

Frühester Tunnelbau im Alten Ägypten

Im Rahmen des Berichts über die 30. Technikgeschichtliche Tagung vom 9. bis 11. November 2007 in Schaffhausen unter dem Motto „Tunnelbau: Unterirdische Perspektiven“ ist die Geschichte des Tunnelbaus von der Antike mit den frühesten Beispielen Israels bis zu den nordalpinen Tunneln des Mittelalters unlängst in dieser Zeitschrift beleuchtet worden.¹ Hiernach kann laut Dr. Klaus Grewe, einem der versiertesten Kenner des antiken Tunnelbaus, der um 600 v. Chr. erbaute

Eupalinos-Tunnel auf Samos als erster ingenieurmäßig durchdachter Tunnel der Antike angesehen werden. Seine Merkmale: Gegenortverfahren und mehrere Systeme von Messmarken, die sogar Planungsänderungen während der Bauzeit belegen.

Wenn es um frühe kulturelle, so auch um ausgeklügelte technische Leistungen geht, sollte immer auch das Alte Ägypten in den Blick genommen werden. Der Verf. dieses Beitrags hat

sich im Zuge seiner langjährigen (seit 1992) örtlichen Untersuchungen des ägyptischen Pyramidenbaus – neben bautechnischen Fragen – vor allem mit dem montanarchäologischen Aspekt dieses Komplexes befasst. Er konnte dabei neue Erkenntnisse über äußerst rationelle Technologien der Pyramidenbauer gewinnen, die für eine möglichst rasche Baufertigstellung für den Fall eines vorzeitigen Ablebens des Pharaos unerlässlich waren: Verfahren zügigster Steingewinnung in gewaltigen Mengen und deren Anwendung auch beim Abteufen großräumiger, offener und bis zu 30 m tiefer Gruben zur Aufnahme der Korridor- und Kammersysteme oder deren Auffahrung in Stollenbauweise bis zu gleicher Tiefe. Die nähere Prüfung dieser Systeme führte zum Tunnelbau im Alten Reich Ägyptens (um 2700 bis um 2100 v. Chr.) vom einfachen Tunnel bis zum ganzen Tunnelsystem.

Tunnelbau und Bergbau sind zwar im Detail verschiedene, andererseits jedoch auch sehr verwandte Bereiche;² im Übrigen hat der Tunnelbau seinen Ursprung im Bergbau.³ Daher soll an dieser Stelle das herausragende Beispiel frühesten ägyptischen Tunnelbaus gerafft dargestellt werden.

Die Chephren-Pyramide

Zur allgemeinen Charakterisierung dieser Pyramide und zum Stand ihrer Erforschung schreibt Michael Haase (Berlin), Diplom-Mathematiker, Pyramidenforscher und Publizist, Teilnehmer an Ausgrabungen des Deutschen Archäologischen Instituts, Kairo, und Herausgeber der Fachzeitschrift „Sokar. Das ägyptische

Earliest tunnel construction in ancient Egypt

According to Dr. Klaus Grewe, one of the most profound experts on ancient tunnel construction, the Eupalinos tunnel on Samos from around 600 BC may be regarded as the first tunnel of antiquity that was planned as an engineering project. Its features include proceeding from opposite points and several systems of surveying marks that provide evidence even of changes to plans during construction.

Whenever it is a matter of early cultural achievements, including sophisticated technical ones, ancient Egypt should always be considered. During the course of many years of investigations (since 1992) on the site of the construction of the Egyptian pyramids, apart from questions relating to construction engineering, the writer of this article has engaged especially with the aspect of this complex relating to the archaeology of mining. He has gained new knowledge about the extremely efficient technologies of the pyramid builders which were indispensable for completing construction as quickly as possible in case the pharaoh were to die prematurely: procedures to gain huge volumes of stone quickly and to use them even when sinking voluminous, open ditches up to 30 metres deep for systems of corridors and chambers, or to move them into place in a tunnel construction to the same depth. A closer examination of these systems led to tunnel construction in the Old Kingdom of Egypt (around 2700 to 2100 BC) from a simple tunnel to entire systems of tunnels.

Tunnel construction and mining are different in detail, but, on the other hand, also very closely related. Apart from that, tunnel construction has its origins in mining. Therefore, it is appropriate here to give a concise presentation of the outstanding example of the earliest construction of tunnels in Egypt.

