

Die Verwitterung von Bauwerken und Kunstdenkmälern hat bereits im Altertum und im Mittelalter dazu geführt, daß sich Baumeister mit Fragen des Schutzes und der Konservierung von Natursteinen beschäftigten. In den Grotten von Yungang sind zahlreiche solcher mehr oder weniger erfolgreich verlaufenen Versuche nachzuweisen. Die in Jura-Sandsteinen angelegten Grotten zählen zu den wichtigsten kulturhistorischen Baudenkmalern in China. Sie sind ein Exkursionsziel anlässlich des 30. Internationalen Geologischen Kongresses, der im August 1996 in Peking durchgeführt wird.



Bild 1: Yungang-Grotten, aufgenommen aus dem Vorräum vor der Grotte Nr. 5 (Foto: Dai)

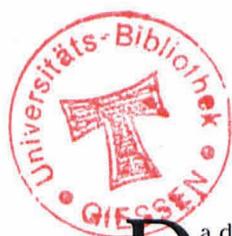
Zerfall und Konservierung der Yungang-Grotten

Ursachenforschung und Problemlösungen in einem deutsch-chinesischem Projekt

4°22 84/5-13

FHalle kb 4.6

■ Von Günter Strübel, Anjian Wang und Shibing Dai



Da der Steinzerfall durch unterschiedliche, zu einem großen Teil noch nicht geklärte Einflüsse zunimmt, sind Maßnahmen zur Erhaltung der Grotten dringend notwendig. Im Rahmen eines interdisziplinären und internationalen Forschungsprojektes, an dem die Universität für Geowissenschaften Changchun, das Institut für Kulturgüter Chinas in Peking, das Institut für Grottenpflege in Yungang, das Stadtamt für Geologie und Bodenschätze in Datong und die Justus-Liebig-Universität Gießen beteiligt sind, sollen der Ver-

witterungszustand und die Verwitterungsursachen sowie Möglichkeiten zur Restaurierung und Konservierung untersucht werden.

In den Südhang der Wuzhou-Berge bei Datong, ca. 380 km westlich von Beijing (Grafik 1), sind die Yungang- oder Wolkengrat-Grotten in den Sandstein gehauen (Bild 1). Die Höhlen verteilen sich über einen Hangabschnitt von mehr als 1.000 Meter Länge. Sie zählen zu den bedeutendsten buddhistischen Kultstätten Chinas.

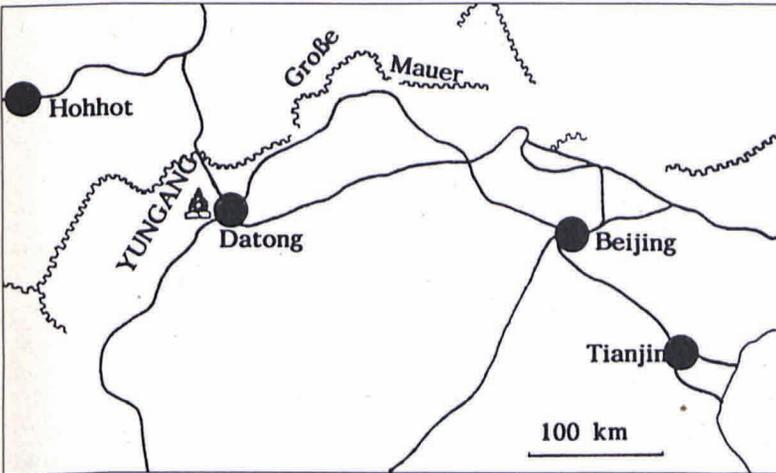
Die meisten von ihnen wurden zwischen 460 und 495 geschaffen, zur Zeit der nördlichen Wei-Dynastie (386 bis 535). Bereits in der Frühzeit nach Fertigstellung der bildhauerischen Steinmetzarbeiten setzten Verwitterungsschäden ein, was wahrscheinlich dazu geführt hat, daß die Skulpturen teilweise verputzt wurden. Leider haben die Yungang-Grotten nicht nur natürliche Schäden erlitten. Annähernd 1.400 Figuren wurden

ausgebrochen und ins Ausland geschafft (Bild 2). Einigen Figuren fehlen die Köpfe – entweder willkürlich zerschlagen oder aber von Kunstdieben säuberlich abgetrennt.

