

**Frank Müller-Römer**

**Feststellungen zum Bau der Pyramiden im  
Alten Reich**

**Erschienen 2020 auf Propylaeum-DOK**

URN: urn:nbn:de:bsz:16-propylaeumdok-47174

DOI: <https://doi.org/10.11588/propylaeumdok.00004717>

URL: <http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/propylaeumdok/volltexte/2020/4717>

## Feststellungen zum Bau der Pyramiden im Alten Reich

In der Vergangenheit wurden viele Hypothesen über den Bau der Pyramiden im Alten Ägypten aufgestellt - von renommierten Ägyptologen, Ingenieuren und Architekten. In diesem Artikel werden grundlegende Überlegungen und Erkenntnisse zum Pyramidenbau erläutert. Anschließend wird ein Vorschlag für den Bau der Pyramiden im Alten Reich vorgestellt, der auf diesen Überlegungen beruht.

### 1. Einführung

Die durchschnittliche Lebenserwartung der Menschen im Alten Ägypten lag bei etwa 35 Jahren. Trotz des hohen Standards der Humanmedizin verliefen viele Entzündungen, insbesondere nach Verletzungen, tödlich. Selbst bei überdurchschnittlich hygienischen Lebensbedingungen und bei ausgezeichnete medizinischer Versorgung sowie bester Ernährung waren Könige und hohe Beamte von unerwartet auftretenden Krankheiten mit tödlichem Ausgang betroffen.

Von den 22 Königen der 3. bis 6. Dynastie, denen Pyramiden zugeordnet werden konnten, starben mindestens sechs vor der Fertigstellung ihrer Gräber: Sechemchet, Chaba, Djedefre, Bicheris, Schepseskare und Neferefre.<sup>1</sup> Jeder König hat daher wahrscheinlich zu Beginn seiner Herrschaft angeordnet, sein Grab in kürzester Zeit fertigzustellen. Diese Vorgabe bestimmte dann auch den Bauablauf. Oberste Priorität hatte daher die Mindestzeit für die Fertigstellung der geplanten Pyramide.

### 2. Grundsätzliche Feststellungen

Wie in Abb.1 am Beispiel des Volumens der Cheops-Pyramide zu sehen ist, werden ca. 70% des Baumaterials im unteren Drittel verbaut: Bei einer Höhe von 50 m beträgt das restliche Steinvolumen 28,6%.<sup>2</sup>

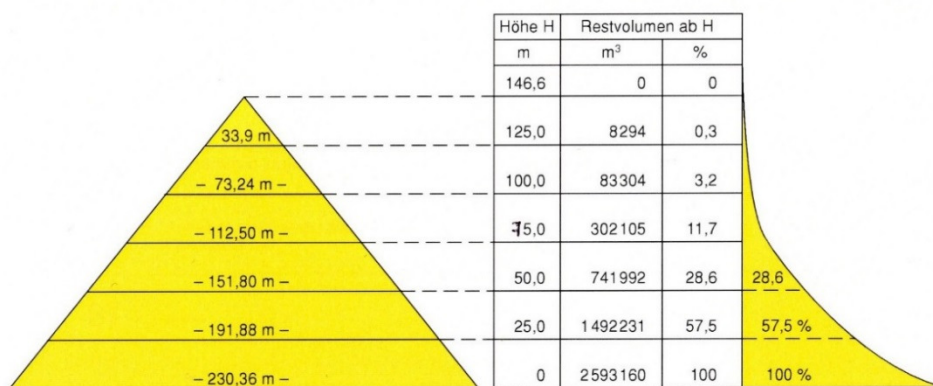


Abb.1

<sup>1</sup> Müller-Römer, F. Der Bau der Pyramiden im Alten Ägypten, Utz Verlag, München 2011, p.35ff.

<sup>2</sup> Lattermann, W., Der Bau der Cheops-Pyramide, Eigenverlag, München 2002, p.32

Der Transport von Baumaterial entlang nur einer Rampe (Abb.2) erfordert immer mehr Zeit als der Transport über mehrere Rampen.

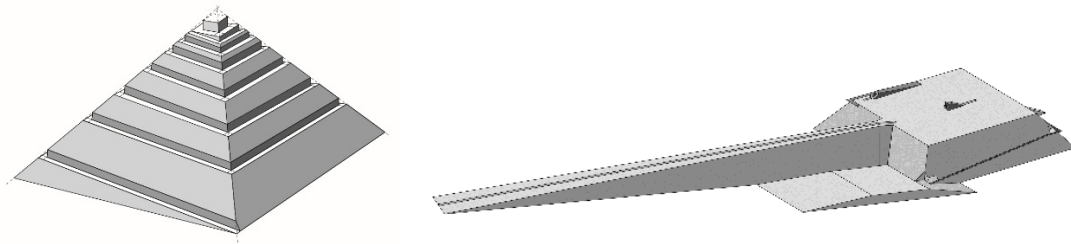


Abb.2

Aus Platzgründen kommen bei den meisten Pyramiden nur parallel zu den Seiten angeordnete Rampen infrage. Die Transportkapazität mehrerer tangential angeordneter Rampen reduziert die Bauzeit entscheidend (Abb.3).

