

Die Erhaltung von Steindenkmälern in Copán, Honduras

JOSEF RIEDERER, Rathgen-Forschungslabor, Berlin

Zusammenfassung

Die Bauwerke und Skulpturen der Tempelanlage der Mayakultur in Copán im Westen von Honduras zeigen starke Schäden infolge der Verwitterung der dort verwendeten Bausteine. Die Andesite, aus denen die Bauwerke und Skulpturen bestehen, zeigen verschiedenartige Schadensphänomene, vor allem ein Absanden der Oberfläche, ein Abplatzen von Schalen, löderige Auswaschungen und einen intensiven Befall durch Mikroorganismen. Ursache der Schäden ist die Wirkung der Niederschlagsfeuchtigkeit und der aufsteigenden Bodenfeuchtigkeit, die sowohl chemische als auch mechanische Veränderungen hervorrufen. Zur Behebung der Schäden sind Maßnahmen der Gesteinsfestigkeit, der Hydrophobierung der Oberfläche, der Isolierung gegen die aufsteigende Bodenfeuchtigkeit und der Bekämpfung der Mikroorganismen nötig.

Abstract

Buildings and sculptures of the ancient Maya site at Copán in western Honduras show an intense decay of building stones. The andesites, which were used for buildings and sculptures show various phenomena of decay, first of all a powdery decomposition of the surface, a loosening of thicker plates, a deep cavitation and an intense growth of microorganisms. These damages are due to the action of intense rainfalls and the humidity of the soil which cause as well chemical as physical alterations of the stone. For preservation it is necessary to consolidate the stone, to hydrophobe the surface, to counteract the dampness of the soil and to prevent the growth of microorganisms.



Abb. 1 Die Maya-Ruinen von Copán

1. Die geographische Lage von Copán

Die Ruinen von Copán befinden sich im Westen von Honduras, in unmittelbarer Nähe der Grenze zu Guatemala, etwa 200 km Luftlinie von der Hauptstadt Tegucigalpa entfernt. In einer Entfernung von ca. 1 km von den Ruinen entstand der Ort San José de Copán. Dieser Ort und die Ruinen liegen am Rio Copán, der in den Bergen östlich Copáns entspringt und durch Guatemala zum Pazifik fließt.

2. Die klimatischen Verhältnisse

Honduras liegt zwischen dem 13. und 16., Copán auf dem 15. Breitengrad, also im ausgesprochen tropischen Klimabereich. Temperatur und Niederschläge hängen in Honduras stark von der Lage im Land ab, da Passatwinde aus der Karibik die Feuchtigkeit bringen, die sich an den Gebirgen abregnet. In Copán wird das Klima durch seine, etwa von Juni bis Dezember dauernde Regenzeit bestimmt, wobei es vor allem in den späten Nachmittags- und Abendstunden zu Gewittern und Platzregen von ungewöhnlicher Heftigkeit kommt. Meteorologische Daten von Copán oder der näheren, klimatologisch mit Copán vergleichbaren Umgebung liegen nicht vor. Die Temperaturen schwanken von 20° C im Januar und 24° C im April. Die starken Niederschläge fallen im Oktober mit ca. 200–250 mm, während in den Monaten der Trockenzeit kaum Regen fällt. Werte über die Luftfeuchtigkeit in der Trockenzeit sind nicht bekannt. Daten über die Zusammensetzung des Regens und seines Säuregehaltes konnten nicht in Erfahrung gebracht werden.

3. Die archäologische Situation

Die Ruinen von Copán sind die Überreste von Bauten, die von den Mayas in der Zeit von 400–800 n. Chr. errichtet wurden.



Abb. 2 Freigelegte Pyramiden in Copán

Die Mayas besiedelten in Mittelamerika das Gebiet zwischen dem östlichen Mexiko und dem westlichen Honduras in der Zeit von ca. 2500 v. Chr. bis zur Eroberung dieses Gebietes durch die Spanier zu Beginn des 16. Jahrhunderts. An eine archaische Periode, die bis etwa 2500 v. Chr. zurückreicht und bis 1500 v. Chr. dauert, schließt sich die formative Periode von 1500 v. Chr. bis 300 n. Chr., der die klassische Periode in der Zeit von 300—900 n. Chr. folgt, während der die bedeutenden Baudenkmäler entstanden. Zwischen 800 und 900 n. Chr. wurden die großen Heiligtümer im zentralen und südlichen Mayagebiet aufgegeben. Nur im Norden, auf der Halbinsel Yucatan, hält sich die Mayakultur bis in die ersten Jahrzehnte des 16. Jahrhunderts.

