

Pyramidenbau im Alten Ägypten

Seit jeher faszinieren die Pyramiden des Alten Reiches die Besucher Ägyptens. Die außergewöhnlich beeindruckende Größe der Bauwerke und die gewaltigen Abmessungen der verbauten Steine bleiben für jeden Betrachter unvergesslich. Die Cheops-Pyramide (Chufu) zählte daher seit griechischer Zeit zu Recht zu den sieben Weltwundern der Antike. Immer wieder wurde die Frage gestellt, was die damaligen Könige veranlasst hat, solch gewaltige Grabstätten zu errichten.



Abb. 1: Schichtpyramide des Djoser

Die Fragen nach den bei der Materialgewinnung und dem Transport, bei der Bauplanung sowie beim Bau der Pyramiden verwendeten Techniken und Verfahren beschäftigten in den vergangenen Jahrhunderten viele Ägyptologen, Archäologen, Ingenieure und interessierte Laien. Zahlreiche, oft abenteuerliche Hypothesen oder Behauptungen wurden aufgestellt. Den klassischen Ägyptologen und auch den Archäologen sind die baulichen und technischen Aspekte, die für die Errichtung der Pyramiden zu beachten sind, im Allgemeinen nicht sehr geläufig. Daran mangelt es oft bei den von ihnen entwickelten Hypothesen über den Pyramidenbau; diese werden aber dennoch immer wieder zitiert und weiter verbreitet. Andererseits bemühen sich viele „Nicht-Ägyptologen“ um Erklärungen zu bautechnischen Fragen und legen unterschiedlichste Berechnungen dazu sowie zu den beim Bau benötigten Personalleistungen vor. Diese Betrachtungsweisen enthalten oft diskussionswürdige Aspekte. Häufig fehlen dabei jedoch die archäologischen Kenntnisse und Zusammenhänge. Die entsprechende Beachtung und Anerkennung seitens der Welt der Ägyptologie für diese Gruppe der „Nicht-Ägyptologen“ wird oft vermisst.

Trotz vieler in den vergangenen Jahrzehnten vorgelegter Veröffentlichungen und vorgetragener Hypothesen konnte für die Fragen, nach welchen Verfahren, in welchen Abschnitten, mit welchen Hilfsmitteln und mit welchem personellen Aufwand die Pyramiden des Alten Reiches geplant und gebaut wurden, noch kein in sich geschlossener Lösungsvorschlag zur Diskussion gestellt werden.

Ausgehend vom Stand der aktuellen ägyptologischen Forschung und den archäologischen Befunden wird im Folgenden eine neue, in sich widerspruchsfreie Hypothese für

den Bau der Pyramiden im Alten Reich vorgestellt. Bei der Entwicklung dieses Bauvorschlages wurde von folgenden Voraussetzungen bzw. Festlegungen ausgegangen:

- Es wurden nur Werkzeuge, Transport- und Bauverfahren berücksichtigt, die den archäologischen Befunden aus der Zeit des Alten Reiches entsprechen.
- Die archäologischen Befunde an den Pyramidenbauten des Alten Reiches wurden zugrunde gelegt.
- Die vorgeschlagene Bauhypothese musste die Errichtung der kompletten Pyramide einschließlich des Aufsetzens des Pyramidions und der Glättung der Außenverkleidung ermöglichen.
- Eine Berechnung der sich aufgrund der Bauhypothese ergebenden Bauzeiten für die betrachteten Pyramiden wurde durchgeführt.
- Bau- und sicherheitstechnische Aspekte für den Bau und die Glättung der Außenverkleidung wurden berücksichtigt.
- Regelmäßig durchzuführende Messungen am Baukörper mussten während der Bauzeit möglich sein.