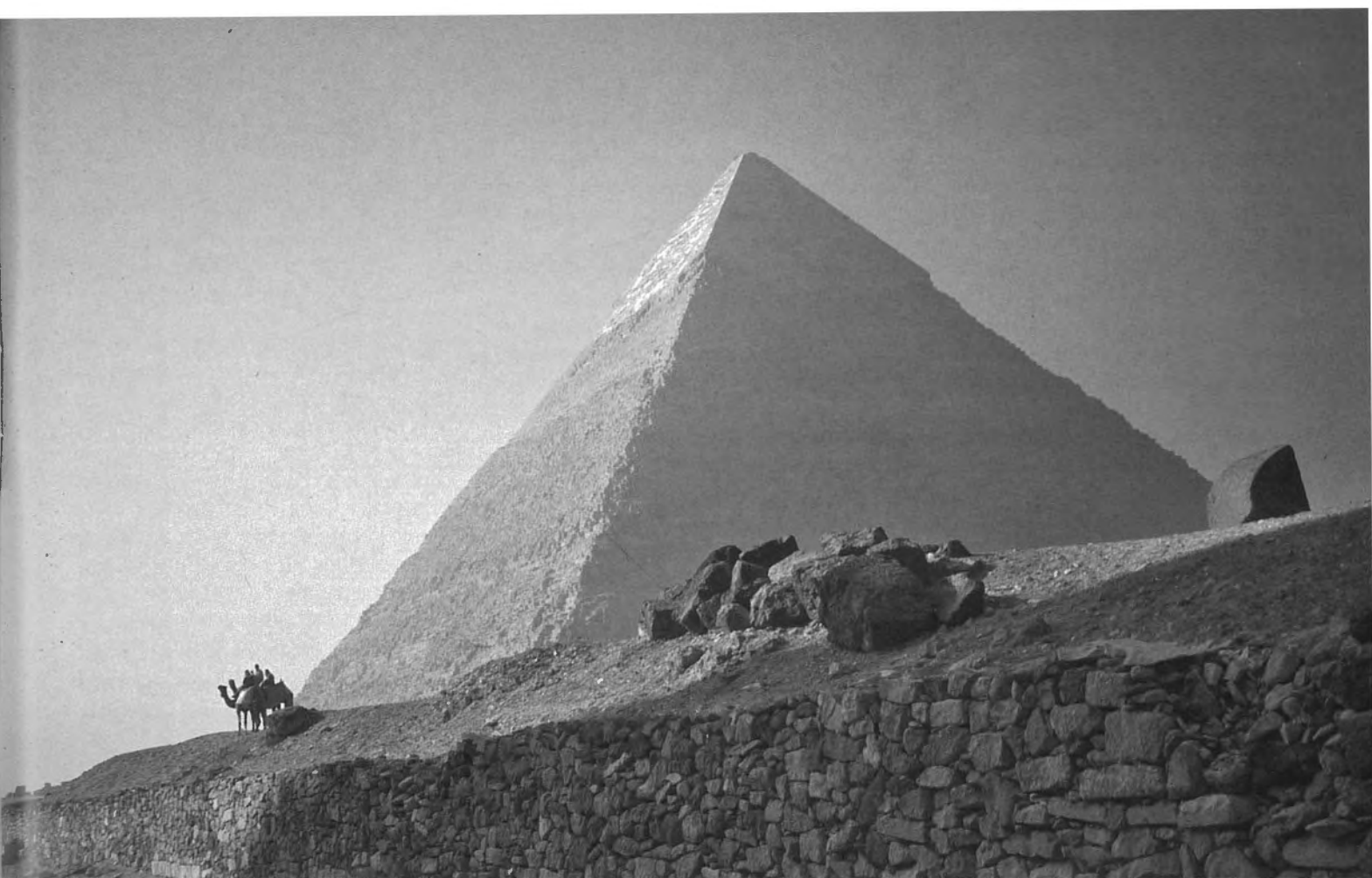


Abb. 1: Am frühen Morgen ragt die Chephren-Pyramide wie ein Bergmassiv in den Himmel, zu dem der König im jenseitigen Leben aufgestiegen war

Pyramidenzeitalter“ in seinem Editorial zu Heft Nr. 8 (1/2004) dieser Zeitschrift: „Unter der Regentschaft des Königs Chephren erlebte der Gigantismus im altägyptischen Grabbau in der Mitte der 4. Dynastie (um 2540-2510 v. Chr.) einen weiteren Höhepunkt. Etwa 170 m südwestlich des Grabmals seines Vaters Cheops ließ er auf dem Giza-Plateau eine Pyramide errichten, deren Ausmaße mit der Cheops-Pyramide vergleichbar sind. Aufgrund des höherliegenden Baugrundes überragte die Chephren-Pyramide die des Cheops sogar um einige Meter. Bezeichnenderweise erhielt der Grabkomplex den Namen ‚Chephren ist groß‘ (Abb. 1). Obwohl auch die Chephren-Pyramide seit dem 1. Jahrhundert v. Chr. zu den ‚Sieben Weltwundern‘ gezählt wurde, stand sie jedoch stets im Schatten von Cheops’ Grabmal. Auch mit Beginn der wissenschaftlichen Erforschung der Pyramiden in der 1. Hälfte des 19. Jahrhunderts konzentrierte sich das öffentliche wie oftmals auch das akademische Interesse vorrangig auf die ‚Große Pyramide von Giza‘. Dabei offenbart die Chephren-Pyramide bei genauerer Betrachtung ähnlich viele ungeklärte Be-

funde und offene Fragen, die einer detaillierteren Untersuchung bedürfen. In der aktuellen wie auch in den folgenden Ausgaben werden wir uns dieser Thematik ausführlich annehmen.“⁴

