

# STEINE UND STEINBRÜCHE IM ALTEN ÄGYPTEN

Vortrag in der MGW am 16.6., 30.6. und am 8.9.2015 von Peter Bauer

## PROLOG

Es ist etwa 60 Jahre her. Ich bekam ein Buch über alte Kulturen in die Hand, dessen Lektüre mich damals so fasziniert hat, ja man kann fast sagen geprägt hat, dass es bis heute mein Interesse an diesen historischen Wissensbereichen und überhaupt an Geschichte wach hielt : Der berühmte Schmöcker „Götter, Gräber, und Gelehrte“ von Ceram, der 1955 erschienen ist und große Auflagen und einen weiten Leserkreis in aller Welt erfahren hat.

Am meisten haben mich von Anfang an und in großen Abständen immer wieder, angestiftet durch dieses Buch, antike Schriftsysteme und alte Sprachen beschäftigt, aus reiner Freude und Interesse am oft geheimnisvollen und fremden Metier, ohne mich aber jemals ernsthaft mit dem Studium dieser Dinge zu befassen.

So kam es vor einiger Zeit zu einer seltsamen Begegnung. Meine, in meinem Leben spät aufgetauchte Liebhaberei für Steine und Gesteine verbindet sich nun mit der Ägyptologie und den alten Römern in einer wunderbaren Weise: Die Steine der alten Ägypter und die damit verbundene Geologie Ägyptens.

## 1.TEIL

Viertausend Jahre alt ist eine in Stein geschlagene Inschrift aus dem Mittleren Reich etwa zur Regierungszeit Mentuhoteps II., 11. Dynastie, ca. 2000 Jahre vor Christi Geburt, die im Wadi Hammamat östlich von Theben in der Ostwüste Ägyptens die Zeit überdauerte: „Mein König sandte mich, den Erbprinzen und Wesir, den Liebling des Königs, mit einer Armee von 10.000 Mann aus, um einen Stein aus reinem und kostbarem Material zu holen, für einen Sarkophag,

als Denkmal für die Ewigkeit. In meiner Armee waren Minenarbeiter, Handwerker, Steinbrucharbeiter, Künstler, Zeichner, Steinschneider und andere. Ich gab jedem eine Lederflasche, eine Tragstange, zwei Krüge mit Wasser und 20 Brote täglich. Meine Soldaten kehrten ohne Verluste heim, nicht ein Mann starb, nicht eine Truppe wurde vermisst, nicht ein Esel verendete, nicht ein Handwerker kam zu Schaden.“

Immer wieder schickten die Pharaonen Expeditionen in die bergige Wüste zu beiden Seiten des Nils, um besonders schönen oder besonders harten Stein zu suchen und ihn in manchmal riesigen Blöcken, hunderte Tonnen schwer, in die Städte zu holen, für die Errichtung von Pyramiden, Totentempel, Stelen, Statuen, Obelisken und für die Herstellung von Sarkophagen, Gefäßen und allen möglichen Geräten. Nur in Stein, meinten die Ägypter den Traum vom ewigen Leben verwirklichen zu können. Das „Haus der Ewigkeit“, die Wohnstätte für das Leben nach dem Tod, das „eigentliche Leben“, musste aus Stein errichtet oder in den Stein hineingetrieben werden, während für die Unterkünfte im kurzen Diesseits vergängliches Material genügte, also Holz, Schilf und Ziegel aus getrocknetem, mit Stroh gemischtem Nilschlamm. Das eigentliche Ägypten, das für alle Zeit Bestand haben sollte, wurde – wie es ein Kunsthistoriker formulierte – zum „Staat aus Stein“.

Das hat in der Antike schon die Griechen, für die Ägypten seit dem 7. vorchristlichen Jahrhundert ein beliebtes Reiseziel war, tief beeindruckt. Voller Bewunderung gaben sie den vielen Schriften auf Mauern, Wänden und Stelen den Namen „Hieroglyphen“, das heißt „heilige, in Stein gemeißelte oder auf Papyrus gemalte Zeichen“. Auch die Römer, die noch bis in die Zeit des Augustus vorzugsweise mit Holz gebaut hatten, weswegen Roms Feuerwehr ständig im Einsatz war, ließen sich von Ägyptens Steinbauten stark beeindrucken. Ja, die Römer wollten bald ebenso bauen und so holten sie sich nach der Zeitenwende aus den alten ägyptischen Steinbrüchen das schönste und kostbarste Material für ihre Tempel, Paläste und auch für die Wohnhäuser der

Reichen. Das veranlasste den Philosophen und Naturforscher Plinius den Älteren, der 79 nach Christus beim Ausbruch des Vesuvs ums Leben kam, zu einer nachdenklichen Klage über seine Zeitgenossen, weil sie die Steine zu „Gegenständen unserer ausschweifenden Üppigkeit“ machten. Die Natur, so schrieb Plinius, habe die Gebirge „nur für ihre eigenen Zwecke gebildet, teils um die Eingeweide der Erde durch feste Bande miteinander zu verknüpfen, teils um das Ungestüm der Flüsse und Ströme in Schranken zu halten. Wir Menschen aber, fuhr Plinius fort, „durchschlagen die Gebirge und schleifen sie fort und zwar zu keinem anderen Zweck, als zur Befriedigung unseres Verlangens nach Schönheit. Wir brechen sie zu tausend Arten von Steinblöcken, Schiffe werden für deren Transport gebaut und über die Fluten der Meere, den wildesten Teil der Natur hinweg, werden Felsen hierhin und dorthin verbracht.“ Und er fügt noch ganz andere, moderne Aspekte hinzu: „Erwäge jeder bei sich selbst, wenn er die Preise dafür hört, wenn er sieht, wie die Massen hin- und hergeschleift werden, wie weit glücklicher das Leben ohne diese Dinge wäre und dass Menschen dies nicht nur tun, sondern auch ertragen müssen“. Da nahm er Bert Brecht vorweg, der fast zweitausend Jahre nach ihm fragte: „Wer baute das siebentorige Theben? In den Büchern stehen die Namen der Könige, aber haben die Könige die Steinbrocken auch selbst herbeigeschleppt?“

Das Interesse daran, woher das Material für die Errichtung der unzähligen Bauten, angefangen von den ersten fassbaren altägyptischen Siedlungen, dann zu den spektakulären ägyptischen Großprojekten und später römischen und in der Folge auch islamischen Bauten während eines Zeitraumes von 7000 Jahren kam, lag bis vor einigen Jahren im Schatten archäologischer Aktivitäten. Die Frage, woher alle die in Kunst und Architektur verarbeiteten Steine stammen, wurde kaum gestellt. Man begnügte sich mit der Kenntnis von einigen Steinbrüchen, die seit jeher wegen ihres besonders begehrten Materials berühmt waren.

Bekannt war zum Beispiel der Gebel Ahmar („Roter Berg“) bei Kairo, von dem der so genannte „Quarzit“ stammt, eigentlich ein silifizierter Sandstein, den die Ägypter „Wunderstein“ nannten, weil seine rote Farbe in vielen Variationen auftritt. Oder die Steinbrüche bei Hatnub, östlich von Assuan, die früher „Goldhaus“ hießen, weil da der überaus geschätzte Calcit–Alabaster vorkommt. Berühmt waren auch immer die Brüche des „Nubischen Sandsteins“ am Gebel Silsila, die das Material für fast alle Tempel Oberägyptens lieferten. Und vor allem die Steinbrüche bei Assuan, von wo der Granit stammt, auch der besonders begehrte „Rosengranit“ und wo auch heute noch der berühmte „Unvollendete Obelisk“ liegt, der mit seinen 42 Metern Länge der größte aller Obelisken geworden wäre, wenn man ihn nicht infolge einiger zu spät erkannter Risse hätte aufgeben müssen.

Es gab in Ägypten aber sehr viel mehr Steinbrüche, hunderte, von deren Existenz bis vor kurzem kaum jemand wusste. Das hat sich bei einem Forschungsprojekt zur Herkunftsbestimmung altägyptischen Steinmaterials herausgestellt, das von der Ägyptologin Rosemarie Klemm und ihrem Mann, dem Geologen Dietrich Klemm unter der Beteiligung der „Staatlichen Sammlung Ägyptischer Kunst München“ und des „Instituts für Allgemeine und Angewandte Geologie der Universität München“ durchgeführt und von der Stiftung Volkswagenwerk finanziert wurde. In vier mehrwöchigen Feldkampagnen während der Jahre 1977, 1978, 1980 und 1981 hat das Ehepaar Klemm aus über vierhundert antiken Steinbrüchen, viele wurden von ihnen erst wieder entdeckt, über tausend Gesteinsproben nach Hause gebracht und mit naturwissenschaftlichen Methoden analysiert. Und in mehreren tausend Farbdias haben sie in den manchmal weit abgelegenen und schwer zugänglichen Steinbrüchen das Aussehen des Gesteins festgehalten, ebenso Inschriften, Reliefs, Zeichnungen, sowie die Spuren der ehemaligen Meißelführung, die in den einzelnen Epochen unterschiedlich und für die Datierung des Abbaus ganz

wichtig waren. Auch unfertige oder missglückte Werkstücke und oft auch abgenutzte Arbeitsgeräte konnten so dokumentiert werden.

