

Pyramidenbau mit Rampen und Seilwinden – ein Beitrag zur Bautechnik im Alten Reich¹

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

ich freue mich, Ihnen mit meinem Vortrag eine neue Hypothese zum Bau der Pyramiden im AR vorstellen zu können.

Nach einer kurzen Einführung werde ich die wissenschaftlichen Grundlagen für meine Bauhypothese anhand der archäologischen Belege erläutern:

Es sind dies einmal die

- Bautechnik und daran anschließend die
- Befunde an den Pyramiden selbst.

Danach stelle ich die von mir entwickelte Hypothese für den Pyramidenbau im AR vor und schließe meinen Vortrag mit einer Zusammenfassung ab.

Am Anfang der 3. Dynastie fand mit der Pyramide des Djoser der Übergang von der Bauweise mit luftgetrockneten Ziegeln zu Steinbauten statt. Die Pyramiden der 3. Dynastie sowie die beiden ersten der 4. Dynastie – die Pyramide in Meidum und die Knickpyramide in Dahschur Süd - wurden nach dem Prinzip der Schichtbauweise errichtet. Um einen Kern wurden nach innen geneigte Schichten angefügt (Bild 1).



Schichtpyramide in Saujet el-Arjan (Chaba?)

Bild 1

Ziel meiner Überlegungen war es, ausgehend vom Stand der ägyptologischen Forschung und den archäologischen Befunden, bisher bekannt gewordene Hypothesen zum Bau und entsprechende Bauvorschläge nach wissenschaftlichen Methoden zu analysieren und daraufhin zu überprüfen, inwieweit die Pyramiden des AR danach hätten errichtet werden können. Darauf

¹ Vortrag anlässlich der 40. Ständigen Ägyptologenkonferenz am 28. Juni 2008 in Würzburg.

aufbauend wurde eine aus den archäologischen Befunden des AR abgeleitete und in sich widerspruchsfreie Hypothese für den Bau der Stufenpyramiden im AR entwickelt.

Dabei wurde von folgenden Voraussetzungen ausgegangen, die grundsätzlich für den Pyramidenbau im AR gelten und eigentlich bei allen vorgelegten Bauhypothesen berücksichtigt werden sollten:

- Zum einen wurden von mir nur die im AR bekannten und archäologisch nachgewiesenen technischen Hilfsmittel, Bauverfahren, Transportverfahren, Werkzeuge und Meßmethoden berücksichtigt.
- Gleiches gilt für die archäologischen Befunde der baulichen und bautechnischen Merkmale der Pyramiden des AR.
- Darüber hinaus wurden bau- und sicherheitstechnische Aspekte für den Bau der Verkleidung und für die Glättung der Außenflächen der Pyramide mit einbezogen.
- Und nicht zuletzt wurden eine Berechnung der Bauzeiten mehrerer Pyramiden nach der von mir entwickelten Bauhypothese vorgenommen sowie ein Vergleich mit den entsprechenden Regierungszeiten angestellt.

Fragen der Stein- und Materialgewinnung für den Pyramidenbau, der Wohnsiedlungen der Arbeiter sowie des Transports der Baumaterialien zur Baustelle und deren Lagerung standen nicht im Mittelpunkt meiner Überlegungen zum Pyramidenbau. Gleiches gilt für die Planung und Einmessung der Pyramidengrundfläche, für die Ermittlung der Zahl der benötigten Arbeitskräfte sowie für Anzahl, Anordnung und Bau der Grabkammern.

Im Folgenden werden nun die wichtigsten Bautechniken, die für das AR belegt sind, vorgestellt:

- Schiefe Ebenen (Bild 2) wurden im AR vielfältig als Transportrampen verwendet. Derartige Rampen sind u.a. an der Pyramide des Sechemchet, an der des Snofru in Meidum, an der Roten Pyramide in Dahschur, bei der Cheopspyramide und bei dem Sonnenheiligtum des Niuserre nachgewiesen. Die Aufwege zu den Pyramiden nutzen ebenfalls das Prinzip der schiefen Ebene. Die Neigungswinkel lagen meist unter 10° .