Zur Geologie des Baugrundes

Das Giza-Plateau (ca. 12 km südwestlich von Kairo, Nil-Westufer) mit den drei großen Pyramidenbezirken der Könige Cheops, Chephren und Mykerinos wird von – zum Teil dolomitischen – Kalken der Mokattam-Gruppe gebildet. Dort werden diese Kalksteine stratigraphisch weiter in die Observatory-Formation der Kairener Fazies gestellt und sind international dem oberen Lutet und damit dem unteren Obereozän (geologisches Zeitalter: ca. 46-43 Mio. Jahre) zuzuordnen.⁵ Die Kalksteinlagen des oberen Giza-Plateaus, die den Sockel der Chephren-Pyramide wie auch die Basis der Cheops-Pyramide bilden, bestehen aus vorwiegend dunkel- bis schmutziggroßen, grobfossi-

len und grau gelben, feinfossilen Nummulitenkalksteinen. Der Fossilgehalt besteht hauptsächlich aus kleinen Nummuliten (Einzeller) von 0,3-1,5 cm Durchmesser. Im Gestein liegen aber auch seltener Großnummuliten der Art *Nummulites gizehensis* bis zu 5 cm Größe vor, die in einer Grundmasse von kleinen Varietäten „schwimmen“.⁶

Die kompakten, fast ungebankten, massigen Kalke der ehemaligen Anhäufung der Nummuliten-Akkumulationen zu einer Nummuliten-„Bank“ waren zwar schwer abbaubar, aber ein nahezu idealer Baugrund. Die Wahl dieses Kalksteinsatzes als Standort der Pyramiden von Giza und damit auch der Chephren-Pyramide lässt den Schluss auf einen ab Cheops hohen geologischen Sachverstand der Bauverantwortlichen zu, zumal sie hier auch sehr günstige Areale für die Bausteingewinnung aufschließen konnten. Am Südost-Rand des Plateaus, d. h. sehr nahe bei den Bauplätzen, legten sie demzufolge die Hauptsteinbrüche für die Lieferung von Quadern für die Kernbauten von Pyramiden, Tempeln u. a. in Feldern weni-

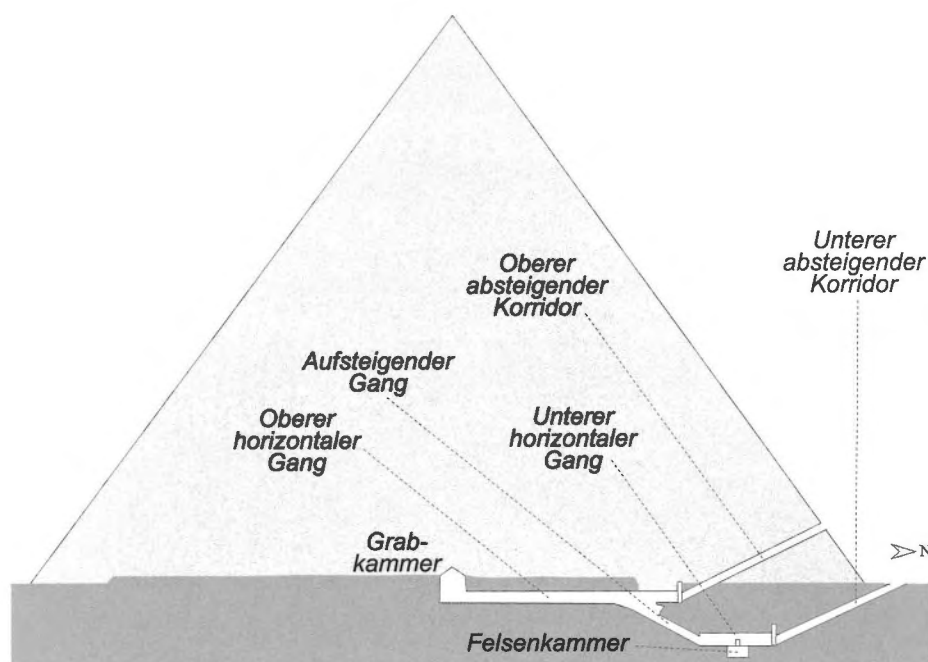


Abb. 2: Nord-Süd-Schnitt durch die Chephren-Pyramide

ger kompakter Ablagerungen mit vorwiegend Kalk/Mergel-Wechselfolgen an. Dies erleichterte den Abbau von 0,5-1,5 m mächtigen Kalkbänken ungemein.

