

6. Bauzeiten der Pyramiden

Über die Bauzeiten der Pyramiden im AR liegen keine konkreten Angaben und Berichte vor. Der für die Errichtung einer Pyramide benötigte Zeitraum ist allenfalls aus der jeweiligen Regierungszeit, falls die Pyramide zu Lebzeiten des Königs fertig gestellt wurde, wie dies z.B. bei Snofru, Cheops, Chephren und weiteren Herrschern der Fall war bzw. aus der Fertigstellung der Bauten des Pyramidenbezirks abzuleiten.

Dagegen sind verschiedene Pyramiden bekannt, die infolge der nur kurzen Dauer der Regentschaft des jeweiligen Königs nicht fertig gestellt wurden: Sechemchet (7 Jahre), Djedefre (9 Jahre), eventuell auch Mykerinos (6 Jahre?), Nebka (7 Jahre), Schepseskare (7 Jahre), Neferefre (11 Jahre), Amenemhet IV. (9 Jahre) und Königin Nefrusobek (4 Jahre).⁶⁵¹

Allgemein wird davon ausgegangen, dass nach der Entscheidung des Königs über den Bau seiner Pyramide als Grabmal und nach Festlegung der Örtlichkeit etwa ein bis zwei Jahre benötigt wurden, um die Steinbrüche zu erschließen, die Transportrampen und Wege sowie die Unterkünfte etc. zu errichten, die Planung des Bauwerkes (Basislänge der untersten Verkleidungsschicht, Rücksprung) vorzunehmen, den Baugrund auszumessen und vorzubereiten, die genaue Ausrichtung nach Norden festzulegen, die Logistik der Baustelle einzurichten und die ersten Steine des Kernmauerwerks anzuliefern. Die Abfolge der Arbeiten ist schon auf dem Palermostein beschrieben.⁶⁵²

Beim Bau einer Pyramide mit den „klassischen“ Neigungswinkeln zwischen 50 und 55° nimmt die Fläche der einzelnen Schichten bzw. Stufen nach oben im Verhältnis zur Fläche der Basis mit dem Quadrat des Bruches der noch zu errichtenden Höhe ab. So beträgt z.B. die Fläche eines Pyramidenstumpfes in $\frac{1}{4}$ der Höhe nur noch $(\frac{3}{4})^2$ und damit nur noch ca. 56 % der Grundfläche.

Ähnlich verhält es sich mit dem Bauvolumen, wie Abb. 6.1 am Beispiel der Cheopspyramide zeigt.⁶⁵³

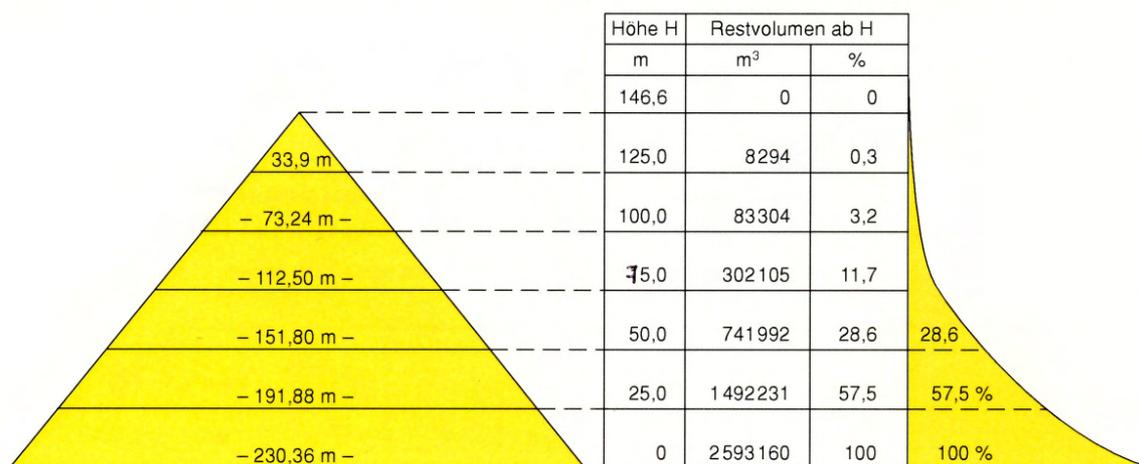


Abb. 6.1 Abnahme des Bauvolumens einer Pyramide im Verhältnis zu deren Höhe am Beispiel der Cheopspyramide

⁶⁵¹ Es ist nicht sicher, ob die zwei Pyramiden in Masghuna dem König Amenemhet IV. und der Königin Nefrusobek zugeordnet werden können.

⁶⁵² Schäfer; Urkunden I, 236, 12: „Planung, Stricke spannen (Einmessen), Eröffnung (Beginn der Erdarbeiten).

⁶⁵³ Lattermann, Pyramidenbau, S.32.

Bis zu einer Höhe von 50 m – also bis etwas mehr als einem Drittel der Gesamthöhe – sind bereits 71,4 % des Gesamtvolumens (ca. 1,85 Mio. m³ von insgesamt ca. 2,6 Mio. m³) verbaut.

Wie in Kapitel 4.5 „Mathematische Kenntnisse“ erläutert wurde, ist davon auszugehen, dass die Baumeister im AR in der Lage waren, das Volumen eines beliebig hohen Pyramidenstumpfes rechnerisch genau zu bestimmen. Es ist daher anzunehmen, dass ihnen auch die ungleichmäßige Verteilung des Baumaterials entsprechend der Höhe des Pyramidenstumpfes bekannt war und dass diese Verteilung für die Auswahl des Verfahrens zum Bau der Pyramide unter gleichzeitiger Beachtung der Vorgabe, den Bau in einer möglichst kurzen Zeit und mit einem Minimum an Materialaufwand zu errichten, von entscheidender Bedeutung war.