Diese aufwändige Arbeit der beiden Wissenschaftler bildet die Grundlage einer Proben- und Analysenbank für Materialvergleiche. Damit kann die Materialherkunft von Bau- und Kunstwerken, auch von Museumsstücken genau bestimmt werden, was manchmal bei Datierungsfragen hilfreich ist, aber auch ganz neue und interessante Aspekte für die Interpretierung eröffnet. So war es bisher eine offene Frage, woher die ungeheuren Steinmassen für die großen Pyramiden von Gizeh stammen. Herodot, Begründer der griechischen Geschichtsschreibung und Ägyptenreisender hatte um 450 v. Chr. geschrieben, dass für die größte, die Cheopspyramide, Steinblöcke aus ganz Ägypten zusammengetragen wurden. Das ist oft bestritten worden. Die vom Professorenehepaar Klemm genommenen Proben und deren Analysen aber belegen deutlich, dass König Cheops um 2500 v. Chr. für sein gewaltiges Grabmal auch Material aus nahezu allen Kalksteingebieten Ägyptens verwenden ließ.

Das wirft freilich neue Fragen auf, Fragen des Transports zunächst. Während der 4. Dynastie, zu der König Cheops gehörte, wurden sechs Pyramiden errichtet, alle aus Kalkstein. Wie man errechnet hat, wurden für diese sechs Pyramiden innerhalb von 80 Jahren zwölf Millionen Steinblöcke, jeweils 50 bis 120 Zentimeter lang, verbaut. Das bedeutet auf 80 Jahre verteilt in ununterbrochener Folge etwa 400 Blöcke pro Tag, also durchschnittlich 40 pro Stunde oder alle anderthalb Minuten ein Block, eine gewaltige und für die Zeit vor 4500 Jahren eine unvorstellbare Bauleistung. Wie es ihnen gelang, die vielen und gewaltigen technischen Probleme, die dabei auftraten, zu lösen, bleibt in vielen Fällen unklar und gibt nach wie vor Raum für Bibliotheken füllende Spekulationsliteratur. Dass Bausteine, Architekturteile und Statuen mit Hilfe von hölzernen Rollen und Schlitten, gezogen von Menschen und Tieren, transportiert wurden, ist durch altägyptische Darstellungen belegt. Vieles wurde

mit Schiffen auf dem Nil transportiert, auch die bis zu 30 Meter langen Obeliskten. Aber von den Steinbrüchen zum Nil und später vom Nil zu den Baustellen ging es über Land, es wurden aufwändige Rampen gebaut, wobei der Boden vor dem eigentlichen Transport mit Nilschlamm gleitfähig gemacht wurde.

Nur schwer vorstellbar ist der Transport der berühmten „Memnonkolosse“ in Theben West, die einst den Eingang zum Totentempel Amenophis III. flankierten, im Vorfeld der thebanischen Nekropole. Von dem Totentempel sind nur noch wenige Reste erhalten, aber die beiden riesigen, 16 Meter hohen Sitzfiguren wachen da noch immer und kaum eine andere Denkmalgruppe Altägyptens hat Archäologen und Laien gleichermaßen in Staunen versetzt und beschäftigt. Jede der beiden Figuren bestand ursprünglich aus einem einzigen Block, ist also monolithisch und hatte im unbeschädigten Zustand ein Gewicht von 720 Tonnen. Die sorgfältige Untersuchung ergab nun, dass die berühmten Kolosse nicht vom Gebel Ahmar beim heutigen Kairo, sondern aus entgegengesetzter Richtung und zwar aus dem Abbaugbiet nordwestlich von Assuan in 200 km Entfernung angeliefert wurden.

Die in den Steinbrüchen noch immer sichtbaren Spuren lassen deutlich erkennen, dass Kalk- und Sandsteinblöcke mit Metallmeißeln und Holzschlägeln aus dem Felsen herausgeschlagen wurden, bis zum Beginn des Neuen Reiches um 1500 v.Chr. mit Kupfermeißeln, dann mit bronzenen und ab dem 6. Jahrhundert mit eisernen. Ganz anders erfolgte der Abbau von Granit und silifiziertem Sandstein, der fälschlich als Quarzit bezeichnet wurde. Da schlug man mit scharfkantigen Steinhämmern aus dem sehr harten Dolerit mannsbreite Spalten und legte auf diese Weise den Block frei, wie auch heute noch am „Unfertigen Obeliskten“ in Assuan sehr deutlich zu sehen ist. Dolerit ist ein dem Basalt sehr ähnliches Gestein mit einem, mikroskopisch betrachtet, kristallin stark verfilzten Gefüge, das den Stein sehr hart macht. Solche Dolerithämmer finden sich zu hunderten in frischem und scharfkantigem Zustand auf eigenen

Lagerplätzen und die, die kugelförmig abgenutzt waren und unbrauchbar geworden sind, in vielen Steinbrüchen. Viel später, in römischer Zeit, setzte sich die Keillochspaltung durch, bei der mit Meißeln eine Reihe von keilförmigen Löchern in das Gestein getrieben und der Block schließlich durch gleichmäßiges Einschlagen von Eisenkeilen in diese Löcher abgespalten wurde.

Etwa vierzig verschiedene Gesteinssorten wurden im alten Ägypten verarbeitet. Alle kamen aus dem eigenen Land, Ägypten war damit gesegnet. Manche Arten wurden unter Tage in Galerien oder horizontalen Stollen bis zu 200 m Tiefe abgebaut und so kommt es, dass kein Steinbruch dem anderen gleicht. Die Arbeit in den Steinbrüchen war hart. Sie wurde nicht von Sklaven geleistet, die es in Ägypten angeblich gar nicht gab, sondern in der Hauptsache von den Einwohnern des ganzen Landes, der meist bäuerlichen Bevölkerung, die schichtweise zu Steinbrucharbeiten herangezogen wurden, besonders wenn es bei den jährlichen Nilüberschwemmungen keine Arbeit in der Landwirtschaft geben konnte, im mittleren Reich für 72 Tage im Jahr. Es war Arbeit für den Pharaon, ihm, der gottesähnlichen Verkörperung des Staates, gehörte jeder Stein. Wenn hohe Beamte sich steinerne Denkmäler, „Häuser für die Ewigkeit“, also Grabanlagen, bauen wollten, mussten sie warten, bis der Pharaon ihnen die dazu notwendigen Bewilligungen gab und Steine zuwies, was immer auch als Ehrung galt. Jeder Stein, der aus dem Steinbruch kam, war beschriftet. Deswegen gehörten zu den Steinbruchexpeditionen auch immer viele Schreiber. Alle Teilnehmer solcher Expeditionen wurden vom Staat versorgt und entlohnt. Die Sorge für ihre Arbeiter haben die Pharaonen gern und oft dokumentiert. So ließ sich zum Beispiel der besonders baufreudige Pharaon Ramses II. diese Rede an seine Arbeiter in Stein meißeln: „Oh ihr erlesenen Arbeiter und Handwerker, welche mir Denkmäler meißeln in allen möglichen Formen der Anbetung, Arbeiten aus kostbarem Stein, herrliche Dinge; diejenigen, die in den Granit eindringen und in Quarzit bohren, höret, was wir euch sagen! Ich kenne eure schwierigen und korrekten Arbeiten. Man jubelt aber bei der Arbeit nur, wenn

der Leib voll ist. Deshalb sind euch die Speicher mit Korn gefüllt, um nicht zuzulassen, dass ihr auch nur einen Tag an Lebensmitteln Mangel habt; und deshalb fülle ich euch das Vorratshaus mit allen guten Dingen, bestehend aus Brot, Fleisch und Kuchen zu eurer Sicherung; Sandalen, Kleider, viel Salbe zum Salben eurer Köpfe alle zehn Tage. So mache ich dies alles, damit ihr existiert und wirklich mit ganzem Herzen für mich arbeitet. Ich, der König von Ober- und Unterägypten, Sohn des Ra, Ramses, begabt mit Leben.“

Nicht immer hat die Versorgung so gut geklappt, wie es die Pharaonen festschreiben ließen. Von einer Steinbruchexpedition Ramses IV. kamen 900 von 9262 Männern nicht zurück, sie waren in der Ostwüste umgekommen.

## 2.TEIL

### Gesteine im Niltal

#### **Kalkstein**

Es ist in diesem Rahmen ganz unmöglich, alle Steinbrüche der alten Ägypter und nicht nur die Kalksteinbrüche zu erwähnen oder gar eingehender zu besprechen, so dass es notwendig ist, an Hand einzelner Beispiele zu zeigen, welchen gigantischen Aufwand diese Menschen, freiwillig oder unfreiwillig, vor zwei- bis fünftausend Jahren oder noch viel früher, betrieben haben, um ihren hunderten Göttern, Königen und königlichen Beamten riesige Tempel, Paläste und Grabstätten zu bauen, die auch ihnen selbst, so glaubten sie, zum Heil und zum ewigen Leben verhelfen sollten.

Der Nil hat sich in einer Länge von südlich Luxor bis nach Kairo in ein mächtiges, flachliegendes Kalksteinplateau eingeschnitten. Durch die natürliche Verwitterung zeichnen sich in den so entstandenen 50 m hohen Gebirgsabbrüchen Lagen härteren Gesteins ab, welche der natürlichen Zersetzung am besten getrotzt haben. Das erkannten bereits die pharaonischen



Baumeister sehr früh und haben in genau diesen Lagen ihre Steinbrüche angelegt. Entlang dieser nordsüdlich gerichteten Strecke von über 600 km Länge finden sich in den gebirgigen Flanken des Niltals immer wieder beachtliche Steinbrucharanlagen, in denen seit dem Altertum Kalkstein gewonnen wurde und noch immer abgebaut wird. Diese Kalksteine Ägyptens entstammen alle einer einheitlichen geologischen Entstehungszeit, dem Eozän vor 34 - 53 Millionen Jahren. Bei der Fahrt durch das Niltal erkennt man diese Lagen problemlos durch die großen, von der Ferne schwarz erscheinenden Mundlöcher dieser häufig im Untertagebau betriebenen Steinbrucharanlagen. Nur in seltenen Fällen wurde der gesamte Hang abgebaut, wobei verhältnismäßig viel Abraum durch die darüber liegenden, aus Verwitterungsgründen für ein Bauvorhaben nicht geeigneten Kalksteinschichten entstanden ist.