Ebenso optimal ist der Standort der Pyramide auf die natürlichen Geländebeziehungen des Plateaus auf dem freien Areal südwestlich der Cheops-Pyramide abgestellt. Die topographische Situation vor Baubeginn ist äußerst vorteilhaft genutzt worden mit der Folge, dass sie den Blicken des heutigen Besuchers einerseits wegen der weiträumigen Geländeabtragung und -erhöhung mit gewaltigen Kalksteinplatten zur Nivellierung der randlichen Pyramidenbasis sowie der Peripherie und andererseits durch die folgende Überbauung weitgehend entzogen ist und daher so gut wie möglich rekonstruiert werden muss. Bereits vorliegende Messwerte, eigene Beobachtungen und Messungen entlang den Pyramidenseiten im unmittelbaren Basisbereich sowie im untertägigen Korridor- und Kammer-system erlauben aber eine recht zuverlässige Rekonstruktion des ursprünglichen Geländeprofiles des Pyramidenbauplatzes. Dem besseren Verständnis für die geländeorientierte Planung und Realisierung des Projekts, vor allem seiner subterranean Struktur, soll folgender kurzer morphologischer Exkurs dienen:

Das Giza-Plateau insgesamt weist eine natürliche Neigung von 3° bis 6° auf, wobei es nach Osten stärker als nach Süden abfällt. Seine ursprüngliche Oberfläche darf man sich jedoch nicht als eine regelmäßige Neigungsfläche vorstellen, sondern muss diese Kalkhochfläche strukturell als tektonischen Sattel verstehen, dessen Morphologie seit dem Ende des Pleistozäns kleinräumig durch die verschiedensten Abtragungsvorgänge geprägt wurde. Hierbei handelt es sich insbesondere um fluviale und äolische Prozesse, d. h. um Niederschlagswasser- und Winderosion. Zur Bauzeit der Pyramiden bot sich der Pyramidensattel somit als eine durch kleine bis größere Talformen und Erhebungen strukturierte Fläche dar, wobei Erhebungen vereinzelt die Größe mittlerer Hügel erreichten.

Die Substruktur der Chephren-Pyramide

Während das System der Korridore und vor allem der Kammern der Cheops-Pyramide generell vertikal ausgerichtet ist und bis auf rd. 64 m Höhe in den Baukörper hineinragt, verläuft die Folge von Gängen und Kammern der Chephren-Pyramide eher horizontal. Sie bildet ein fast

ausschließlich unter der Pyramidenbasis im Felsgrund vorgetriebenes System, das 28 1/2 Ellen (= 14,97 m) unter die Pyramidenbasis hinabreicht (die ägyptische Elle zur Bauzeit der Chephren-Pyramide ist mit 0,5251 m ermittelt worden). Der Nord-Süd-Schnitt durch die Pyramide (vgl. Abb. 2) zeigt die Komponenten des Gesamtensembles: unterer absteigender Gang – unterer erhöhter horizontaler Gang mit kurzem, leicht abfallenden Seitengang nach Westen zur – Felsenkammer – aufsteigender Gang – oberer erhöhter horizontaler Gang – Grabkammer (dazu kommt der durch eine frühe Änderung der Bauplanung für ein ursprünglich größer dimensioniertes Grabmal erforderlich gewordene obere absteigende Gang, der deshalb offen mit dem Kernmauerwerk aufgebaut wurde und nicht zur Substruktur gehört).

Im Verhältnis zu einfachen kurzen Tunneln in Vorgängerbauten – bereits seit König Djoser, Erbauer der Stufenpyramide in Sakkara zu Beginn der 3. Dynastie, ist den Ägyptern der Tunnel als Bauelement bekannt – ist das Gesamtsystem der Chephren-Pyramide wesentlich länger. Vom nördlichen Korridorbeginn (offen) bis zum Eintritt in die Grabkammer einschließlich dieser Kammer (ebenfalls offen bis zur Aufstellung der Satteldach-Kalksteinbalken) misst die reale Länge 226 Ellen (= 118,64 m) und beträgt die horizontale Entfernung 216 1/2 Ellen (= 113,69 m). Schon diese ganzzahligen bzw. auf die halbe Elle genauen Ellenmaße lassen erahnen, dass dem Gesamtsystem eine exakte Planung zugrundeliegt. Die Analyse des Verlaufs der Gesamtstrecke bestätigt dies: Alle genannten Komponenten sind ebenfalls bis auf die halbe Elle genau in der Länge bemessen, in der Orientierung genau auf Norden eingemessen und folgen in ihren Neigungen und Steigungen strikt vorgegebenen Winkelmaßen.

Vermessung unter Tage

Bevor die Substruktur der Chephren-Pyramide analysiert wird, ist darzulegen, mit welchen Methoden überhaupt unter Tage vermessen wurde. Dies herauszufinden, sah sich der Verf. durch zwei in der Ägyptologie bzw. Bauforschung bislang ungeklärte Fragen veranlasst. Erstens: Ein renommierter Ägyptologe und Bauforscher unterstrich noch in jüngerer Zeit die Problematik der altägyptischen Untertage-Vermessung ohne Magnetkompass

und die trotzdem erreichte Genauigkeit der Nord-Süd-Orientierung untätiger Grabkammern mit dem Hinweis auf die offene Frage, mit welchen Methoden und Instrumenten dieser hohe Vermessungsstandard erzielt wurde.⁷