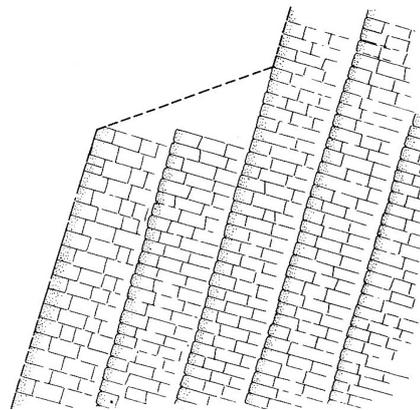


Abb. 2: Prinzip der Schichtpyramide nach Arnold (z.B. Pyramide des Djoser)

Die bisher veröffentlichten und ernstzunehmenden Bauhypothesen beziehen sich fast ausschließlich auf den Bau der größten Pyramide, der Cheops-Pyramide. Während der Dauer des Alten Reiches mit einer Zeitspanne von 400 Jahren (3. bis 6. Dynastie) mit insgesamt ca. 25 großen Pyramidenbauwerken dürften sich die Bauverfahren für die Pyramiden grundsätzlich nicht geändert haben. Eine Ausnahme bildet dabei der Wechsel vom Prinzip der Schicht- zur Stufenpyramide unter Snofru. Die Pyramide des Djoser (Abb. 1) als erste Steinpyramide wurde ebenso wie die Pyramide des Sechemchet sowie die Pyramide in Meidum und die Knickpyramide als Schichtpyramide gebaut (Prinzipielle Bauweise Abb. 2).

Die nachfolgenden Pyramiden sind nach dem Prinzip der Stufenpyramide (Abb. 3) errichtet, wie in der Bresche auf der Nordseite der Pyramide des Mykerinos (Men-Kau-Re) zu sehen ist (Abb. 4). Unter Berücksichtigung dieser Ausnahme

hat es nur kontinuierliche Weiterentwicklungen der Bautechnik gegeben. Hypothesen für den Bau der Cheops-Pyramide müssen daher auch für alle nachfolgenden Pyramiden des Alten Reiches gelten.

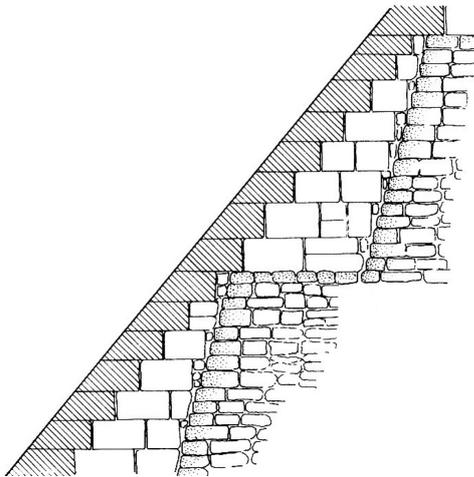


Abb. 3: Prinzip der Stufenpyramide nach Arnold (z.B. Pyramide des Mykerinos)

Analysiert man die bisher vorgelegten Hypothesen zum Pyramidenbau (Cheops-Pyramide), so können diese grob in vier Kategorien eingeteilt werden:

- senkrecht auf die Pyramide zulaufende Rampen
- spiralförmig um die Pyramidenseiten geführte Rampen
- parallel zu den Seitenflächen angeordnete Rampen
- Einsatz von Hebegeräten bzw. Zugeinrichtungen

Erfüllt eine Bauhypothese die eingangs aufgeführten Prämissen nur zum Teil oder überhaupt nicht, besitzt sie keine Beweiskraft und sollte in der künftigen ägyptologischen wissenschaftlichen Diskussion nicht weiter in Betracht gezogen werden.



Abb. 4: Pyramide des Mykerinos (N-Seite) (Stufenpyramide)

Senkrecht auf die Pyramide zulaufende Rampen

Senkrecht auf die Pyramide zulaufende Rampen, wie von Arnold, Stadelmann, Lauer, Lattermann u.a. vorgeschlagen, müssen als Baumethode ausgeschlossen werden, denn:

- Die Rampen müssten ständig erhöht und in ihrer Breite angepasst werden, was zu regelmäßigen Bauunterbrechungen – zumindest aber zu Beeinträchtigungen – führen würde, bzw. sie müssten von Beginn an entsprechend

breit angelegt werden, um jeweils hälftig entsprechend dem Baufortschritt ohne Unterbrechung der Transportarbeiten erhöht werden zu können.