Unter Kalkstein versteht man ein durch Sedimentation in einem Meer entstandenes Gestein, das vorwiegend aus Calciumkarbonat, Calcit -  $\text{CaCO}_3$  aufgebaut ist. Primär wurden die gesamten ägyptischen Kalksteine durch die Wechselwirkung von pflanzlichen und tierischen Organismen und Meerwasser gebildet, wobei diese Lebewesen das im Wasser gelöste Calciumkarbonat entweder durch ihren Stoffwechsel direkt zur Fällung brachten oder durch Einbau in ihre körpereigenen Skelett- und Schalenteile dem Wasser entzogen. Nach deren Ableben sammelten sich Schlämme mit den Resten dieser meist einzelligen Protisten zusammen mit Algen und Resten von höheren Arten, Muscheln, Schnecken und Stachelhäutern am Meeresgrund. Diese Schlämme, die immer dickere Schichten bildeten, unterlagen mit der Zeit der Diagenese, den Einflüssen von Druck und Temperatur und wurden dann auch durch teilweise Auflösung und neuerliche Ausfällung (Umkristallisation) andernorts zum vorliegenden Gestein verfestigt. Durch tektonische Prozesse wurde der so gebildete Meeresboden später über die Wasseroberfläche angehoben und bildet auf diese Weise die heutigen Kalkgebirge.

Die extreme Vielfalt des inneren Aufbaus der ägyptischen Kalksteine wird erst bei der mikroskopischen Untersuchung deutlich. Bereits mit der kleinsten Übersichtsvergrößerung wird bei den meisten ägyptischen Kalken eine bimodale Grundstruktur des Gefüges deutlich: In einer weitgehend gleichkörnigen Grundmasse, der Matrix, treten häufig Komponenten auf, die sich von der Matrix eindeutig unterscheiden lassen. Diese Komponenten bestehen meistens aus Fossilien oder deren Resten, weniger häufig aus Peloiden, rundlichen Strukturen von Kothäufchen kleiner und kleinster Meeresbewohner oder aus Ooiden, kugelförmigen Gebilden mit schaligem Aufbau von Calciumkarbonat um einen winzigen Sandkornkeim herum und Gesteinsbruchstücken, vorwiegend Quarzkörnern, die vom Festland über Flusssysteme in die marinen Kalkschlämme eingeschwemmt worden sind. Die Fossilien und deren Reste treten in außerordentlich variationsreichen Formen auf. Für die vorwiegend eozänen Kalke sind die artenreichen einzelligen Großforaminiferen, wie Nummulite (von lat. „Nummus“ für Münze) als Leitfossilien (vom unteren Eozän bis zum oberen Oligozän), von besonderer Bedeutung. Daneben treten aber auch frühere Formen auf wie Dicocyclina, Assilina, Alveolinen. Aber auch Kleinforminiferen, z.B. Globigerinen oder Orbitolinen kommen vor, auch Korallenreste, Muschelschalen und Seeigelstacheln. Ebenso besitzen Algen für den Aufbau dieser Sedimente eine große Bedeutung. Diese Materialien können aber bei der Umwandlung von lockerem Kalksand in das Gestein durch Diagenese mehr oder weniger vollständig verschwinden und nicht mehr als solche erkennbar sein.

Die Grundmasse der ägyptischen Kalke kann man in zwei Grundtypen untergliedern. Die Mikritmatrix und die Sparitmatrix. Die meist durch Algen gebildeten Mikrite haben ein so feinkörniges Gefüge (1-4 $\mu$ m), dass man im Allgemeinen mikroskopisch keine Differenzierung mehr erkennt. Erst die Sparite sind in der Kornausbildung so großflächig ( $\geq 10\mu$ m), dass man die

einzelnen Körner mikroskopisch auch ohne Rasterelektronenmikroskop unterscheiden kann.

Korngröße, Fossilgehalt und zonarer Aufbau der Kristalle sind Hilfsmittel, um mit vorwiegend mikroskopischen, auch elektronenmikroskopischen Methoden einzelne ägyptische Bauwerke mit den Steinbrüchen, die das Material zu ihrem Bau geliefert haben, zu verbinden. So zeigen die Datenvergleiche eines bestimmten Steinbruchmaterials in Qurna mit dem Kalk, aus dem der berühmte Totentempel der Pharaonin Hatschepsut in Deir el-Bahari errichtet wurde, sehr gute Übereinstimmung.

### **Kalksteinbruch Mokattam (Ostufer)**

Das große Steinbruchgebiet südlich von Kairo, so wie es sich heute darstellt, wurde im Wesentlichen im 19. und 20. Jahrhundert von den Arabern ausgebeutet, um Baumaterial für die Erweiterung von Kairo zu gewinnen. In den oberen Horizonten der Abbauwände aber sind viele Öffnungen der alten Galeriesteinbrüche zu erkennen. Sie waren entsprechend des lagenweise geschichteten Kalksteinmassivs in genau definierten Horizonten angelegt, so dass die Kalksteinblöcke jeweils von einer tonigen Zwischenlage begrenzt waren, was ihre leichte Ablösung ermöglichte. Der auffällig stark von relativ dunklen, bräunlichen Farbtönen bis hin zu weißlichen Varietäten gefärbte Kalkstein, der sich deutlich in verschiedenen Höhen der Ablagerung voneinander absetzt, ist abgesehen von einigen Gipsbildungen, wenig witterungsanfällig. Er ist vielerorts aufgrund des hohen natürlichen Salzgehaltes von einer locker aufsitzenden, oft zentimeterdicken Kruste von Ausblühungen bedeckt, die die Steinoberfläche nicht zerstört hat und so kann man die außerordentlich gut konservierten Meißelspuren nach dem Abkratzen des Salzes noch genau erkennen. Im Allgemeinen sind die Kalke des oberen Mokattam von ausgezeichneter Korrosionsresistenz. Dies trifft jedoch weniger auf die feinen, fossilarmen Kalke an der Basis des Gebirges zu, die von den Arabern stark

genützt wurden, da hier migrierende Wässer eine geringe Durchlässigkeit vorfinden und deshalb im Gestein selbst höheren Lösungsschaden verursachen können. Die fossilreicheren und entsprechend poröseren mittleren und oberen Abbaulagen, vor allem von den alten Ägyptern verwendet, haben dagegen eine sehr günstige Permeabilität, sofern sie nicht auf der Oberfläche durch Glättung oder Reliefdekoration verdichtet wurden und die Poren nicht mehr diffusionsoffen sind.

Diese Kalke aus dem unteren Ober - Eozän sind durch den hohen Fossilanteil mehr oder weniger porös, aber durch Umkristallisation können Hohlräume im Gefüge, z.B. in den Kammern der Fossilien und im mikritischen Gefüge der Grundmasse geschlossen oder verengt werden.

Im bioklastischen Material lassen sich vor allem kleinere Nummulitenarten, aber neben Ostracoden (Muschelkrebse), Echinodermenreste (Seeigel) und auch Muschelbruchstücke erkennen.

Das von hier stammende Material wurde bei den Pyramiden von Giseh sowohl für das Kernmauerwerk als auch für die Verkleidung verwendet.

### **Kalksteinbruch Giseh – Plateau (Westufer)**

Im nördlichen Randbereich der Grabanlage des Chentkaus aus der 4. Dynastie sind die typischen Strukturen des ehemaligen Steinbruchbetriebes im bereits ausgebeuteten Steinbruchareal deutlich zu erkennen. Auf der Oberfläche der steil abgearbeiteten Wände sind halb ausgehauene Blockformate bei der Aufgabe des Steinbruchs zurückgelassen und in der gesamten Höhe der abzubauenden Gesteinslage bereits Trennfugen hergestellt worden. In die Steinbruchwände wurden, wie sonst anderswo auch, in späterer Zeit Felsgräber angelegt und eingetieft, aber auch kleine Tempel und Wohnstätten, heutzutage dienen sie oft militärischen Zwecken als Waffenmagazine in gesperrten Arealen. Westlich, an dieses Steinbruchgebiet anschließend, liegt ein großes und besser zu erkennendes Steinbruchareal, das als wichtigstes Liefergebiet für das

Kernmaterial der Cheops - Pyramide, aber auch der des Chefren angesehen wird.

Trotz der tiefen Versandung erkennt man in der großen Mulde südöstlich der Mykerinos - Pyramide ein ehemals weiträumiges Steinbruchareal, das schwerpunktmäßig für den Bau des Mykerinos - Pyramidenbezirks angelegt wurde. Als Studienobjekt der Meißelspuren aus der Zeit des Alten Reichs, sowie des Verfahrens der Ablösung großer Blöcke vom Untergrund durch Abhebeln mit Balken, die in Ankerlöcher gesteckt wurden, ist dieser eindeutig zu datierende Steinbruch mit seinen klaren Strukturen, die sich unter der Sandbedeckung nahezu verwitterungsfrei erhalten haben, bestens geeignet. Makroskopisch ähneln die Kalke dieses Steinbruchareals denen der oberen Abbaulage vom Mokattam. Der zahlreiche Fossilinhalt des sehr porösen Gesteins ist deutlich zu sehen. Mikroskopisch betrachtet erkennt man, dass der Hauptanteil der Matrix aus sparitischem Calzit besteht, der in idiomorphen, zonar gebauten Einzelkristallen zuckerkornartig ausgebildet ist. Die Größe der Einzelkörner beträgt 0,01-0,02mm.