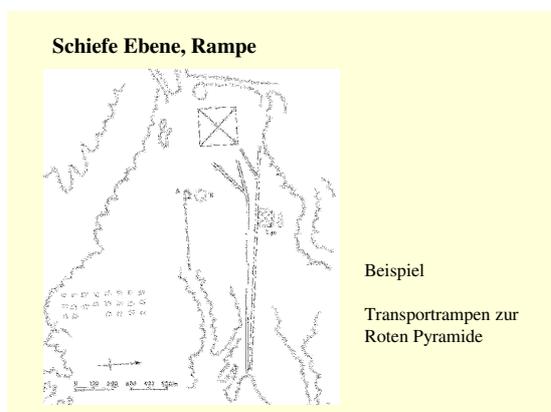


Bild 2

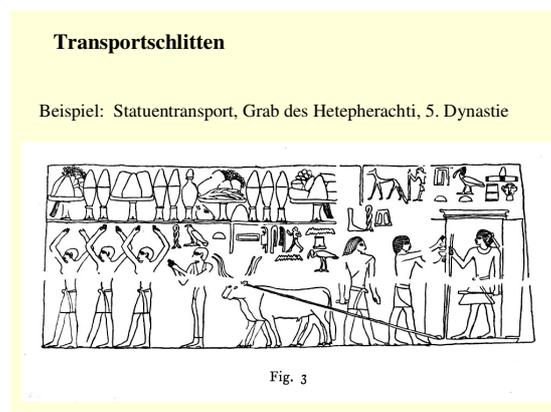


Bild 3

- Für den Transport schwerer Lasten wurden Schlitten oder Schlittenähnliche Konstruktionen verwendet. Aus verschiedenen Gräbern des AR sind Darstellungen bekannt, die

solche Transporte auf Schlitten zeigen: Beispiel dafür ist die Darstellung des Transports einer Statue im Grab des Heperherachtu aus der 5. Dynastie (Bild 3).

- Der Einsatz von Stangen beim Anheben schwerer Lasten ist vielfach belegt. Ebenso war das Prinzip des Bohrers im AR in verschiedenen Ausführungen bekannt. Die abgebildete Konstruktion zeigt das Prinzip der Kurbel sowie das der Walze und damit das der Kraftübersetzung (Bild 4).

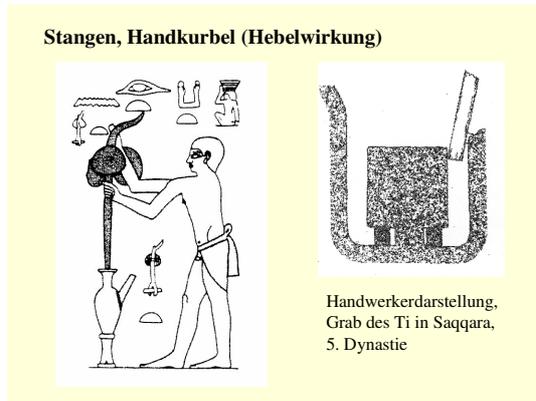


Bild 4

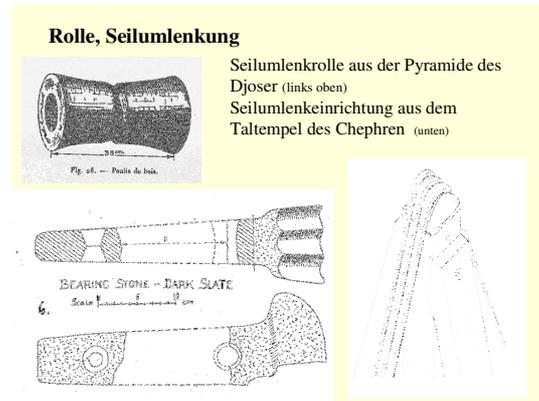


Bild 5

- Die Rolle sowie andere Formen der Seilumlenkung wurden bereits ab der 3. Dynastie benutzt. Der Flaschenzug hingegen ist nicht belegt (Bild 5).
- Seile aus verschiedensten Materialien und in unterschiedlicher Dicke und Ausführung sind im AR ebenfalls vielfach belegt. So wurden Hanfseile hoher Zugfestigkeit in der Sonnenbarke des Cheops gefunden (Bild 6).
- Die über 3 t schweren Verschlusssteine in der Fallsteinkammer im Zugang zur Königskammer der Cheopspyramide wurden mittels über Walzen geführter Seile in Form einer Seilwinde gespannt und herabgelassen. Der Raum oberhalb der Walzen ermöglichte den Einsatz einer Seilwinde (Bild 7).



