

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 Curser 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.

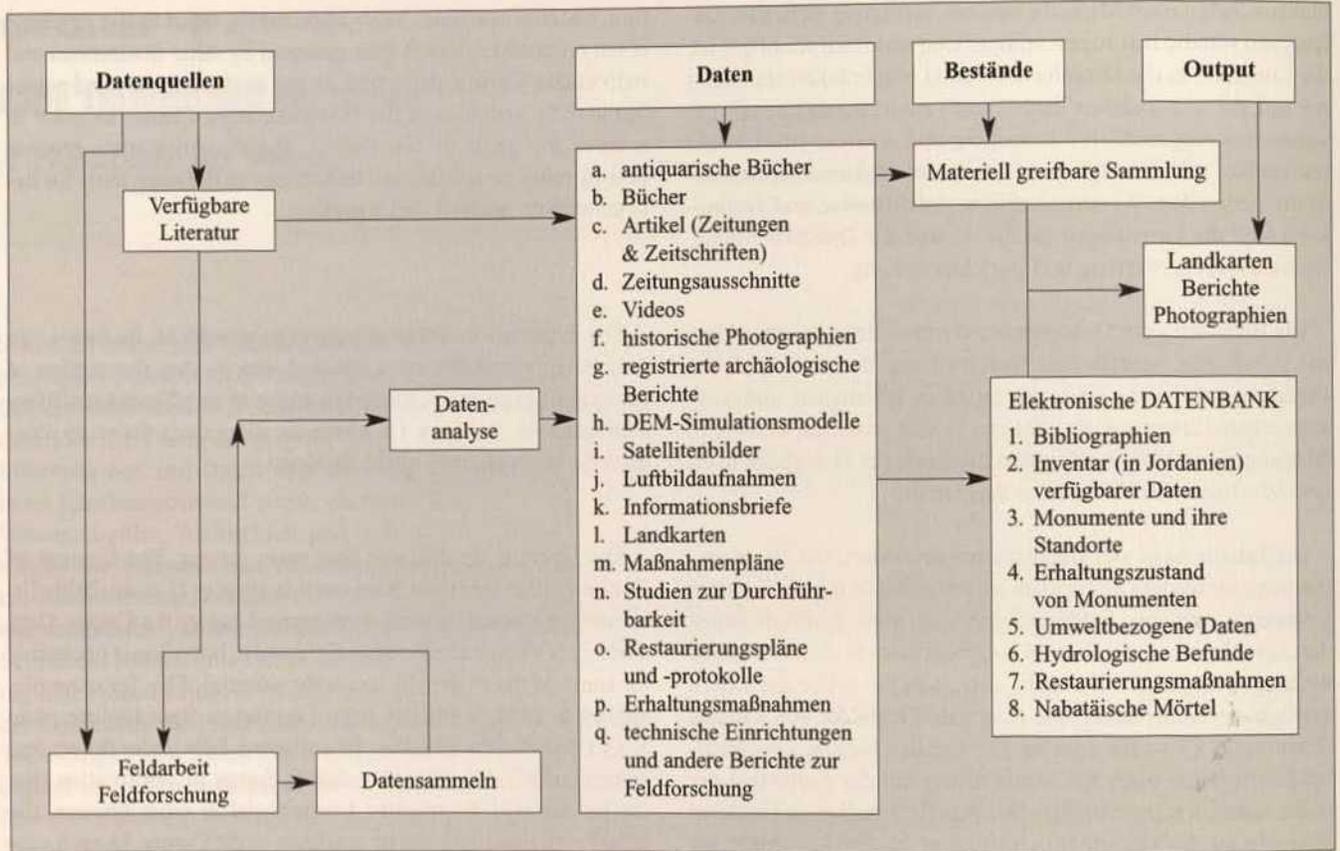
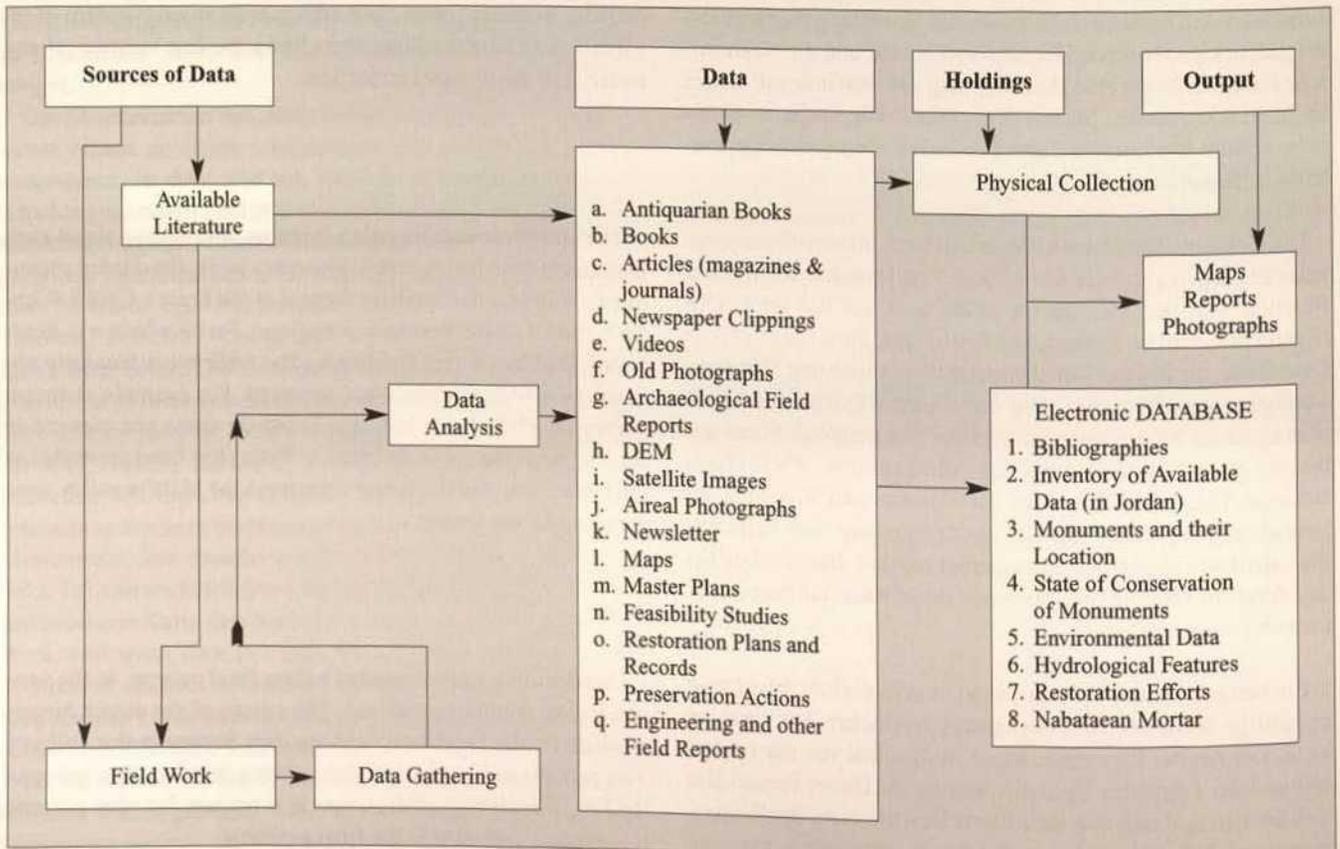