Daraus bieten sich folgende zwei Schlussfolgerungen an:

- Das gewählte Bauverfahren musste die Errichtung der Pyramide in einem möglichst kurzen Zeitraum erlauben. Somit scheidet senkrecht auf die Pyramidenseiten zulaufende Rampen, die ständig erhöht und verlängert werden müssen und bei denen es während dieser Zeit zu Transportunterbrechungen kommen kann, aus. Derartige Rampen würden auch für den Bau des oberen Teils der Pyramide einen unverhältnismäßig großen Material- und Zeitaufwand verursachen. Hinzu kommt, dass ihre Transportkapazität im Verhältnis zur Bauzeit meist zu gering ist. Letzteres gilt insbesondere auch für Spiral- bzw. Integralrampen.
- Das gewählte Bauverfahren musste für den Bau des unteren Bereichs der Pyramide mit der großen Anzahl der Steinblöcke ein weitgehend zeitgleiches Bauen sowohl an den vier Seiten der Pyramide als auch innerhalb der einzelnen Seiten ermöglichen. 50 % des Volumens müssen bis zu einer Höhe von 22% der Gesamthöhe der Pyramide verbaut werden.

Somit erscheinen nur parallel zu den Seiten der Pyramide angeordnete Rampen sinnvoll.

Unabhängig jedoch von der Bauweise, nach welcher die Pyramiden im AR gebaut wurden, wird für den Transport des Materials auf die einzelnen Stufen bzw. Schichten eine gewisse Zeit benötigt, die mit zunehmender Höhe der Pyramide zunimmt und somit dem Zeitaufwand für den Transport des geringer werdenden Steinmaterials pro Schicht entgegensteht.

Krauss unternimmt den Versuch, zwischen beiden Fakten unter Einbeziehung von Befunden an der Roten Pyramide einen Zusammenhang herzustellen,⁶⁵⁴ der einen Rückschluss auf die Bauzeit der Pyramide zulässt. Er geht dabei von Aufschriften mit Datumsangabe auf dem südwestlichen Eckstein („Jahr des 15. Mals der Zählung ...“; Monat und Tag sind auf dem Stein nicht mehr erhalten) der Grundsteinlegung⁶⁵⁵ aus. Darüber hinaus berücksichtigt er zwei ebenfalls von Stadelmann „unmittelbar über der 12. Lage auf der Ostseite“ („15. Mal“) und „auf der Ostseite in der 16./17. Lage“ („16. Mal“ ohne der Zusatz „der Zählung“) – gefundenen Backing Stones, die beide jedoch nicht unmittelbar vom Fundort stammen.⁶⁵⁶ Ein Bruchstück eines sehr beschädigten Backing Stone weist die Beschriftung „Jahr des 24. Mals ... Jahreszeit“ auf.

⁶⁵⁴ Krauss, Bauzeit.

⁶⁵⁵ Stadelmann, Pyramiden, S.100.

⁶⁵⁶ Stadelmann, MDAIK 39, S.235, Tf.74d, Abb.6 und Tf.74b, Abb.7.

Aus diesen sehr ungewöhnlichen Bezeichnungen kann jedoch nicht der eindeutige Schluss gezogen werden, dass sich diese Jahresangaben ohne Zusatz mit den tatsächlichen Jahren der Zählungen decken. Darüber hinaus wird von Krauss der bereits von Lepsius auf der Südseite gefundene Block (16. Mal) mit einbezogen. Stadelmann hatte aufgrund seiner Funde (Eckstein bei Grundsteinlegung und Backing Stones in der 16./17. Lage) bereits früher eine überschlägige Berechnung der Bauzeit für die ersten 17 Steinlagen (ca. 12 m; etwa 30 % der Gesamtmaterialmenge) durchgeführt⁶⁵⁷ und dafür 3 Jahre angesetzt.⁶⁵⁸ Die gesamte Bauzeit berechnet er mit mindesten 15 Jahren für das Kernmaterial und maximal 22–23 Jahren für die gesamte Pyramide.⁶⁵⁹

Seiner Modellrechnung legt Krauss zwei Tatsachen zugrunde: Einerseits nimmt das Steinvolumen pro Schicht kontinuierlich ab und andererseits wird eine ständig sich erhöhende vertikale Transportleistung erforderlich.⁶⁶⁰ Er entwickelt unter Einbeziehung der genannten Datumsangaben einen mathematischen Zusammenhang zwischen der Bauzeit der einzelnen Schichten $t(x)$ und einem Verzögerungsfaktor δ für den erhöhten vertikalen Transportaufwand. Dieser wird mit Hilfe der o.g. Einbaudaten des Ecksteins und der beiden Backing Stones ermittelt. Aufgrund komplizierter Berechnungen⁶⁶¹ kommt Krauss zum Ergebnis, dass es nur wenige Fälle gibt, für die das Verhältnis zwischen beiden Faktoren mit Blick auf die wahrscheinliche Bauzeit realistisch erscheint – auch im Vergleich zur mit für die Betrachtung herangezogenen Cheopspyramide:

„Demnach würde bei der roten Pyramide der ... unmittelbar über der 12. Schicht gefundene... Block aus Schicht 14 stammen und der in der 16./17. Lage gefundene Block aus Schicht 19. Die erste Schicht wäre in 14,25 Tagen verlegt worden, entsprechend einer Volumenleistung von 2385 m³ pro Tag. Bei einem konstanten Arbeitseinsatz hätte der Verzögerungsfaktor $\delta = 0,1075$ von der ersten Schicht bis zur Spitze eine über 16-fache Verlängerung der Transport- und Verlegungszeit eines Blockes bewirkt. Daraus würde eine Bauzeit der Roten Pyramide von ca. 10,6 Jahren resultieren. Bei der Cheopspyramide hätte das gleiche δ bis zur Pyramidenspitze eine fast 23-fache Verzögerung bei der Verlegung eines Blockes bewirkt und damit eine Gesamtbauzeit von ca. 20 Jahren“.

Für eine Bewertung dieser Modellrechnung sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Nach einer bereits von Lepsius veröffentlichten Inschrift eines Backing Stones („Erbkam – Block“)⁶⁶² wurde im Jahr der 24. Zählung noch an der Pyramide gebaut.
- v. Beckerath weist darauf hin, dass zumindest einmal nachweislich zwischen zwei Zählungen (zwischen der 7. und 8. Zählung) ein Jahr ausfiel⁶⁶³ und dass auffallend sei, dass die Datumsangaben auf den Backing Stones der Roten Pyramide nie eine Angabe „... nach der x-ten Zählung ...“ überlieferten⁶⁶⁴. Es wird nur eine „... x-te Zählung“ genannt. Gundacker vermutet daher aufgrund seiner Untersuchungen von Baugraffiti an Steinen der Pyramide von Meidum und der Roten Pyramide,⁶⁶⁵ dass

⁶⁵⁷ Stadelmann, Pyramiden, S.223.