Am imposantesten ist die mittlere Höhlengruppe (Grotte Nr. 5 bis Grotte Nr. 20, Umschlagbild). In Grotte Nr. 5 thront der 17 Meter hohe, aus einem einzigen Stein gehauene sitzende Buddha. Sein Ohr mißt 3,1 Meter, sein Fuß 4,6 Meter, sein Mittelfinger 2,3 Meter. Zum Schutz der Skulpturen gegen die Verwitterung wurden zwischen 1049 und 1060 zehn Vorräume und später zwischen 1143 und 1149 mehr als vier Vorräume gebaut, die jedoch durch Kriege alle wieder zerstört wurden. Die meisten Skulpturen wurden später in der Zeit zwischen 1651 und 1696, zur Zeit der Qing-Dynastie, mit Lehm verputzt und bemalt. Die jetzigen Vorräume wurden im 17. Jahrhundert errichtet. In der Qing-Dynastie fanden umfangreiche Malerarbeiten an den Stein-



Bild 2: Ausgebrochene Skulpturen in Grotte Nr. 16. Die geraubten Buddhas sind zum Teil nach Amerika gelangt. (Foto: Dai)



Grafik 1: Lage der Yungang-Grotten, 380 km westlich von Beijing

figuren statt. Bis circa 1800 waren die Yungang-Grotten von Menschen bewohnt. Anschließend wurden sie zum Teil auch als Viehställe benutzt, was wohl auch Ursache der großen Schäden zwischen 1800 und 1951 war. 51.000 Statuen und Reliefs, die sich über 53 Grotten verteilen, sind bis heute erhalten geblieben. Die größte Buddha-Statue erhebt sich 17 m hoch, während die kleinste gerade 2 cm mißt. Des weiteren sieht man in Yungang in Wandnischen Darstellungen von Apsaras, Blumen, Architekturen und von Szenen aus der buddhistischen Überlieferung. Seit 1961 gehören die Yungang-Grotten zum Chinesischen Staatseigentum und werden vom Insti-

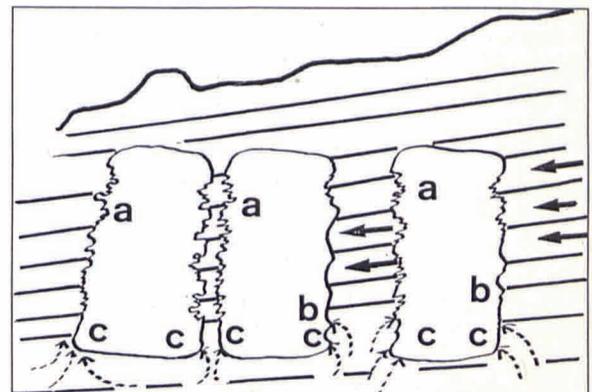
tut für Grottenpflege in Yungang und durch das Chinesische Amt für Denkmalpflege betreut. Zwischen 1974 und 1976 wurden die Grotten im Auftrag der chinesischen Regierung befestigt und der Grundwasserspiegel abgesenkt. Die ersten zehn Jahre nach Gründung des Instituts wurden Aufräumarbeiten durchgeführt. 1962 fand in Peking eine Tagung zur Pflege der Yungang-Grotten statt. Im selben Jahr begann man mit der Verfestigung absturzgefährdeter Steine. Die gegenwärtigen Arbeiten bestehen im wesentlichen aus Deckenverfestigungen, auch wurden Versuche mit Kunststoffen (zum Beispiel Epoxidharz) durchgeführt, die aber nach Aus-

für Grottenpflege, Heng Wang, nicht erfolgreich verlaufen sind.