- Es liegen keine archäologischen Nachweise zu Rampenresten und größeren Schuttablagerungen abgebauter Rampen vor.
- Die Baumasse der Rampen wäre sehr groß und kann je nach Ausführung das Volumen der Pyramide selbst erreichen bzw. übertreffen.
- Freistehende Ziegelrampen aus luftgetrockneten Lehm- bzw. Nilschlammziegeln würden aus Gründen des Eigengewichtes nur bis zu einer Höhe von ca. 120 m (380 feet) gebaut werden können.
- Eine schichtweise Verlegung der Steine im Kernmauerwerk der Pyramide, wie sie bei dieser Art der Rampen vorgesehen wird, entspricht nicht den archäologischen Befunden der Stufenpyramiden.
- Die Verlegung des Verkleidungsmauerwerks und der Außenverkleidung sowie deren Glättung und das Aufsetzen des Pyramidions sind ohne außen angeordnetes Baugerüst bzw. Umbauungen aus bau- und sicherheitstechnischen Gründen nicht durchführbar. Angaben dazu fehlen.

Spiralförmig um die Pyramidenseiten geführte Rampen

Spiralförmig um die Pyramidenseiten geführte Rampen, wie von Goyon, Lehner, Klemm und Klemm, Houdin u.a. vorgeschlagen, müssen als Baumethode ebenfalls abgelehnt werden:

- Der Transport des Baumaterials um 90° an den Ecken der Pyramide – auch wenn diese abgeschragt ausgeführt werden – erscheint nur schwer möglich und würde einen großen Zeitaufwand erfordern. Zur Frage der Kraftumlenkung der Zugkräfte fehlen Aussagen bzw. praktikable Vorschläge.
- Eine schichtweise Verlegung der Steine im Kernmauerwerk der Pyramide entspricht nicht den archäologischen Befunden.
- Die Transportkapazität ist im Verhältnis zu den belegten Bauzeiten zu gering.
- Die Verlegung der äußeren Verkleidungsschicht und deren Glättung sowie das Aufsetzen des Pyramidions sind ohne außen angeordnete Baugerüste bei Integralrampen aus bau- und sicherheitstechnischen Gründen ebenfalls nicht durchführbar.
- Eine exakte Vermessung während des Baus ist bei außerhalb der Pyramide spiralförmig angeordneten Rampen schwierig, da Außenflächen und Ecken teilweise verdeckt sind. Die Einhaltung des stets gleichbleibenden Rücksprungs ist sehr erschwert.

Parallel zu den Seitenflächen angeordnete Rampen

Mehreren Hypothesen zum Pyramidenbau (Graefe, Landt, Hölscher) ist gemeinsam, von der archäologisch nachgewiesenen Stufenbauweise des Kernmauerwerks ausgehend Rampen anzunehmen, die parallel zur Seitenfläche der Stufen angeordnet sind und deren Steigung von der jeweils gewählten Transportmethode für das Steinmaterial bestimmt

wird. Entsprechend der Größe der unteren Stufen des Kernmauerwerks können somit auf allen Seiten der Pyramide jeweils mehrere Rampen angeordnet und so insbesondere die großen Materialmengen im unteren Bereich der Pyramide zeitökonomisch auf einer größeren Anzahl von Rampen transportiert und verlegt werden. Diese Vorschläge weisen zwar den richtigen Weg, treffen jedoch keine Aussagen zur Fertigstellung der Pyramide insgesamt: Die Verlegung der äußeren Verkleidungsschicht und deren Glättung sind ohne außen angeordnete Baugerüste (Arbeitsplattform) bei Stufenpyramiden aus bau- und sicherheitstechnischen Gründen ebenfalls nicht durchführbar.

