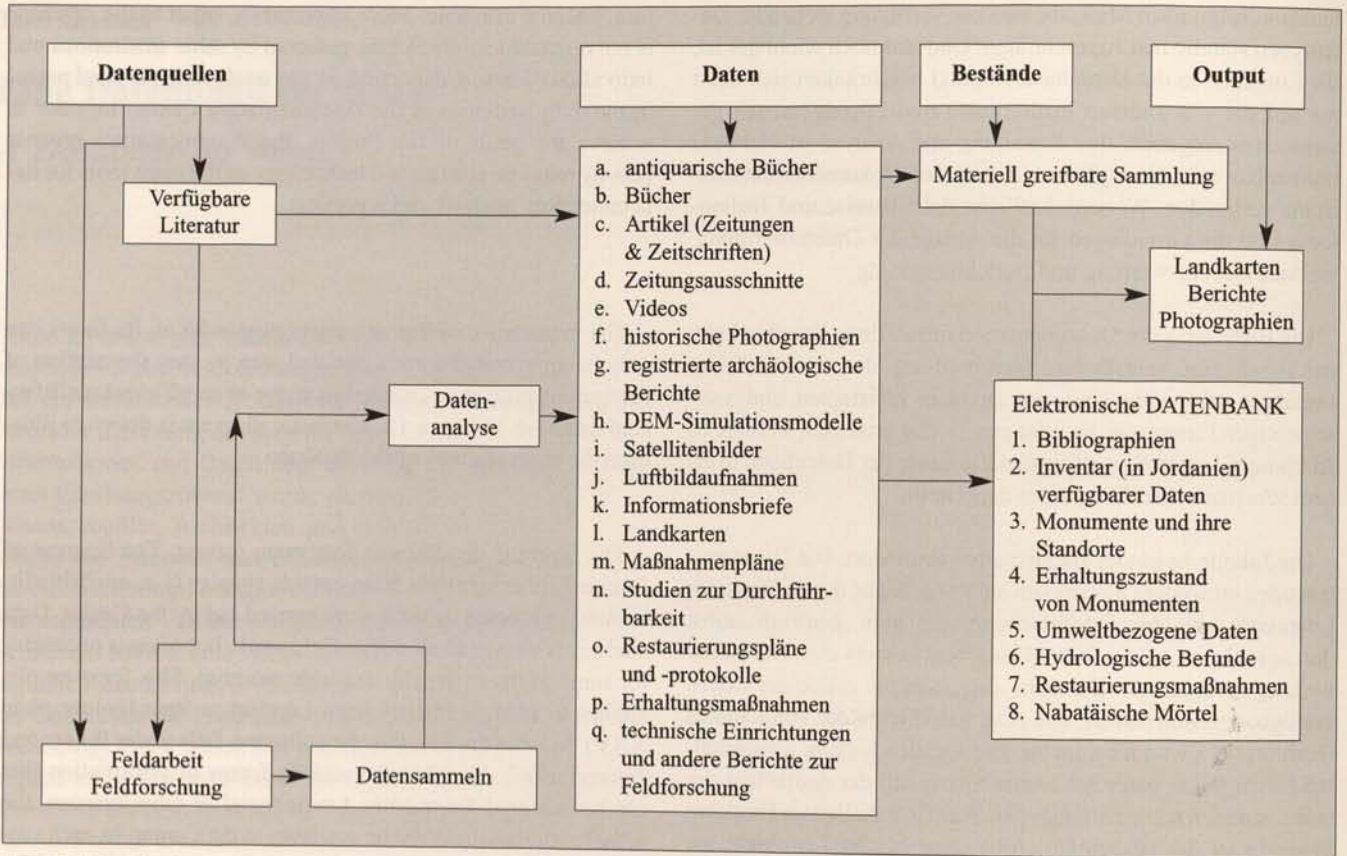
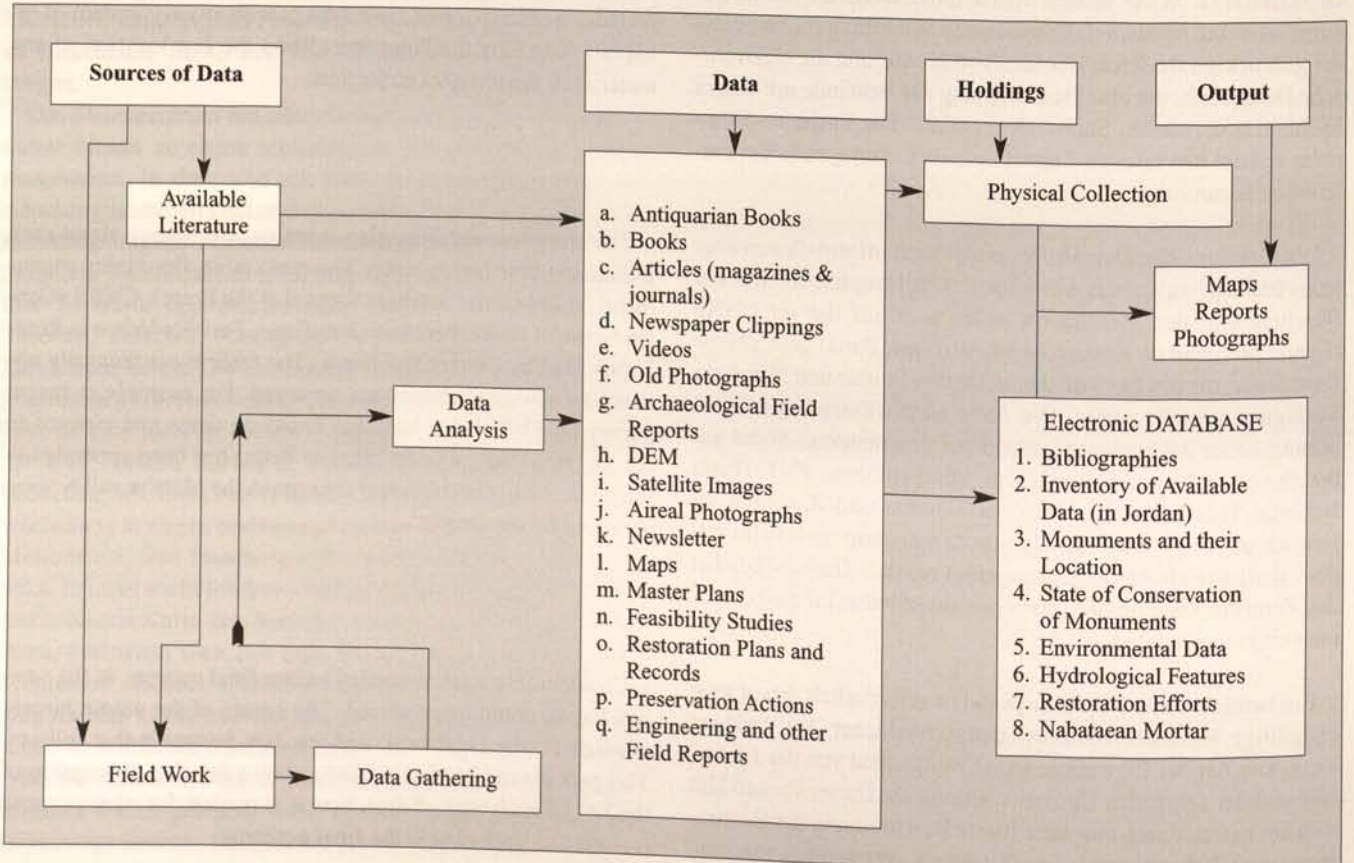


Abb. 1. Schematische Darstellung der Datenbank

Fig. 1. Diagram of the Database



zusammen mit Angaben darüber, für welchen Zweck er gebraucht wird und was das endgültige Resultat ist.

Die folgenden Datentypen sind hier maßgeblich:

1. Landkarten
2. Alte Photographien
3. Aufmaße der Monumente
4. Vermessungsdaten
5. Umweltdaten
6. Satellitenbilder
7. Photographische Dokumentationen

Der Umgang mit den Daten

1. Landkarten

Detaillierte Landkarten sind gewöhnlich beim RJGC (The Royal Jordanian Geographic Center) erhältlich. Schematische und der Realität angenäherte Karten sind im allgemeinen in den Büchern und archäologischen Berichten über Petra zu finden. Die in diesen Karten enthaltenen Informationen können digitalisiert und – oft in einem vom Original unterschiedenen Maßstab – in neue Karten übertragen werden. Dieses bietet einen einfachen Zugriff auf Konturlinien oder Grundrißpläne archäologischer Ausgrabungen.

2. Alte Photographien

Alte Photographien von Petra sind in den Beständen internationaler Bibliotheken oder in antiquarischen Büchern vorhanden. Solche Photographien, von denen viele noch in die zwanziger Jahre zurückreichen, sind höchst wertvoll, wenn man den damaligen Zustand der Monumente mit dem heutigen vergleichen will. Der Vergleich kann durch visuelle Überprüfung oder eine computergesteuerte Bildanalyse erfolgen und gibt manchmal eine Vorstellung vom Grad der Verwitterung und damit dem Ausmaß der Zerstörung, dem die Fassade während der letzten 50 bis 70 Jahre ausgesetzt war. Alte Photographien und sogar alte Zeichnungen sind auch insofern sehr nützlich, als sie die ursprüngliche Form der Fassaden oft noch erkennen lassen, die in ihrer Gesamtheit oder in Details heute vollständig oder nahezu vollständig abgewittert sind. Manchmal ist ein Monument vollständig zerstört und die alten Photos und Zeichnungen sind das einzige Medium, durch welches der architektonische Stil, die Form und vielleicht auch die ehemalige Schönheit der Fassade noch überliefert sind.

3. Aufmaße der Monumente

Die Vermessung der Monumente schließt die Bestimmung ihrer Koordinaten auf der Landkarte ein, wobei man entweder konventionelle Vermessungstechniken oder GPS (Global Positioning System) verwendet, durch das Satellitensignale an den Empfänger gesendet werden, die eine genaue Bestimmung der Position des GPS-Empfängers erlauben. Nun kann, außer einem elektronischen Aufmaß, das an anderer Stelle dieser Publikation beschrieben ist, auch eine Photogrammetrie der Fassaden angefertigt werden, die jedoch durch konventionelle Vermessungstechniken ergänzt werden muß, um eine maßstabsgerechte Darstellung zu ermöglichen.