Copán wurde um 450 n. Chr. gegründet und um 800 plötzlich verlassen. Die Daten liegen recht genau fest, da die Stelen in Copán Jahreszahlen tragen, wobei die älteste Stele das Jahr 465 n. Chr., die jüngste das Jahr 800 n. Chr. angibt. Innerhalb dieser 400 Jahre ist eine weitere Unterteilung in drei Phasen, die Früh-, Mittel- und Hauptphase möglich, denen die verschiedenen Bauwerke angeordnet werden können.

4. Die Wiederentdeckung und Ausgrabung Copáns

Das Gebiet von Copán wurde 1524 von spanischen Soldaten unter dem Befehl von Juan Perez Dardon erobert, die die verfallenen Bauwerke der Mayas nicht beachteten.

Zum ersten Male erwähnt werden die Ruinen von Copán in einem Brief vom 8. März 1576 von Don Diego Garcia de Palacio an Philip II. von Spanien, in dem die Tempel und Stelen sehr detailliert beschrieben werden.

Bis zum 19. Jahrhundert wird der Bericht von Don Diego Garcia de Palacio häufig in historischen Werken wiederholt, die aber keine neuen Informationen enthalten.

1834 besucht Colonel Juan Galindo Copán im Auftrag der Regierung von Guatemala, wo er erste Ausgrabungen ausführt und in einem Bericht die vorgefundenen Bauwerke beschreibt.

1839 kam ein amerikanischer Geschäftsmann und Weltreisender, John Lloyd Stevens nach Mittelamerika, um in diesem Gebiet archäologische Forschungen anzustellen. Um in Copán ungestört arbeiten zu können, erwarb er das Gelände mit den Ruinen von einem privaten Grundbesitzer für 50 \$. Stevens führte in Copán Ausgrabungen durch und nahm die Gebäude auf. Der Architekt Frederik Catherwood, der ihn begleitete, fertigte eine große Zahl von Zeichnungen und Daguerrotypen an, die erhalten sind und uns in einer überaus eindrucksvollen Form umfassend über den damaligen Zustand Copáns informieren. Seine Ergebnisse veröffentlicht Stevens in dem Buch „Incidents of Travel in Central America, Chiapas und Yucatan“.

Aus dem Jahr 1877 gibt es von Meye Zeichnungen von Copán in seinem Buch „Stone Sculpture of Copán and Quirigua“.

1881 wurde die archäologische Arbeit in Copán von dem Engländer Alfred Percival Maudslay fortgesetzt, der Ausgrabungen ausführte und von einigen Stelen Abgüsse anfertigte. Von Maudslays Arbeit gibt es eine umfassende Photodokumentation, sowie schriftliche Aufzeichnungen in einem der fünf Bände seines Werkes „Biologia Centrali Americana“. Wichtig ist der Hinweis Maudslays, daß seine Zeichnungen ergänzte Rekonstruktionen und nicht „exact copies of the drawings in their present mutilated and weather — worn state“ sind.

Von 1891 bis 1894 wurden vom Peabody-Museum in Copán Ausgrabungen ausgeführt und von den Grabungsleitern publiziert.

In den folgenden Jahrzehnten besuchten zahlreiche Archäologen Copán und veröffentlichten ihre Ergebnisse mit einem teilweise recht reichhaltigen Bildmaterial.

Von 1935 bis 1947 war das Carnegie Institute in Copán tätig, wobei in großem Umfang Objekte wiederhergestellt und Stelen aufgestellt wurden. 1936 wurde der Rio Copán umgeleitet, der sein Bett immer näher an die Ruinen vorgetrieben hatte, so daß bereits ein beträchtlicher Teil der zum Fluß hin gelegenen Gebäude den Hang hinuntergestürzt war. Weiter wurden die umgefallenen Stelen aufgerichtet und schadhaftes Mauerwerk ausgebessert.

Seit 1947 liegt die wissenschaftliche Erforschung und Erhaltung von Copán in den Händen des Instituto Hondureño de Antropología e Historia.

5. Der derzeitige Stand der Ausgrabungen in Copán

Das archäologische Gebiet von Copán bedeckt eine Fläche von ca. 3 x 3 km, in dessen Zentrum das eigentliche ca. 400 x 600 m große Heiligtum liegt. Um einen westlichen und östlichen Hof erheben sich verschiedene Tempel (Zentraltempel, Osttempel, Westtempel) und Treppenanlagen, an die sich nach Norden hin der Zeremonienplatz mit den Stelen, einer kleineren Pyramide und dem Ballspielplatz anschließt.