Ursachenforschung

Die Ursachen der Schäden sind komplexer Natur und sollen im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsprojektes zwischen der Universität für Geowissenschaften Changchun und der Justus-Liebig-Universität Gießen untersucht werden. Dabei soll insbesondere auch der Zustand der Versalzung, die Art der Salze und ihre Rolle bei der Schadensbildung, besonderes auch in den oberflächennahen Bereichen der Materialien, erfaßt werden. Bei der Feuchtigkeitszufuhr könnte es sich zu einem großen Teil um eindringendes Schichtwasser handeln, weshalb eine exakte stratigraphische und petrographische Kartierung der anstehenden Jura-Sandsteinformationen eine Grundvoraussetzung für spätere Maßnahmen sein wird. Hinweise ergeben sich vor allem aus dem Verwitterungszustand und dem Verwitterungsgrad der Steinfiguren in bezug auf ihre Orientierung und Position zu den unter ca. 10° einfallenden Jura-Sandsteinschichten (Grafik 2). Die besten Erhaltungszustände finden sich an den Positionen (a), an denen Wasser allenfalls durch Kapillarkräfte wirksam werden kann, nicht aber durch eindringendes Schichtwasser. Die stärker geschädigten Skulpturen stehen an den Stellen, wo Schichtwasser Zutritt hat (b), wobei der Grad der Verwitterung nach unten zunimmt, also in Bereichen (c), wo bereits in der Frühzeit der Grot-

Grafik 2: Unterschiedliche Erhaltungszustände der Skulpturen in den Grotten





Günter Strübel ist Professor für Technische Mineralogie und Kristallographie am Institut für Angewandte Geowissenschaften der Universität Gießen, Gründungsmitglied des Instituts für Steinkonservierung der Länder Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland und Thüringen, Leiter einer amtlich anerkannten Schadstoffmeßstelle und öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger der IHK Gießen für anorganische nichtmetallische Bau- und Werkstoffe. Seine Forschungen, die unter anderem von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert werden, befassen sich mit der Entwicklung schadstoffarmer mineralogischer Bindemittel zur Restaurierung von historischen Gebäuden und Kulturdenkmälern, Prozessen der Biokristallographie sowie der Faserstaubanalytik.



Bild 5: Polarisationsmikroskopische Aufnahme eines Gesteinsdünnschliffs aus stark zersetzten Partien der Grotte Nr. 5 (Foto: Strübel)

tenfiguren Restaurierungs- bzw. Konservierungsarbeiten stattgefunden haben. Neben geologischen und hydrologischen Arbeiten sind im Rahmen des Projektes vor allem Materialuntersuchungen zur Mineralogie und Petrographie der Sandsteine, zur Art des Bindemittels (Bild 5), zum Wasseraufnahmeverhalten (Bild 6) und vor allem zum Grad der Versalzung, der Art der auftretenden Salze und ihrer Verteilung vorgesehen. Parallel dazu wird zur Ermittlung der Schadensursache eine Umfeldanalyse durchgeführt, die für eine Einstufung der Umweltsituation und des Standortes unerlässlich ist. Aus der Bewertung der Gesamtergebnisse soll schließlich ein Konservierungsverfahren festgelegt werden, bei dem mit Sicherheit Folgeschäden durch eine falsche Sanierung ausgeschlossen werden können.

Steinkonservierung

Die historische Entwicklung der Steinkonservierung in Europa, wo Natursteine stets eine hervorragende Rolle bei der Errichtung repräsentativer Bauwerke spielten, hat zur Entwicklung moderner Steinkonservierungsmittel geführt, die selektiv, entsprechend den Ergebnissen von Voruntersuchungen, eingesetzt werden können und wodurch sich die in der Vergangenheit festgestellten Nachteile vermeiden lassen.