Zweitens: Bei einigen Pyramiden der 4. Dynastie sind die Pyramiden-Eingänge am Beginn der Grabkorridore mitunter beträchtlich aus der Mitte der Pyramiden-Nordseite (= Durchgang der Nord-Süd-Zentralachse) nach Osten versetzt. So beträgt z. B. bei der Cheops-Pyramide die Verschiebung der Korridorachse von der Nord-Süd-Zentralachse nach Osten 7,29 m. Welche Bedeutung diese bautechnische Auffälligkeit hat, war bislang zweifelhaft, die Suche in der neueren Literatur nach einer überzeugenden Erklärung blieb ergebnislos. Die Lösung kann nur lauten: Die Pyramidenkorridore hatten wegen ihrer Anordnung in Bezug auf den Pyramidenkörper bzw. seine Zentralachsen und wegen ihrer technischen Merkmale außer ihrer praktischen und kultischen Funktion als Wege zwischen Eingang und Grabkammer auch die Funktion von vermessungstechnischen Einrichtungen. Sie ermöglichten insbesondere die exakte Einmessung unter Tage von Kammern in Zuordnung zu bestimmten Pyramiden-Sektoren.⁸

Maßgebend für diese Entdeckung waren folgende Einzelbeobachtungen und -befunde, die lediglich (?) zu einer logisch stimmigen Schlussfolgerung zusammenzufassen waren:

- Kennzeichnung der Nord-Süd-/Ost-West-Zentralachsen der Pyramiden durch Kerblinien im Fels vor der Nordkante oder auf Kernmauerwerk-Blöcken unterer Steinlagen oder durch rote vertikale Linien auf den Innenwänden von Baugruben zum offenen Aufbau von Kammern oder auf den Unterflächen von Kalkstein-Deckenbalken über Korridoren. Die Zentralachsen teilten den Pyramidenkörper in eine Ost- und eine Westhälfte sowie in eine Nord- und eine Südhälfte bzw. in die entsprechenden Quadranten. Ohne näher auf die kultische Bedeutung dieser Sektoren einzugehen, sei soviel gesagt: In die Westhälfte, d. h. in den der Wüste als dem Land des Todes und dem Sonnenuntergang zugewandten Pyramidenabschnitt, war entweder ein Teil der Grabkammer oder diese Kammer insgesamt zu positionie-

ren und wiederum nahe der Westwand der Grabkammer der Sarkophag aufzustellen.

- Abhängigkeit der östlichen Eingangsversetzungen dem Grunde und der Größenordnung nach von entweder der Kammerfolge (bei Anordnung in Nord-Süd-Richtung keine Abweichung, bei ost-westlicher Ausrichtung der Grabkammer Eingangsverschiebung) oder von der Größe der Grabkammer (kleine Kammer: geringere Abweichung, große Kammer: beträchtliche Abweichung).
- Kongruenz oder Parallelität von Korridorachsen und Nord-Süd-Zentralachsen (Ausnahmen haben besondere Ursachen).
- Zuordnung der Korridorachsen im rechten Winkel zu den Pyramiden-Nordkanten.
- Genauigkeit der Nordung von Pyramidenkörper, Nord-Süd-Zentralachse und Korridorachse (im Pyramidenzeitalter zunächst zu- und dann wieder abnehmend). Häufig sind die Korridore ge-

Abb. 3: Blick in den 34,15 m langen unteren schrägen, in Stollenbauweise vorgetriebenen Korridor der Chephren-Pyramide



nauer genordet als die Ost- und Westkanten der Pyramiden. Dies spricht für ihre eigenständige Nordung, wobei hier nicht auf die Frage der Nordungsmethode (stellare oder solare Verfahren) eingegangen werden kann. Experimentell-archäologische Versuche haben jedenfalls ergeben, dass das stellare, auf der Messung der größten Digression eines Zirkumpolarsterns beruhende Verfahren Nordungen mit der Genauigkeit von einer Winkelminute (sic!) ermöglicht. Diese erstaunlich geringe Abweichung hat man auch tatsächlich bei der so genannten Knickpyramide des Königs Snofru (Vater des Chephren) in Dahschur-Süd erreicht, wobei anzumerken ist, dass die stellare Methode bei der unmittelbaren Übertragung von Norden auf eine geneigte Korridorsohle bessere Ergebnisse erzielt als bei der Übertragung auf eine horizontale Bauebene (Ost- oder Westflankenbereich der Pyramide).

- Einhaltung von Orientierung und Neigung der Nord-Süd-Korridore überaus präzise auf lange Strecken bis über 100 m. Der ganz überwiegend durch Felsgestein verlaufende absteigende Gang der Cheops-Pyramide z. B. weicht nicht mehr als einen Zentimeter (sic!) von der Nord-Süd-Richtung sowie der definierten Neigung ab. Eigene Beobachtungen im Korridorsystem der Chephren-Pyramide lassen eine gleiche Präzision der Korridorkonstruktion annehmen (vgl. Abb. 3, 4). Dieses nachgerade als zwanghaft zu bezeichnende Streben nach absoluter Perfektion der Arbeit unter Tage ist der Bauforschung als Faktum lange bekannt, man hatte dafür jedoch keine Erklärung.