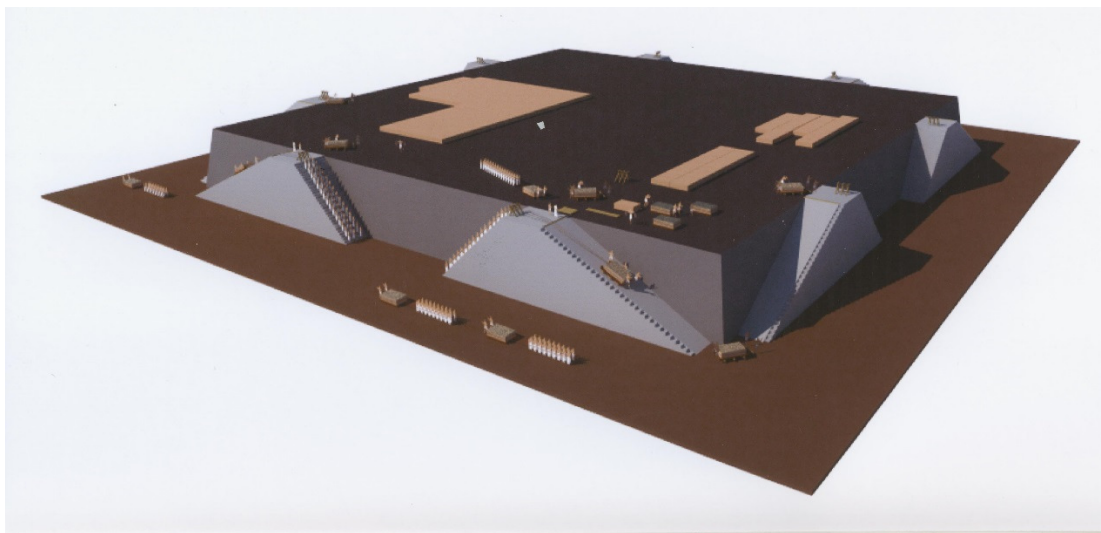


Abb.3

Dies führt zur **Schlussfolgerung 1**: Eine Mindestbauzeit der Pyramide kann nur durch gleichzeitiges Bauen auf allen vier Seiten erreicht werden.

Eine Lagerhaltung von Steinen neben der Pyramide kam auf vielen Baustellen aus Platzmangel nicht in Frage. Hebevorrichtungen zum Stapeln sind im Alten Reich archäologisch nicht belegt.

Daraus folgt die **Schlussfolgerung 2**: Die Herstellung der Steine, der Transport zur Baustelle und der Bau der Pyramide selbst mussten aufeinander zeitlich abgestimmt erfolgen ("just in time").

Die täglich benötigten Steinmengen konnten parallel in verschiedenen Steinbrüchen hergestellt werden. Dies wurde auf den Baustellen für die Rote Pyramide und für die Cheops-Pyramide nachgewiesen. Der Transport von den Steinbrüchen zur Baustelle konnte auch gleichzeitig über mehrere Rampen erfolgen. Daher war die Zeit, die für den Transport über die tangential angeordneten Rampen beim Bau der Pyramide benötigt wurde, der entscheidende Faktor für die Bauzeit der Pyramide.

Das waagerechte Verschieben und der Einbau der Steine in der jeweils obersten Schicht des Pyramidenstumpfes (Abb.3) konnten von einer größeren Anzahl von Arbeitern zeitgleich vorgenommen werden. Beide Arbeitsvorgänge waren nur von der Menge der über die Rampen hoch gezogenen Steine abhängig und für die Bauzeit daher auch nicht entscheidend.

Der Steintransport über die längeren Rampen von den Steinbrüchen bis zur Baustelle musste auch mit Pausen für die Zugtiere bzw. Zugmannschaften möglich sein. Die Steigungen waren daher so zu dimensionieren, dass ein Rückwärtsrutschen vermieden wurde. Die Haftreibung  $R = \mu \cdot Q \cdot \cos \alpha$  musste immer größer sein als die Kraft  $Q \cdot \sin \alpha$ , die die Last talabwärts zieht (Abb.4):

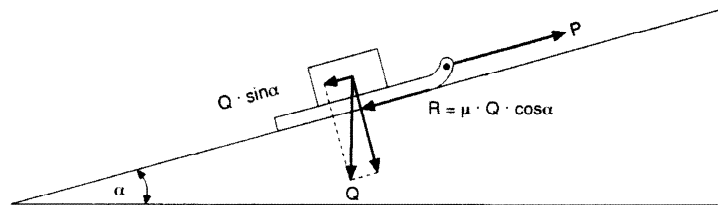


Abb.4

Die **Schlussfolgerung 3** besagt daher: Transportrampen von den Steinbrüchen zur Baustelle dürfen nur ein maximales Gefälle von  $7 - 8^\circ$  aufweisen. Diese Steigungen sind archäologisch belegt.