Nach Helmut Weber muß ein Steinkonservierungsmittel eine Reihe von Eigenschaften besitzen:

- Abscheidung von neuem, möglichst witterungsbeständigem Bindemittel, wobei mineralische Bindemittel zu bevorzugen sind,
- gute Eindringtiefe in den Naturstein, mindestens bis zum unverwitterten Kern des Steins,
- keine Krustenbildung, sondern Aufbau eines gleichmäßigen Festigkeitsprofils durch den Querschnitt des Natursteins,
- keine Bildung bauschädlicher, salzartiger Nebenprodukte,
- keine farbliche Veränderung der Natursteinoberfläche,
- keine Veränderung oder negative Beeinträchtigung wichtiger bauphysikalischer Daten des Steins; dies gilt insbesondere für die Wasserdampfdurchlässigkeit, das thermische und hygrische Verhalten (im wesentlichen Wasseraufnahme, -abgabe und Quellvermögen),

- Reduktion der Wasser- und Schadstoffaufnahme. Diese Anforderungen werden nach dem heutigen Wissensstand am besten von Steinfestigungspräparaten auf der Basis von Kieselsäureestern erfüllt.

Sofortmaßnahmen

Unabhängig von den weiteren Ergebnissen der Projektstudie ließen sich jedoch bereits jetzt eine Reihe von Maßnahmen ergreifen, die eine weitere Zerstörung der Skulpturen zumindest teilweise verhindern helfen könnten. Allerdings sind die Fakten dazu weniger wissenschaftlich-technologischer Natur, sondern liegen im politischen, wirtschaftlichen und sozialen Bereich. Im geologischen Umfeld der Grotten liegen umfangreiche Steinkohlevorkommen, die wirtschaftlich genutzt werden (Grafik 3). In der unmittelbaren Umgebung der Grotten darf zwar keine Kohle ab-

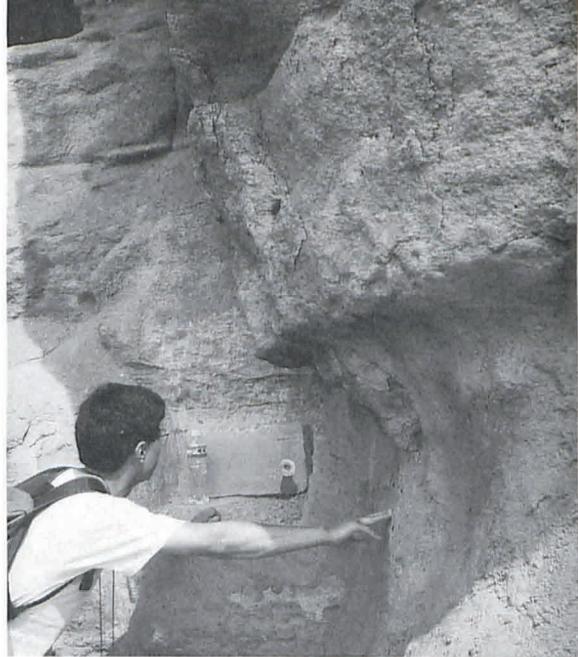
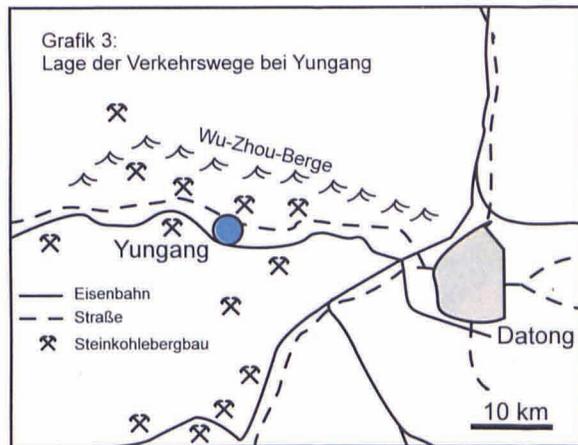