The following types of data are noteworthy:

1. Maps
2. Old photographs
3. Survey of monuments
4. Surveying data
5. Environmental data
6. Satellite images
7. Photographic records

Data Treatment

1. Maps

Detailed Maps are usually obtained from RJGC (The Royal Jordanian Geographic Center). Schematic and approximate maps are commonly found in many books and archaeological reports on Petra. Information in such maps may be digitized and incorporated in new maps, often at different scales from the originals. This provides easy access to contour lines or plans of archaeological excavations.

2. Old Photographs

Old photographs of Petra are available either from international library collections or from antiquarian books. Such photographs, many of which date back to the early 1920s, are most valuable in comparing the state of the monuments in the past with the present state. This can be done by visual inspection or by computerized image analysis. Sometimes, this gives an idea about the rate of weathering, and hence the extent of damage suffered by the façades during the past fifty to seventy years. Old photographs and even old sketches are very useful in showing closer similarity to the original state of the façades, whose features or details have been completely or almost completely erased. Sometimes, a monument may be totally destroyed, and the old photographs and drawings are the only means of preserving the architectural style, shape and maybe the glamour of the façade.

3. Survey of Monuments

The survey of the monuments includes determination of their map co-ordinates either by using conventional surveying techniques or through the use of GPS (Global Positioning System), that relies on special satellite signals transmitted to the receiver that allow an accurate determination of the position of the GPS receiver. Apart from the electronic survey, described elsewhere in this publication, surveying of the façades of the monuments may be done by architectural photogrammetry. This has however to be complemented by conventional surveying techniques necessary to calibrate the stereopair photogrammetric images.

4. Vermessungsdaten

Landvermessung ist wichtig, um die Topographie des Geländes und die geographische Lage der Monumente zu erfassen. Digitale Höhenmodelle (Digital Elevation Models = DEMs) mit einer Auflösung von 10–20 m, die zur Erzeugung von Konturlinien mittels Computer verwendet werden können, sind beim RJGC (The Royal Jordanian Geographic Center) erhältlich. Wann immer eine feinere Auflösung nötig wird (etwa 1,2 oder 5 m), ist eine richtige Vermessung des Gebietes erforderlich. Das kann ein zeitraubendes Verfahren sein. Als Alternative lassen sich ebenfalls beim RJGC erhältliche Luftbildaufnahmen im Maßstab 1:10.000 und 1:30.000 verwenden, vorausgesetzt, die Bilder sind vor der Herstellung der digitalen Höhenmodelle entzerrt worden.

Die von den digitalen Höhenmodellen dargestellte Topographie ist bei der Ausführung von Überschwemmungskontrollstudien sehr nützlich, wobei die passenden hydrologischen Modelle verwendet werden. In Verbindung mit den Plänen nabatäischer Dämme und Zisternen hat sich diese Methode als sehr wirksam bei der Auswahl der besten Alternativen zur Kontrolle saisonbedingter Sturzfluten erwiesen, die für starke Erosion in der Region verantwortlich sind.

5. Umweltdaten

Umweltindikatoren helfen uns dabei, die Verwitterung der Monumente mit den verschiedenen für die Schäden verantwortlichen Belastungen zu korrelieren. Es würde den Rahmen dieses Beitrags sprengen, die Verwitterungsmechanismen zu besprechen, welche die Fassaden von Petra ständig belasten. Abbildung 2 und der ihr unterlegte Text liefern eine kurze und vereinfachte Beschreibung dieser Prozesse. Es ist offensichtlich, daß Wasser und Wind als die wichtigsten Faktoren der Verwitterung gelten müssen. Daher brauchen wir Wetterdaten wie Regenmenge, Luftdruck, Temperatur, Windstärke und Windrichtung, um die Verwitterungsprozesse in ganz bestimmten Situationen besser erklären zu können. Das jordanische Wetteramt kann diese Daten gewöhnlich für den nahegelegenen Ort Wadi Musa liefern. Daten über das Mikroklima werden gelegentlich vom Zentrum und anderen Institutionen für besondere Monumente (wie z. B. das Palastgrab, Abb. 3) gesammelt. Der Wasserfluß in den Wadis (arabisches Wort für Täler oder Flußbetten) von Petra wird gewöhnlich von der WAJ (Water Authority of Jordan) angegeben. Die Luftverschmutzung durch Verkehr hat kein besorgniserregendes Niveau erreicht. Es ist aber sehr wahrscheinlich, daß in naher Zukunft mit dem rasch ansteigenden Tourismus das Niveau der Luftverschmutzung überwacht werden muß. Die Überwachung der Umwelt in bezug auf die obigen (wie auch andere) Parameter ist untrennbar mit der Überwachung des Erhaltungszustands der Monumente und ihrer Fassaden verbunden.

Ein weiterer Faktor, der berechtigterweise eine ganzheitliche Überwachung der umweltbedingten und natürlichen Prozesse, die den Monumenten Schaden zufügen, erfordert die Beobachtung der biologischen Vielfalt des Gebietes. Die Überweidung der Grasdecke durch Ziegenherden sowie der Touristenverkehr haben drastische Auswirkungen auf die Fauna, besonders in der Nähe der Trampelpfade der Touristen, die zu den wichtigen Monumenten führen. Da die Zerstörung der Pflanzendecke die Bodenerosion verstärkt (die bereits durch das abfließende Regenwasser entstanden ist), werden die Monumente durch derlei Entwicklungen stark in Mitleidenschaft gezogen.

4. Surveying Data

Ground surveying is important to elucidate the topography of the terrain and the geographic location of the monuments. Ten to twenty meter digital elevation models (DEM) are obtainable from the RJGC (The Royal Jordanian Geographic Center). This means that elevation information is provided at ten or twenty meter intervals, and these can be used to generate contour lines by computer. Whenever a finer resolution is needed (such as 1.2 or 5 meters), actual surveying of the area is necessary. This can be a time consuming process. Alternatively, aerial photographs of 1:10.000 and 1:30.000 scales, also obtainable from the RJGC, can be used, provided the images are calibrated (or orthorectified) before generating the DEMs.

The topography as depicted by the DEMs is very useful in performing flashflood control studies, using the appropriate hydrological models. Combined with the survey for Nabataean dams and cisterns, this proved to be a very effective way in determining the best alternatives for the control of seasonal flashfloods, responsible for very serious erosion in the area.

5. Environmental Data

A number of environmental indicators are very helpful in correlating weathering of the monuments to the various stresses that are responsible for the damage that occurs. It is not within the scope of this article to discuss the weathering mechanisms that constantly plague Petra's façades. Figure 2 and its caption gives a brief simplified description of the processes. It is obvious that water and wind can be considered as the most important weathering factors. Thus weather data such as rainfall, barometric pressure, temperature, wind speed and direction are needed in order to more accurately explain the weathering process for particular situations. The Department of Meteorology of Jordan can usually provide such data for the nearby village of Wadi Musa. Microclimatic data are occasionally collected by the Center and other institutions at specific monuments (such as the Palace Tomb, fig. 3). Water flow data in the Petra Wadis (Arabic word for valleys or stream beds) are usually provided by the WAJ (Water Authority of Jordan). Air pollution due to traffic has not reached serious levels. It is very likely that in the near future and with the rapidly expanding tourism activities, pollution levels need to be monitored. Environmental monitoring of the above parameters (as well as others) is part and parcel of monitoring the state of preservation of the monuments and their façades.

Another factor that justifiably calls for an integrated monitoring of environmental and natural processes causing harm to monuments, is observation of the biodiversity of the area. Overgrazing by goats and tourist traffic is drastically affecting the fauna, especially on and around tourist trails that lead to the major monuments. Since destruction of the plant cover enhances soil erosion (already caused by rainwater flow), the monuments are severely affected by such processes.

6. Satellitenbilder

Landsat, Spot und russische Satellitenbilder sind vom Zentrum erworben worden. Diese Bilder haben sich von unschätzbarem Wert bei der Herstellung von Landkarten erwiesen, die die Auswirkungen der städtischen Expansion, von Erosion und Überschwemmungen dokumentieren und die Belastung anschaulich machen, der die Pflanzendecke (hier besonders Wacholder und Piniengruppen) unterworfen ist. Die Aufnahmen dürften sich als wirksames Hilfsmittel zur Entwicklung angemessener Bodennutzungspläne erweisen, die ein vernünftiges Gleichgewicht halten zwischen der wachsenden Notwendigkeit, eine Infrastruktur für den Tourismus zu entwickeln und den Schutz der natürlichen Ressourcen und des kulturellen Erbes zu gewährleisten. Normalerweise werden die Bilder geometrisch nach UTM-Koordinaten ausgerichtet und dann einer Computer-Bildanalyse unterzogen, um die notwendigen Informationen zu erhalten, die jeweils einer besonderen Aufgabe dienen. So erlaubt etwa das „Tassel-Cap-Treatment“ (Trennung in kultiviertes und nichtkultiviertes Gelände) (Farbtafel XXV) der Landsat TM (Terrain-Modell)-Aufnahmen ein Erfassen der Pflanzendecke.

Landwirtschaftlich bewässertes Gelände läßt sich leicht von anderen Geländetypen unterscheiden. Wasserquellen, die in Petra reichlich vorkommen, sind durch die sie umgebende üppige Vegetation leicht zu lokalisieren und zu identifizieren. Häufig ist eine Bodensondierung (ground-truthing) notwendig, was eine direkte Feldforschung voraussetzt, um die durch den Computer erhaltenen Resultate zu bestätigen. Die zumeist verwendete Computersoftware stammt von PCI und ERDAS.