Unklar bleibt, wie das Pyramidion montiert werden kann.

Treppenkonstruktionen

Abzulehnen sind auch Vorschläge für senkrecht an die Pyramidenaußenflächen angelehnte Treppenkonstruktionen, wie sie Arnold, Isler und Graefe vorschlagen. Diese sind wegen der außerordentlich großen Steigung für den Transport des Steinmaterials (Hochhebeln der Steine) als sehr problematisch und als nicht praktikabel einzuschätzen.

Die Vorschläge für eine Bauweise mit Rampen lassen sehr oft auch eine Berechnung der Transportkapazität im Verhältnis zur archäologisch belegten Planungs- und Bauzeit der Cheops-Pyramide von maximal 23 Jahren vermissen.

Die meisten der vorgelegten Bauhypothesen gehen von Zugkräften aus, die von Ochsespannen bzw. von Menschen erbracht werden. Bei schweren Lasten und größeren Rampensteigungen ergeben sich dann große Gespanne oder Zugmannschaften bzw. es werden nur geringe Steigungen der Rampen angesetzt.

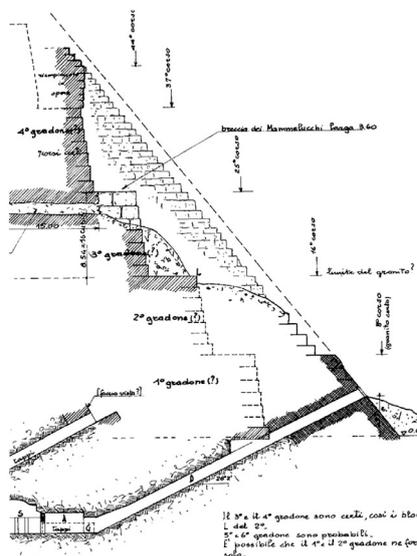


Abb. 5: Schnitt N-S der Bresche in der Nordseite des Pyramide des Mykerinos, nach Maragioglio und Rinaldi

Manche der Vorschläge und Ideen für den Materialtransport beim Pyramidenbau lassen darüber hinaus Konstruktionen und Verfahren erkennen, die sehr kompliziert sind, so dass sich die Frage stellt, ob sie den Denk- und Vorgehensweisen der Baumeister im Alten Ägypten sowie den damaligen Baumethoden entsprechen. Sehr oft werden die Fragen des Baus der Pyramidenspitze, des Aufsetzens des Pyramidion und der Außenverkleidung sowie deren Glättung nicht oder nur unzureichend behandelt. Gleiches gilt für Fragen der Arbeitssicherheit. Daraus kann nur der Schluss gezogen werden,

dass es eine Bauweise für die Pyramiden gegeben haben muss, die ohne eine von außen senkrecht auf den Baukörper zulaufende bzw. diesen spiralförmig umfassende Rampe mit einem entsprechend großen Materialaufwand bzw. ohne eine Treppenkonstruktion auskommt.

Neue Hypothese zum Pyramidenbau

Ausgehend von den im Alten Reich archäologisch nachgewiesenen und in der Literatur näher beschriebenen Befunden an Werkzeugen, Transport- und Bauverfahren wie

- Hebel
- Walze
- gerade und schiefe Ebene mit unterschiedlichen Oberflächen zum Erreichen einer geringen Gleitreibungszahl
- Verschieben schwerer Lasten mittels Steinkugeln
- Kraftübersetzung mit Winde, Spill und Seilwinde mit Holmen
- Seilreibung bei der Walze
- Seilumlenkstein (Öse)
- Seile und Knoten
- Schlitten
- Bau des Kernmauerwerks in Stufen
- Glätten der Außenverkleidung von oben nach unten

wird im Folgenden am Beispiel der Pyramide des Mykerinos gezeigt, wie diese Pyramide errichtet werden konnte und welcher Zeitaufwand dafür erforderlich war. Die Pyramide des Mykerinos wurde ausgewählt, da bei ihr die Stufenbauweise und die Verlegungsart des Verkleidungsmauerwerks sowie der äußeren Verkleidungsschicht und der Außenverkleidung mit ihren Abmessungen deutlich zu Tage treten und archäologisch eindeutig fassbar sind (Abb. 5 und 6).