### **Kalksteinbruch Tura – Maasara (Ostufer)**

Der wohl bekannteste und auch größte Kalksteinbruch Ägyptens liegt im Ostufergebirge südlich von Kairo. In dem steil zum Niltal hin abfallenden Gebirgsrücken sind vorwiegend tiefe Galeriesteinbrüche angelegt worden, die bis zu 100 Meter und mehr in den Berg führen können.

Man weiß aus altägyptischen Quellen, dass der „schöne weiße Stein“ aus Tura bereits im Alten Reich gebrochen wurde. In den Steinbrüchen selbst sind Inschriften aus dem Mittleren Reich bis in die Ptolemäerzeit dokumentiert. Sie erwähnen häufig die „Eröffnung“ eines Steinbruchs während der Regierung eines bestimmten Herrschers, gelegentlich mit der Bezeichnung des Bauvorhabens, für das der Bruch in Betrieb genommen wurde. Der Transport der in den Steinbrüchen gewonnenen Blöcke zu den Baustellen und Werkstätten

erfolgte auf eigens angelegten Rampen, auf denen sie auf Rollen oder hölzernen Schlitten von vielen Menschen oder mehreren Ochsen gezogen wurden. Ein Block in Pyramidenbausteingröße konnte in einer der Galerien, noch auf Holzrollen montiert, vor Ort gefunden werden.

Generell lässt sich im gesamten Steinbruchrevier das in idealer Weise nahezu waagrecht geschichtete Gestein relativ einfach abbauen. Da die einzelnen, durchschnittlich 0,8 – 1,5 m mächtigen Gesteinslagen durch tonige Zwischenlagen voneinander abgesetzt sind, ließen sich die Blöcke durch einfaches Abheben vom Untergrund lösen und es mussten lediglich die seitlichen Flächen mit Schlägel und Meißel abgetrennt werden. Sicherlich hat die, verglichen mit anderen Steinbruchgebieten vergleichsweise unkomplizierte Abbautechnik neben der besonders guten und homogenen Qualität zur landesweiten Verbreitung des Tura - Kalksteins in Architektur und Kunst aller Epochen der ägyptischen Geschichte beigetragen.

Makroskopisch sind die weißgrauen bis graugelben Kalke von Tura ebenso wie die von Maasara außerordentlich feinkörnig, wenig porös und augenscheinlich fast fossilfrei. Sie zeigen keinerlei Schichtung, sondern ein isotropes Korngefüge, das beim Anschlagen schalig muschelrig abspaltet. Mikroskopisch erkennt man eine mikrosparitische Matrix mit sehr fein aufgearbeitetem biogenen Schuttmaterial, die wenigen Fossilien sind weitgehend aufgelöst und enthalten schlecht kantengerundete Quarzkörner. Wegen der günstigen Gefügeeigenschaften lassen sich aus den sehr mächtigen Kalken problemlos mehrere Meter große Blöcke gewinnen. So findet man einzelne Werkstücke in Pyramidengrabkammern von bis zu 5 m Länge, 1,5 m Höhe und 3 m Breite, wobei dieses Material trotz der hohen Gewichtsbelastung bis heute stabil dasteht. Die zahlreichen pharaonischen Galeriesteinbrüche von Tura und Maasara deuten auf eine ausgedehnte antike Verwendung dieses meistbegehrten Kalksteintyps hin. Wegen der guten Bearbeitbarkeit infolge des fein- und geringporösen Gefüges wurden diese Kalksteine ab der 4. Dynastie unter Pharao

Snofru bis in die Spätzeit als Bau- und Skulpturmaterial verwendet. Ungeheure Mengen wurden für die Verkleidungen von Pyramiden, Tempelanlagen und Aufwegen zu den Königsgräbern gebraucht. An der Knickpyramide in Dahshur lässt sich heute noch zeigen, dass polierte Oberflächen der Außenverkleidung seit fast 5000 Jahren nur eine minimale Verwitterung durch Winderosion zeigen.

### **Nubischer Sandstein**

Im pharaonischen Ägypten lässt sich die Verwendung von Sandstein erst ab dem Mittleren Reich nachweisen. Dieser Gesteinstyp flankiert das Niltal südlich der Kalksteingebiete ab Esna bis tief nach Nubien hinein. Geologisch stammt dieser Sandstein aus der Kreidezeit und wird als „Nubischer Sandstein“ bezeichnet. Der Steinbruch von Kertassi, aus dem das Material für die bekannten von Tempel von Philae und Kalabscha stammt, ist heute vom Nasser-Stausee überschwemmt. Unter den vielen anderen heute noch gut sichtbaren Plätzen der Sandsteingewinnung nimmt der Steinbruch von Gebel Silsila nördlich von Assuan, von pharaonischer bis in die römische Zeit durch seine ununterbrochene Abbaugeschichte einen wichtigen Platz ein. Am Gebel Silsila durchschneidet der Nil einen Doppelhügel schluchtartig, eine geologische Störungszone, wo auf beiden Uferseiten in pharaonischer Zeit, aber erst unter Mentuhotep II. rege Steinbruchtätigkeit geherrscht hat. Dieser Pharaos hat seinen Totentempel in Theben-West aus Sandstein bauen lassen, wobei er die dunklen Varietäten des Materials bevorzugte. Die Reichstempel von Karnak, die großen Tempel von Luxor und Qurna, ebenso wie die ptolemäischen Tempel von Dendera, Kom Ombo, Edfu und Esna wurden aus dem dort abgebauten Werkstoff gebaut. Als Sandstein werden Sedimente bezeichnet, welche vorwiegend aus 0,063–2,0 mm großen Quarz- oder Silikatkörnern bestehen. Der Sortierungsgrad der Körner kann manchmal durchaus unterschiedlich sein, meistens zeigt er aber eine gute Gleichmäßigkeit und ist sehr ausgereift, das heißt, es handelt sich um Quarzsandstein, wobei der Quarz sehr dominant mit fast 100% Anteil auftritt

und andere ehemalige Komponenten, wie Feldspäte, Glimmer und Schwermineralien, die schon vor ihrer Ablagerung durch Verwitterung eine intensive chemische Aufarbeitung durchliefen und nur die verhältnismäßig resistenten Quarzkörner eine Sedimentationschance erhielten.

Jeder Sandstein ist aus einem ursprünglich lockeren Sand entstanden, der wiederum aus einer mehr oder weniger dicht gepackten Struktur von einzelnen Sandkörnern besteht, die sich gegenseitig tangential berühren. Erst bei der Diagenese, also der Steinverfestigung, werden die einzelnen Sandkörner durch Druck und mit Zement verbacken. Die Bindemittel können verschiedene Stoffe sein, die da in langen Zeiträumen, oft hunderttausende von Jahren, zwischen die einzelnen Körner eindringen und ein mehr oder weniger hartes Gestein durch ein Anwachsen an die Sandpartikel oder Auskristallisieren zwischen diesen bilden. Diese Zemente können dann, aus aufsteigenden Lösungen stammend, aus Quarz, Limonit (aus verwittertem Eisenkarbonat) oder Calciumkarbonat bestehen und bestimmen auch die Farbe des Gesteins, die von dunklem rotbraun bis grauweiß reichen kann. Der helle, von Eisenverbindungen leicht gefärbte Stein wurde bis auf wenige Ausnahmen stets bevorzugt. Manchmal sind die Sandsteine auch geschichtet, es kommen auch tonige Lagen vor, die von den Steinmetzen erkannt und entweder ausgespart oder auch als Trennfugen benutzt wurden.

In den Steinbrüchen von Silsila konnte man erstmalig die charakteristischen Meißelspuren beobachten und interpretieren und so auf Grund ihrer Form den ungefähren Zeitraum des Abbaus feststellen. Verschiedene Techniken der Steinbearbeitung in den langen Epochen der altägyptischen Kultur bis in die römische Zeit, vor allem die sich entwickelnden Werkzeuge aus Stein, Kupfer, Bronze und Eisen bis schließlich zum Schwarzpulver, ermöglichen eine Zuordnung zu verschiedenen Perioden: Altes/Mittleres Reich, Frühes Neues Reich, Ramessidenzeit/Spätzeit, Ptolemäische Zeit, Römische Zeit und Arabische Epoche. Die Meißelspuren des MR zeichnen sich durch kurze



Verlaufsformen und Unregelmäßigkeit in ihrem parallelen Verlauf aus, geschlagen mit weichen Kupfermeißeln. Im NR wurden dann Bronzegeräte verwendet, die einen längeren Rillenverlauf ermöglichten, wobei auch Fischgrätenmuster gehauen wurden. In der Ramessidenzeit werden dann deutlich längere Meißel verwendet, die waagrechten Absätze markieren die jeweiligen Blockhöhen. Die ptolemäischen und römischen Arbeiter verwendeten Stahlmeißel, die einzelnen Spurrillen wurden auffällig lang (20cm) und eng parallel. In der arabischen Epoche sind die einzelnen Spuren kurz und unregelmäßig.

Aus Glaubensgründen, aus Zeitvertreib oder aus Zweckmäßigkeit findet man in den Steinbrüchen sehr häufig in den Stein geschlagene Tempel, Stelen, Graffiti von Menschen und Tieren, verschiedenste Inschriften, Namenskartuschen von Königen oder Steinmetzzeichen, die heute oft Aufschluss geben über die Zeit des Abbaus und die Anliegen der Steinbrucharbeiter. Sie sind oft fein säuberlich, manchmal aber auch nur flüchtig ausgeführt.