In letzter Zeit hat das Zentrum Radarbilder im C-Band- und L-Band-Bereich von der NASA erhalten. Die Bilder werden in Zusammenarbeit mit Douglas Comer vom National Park Service (NPS) in den USA analysiert. Die vorläufigen Ergebnisse sind sehr aufregend. Da die Radarstrahlen imstande sind, bis zu einer Tiefe von 2–5 Metern in die obere Bodenschicht einzudringen, kann man archäologische Fundstätten entdecken, selbst wenn sie unter einer Erdschicht verborgen liegen. So war es möglich, mehrere potentielle Fundstätten durch die Kombination von Radardaten, wie Landsat, russischen Satellitendaten, Spot und SIR C/X-SAR (von der NASA) zu identifizieren. Um dies zu erreichen, sind verschiedene Techniken der Bildanalyse, wie diejenigen der Klassifikation und des Herausfilterns von Merkmalen notwendig. Aufgrund dieser Ergebnisse folgt dann die Bodensondierung und die archäologische Bodenprospektion (soundings) mit dem Ziel, ein Protokoll von Standardverfahren zu erstellen, die zur Identifikation verborgener archäologischer Fundstätten gebraucht werden.

7. Photographische Dokumentation

Die wichtigste Grundlage, auf die sich das Zentrum bei der Bewertung des Zustands der Monumente verläßt, ist die Photographie. Die Daten der Photogrammetrie haben bereits Erwähnung gefunden. Farbige, schwarzweiße und multispektrale Photographien sind bei der Einschätzung der Verwitterungsschäden der Fassaden von größtem Wert. Wie bereits erwähnt, läßt sich durch den Vergleich von Photographien, die mit zeitlichem Abstand aufgenommen wurden, der Verwitterungsgrad häufig abschätzen. In Verbindung mit computergestützter Bildanalyse ist die Photographie eines der wirkungsvollsten Werkzeuge. Durch visuelle Kontrolle allein könnten einige der feineren Details

6. Satellite Imagery

Landsat, Spot and Russian satellite images have been acquired by the Center. Such images proved invaluable in preparing maps, following up on urban expansion, observing erosion and flash-flood effects, and assessing the pressures that the plant cover, (especially the juniper and pine communities) is subjected to. The images can greatly help in laying out appropriate landuse planning that can maintain a reasonable balance between the rising need to develop infrastructure for tourism and the protection of the environmental resources and the cultural heritage. Normally, the images are geometrically corrected to UTM co-ordinates. They are then treated by computer image analysis to extract the necessary information that serves a particular need. For example, Tassel Cap treatment of the seven bands of the landsat TM images allows an assessment of the plant cover (colour plate XXV). Irrigated agriculture is easily discerned from other types. Water sources which are abundant in Petra, are easily located and identified by the lush vegetation that flocks around them. Frequently ground truthing, which involves direct field observation, is necessary to confirm the results obtained by computer. The computer software generally used, is from PCI and ERDAS.

More recently radar images in the C-band and L-band ranges have been obtained from NASA. The images are being analyzed in co-operation with Douglas Comer of the National Park Service (NPS) in the US. The preliminary results are very exciting. Since radar radiation is capable of penetrating the top ground layer down to 2–5 meters deep, it is possible to detect archaeological sites even when they are buried by the top soil. Thus, it has been possible to identify several possible sites by combining Landsat, Russian satellite, Spot and SIR-C/X-SAR (from Nasa) radar data. Several image analysis techniques such as classification and feature extraction are needed to accomplish this. The results will be followed up by groundtruthing and archaeological soundings with the aim of establishing a protocol of standard procedures needed to identify hidden archaeological features.

7. Photographic Records

The most important data that the Center relies on for the assessment of the state of the monuments is photography. Photogrammetric data have already been mentioned. Colour, black and white, and multispectral photographs are of utmost value in assessing the damage that the façades suffer due to weathering. As mentioned earlier, comparison of photographs taken at different times can lead to an estimate of the rate of weathering. Photography is considered as one of the most powerful tools in assessing damage when combined with computerized image analysis. Visual inspection alone might not detect some of the finer details, and even when this is possible, image analysis can some-

nicht entdeckt werden, und selbst wenn dies möglich wäre, kann die Bildanalyse manchmal doch einige besondere Merkmale oder Details steigern oder hervorheben. Diese Methode gewinnt besondere Bedeutung, wenn sie auf die Fassaden von Monumenten angewandt wird, da eine Entnahme von Gesteinsproben die Fassade ernsthaft beschädigen könnte. Die Bildanalyse ist eine zerstörungsfreie Testmethode, die gegebenenfalls unerwünschtes konventionelles Testen durch Probenentnahme und nachfolgende Analyse im Labor erheblich reduzieren kann. Darüber hinaus erschwert die monumentale Größe der Fassaden häufig den Zugang zum Zweck einer Probenentnahme. Die computergesteuerte Methode der Schadensanalyse hat immer noch ihre Grenzen und das Zentrum arbeitet daran, die Technik weiterzuentwickeln, um ihre Möglichkeiten voll ausschöpfen zu können. Wegen der vielversprechenden Aussichten der computergestützten Bildanalyse beschäftigt sich der Rest dieses Berichts mit einer detaillierten Beschreibung der bislang durch das Zentrum erreichten Fortschritte.

Das Potential, zusätzliche Informationen zu erhalten, die über das hinausgehen, was vor Ort oder durch Reproduktion von Farbbildern im Computer mit anschließender Bildanalyse beobachtet werden kann, liegt darin, daß das sichtbare Licht und andere von der Oberfläche einer Fassade ausgehende Strahlungen ein Ausdruck der geochemischen und mineralogischen Eigenschaften des Gesteins sind, d. h., daß die Farbe und andere von der Oberfläche ausgehende Strahlungen dem Material anhaftende Eigenschaften sind. Außerdem erlaubt die Bildverarbeitung besondere Merkmale, die sonst leicht übersehen werden können, hervorzuheben.

Die computergestützte Bildanalyse verwendet prinzipiell zwei Techniken, um einer Photographie automatisch Information zu entziehen. Bei der ersten beruht das Ausfiltern von Merkmalen auf komplexen mathematischen Modellen der Kantendetektion, wodurch Gegenstände mit spezifischen geometrischen Formen leichter erfaßt werden können. Die zweite Technik wird „classification“ genannt und beruht hauptsächlich auf der Reduzierung der Farbinformation einer Photographie, um die Verwirrung, die durch zuviel Informationsgehalt entstehen kann, zu vermeiden. Die verfügbare Farbinformation kann z. B. so verarbeitet werden, daß die Farbe Rot allen Oberflächenbereichen verliehen wird, die aus demselben Material oder zumindest sehr ähnlichen Materialien bestehen. Wir können uns je nach der gewünschten Information mit 20, 16 oder gar 4 Farben begnügen. Wenn wir zum Beispiel ein Satellitenbild in zehn Klassen aufteilen, entdecken wir vielleicht, daß wir vier dieser Farben der Vegetation zuordnen können. In diesem Fall könnten wir etwa ein rotes Farbfeld für den Wald, eine grüne Farbfläche für Landwirtschaft ohne Bewässerungsanlagen, ein gelbes Feld für die wilde Flora und ein viertes, sagen wir, blaues Feld für bewässerte Obstplantagen erhalten.

Vor der Darstellung des Fortschritts, der bisher auf dem Gebiet der Bildanalyse am Zentrum erzielt worden ist, muß betont werden, daß durch die Bildanalyse im Grunde natürlich nur Oberflächenphänomene erfaßt werden können. Das bedeutet, daß nur Charakteristika beschrieben werden können, die auf der Oberfläche einer Fassade auftreten. Das kann eine ernsthafte Einschränkung bedeuten, weil die Verwitterung nicht auf oberflächenschäden beschränkt ist. Unter Berücksichtigung dieser Einschränkung, gibt die Bildanalyse jedoch eine Vorstellung vom Ausmaß der Verwitterung. So stellt sie eine gute Methode dar, den Erhaltungszustand eines Monuments durch den Vergleich von Photographien, die zu verschiedenen Zeiten gemacht

times enhance and/or stress some special features or details. This method gains particular importance when applied to the façades of monuments, since the collection of stone samples might cause serious harm to the façade. Image analysis is considered a non-destructive testing method that can eventually considerably reduce undesirable conventional testing by sample removal followed by analysis in the laboratory. Furthermore, the monumental size of the façades often does not allow easy access for sample collection. The computerized method of damage analysis still has its limitations and the Center is working at developing the technique to realize the full extent of its potential. Because of the promising prospects of computer enhanced image analysis, the rest of this report is dedicated to a detailed description of the progress so far achieved by the Center.

The potential for obtaining additional information, i. e. information that goes beyond what can be observed on site through observation, through the processing of colour images in the computer and subsequent image analysis rests on the fact, that the visible light and other radiation emitted from the surface of a façade is an expression of the geochemical and mineralogical properties of the stone material. In other words the colour and other radiation emitted from a surface is an inherent property of the material. Moreover the processing of colour images allows to enhance certain features that may otherwise be easily overlooked.

In many cases, computer enhanced image analysis utilizes two techniques to automatically extract information from a photograph. In the first case, feature extraction relies on complex mathematical models for edge detection so that objects that have specific geometrical shapes are more easily discerned. The second technique is called classification and relies mainly on the reduction of the colour information of a photograph thus reducing the confusion arising from too much information content. The colour information available maybe processed in such a way that the colour red is given to all surface areas that are made up of the same material or at least closely similar materials. The colour content available may be reduced to say 20, 16 or even 4 colours, depending on the information we are seeking. For example, if we classify a satellite image into say ten classes, we may discover that we can attribute 4 of the resulting ten colours to vegetative activity. In this case we might obtain an area of red colour that can be attributed to forestry, an area of green for non-irrigated agriculture, an area of yellow representing wild flora, and yet a fourth one, say blue, representing irrigated fruit trees.

Before describing the progress thus far achieved at the Center in the area of image analysis, it must be stressed that image analysis deals basically with surface phenomena. This means we can only describe features that are apparent at the surface of a façade. This could be a serious limitation since weathering is not restricted to skin-deep damage. Nevertheless, while this is kept in mind, image analysis gives an idea about weathering extent and affords a good method to compare the state of a monument by comparing photos taken at different times. The comparison is not restricted to the original photographs but could also be extended to those resulting from computer enhanced image analysis, provided the same exact procedures of analysis are applied to both images.

While surface phenomena are typically obtained by visible light, an exciting development in satellite imagery holds future promise in overcoming the limitations of this technique. Radar satellite imagery (utilizing microwave radiation) has been utilized to extract subterranean features, due to its ability to pene-

wurden, zu beurteilen. Ein solcher Vergleich ist nicht auf originale Photographien beschränkt, sondern könnte auch auf Aufnahmen ausgedehnt werden, die sich aus der computergestützten Bildanalyse ergeben – vorausgesetzt, bei beiden Aufnahmen werden dieselben exakten Analyseverfahren angewandt.