Als besonders eindrucksvoll erweist sich die mittels der Pyramiden-Korridore praktizierte untätige Vermessung bei der ohnehin wegen ihrer bewundernswerten präzisen Messbefunde über Tage berühmten Cheops-Pyramide. Wie hat man es geschafft, die Ost-West ausgerichtete Felsenkammer dieser Pyramide in rd. 30 m Tiefe unter dem Basisniveau und einem noch einmal mindestens 7 m hohen, im Inneren der Pyramide stehengelassenen Felskern so unter dem Basisviereck einzumessen, dass die Kammer unter der Pyramiden-Südhälfte in definierter Nähe zur Ost-West-Zentralachse, nämlich im Abstand von exakt 2 Ellen, positioniert ist und von der Nord-Süd-Zentralachse in



Abb. 4: „Tunnelblick“ – Auf 75 Ellen (Sollwert: 39,38 m, Istwert: 39,35 m) Länge ist der obere horizontale Korridor in Tunnelbauweise so exakt aufgeföhren worden, dass er in der Nord-Süd-Orientierung wohl nicht mehr als 1 cm abweicht

der Weise geschnitten wird, dass sie etwa je zur Hälfte unter der östlichen und der westlichen Pyramidenhälfte liegt? Hier ist anzumerken, dass es keine oberirdisch niedergebrachten Kontrollschächte zur Einmessung der Kammer in ihre vorgesehene Pyramidenposition gibt!

Greifen wir die beobachteten besonderen Eigenschaften der Korridore auf und konkretisieren sie auf das zur Felsenkammer führende untertägige Gangsystem der Cheops-Pyramide:

Die Mitte des Pyramideneingangs und damit die Achse des folgenden absteigenden Gangs ist um 7,29 m aus der Nord-Süd-Pyramiden-Zentralachse nach Osten verschoben.

Die Achse des absteigenden Gangs steht im rechten Winkel zur Pyramiden-Nordkante und verläuft parallel zur Nord-Süd-Zentralachse; beide Achsen sind wie auch die Pyramide selbst mit geringen Azimuten (kleiner als -3 Winkelminuten) sehr gut genordet.

An den langen absteigenden Gang schließt sich ein kurzer horizontaler Gang unter minimaler Richtungsänderung an und erreicht die Felsenkammer in deren nordöstlicher Ecke.

Die 14,08 m lange Felsenkammer schwenkt wieder im rechten Winkel und nun – entgegen der Richtung der Eingangsverschiebung – nach Westen ab.

Die mathematisch-geometrische Folge dieser eingangsversetzten, nordorientierten Korridorführung ist: Die Nord-Süd-Zentralachse der Pyramide verläuft – nur einige Zentimeter ungenau – durch die Mitte der Felsenkammer; wäre ein Sarkophag darin aufgestellt worden, hätte er die kanonische Position im bzw. unter dem süd-westlichen Pyramidenquadranten eingenommen.

Die erstaunliche Präzision der Kammereinmessung auch bezüglich der Ost-West-Zentralachse war das Ergebnis einer Gesamtplanung mit folgenden Messoperationen:

Festlegung der horizontalen Distanz zwischen Pyramidenordkante und dem Mundloch des absteigenden Korridors auf 83 Ellen. Die entsprechenden Messungen im offenen Baugelände, wenn auch auf unterschiedlichen Messabschnitt-Niveaus, konnten die Vermesser mit den gebräuchlichen Messmitteln (Messstrick, Messstab oder Messlatte und Lot) vornehmen.

Ab dem Mundloch erfolgte die Auffahrung eines die Richtung und die Neigung strikt einhaltenden, 2 Ellen breiten (Soll-Maß mit Wandputz: 1,05 m; Ist-Maß: 1,09 m) und $2\frac{1}{3}$ Ellen (= 1,20 m) hohen (rechtwinklig zur schrägen Sohle gemessen) Stollens mit dem Neigungsverhältnis 1 : 2 auf eine Länge, die einer weiteren Distanz zur Nordkante von 122 Ellen entsprach. Das Verhältnis 1 : 2 ist der Winkel $26^{\circ}33'54''$ und der altägyptische „seqed“ 2 Ellen oder 56 Fingerbreiten. Die Ägypter drückten Winkel durch Höhe und Rücksprung aus, arbeiteten mit einem auf eine Elle Höhe normierten Winkelmaß und ga-

ben lediglich die Rücksprunglänge, d. h. den seqed, an. Das außerordentlich einfache Verhältnis 1 : 2 definiert Neigungen/Steigungen auf leicht umsetzbare Weise. Nach diesem Wert konnten übereinstimmende Winkellehren (hölzerne rechtwinklige Dreieck-Schablonen) in größerer Zahl hergestellt werden. So oft im Stollen die Lehre mit seqed 2 Ellen nacheinander mit der Hypothenuse angelegt wurde, so oft hatte man sich horizontal um 2 Ellen der Ost-West-Zentralachse genähert.