Abb. 6: Stufen 3 (im Vordergrund) und 4 (Hintergrund) des Kernmauerwerks der Pyramide des Mykerinos in der Bresche auf der Nordseite

Aufgrund der Abmessungen der sichtbaren Stufen des Kernmauerwerks kann dessen gesamte Struktur rekonstru-

iert werden (Abb.7).

Die hiermit am Beispiel der Pyramide des Mykerinos vorgestellte neue Hypothese zum Bau der Stufenpyramiden im Alten Reich geht von mehreren Bauabschnitten aus, in denen der Bau der Pyramide im Wesentlichen wie folgt vorgenommen wurde:

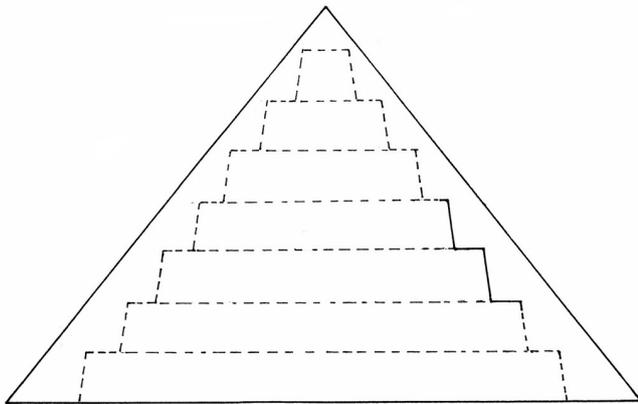


Abb. 7: Schnitt N-S der Pyramide des Mykerinos mit den archäologisch belegten Stufen des Kernmauerwerks in der Bresche der N-Seite (durchgezogene Linien) und den weiteren, rekonstruierten Stufen des Kernmauerwerks in gestrichelter Darstellung

Im Inneren wird das stufenförmige Kernmauerwerk bis einschließlich der 6. Stufe errichtet (Abb. 8). Der Steintransport erfolgt über steile Rampen mit einem Neigungsverhältnis von 2:1, die auf den Stufen des Kernmauerwerks zu diesen parallel und auf allen vier Seiten der Pyramide angeordnet sind. Die Rampen werden nach Abschluss der Arbeiten am Kernmauerwerk zurückgebaut.

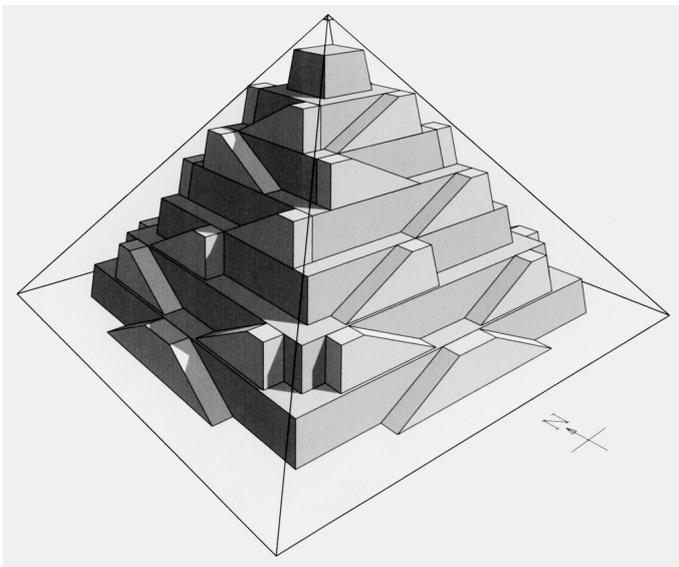


Abb. 8: Anordnung der Rampen auf allen vier Seiten der Stufen 1-6 des Kernmauerwerks