**Schlussfolgerung 4:** Dagegen können die an den vier Seiten der Pyramide angeordneten Tangentialrampen wegen der kurzen Zugstrecken wesentlich steiler gebaut werden (Abb.3). Pausen sind nicht nötig.

### 3. Entwicklung der Baumethoden für die Pyramiden des Alten Reiches

Die Pyramiden von Djoser und Sechemchet in Sakkara Nord, die von Chaba in Saujet el-Arjan und die von Snofru in Meidum und Dahshur Süd bestehen aus Steinschichten, die an einen inneren Kern gelehnt sind (Abb.5). In der modernen Literatur werden sie als Schichtpyramiden bezeichnet.

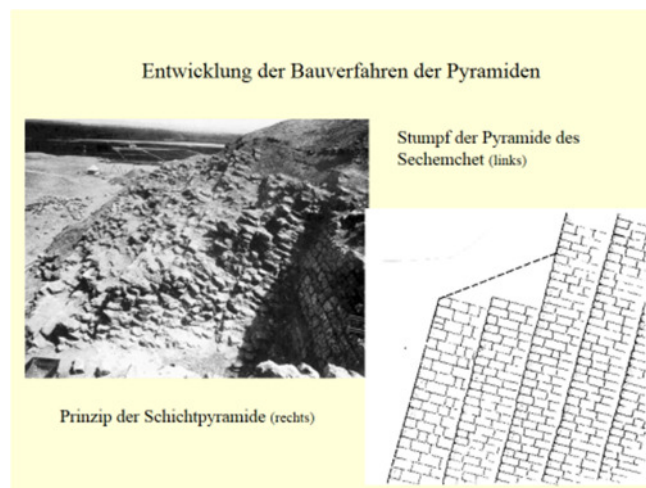
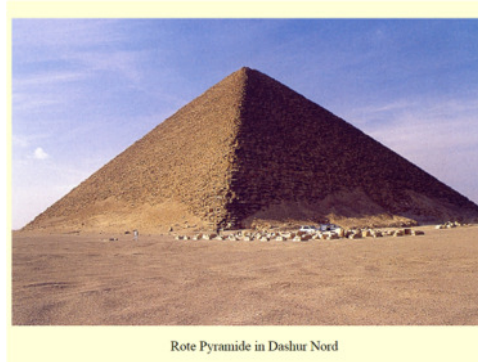


Abb.5

In Ägypten verursachten Erdbeben wiederholt Schäden an den Pyramiden. Die Pyramiden des Snofru in Meidum und in Dahshur Süd und Nord wurden teilweise stark beschädigt. Der hohe Bodendruck der Pyramiden und der teilweise unsichere Untergrund trugen ebenfalls zu den Schäden bei. Das Gewicht der Pyramiden pro  $m^2$  liegt weit über dem moderner Gebäude.

Die Baumeister von Snofru beschlossen daher, im oberen Teil der Knickpyramide, beim Bau der Kultpyramide neben der Knickpyramide und beim Bau der Roten Pyramide die Steine horizontal zu verlegen. Außerdem wurde bei der Roten Pyramide der Rücksprung (Seked) auf 28 Finger pro Elle, d.h. auf einen Winkel von  $45^\circ$ , reduziert (Abb.6).



Rote Pyramide in Dasher Nord

Abb.6

Beim Bau der Cheops-Pyramide wurde eine weitere Änderung vorgenommen: Das sehr stabile Nummulit-Kalkstein-Plateau in der Nähe von Giza wurde als Bauplatz gewählt. Die Pyramide wurde in einer Kernstufenstruktur gebaut. Gleichzeitig wurde die äußere Verkleidungsschicht angebracht. Dies ist das Ergebnis von Untersuchungen verschiedener Ägyptologen und des Autors sowie von Messungen im Jahr 2007 an der Pyramide des Cheops mit Zustimmung des ägyptischen Antikenministers.<sup>3</sup>

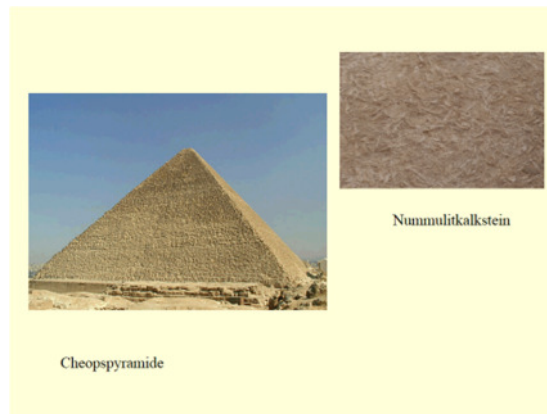


Abb.7

Deutlich zu erkennen ist diese Kernstufenstruktur bei der Pyramide des Mykerinos in deren bis zu 8 m tiefen Bresche an der Nordseite, welche die Mamluken bei der Suche nach dem Eingang geschlagen haben (Abb.8).