Während man so die Oberflächenphänomene durch sichtbares Licht erhält, erweist sich eine erstaunliche Entwicklung bei den Satellitenaufnahmen als vielversprechend für die Zukunft, überwindet sie doch die Beschränkungen dieser Technik. Radar-Satellitenbilder (die Mikrowellenstrahlung einsetzen) vermögen aufgrund der Fähigkeit der Radarstrahlen, den Boden je nach Bodenbeschaffenheit, Feuchtigkeit und Mineralgehalt bis zu einer Tiefe von 2–5 m zu durchdringen, unterirdische Charakteristika ans Licht zu bringen. Das kann sich möglicherweise als eine sehr vielversprechende Methode zur Bewertung verwitterter Fassaden erweisen. „Bodendurchdringender Radar“ (Ground Penetrating Radar = GPR) wurde auch bereits zur Ermittlung unterirdischer Merkmale oder eines Mineralgehalts eingesetzt. Bis heute liegen keine Berichte über die Anwendung dieser Technik bei Monumenten vor. Es könnte sich als notwendig erweisen, die Technologie zu diesem Zweck zu adaptieren.

Das Zentrum arbeitet mit drei Ansätzen der Bildanalyse. Der erste bedient sich der gängigen bildverarbeitenden Software, der zweite basiert auf multispektraler Photographie und der dritte verwendet eine Software zur erweiterten Klassifikation und Ausfilterung von Merkmalen wie PCI, ERDAS und IMAGINE.

Gängige Software kann helfen, Bilder zu manipulieren, ihre Farben zu reduzieren (falsche Farbgebung genannt) oder durch spezielle Filtertechniken Begrenzungslinien zu entdecken und dadurch die Information zu steigern oder sogar neue Informationen zu schaffen. Mit gängiger Software kann man auch Bilder von Fassaden so retuschieren, daß die verwitterte Oberfläche durch eine gesunde ersetzt wird. Diese Wiederherstellung per Computer kann für Kunsthistoriker und Architekten, welche die architektonischen Prinzipien und den historischen Kontext der Monumente erforschen, wichtig sein. Typische Darstellungen für solche Beispiele zeigen die Farbtafeln XVIII–XXIII.

Der zweite Ansatz basiert auf multispektraler Photographie. Das menschliche Auge kann UV- und Infrarotstrahlen nicht wahrnehmen. Die Absorptionseigenschaften von Materialien im sichtbaren Bereich unterscheiden sich stark von solchen anderer Strahlung. Daher ist die Übertragung der Prinzipien der FarbabSORPTION/-REFLEKTION im sichtbaren Licht auf andere Typen von Strahlung für die Wiedergabe neuer Information von großem Nutzen. Für diesen Zweck gibt es im Handel spezielle Infrarot- und UV-empfindliche Filme. Zum Beispiel lassen sich auf den Fassaden wachsende Pflanzen unschwer mit einem Farbinfrarotfilm feststellen (Farbtafel XIX). Im allgemeinen wird Schwarzweiß-Film benutzt. Um aus dieser Technik Nutzen zu ziehen, wird die Fassade mit gewöhnlichem Schwarzweiß-Film unter Verwendung eines Rot-, Grün- und Blau-Filters photographiert. Wenn diese drei Komponenten in den Computer gescannt werden, können sie miteinander zu einem RGB (Rot-Grün-Blau)-Farbphoto verbunden werden. Dies ist eine Methode, die dem Gebrauch der drei Farbplatten ähnelt, die beim Druckverfahren getrennt eingesetzt werden. Jede Platte druckt eine Schicht in ihrer Farbe, die drei Schichten ergeben das originale Photo. Die computererzeugte Kombination von drei Schichten ist ähnlich, aber nicht identisch mit der, die man von einem Farbfilm erhält. Hier werden zusätzlich zwei Infrarotfilme unterschiedlicher Strahlungsbereiche und ein UV-Film verwendet, um drei weitere Dias von der Fassade zu erhalten. Eine siebte Schicht erhält

trate between 2–5 meters depending on the nature of the soil, its humidity, and mineral content. This may prove to be a very promising application in assessing the state of weathered façades. Ground Penetrating Radar (GPR) has also been used on land to detect subterranean features or mineral content. To date there are no known reports on the implementation of this technique to monuments. It might be necessary to adapt the technology for this purpose.

Three main approaches to image analysis have been implemented at the Center. The first one utilizes popular image editing software, the second relies on multispectral photography, and the third utilizes advanced classification and feature extraction software, such as the ones sold under the brand names PCI, ERDAS and IMAGINE. These are sophisticated commercial computer routines that allow us to perform advanced image analysis.

Popular software can help enhance images, reduce their colour (a process known as false colouring) or detect edges using special filtering techniques and thus enhance information or even generate new information. Popular software can also be used in retouching images of façades in a manner that removes the weathered surfaces and replaces them with healthy ones. This computerized restitution of the façade can be very important to art historians and architects in studying the architectural principles and historical context of the monuments. Typical examples for such enhancement are shown in the colour plates XVIII–XXIII.

The second approach relies on multispectral photography. The human eye cannot detect UV and IR radiation. The absorption characteristics of materials in the visible region are quite different from those of other radiation. Thus extending the principles of colour absorption/reflection in the visible to other types of radiation may be extremely useful in rendering new information. For this purpose, special commercially available IR and UV sensitive films are available. For example, plant material growing on the façades (colour plate XIX) is easily detected with colour IR film. Generally black and white film is used. To benefit from this technique the façade is photographed by ordinary black and white film using three filters: red, green and blue. These three components, when scanned into the computer, could be combined to form the RGB (red-green-blue) coloured photo. This is very similar to the use of the three colour plates obtained by colour separation in the printing process. Each plate is utilized to print a layer of its own colour. The three layers give the original photograph. The computer generated RGB combination is similar but not quite the same as the one obtained from a colour film. In addition, two IR sensitive films of different (radiation range) and a UV sensitive film are used to take three more frames of the façade. A seventh layer is obtained from an unfiltered black and white film. The computer can generate a coloured image from any combination of three layers. Each combination of three layers might have a completely different information content than other combinations. Classification and edge detection techniques can be applied to any layer combination to enhance its information content even more.

Thirdly, a battery of sophisticated classification and filtering techniques are available in the more advanced software packages. Their application can lead to some important results. The most successful result has been the easy identification of limonite veins in a façade utilizing a method called Principal Component Analysis or Decorrelation Stretching. Since such veins represent a sudden change in the structural properties of the rock,