Nach Erreichen der Soll-Distanz zur Nordkante (die Teufe ließ sich ebenfalls mit der seqed-genormten Lehre ermitteln, da jedes weitere Anlegen dieser Schablone eine weitere Teufe von einer Elle ergab) wussten die Vermessungsfachleute, wie weit sie noch von der Ost-West-Achse entfernt waren: es fehlten noch 15 Ellen. Sie bemaßen danach die Länge des kurzen horizontalen Gangs und legten exakt 2 Ellen südlich der Achse den Beginn der Felsenkammer fest.

Schritt 1 ergab 83 Ellen, Schritt 2 weitere 122 Ellen (61maliges Anlegen der Lehre), Schritt 3 führte zu nochmals 15 Ellen – dies ergibt insgesamt 220 Ellen Horizontaldistanz zur Pyramiden-Nordkante – und damit zur Bestimmung der Ost-West-Zentralachse im untertägigen Stollensystem (das Basisviereck der Pyramide hat die Planmaße 440×440 Ellen). Zwei Ellen südlich davon wurde der Eingang in die Felsenkammer eingemessen. Hierzu ist anzumerken: Die Ist-Maße der Substruktur wie auch des Innensystems der Cheops-Pyramide beruhen noch auf Vermessungen vom Ende des 19. Jahrhunderts bis in die 1960er-Jahre und werfen die Frage ihrer Zuverlässigkeit zum Teil bis in die jüngste Zeit zu einem Versuch geführt, die Koordinaten bestimmter markanter Punkte zu rekonstruieren mit der Folge, dass für den schrägen Stollen ein geplanter seqed von $56\frac{1}{4}$ Fingerbreiten und eine geplante Horizontaldistanz zwischen Stollenende und Pyramiden-Nordkante von möglicherweise (sic!) 205,28 Ellen (Verf.: 205 Ellen) postuliert wird.⁹

Die Positionierung der Felsenkammer in genau geplanter und berechneter Zuordnung zu den beiden, als rein theoretischen Linien unsichtbaren Pyramiden-Zentralachsen war eine messtechnische Meisterleistung. Im Bergbau ist das unter-

Orientierung wie der steigende, wurde jedoch so höhenversetzt zu letzterem vorgetrieben, dass er viel zu weit nördlich in die Firste des erhöhten horizontalen Stollenabschnitts gestoßen wäre. Auch hier ist anzumerken, dass vergleichbare Befunde noch bis in das Mittelalter und in die Neuzeit bekannt sind.¹⁰ Man hat wahrscheinlich nach Gehör gearbeitet und den Gegenortbetrieb vom Schacht aus nach 5 m abgebrochen, als man mit einem Verfehlen des aufsteigenden Gegenstollens rechnen musste. Das weitere Vorgehen an dieser Stelle ist erwähnenswert, weil es einen Einblick in die Tunnelbau-Technologie der 4. Dynastie beim Gegenortverfahren ermöglicht. Man fuhr einen stark verengten, aber sorgfältig gearbeiteten Schacht senkrecht nach unten auf und traf mit einem letzten, kurzen und rohen Durchbruch ziemlich mittig die Firste des Gegenstollens. Damit hatte man die Gewissheit, dass der Gegenstollen richtig orientiert war. Wenn man diesen nun unter Verzicht auf weitere Gegenortversuche vortrieb, musste der Anschluss an den oberen horizontalen Korridor zur Grabkammer gelingen. Die Durchführung ergab für den aufsteigenden Stollenabschnitt eine reale Länge von 46 1/2 Ellen (= 24,40 m).

Mit dem Niederbringen des Schachtes auf eine Teufe von etwa 5 m und dem Ausbau der Grabkammer-Grube zumindest in ihrem östlichen, für den Zugang vorgesehenen Bereich auf etwas mehr als 5 m Teufe konnte der obere horizontale, auf 1,78 m erhöhte Korridor mit einer Länge von 75 Ellen (= 39,35 m) aufgefahren werden. Auch hier wurde im Gegenort – und in diesem Fall mit Erfolg – gearbeitet. Der Korridor verläuft nämlich nicht perfekt horizontal, sondern fällt vom Schacht her bis etwa zur Mitte leicht ab, um danach im gleichen Winkel wieder anzusteigen und im Bereich der Mündung in die Grabkammer-Grube wieder das Niveau am nördlichen Anfang zu erreichen. Man hat hier offensichtlich eine Methode angewandt, die der später im antiken Tunnelbau verfolgten Strategie entspricht, zwei „sich suchende“ Stollen von vornherein schräg gegeneinander aufzufahren. Hätte man die mit 39,35 m doch recht lange Tunnelstrecke nur von einer Seite aus vorgetrieben und eine Abweichung aus der Horizontalen nicht rechtzeitig bemerkt, wäre man entweder in der Grabkammer oder im Schacht zu hoch oder zu tief angekommen. Mit Hilfe des Schachtes als Teil der übertägigen Trasse konnte nicht nur die

Einhaltung der strikten Nord-Süd-Orientierung des Tunnels insgesamt gewährleistet werden. Durch ihn war auch das Niveau der Sohle des oberen horizontalen Korridors und der Grabkammer ins Verhältnis zur Pyramidenbasis zu bringen.