Abb.8

<sup>3</sup> Müller-Römer, F. Der Bau der Pyramiden im Alten Ägypten, Utz Verlag, München 2011, S.174ff.; Vyse, H., Operations carried out on the Pyramids of Gizeh; Stadelmann, R., Die ägyptischen Pyramiden, Verlag von Zabern, 3. Edition 1997, S.109; Isler, M., Sticks, stones & Shadows, University of Oklahoma Press, 2001, S.201.

Maragioglio und Rinaldi haben eine Querschnittszeichnung dieser Bresche erstellt. Darin sind die zweite, dritte und vierte Stufe der inneren Struktur deutlich zu erkennen (Abb.9 links).<sup>4</sup>

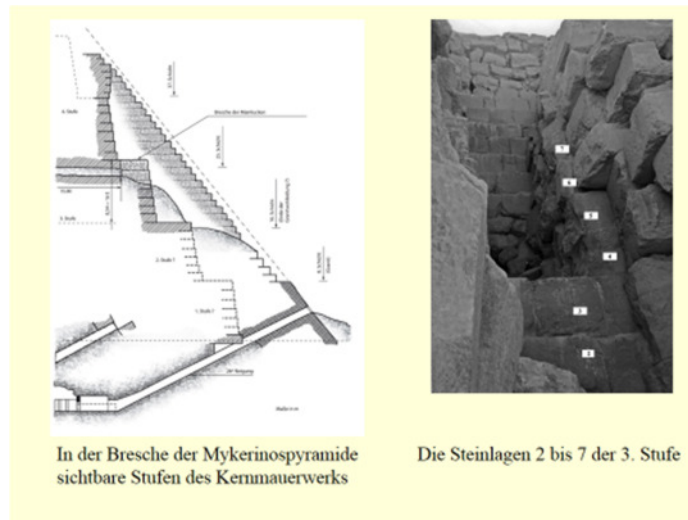


Abb.9

Die zweite, dritte und vierte Stufe sind in einem von Maragioglio und Rinaldi erstellten Querschnitt der Nordseite deutlich zu erkennen (Abb.9 links). Das Innere der Pyramide besteht danach aus übereinander gebauten, Mastaba ähnlichen rechteckigen „Steinkästen“, deren Grundrisse nach oben hin kleiner werden. Die leicht nach innen geneigten Außenwände sind aus exakt behauenen Steinen ausgeführt. Im Inneren sind Steine unterschiedlicher Formate verbaut. Die Zwischenräume wurden zur gleichmäßigen Druckverteilung mit Sand und Tafla (Lehm) aufgefüllt. Der Vorteil dieser Bauweise besteht weiterhin darin, dass Erdstöße viel elastischer als bei einem Mauerwerk aus passgenau bearbeiteten Steinen abgefangen werden können. Außerdem muss der Großteil der Steine nicht fertig bearbeitet werden. Dieses Bauverfahren führt zu einer Minimierung der Kosten.

Auch an den Königinnenpyramiden des Cheops und des Mykerinos sind die Kernstufenstrukturen deutlich zu erkennen (Abb.10).



Abb.10

Die Bauweise der Kernstufenstruktur und der äußeren Verkleidung der Pyramiden wurde bis Ende der 6. Dynastie beibehalten und ist archäologisch belegt (Abb.11, Pyramide des Neferirkare in Abusir).

<sup>4</sup> Maragioglio, V. und Rinaldi, C. A., L'Architettura delle Piramidi Menfite, Band VI, S.34ff. sowie Addenda, TAV. 4, Abb.2, Schnitt S-N, bearbeitet von Müller-Römer.





Abb.11

Die **Schlussfolgerung 5** lautet daher: Die Pyramiden der 4. bis 6. Dynastie wurden ab dem Bau der Cheops-Pyramide als Stufenpyramiden mit einer äußeren Verkleidung errichtet. In der modernen Literatur findet diese Bezeichnung zunehmend Verwendung.

Daran schließt sich die **Schlussfolgerung 6** an: Der Bau der Außenverkleidung der Pyramiden, das Aufsetzen des Pyramidion und das Glätten der Außenverkleidung von oben nach unten können aus bautechnischen Gründen nur bei Verwendung außerhalb angebrachter Plattformen oder Gerüste durchgeführt werden.

#### 4. Messtechnik

Die Messtechnik war beim Bau der Pyramiden besonders wichtig (Abb.12).