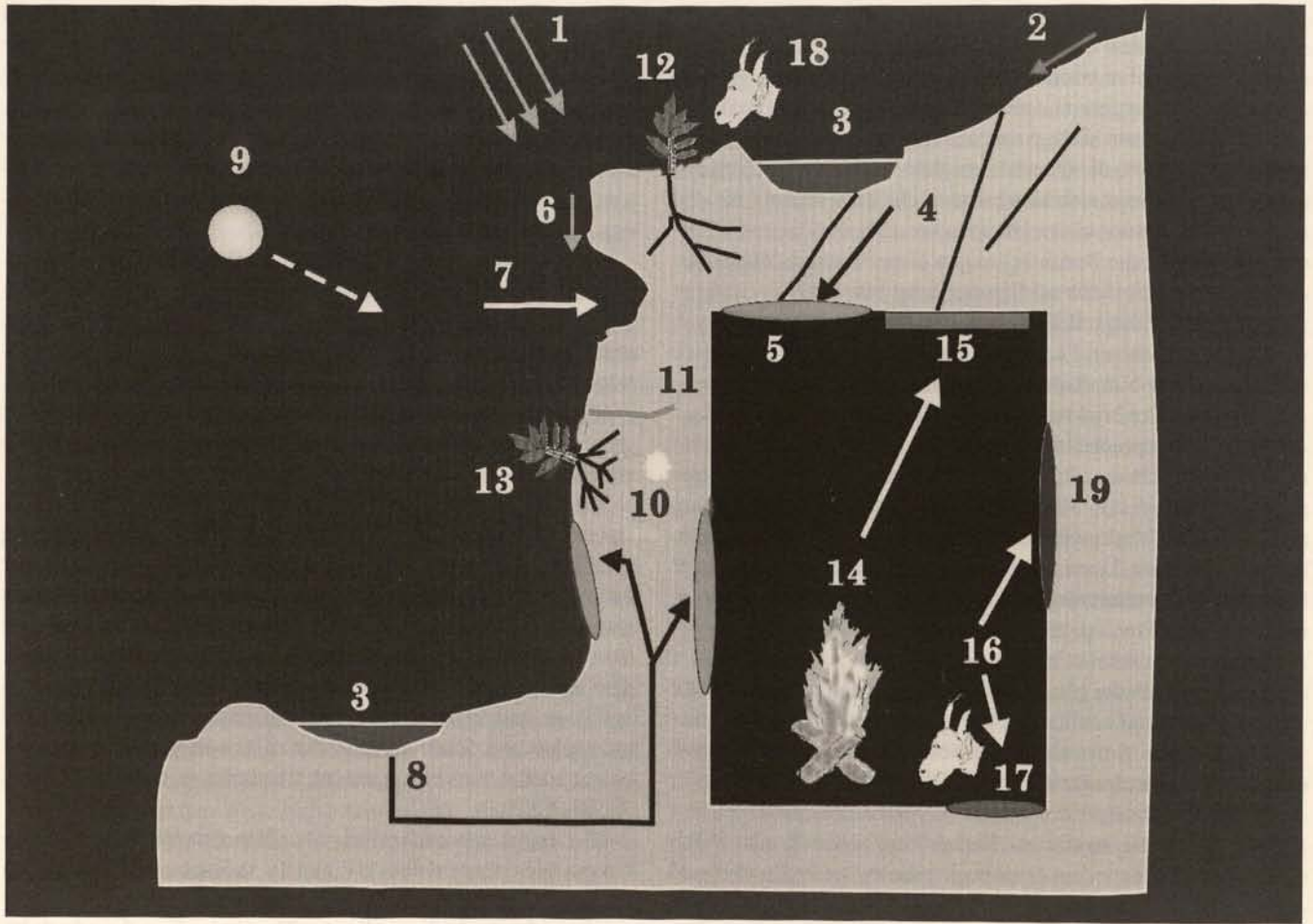


Abb. 2.
Die Ursachen von Verwitterung sind zahlreich und komplex. Verschiedene Faktoren wirken gemeinsam auf die Monumente ein und schädigen mit der Zeit die feste Struktur des Felsgesteins. Die Abbildung zeigt die Schnittzeichnung eines typischen in den Stein gemeißelten Monumente. Der Fassadeneingang befindet sich zur Linken. Die folgende Darstellung ist wahrscheinlich eine übermäßige Vereinfachung. Während der Regenzeit fällt Regen (1) und das Regenwasser fließt in die oberen Plateaus (2) und an der Fassade herab (6). Der Strom (2) könnte stark genug sein, um Bodenerosion hervorzurufen und den Boden und den Pflanzenbewuchs zu zerstören (13), dadurch den Boden zur Wüste machen und jede Oberflächenanlagen wie Wassergräben, Dämme oder Zisternen zerstören. Es bilden sich Wasserlachen (3), die das Wasser entweder in die Gesteinsporen oder über Risse in den Felsen eindringen lassen (4). Wasser steigt auch durch Kapillarwirkung aus dem Boden (8) empor. Wenn das Wasser in den Felsen dringt, löst es einige der Bindemittel und transportiert sie an die Oberfläche. Bei der Verdunstung hinterlassen die Bindemittelablagerungen feine Kristalle, die Ausblühungen oder Schalen an der Außenfläche verursachen (5) (Salzablagerungen werden bei anderen Abbildungen deutlich). Auch das an den Fassaden herabrinne Wasser (6) löst die Bindemittel und schwächt das Gestein. Die geschwächte Oberfläche ist dem Wind ausgesetzt (7), was wabenförmige Löcher (Alveolen) in der Oberfläche hervorruft. Die Sonne (9) heizt den Stein auf, doch da die Fassade gewöhnlich aus verschiedenen Gesteinsarten besteht, variiert die Temperatur auf der Oberfläche, wodurch Spannungen im Fels entstehen. Abkühlung und Erhitzung im Tag- und Nachtzyklus könnten ebenfalls eine schädliche Rolle spielen, besonders wenn große Temperaturschwankungen nach oben und unten auftreten. In den Felsporen wirken die zyklischen Abläufe von Verdunstung, Kondensation und Salzbildung auf die Felsstruktur ein. Während der kalten Jahreszeit verursachen Temperaturen unter Null Grad in den Poren die Bildung von Eis (10). Eis besitzt ein größeres Volumen als Wasser und der Ausdehnungsprozess kann die Bindemittel aufbrechen. Häufig besteht die Bergflanke, in welche das Monument gemeißelt ist, aus über Jahrtausenden gebildeten Ablagerungen verschiedener Gesteinsschichten. Die Reaktion der verschiedenen Gesteinsarten auf unterschiedliche Belastungen (wie etwa

Fig. 2.
The causes of weathering are numerous and complex. Several factors co-operatively act on the monuments, slowly damaging the structural strength of the rock. The figure shows in section a typical rock carved monument. The façade entrance is on the left side. The following treatment is probably an oversimplification. During the rainy season, rain (1) falls, and rainwater flows in the upper plateaus (2) and down the façade (6). The flow (2) might be abundant enough to cause soil erosion and destruction of soil and the plant cover (13), thus causing desertification and destruction of any upper site management installations such as water channels, dams or cisterns. Waterpools (3) form thus allowing water to either percolate into the pores of the rock or through cracks (4). Water also rises from underground (8) by capillary rise. When the water flows into the rock it dissolves some of the cementing material and carries it to the surface. Upon evaporation the cementing material deposits as fine crystals that cause efflorescences or scaling (5) at the outer surface (salt deposits are clear in other figures). Water flowing (6) down the façades also dissolves the cementing material and thus weakens the rock. The weakened surface is exposed to wind (7) which causes honeycomb holes called alveolies in the surface. The sun (9) has a heating effect, but as the façade is usually formed of several sandstone layers of different composition, the temperature varies on the surface, thus creating stresses in the rock. The cooling and heating effects of the night-day cycle might also play a detrimental role especially if large minimum to maximum temperature differences occur. Within the rock pores cycles of evaporation, condensation and salt formation keep gnawing at the rock structure. During the cold season subzero temperatures inside the pores cause ice formation (10). Ice has a bigger volume than water, and the expansion process can break up the cementing material. Often the hillside into which the monument is carved, is formed by deposition (over millions of years) of several different layers of rock materials. The reaction of the various rock types to various stresses (such as temperature) is different, thus causing more harm. Often a mineral vein, which is a thin layer of material such as limonite (11) is formed and could present a weak region that may be very susceptible to weathering. Plants can grow in the crevices (12; 13). Certain plants have root secretions that dissolve the rock cement thus allowing for

Temperaturschwankungen) ist ganz unterschiedlich und verursacht dadurch größeren Schaden. Oft entsteht eine mineralische Ader, etwa eine dünne Limonitschicht (11), die sich als sehr anfällig für Verwitterung erweisen kann. Pflanzen können in den Spalten wachsen (12, 13). Bestimmte Pflanzen haben Wurzelabsonderungen, welche die Bindemittel des Gesteins auflösen und so ein tieferes Eindringen der Wurzeln erlauben. Auch menschliche Aktivitäten in den Räumen des Monuments können schädlich sein. Feuer (14) hinterläßt Rußablagerungen, was die Innenwände und Decken verschmutzt und schädliche Chemikalien und Bakterien enthalten könnte. Wenn Tiere (16) in den Räumen untergebracht sind, erhöhen ihre nitratreichen Exkremente (17) den gesamten Salzgehalt im Inneren des Felsens. Die Überweidung (18), insbesondere durch Ziegen auf dem oberen Plateau, führt zum zunehmenden Rückgang des Bodenbewuchses, wodurch stärkere Erosion zu erwarten ist. Die allgemeinen Umweltbedingungen im Inneren der Räume können zur Steigerung biologischer Aktivität beitragen (19). Flechten, Algen und Mikroben können auf den Felsoberflächen wachsen und Schäden unterschiedlicher Art verursachen. Anfangs geht dieser Prozeß langsam vor sich. Doch die Schwächung der Felsstruktur steigt mit der Zeit exponential an, bis ein plötzliches Erdbeben oder eine schwere Überschwemmung in Sekunden oder Minuten Schäden verursachen können, die gravierender sind als die oben erwähnten Faktoren im Verlauf von Jahrzehnten oder Jahrhunderten.

deeper root penetration. Human activities inside the chambers of the monument can be harmful. Fires (14) cause soot deposits that stain the inner walls and ceilings and may harbour harmful chemicals and bacteria. Whenever, animals (16) cohabit inside the chambers, their excrements create problems(17), because of the increasing overall salt content inside the rock. Animals (18), especially goats overgraze in the upper plateau thus enhancing the loss of the plant cover which fixes the soil, and hence more erosion is expected. The general environmental conditions inside the chamber might enhance biological activity (19). Lichens, algae and microbes can all grow on the rock surfaces and cause a varying extent of damage. The process of damage is slow in the beginning. However, the weakening of the rock fabric grows exponentially in time until a sudden earthquake or serious flashflood can cause in a few seconds or minutes damage that is worse than the above factors during decades or centuries.

Abb. 3. Palastgrab, Portalzone / Fig. 3. Palace Tomb, portals



man von einem Schwarzweiß-Film ohne Filter. Der Computer kann ein Farbbild aus jeder Kombination von drei Schichten erzeugen, die alle einen vollkommen unterschiedlichen Informationsgehalt besitzen können. Trennungs- (Klassifikations-) und Kantendetektionstechniken (Edge Detection Technique) können bei jeder Schichtkombination angewandt werden, um den Informationsgehalt noch weiter zu verstärken.

Drittens ist in den modernen Softwarepaketen eine ganze Batterie von verfeinerten Klassifizierungs- und Filtertechniken verfügbar. Ihre Anwendung kann zu wichtigen Ergebnissen führen. Das bisher erfolgreichste war die Identifizierung von Limonit-Adern (Brauneisenerz) in einer Fassade mittels Hauptkomponentenanalyse (Principal Component Analysis) oder Decorrolation-Stretching. Da solche Adern eine plötzliche Veränderung der strukturellen Eigenschaften des Felsgesteins bedeuten, ist ihre Identifizierung ein wichtiges Ergebnis, besonders wenn der Limonit auch für einen aufmerksamen Beobachter nicht sofort erkennbar ist (Farbtafel XXIV).

Danksagung

Das Dokumentationszentrum wurde in großzügiger Weise von der japanischen Regierung durch JICA und JOCV, der Regierung der Bundesrepublik Deutschland durch das „Petra Stone Preservation Projekt“ sowie der französischen Regierung durch ihre Botschaft in Amman mit Ausrüstung und Satellitenbildern versorgt sowie finanziell und durch sachverständigem Rat unterstützt. Der Autor ist auch dem Higher Council for Science and Technology wegen der finanziellen Unterstützung zutiefst verpflichtet. Außerordentlich geschätzt wurde der Beistand von Mr. Kiminori Taguchi von JOCV. Dank sei auch Dr. Douglas Comer vom US National Park Service für die fortgesetzte gute Zusammenarbeit.

Übersetzung aus dem Englischen ins Deutsche von Ingrid Hacker-Klier

Abbildungsnachweis

TALAL AKASHEH, AMMAN: *Abb. 1, 2*
MICHAEL KÜHLENTHAL, MÜNCHEN: *Abb. 3*

this is an important result, especially if the limonite is not immediately obvious to a careful observer (colour plate XXIV).

Acknowledgements

The Documentation Center has been generously supported with equipment, satellite photographs and expertise by 1) The Japanese government through JICA, and JOCV; 2) The German government through the Petra Stone Preservation Project (GTZ); 3) The French government through its embassy in Amman. The author is deeply indebted to them and to the Higher Council for Science and Technology for financial support. The assistance of Mr. Kiminori Taguchi from JOCV is greatly appreciated. The author also cherishes the continuing co-operation with Dr. Douglas Comer from the US National Park Service.