Die Objekte des zentralen Bereichs sind mit Zahlen und Buchstaben bezeichnet, die im folgenden bei der Beschreibung des Zustandes und der Erhaltungsmaßnahmen beibehalten werden.

In der unmittelbaren Umgebung des Heiligtums befinden sich eine große Zahl weiterer archäologischer Objekte, vor allem Tempel, Maueranlagen und Gräber, die zu Copán gehören. Diese Anlagen sind zum größten Teil noch nicht ausgegraben und von Humus und Vegetation bedeckt, zum Teil werden sie gerade ausgegraben oder sie sind, wie einzelne Stelen, bereits freigelegt und aufgestellt.

Im weiteren Bereich um Copán gibt es noch mehrere kleine Reste von Maya-Siedlungen (Santa Rita, Rio Amarillo, Paraiso, Los Higos), die archäologisch noch kaum erforscht sind.

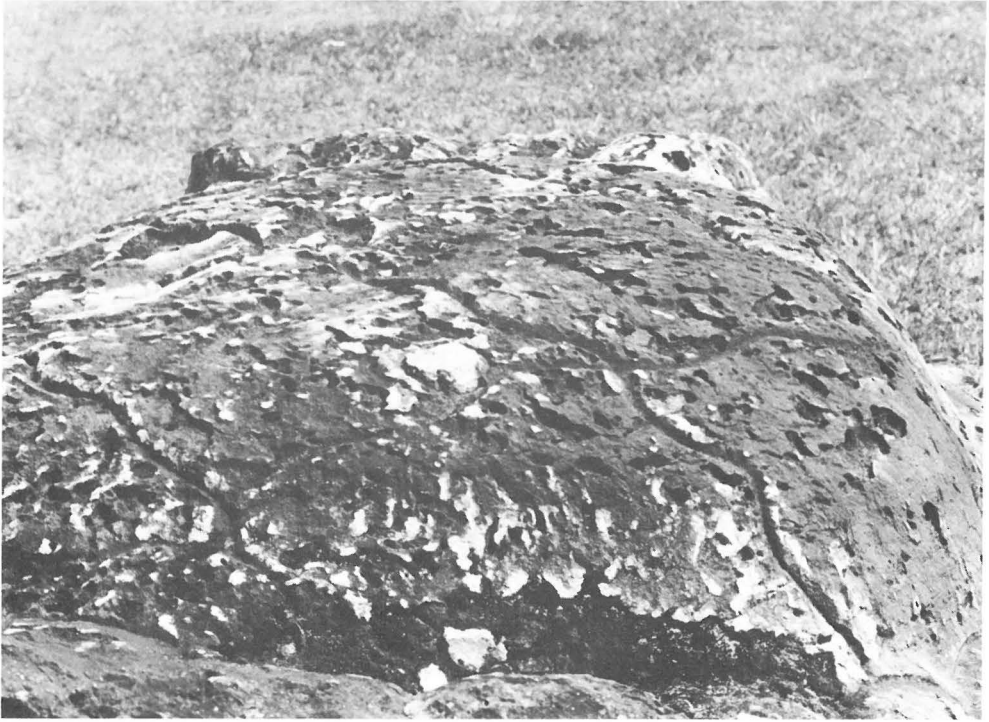


Abb. 3 Zerstörung von Bauwerken durch Wurzelsprengung

6. Frühere Restaurierungsarbeiten in Copán

Bei den Restaurierungsarbeiten, die das Carnegie-Institute während seiner Ausgrabungen durchführte, handelte es sich vor allem um den Wiederaufbau der zerfallenen Tempelanlagen und um das Aufstellen von Stelen. Maßnahmen zur Sicherung der Objekte gegen einen Substanzverlust an der Oberfläche oder Behandlungen gegen das Wachstum der Moose und Algen wurden nicht durchgeführt.

1967 besuchte L. Feugueur Copán, wo er sich mit dem Zustand der Steine befaßte. In einem Bericht an das Instituto Nacional de Antropologia diskutiert er die verschiedenen Ursachen der Verwitterung, macht aber keine Vorschläge zu ihrer Behebung.

1979 kam M. E. Hale vom Department of Botany der Smithsonian Institution in Washington nach Copán, um die Mikroflora auf den Steinen der Ruinen zu untersuchen. Er identifizierte die vielfältigen Moose, Flechten und Algen und schlug zu ihrer Bekämpfung eine Behandlung der Steine mit einer Chlorox-Borax-Lösung bzw. mit Thaltox vor. Diese Behandlung wird seit 1979 angewandt und erwies sich als erfolgreich.