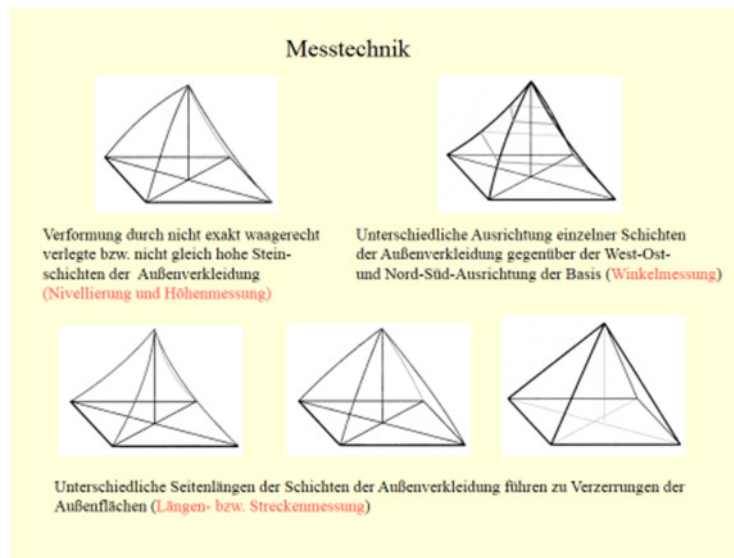


Abb.12

Die vier Eckkanten waren stets in einer geraden Linie und mit dem gleichen Winkel nach oben zu führen. In der Spitze mussten sie sich in einem Punkt treffen. Zwischen ihnen waren ebene Flächen herzustellen. Dafür waren Nivellierung und Höhenmessung, Winkelmessung sowie Längenmessung jeweils mit großer Genauigkeit erforderlich.

Die Höhe einer Stufe des Kernmauerwerks und der gleichzeitig gebauten Verkleidungsschichten konnte mit einem Messstab aus der Länge der Eckkante und des Rücksprungs („Seked“, horizontale Versetzung der Mauer nach innen) ermittelt werden. Geringfügige Korrekturen waren so möglich. Ebenso konnte eine Diagonalmessung zwischen den vier Ecken vorgenommen werden. So war ein ständiger Vergleich möglich. Ein Mittellot war nicht erforderlich. Die Führung der Eckkanten einer Stufe in einer geraden Linie konnte mittels eines längeren Messstabes überprüft werden. Um die Messungen durchführen zu können, war die exakte Verlegung der Ecksteine erforderlich.

## 5. Werkzeuge

Die **7. Schlussfolgerung** lautet: Hypothesen zum Bau der Pyramiden im Alten Reich dürfen nur Werkzeuge, Hilfsmittel und Verfahren zur Materialgewinnung sowie zum Transport beinhalten, die archäologisch belegt sind. Dazu gehören Kupfermeißel, Steinkugeln, Holzbalken als Hebel, Transportschlitten, schiefe Ebenen sowie Rampen, Walzen, Seile und Umlenkeinrichtungen (Abb.13).

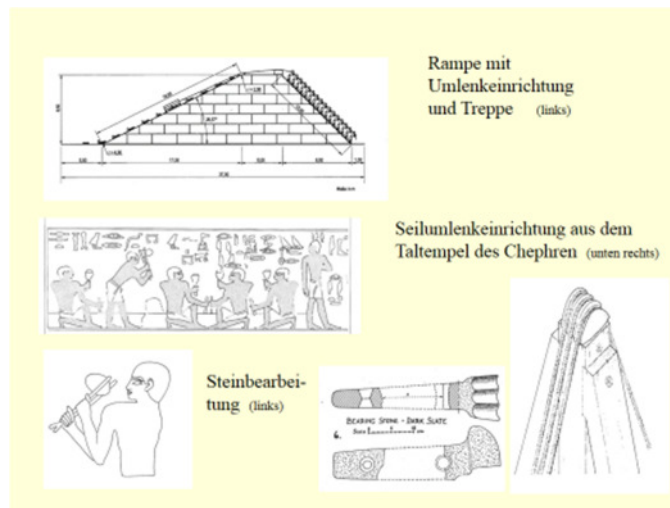


Abb.13

Kurze steile Rampen mit einem Rücksprung von 1 (Höhe) zu 2 (Basis), welcher einem Winkel von  $24,5^\circ$  entspricht, sind im Alten Reich archäologisch mehrfach belegt: Bei Eingängen zu Grabkammern von Pyramiden sowie in Abbildungen in Privatgräbern (Abb.14).

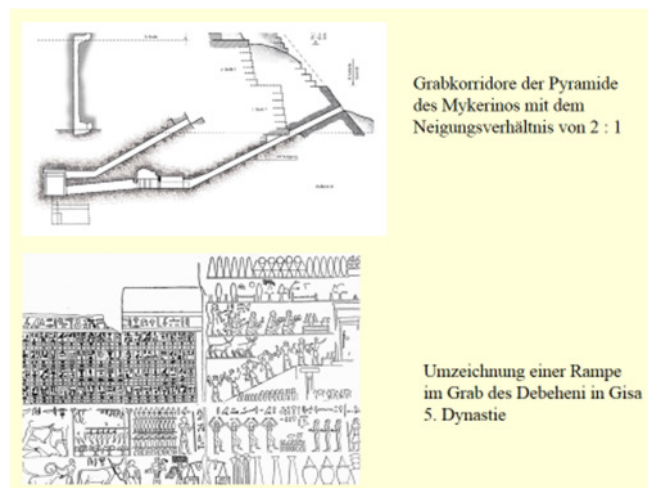


Abb.14

Die **sieben Schlussfolgerungen** definieren die wesentlichen Voraussetzungen für den Bau der Pyramiden im Alten Reich.