Photo Credits

TALAL AKASHEH, AMMAN: *Figs. 1, 2*
MICHAEL KÜHLENTHAL, MUNICH: *Fig. 3*

Autoren / Authors

Prof. Dr. Talal Akasheh, The Hashemite University, Deanship of Scientific Research and Graduate Studies, P.O. Box 38, Amman, Jordanien

Zaki Aslan, Department of Antiquities, P.O. Box 88, Amman, Jordanien

Dr. Helge Fischer, Project Director (GTZ), Petra Stone Preservation Project, P.O. Box 92 62 38, Amman 11180, Jordanien

Egon Kaiser, Wiesenweg 3, Stierhofstetten, 91483 Oberscheinfeld

Dr. Michael Kühenthal, Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, Hofgraben 4, 80539 München

Prof. Dr. Ziad al-Saad, Yarmouk University, Institute of Archaeology and Anthropology, Irbid, Jordanien

May Shaer, Petra Stone Preservation Project, P.O. Box 92 62 38, Amman 11180, Jordanien

Prof. Dr. Rolf Snethlage, Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, Hofgraben 4, 80539 München

Dr. Thomas Urban, Denkmaldokumentation und Archäologie, Am Wacholderbusch 1–3, 16547 Birkenwerder

Dr. Fawzi Zayadine, Department of Antiquities, P.O. Box 88, Amman, Jordanien

Abbildungsnachweis der Farbtafeln / Photo Credits of the Colour Plates

TALAL AKASHEH, AMMAN: Farbtafel / Colour plate XVIII–XXV

HELGE FISCHER, AMMAN: Farbtafel / Colour plate XVII. 1

EGON KAISER, OBERSCHEINFELD: Farbtafel / Colour plate VI. 2, 5; XIV. 1–5; XVI. 1–4

MICHAEL KÜHENTHAL, MÜNCHEN: Farbtafel / Colour plate I; III; IV. 1–5; V; VI. 1, 3, 4; VIII. 2–5; IX. 1–4, 6; X. 1, 2; XI. 1–6; XIV. 6; XV; XVI. 5; XVII. 2, 3

MAY SHAER, AMMAN: Farbtafel / Colour plate VII; VIII. 1; IX. 5; XII; XIII

JANE TAYLOR, AMMAN: Farbtafel / Colour plate II

Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege

1. Inventarisierung, Dokumentation und Pflege von Museumsgut, 1978 (vergriffen)

2. Die Lindenharter Tafelbilder von Matthias Grünewald, 1978 (vergriffen)

3. Vom Glaspalast zum Gaskessel – Münchens Weg ins technische Zeitalter, 1978

4. Steinkonservierung, 1979 (vergriffen)

5. Torsten Gebhard, Denkmalpflege und Museum, 1979 (vergriffen)

6. Konservierung, Restaurierung, Renovierung – Grundsätze, Durchführung, Dokumentation, 1979 (vergriffen)

7. Bauen in München 1890–1950. Eine Vortragsreihe in der Bayerischen Akademie der Schönen Künste, 1980 (vergriffen)

8. Dieter Klein, Martin Dülfer – Wegbereiter der deutschen Jugendstilarchitektur, 1981, 2. erw. Aufl. 1993

9. Denkmalinventarisierung in Bayern. Anfänge und Perspektiven, 1981 (vergriffen)

10. Heinrich Habel, Das Bayerische Armeemuseum in München, 1982

11. Der Schwabacher Hochaltar, 1982

12. Michael Kühenthal/Martin Zunhamer, Der Passauer Dom und die Deckengemälde Carporofo Tencallas, 1982 (vergriffen)

13. Dagmar Dietrich, Der Kirchenbau und seine Ausstattung, 1982, 2. Aufl. 1983

14. Das Kurhaustheater in Augsburg-Göggingen, 1982

15. Paul Werner, Der Zwiefhof des Berchtesgadener Landes, 1983

16. Der Englische Gruß des Veit Stoß zu St. Lorenz in Nürnberg, 1983

17. Schätze aus Bayerns Erde, 1983

18. Denkmalpflege in Bayern, 75 Jahre Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, 1983 (vergriffen)

19. Hans Maier, Denkmalpflege in Bayern – eine Bilanz 1972–1982/Vierter Mehrjahresplan 1983–1985, 1983 (vergriffen)

20. Michael Kühenthal, Irsee. Geschichte und Instandsetzung des ehem. Benediktiner-Reichsstifts, 1984 (vergriffen)

21. Farbige Architektur – Regensburger Häuser. Bauforschung und Dokumentation, 1984

22. Rolf Snethlage, Steinkonservierung. Forschungsprogramm des Zentrallabors für Denkmalpflege 1979–1983, 1984

23. Das Südportal des Augsburger Domes – Geschichte und Konservierung, 1984

24. Handwerk und Denkmalpflege, 1984 (vergriffen)

25. Rolf Snethlage/Wolf-Dieter Grimm, Adneter Rotmarmor. Vorkommen und Konservierung, 1984

26. Archäologische Denkmalpflege in Niederbayern – 10 Jahre Außenstelle des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege in Landshut (1973–1983), 1985

27. Die Römer in Schwaben I: Katalog der Jubiläumsausstellung 2000 Jahre Augsburg, 1985 (vergriffen)

28. Die Römer in Schwaben II: Ausstellungsdokumentation der Jubiläumsausstellung 2000 Jahre Augsburg, 1986 (vergriffen)

29. Manfred Schuller, Die Kaskade von Seehof – Bauforschung und Dokumentation, 1986 (vergriffen)

30. Lusus Campanularum. Beiträge zur Glockenkunde, 1986

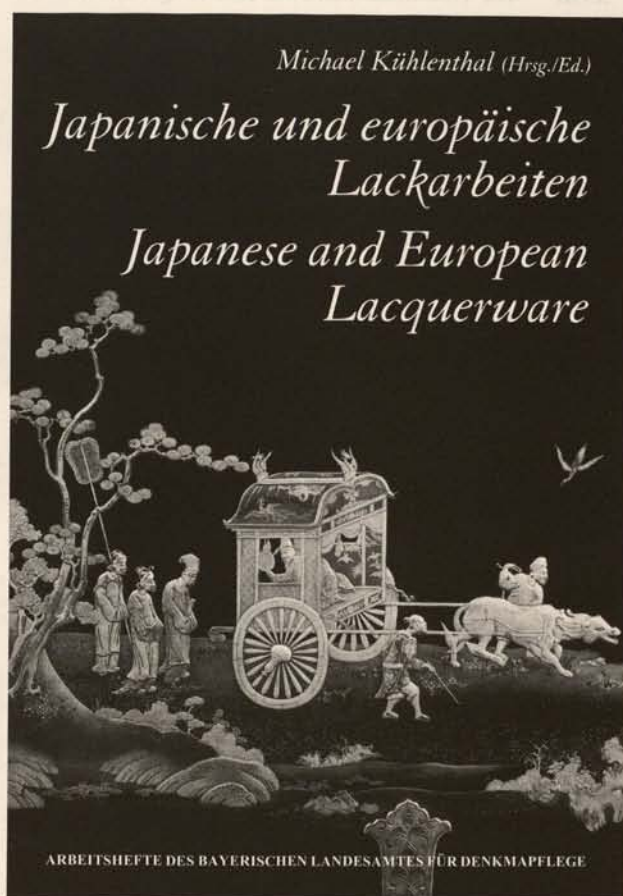
31. Natursteinkonservierung. Internationales Kolloquium in München am 21./22. Mai 1984, 1985

32. Glaskonservierung, 1985 (vergriffen)

33. Textile Grabfunde aus der Sepultur des Bamberger Domkapitels, 1987 (vergriffen)

34. Umweltbedingte Gebäudeschäden. Eine Bestandsaufnahme der Forschungstätigkeit in der Bundesrepublik Deutschland, 1986 (vergr.)