⁶⁵⁸ Stadelmann, MDAIK 43, S.234

⁶⁵⁹ Stadelmann, MDAIK 43, S.236, 238 und 240.

⁶⁶⁰ Auf die Berücksichtigung der horizontalen Transportleistung wird dabei verzichtet.

⁶⁶¹ Formel siehe Krauss, Bauzeit, S.34, Gleichung 3.

⁶⁶² Lepsius, Denkmäler I, S.207.

⁶⁶³ Beckerath, Chronologie S.157.

⁶⁶⁴ Lepsius, Denkmäler Abteilung II, Tafel Nr.1f: „16. Jahr, 1. Monat der ersten Jahreszeit“.

⁶⁶⁵ Gundacker, Baugraffiti, S.29.

alle Graffiti, die „...Jahre des XY.Mals...“ angeben, lediglich Zensus- und nicht exakte Jahresangaben wiedergeben.

Krauss vermutet, dass gegen Ende der Regierungszeit des Snofru die Zählungen eher jährlich als zweijährlich durchgeführt wurden.⁶⁶⁶ Der Bau der Roten Pyramide habe daher mindestens 11 Jahre gedauert.⁶⁶⁷

- Über den genauen Fundort der Backing Stones in der Schichtlage (Mitte oder Randbereich) gibt es – wie auch bei Stadelmann – keine Angaben. Die Lage dieser Steine am Fundort spricht allerdings dafür, dass der ursprüngliche Einbauort nur eine oder zwei Steinlagen höher gewesen sein kann.
- Krauss geht von einer Errichtung der Pyramide in Form einzelner Schichten aus. Wie im Kapitel 5.1.2.1 „Die Rote Pyramide“ dargelegt, ist die innere Struktur dieser Pyramide wahrscheinlich jedoch als stufenförmiges Kernmauerwerk gestaltet.

Die Berechnungen von Kraus⁶⁶⁸ ergeben nach der von ihm entwickelten Formel für die Pyramiden der 4. Dynastie sehr unterschiedliche Bauzeiten – ohne Berücksichtigung der für die planerischen und logistischen Vorbereitungsarbeiten erforderlichen Zeiten (1–2 Jahre) und die anschließenden Glättungsarbeiten:

Meidum	3,4 Jahre
Knickpyramide	9,8 Jahre
Rote Pyramide	10,6 Jahre
Cheopspyramide	20,0 Jahre
Djedefre	1,1 Jahre
Chephren	16,8 Jahre
Mykerinos	1,1 Jahre

Bezogen auf die gesamte Bauzeit betragen die nach Krauss demnach durchschnittlich täglich zu erbringenden Volumenleistungen für die Rote Pyramide 458 m³ und für die Cheopspyramide 358 m³. Der geringere Wert für die Cheopspyramide berücksichtigt nach Krauss die Tatsache, dass gegenüber der roten Pyramide zusätzliche 53 Steinschichten „oberhalb“ der Spitze der Roten Pyramide mit entsprechend längeren Transportzeiten vom Bodenniveau aus gesehen gebaut wurden.

Nach den Berechnungen von Krauss betrug die tägliche Bauleistung bei der Roten Pyramide ca. 2400 m³ – bezogen auf die unterste Schicht.⁶⁶⁹ Diese Materialmenge soll zu Beginn der Bauarbeiten täglich an die Baustelle herangeführt und verbaut worden sein. In Abhängigkeit mit der fortschreitenden Bauhöhe der Pyramide verringert sich die Materialmenge, die zur jeweils obersten Bauplattform transportiert werden muss.

Die sich nach der Krauss'schen Modellrechnung ergebende Bauzeit von 10–11 Jahren für die Rote Pyramide mit einem Baubeginn nach weitgehender Fertigstellung der Pyramiden in Meidum und in Dahschur Süd nach einer 24-jährigen Regierungszeit des Snofru könnte mit einer Regierungsdauer des Snofru von insgesamt 35 Jahren etwa übereinstimmen.⁶⁷⁰ Ähnliches gilt etwa auch für die Bauzeit der Cheopspyramide mit 20 Jahren.

⁶⁶⁶ Krauss, Bauzeit, S.30.

⁶⁶⁷ Krauss, Bauzeit, S.30; Siehe auch Gundacker, Snofru, S.19.

⁶⁶⁸ Krauss, Chronologie, Tabelle 2.

⁶⁶⁹ Krauss, Bauzeit, S.37.

⁶⁷⁰ Beckerath, Chronologie, S.187.

Eine kritische Bewertung der von Krauss berechneten Bauzeiten führt zu folgenden Anmerkungen:

- Die Pyramiden in Meidum und Dahschur Süd (Knickpyramide) sind als Schichtpyramiden nach einem anderen Bauprinzip als die anderen, in der Tabelle aufgeführten Pyramiden (Stufenbauweise) errichtet worden. Somit könnten sich andere Bauzeiten ergeben.
- Die Transportwege für das Steinmaterial des Kernmauerwerks und des Verkleidungsmauerwerks waren unterschiedlich lang und hatten (z.B. bei der Pyramide des Djedefre) unterschiedliche Höhenunterschiede zu überwinden. Es ist daher zweifelhaft, ob bei jeder der genannten Pyramiden von der Anlieferung stets der gleich großen Materialmenge bezogen auf die Zeiteinheit ausgegangen werden kann.
- Das Krauss'sche Modell mit unterschiedlich langen Transportzeiten in Abhängigkeit von der Höhe, auf welche die Steinblöcke zu transportieren sind, steht und fällt jedoch mit der Annahme des schichtweisen Baus der Pyramide über senkrecht auf die Pyramidenfläche zuführende Rampen. Wie mehrfach gezeigt und erläutert, bestehen die Pyramiden im AR ab der Roten Pyramide aus einem stufigen Kernmauerwerk; eine schichtweise Bauweise scheidet somit aus. Wie in Kapitel 8 „Eine neue Hypothese für den Bau der Pyramiden: Pyramidenbau mit Rampen und Seilwinden“ erläutert wird, ist der für die Bauzeit der Pyramiden mit einem stufenförmigen Kernmauerwerk maßgebende Wert der Arbeitstakt. Dieser ist aber höhenunabhängig.
- Es ist unwahrscheinlich, dass beim Bau der Pyramide des Mykerinos bei der von Krauss ermittelten Bauzeit von 1,1 Jahren im Durchschnitt täglich ca. 600 m³ Steine nach oben transportiert werden konnten⁶⁷¹. Dies entspricht ca. 500 Steinblöcken. Wie in Kapitel 8.2.3.3 „Bauzeit für die Pyramide des Mykerinos“ gezeigt wird, wurden beim Bau der Pyramide des Mykerinos durchschnittlich lediglich ca. 202 m³ bzw. 168 Steinblöcke pro Tag transportiert.