## 6. Bewertung der wichtigsten bisher veröffentlichten Bauhypothesen

Den bisher von Ägyptologen wie u.a. von Arnold, Lauer und Stadelmann veröffentlichten Bauhypothesen liegen senkrecht auf die Pyramide zuführende Rampen zugrunde. Diese haben eine gegenüber Tangentialrampen geringere Transportkapazität. Der Bau der Rampen erfordert teilweise eine beachtliche Menge an Baumaterial und eine große Fläche. Eine möglichst kurze Bauzeit ist mit diesen Vorschlägen nicht zu erreichen. Lösungsvorschläge für das Aufsetzen des Pyramidion und Glätten der Außenflächen werden nicht gemacht (Abb.15).



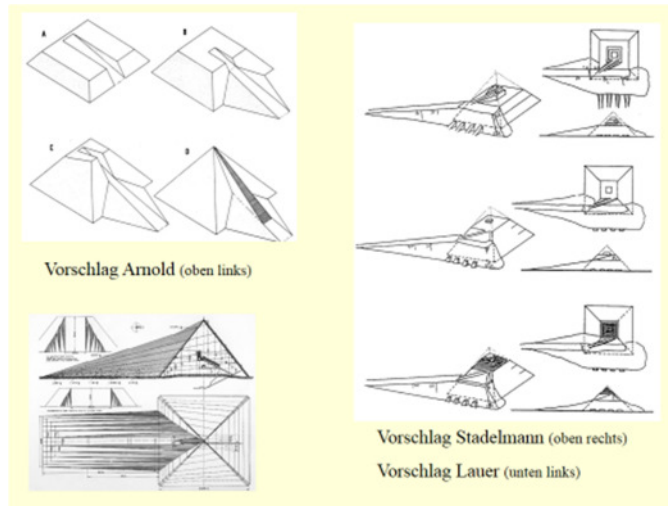


Abb.15

Ähnliches gilt für unter anderen von Goyon, Lehner und Klemm vorgeschlagenen Bauhypothesen mit einer spiralförmig um den Pyramidenstumpf angeordneten Rampe (Abb.16).

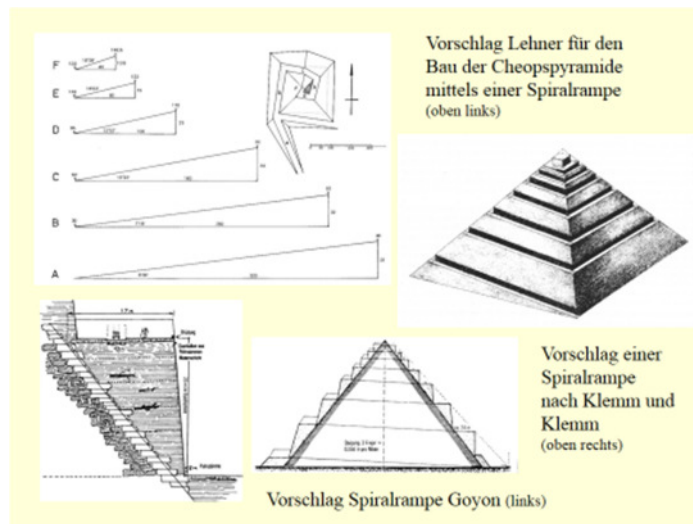


Abb.16

Weitere Bauhypothesen wie die von Haan, Houdin, Isler und Kerres scheiden aus einer Reihe von Gründen ebenfalls aus (Abb.17).

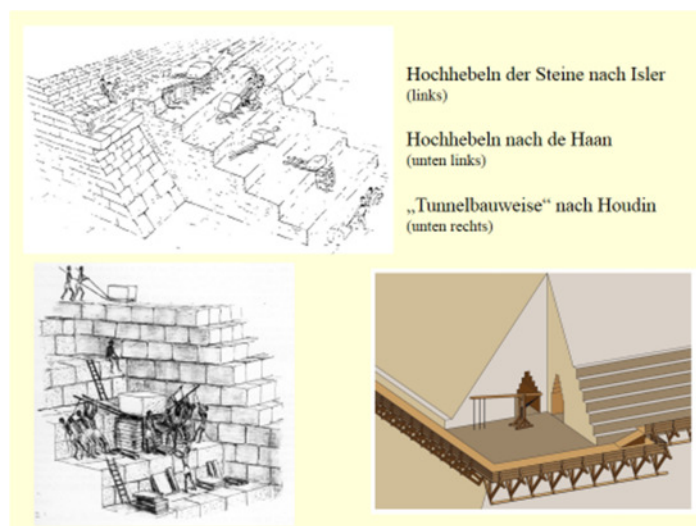


Abb.17

Die meisten der bisher vorgelegten Hypothesen zum Pyramidenbau weisen auch keine schlüssige Lösung für das Aufsetzen des Pyramidion und das Glätten der Außenfläche der Pyramide von oben nach unten auf. Auch Berechnungen der Bauzeiten fehlen bei den meisten Vorschlägen.