Zur Festigung gelockerter Gesteinspartien und zur Wiederbefestigung von abgelösten Schichten verwendet das Instituto Hondureño de Antropologia e Historia seit einiger Zeit eine Lösung des Acrylharzes Paraloid.

7. Das Gesteinsmaterial

Das Gebiet von Copán ist geologisch bisher kaum bearbeitet. Es gibt eine geologische Karte von Honduras (Mapa geológica de la Republica de Honduras) im Maßstab 1 : 500 000 aus dem Jahr 1974, die keine detaillierten Angaben über die Gesteine von Honduras enthält.



Abb. 4 Lächerige Auswaschung eines Altars

Nach dieser Karte liegt Copán in einem Gebiet mit Sedimenten der Kreideformation, die als Grupo Valle Angeles bezeichnet wird und die ganze Serie sedimentärer Gesteine, vor allem Mergel, Konglomerate und Sandsteine enthält, wie sie an der Straße von San Pedro Sula nach Copán überall aufgeschlossen sind. Die Kreideserie wurde im Tertiär von vulkanischen Gesteinen der Grupo Padre Miquel durchbrochen. Auch hier werden in der Legende zur geologischen Karte verschiedene Gesteinsarten angeführt wie Andesite, Rhyolite, Basalte und Ignimbrite, ohne das bisher detailliertere Untersuchungen vorliegen. Williams und Birney (Volcanic history of Honduras. Univ. Calif. Publ. Geol. Sci. Bd. 85, 1969, 101 Seiten) geben allgemeine Hinweise zur Situation, doch fehlen auch hier genauere Angaben zu den Gesteinen von Copán.

Einige hundert Meter nördlich der Ruinen von Copán befindet sich ein sehr großer, völlig verwachsener Steinbruch, der als Lieferant der Bausteine für die Anlagen der Mayas in Copán gilt, archäologisch aber noch unbearbeitet ist. Auf den schrägen und horizontalen Flächen liegt eine dicke Humusschicht, die mit Gras und Buschwerk bewachsen ist. Spuren eines Gesteinsabbaus sind auf den ersten Blick nicht erkennbar, jedoch deuten einzelne senkrechte Flächen darauf hin, daß hier größere Blöcke an Spaltflächen abgesprengt wurden.

Das Gestein, das dort ansteht, ist das gleiche Material, aus dem die Stelen bestehen, nämlich ein gelblicher bis grünlicher Andesit. Im Steinbruch entsteht der Eindruck, daß der Andesit recht inhomogen ist, da es in unmittelbarer Nachbarschaft einschlußreiche und einschlußarme sowie unterschiedlich gefärbte Partien gibt. Das Gestein ist oberflächlich stark verwittert und aufgelockert.

Betrachtet man die Gesteine der Bauwerke, Stelen und Skulpturen von Copán, so fällt auch hier eine deutliche Heterogenität des Materials auf, wobei zur Herstellung der Stelen und Skulpturen offensichtlich ein gelblich-grüner Andesit bevorzugt wurde, der reichlich Feldspat-Körner von 1 mm Größe enthält. Auffallend sind in diesem Gestein faust- bis kopfgroße kugelrunde Einschlüsse aus einem harten, dichten basaltähnlichem Material von grauschwarzer Farbe, das, wie verschiedene Stelen zeigen, die Mayas bei der Bearbeitung der Stelen häufig vor technische Probleme stellte, da sie erst gegen Ende der Oberflächenbearbeitung auf die Kugeln stießen. In einem Fall (Stele D) wurden zwei Kugeln offenbar entfernt und Hieroglyphen in die Vertiefungen eingearbeitet, in einem anderen Fall (Stele 3) ragt die Kugel über das Niveau der Hieroglyphen deutlich heraus. Neben diesen großen Einschlüssen enthält der Andesit reichlich kleine Einschlüsse von ca. 1 cm Durchmesser aus tonigem oder porös-tuffsteinähnlichem Material, das sehr rasch auswittert und Ursache der löcherigen Oberfläche einiger Stelen und der Oberseiten mancher Altäre ist.

Farbe, Gefüge und andere makroskopisch erkennbare Eigenschaften der Gesteine variieren bei den Stelen bereits so deutlich, daß nicht von einem einheitlichen andesitischen Material gesprochen werden kann.