Aus den genannten Überlegungen heraus erscheint das Krauss'sche Modell für die Berechnung der Bauzeiten der Pyramiden im AR in sich für nicht schlüssig und von unzutreffenden Annahmen ausgehend. Dieser Berechnungsmethode kann daher nicht zugestimmt werden.⁶⁷²

Aufgrund der Graffiti mit Angaben zu allen drei Jahreszeiten, die auf Backing Stones der Roten Pyramide gefundenen wurden, ist nachgewiesen, dass die Bauarbeiten an dieser Pyramide während des gesamten Jahres erfolgten.⁶⁷³ Unter der Annahme, dass durchschnittlich während zweier Monate im Jahr wegen Ruhetagen, Festen etc. nicht gearbeitet wurde, verbleiben ca. 300 Arbeitstage pro Arbeiter und Jahr. Diese Werte können daher bei der Berechnung der Bauzeiten auch anderer Pyramiden angenommen werden. Verner weist auf indirekte Zeitanlagen hin, die an den Transportrampen (siehe Kapitel 4.3.2.4 „Die Rote Pyramide in Dahschur“) zwischen den Steinbrüchen und der Baustelle der Roten Pyramide gefunden worden sind und die den Schluss zulassen, dass täglich 300 bis 600 Steinblöcke transportiert wurden.⁶⁷⁴

⁶⁷¹ Wie in Kapitel 8.2.3 „Berechnung der Transportleistungen und der entsprechenden Bauzeit“ ausgeführt wird, kann bei der Pyramide des Mykerinos von durchschnittlich 201 000 Steinblöcken ausgegangen werden.

⁶⁷² Romer, *Pyramid*, S.67ff. und Appendix 5, ermittelt aufgrund des Krauss'schen Modells für die Cheopspyramide eine Bauzeit von 14 Jahren.

⁶⁷³ Stadelmann, *MDAIK* 36.

⁶⁷⁴ Verner, *Pyramiden*, S.89.

Bei den meisten Hypothesen zum Pyramidenbau fehlen Angaben und Berechnungen zu den sich dabei ergebenden Transport- und Bauzeiten. Nur zu einigen wenigen Hypothesen (siehe Kapitel 7 „Analyse und Bewertung der bisher bekannt gewordenen Bauhypothesen“) werden diesbezügliche Angaben vorgelegt.⁶⁷⁵ Die Berechnungen beziehen sich fast alle auf die Cheopspyramide. Eine Berechnung der aufgrund der jeweiligen Hypothese sich für weitere Pyramiden ergebenden Bauzeiten wird nicht vorgenommen.

Goyon	(Kapitel 7.4.1)	43	Jahre für den Bau der Cheopspyramide ⁶⁷⁶
Riedel	(Kapitel 7.5.5)	20	Jahre für den Bau der Cheopspyramide
Abitz	(Kapitel 7.5.6)	18	Jahre für den Bau der Cheopspyramide
Munt	(Kapitel 7.5.7)	15	Jahre für den Bau der Cheopspyramide
Pitlik	(Kapitel 7.5.9)	16	Jahre für den Bau der Cheopspyramide
Bormann	(Kapitel 7.5.10)	21	Jahre für den Bau der Cheopspyramide
Keyssner	(Kapitel 7.5.12)	20,5	Jahre für den Bau der Cheopspyramide
Winkler	(Kapitel 7.5.13)	6,8	Jahre für den Bau der Cheopspyramide
		4	Jahre für den Bau der Chephrenpyramide

Zu einigen Bauhypothesen, für die keine Bauzeiten genannt sind, wurden eigene Abschätzungen der sich ergebenden Bauzeiten vorgenommen:

Klemm und Klemm	(Kapitel 7.4.3)	54	Jahre für den Bau der Cheopspyramide ⁶⁷⁷
Parry	(Kapitel 7.5.11)	55	Jahre für den Bau der Cheopspyramide ⁶⁷⁸

Zu der Hypothese von Lehner/Haase nahm Keyssner eine Abschätzung vor:

Lehner/Haase	(Kapitel 7.4.2) ⁶⁷⁹	47–59	Jahre für den Bau der Cheopspyramide
--------------	--------------------------------	-------	--------------------------------------

Wie in den Kapiteln 8.2.3.3 „Bauzeit für die Pyramide des Mykerinos“ und 8.3 „Eine vergleichende Betrachtung der Bauzeiten der Roten Pyramide und der Cheopspyramide“ gezeigt wird, ergeben die Berechnungen der reinen Bauzeiten nach der hiermit vorgelegten Bauhypothese „Pyramidenbau mit Rampen und Seilwinden“ folgende Werte:

- Pyramide des Mykerinos ca. 4,6 Jahre

Die überschlägige Abschätzung der reinen Bauzeiten der Roten Pyramide und der Cheopspyramide ergeben folgende Werte:

- Rote Pyramide ca. 16,9 Jahre
- Cheopspyramide ca. 21,2 Jahre

⁶⁷⁵ Es handelt sich dabei jeweils um reine Bauzeiten ohne planerische und sonstige Vorbereitungsarbeiten.

⁶⁷⁶ Graefe (Graefe, Pyramidenbau [11]) weist auf eine Berechnung der Bauzeit der Cheopspyramide nach dem Vorschlag Goyons durch Henri Paul aus dem Jahr 1987 hin, wonach diese 43 Jahre betragen habe.

⁶⁷⁷ Siehe Abschnitt 7.4.3.

⁶⁷⁸ Siehe Abschnitt 7.5.11.

⁶⁷⁹ Berechnung durch Keyssner, Baustelle Giza, S.21.