Die von Nichtägyptologen vorgelegten Bauhypothesen vernachlässigen darüber hinaus sehr oft die archäologischen Befunde von Bauverfahren und Werkzeugen im Alten Reich, wie sie in der Schlussfolgerung 7 formuliert wurden.

## 7. Die Theorie des Autors zum Bau der Pyramiden im Alten Reich

### Die verschiedenen Bauphasen

Die einzelnen Bauphasen des Vorschlags für den Bau der verkleideten Stufenpyramiden unter Verwendung steiler tangential an den Seiten angebrachter Rampen und Umbauungen werden am Beispiel der Pyramide des Mykerinos prinzipiell dargestellt (Abb.18): Gleichzeitig mit dem Bau der Stufen der Kernstruktur (dunkel braun) wird die äußere Verkleidungsschicht (gelb) errichtet. Um diese Bauweise zu verdeutlichen, wurde in der Abb.18 die Kernstufenstruktur nach oben hin erweitert. An die äußere, noch nicht geglättete Verkleidungsschicht (Bossen) werden in der gleichen Höhe wie die Kernstufen Plattformen für den Bau der Tangentialrampen und den Transport der Baumaterialien angebaut (grau).

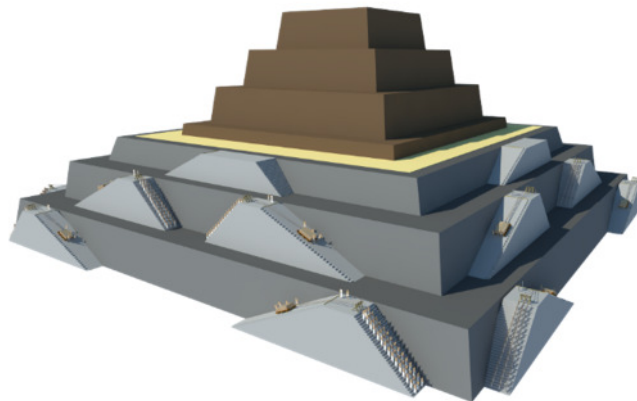


Abb.18

Abb. 19 zeigt die fertig gebaute Pyramide mit der Umbauung. Diese umschließt auch die Spitze der Pyramide und ermöglicht so ein problemloses Aufsetzen des Pyramidion (Abb.20).

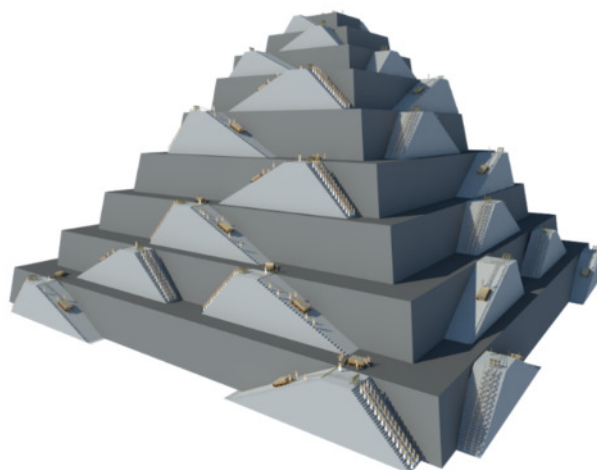


Abb.19

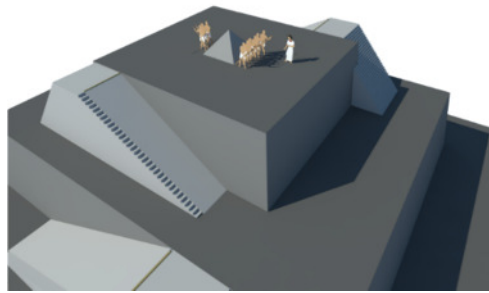


Abb.20

Nach dem Aufsetzen des Pyramidion wird dann die Umbauung bei gleichzeitiger Glättung der Außenfläche von oben nach unten abgebaut. Die Arbeiter stehen auf den Stufen der Umbauung und können die Arbeiten ohne Gefahr durchführen (Abb.21).