Bild 6

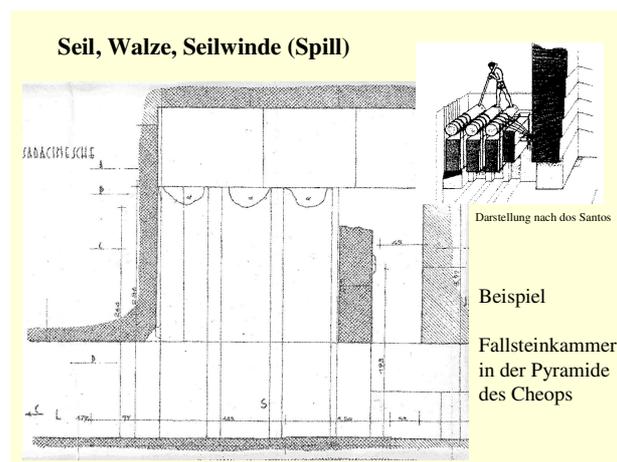


Bild 7

Wie stellen sich nun die Archäologischen Befunde an den Pyramiden des AR selbst dar?

1. Stufenstruktur des Kernmauerwerks

Die innere Baustruktur einer Pyramide der 4. Dynastie ist bei der Pyramide des Mykerinos deutlich festzustellen. Dort ist ein stufenförmig angelegtes Kernmauerwerk in der Bresche auf der Nordseite zu erkennen. Dieses besteht aus einer exakt gemauerten Außenwand und aus

„Füllmaterial“ – nicht exakt behauene Steine, Steinsplittern, Mörtel und Tafla – im Inneren (Bild 8). Das Bauprinzip eines Kernmauerwerks zeigt sich auch deutlich bei den der Außenverkleidung beraubten Königinnenpyramiden des Cheops – und auch bei denen des Mykerinos. Auch bei allen Pyramiden der 5. und 6. Dynastie ist die Kernmauerstruktur zu erkennen und damit belegt. Als ein Beispiel dafür sei die Pyramide des Neferirkare in Abusir genannt (Bild 9).

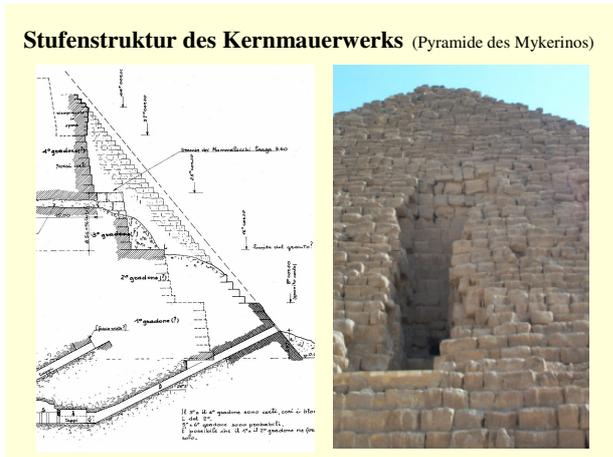


Bild 8



Pyramide des Neferirkare in Abusir; Kernstufenmauerwerk

Bild 9

2. Schichtweise Verlegung des Verkleidungsmauerwerks

Wiederum bei der Pyramide des Mykerinos ist die Verlegung des Verkleidungsmauerwerks in waagrecht angeordneten Steinschichten zu erkennen (Bild 10). Diese Schichten prägen auch das äußere Bild der Cheops- und Chephrenpyramide.

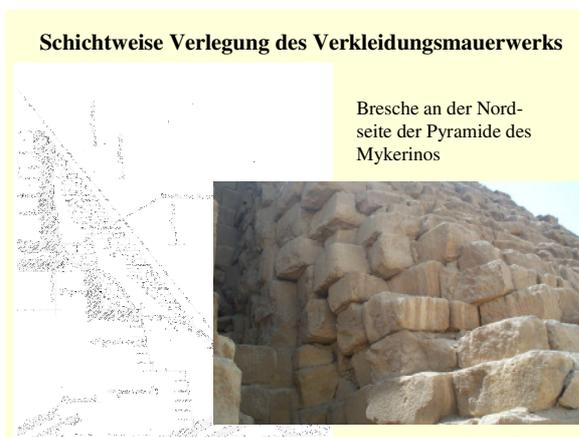


Bild 10



Bild 11

3. Verlegung der äußeren Verkleidungsschicht

Die Steine der äußeren Verkleidungsschicht wurden mit unterschiedlichen Abmessungen in Länge und Breite mit der glatt bearbeiteten Unter- und Oberfläche schichtweise verlegt. Die senkrechten Flächen wurden erst bei der Verlegung als Fuge zwischen zwei Steinen geschnitten. Die Vorderseiten blieben in Bossen stehen – wie wiederum bei der Pyramide des Mykerinos zu erkennen ist. Der Neigungswinkel wird für die Durchführung der späteren Glättungsarbeiten angezeichnet (Bild 11).