Fazit

Die Planungsstrategie der Unterteilung des Projekts in zwei Hauptabschnitte mit jeweils einem Gegenortbetrieb, der Öffnung des Gesamttunnels durch einen Schacht, der außer der Einhaltung der am nördlichen Tunnelbeginn festgelegten Nordung streckenweise Beleuchtung und Bewetterung garantierte sowie der gleichzeitigen Einsatzmöglichkeit von Hauern an mehreren Stellen des Projekts sicherte den technischen Erfolg und eine kurze Bauzeit. Das nach diesem genialen Plan realisierte Korridor- und Kammersystem der Chephren-Pyramide stellt den ersten längeren Tunnelbau der Geschichte dar, der in allen Einzelheiten ingenieurmäßig durchdacht worden ist und insoweit dem berühmten und mit 1036 m zwar wesentlich längeren Tunnel des Eupalinos auf Samos des 6./5. Jahrhunderts v. Chr. den Rang abläuft.

Anmerkungen

- ¹ Vgl. Farrenkopf 2007.
- ² So Dr. Michael Farrenkopf im Schreiben vom 16.01.2008 an den Verf.
- ³ So Prof. Dr. Rainer Slotta in seiner Eröffnung der Sonderausstellung „NEAT. Neue Eisenbahn Alpen Transversalen. Tunnelgiganten in den Alpen“ am 27.01.2008 im Deutschen Bergbau-Museum Bochum (DBM).
- ⁴ Vgl. die Aufsatzfolgen mit jeweils ausführlichem kritischen Apparat und einschlägiger Bibliographie des Verfassers: Becker 2004a; ders. 2004b; ders. 2005.
- ⁵ Vgl. Klemm/Klemm 1993, S. 4 u. S. 53-58.
- ⁶ Vgl. ebd., S. 59 sowie Aigner 1982, S. 378 (Abb. 2) u. S. 379.
- ⁷ Vgl. Arnold 1991, S. 15.
- ⁸ Vgl. Becker 2003a; ders. 2003b.
- ⁹ Vgl. Dörner 2000, S. 43.
- ¹⁰ Vgl. Straßburger 2007, S. 187.

Bibliographie

- AIGNER, Thomas:
1982 Zur Geologie und Geoarchäologie des Pyramidenplateaus von Giza, Ägypten, in: *Natur und Museum* 112, 1982, H. 12, S. 378 f.
- ARNOLD, Dieter:
1991 *Building in Egypt. Pharaonic Stone Masonry*, Oxford 1991.
- BECKER, Jürgen:
2003a Gangsysteme im Pyramidenbau des Alten Reiches und ihre Funktion im Rahmen von Konstruktion und Bauausführung, in: Hawass, Zahi (Hrsg.): *Egyptology at the Dawn of the 21st Century: Proceedings of the 8th International Congress of Egyptologists*, Cairo/New York 2000, Bd. 2: History and Religion, Cairo/New York 2003, S. 103-112.
- 2003b Die Funktion der Pyramidenkorridore als vermessungstechnische Einrichtungen, in: *Sokar* 6, 2003, S. 14-21.
- 2004a Die Chephren-Pyramide. Planänderung des Baukörpers und ihre Auswirkung auf das Kammersystem, in: *Sokar* 8, 2004, S. 6-17.
- 2004b Die Chephren-Pyramide, 2. Teil, in: *Sokar* 9, 2004, S. 18-27.
- 2005 Der Bau der Chephren-Pyramide, in: *Sokar* 10, 2005, S. 24-27.
- DÖRNER, Josef:
2000 Das innere System der Cheops-Pyramide – Überlegungen zu den geplanten Maßen, in: *Ägypten und Levante* 10, 2000, S. 43.
- FARRENKOPF, Michael:
2007 Tunnelbau: Unterirdische Perspektiven – Technikgeschichtliche Tagung in Schaffhausen, in: *DER ANSCHNITT* 59, 2007, S. 236-240.
- KLEMM, Rosemarie/KLEMM, Dietrich D.:
1993 *Steine und Steinbrüche im Alten Ägypten*, Berlin/Heidelberg/New York 1993.
- STRASSBURGER, Martin:
2007 Archäologie und Geschichte des Ramsbecker Bergbaus bis 1854, in: *DER ANSCHNITT* 59, 2007, S. 182-190.

Anschrift des Verfassers

Ltd. Regierungsdirektor a. D.
Jürgen Becker
Konrad-von-Hochstaden-Straße 3
D-53881 Euskirchen-Stotzheim