Daran anschließend wird von der untersten Schicht der Außenverkleidung ausgehend eine stufenförmige Umbauung der Pyramide als Arbeitsplattform errichtet (Abb. 9), über die die Verlegung des Verkleidungsmauerwerks, der äußeren Verkleidungsschicht und der Außenverkleidung in einem Arbeitsgang vorgenommen werden. Der Steintransport dafür erfolgt ebenfalls über steile Rampen mit einem Neigungsverhältnis von 2:1 auf den Stufen der Umbauung (Arbeitsplattform) auf allen vier Seiten der Pyramide.

Nach Aufsetzen des Pyramidions wird der Rückbau der stufenförmigen Umbauung (Arbeitsplattform) bei gleichzeiti-

ger Glättung der Außenverkleidung von oben nach unten vorgenommen.

Der Steintransport erfolgt über die Rampen, wobei die notwendigen Zugkräfte über eine Kraftumsetzung mittels Walzen nach dem Prinzip einer Seilwinde erfolgt (Abb.10).

Durch Verwendung von Seilwinden ist es möglich, auch schwere Lasten über steile Rampen nach oben zu transportieren, ohne dass dafür große Zugmannschaften benötigt werden. In der Kombination zweier archäologisch nachgewiesener Bautechniken – Rampe und Walze mit Hebel (Seilwinde) – liegt der Ansatz für den hiermit vorgestellten Vorschlag für den Pyramidenbau im Alten Reich.

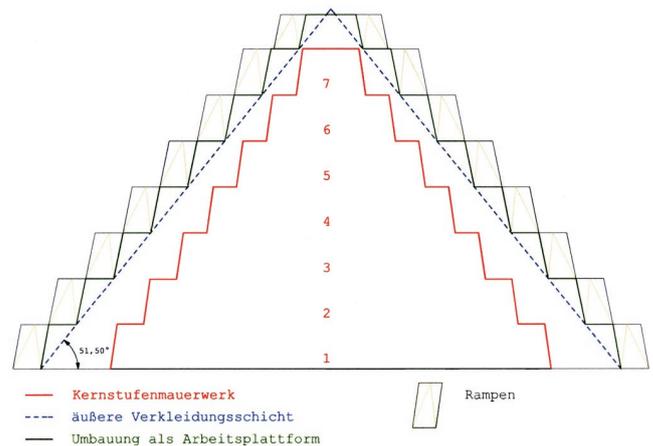


Abb. 9: Arbeitsplattform an den Außenflächen

Die Berechnungen für den ungünstigsten Fall ergeben, dass Steinlasten von 4,5 t, wie sie in den Außenmauern des Kernmauerwerks verbaut sind, von insgesamt 8 Arbeitern über zwei Seilwinden (je rechts und links der Walze) hochgezogen werden können. Werden Transportschlitten mit einem geringeren Reibungsfaktor zur Rampeoberfläche verwendet, verringern sich die erforderlichen Zugkräfte entsprechend.