Die Glättung der Bossen der Außenverkleidung der Pyramiden wurde von oben nach unten vorgenommen. Dies ist an der Knickpyramide und an der Pyramide des Mykerinos nachgewiesen.

Eine Zusammenfassung der archäologischen Befunde ergibt folgendes Bild:

- Reste von senkrecht auf die Pyramiden zuführender **Baurampen** sind nirgendwo nachweisbar. Dagegen gibt es Reste von **Transportrampen** zwischen den Steinbrüchen und der Baustelle der Pyramide.
- Der Wechsel von der Schichtbauweise zur Stufenbauweise mit einem Kernmauerwerk erfolgte während der Herrschaft des Snofru. Dabei sind die Pyramiden in Meidum und die Knickpyramide in Dahschur Süd noch als Schichtpyramide angelegt; die Rote Pyramide ist sehr wahrscheinlich als Stufenpyramide gebaut. Die Stufenbauweise ist dann für die Pyramiden des AR in der 4. bis 6. Dynastie typisch.
- Die unterste Schicht der Außenverkleidung wurde an der Basis ein gemessen. Nach Fertigstellung des Kernmauerwerks wurde dann die in waagerechten Steinlagen angelegte Außenverkleidung zusammen mit der äußeren Verkleidungsschicht meist aus feinem Kalkstein gebaut. Die Glättung erfolgte nach Abschluss der Bauarbeiten von oben nach unten.
- Ein ständiger Zuwachs an Erfahrung beim Pyramidenbau ist zu beobachten.

Neue Hypothese zum Bau der Stufenpyramiden im AR in der 4. bis 6. Dynastie.

Analysiert man die bisher vorgelegten Hypothesen zum Pyramidenbau im Alten Ägypten, lassen sich zusammengefasst folgende Schwachstellen anmerken:

- Die Annahme einer schichtweisen Verlegung der Steine im Inneren der Pyramide entspricht nicht dem archäologischen Befund des stufenförmig gebauten Kernmauerwerks und der anschließend angebrachten Außenverkleidung.
- Senkrecht auf die Pyramide zuführende Rampen sowie Integralrampen besitzen eine zu geringe Transportkapazität. Eine Berechnung der Bauzeit entsprechend der vorgelegten Hypothese fehlt fast immer.
- Die Verlegung der Außenverkleidung und die Glättung der Bossen von oben nach unten können nicht ohne eine Arbeitsplattform erfolgt sein.
- Das Aufsetzen des Pyramidion wird selten erläutert.
- Teilweise werden Arbeitsmittel angenommen, die es im Alten Reich nicht oder noch nicht gab.

1. Bau des Kernmauerwerks

Als erste Baumaßnahme nach Einrichtung der Baustelle, Vermessen der Basis etc. erfolgte der Bau des Kernmauerwerks. Aufgrund des archäologischen Befundes an den Stufen 3–5 des Kernmauerwerks der Pyramide des Mykerinos kann deren gesamtes Kernmauerwerk rekonstruiert werden (Bild 12).

Unter Zugrundelegung dieses archäologischen Befundes wird vorgeschlagen – wie aus der modellhaften Darstellung in Bild 13 ersichtlich wird –, dass parallel zu den unteren beiden Stufen des Kernmauerwerks und auf allen vier Seiten zeitgleich über insgesamt 8 Rampen Material transportiert und verbaut wurde. Auf diese Weise ergibt sich eine große Transportkapazität. Diese ist mit Blick auf die umfangreichen im unteren Bereich zu verbauenden Materialien auch notwendig. Am Beispiel der Cheopspyramide wird deutlich, dass im unteren

Drittel bis zu einer Höhe von knapp 50 m insgesamt ca. 70% der Steine verbaut werden. Diese Feststellung gilt für alle Pyramiden im AR.