### **Silifizierter Sandstein („Quarzit“)**

Silifizierter Sandstein, nicht ganz korrekt auch Quarzit genannt, wurde in Ägypten während der pharaonischer Zeit und bis in die Römerzeit im Wesentlichen an zwei Stellen abgebaut: am Gebel el-Ahmar nordöstlich von Kairo und westlich von Assuan.

Unter silifiziertem Sandstein ist speziell in Ägypten eine Gesteinsqualität zu verstehen, in der durch sekundäre Silifizierung das offene Porenvolumen des Sandsteins oberflächennah mit Quarz aufgefüllt wurde, so dass ein sehr kompaktes und hartes Gestein entstand, das häufig hellgrau bis beige ausgebildet ist, jedoch durch unterschiedliche Eisengehalte auch gelbbraun bis tiefrotbraun gefärbt sein kann. Alle diese Farbvarietäten wurden in großen Mengen abgebaut und verarbeitet. Die Silifizierungsprozesse im Gebiet von Assuan sind an eine ehemalige Landoberfläche im „Nubischen Sandstein“

gebunden. Wahrscheinlich haben im Miozän im Untergrund zirkulierende Wässer aufgrund eines erhöhten pH-Wertes Kieselsäure gelöst und beim Aufstieg durch Änderung der Lösungsbedingungen und durch Verdunstung in den obersten Schichten der Sandsteine ihren Kieselsäuregehalt allmählich in das offene Porenvolumen des Sandsteins wieder abgelagert. Durch eine derartig langsame Kieselsäureabgabe konnten die Sandkörner in ihrer kristallographischen Orientierung langsam weiter wachsen, bis das Porenvolumen vollkommen geschlossen war. Es entstand so, in einigen hunderttausend Jahren, ein charakteristisches mikroskopisches Pflastergefüge. Nördlich des Gebel el-Mokattam und südwestlich von Heliopolis bei Kairo liegt ein bekanntes Steinbruchgebiet, der Gebel el-Ahmar, der „Rote Berg“, der heute mitten im Bebauungsgebiet der Hauptstadt Ägyptens liegt, rezent überbaut wird, wobei natürlich die zahlreichen antiken Spuren, Inschriften und die Muster der Bearbeitung, die für die Abbautätigkeit in den verschiedenen Zeiträumen charakteristisch sind, außer Halden von Abschlagschutt und abgenützten Hämmern aus Dolerit verloren gehen. Eine unfertige Königsstatue ist einfach verschwunden.

Sowohl im geologischen Alter, als auch in der Silifizierungsgenese ist der silifizierte Sandstein vom Gebel el-Ahmar aber deutlich unterschiedlich zu dem von Assuan. Hier wurden die Sande von hydrothermalen, quarzhaltigen Lösungen durchströmt, was durch basaltischen Vulkanismus in Gang gesetzt wurde. Schnelle Änderungen der Lösungsbedingungen im offenen Porenvolumen führten dann zur Ablagerung von feinkörnigen Quarzkristallen. Das rote Hartgestein war der königlichen Verwendung vorbehalten und wurde wegen seiner vielfältigen Farbenpracht von den antiken Steinbildhauern auch „Wunderstein“ genannt. Er war derart berühmt, dass gelegentlich die Herkunft auf daraus gefertigten Denkmälern eigens vermerkt wurde. Ramses II. schildert auf einer Stele, dass er bei einem persönlichen Besuch des Steinbruchs eine Stelle entdeckte, wo sich ein riesiger, monolithischer Block, größer als ein

Obelisk gewinnen ließe und ordnete an, aus diesem eine Kolossalstatue seiner als Gott verehrten Person anzufertigen.

Mikroskopisch erkennt man eine klare Überwachsung der einzelnen Körner des ursprünglich nicht verfestigten Sandgefüges, wobei die Struktur der Sandkörner durch einen limonitischen Wüstenlacküberzug, der vor der Silifizierung entstand, deutlich zu erkennen ist. Nach diesen Vorgängen können aber noch in sich geschlossene Poren erhalten bleiben, die Permeabilität des Gesteins ist daher sehr gering bis nicht vorhanden.

In den Zwickelräumen kann man typischerweise eine Sägezahnstruktur rund um die Körner erkennen, die ganz charakteristisch für dieses Vorkommen, also ortstypisch sind. Der Mineralbestand der Sandkörner ist nahezu ausschließlich aus Quarz aufgebaut, Mikroklin und Plagioklas fehlen fast vollständig. Das Auftreten von Limonit in den Zwischenräumen der Quarzkörner bestimmt im Wesentlichen den äußeren Farbeindruck von rot bis zu einem dunklen Braunrot. Entsprechend der Porenraumauffüllung mit sekundärem Quarz ist dieses Gestein außerordentlich witterungsresistent, was der Grund für die große Wertschätzung während der gesamten pharaonischen Zeit gewesen sein mag.

Im Gebiet westlich von Aswan am linken Ufer des Nils liegt der andere Schwerpunkt altägyptischer Gewinnung von silifiziertem Sandstein. Die wichtigsten Abbauplätze konzentrieren sich auf zwei Höhenrücken. Den Gebel Gulag und des Gebel Tingar. Diese Hügelketten sind Relikte eines ehemaligen Gebirges aus Nubischem Sandstein, dessen oberste Partien sich durch Kieselsäureanreicherungen im Porenvolumen des Sandsteins verdichtet haben und so der natürlichen Verwitterung besser standhalten konnten als die Schichten im nicht verfestigten Sandstein.

Der systematische Abbau dieses Gesteinstyps scheint in der Gegend westlich von Assuan vorwiegend seit dem Neuen Reich und weitgehend kontinuierlich bis in die Römerzeit betrieben worden zu sein. Eine besondere Vorliebe für dieses Material hat Amenophis III. empfunden, denn nicht nur die

Memnonkolosse in Theben-West, die den Pharaos selbst darstellen, eine große Stele und eine monumentale Pavian - Thotfigur ließen sich dieser Lokalität zuordnen.

Die Verwitterungsresistenz dieses silifizierten Sandsteins ist direkt mit dem Ausmaß der sekundären Silifizierung und der damit verbundenen Ausfüllung des Porenvolumens des ursprünglichen Sandsteins verbunden. Die Silifizierung erfolgte jedoch in den einzelnen sedimentären Schichten des Ausgangsgesteins unterschiedlich intensiv, so dass hochresistente Lagen mit etwas weniger witterungsresistenten Lagen abwechseln. Durch eine Selektion des Materials im Steinbruch können für mittlere und kleine Werkstücke problemlos die besten Steinqualitäten ausgesucht werden. Bei sehr großen, monolithischen Werkstücken, wie den Memnon - Kolossen mit 16m Höhe und 720 Tonnen Gewicht ließ sich wegen der Mächtigkeit der hierfür notwendigen Gesteinsschicht nicht vermeiden, dass auch etwas weniger verwitterungsresistente Partien in das gesamte Werkstück einbezogen werden mussten. Nach einem Erdbeben im Jahr wurden die kolossalen Sitzfiguren zerstört, aber im 2.Jahrhundert unter dem römischen Kaiser Septimius Severus wieder instand gesetzt.

Silifizierter Sandsteine wurden im Altertum lediglich an zwei Stellen abgebaut, am Gebel el-Ahmar bei Kairo und am linken Nilufer gegenüber der Stadt Assuan beim Gebel Gulag und Gebel Tingar. Eine Grobunterscheidung zwischen beiden Vorkommen ist im Dünnschliffbild möglich. Eine genauere Differenzierung bedarf jedoch einer aufwendigeren geochemischen Analytik der Spurenelemente. Das hier behandelte Gestein besteht aus weit über 90% aus  $\text{SiO}_2$ , vorwiegend in Form von Quarz und von schwankenden Eisengehalten. Die Elemente Blei, Zink und Kupfer erlauben eine Zuordnung zu den jeweiligen Steinbrüchen, weil im Nubischen Sandstein Kupfer enthalten ist, in den durch die Basaltintrusionen bewirkten Silifizierungen aber Mangan, Kobalt und Nickel

als Spuren vorhanden sind. Somit können auch die verschiedenen Denkmäler den Steinbrüchen zugeordnet werden.

### **Granit und Granodiorit in Assuan**

Südlich von Assuan, auf der rechten Nilseite tritt ein relativ begrenztes Gebiet mit präkambrischen Magmatiten wie eine Insel im Nubischen Sandstein auf. Die Gesamtfläche inklusive der ebenfalls genutzten Nilinseln Sehel, Saluga und Elephantine beträgt etwa 20 km<sup>2</sup>. Hier wurden seit dem frühen Alten Reich unter Djoser in der 3. und Cheops in der 4. Dynastie bis in die römische Kaiserzeit hinein und auch heute noch ununterbrochen Granite und Granodiorite abgebaut. Das wichtigste auftretende Gestein ist ein teilweise sehr grobkörniger rosaroter Granit, der in der deutschen Ägyptologie als „Rosengranit“ bekannt wurde. Und daneben ein dunkelgrauer Granodiorit bis Quarzdiorit, der gerne als „Schwarzer Granit“ bezeichnet wird („Stein von Rosette“).