7. Analyse und Bewertung der bisher bekannt gewordenen Bauhypothesen

Im Folgenden werden die so genannten mystischen und pseudowissenschaftlichen Ideen und Vorschläge für den Pyramidenbau, mit denen sich Lauer ausgiebig auseinandersetzt,⁶⁸⁰ nicht berücksichtigt. Auch die „Zuwachstheorie“ von Lepsius,⁶⁸¹ wonach in Abhängigkeit der Lebensdauer des Königs nacheinander Schalen um einen Kern (Obelisk) gelegt worden und so die Pyramiden entstanden seien, wird nicht näher betrachtet. Gleiches gilt für die kürzlich vorgelegte Arbeit von Barsoum, in der – wie schon von Davidovits in den 80er Jahren – versucht wird, den Beweis zu führen, dass die Kalksteinblöcke der Pyramiden in Giza nicht aus Steinbrüchen stammen, sondern vor Ort als eine Art Beton gegossen worden sein sollen.⁶⁸²

7.1 Historische Beschreibungen des Pyramidenbaus

Immer wieder wird dabei u.a. auch auf die Beschreibung des Pyramidenbaus von Herodot und seine „Maschinen“ sowie auf die Schilderungen von Diodorus Siculus zum Pyramidenbau Bezug genommen.

7.1.1 Herodot

Die älteste, heute bekannte Beschreibung des Pyramidenbaus stammt aus der Feder von Herodot, der im 5. Jahrhundert vor Christus Ägypten besuchte und seine diesbezüglichen Informationen von Priestern erhielt, die ihrerseits von Ereignissen, die mehr als 2000 Jahre zurücklagen, berichteten.⁶⁸³

Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass Herodot sicherlich als allgemein interessierter Besucher aber keineswegs als Ingenieur die Schilderungen verfolgt haben dürfte. Für die Bauweise der Pyramiden sind dennoch die Aussagen einiger Textstellen von Interesse:⁶⁸⁴

- (124)⁶⁸⁵ ... „So wurde das Volk bedrückt, und es dauerte 10 Jahre, ehe nur die Straße gebaut war, auf der die Steine einher geschleift wurden ... Denn die Straße ist ... aus geglätteten Steinen hergestellt, in die Tiergestalten⁶⁸⁶ eingemeißelt waren ...“⁶⁸⁷
- (125) „... An der Pyramide selber wurde zwanzig Jahre gebaut Sie besteht aus geglätteten, aufs Genaueste ineinander gefügten Steinen ...“.
- (126) „Bei ihrem Bau verfuhr man folgendermaßen:
Zunächst ist sie stufenförmig, treppenförmig⁶⁸⁸ oder wie man es nennen will, gebaut worden; die zur Ausfüllung des Treppendreiecks bestimmten Steine wurden mittels

⁶⁸⁰ Lauer, Geheimnis.

⁶⁸¹ Lepsius, Bau.

⁶⁸² Barsoum, Große Pyramide.

⁶⁸³ Herodot, zweites Buch, Kapitel 124–126 Bau der Cheopspyramide; 127 Pyramide des Chephren; 134 Pyramide des Mykerinos.

⁶⁸⁴ Übersetzung nach Horneffer, Herodot, S.153–154.

⁶⁸⁵ In den Ziffern 124–126 wird der Bau der Cheopspyramide beschrieben.

⁶⁸⁶ Stein, Herodot, S.138; danach sind die in die Steinplatten geschliffenen Zeichen Hieroglyphen; v. Bissing vermutet, dass es sich dabei um Graffiti späterer Besucher handelt (Bissing, Diodor, S.12).

⁶⁸⁷ Lloyd weist darauf hin, dass es unklar ist, ob der Aufweg zur Cheopspyramide bedeckt (wie bei den Pyramiden des Chephren und des Unas) oder nach oben offen war (wie bei Snofru). Ebenso sei es unmöglich festzustellen, wo die von Herodot genannten verzierten Reliefs angeordnet waren. Lloyd vermutet, dass sich Herodot irrt und dass er eine Baurampe zum Transport der Steine meint (Lloyd, Herodot, S.65).

⁶⁸⁸ Nach Stein, Herodot: „...stufenförmig, in Absätzen...“

eines kurzen Holzgerüsts⁶⁸⁹ hinauf gewunden. So hoben sie sie von der Erde auf den ersten Treppenabsatz; dort legten sie sie auf ein anderes Gerüst, durch das sie auf den zweiten Treppenabsatz hinauf gewunden wurden.⁶⁹⁰ Soviel Stufen, soviel solcher Hebevorrichtungen waren vorhanden, falls diese Hebevorrichtungen nicht so leicht tragbar waren, dass man ein und dieselbe von Stufe zu Stufe hob, nachdem man den betreffenden Stein herab genommen hatte.⁶⁹¹ Mir ist nämlich beides erzählt worden, weshalb ich beides anführe.⁶⁹²

So wurde zuerst die Spitze fertig gestellt, dann abwärts bis schließlich zu den untersten Stufen herab ...“

- (127) „... Chephren ... baute auch eine Pyramide, die aber nicht so groß ist ... Die unterste Schicht baute er aus buntem Aithiopischen Stein⁶⁹³ ...“
- (134) „Er⁶⁹⁴ hinterließ eine viel kleinere Pyramide als sein Vater... Auch sie ist viereckig und bis zur Hälfte aus Aithiopischem Stein...“

Diese Schilderung legt folgende Vermutungen bzw. Schlussfolgerungen zumindest für den Bau der Cheopspyramide nahe:

- Zur Verringerung der Gleitreibung bestanden die Oberflächen der Transport- und Bau rampen zumindest teilweise aus geglättetem Kalkstein.
- Die innere Baustruktur der Pyramide wies Stufen bzw. Absätze auf.
- Der Materialtransport erfolgte von Stufe zu Stufe, indem die Steine mittels eines Holzgerüsts hoch wunden wurden.

Auf Grund der archäologischen Befunde (siehe Kapitel 4 „Bautechnik im Alten Reich“) kann damit eine Zugeinrichtung mit Walze (Spill, Seilwinde) gemeint sein, mit der die Steine über parallel zur Pyramidenseite angeordnete Rampen hochgezogen wurden. Auf diese Weise hätten nicht nur die Steine zum Ausfüllen der Stufen- bzw. Treppenabsätze, sondern auch diejenigen für das Kernmauerwerk nach oben transportiert werden können. Nähere Ausführungen zu dieser Möglichkeit des Steintransports finden sich in Kapitel 8 „Eine neue Hypothese für den Bau der Pyramiden: Pyramidenbau mit Rampen und Seilwinden“.