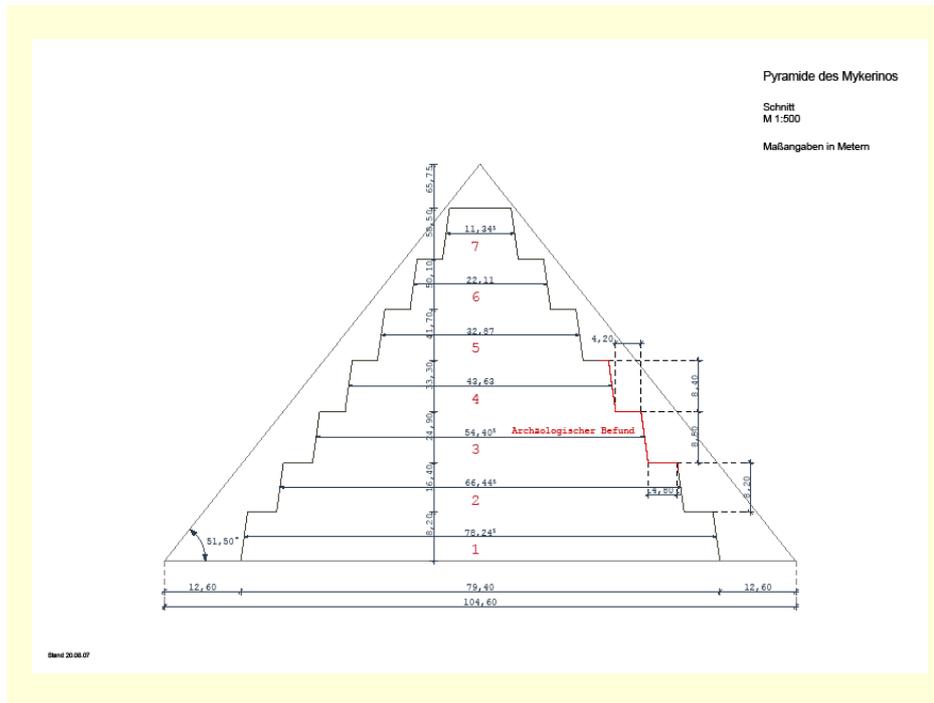


Bild 12

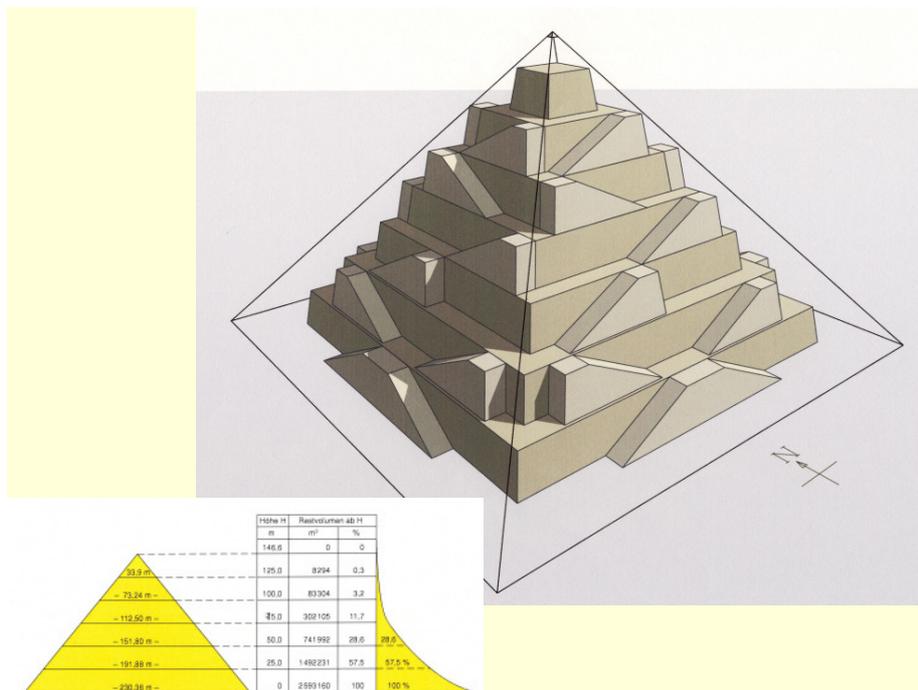


Bild 13

2. Vorschlag für steile Rampen mit Seilwinden

Ein wesentlicher Bestandteil der neu entwickelten Hypothese ist der Einsatz der Walze als Seilwinde, um große Lasten über steile Rampen mit einer Steigung von 45% (2:1) – entsprechend einer Neigung von 26,5° – transportieren zu können. Berechnungen ergeben, dass es

möglich ist, auch Steine mit einem Gewicht 4,5 t, wie sie für die äußere Mauer des Kernmauerwerks der Pyramide des Mykerinos ermittelt wurden, auf diese Weise hochzuziehen (Bild 14).