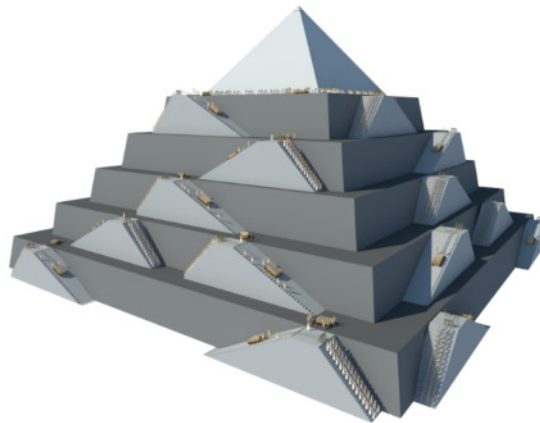


Abb.21

### Berechnung der Bauzeit

Für die Berechnung der Bauzeit werden verschiedene Annahmen getroffen: Die durchschnittliche Steingröße wird mit  $1,2 \text{ m}^3$  und das Gewicht pro Schleppevorgang mit  $3 \text{ t}$  angesetzt. Die Taktzeit für einen Schleppevorgang eines Steines auf die Plattform der Rampe (Abb.22) wird mit  $15 \text{ min}$  und eine tägliche Arbeitszeit von  $10 \text{ Stunden}$  im Schichtbetrieb an  $300 \text{ Tagen}$  im Jahr angenommen.

Die angenommenen Abmessungen der Rampen und Stufenhöhe sind in Abb.22 dargestellt. Bei einem nach unten gerichteten Zuggewicht eines Arbeiters von  $75 \text{ kg}$  werden ca.  $20 \text{ Arbeiter}$  benötigt.

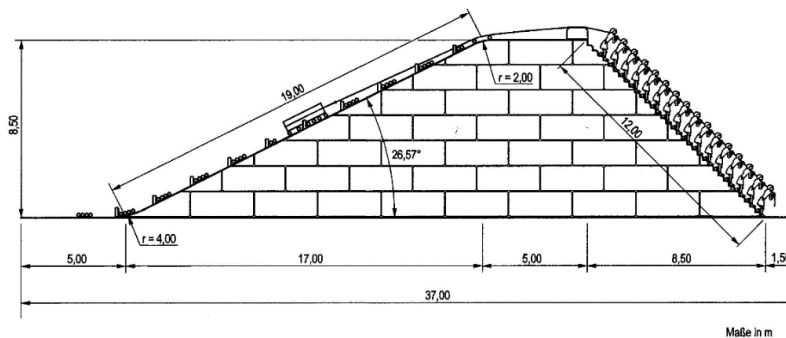


Abb.22

Im Frühjahr 2012 wurde im Rahmen einer Fernsehsendung des ZDF<sup>5</sup> vom Autor gezeigt, dass ein ca. 1,5 t schwerer Stein von einer Zugmannschaft bestehend aus 12 - 14 Personen ohne allzu große Kraftanstrengungen auf einer Rampe von ca. 10° nach oben gezogen werden konnte (Abb.23).



Abb.23

Die bisher aufgrund von Überlegungen mit Bauingenieuren und der Ergebnisse aus der Zugversuch des vorstehend beschriebenen Versuchs angesetzte Taktzeit von 15 min. konnte leider noch nicht an einem Modell (Abb.22) überprüft werden. Die tatsächliche Bauzeit der Pyramide wird jedoch davon maßgeblich bestimmt. Ein Antrag an die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) zur Finanzierung eines Praxisversuchs im Jahr 2014 wurde gestellt, leider jedoch abgelehnt.

Die Bauzeit für das Kernmauerwerk, das Verkleidungsmauerwerk und dessen Glättung, den Bau und Abbau der Rampen und der äußeren Plattformen sowie für die Bauvorbereitungsmaßnahmen der Pyramide des Mykerinos beträgt nach dem geschilderten Verfahren ca. 4,8 Jahre. Eine Vergleichsrechnung nach demselben Bauverfahren für die Pyramide des Cheops und die Rote Pyramide ergibt Bauzeiten von 22,5 bzw. 18,7 Jahren. Dabei wird der Baubeginn für die Rote Pyramide im 15. Jahr der Regentschaft des Snofru angenommen.

Die berechneten Bauzeiten der drei Pyramiden stehen daher nicht im Widerspruch zu den Regierungszeiten der Könige: Snofru 35 Jahre, Cheops 23 Jahre und Mykerinos - neuerdings 6 Jahre (nach Krauss und Warburton).<sup>6</sup>

### Schlussbemerkung

Der vorstehend beschriebene Vorschlag des Autors für den Bau der Pyramiden im Alten Reich mittels tangential angeordneter steiler Rampen und einer äußeren Umbauung wurde erstmals im Jahr 2008 veröffentlicht. In einer weiteren Publikation<sup>7</sup> sowie in verschiedenen Veröffentlichungen wurde eine ergänzte und weiter entwickelte Version der Theorie zum Bau der Pyramiden im Alten Reich vorgestellt.

Bilder und Zeichnungen: F. Müller-Römer

[frank-mueller-roemer@t-online.de](mailto:frank-mueller-roemer@t-online.de)

<sup>5</sup> Sendereihe pur+ „Das größte Grab der Welt“, 16.6.2012, ZDF.

<sup>6</sup> Hornung, E., Krauss, R., Warburton, D., A., Hrsg., Ancient Egyptian Chronology, HdO. Section 1, Band 83, Brill, Leiden 2006, S.485.

<sup>7</sup> Müller-Römer, F. Der Bau der Pyramiden im Alten Ägypten, Utz Verlag, München 2011.