- Die Fertigstellung der Außenverkleidung erfolgte von der Spitze zur Basis der Pyramide.

⁶⁸⁹ μηχανήσι ξύλων βραχέων; wörtlich: „Eine aus kurzen Hölzern (bestehende) Maschine anwenden“. Die Übersetzung des Wortes βραχύς im Sinne von gering, unbedeutend ist nur im Zusammenhang mit Zahlen belegt. Eine Deutung als Qualitätsbegriff von Holzstangen, wie sie Winkler (Winkler, Pyramidenbau, S.27) vornimmt, erscheint unzulässig.

⁶⁹⁰ μεταφορά bedeutet Fortschaffen, Beförderung, Verladung, Ablieferung, Überführung.

⁶⁹¹ Dieser Absatz des Berichtes des Herodot gibt immer wieder Anlass zu den unterschiedlichsten Interpretationen über das beim Bau der Cheopspyramide angewandte Bauverfahren.

Lloyd vertritt in diesem Zusammenhang die Auffassung, dass die einzig bekannte Baumethode in der Verwendung von senkrecht auf die Pyramide zulaufenden Rampen zum Transport von Steinen auf Schlitten bestehe. Dieses Verfahren sei beim Bau der Großen Pyramide perfekt entwickelt worden (Lloyd, Herodot, S.68). Andere Interpretationen der Aussagen Herodots, mit dem „Gerüst“ könnten auch Wippen oder Rollen gemeint sein, seien inakzeptabel. Diese könnten nicht als Hebeeinrichtungen verstanden werden.

Lloyd vertritt weiterhin die Auffassung, dass die Schilderung Herodots, es seien Hebevorrichtungen aus kurzen Hölzern verwendet worden, von dem seit dem 6. Jh. v.Ch. im griechischen Raum erfolgten Einsatz von kranartigen Hebevorrichtungen beeinflusst sei.

⁶⁹² v. Bissing, Diodor, S.14, bezweifelt die gewöhnliche Erklärung (Wiedemann, Diodor; Perrot-Chipiez I, S.525; Lepsius, Bau), wonach es sich um kleine, aber feste Holzgerüste gehandelt habe, an denen sich oben eine Rolle befand.

⁶⁹³ Schwarzer Granit aus Assuan (Lloyd, Herodot, S.75).

⁶⁹⁴ Gemeint ist Mykerinos.

- Die mit 20 Jahren angegebene Bauzeit der Cheopspyramide stimmt mit den an anderer Stelle vorgelegten Berechnungen in etwa überein.

Der Bericht Herodots stellt sich – wie in Kapitel 8 „Eine neue Hypothese für den Bau der Pyramiden: Pyramidenbau mit Rampen und Seilwinden“ eingehend erläutert wird – als teilweise übereinstimmend mit den archäologischen Befunden dar – wenn man von den Ungenauigkeiten seiner Maßangaben absieht.

7.1.2 Diodor

Diodor⁶⁹⁵ schildert in seinen Reisebeschreibungen, Buch I, Kapitel 63, 2 ff.,⁶⁹⁶ dass den Ägyptern im AR keine Maschinen (Hebeegeräte) zur Verfügung gestanden hätten. Die Steine habe man mittels schräger Erddämme transportiert.⁶⁹⁷ Diese Dämme – so die Erläuterungen einiger der ägyptischen Gesprächspartner von Diodor – hätten aus Salz und Salpeter bestanden und seien später durch das Nilwasser aufgelöst worden. v. Bissing deutet die entsprechende Textpassage in der Weise, dass offensichtlich nur eine unklare Vorstellung von der Schädlichkeit der in der Erde enthaltenen Salze, zumal wenn die Erde feucht werde, bestanden habe.⁶⁹⁸

7.1.3 Plinius

Plinius spricht ebenfalls von Terrassen, die mit Hilfe eines sich auflösenden Materials hergestellt worden seien:⁶⁹⁹

„Ein schwieriges Problem ist, herauszubringen, wie die Baustoffe auf eine so große Höhe getragen wurden. Den einen zufolge errichtete man Salpeter- und Salzhaufen in dem Maße, wie der Bau vorankam, und als er beendet war, ließ man sie durch Heranführen von Nilwasser sich auflösen. Anderen zufolge errichtete man Brücken aus irdenen Ziegeln, die man nach Vollendung des Bauwerks zwischen die Häuser der Privatleute verteilte, denn, so sagen sie, der Nil konnte nicht dorthin geleitet werden, da er tiefer lag“.

Ein Umfangsmantel (Baurampe) aus Lehmziegeln wäre nach Beendigung der Bauarbeiten (inneres Bauwerk und Verkleidung) leicht abbaubar gewesen. Die Ziegel könnten über viele Jahrhunderte hinweg von selbst zerfallen bzw. als Düngemittel verwendet worden sein. Beim Abbau dieser Baurampe von der Pyramidenspitze bis zur Basis wäre dann gleichzeitig die Glättung der in Bosse stehen gebliebenen Steine der äußeren Verkleidungsschicht erfolgt.

7.2 Grundsätzliche Lösungsansätze für den Pyramidenbau

In nachfolgende Analyse bisher bekannt gewordener Bauvorschläge werden nur die Hypothesen einbezogen, die sich konkret mit Fragen und Vorschlägen des Pyramidenbaus befassen.

⁶⁹⁵ Diodorus von Agyrion (Sizilien) verfasste in 40 Büchern eine Beschreibung der Weltgeschichte, die z.T. noch erhalten ist. Er besuchte vermutlich etwa um 20 v. Chr. Ägypten. Näheres bei Pauly, RE. Weitere Quellenangaben siehe LÄ I, S.1095/96 und Goyon, Cheopspyramide, S.173.

⁶⁹⁶ Bissing, Diodor, S.17.

⁶⁹⁷ Damit sind vermutlich Rampen gemeint.

⁶⁹⁸ Bissing, Diodor, S.22.

⁶⁹⁹ Plinius, 36, 17 (12), Übersetzung Littré (Quelle nach Goyon, Cheopspyramide, S.173).