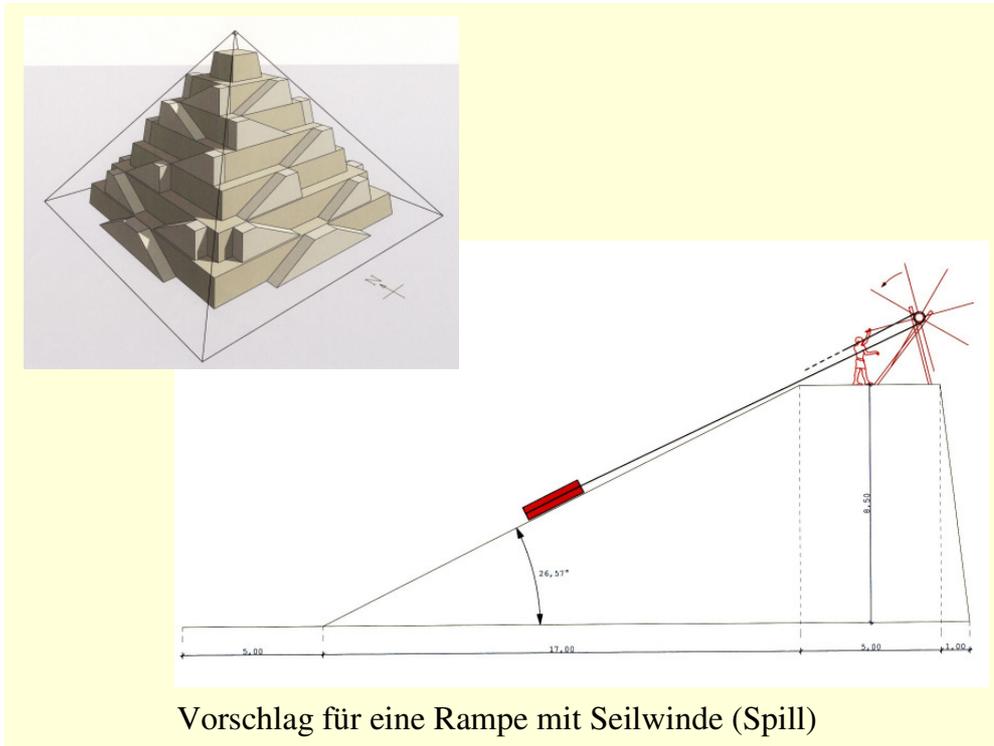


Bild 14

Im Zusammenhang mit diesem Vorschlag für den Einsatz einer steilen Rampe hat besonders die Frage interessiert, ob es dafür im AR Hinweise oder Belege gibt. Die Antwort ist „Ja“: Die Grabzugänge aller Pyramiden der vierten Dynastie weisen Neigungswinkel zwischen 21° und 28° auf; Beispiel Mykerinospyramide mit $26^\circ 2'$, Bild 15). Das Abraummateriale der Grabkammern ist auf diese Weise nach außen transportiert worden. Gleiches gilt für den Abwärtstransport der schweren Granitplatten etc.

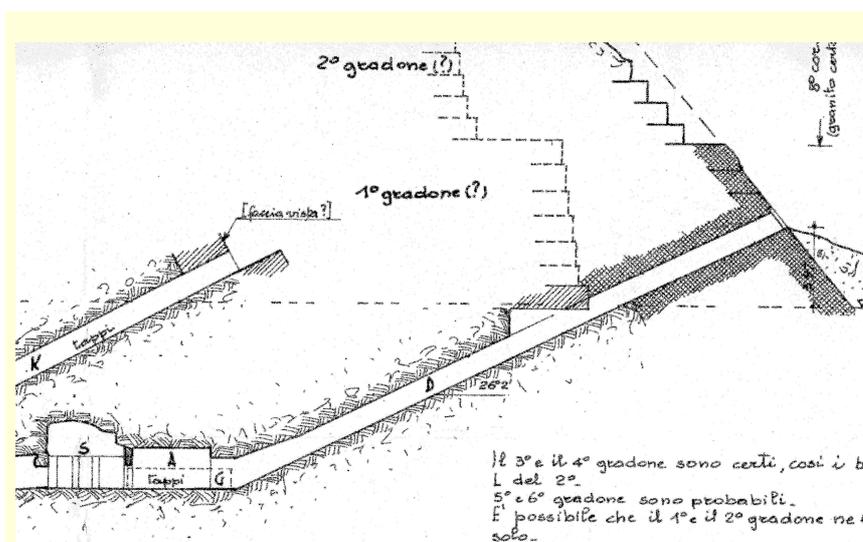


Bild 15

3. Äußere Rampe als Arbeitsplattform

Wie konnten nun der Bau des Verkleidungsmauerwerks und das Aufsetzen des Pyramidion vorgenommen werden?