Bild 6: Untersuchung zum Wasseraufnahmevermögen im Juli 1995: In ein Prüfröhrchen wird Wasser eingefüllt und am Stein befestigt. Die Menge des eingedrungenen Wassers kann an einer Skala abgelesen werden. (Foto: Strübel)

gebaut werden, doch liegen circa 50 bis 100 Meter vor den Grotten Ansiedlungen, in denen ausschließlich Steinkohle verbrannt wird, vor allem auch zur Heizung im Winter, der in Nord-China bis unter -20°C kalt werden kann. Hinzu kommt der Transport der Kohle durch Bahn und LKW auf nicht abgedeckten Wagen, was einen hohen Staubeintrag in die Grotten mit sich bringt. Eine großräumige Absperrung neben anderen flankierenden Maßnahmen würde auch die Erschütterungen durch den Schwerlastverkehr vermindern, die zur Rißbildung und zur Zerrüttung der Gesteine führen. Weitere nicht unerhebliche Schäden sind durch falsche Sanie-

rungsmaßnahmen bedingt. Hierzu zählt vor allem der massive Einsatz moderner Baustoffe, wie Portlandzement und Beton (Bild 8), obwohl seit langem bekannt ist, daß sich Beton und Sandstein nicht vertragen, daß die mechanische Härte der Zementmörtel den weicheren Sandstein schädigt und daß Salze aus Zementmörteln angrenzende Sandsteine zerfressen und besonders auch im Bereich von Wandmalereien verheerende Schäden anrichten können. Man hat zum Schutz vor Niederschlägen vor einigen Jahren über den Grotten auf einer Fläche von ca. 500 m^2 eine Kunststoff-Folie verlegt (Bild 9), um das Regenwasser über zementierte Kanäle



und Auffangbecken abzuleiten, wobei auch wieder reichlich Portlandzement und Beton verwendet wurde. Aber selbst bei unserem Besuch in der Regenzeit im Juli 1995 floß dort kein Wasser. Auch in der übrigen Jahreszeit ist die auf die abgedeckte Fläche unmittelbar über den Grotten anfallende Regenmenge im Verhältnis zum Sickerwasser aus der unmittelbaren Umgebung, das als Schichtwasser eindringt, verschwindend gering. Da in der Provinz Shanxi arides Klima herrscht, die Verdunstung der Niederschläge überwiegt, verstärkt noch durch die geographische Nord-Süd-Lage der Grotten, wird durch die Kunststoff-Folie unmittelbar über den Grotten die bisherige Feuchtigkeitsabgabe durch Verdunstung nunmehr völlig unterbunden, so daß anstelle einer Entfeuchtung der gegenteilige Effekt eingetreten ist (Grafik 4). In einem ersten Arbeitsabschnitt werden neben geologischen und hydrologischen Untersuchungen, die von chinesischen Kollegen vor Ort durchgeführt werden, am Institut für Angewandte Geowissenschaften der Universität Gießen Materialuntersuchungen zur stofflichen Beschaffenheit der verschiedenen Sandsteinvarietäten, der Bindemittelmatrix, zum Wasseraufnahmeverhalten und zum Grad der Versalzung, der auftretenden Salze und ihrer Verteilung durchgeführt. Erste Ergebnisse zeigen, daß die in Deutschland an vergleichbaren Sandsteinobjekten gewonnenen



Anjian Wang, Jahrgang 1953, ist Professor für Petrologie, Mineralogie und Geochemie an der Universität für Geowissenschaften Changchun und nimmt Aufgaben am Northeast Asia Center of International Earth Science Research and Education wahr.

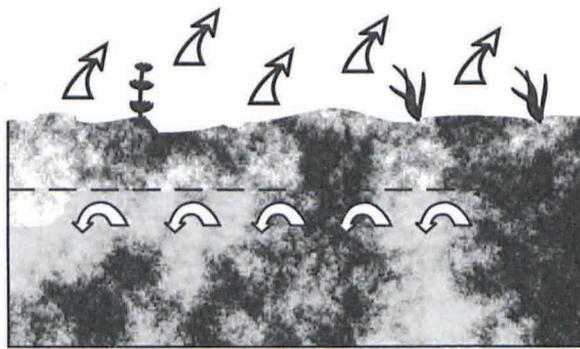
Im Rahmen des Internationalen Geologischen Kongresses 1996 ist er für die Exkursion „Early Precambrian Geology of the Wutei-Hengshan Mountains in Shanxi-Province“ zuständig, bei der auch die Yungang-Grotten bei Datong besichtigt werden.