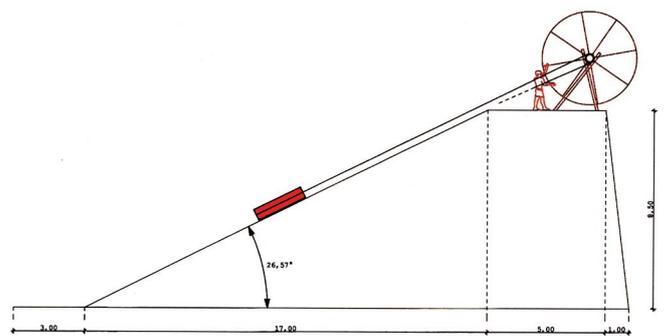


Abb. 10: Anordnung der Seilwinde am oberen Ende der Rampe

Grundidee der Hypothese ist demnach zum einen der Bau des stufenförmigen Kernmauerwerks über steil angelegte Rampen unter Einsatz von Seilwinden und zum anderen die Errichtung einer Umbauung als Arbeitsplattform, um die Verlegung sowie Bearbeitung und Glättung der Steine der Außenverkleidung ebenfalls über steil angelegte Rampen unter Einsatz von Seilwinden zu ermöglichen – in beiden Fällen zeitgleich auf allen vier Seiten. Damit wird die vollständige Errichtung der Pyramide einschließlich des Aufsetzens des Pyramidions nach einem einheitlichen Bauverfahren und auch ohne Gefährdung für die Handwerker möglich.

Bei der Berechnung der bei der Pyramide des Mykerinos zu erbringenden Bauleistungen muss zwangsläufig von gewissen Durchschnittswerten ausgegangen werden, da die

Steingrößen in den einzelnen Lagen unterschiedlich sind. Beim Bau der Pyramide fallen unterschiedliche Transport- und Bauarbeiten an. Neben dem Transport der Steine nach oben müssen diese dann auch waagrecht zu dem jeweiligen Einbauplatz gebracht werden. Der Transport der Steine nach oben erfordert wegen der relativ begrenzten Zahl der Rampen wesentlich mehr Zeit als das waagrechte Verbringen der Steine in der jeweiligen Ebene zum Einbauplatz, da der horizontal durchzuführende Transport in der jeweiligen Schicht der Stufe des Kernmauerwerks von einer größeren Anzahl Arbeiter zeitgleich erfolgen kann und somit im Vergleich zum Transport über die Rampen als zeitunkritisch anzusehen ist. Es wird daher in folgende Berechnung nur der Steintransport auf den Rampen einbezogen.

Für den Transport einer Schlittenladung bzw. für einen Schleppvorgang bis zur Höhe einer Stufe werden nachstehend aufgeführte praxisnahe Annahmen getroffen: Für die Dauer des Transports auf eine nächsthöher gelegene Stufe wird eine Zeit von 5 min angesetzt. Dies bedeutet eine Schleppgeschwindigkeit von ca. 5 m/min und erfordert ca. 5 Umdrehungen der Seilwinde/min. Für das Befestigen und Lösen der Seile vom Schlitten bzw. Steinblock, das Umsetzen des Schlittens bzw. der Last und den Rücktransport eines entladenen Schlittens, des Seiles etc. wird eine Zeit von 10 min veranschlagt, so dass sich eine Taktzeit mit 15 min ergibt.

Bei der Berechnung der Bauzeit der Pyramide ist zu berücksichtigen, dass z.B. die Steine für die oberen Stufen jeweils über mehrere Rampen mit einem entsprechend größeren Zeitaufwand transportiert werden müssen. Geht man allerdings von einem kontinuierlichen Transport über alle vorhergehenden Rampen bis zur Ebene der Verbauung aus, wird dort im Takt von je 15 min ein Schlitten bzw. Schleppvorgang eintreffen. Der Mehraufwand, d.h. die größere Transporthöhe, findet jedoch in einer größeren Zahl eingesetzter Arbeitskräfte seinen Niederschlag.

Bei der Ermittlung der Bauzeit wird weiterhin angenommen, dass an 300 Tagen im Jahr und an 10 Stunden jedes dieser Tage im Schichtbetrieb gearbeitet wurde, so dass pro Jahr bei der angenommenen Dauer von 15 min für einen Schleppvorgang insgesamt 12.000 Arbeitstakte stattfanden.