35. Hans Graßl, Monumente bayerischer Geschichte. Sieben Denkmäler von europäischem Rang, 1987
36. Silvia Codreanu-Windauer, Der romanische Schmuckfußboden in der Klosterkirche Benediktbeuern, 1988 (vergriffen)
37. Bernd-Peter Schaul, Das Prinzregententheater und die Reform des Theaterbaus um 1900. Max Littmann als Theaterarchitekt, 1987
38. Denkmalinventarisierung. Denkmalerfassung als Grundlage des Denkmalschutzes, 1989 (vergriffen)
39. Harald Gieß, Fensterarchitektur und Fensterkonstruktion in Bayern vom ausgehenden 18. Jahrhundert bis zum Ersten Weltkrieg, 1990 (vergriffen)
40. Fritz Buchenrieder, Gefaßte Bildwerke, 1990 (vergriffen)
41. Denkmäler am Münchner Hofgarten. Forschung und Berichte zu Planungsgeschichte und historischem Baubestand, 1988
42. Die Bamberger „Himmelfahrt Mariä“ von J. Tintoretto, 1988 (vergriffen)
43. Denkmäler jüdischer Kultur in Bayern, 1994
44. Wolf Schmidt, Das Raumbuch als Instrument denkmalpflegerischer Bestandsaufnahme und Sanierungsplanung, 1989 u. 1993 (vergriffen)
45. Konservierung und Restaurierung von verputzten Mauerflächen, 1990 (vergriffen)
46. Denkmalpflege und Kirche. Jahrestagung 1989 der Vereinigung der Landesdenkmalpfleger in der Bundesrepublik Deutschland, 1991
47. Paul Werner, Der Hof des Salzburger Flachgaus, 1992
48. Das Panorama in Altötting, 1990 (vergriffen)
49. Die Restaurierung der Wallfahrtskirche Vierzehnheiligen, 1990, 2 Bde.
50. Wolf-Dieter Grimm, Bildatlas wichtiger Denkmalgesteine der Bundesrepublik Deutschland, 1990 (vergriffen)
51. Detta und Michael Petzet, Die Hundinghütte König Ludwigs II., 1990
52. Die Barockorgel der Maihinger Klosterkirche, 1991 (vergriffen)
53. Wolf Schmidt, Das Tempplerhaus in Amorbach, 1991 (vergriffen)
54. Beiträge zur Heimatforschung. Wilhelm Neu zum 70. Geburtstag, 1991
55. Die Wies. Geschichte und Restaurierung/History and Restoration, 1992
56. Beiträge zur Denkmalkunde. Tilmann Breuer zum 60. Geburtstag, 1991
57. Industrie Museum Lauf. Spuren der Industriekultur im Landkreis Nürnberger Land, 1992
58. Forschungen zur Geschichte der Keramik in Schwaben, 1993
59. Helmut Becker, Archäologische Prospektion. Luftbildarchäologie und Geophysik, 1996
60. Michael Petzet, Denkmalpflege heute. Zwanzig Vorträge zu grundsätzlichen Fragen der Denkmalpflege 1974–1992, 1993
61. Hans Zehetmair, Denkmalschutz in Bayern. Zur Verleihung der Bayerischen Denkmalschutzmedaille 1991, 1993
62. Die Deckengemälde der Lindauer Stiftskirche. Rekonstruktion und Restaurierung, 1993
63. Heinrich Habel, Der Marstallplatz in München, 1993
64. Leonie von Wilckens, Der Paramentenschatz der Landsberger Jesuitenkirche Heiligkreuz, 1994
65. Klosterlangheim, 1994
66. Das Buxheimer Chorgestühl, 1994 (vergriffen)
67. Der heilige Alexius im Augsburger Maximilianmuseum, 1994
68. Jagdschlösser Balthasar Neumanns in den Schönbornlanden, 1994
69. Wilfried Lipp/Michael Petzet (Hrsg.), Vom modernen zum post-modernen Denkmalkultus, 1994
70. Michael Petzet/Wolf Koenigs (Hrsg.), Sana`a. Die Restaurierung der Samsarat al-Mansurah/The Restoration of the Samsarat al-Mansurah, 1995
71. Die Restaurierung von Schloß Oberschwappach, 1996
72. Die Restaurierung der Basilika St. Lorenz in Kempten, 1994
73. Holzschutz, Holzfestigung, Holzergänzung, 1995
74. Gerhard Ongyerth, Kulturlandschaft Würmtal, 1995
75. Holzschädlingsbekämpfung durch Begasung/Fumigation as a Means of Wood Pest Control, 1995
76. Brigitte Huber, Denkmalpflege zwischen Kunst und Wissenschaft, 1996
77. Karlheinz Hemmeter, Bayerische Baudenkmäler im 2. Weltkrieg, 1995 (vergriffen)
78. Salzsäuren an Wandmalereien, 1996
79. Putzsicherung. Sicherung von Malereien auf gemauerten und hölzernen Putzträgern, 1996 (vergriffen)
80. Rolf Snethlage, Natursteinkonservierung in der Denkmalpflege (Verlag Ernst & Sohn GmbH, Berlin, ISBN 3-433-01248-2), 1996 (vergr.)
81. Katharina Walch/Johann Koller, Lacke des Barock und Rokoko/Baroque and Rococo Lacquers, 1997 (vergriffen)
82. Der Große Buddha von Dafosi/The Great Buddha of Dafosi, 1996
83. Die Terrakottaarmee des Ersten Chinesischen Kaisers Qin Shihuang (in Bearbeitung)
84. Das Antonierhaus in Memmingen, 1996
85. Das Heilige Kreuz von Polling. Geschichte und Restaurierung, 1996
86. König Max I. Joseph. Modell und Monument, 1996
87. Michael Petzet, Die Alte Münze in München, 1996
88. St. Lukas in München, 1996
89. Erwin Emmerling/Cornelia Ringer (Hrsg.), Das Aschaffener Tafelbild. Studien zur Tafelmalerei des 13. Jahrhunderts, 1997
90. Susanne Fischer, Die Münchner Schule der Glasmalerei, 1997
91. Gabriele Wimböck, Der Ingolstädter Münsteraltar, 1998
92. Hinterer Bach 3. Bauforschung in Bamberg, 1998
93. Thomas Gunzelmann/Manfred Mosel/Gerhard Ongyerth, Denkmalpflege und Dorferneuerung. Der denkmalpflegerische Erhebungsbogen zur Dorferneuerung, 1999
94. Martin Mach (Hrsg.), Metallrestaurierung/Metal Restoration, 1998
95. Die Schatzkammer von St. Andreas in Weißenburg, 2000
96. Michael Kühenthal (Hrsg./Ed.), Japanische und europäische Lackarbeiten/Japanese and European Lacquerware, 2000
97. Produkt Denkmal. Denkmalpflege als Wirtschaftsfaktor, 1998
98. Peter Mottner/Martin Mach (Hrsg.), Zinkguß. Die Konservierung von Denkmälern aus Zink, 1999
99. Nikolaus Lang. Spurensicherung, 1999
100. Monumental. Festschrift für Michael Petzet, 1998 (vergriffen)
101. Gerhard Klotz-Warislohner/Martin Saar, Reparatur in der Bau- und Denkmalpflege. Das Bayerische Bauarchiv Thierhaupten, 1999
102. Thomas Gunzelmann/Angelika Kühn/Christiane Reichert, Kulmbach. Das städtebauliche Erbe, 1999
103. Die Gartenkunst des Barock, 1999
104. Konservierung von Wandmalerei (Arbeitstitel)
105. Michael Kühenthal/Helge Fischer, Petra. Die Restaurierung der Grabfassaden/The Restoration of the Rockcut Tomb Façades, 2000
106. Das Portal der Hl.-Geist-Kirche in Landshut (Arbeitstitel)
107. Heike Fastje/Harald Gieß/Helmut-Eberhard Paulus/Karl Schnieringer, Vom Handelshaus zur Schnupftabakfabrik. Dokumente zur Geschichte zweier Regensburger Patrizierhäuser, 1999
108. Jörg W. E. Fassbinder/Walter E. Irlinger (Hrsg.), Archaeological Prospection. Third International Conference on Archaeological Prospection, 1999
109. Wandmalerei in Mittelfranken (Arbeitstitel)
110. Michael Petzet, z. A. Presse GK. 25 Jahre Denkmalpflege in Bayern im Spiegel der Presse, 2000



Michael Kühenthal (Hrsg./Ed.): Japanische und europäische Lackarbeiten. Rezeption, Adaption, Restaurierung / Japanese and European Lacquerware. Adoption, Adaptation, Conservation, Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, Bd. 96, München 2000 (Karl M. Lipp Verlag München, Meglingerstr. 60, 81477 München, Fax 089/785808-33, E-Mail info@lipp.de; ISBN 3-87490-703-1, 604 S., 438 SW-Abb., 22 Farbtafeln; DM 136,00; erhältlich im Buchhandel)

Die umfangreiche Publikation präsentiert neue Erkenntnisse der Lackforschung und der Restaurierung japanischer und europäischer Lackarbeiten. Dabei steht insbesondere die Bedeutung der japanischen Exportlacke – eine Synthese von japanischem und europäischem Kulturgut – im Vordergrund, mit der sich die japanische Forschung bisher nur marginal beschäftigte. Diese Lackarbeiten wurden in darauf spezialisierten Werkstätten produziert und unterscheiden sich sowohl durch ihre Herstellungstechnik als auch durch ihr eigenes ikonographisches Formengut von denen, die für den Binnenmarkt gearbeitet wurden.

Wie bereits die Publikation „Lacke des Barock und Rokoko/ Baroque and Rococo Lacquers“ (Arbeitshefte, Bd. 81, 1997) basiert das vorliegende Buch ebenfalls auf dem zwischen 1993 und 1999 durchgeführten, durch das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie geförderten deutsch-japanischen Forschungsprojekt zur Untersuchung und Restaurierung historischer Lacke. Es enthält Beiträge, die das Thema Exportlacke aus kunsthistorischer, quellenkundlicher, restauratorischer und naturwissenschaftlicher Sicht beleuchten. Besonders neue Methoden zur Unterscheidung und Bestimmung von Urushi werden vorgestellt. Darüber hinaus steht vor allem die Rezeption japanischer Lackarbeiten in Europa und

Deutschland im Vordergrund, die u. a. anhand von Lackarbeiten aus den Werkstätten der Gebrüder Dagly in Berlin und Martin Schnells in Dresden exemplarisch verdeutlicht wird.

Neben Kunsthistorikern verschiedener Museen in Deutschland und Japan wie auch der Schlösserverwaltungen in Bayern, Sachsen und Baden-Württemberg sind Naturwissenschaftler des Doerner-Instituts in München, des Tokyo National Research Institute of Cultural Properties und anderer wissenschaftlicher Institutionen sowie Restauratoren des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, des Tokyo National Research Institute of Cultural Properties und freischaffende Restauratoren in Deutschland und Japan mit zahlreichen Beiträgen vertreten.

Peter Mottner/Martin Mach (Hrsg.), Zinkguß. Die Konservierung von Denkmälern aus Zink, Gemeinschaftsprojekt des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege und der Stiftung Preußische Schlösser und Gärten Berlin-Brandenburg, Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, Bd. 98, München 1999 (Karl M. Lipp Verlag, München, Fax 089/78 58 08-33, E-Mail: info@lipp.de; ISBN 3-87490-695-7, 192 S., 168 SW-Abb., 25 Farbtafeln, zahlreiche Skizzen und Tabellen, DM 45,00; erhältlich im Buchhandel)

Zink wurde als preisgünstiger Werkstoff zu Beginn des 19. Jahrhunderts entdeckt. Er war leichter und präziser als Bronze zu gießen, konnte jedoch einfach mit Bronze oder anderen Materialien wie Marmor, Sandstein und Farben beschichtet werden. Durch diese so zu erzielende täuschende Ähnlichkeit konnte Zink andere Werkstoffe ersetzen. Zink wurde für den Kunstguß ebenso verwandt wie für Bauornamente und nichttragende Architektur und fand hauptsächlich in Berlin und in München für die Ausstattung von Gärten und Schlössern Verwendung. Seine zunächst unbekannte Korrosionsanfälligkeit ließ das Metall Ende des 19. Jahrhunderts in Vergessenheit geraten. Es fand erst in unseren Tagen eine Neubewertung: Vor kurzem wurden die notwendigen Restaurierungen als Gemeinschaftsprojekt von München und Potsdam in Angriff genommen. Sie zeigen den Modellfall einer interdisziplinären Kooperation von Naturwissenschaftlern, Restauratoren und Denkmalpflegern, die sich in diesem Arbeitsheft widerspiegelt.