Die Gesteine der Bauwerke und Mauern gehören ebenfalls zu der andesitischen Gruppe, wirken aber deutlich härter als die Gesteine der Stelen und Skulpturen, für die offensichtlich ein weiches, mit Steinwerkzeugen leichter zu bearbeitendes Material, verwendet wurde.

8. Die Schadensphänomene an den Gesteinen

Die Gesteine der Ruinen von Copán zeigen fünf verschiedene Formen von Schäden: das pulverige Absanden, das Ablösen von Schalen, das Auftreten von Löchern, Mikrorisse und Makrorisse.

Vom Absanden der Oberfläche sind alle Gesteinspartien betroffen, die ungeschützt der Witterung ausgesetzt sind. Die Gesteinskörner verlieren ihren Zusammenhalt sowohl durch die Einwirkung physikalischer als auch chemischer Kräfte und werden durch die Regenfälle abgewaschen. Die Folge ist eine allmähliche, kontinuierlich fortschreitende Verflachung der Oberflächen, wie es bei einzelnen Hieroglyphenleisten oder bei Gesichtern von Stelen und Skulpturen deutlich erkennbar ist. Bemerkenswert ist, daß das Absanden bei Stelen an den vier Seiten mit unterschiedlicher Stärke erfolgt, wobei eine Seite noch völlig erhalten, die andere tiefgreifend verwittert sein kann. In den meisten Fällen, bei denen die Oberfläche von Stelen verwittert ist, zeigt die Ostseite die stärksten Schäden (z. B. bei den Stelen 4 und H), bei einigen Stelen sind die Ost-, Süd- und Westseite stärker verwittert (z. B. bei den Stelen E und 2), während die Nordseite fast unverändert ist. Andere Stelen (z. B. die Stelen C, F, 1) zeigen kaum ein Verwittern durch Absanden. Bei ihnen sind Reste einer originalen Bemalung noch weitgehend vorhanden.

Beim Ablösen von Schalen bricht die Oberfläche in parallelen Schichten auf, die sich im Laufe der Zeit vom Untergrund lösen und abfallen. Derartige Verwitterungserscheinungen sind bei allen Stelen an der Basis vorhanden, wo sie auf die Wirkung der aufsteigenden Bodenfeuchtigkeit zurückzuführen sind. An der Hieroglyphentreppe stellt diese Art der Verwitterung die wesentlichste Schadensform dar. Eine andere, weniger häufige Form des Abplatzens von Schalen erfolgt in der Umgebung der harten kugeligen Einschlüsse.

Bei den horizontalen, seltener bei den vertikalen Flächen, fallen kugelförmige Vertiefungen von einigen Millimetern bis zu einigen Zentimetern Durchmesser auf. Sie entstehen durch



Abb. 5 Schäden durch Verwitterung und Diebstahl an einer Stele

die Auswaschung von weicheren Einschlüssen im Andesit durch den Regen. Durch die Wirkung des Regenwassers, das in Vertiefungen auf horizontalen Flächen stehenbleibt, auf das umgebende Gesteinsmaterial kann in solchen Bereichen ein beschleunigtes Fortschreiten der Verwitterung angenommen werden. Die unterschiedliche Häufigkeit, mit der solche löcherigen Verwitterungsformen auftreten, hängt mit der Heterogenität des Gesteinsmerkmals zusammen.

Mikrorisse, deren Ursache nicht erkennbar ist, wurden bei einigen Stelen (z. B. Stele C und M) in einer auffallenden Häufung vorgefunden. Es handelt sich dabei um ein engmaschiges, nach allen Richtungen verlaufendes Netz von Rissen, die das Gestein auf begrenzten Flächen von ca. 10×10 cm durchziehen. Solche Risse, die oft durch die Einwirkung von Feuer entstehen, können hier durch einen mechanischen Stoß beim Umfallen oder Aufrichten entstanden sein.

Makrorisse sind Risse, die bereits vor der Verarbeitung des Gesteins angelegt waren und im Laufe der Zeit aufgebrochen sind. Das Gebiet von Copán, das in einer tektonisch stark beanspruchten Zone liegt, zeichnet sich durch Gesteine aus, die Schwächezonen enthalten, die sich zu Rissen ausweiten können. Beim Umfallen der Stelen sind an solchen Stellen die Brüche aufgetreten.

9. Die Ursachen der Schäden

Die Schäden an den Bauwerken von Copán lassen sich auf drei Hauptursachen zurückführen:

- a. die chemische Verwitterung durch die Einwirkung von Feuchtigkeit;
- b. die physikalische Wirkung von Temperaturunterschieden an der Gesteinsoberfläche;
- c. die Tätigkeit des Menschen.