Für deren Bewertung und Akzeptanz sollen verschiedene Prämissen gelten, die jeweils zu erfüllen sind:

- Es dürfen nur Werkzeuge, Transport- und Bauverfahren zugrunde gelegt bzw. berücksichtigt werden, für die es archäologische Befunde aus der Zeit des AR bzw. entsprechende Schlussfolgerungen gibt.
- Die archäologischen Befunde an den Pyramidenbauten des AR sind zu berücksichtigen.
- Die vorgeschlagenen Bauhypothesen müssen die Errichtung der kompletten Pyramide einschließlich Aufsetzen des Pyramidion und die Glättung der Außenverkleidung ermöglichen.
- Die Vorlage einer Berechnung der sich aufgrund der Bauhypothese ergebenden Bauzeit für die betrachtete Pyramide ist für eine Bewertung unerlässlich.
- Bau- und sicherheitstechnische Aspekte für den Bau und die Glättung der Außenverkleidung sind zu berücksichtigen.
- Die vorgeschlagenen Bauhypothesen müssen regelmäßig durchzuführende Messungen am Baukörper während der Bauzeit ermöglichen.

Erfüllt eine Bauhypothese vorstehend aufgeführte 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.

Die bisher bekannt gewordenen Hypothesen für den Bau der Pyramiden im AR können grob in **drei Kategorien** eingeteilt werden:

- **Hypothesen, denen senkrecht auf die Pyramide zulaufende Rampen zugrunde liegen;**
- **Hypothesen, denen entlang der Pyramidenseiten geführte Rampen zugrunde gelegt werden;**
- **Hypothesen für den Einsatz von Hebegeräten bzw. Zugeinrichtungen.**

Die wichtigsten Hypothesen werden im Folgenden nach dieser Klassifizierung beschrieben, analysiert und bewertet. Bei der Entwicklung der Bauhypothesen in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts zeichnet sich die Tendenz ab, den Materialaufwand für Rampen zu minimieren.

Die vorgelegten Hypothesen beziehen sich fast ausschließlich auf den Bau der größten Pyramide, der Cheopspyramide. Es ist mit Blick auf die archäologischen Belege auszuschließen, dass sich während eines Zeitraumes von 470 Jahren (3. bis 6. Dynastie) mit insgesamt etwa 25 großen Pyramidenbauwerken die Bauverfahren – mit Ausnahme des Wechsels vom Prinzip der Schicht- zur Stufenpyramide unter Snofru – grundsätzlich geändert haben. Offensichtlich hat es nur kontinuierliche Weiterentwicklungen gegeben. Hypothesen für den Bau der Cheopspyramide müssen daher auch für andere Pyramiden im AR gelten.

7.3 Bauhypothesen, denen senkrecht auf die Pyramide zulaufende Rampen zugrunde liegen

7.3.1 Überlegungen zum Problem des Pyramidenbaus nach Arnold

Arnold veröffentlichte 1981 seine Überlegungen zum Problem des Pyramidenbaues.⁷⁰⁰ Ausgehend von der Überzeugung, dass längere, senkrecht auf die Pyramide zuführende Rampen aus verschiedenen bautechnischen Gründen nicht möglich sind, schlägt er für den Bau der Cheopspyramide eine Rampe vor, die z.T. in einer Schneise im Kernmauerwerk verläuft. Auf diese Weise könnten Steine bis in eine Höhe von etwa 35 m bei einer Steigung von 8° bis 10° transportiert werden (Abb. 7.3.1.A). Für den Transport in eine Höhe von 60–65 m schlägt Arnold dann eine Außenrampe (Abb. 7.3.1.B) mit einer Länge von 100–150 m vor. Für den Bau der Cheopspyramide sei eine derartige Konstruktion mit Blick auf die Größe und das Gewicht der Steine für die Grabkammern in jedem Fall anzunehmen. Durch eine Kehrtwendung der Rampe um 180 Grad (Abb. 7.3.1.C) wäre es dann möglich, eine Höhe von ca. 90 m zu erreichen. Die weiteren Baumaßnahmen beschreibt Arnold als „schwierig“ – insbesondere das Aufsetzen des Pyramidion:

„Wie die ägyptischen Bauleute sich behalfen, lässt sich nicht mehr erschließen. Dass es ihnen jedoch gelang, das Problem zu lösen, demonstrieren die Beispiele der Cheops- und der Chephrenpyramide“.

Vielleicht wurde – so Arnold weiter – für die restlichen Arbeiten eine treppenförmige Konstruktion gebaut (Abb. 7.3.1.D).

„Wie man die Steine hochhob, ist nicht bekannt“.