Abb. 1. Schematische Darstellung der Datenbank

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 luscious 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 ausgehenden 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,

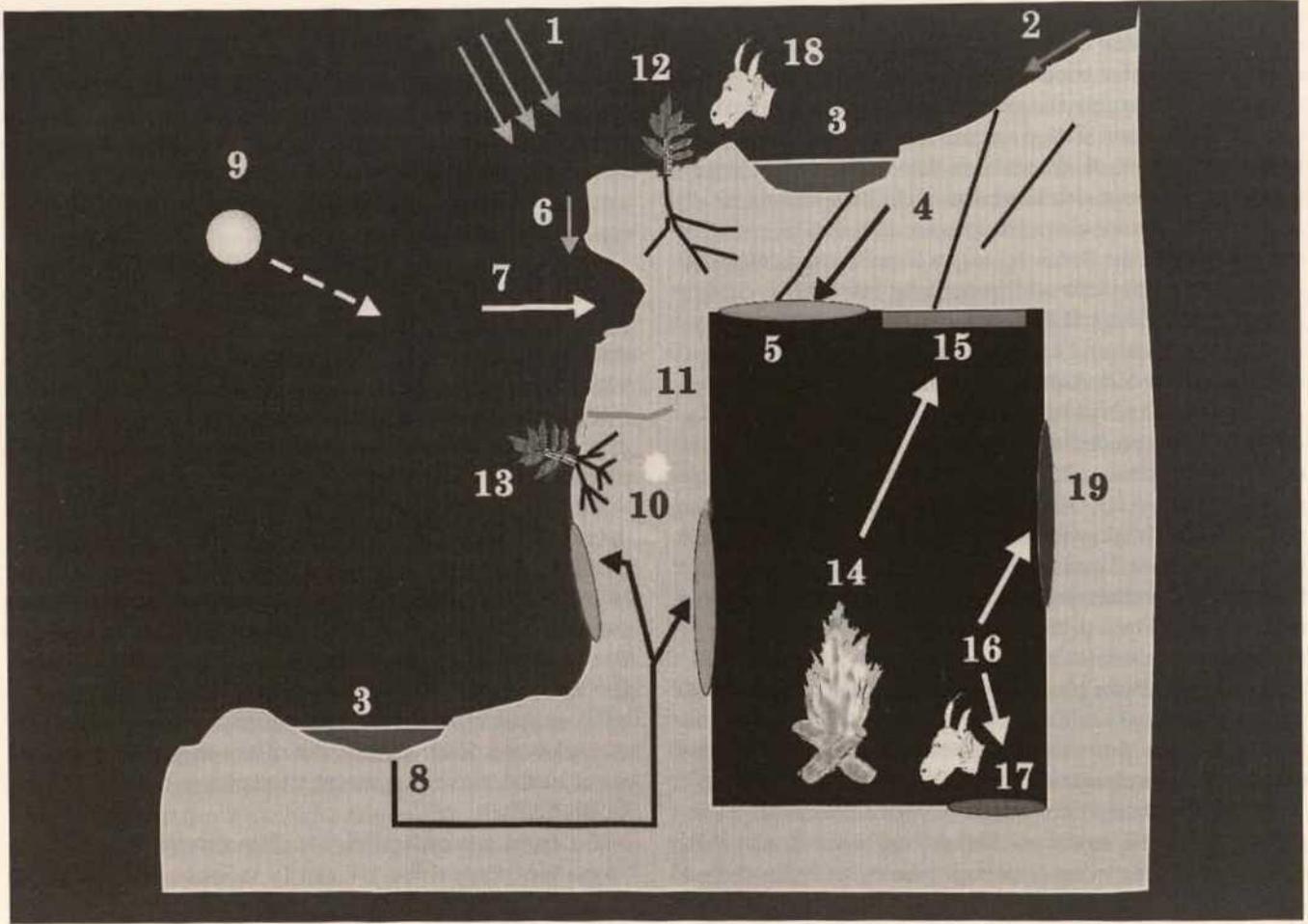


Abb. 2.
Die Ursachen von Verwitterung sind zahlreich und komplex. Verschiedene Faktoren wirken gemeinsam auf die Monumente ein und schädigen mit der Zeit die feste Struktur des Felsgesteins. Die Abbildung zeigt die Schnittzeichnung eines typischen in den Stein gemeißelten Monuments. Der Fassadeneingang 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 plateaux (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 alveoles 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 knawing 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 Decorrelation-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*