Jörg W. E. Faßbinder, Walter E. Irlinger (Eds.), Archaeological Prospection. Third International Conference on Archaeological Prospection, organized by the Bavarian State Conservation Office and the European Geophysical Society EGS in Cooperation with ICOMOS Germany, Munich 9.-11. September 1999, Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, Bd. 108, München 1999 (Karl M. Lipp Verlag, München, Fax 089/78 58 08-33, E-Mail: info@lipp.de; ISBN 3-87490-699-X, 188 S., 204 SW-Abb., 20 Farbb., DM 42,00; erhältlich im Buchhandel)

Der reich bebilderte Band bietet eine Zusammenfassung aller Vorträge und Poster, die auf der Fachtagung zur archäologischen Prospektion in München 1999 vorgestellt wurden. Mehr als 90 Beiträge in- und ausländischer Fachleute behandeln die neuesten technischen Entwicklungen und Auswertmöglichkeiten der verschiedenen Prospektionsmethoden. Breiten Rahmen nehmen dabei Untersuchungen ein, bei denen die Ergebnisse nicht nur durch den Einsatz einer Methode, sondern durch die kombinierte Auswertung erzielt werden.

ICOMOS · HEFTE DES DEUTSCHEN NATIONALKOMITEES

- I. **ICOMOS PRO ROMANIA**
Exposition/Exhibition/Ausstellung Paris, London, München, Budapest, Kopenhagen, Stockholm 1989/1990, München 1989. ISBN 3-87490-620-5
- II. **GUTSANLAGEN DES 16. BIS 19. JAHRHUNDERTS IM OSTSEERAUM – GESCHICHTE UND GEGENWART**
Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS in der Akademie Sandelmark, 11.-14.9.1989, München 1990. ISBN 3-87490-310-9
- III. **WELTKULTURDENKMÄLER IN DEUTSCHLAND**
Deutsche Denkmäler in der Liste des Kultur- und Naturerbes der Welt, eine Ausstellung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS in Zusammenarbeit mit der Dresdner Bank, München 1991. 2. erweiterte Auflage von 1994. ISBN 3-87490-311-7
- IV. **EISENBAHN UND DENKMALPFLEGE I**
Erstes Symposium. Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS, Frankfurt am Main. 2.-4.4.1990, München 1992. ISBN 3-87490-619-1
- V. **DIE WIES**
Geschichte und Restaurierung/History and Restoration, München 1992. ISBN 3-87490-618-3
- VI. **MODELL BRANDENBURG**
Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS und der GWS – Gesellschaft für Stadterneuerung mbH Berlin/Brandenburg zum Thema Stadterneuerung und Denkmalschutz in den fünf neuen Bundesländern, München 1992. ISBN 3-87490-624-8
- VII. **FERTŐRÁKOS**
Denkmalpflegerische Überlegungen zur Instandsetzung eines ungarischen Dorfes/Müemlékvédelmi megfontolások egy magyar falu megújításához, hrsg. vom Deutschen Nationalkomitee von ICOMOS mit der Arbeitsgemeinschaft Alpen-Adria, München 1992. ISBN 3-87490-616-7
- VIII. **REVERSIBILITÄT – DAS FEIGENBLATT IN DER DENKMALPFLEGE?**
Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS und des Sonderforschungsbereichs 315 der Universität Karlsruhe, 24.-26.10.1991, München 1992. ISBN 3-87490-617-5
- IX. **EISENBAHN UND DENKMALPFLEGE II**
Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS, Frankfurt am Main, 2.-4.4.1992, München 1993. ISBN 3-87490-614-0
- X. **GRUNDSÄTZE DER DENKMALPFLEGE / PRINCIPLES OF MONUMENT CONSERVATION / PRINCIPES DE LA CONSERVATION DES MONUMENTS HISTORIQUES**
München 1992. ISBN 3-87490-615-9 (vergriffen)
- XI. **HISTORISCHE KULTURLANDSCHAFTEN**
Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS mit dem Europarat und dem Landschaftsverband Rheinland, Abtei Brauweiler, 10.-17.5.1992, München 1993. ISBN 3-87490-612-4
- XII. **ARCHITEKTEN UND DENKMALPFLEGE**
Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS, des Instituts für Auslandsbeziehungen in Zusammenarbeit mit der Deutschen UNESCO-Kommission und der Architektenkammer Baden-Württemberg, 18.-20.6.1992, München 1993. ISBN 3-87490-613-2
- XIII. **BILDERSTURM IN OSTEUROPA**
Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS, des Instituts für Auslandsbeziehungen und der Senatsverwaltung Berlin, 18.-20.2.1993, München 1994. ISBN 3-87490-611-6
- XIV. **Christoph Machat (Hrsg.), DENKMÄLER IN RUMÄNIEN / MONUMENTS EN ROUMANIE**
Vorschläge des Rumänischen Nationalkomitees von ICOMOS zur Ergänzung der Liste des Weltkulturerbes / Propositions du Comité National Roumain de l'ICOMOS pour la Liste du Patrimoine Mondial, München 1995. ISBN 3-87490-627-2
- XV. **Michael Petzet und Wolf Koenigs (Hrsg.), SANA'A**
Die Restaurierung der Samsarat al-Mansurah/The Restoration of the Samsarat al-Mansurah, München 1995. ISBN 3-87490-626-4
- XVI. **DAS SCHLOSS UND SEINE AUSSTATTUNG ALS DENKMALPFLEGERISCHE AUFGABE**
Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS und des Facharbeitskreises Schlösser und Gärten in Deutschland, 5.-8.10.1994, München 1995. ISBN 3-87490-628-0
- XVII. **DER GROSSE BUDDHA VON DAFOSI / THE GREAT BUDDHA OF DAFOSI**
München 1996. ISBN 3-87490-610-8
- XVIII. **DIE TONFIGURENARMEE DES KAISERS QIN SHIHUANGDI**
(in Bearbeitung)
- XIX. **Matthias Exner (Hrsg.), STUCK DES FRÜHEN UND HOHEN MITTELALTERS**
Geschichte, Technologie, Konservierung
Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS und des Dom- und Diözesanmuseums Hildesheim, 15.-18.6.1995, München 1996. ISBN 3-87490-660-4
- XX. **STALINISTISCHE ARCHITEKTUR UNTER DENKMALSCHUTZ?**
Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS und der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz in Berlin, 6.-9.9.1995, München 1996. ISBN 3-87490-609-4
- XXI. **DAS DENKMAL ALS ALTLAST?**
Auf dem Weg in die Reparaturgesellschaft. Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS und des Lehrstuhls für Denkmalpflege und Bauforschung der Universität Dortmund, 11.-13.10.1995, München 1996. ISBN 3-87490-629-9
- XXII. **DIE BISCHOFSBURG ZU PÉCS. ARCHÄOLOGIE UND BAUFORSCHUNG**
Eine Publikation des Deutschen und des Ungarischen Nationalkomitees von ICOMOS mit dem Ungarischen Denkmalamt, Budapest 1999 (in Bearbeitung).
- XXIII. **Matthias Exner (Hrsg.), WANDMALEREI DES FRÜHEN MITTELALTERS. BESTAND, MALTECHNIK, KONSERVIERUNG**
Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS mit der Verwaltung der Staatlichen Schlösser und Gärten in Hessen, Lorsch, 10.-12.10.1996, München 1998. ISBN 3-87490-663-9
- XXIV. **KONSERVIERUNG DER MODERNE?**
Über den Umgang mit den Zeugnissen der Architekturgeschichte des 20. Jahrhunderts. Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS mit der 'denkmal '96, der Europäischen Messe für Denkmalpflege und Stadterneuerung, Leipzig, 31.10.-2.11.1996, München 1998. ISBN 3-87490-662-0
- XXV. **DOM ZU BRANDENBURG**
Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS und des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege, mit Unterstützung des Domstifts Brandenburg und des Fördervereins 'Dom zu Brandenburg, Brandenburg, 2.-3.12.1996, München 1998. ISBN 3-87490-661-2
- XXVI. **LEGAL STRUCTURES OF PRIVATE SPONSORSHIP**
International Seminar organized by the German National Committee of ICOMOS with the University of Katowice, Weimar, 17th-19th of April, München 1997. ISBN 3-87490-664-7
- XXVII. **EISENBAHN UND DENKMALPFLEGE III**
Drittes internationales Eisenbahnsymposium des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS, Frankfurt am Main, 14.-16.4.1997, München 1998. ISBN 3-87490-667-3
- XXVIII. **DIE GARTENKUNST DES BAROCK**
Eine internationale Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS in Zusammenarbeit mit dem Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege und dem Arbeitskreis Historische Gärten der Deutschen Gesellschaft für Gartenkunst und Landschaftskultur e.V., Schloß Seehof bei Bamberg, 23.-26.9.1997, München 1998. ISBN 3-87490-666-3
- XXIX. **Martin Mach (Hrsg.), METALLRESTAURIERUNG / METAL RESTORATION**
Internationale Tagung zur Metallrestaurierung, veranstaltet vom Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege und vom Deutschen Nationalkomitee von ICOMOS, München, 23.-25.10.1997, München 1998. ISBN 3-87490-665-5
- XXX. **Michael Petzet, PRINCIPLES OF CONSERVATION / PRINCIPES DE LA CONSERVATION DES MONUMENTS HISTORIQUES**
München 1999. ISBN 3-87490-668-X
- XXXI. **OPERNBAUTEN DES BAROCK**
München 1999. ISBN 3-87490-669-8
- XXXII. **DAS KONZEPT „REPARATUR“. IDEAL UND WIRKLICHKEIT**
München 2000. ISBN 3-87490-671-X
- XXXIII. **THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE ON ARCHAEOLOGICAL PROSPECTION**
München 1999. ISBN 3-87490-670-1
- XXXIV. **Michael Kühenthal/Helge Fischer, PETRA. DIE RESTAURIERUNG DER GRABFASADEN / THE RESTORATION OF THE ROCKCLUT TOMB FAÇADES**
München 2000. ISBN 3-87490-672-8