Zu a.

Die Feuchtigkeit dringt auf zwei verschiedenen Wegen in den Stein ein: als Niederschlagsfeuchtigkeit und als aufsteigende Bodenfeuchtigkeit. Als dritte Möglichkeit kommt bei Ausgrabungsfunden noch die Wirkung der Bodenfeuchtigkeit dazu, die hier offensichtlich nicht sehr wirkungsvoll ist, da Stücke aus Ausgrabungen in einem sehr guten und oberflächlich harten Zustand sind.

Die Feuchtigkeit hat folgende Wirkungen auf den Stein:

- Umwandlung von Silikaten in wasserhaltige Verbindungen,
- Umwandlung von Eisenverbindungen, Transport von Salzen,
- Entwicklung einer Mikroflora.

Die Umwandlung von wasserarmen oder wasserfreien Silikaten in stärker wasserhaltige Tonmineralien führt zu einer Auflockerung des Gefüges, da die widerstandsfähigeren Körner ihren Zusammenhalt verlieren. Die Wasseraufnahme und die Bildung der Tonmineralien führt zu einer beträchtlichen Volumenvergrößerung, die ebenfalls zur Trennung der mineralischen Komponenten führt. Diese Art der Veränderung der Oberfläche ist eine der Hauptursachen des Absandens, da der ablaufende Regen die gelockerte Oberfläche leicht abtragen kann.

Auch die Eisenverbindungen, die isoliert oder in Schichten angereichert sind, werden in wasserreiche Verbindungen, Eisenhydrate, umgewandelt, die sich deutlich als Rostflecken oder Rostbänder abzeichnen. Auch die Bildung der Eisenhydrate ist mit einer Volumenvergrößerung verbunden, die zur oberflächlichen Auflockerung der Gesteine führt. Solche Partien widerstehen der abtragenden Wirkung weniger als das umgebende Gestein, so daß in der Umgebung von Eiseneinschlüssen oft eine verstärkte Abtragung erkennbar ist.

Durch die Feuchtigkeit werden im Stein gelöste Salze transportiert, die beim Austrocknen des Gesteins an der Oberfläche kristallisieren und durch den dabei entstehenden Kristallisationsdruck das Gefüge auflockern. Solche Phänomene scheinen in der Sockelzone der Stelen und auch bei der Hieroglyphentreppe vor sich zu gehen, wobei der Anteil der Salze, ihre Herkunft und ihre Art ungeklärt ist. Denkbar ist, daß der Zementmörtel, der bei den Stelen zur Reparatur verwendet wurde, Salze enthält, möglich ist aber auch, daß durch Gipsabgüsse gelöste Salze in den Stein gelangten. Als weitere Quellen für Salze kommen sulfat- und nitratbildende Bakterien in Frage. Schließlich ist auch denkbar, daß bei der Verwitterung von Sulfiden im Gestein Sulfate frei werden. Daß Sulfate enthalten sind, zeigt eine Analyse von Feugueur, der bei einer Stele 0,44 % SO_3 nachwies, während eine zum Vergleich untersuchte Probe aus einem unveränderten Gesteinsblock kein SO_3 enthielt.

Die Feuchtigkeit ist auch verantwortlich, daß sich auf den Gesteinen eine üppige Mikroflora von Moosen, Flechten und Algen entwickeln kann, deren Art und Wirkung von Hale untersucht wurde.

Alle Wirkungen der Feuchtigkeit, die Umwandlung der Gesteinskomponenten, die Salzkristallisation und die Mikroflora führen zu einer Auflockerung der Oberfläche, die dann von den heftigen Regengüssen abgetragen wird.

Zu b.

An der Gesteinsoberfläche spielt sich ein weiterer Vorgang ab, der eine Auflockerung des Gefüges zur Folge hat. Die hohen Temperaturen, die tagsüber auftreten, erwärmen die Gesteinsoberflächen auf ca. 50—60° C. Dabei dehnen sich sowohl die Mineralkörner im einzelnen als auch der Gesteinskörper als Ganzes aus. Durch die plötzliche Abkühlung bei Regenfällen kommt es zu einer Kontraktion. Dieser Vorgang, der sich in der Regenzeit täglich wiederholt, trägt ebenfalls zur Zerstörung des Gesteins bei. In der Umgebung der dunklen basaltartigen Einschlüsse ist diese Art der Zerstörung deutlich erkennbar, da sich dunkle Gesteine höher erwärmen als helle.