Die Basis für die Gewinnung der granitischen Werksteine waren zunächst nicht die im eigentlichen Gebirge fest anstehenden Gesteine, sondern durch Verwitterung entstandene, meist rundliche Blöcke, so genannte „Wollsackblöcke“ mit Ausmaßen bis über 100m<sup>3</sup>. Diese aus ihrem Gesteinsverband gelösten Blöcke bedeckten ursprünglich die gesamte Oberfläche der Granit- und Granodiorithügel. Reliktisch sind diese Formationen auch heute dort noch zu erkennen. Sie lieferten ideale Ausgangsblöcke für Werkstücke aller Art, vom Steingefäß bis zum Sarkophag. Werkstückgrößen in den Ausmaßen eines Obeliskens ließen sich aber nicht mehr aus diesen freien Blöcken gewinnen. Hier mussten unverwitterte Granitpartien verwendet werden, die unterhalb der Oberflächenverwitterungszone zum Vorschein kamen.

Die Gesamtmenge des bis in die römische Zeit abgebauten Granits wird auf 220000m<sup>3</sup> und dann noch ein Mehrfaches während der römischen Kaiserzeit geschätzt.

In antiker Zeit war die übliche Form der Gesteinsgewinnung die Bearbeitung mit Steinwerkzeug, mit Dolerit- oder zuweilen auch mit Granithämmern, von denen man tausende fand, die, wenn sie abgenützt waren, einfach verworfen wurden. Dolerit, ein basaltartiges Gestein von großer Härte, kommt als Ganggestein ebenfalls in den Steinbrüchen vor, wo es in scharfkantigen Brocken abgebaut wird. Sie sind etwa 5kg schwer und werden mit beiden Händen gegen das Werkstück geschlagen, wobei kleine Splitter oder auch nur Steingrus in mühevoller Arbeit abgetragen werden. Dabei entstanden ganz charakteristische Bearbeitungsmuster, rundliche 60cm breite Ausbuchtungen, die jeweils einen Arbeitsplatz in der Breite eines Mannes ausmachten. Man hat errechnet, dass ein Arbeiter in einem 8-stündigen Arbeitstag  $6000\text{cm}^3$  Material abschlagen konnte. An einem mittleren Obelisk wurde mit der entsprechenden Mannschaft 7-12 Monate gearbeitet.

In römischer Zeit hat man die Hartsteinblöcke mit Keilspalttechnik in die grobe Form gebracht und weiter mit Stahlmeißeln bearbeitet.

### **3. TEIL**

#### **Gesteine der nilfernen Ost - und Westwüsten**

Vorwiegend in der Ostwüste befindet sich eine Vielzahl ausgefallener Gesteinstypen, die von den Ägyptern vor allem in vordynastischer Zeit und in der Frühzeit ihrer kulturellen Entwicklung gerne zur Herstellung von Gefäßen und anderer Kleinkunst verwendet wurden. Drei Gesteine wurden damals bevorzugt. Ein meist dunkler Porphyrt mit groben rechteckigen Feldspateinsprenglingen, der aus über 600 Millionen Jahre alten Ganggesteinen stammt, die das noch ältere Ostwüstengebirge durchziehen. Weiters Serpentine und die mit ihnen geologisch verwandten Specksteine (das Mg-silikat Steatit, ein dichter weicher Talk). Aus ihnen wurden während der

gesamten ägyptischen Geschichte meist kleinformatige Objekte gefertigt. Ihr Vorkommen in den präkambrischen Gesteinsabfolgen der Ostwüste spendete das Gesteinsmaterial in den Wadigründen, von wo sich die durchziehenden Ägypter nach Bedarf geeignete kleinformatige Stücke mitnahmen. Lediglich im Vorkommen der grünen Schiefer und der Grauwacke, einer Abfolge von karbonzeitlichen Sedimenten, wurde bereits seit dem alten Reich das begehrte Material dieses „bekhen“-Steins in größerem Maßstab abgebaut.

Über 50 km tief in der nubischen Westwüste, auf der Höhe von Toshka, weit im Süden, wurde das bekannte „Chefregestein“ gebrochen, ein metamorph veränderter Anorthisit aus dem Präkambrium.

Neben diesen nur in kleineren Expeditionen betriebenen Steinbrüchen wurden jedoch in der römischen Kaiserzeit zwei sehr exakt geplante und organisierte große Steinbruchbetriebe in der Ostwüste angelegt: Die Anlagen am Gebel Fatira, der Mons Claudianus, wo ein leicht metamorph überprägter Granodiorit bis Quarzdiorit ansteht, sowie die weitläufigen Anlagen am Gebel Dokhan, der Mons Porphyrites, wo der nur den kaiserlichen Familien vorbehaltenen und zur damaligen Zeit auf der Erde wohl einmalige purpurrote Porphyrit in den obersten Lagen des über 1600 m hohen Gebirgsstockes ansteht.

### **Wadi Hammamat in der Ostwüste**

Das Wadi Hammamat ist eines von vielen ausgetrockneten Schluchten in den felsigen Bergen der Arabischen Wüste, es ist die wichtigste und kürzeste Route zwischen Nil und Rotem Meer und wurde über Jahrtausende, schon in prädynastischer Zeit, also vor ca. 5000 Jahren benutzt, heute ist es eine asphaltierte Straße. Das eigentliche Wadi („Tal der Badewannen“) erstreckt sich von der römischen Wegstation bei Bir Hammamat, hier sind etliche Sarkophage unfertig liegen geblieben, bis zum Bir Umm Fawakhir auf der Straßenverbindung zwischen Quft und Quseir. Davon zeugen viele antike Ruinen von kleinen Tempeln, Brunnen („Bir“), Lagerplätzen, hunderte

Felsinschriften, sowie Steinbrüche, antike Bergbaustätten und die einfachen Unterkünfte der Bergarbeiter.

Die große Anzahl von Inschriften, etwa 400 hieroglyphische, 150 demotische und griechische, datieren von der 4. Dynastie bis in das Jahr 238 n. Chr. (Kaiser Maximus). Sie tragen Namen und Titel von Expeditionsleitern, die bis zu 10.000 Arbeiter und Soldaten beaufsichtigten, um z. B. einen Sarkophag mit Deckel zu besorgen und auch die Namen von Pharaonen, für die die Werkstücke bestimmt waren, beispielsweise der Bericht von Bestellungen des Pharaos Sesostri I. für das Gesteinsmaterial für 60 Sphingen und 180 Statuen. Dafür wurden 17.000 Mann in die Wüste entsandt. Oder man hat die Lieferung von 200 Steinblöcken aus „bekhen“-Stein – Grauwacke dokumentiert.

Die Bearbeitung der Werkstücke aus diesem Hartgestein erfolgte in pharaonischer Zeit auch hier überwiegend mit Gesteinshämmern wie beim Granit in Assuan, was vielerorts an den weichen Arbeitsspuren zu erkennen ist.

Im Altertum wurde hier, neben Gold, das in zahlreichen Quarzgängen gefunden wurde, vor allem die begehrte Grauwacke (altägyptisch „bekhen-Stein“) und in geringerem Maß die grüne Breccie und Siltstein abgebaut. Die auf natürliche Weise durch weitmaschige Kluftmuster bereits separierten Blöcke wurden aus ihrem Verband gelöst oder für kleine Objekte von Gesteinshalden entnommen. Die meist dunklen, eintönig grau-grüne gefärbte Grauwacke, im Präkambrium als marines, klastisches Sediment gebildet, ist aufgrund einer geringen Metamorphose bei der Diagenese ein sehr dichter Fein- bis Mittelsandstein (Korngröße 0,2 bis 0,63 mm Korndurchmesser), also grobkörniger als der ebenfalls anstehende Siltstein und viel feiner als die erwähnte Grüne Breccie. Die das Gefüge dominierenden oft wenig gerundeten Quarzkörner mit schlechter Sortierung haben maximal 0,2 mm Durchmesser. Die Zwischenräume werden hauptsächlich von Feldspäten (Plagioklasen), aber auch von Calcit, Serizit, einem feinschuppigen Muskovitglimmer, Chloritverwachsungen und Gesteinsbruchstücken in der tonigen Matrix gebildet. Es handelt sich also um



ein unreifes Sediment, das auch, mikroskopisch betrachtet, geschichtet auftreten kann.

Die Verwendung der Grauwacke war vielfältig: z.B. zur Herstellung von Säulen, Sarkophagen und Groß- und Kleinplastiken, je nach der Größe der gewonnenen Gesteinsblöcke.

### **Quarzdiorit in der Ostwüste, der Mons Claudianus**

Der Mons Claudianus ist ein antikes Steinbruchgebiet in der östlichen Wüste mit den besterhaltenen Anlagen in Ägypten westlich des Gebel Fatira. Es liegt zwischen Qena am Nil und Safaga am Roten Meer. Hier wurde ab dem späten 1. Jahrhundert n.Chr. unter den Kaisern Claudius, Trajan und Hadrian und der Mitte des 3. Jahrhunderts n.Chr. intensiv Granodiorit abgebaut, was heute noch in Rom als Bausubstanz im Pantheon, am Forum Romanum, am Palatin, in der Villa Hadriana und anderswo bestaunt werden kann. Schwerpunktmäßig ist dieses Gestein für monolithische Säulen, Brunnenschalen, Badewannen und Verkleidungen verwendet worden. Der Stein ist ein hellgrauer, kristalliner Quarzdiorit mit grünlich-schwarzen Einsprenglingen, Hornblende und Biotit., Die Römer nannten ihn „marmor Claudianum“, die etwa 150 identifizierten Steinbrüche gehörten dem Kaiser, die Verwaltung unterstand der Armee und es wurden wahrscheinlich nicht nur einfache Untertanen, Sklaven und Kriegsgefangene, sondern selbstverständlich auch hoch spezialisierte Steinbrucharbeiter und erfahrene Fachleute im Ingenieurrang eingesetzt. Die Steinbrüche waren durch Rampen und eine Straße im Hauptwadi mit dem Niltal verbunden und der Transport der halbfertigen Steine auf vier- bis zwölfsichtigen Wagen ins Niltal dauerte mindestens fünf Tage. In Tagesabständen lagen an der Straße kleine Lager (Hydreumata), die als Nachtunterkünfte dienten. Sie enthielten einfache Schlafräume, Ställe und Zisternen. Das Gebiet wurde außerdem durch ungefähr sechzig kleinere Armeestützpunkte überwacht und versorgt. Sie sicherten auch die Küstenstationen am Roten Meer und die

Steinbrüche am Mons Porphyrites. Hier gab es eine zentrale, größere ummauerte Arbeitersiedlung mit Verwaltungshäusern, Badehaus, Viehställen und Futterlager, einen Brunnen und einen kleinen Serapistempel. Serapis war ein vom makedonischen König und Nachfolger Alexander des Großen, Ptolemaios 1. in die ägyptische Götterwelt eingeführter Gott, sollte Griechen und Ägypter im religiösen Sinn verbinden und war eine Wesensvereinigung von Osiris, Zeus, Dionysos und Asklepios, dem Gott der Heilkunst. Das Serapäum in Alexandria, der größte Tempel, der dieser Gottheit geweiht war, war eines der Weltwunder der Antike.