Die angenommenen durchschnittlichen Werte für die Steingrößen und die Taktzeiten gehen unmittelbar in die Berechnung der Bauzeit ein. Werden diese Größen verändert, ergibt sich zwangsläufig eine andere Bauzeit. Bei der Ermittlung der Bauzeit kann es sich daher aufgrund der getroffenen

Annahmen daher nur um eine Abschätzung handeln. Die Berechnungen ergeben:

- Bauzeit für das Kernmauerwerk und den Rückbau der Rampen: 2,1 Jahre
- Bauzeit für die Arbeitsplattform und das Verkleidungsmauerwerk: 1,5 Jahre
- Bauzeit für den Rückbau der Arbeitsplattform einschließlich Glättung der Außenfläche: 1 Jahr

Unter der Annahme der Zeit von einem Jahr für die Planung und Bauvorbereitung ergibt sich für die Pyramide des Mykerinos eine Bauzeit von 5,6 Jahren.

Eine Vergleichsrechnung (unter ähnlichen Annahmen) für den Bau der Roten Pyramide und der Cheops-Pyramide führt zu Bauzeiten von 18,9 und 23,2 Jahren. Die errechneten Bauzeiten passen zu der allgemein angenommenen Dauer der Herrschaft des Königs Snofru mit 35 Jahren, wobei der Baubeginn der Roten Pyramide vermutlich erst im 15. Jahr der Regentschaft des Snofru begann, und der des Cheops mit 23 Jahren. Die Dauer der Herrschaft des Mykerinos wird bisher immer mit 28 Jahren angegeben (v. Beckerath). Krauss und Warburton nennen neuerdings 6 Jahre. Diese Zeit würde auch mit der Tatsache korrespondieren, dass der Pyramidenkomplex des Mykerinos offensichtlich nicht zu seinen Lebzeiten vollendet wurde.

Die geschilderte Hypothese für den Bau der Stufenpyramiden im Alten Reich widerspricht auch weder den Beschreibungen des Herodot, wonach die Pyramiden in Stufen errichtet und von oben nach unten fertiggestellt wurden, noch der Schilderung des Diodor, nach denen die Pyramiden durch terrassenförmige Erdaufschüttungen (Nilschlammziegel) entlang der Außenseiten gebaut wurden. Sie zeigt vielmehr, dass beide historische Schilderungen, die auf den ersten Blick in offensichtlichem Widerspruch zueinander stehende Baubeschreibungen wiedergeben, sich dennoch nicht widersprechen.

Frank Müller-Römer

Literatur

Müller-Römer, F., Pyramidenbau mit Rampen und Seilwinden – ein Beitrag zur Bautechnik im Alten Reich; elektronisch veröffentlichte Dissertation (Fakultät für Kulturwissenschaften, Institut für Ägyptologie an der LMU München, Februar 2008; <http://edoc.ub.uni-muenchen.de/8064/>)

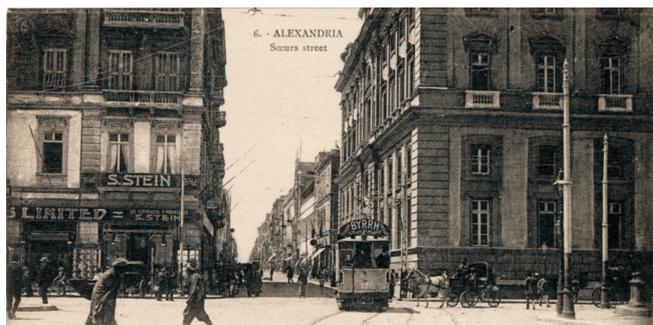
Ders., Die Technik des Pyramidenbaus im alten Ägypten, in Münchner Studien zur Alten Welt, Ludwigs-Maximilians-Universität München, Band 4, München, 2008

Ägypten in Briefmarken



Diese Briefmarke aus Ägypten zeigt im Vordergrund einen Nubier mit blütenweißer Galabija und dahinter eine Felukke auf dem Nil bei Assuan

Historische Karte



Historische Postkarte mit der Ansicht der „Sharia al-Rahibat“ (Straße der Nonnen) in Alexandria

von Roswitha Doberleit, Berlin