Abb. 6 Verwitterungsschäden an einer Stele vor der Hieroglyphentreppe

Zu c.

Starke Schäden, die auf den ersten Blick den Eindruck erwecken, es handle sich um Verwitterungsschäden, sind von Menschen hervorgerufene mechanische Beschädigungen. Bei fast allen Stelen sind die Nasen abgeschlagen, oft ist der Mund zerstört, während die Augen oft unbeschädigt sind. Solche Zerstörungen können bereits zur Zeit der Mayas erfolgt sein oder von den spanischen Eroberern stammen. Aus jüngerer Zeit stammen Diebstähle von Hieroglyphen, die aus den Zeilen herausgeschlagen sind.

Schäden an den Gesichtern und Ornamenten der Stelen können auch beim Umstürzen entstanden sein.

Fehler früherer Restaurierungen sind nicht erkennbar, obwohl denkbar ist, daß der zum Verfugen und Ausbessern verwendete Mörtel Sulfate enthält. Sulfate können auch durch frühere Gipsabgüsse in den Stein gelangt sein, da die Feuchtigkeit des Gipses in den Stein eindringt und dort Sulfate hinterläßt. Schäden durch das Rosten von Eisen, das zum Verklammern von großen Blöcken, z. B. bei Altären verwendet wurden, gibt es nicht.