Nach der Fertigstellung des Kernmauerwerks und nach dem Rückbau der Baurampen erfolgt die Verlegung des Verkleidungsmauerwerks in waagerechten Schichten zeitgleich mit der Außenverkleidung. Gleichzeitig wird in Stufen eine Arbeitsplattform – ebenfalls wieder mit steilen Rampen entlang der Stufen – angelegt (Bild 16).

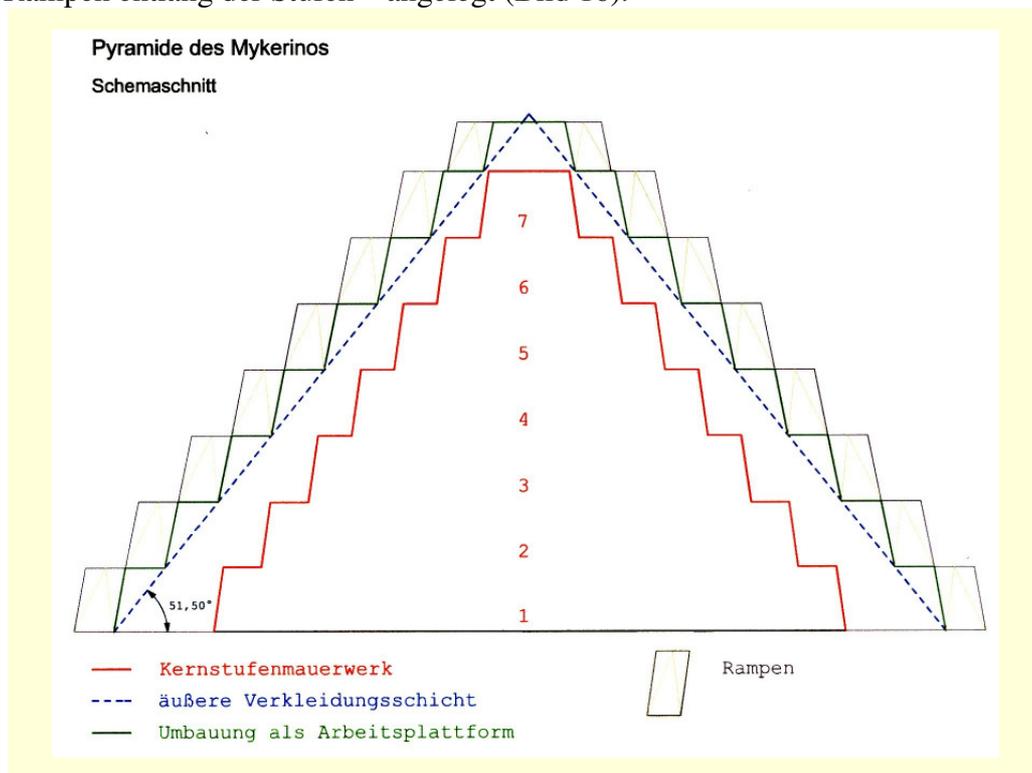


Bild 16

Die außen angelegte Arbeitsplattform hat nun eine Reihe von Vorteilen, die kurz erläutert werden sollen:

- Das Verlegen der Steinschichten des Verkleidungsmauerwerks erfolgt schichtweise – immer im Gleichklang mit der Erhöhung der Rampen der Arbeitsplattform.
- Ein exaktes Zuschneiden der Steine der Außenverkleidung ist über die Arbeitsplattform gefahrlos vor Ort von außen her möglich.
- Die Bossen bleiben stehen und dienen der Arbeitsplattform als Halt.
- Ein regelmäßiges Vermessen der vier Seitenlängen ist möglich.
- Das Aufsetzen des Pyramidion kann auf einfache Weise vorgenommen werden.
- Das Glätten der äußersten Steinschicht erfolgt gefahrlos von oben nach unten. Die außen angebrachte Arbeitsplattform gibt damit auch eine Antwort auf die oft gestellte und bisher nicht beantwortete Frage, wie die Glättungsarbeiten für die Arbeiter gefahrlos vorgenommen werden konnten.