Bild 8: Steinmetzarbeiten zur Befestigung im westlichen Bereich der Grotten im Juli 1995 (Foto: Strübel)



Shibing Dai, M.Sc., Jahrgang 1963, studierte Mineralogie und Geologie an der Universität für Geowissenschaften Changchun, wo er 1988 den Master of Science erwarb. Von 1988 bis 1994 arbeitete er als Assistent und Dozent am Northeast Asia Center of International Earth Science Research and Education. Seit 1994 erforscht er in Zusammenarbeit mit deutschen Kollegen anwendungsbezogene Fragen zur Restaurierung und Konservierung von Naturbausteinen und mineralischen Bindemitteln im Bereich der Denkmalpflege.



- Verdunstungsweg
- Die Verdunstung des eindringenden Schichtwassers wird verhindert
- Abdichtungsschicht aus Kunststoff
- Lehmbo-den
- Jura-Sandstein

Grafik 4: Verhinderung der Verdunstung durch Kunststoffolie unmittelbar über den Grotten

positiven Erfahrungen nicht ohne weiteres bei den Yungang-Grotten erwartet werden können, was vor allem in der charakteristischen Bindemittelmatrix begründet ist, die einen relativ hohen Anteil an Tonmineralen und an Kohlepartikeln enthält. Eine wesentliche Rolle spielt das Magnesiumsalz Epsomit, das nadelförmig in Rissen, zum Teil auch auf der Oberfläche der Sandsteine, auftritt. Die ursprünglich primären Feldspäte, Mikroklin und Plagioklas, sind, wie auch die Glimmer Biotit und Muskovit partiell in Kaolinit und Illit umgewandelt.

Physikalische Messungen haben gezeigt, daß die Gesamtporosität relativ niedrig ist, wie auch das Wasseraufnahmeverhalten und die kapillaren Wasseraufnahmekoeffizienten, dagegen ist die hygri-sche Dilatation, abhängig vom Tonmineralgehalt relativ hoch, wodurch schon bei geringen Feuchtigkeitsgehalten eine Dehnung der Sandsteine auftritt, was die Hauptursache der Schalenbildung sein dürfte. Die bisher vorliegenden Messungen müssen noch durch vertiefende Untersuchungen über das Festigkeitsverhalten und die Wasserdampfdurchlässigkeit ergänzt werden, bevor eine Entscheidung über mögliche Verfahren zur Verfestigung getroffen werden kann.



Bild 9: Vorrichtungen aus Beton und Kunststoffabdichtung zum Schutz der Grotten vor Niederschlägen (Foto: Strübel)

LITERATUR

- Jiu, Kei (1990): Die Yungang Grotten, Volksverlag Shanxi, 1-8
- Weber, H. (1995): Konservierung und Restaurierung von Natursteinen in Europa am Beispiel der Alten Pinakothek München, 2. Aufl. mit ergänzter Überprüfung, Sonderdruck
- Xie, Tinfang & Yuan, Jihuo (1992): Wissenschaftliche Pflegearbeiten bei den Yungang Grotten, in „Stadt Datong“, Datong Press, 113-118
- Zhao, Kunyu (1992): Ereignisse bei den Yungang Grotten, in „Stadt Datong“, Datong Press, 118-125

JUSTUS-LIEBIG-
UNIVERSITÄT
GIESSEN

Prof. Dr. Günter Strübel

Institut für Angewandte Geowissenschaften
Diezstraße 15
35390 Gießen
Telefon (0641) 702-86060