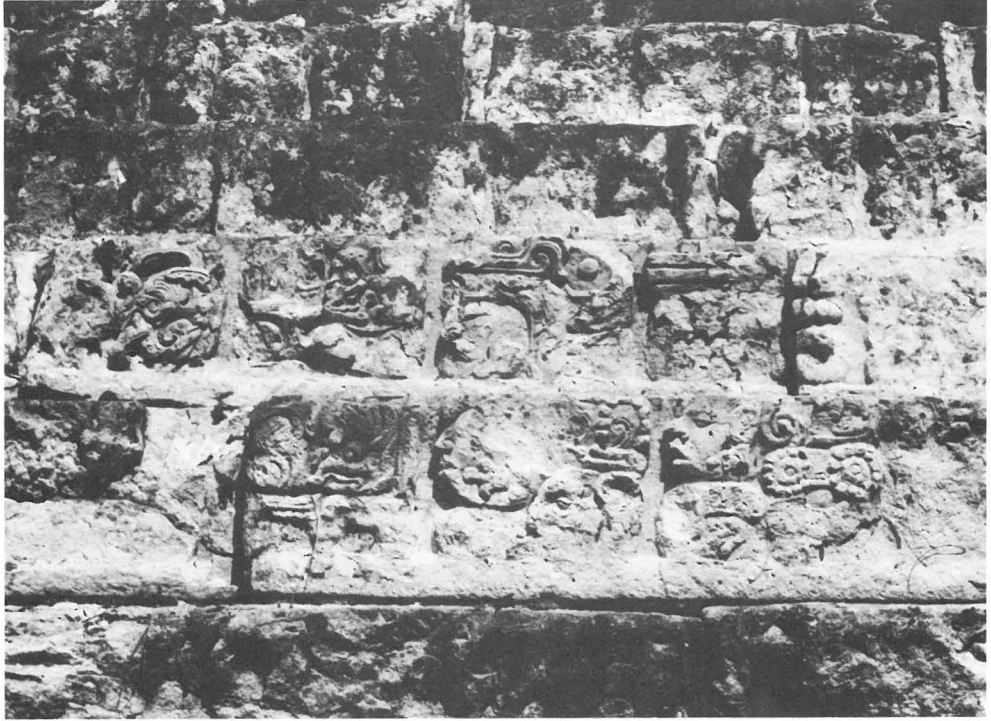


Abb. 7 Verwitterung der Schriftzeichen der Hieroglyphentreppe

10. Die Behebung der Schäden

a. Gesteinsfestigung

Zur Gesteinsfestigung, sowohl zur Behebung des Absandens und des AblöSENS von Schalen, eignet sich vor allem die Tränkung mit Kieselsäureestern. Dieses Material, mit dem seit ca. 20 Jahren auf dem Gebiet der Steinkonservierung gearbeitet wird, zeichnet sich durch eine besondere Dünflüssigkeit aus, wodurch gewährleistet ist, daß keine dünnen, verfestigten Krusten auftreten, die nach einiger Zeit vom unverfestigten Kern abplatzen. Kieselsäureester haben weiter den Vorteil, daß sie mit wasserabweisenden Produkten, z. B. Methyltriäthoxysilan gemischt werden können, so daß Festigung und Hydrophobierung in einem Arbeitsgang durchgeführt werden können. Die Hydrophobierung ist in jedem Fall notwendig, da sie ein Eindringen der Feuchtigkeit in den Stein verhindert, wodurch die bei den Schadensursachen beschriebenen Wirkungen der Feuchtigkeit verhindert werden. Kieselsäureester sind Produkte, die von der chemischen Industrie speziell für die Steinkonservierung erzeugt werden. Es gibt verschiedene Typen, wobei noch durch Laborversuche zu klären ist, ob z. B. ein einkomponentiges oder ein zweikomponentiges Material in Copán zur Anwendung kommen soll. Der Vorteil des zweikomponentigen Materials liegt in der Möglichkeit, die Viskosität auf die speziellen Gesteinseigenschaften abzustimmen. Kieselsäureester werden durch Auftragen mit dem Pinsel oder durch Aufsprühen verarbeitet, wodurch das Auftragen mit dem Pinsel ein präziseres Arbeiten ermöglicht und in Copán vorzuziehen ist. Die Verarbeitung der Kieselsäureester soll im Schatten erfolgen, um ein rasches Verdampfen des Lösungsmittels und damit einen Transport der Kieselsäure zur Oberfläche zu vermeiden. Weiter soll der Stein trocken sein, da Wasser das Aushärten beschleunigt und dem Material nicht genug Zeit gibt, tief genug einzudringen. Eine mehrmalige, in der Regel dreimalige Imprägnation ist notwendig, da durch das Verdampfen des Lösungsmittels nach den ersten

Imprägnierungen noch Hohlräume freibleiben. Der Kieselsäureester verfestigt die absandenden Teile und verbindet auch Schalen, die sich noch nicht zu stark abgelöst haben mit dem festen Kern. Durch die Behandlung mit Kieselsäureester wird dem Gestein Kieselsäure, also ein arteigenes Material, zugeführt. Einer erneuten Behandlung, wenn die Kieselsäure nach Jahrzehnten abgebaut wird, steht dann nichts im Wege, da das verkieselte Gestein wie ein unbehandeltes Gestein verwittert.

b. Das Ankleben von Bruchstücken

Größere Bruchstücke, die sich gelöst haben oder mit dem Stein nur noch sehr lose verbunden sind, müssen nach der Festigung wieder durch Ankleben befestigt werden. Geeignet ist die Verwendung von Paraloid in der Art, wie in Copán gearbeitet wird. Versuche mit Klebstoffen auf der Basis von Epoxidharzen und Polyesterharzen, die wie die Kieselsäureester speziell zum Kleben von Steinen hergestellt werden, erscheinen zweckmäßig.

c. Die Bekämpfung der Mikroflora

Mit den Flechten, Algen und Moosen, die sich in dem feuchten Klima üppig entwickeln, hat sich Hale 1979 beschäftigt. Zur Bekämpfung der Mikroflora schlug er Chlorox und Borax sowie Thaltox vor, die von der British Building Research Station für diesen Zweck empfohlen werden. Diese Verfahren werden seit einigen Jahren in Copán angewandt und haben sich bei Moosen und Flechten bewährt, während einzelne dunkle Algen der Behandlung widerstehen. Auch hier erscheinen ergänzende Versuche mit anderen Mitteln zweckmäßig, wobei Produkte in der Art von Thaltox, die auf der Basis von Metallsalzlösungen aufgebaut sind, besonderen Erfolg versprechen.

d. Sonstige Maßnahmen

Die Restaurierung der Hieroglyphentreppe erfordert eine Reihe technischer Vorkehrungen, die eine intensive Wirkung der Niederschlagsfeuchtigkeit vermeiden sollen, z. B. eine Ableitung des über die Stufen abfließenden Regenwassers.

Weitergehende Maßnahmen, die zur Erhaltung der Hieroglyphentreppe denkbar sind, etwa der vollkommene Abbau zur Herstellung eines soliden Untergrundes, sollen an dieser Stelle nicht diskutiert werden, da es im Augenblick um die rasche Sicherung des akut gefährdeten Bestandes geht.

Auch andere Fragen, etwa die Überdachung der Stelen zum Schutz gegen die Niederschläge, wie es in Quirigua praktiziert wird, oder die Frage, ob die Objekte besser in ein Museum gebracht werden, sollen hier, da sie prinzipieller Art sind, nicht angeschnitten werden.