Die Steinbrüche selbst liegen in den Gebirgsregionen beidseitig des Hauptwadis Umm Hussein an sorgfältig sondierten Positionen. Da am Mons Claudianus überwiegend Säulen hergestellt wurden, entsprechen die Ausmaße der Steinbrüche ungefähr den Säulenlängen, die dort gewonnen werden konnten. Bei der Neueröffnung eines Abbaus musste zuerst die Verwitterungskruste abgeschlagen und die sichtbaren Klüfte und Spalten geöffnet werden, um eventuelle Risse verfolgen zu können. In den weitgehend als klüftungs- und rissfrei erkannten Partien begann man dann, das Gestein in der gewünschten Form mit Stoß- und Hebespaltung zu bearbeiten, um so die Säulenrohlinge zu gewinnen. Nicht selten kam es dann in verschieden fortgeschrittenem Verlauf der Bearbeitung, von sehr roh gerundet bis geglättet, also auch bei fast fertigen Werkstücken zum Bruch und so kann man noch heute viele misslungene, zersprungene und aufgegebene Säulen (z.B. eine Riesensäule mit einem Basisdurchmesser von 2,70m, einer Länge von 18,40m und einem Gewicht von 250 Tonnen), Sarkophage und Rundbecken für Brunnen (bis 3,5m Durchmesser), in den Anlagen finden. Man hat auch versucht, die gesprungenen Werkstücke zu kleineren Produkten zu verarbeiten. Von jedem Steinbruch führte eine Schleifbahn in das nächste größere Wadi, das als Transportstraße zum Nil führte.

Entscheidend bei der Auswahl des Gewinnungsortes war die Weitklüftigkeit des Gesteins, die hier im Gebiet des Mons Claudianus als auch im Aswaner Granitbereich deswegen gegeben war, weil durch die geringe tektonische Durchbewegung dieser alten, präkambrischen Krustenpartien die Beanspruchung der Gesteinsmassen gering war. Im Einzugsbereich des römischen Reiches gab es praktisch nur die ägyptische Ostwüste, die durch ihre weitmaschige Klüftungsstruktur die Gewinnung großer, monolithischer Säulen möglich machte.

Mikroskopisch stellt sich das Gesteinsgefüge als eine innige Verwachsung von undulösem, xenomorphem Quarz und hypidiomorphen Plagioklaskörnern mit polysynthetischer Zwillingsbildung heraus, hinter denen die dunklen Gemengeteile brauner Biotit und Grüne gemeine Hornblende deutlich zurücktreten. In diesen, poikilitisch (kleine Kristalle sind von später gebildeten umgeben) eingeschlossen, kommen häufig reliktsche Klinopyroxene vor.

### **Porphyry in der Ostwüste, der Mons Porphyrites**

Der Mons Porphyrites ist ebenfalls ein römischer Steinbruch, er liegt etwa 55 km westlich von Hurghada am Roten Meer an den nord-östlichen Steilhängen des Gebel Dokhan – Gebirges, dessen höchster Gipfel 1626 m hoch ist. Das Gebirge ist vulkanischen Ursprungs und besteht aus präkambrischen Magmatiten. Im Steinbruch selbst wurde ein purpurroter und schwarzer Porphyry mit weißen oder rosa Einsprenglingen aus Feldspat abgebaut, der extrem selten und damit sehr wertvoll war. Eine weitere Varietät ist grün-schwarz mit weißen bis grünlichen, bis fünf Millimeter großen Kristallen. Die römischen Steinbrüche waren von 29 – 335 n.Chr. in Betrieb, aber wahrscheinlich auch schon in der spätdynastischen und ptolemäischen und wahrscheinlich auch noch in der byzantinischen Zeit.

Die Römer nannten das Material „lapis porphyrites“. Das erlesene Gestein, das nur Kaisern und ihren Familien vorbehalten war, wird auch „Imperial Porphyry“

genannt, interessierte aber die alten Ägypter nur gelegentlich als Lesestein für die Herstellung von Steingefäßen, obwohl es ein einzigartiger und unverwechselbarer Werkstoff ist. Es wurde vor allem für Statuen, Prunkwannen, Säulen (in Rom allein sind 134 davon bekannt) und Schalen verwendet, die größte Schale stammt aus Neros „Goldenem Haus“ in Rom und ist heute im Vatikan aufgestellt. Dieser Kaiser soll auch der erste gewesen sein, der in einem Porphyrsarkophag begraben wurde. Weiters wurde das Gestein für Vasen, Podeste, Verkleidungen (z.B. im Pantheon in Rom) und Sarkophage (für Kaiser Konstantin und seine Mutter Helena im Vatikan) und zur Ausstattung kaiserlicher Bauten in Rom und in Byzanz verwendet. Die Vorliebe für dieses Material im byzantinischen Kaiserhaus führte dazu, dass sowohl die Geburt eines kaiserlichen Kindes in einem mit Porphyrlplatten verkleideten Raum stattfinden musste, was den oströmischen Kaisern das Attribut „porphyrogenitus“ verlieh und auch die kaiserlichen Bestattungen wurden in Porphyrsarkophagen vollzogen. Für Kaiser Konstantin gab es Porphyrkreise in den Fußböden seiner Empfangshallen, die nur er betreten durfte. Selbst Karl der Große hat noch Säulenspolien nach Aachen in seine Residenz geholt. In dieser Tradition sind auch noch andere mittelalterliche Kaiser, wie z.B. Friedrich II., der Staufer in wieder verwendeten Sarkophagen bestattet worden (in der Kathedrale von Palermo und Monreale in Sizilien).

Die vier nachgewiesenen Steinbrüche am Gebel Dokhan liegen an Berghängen und im Gipfelbereich, die Unterkünfte der Arbeiter dagegen am Hang und im Tal. Allein schon der beschwerliche Aufstieg lässt vermuten, dass die Arbeit im Mons Porphyrites Revier eine körperliche Tortur darstellte, die vorrangig den „damnati“ vorbehalten war. Die dorthin Verbannten, meldet ein antiker Autor, würden keiner Bewachung bedürfen, da die Flüchtlinge sicher sein konnten bei der Flucht zu verschmachten. Daher blieben die meisten Steinbrucharbeiter „freiwillig“, obwohl auch das Arbeiten in den Brüchen ein immer währendes „Verbrennen bei lebendigem Leibe“ wäre. Da auch christliche Gruppen zu den

Verbannten am Mons Porphyrites zählten, ranken sich zahlreiche Legenden um diesen Ort („Quatro coronati“ in der gleichnamigen Kirche in Rom, sie hatten sich geweigert, eine Asklepiosssäule in den Porphyrsteinbrüchen herzustellen und erlitten deshalb den Märtyrertod).

Die Siedlungen waren befestigt und, wenn möglich, in der Nähe der Steinbrüche errichtet und enthielten neben einem Verwaltungskomplex, den Werkstätten auch Ställe, Zisternen, Brunnen und Bäder, einen Isis- und einen Serapistempel so wie ein kleines Gräberfeld. Verladerampen und Wegpflasterungen sind teilweise noch erhalten.

Das gewöhnliche Abbauverfahren war bei großen Blöcken zunächst das Ausschachten von mannsbreiten Rillen mit Meißeln. Das Zerteilen in etwa 20 Tonnen schwere Blöcke, die dann im Tal weiter behauen wurden, geschah mit der Methode der Keilspaltung, wie sie generell bei den Römern üblich war. Man stemmte rechteckige Löcher in den Fels, in kurzen Abständen eines neben das andere, steckte eiserne Keile in die Vertiefungen und schlug mit Hämmern gleichmäßig die Keile ins Gestein bis der Stein sprang, was am Klang beim Klopfen leicht zu erkennen war.

Generell wurden nur Rohblöcke in den hoch gelegenen Steinbrüchen hergestellt, im Tal weiterbearbeitet und dann über die Wüstenroute zum Niltal transportiert. Entlang dieser Strecke waren in Abständen einer Tagesetappe Stationen für das Nachtlager angelegt, die auch Tiertränken mit einschlossen.

Porphyre sind Gesteine mit extrem feinkörniger, quarzhaltiger Grundmasse, gelegentlich sogar glasiger Struktur, in der wie in unserem Fall weiß-rosa bis grünliche, oft idiomorphe Einsprenglinge von Feldspat in der Größe von Millimetern bis einigen Zentimetern eingeschlossen sind („porphyrische Struktur“).