Berechnung der Bauzeit

Nun noch einige Anmerkungen zur Bauzeit der Pyramide des Mykerinos nach dem vorgeschlagenen Bauverfahren:

Aufgrund einer Reihe realitätsnaher Annahmen wie

- einer durchschnittlichen Steingröße von 1,2 m³, d.h. einem Gewicht von 3 t,
- einer Taktzeit für den Transport einer Steinladung von einer Stufe des Kernmauerwerks zur nächsten mit 15 min und
- einer Bautätigkeit an 300 Arbeitstagen pro Jahr mit je 10 Stunden Arbeitszeit

ergibt sich ohne vorbereitende Maßnahmen eine reine Bauzeit von

ca. 4,1 Jahren,

die sich aus einzelnen Zeitabschnitten zusammensetzt :

- | | |
|--|-------------|
| – Kernmauerwerk (6 Stufen) einschließlich Rückbau der Rampen | 2,1 Jahre |
| – Verkleidungsmauerwerk, Außenverkleidung und Arbeitsplattform | 1,5 Jahre |
| – Rückbau der Arbeitsplattform | 0,5 Jahre |
| – Glätten der Außenverkleidung parallel zum Rückbau der Bauplattform | (0,2 Jahre) |

Gesamte Bauzeit der Pyramide des Mykerinos (ohne vorbereitende Arbeiten) **4,1 Jahre**

Zusammenfassung

Ich fasse nun das Ergebnis meiner Überlegungen zusammen:

Mit der Kombination der archäologisch belegten Prinzipien der Rampe sowie der Walze in der Verwendung als Seilwinde können Rampen, die parallel zu den einzelnen Stufen des Kernmauerwerks und der Arbeitsplattform angeordnet sind, mit wesentlich größerer Neigung angenommen werden, als dies in bisher formulierten Bauhypothesen für den Materialtransport mittels Zugmannschaften oder Ochsen gespannen möglich ist.

So wird eine Bauweise möglich, die ohne senkrecht auf die Pyramide zulaufende bzw. umlaufende Rampen geringer Neigung auskommt. Auch Vorschläge für komplizierte Techniken für den Bau werden dadurch obsolet. Diese Bauweise führt zu einem hohen Materialfluss und ermöglicht eine zeitoptimierte Errichtung des Bauwerks.

Über die Umbauung der Pyramide mit der Arbeitsplattform über die Fluchtlinie der Außenverkleidung der Pyramide hinaus werden eine einfache Konstruktion der Pyramidenspitze und des Aufsetzens des Pyramidion sowie die gefahrlose Glättung der äußeren Verkleidungsschicht von oben nach unten möglich.

Unter Berücksichtigung einer Bauvorbereitungszeit von 1 Jahr beträgt die Bauzeit der Pyramide des Mykerinos

ca. 5,1 Jahre.

Eine unter vergleichbaren Annahmen durchgeführte Vergleichsrechnung für die Bauzeiten der Cheopspyramide und der Roten Pyramide (Baubeginn im 15. Jahr der Regentschaft des Snofru) ergibt Bauzeiten von

22,2 bzw. 18,4 Jahren.

Die Regierungszeiten betragen nach v. Beckerath für

Mykerinos	28 bzw. neuerdings 6 Jahre (nach Krauss), bei
Snofru	35 bzw. 33 Jahre (nach Krauss)

und für

Cheops	23 Jahre.
--------	-----------

Die im Rahmen meiner Arbeit ermittelten Bauzeiten widersprechen somit nicht den genannten Regierungszeiten.

Mein Vorschlag zum Bau der Stufenpyramiden im Alten Reich stellt erstmals eine in sich geschlossene und widerspruchsfreie Lösung unter Einhaltung der eingangs genannten Voraussetzungen für den Pyramidenbau im AR dar.

Auf das Echo aus der Welt der Ägyptologie bin ich gespannt.

Literatur

Frank Müller-Römer, *Pyramidenbau mit Rampen und Seilwinden – ein Beitrag zur Bautechnik im Alten Reich*, Dissertation an der Ludwigs-Maximilians-Universität München, 2007.
<http://edoc.ub.uni-muenchen.de/8064/>

Frank Müller-Römer, *Die Technik des Pyramidenbaus im Alten Ägypten*, Herbert Utz Verlag München, 2008