Die am Mons Porphyrites in den unteren Höhenlagen auftretenden grauen bis grünen Varietäten des Porphyrs, ein „andesitischer Dazitporphyr“, also ein Vulkanit, zeigen mit ihren porphyrischen Feldspateinsprenglingen, sowohl

albitreicher, weißer bis rosafarbener Plagioklas als auch Oligoklas, ein nahezu identisches Bild zu den kirschroten bis dunkel-purpurfarbenen Arten. In den obersten Lagen wurde aber das nach der Extrusion der sehr heißen Magmen mit den schon in der Tiefe auskristallisierten, in der Lava schwimmenden Kristallkörnern, durch rasche Abkühlung an der Oberfläche zum glasartig-scharfkantig springende Gestein. Durch hydrothermale Zersetzung von Feldspat und Pyroxenen durch manganhaltige Lösungen, die vorerst als Wasserdampf gebunden und dann beim Abkühlen und Auskristallisieren in die Höhe aufstiegen, bildeten sich neue Mineralien, ein lilafarbener, mit Mangan angereicherter Epidot, die Varietät Piemontit, der dem Gestein die charakteristische Purpurfarbe verlieh. Die darunter liegenden Partien des Dokhan - Porphyrs blieben in ihrer grau-grünen Grundmasse bestehen.

### **Ägyptischer Calzit-Alabaster**

Im eozänen Kalksteingebirge Ägyptens finden sich entlang tektonischer Störungslinien sowohl in Karsthohlräumen als auch in offenen Klufträumen dichte, schalig aufgebaute Calzitausfüllungen, die zu einem sehr dekorativen Gesteinstyp führen, der selbst noch in Zentimeter dicken Schichten durchscheinend ist. Es handelt sich dabei um dem Sinterkalk ähnliche Kalkaggregate, also um Calciumcarbonate, auch als Onyxmarmor gehandelt, die wasserunlöslicher und härter als Gips - Alabaster sind. Letzterer ist ein wasserhaltiges Calciumsulfat, eine häufig vorkommende, viel leichter zu bearbeitende, mikrokristalline Varietät des Minerals Gips (z.B. in der Toskana, Italien), mit dem er nicht verwechselt werden darf. Vorwiegend dort, wo im tiefen Untergrund in spätoligozäner Zeit Basaltintrusionen stattgefunden haben, wurden die im natürlichen Kalkstein zirkulierenden Porenwässer aufgeheizt und mit Kohlendioxid aus dem Vulkanismus angereichert. Dadurch waren diese Wässer in der Lage, bei ihrer Migration nach oben, die eozänen Kalke zu lösen und diesen gelösten Kalkanteil in den offenen Hohlräumen bei 100 - 150°C

wieder zum Absatz durch Ausfällung zu bringen. Durch Verunreinigungen wie Tongehalte und höhere Eisengehalte erhielt das fast weiße, oft auch gelb und rosafarbige Gestein eine deutliche Farbbänderung und schalige Struktur.

Die bis heute wichtigsten Calcit - Alabasterbrüche Ägyptens liegen tief in der Ostwüste auf der Höhe von Beni Suef. Es handelt sich auch heute noch um das bedeutendste Liefergebiet für die einheimische Alabasterindustrie, die neben Fliesen und Bodenplatten vor allem wunderschöne Souvenirartikel in großen Mengen herstellt. Um die natürliche Maserung des Gesteins deutlicher hervortreten zu lassen, werden diese Produkte abschließend mit einem Firnis versehen.

So fern die zahlreichen kleinen Steinbrüche nicht, wie heute üblich, durch Sprengung abgebaut werden, lassen sich noch vielerorts hieroglyphische Inschriften feststellen und entziffern, die noch aus der Zeit des Alten und Mittleren Reiches stammen. Die Vorkommen wurden nicht nur im Tagebau ausgebeutet, sondern auch in bis zu 30 Metern Tiefe unter Tag. Licht- und Förderschächte für die Gewinnung von bis zu 3 m x 4 m x 6 m großen Gesteinsblöcken und die Transportrampen zum Niltal sind zum Großteil noch immer deutlich zu erkennen. Auch die Infrastruktur der antiken Bergbaumannschaften sind zum Teil erhalten, Brunnen, Unterkünfte, Regenwasserauffangbecken, Materiallager, aber auch kleine Tempel und Stelen, die Reste von Schmieden, wo die kupfernen, bronzenen und später aus Eisen geschmiedeten Meißel gehärtet wurden und natürlich auch die Schutthalden mit den massenhaften Gesteinsabschlägen, die die Steinmetze einst hinterlassen haben. Nicht selten stößt man aber auch auf eingestürzte Stollen, tiefe Einbrüche, verursacht durch den unterirdischen Abbau unter der wertlosen, überlagernden Kalksteindecke. Vielerorts sind die Vorkommen, die sich oft in langen Gängen parallel zur Küste des Roten Meeres und in Calcitstöcken erstrecken, vollständig ausgeräumt.

Bedeutende Calzit-Alabastervorkommen liegen auch zwischen Minia und Assiut in der mittellägyptischen Ostwüste, El Qawatir und Hatnub („Goldhaus“).

Die Differenzierung der verschiedenen Qualitäten kann nur recht aufwendig über Spurenelemente, besonders Strontium, aber auch Blei, Nickel, Kupfer und Mangan, erfolgen. Die anderen Bestandteile wie Calcium, untergeordnet Magnesium und Kohlendioxid lassen dies nicht zu.

### **Libysches Wüstenglas**

Es gibt zahlreiche Theorien, wie dieses Mineral entstanden sein könnte, aber meistens wird davon ausgegangen, dass das Glas mit hoher Wahrscheinlichkeit beim Einschlag eines Meteoriten entstanden ist, der vor etwa 28 - 30 Millionen Jahren in der libyschen Wüste im Südwesten Ägyptens, im ägyptisch-libyschen Grenzgebiet in Nordafrika niedergegangen sein soll. Bei hohem Druck und hoher Temperatur wurde der damals oberflächlich anstehender Sandstein aufgeschmolzen, die flüssige Schmelze fortgeschleudert und durch sehr rasche Abkühlung in der Flugphase zu Glas, da sie in der kurzen Zeit nicht mehr auskristallisieren konnte. Ein Einschlagkrater wurde aber bisher nicht gefunden. Das meist hellgelbe, aber auch milchig weiße bis schwarzgraue, oft vom Wüstensand polierte und muschelig brechende Wüstenglas besteht aus Lechatelierit, einem natürlichen Quarzglas aus 98%  $\text{SiO}_2$  und 1,4%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und einem hohen Wassergehalt von bis zu 0,16%. Der Schmelzpunkt liegt über  $1700^\circ\text{C}$ . Das Streugebiet umfasst etwa  $6500 \text{ km}^2$ . Das Gesamtvorkommen des Impaktglases wird auf etwa 1400 Tonnen geschätzt. Das berühmteste Stück ist ein „Edelstein“ in Form eines Skarabäus im Pektoral des Pharaos Tutenchamun, das Howard Carter 1922 in dessen Grab gefunden hat und fälschlich für Chalzedon hielt.

Das sonderbare Material wurde aber auch schon in der Jung-Steinzeit als Werkzeug, als Pfeilspitzen oder als Messer benutzt, ein 12 cm langer Faustkeil



ist unter anderem im „Pariser Nationalmuseum für Naturwissenschaften“ ausgestellt.

## EXKURS

### **Nilschlamm**

Diese Aufzählung der ägyptischen Werkstoffe muss jedoch noch mit dem wichtigsten Baumaterial überhaupt, dem Nilschlamm, abgerundet werden. Dieses Material, das bis zur Errichtung des Nasser - Staudamms Sadd el-Ali mit den jährlichen Überflutungen aus dem Inneren Afrikas durch den Blauen und den Weißen Nil herangeschafft wurde, lieferte nicht nur die äußerst fruchtbaren Böden für die Landwirtschaft, sondern er stellte zu allen Zeiten auch den wichtigsten Baustoff Ägyptens dar, das Rohmaterial für die infolge Brennstoffmangel nur luftgetrockneten Nilschlammziegel, mit denen nicht nur die Hütten der armen Leute, sondern vielfach auch die Häuser der Reichen bis hin zu den königlichen Palästen aufgebaut und meist mit Kalkmörtel verputzt worden sind. Erst seit spätptolemäischer und im größeren Maßstab seit römischer Zeit ging man dazu über, die Ziegel auch zu brennen. Aber noch bis in die heutige Zeit hinein werden auf dem Land vielfach luftgetrocknete Ziegel aus Nilschlamm als Baumaterial verwendet.

Die Ablagerungen des Nil stellen die jüngsten Sedimente des Landes dar und sind geologisch in das Quartär bis ins Holozän (unsere Jetztzeit) einzuordnen.

Literatur: Die Steine der Pharaonen, R. und D. Klemm,

Staatliche Sammlung Ägyptischer Kunst, München 1981

Steine und Steinbrüche im Alten Ägypten, R. und D. Klemm

Springer Verlag 1992

Wikipedia: verschiedene Begriffe, z.B. Rosengranit, Porphyry, Quarzit, Mons

Claudianus, Libysches Wüstenglas, etc.

Geologische Karten:

[https://perstoremyr.files.wordpress.com/2010/07/egypt\\_ancient\\_quarries.jpg](https://perstoremyr.files.wordpress.com/2010/07/egypt_ancient_quarries.jpg)

[http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb\\_archive/EuD...](http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/EuD...)

Bildmaterial zu diesem Artikel kann im Internet unter den diversen Stichworten in großer Vielfalt leicht gefunden werden.

.