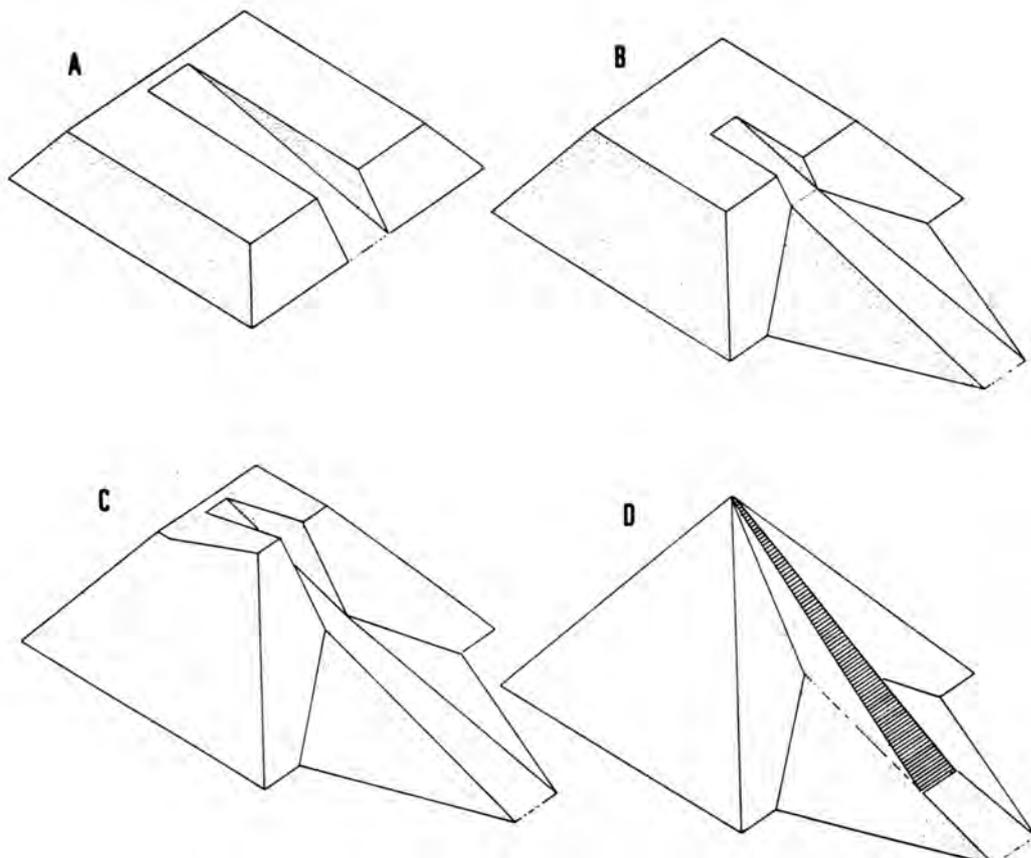


Abb. 7.3.1 Vorschlag von Arnold für den Bau der Cheopspyramide

⁷⁰⁰ Arnold, Pyramidenbau.

Der Bau der äußeren Verkleidungsschicht bzw. der Außenverkleidung sei stets gleichzeitig mit der Errichtung des Kernmauerwerks vorgenommen worden. Im Anschluss daran soll dann die Glättung der Außenverkleidung von oben nach unten erfolgt sein.

Der Haupteinwand gegen den von Arnold zur Diskussion gestellten Vorschlag betrifft einmal die komplizierte Bauweise der „mitwachsenden“ Rampen unterschiedlicher Steigung, die durch die ständig erforderlichen Erhöhungen und Anpassungen der Basisbreite zu regelmäßigen Unterbrechungen der eigentlichen Bauarbeiten führen mussten, und zum anderen Schwierigkeiten mit dem gleichzeitigen Bau der inneren Gänge und Kammern, die sich in der Pyramidenmitte befanden. Darüber hinaus legt Arnold keinen Lösungsvorschlag für den Bau der Pyramidenspitze vor. Hauptargument gegen die von Arnold vorgeschlagene Bauweise ist jedoch, dass der Bau der Außenverkleidung der Pyramide (Zuschneiden der Steine am Ort der Verlegung) und das Glätten der in Bosse stehenden Steine der Außenverkleidung ohne eine äußere Baurampe oder ein Baugerüst aus bau- und sicherheitstechnischen Gründen nicht vorstellbar sind.

Arnolds Hypothese bietet auch keine Erklärung dafür, warum das Kernmauerwerk – wie archäologisch belegt ist – in Stufen und nicht in einzelnen Schichten errichtet wurde. Archäologische Befunde für die vorgeschlagene Bauweise sind bei den Pyramiden der 3. und 4. Dynastie nicht bekannt. Wie die Stufenbauweise bei der Pyramide des Mykerinos zeigt, ist das Gegenteil der Fall.

Eine Berechnung der möglichen Transportkapazität der Rampen und der Bauzeit der Pyramide wurde von Arnold nicht vorgelegt.

Arnolds Diskussionsvorschlag für den Bau der Pyramiden, den er kürzlich anhand der Pyramide von Sesostris I. in Lischt wiederholte,⁷⁰¹ erscheint insgesamt für nicht schlüssig. Einige der im Kapitel 7.2 „Grundsätzliche Lösungsansätze für den Pyramidenbau“ genannten Prämissen werden nicht erfüllt.

7.3.2 Vorschlag von Stadelmann für ein Rampensystem

Stadelmann veröffentlichte 1990 einen revidierten Vorschlag für die Errichtung der Pyramiden mittels einer Kombination verschiedener Rampen.⁷⁰² Er geht dabei von seinen Ausgrabungen in Dahschur (Rote Pyramide) aus, bei denen Rampenspuren gefunden wurden (Abb. 4.3.2.4). Diese gehören nach Stadelmann zu einer Vielzahl kleinerer Rampen, über die bis zu einer Höhe von 15–20 m von drei bzw. vier Seiten der Pyramide gleichzeitig der Materialtransport erfolgte (Abb. 7.3.2.1). Diese Anordnung der Rampen kann nach Stadelmann auch eine Erklärung dafür sein, dass die unteren 15 m der Roten Pyramide in nur 2–3 Jahren gebaut werden konnten. Ab einer Höhe von 20 m waren die kleinen Rampen zu steil für einen Transport mittels Ochsespannen. Für den weiteren Bau soll dann eine größere Rampe entlang einer Seite der Pyramide errichtet worden sein (Abb. 7.3.2.1 und 7.3.2.2).

Stadelmann vermutet ferner, dass ab etwa 20 m Höhe die Bauweise nicht mehr in horizontal verlegten Steinschichten, sondern in einzelnen Stufen – wie bei der Pyramide des Mykerinos sichtbar – bestand. Ab einer bestimmten Höhe – bei der Cheopspyramide vermutlich ab 120 m – könnte die Rampe nicht weiter erhöht werden. Die restlichen Bauarbeiten sollen daher nach anderen Verfahren ausgeführt worden sein. Stadelmann verweist in diesem Zusammen-

⁷⁰¹ Arnold, Pyramiden, S.347.

⁷⁰² Stadelmann, Große Pyramiden, S.266ff.

hang auf den Vorschlag von Arnold (Kapitel 7.3.1 „Überlegungen zum Problem des Pyramidenbaus nach Arnold“) und (in einer späteren Veröffentlichung) auf den von Hampikian⁷⁰³ (Kapitel 7.4.5 „Umlaufende Rampe nach Hampikian“).

Auch für den Bauvorschlag von Stadelmann gilt, dass er sehr kompliziert ist und in sich keine klare einheitliche Linie aufweist. Er entspricht nicht der einfachen und in sich einheitlichen Bauweise, die im AR Anwendung fand. Darüber hinaus ist aus bautechnischer Sicht zu bezweifeln, ob eine Vielzahl derartiger Rampen mit einer so schmalen Basis eine ausreichende statische Sicherheit für den Transport schwerer Steine bieten könnte. Die Rampen müssten auch ständig erhöht und ihre Basis angepasst werden, was zu regelmäßigen Bauunterbrechungen oder zumindest zu Einschränkungen führen würde. Ein Wechsel der Bauweise waagrecht verlegter Steinlagen zu einer Stufenform erscheint inkonsequent und sehr unwahrscheinlich.

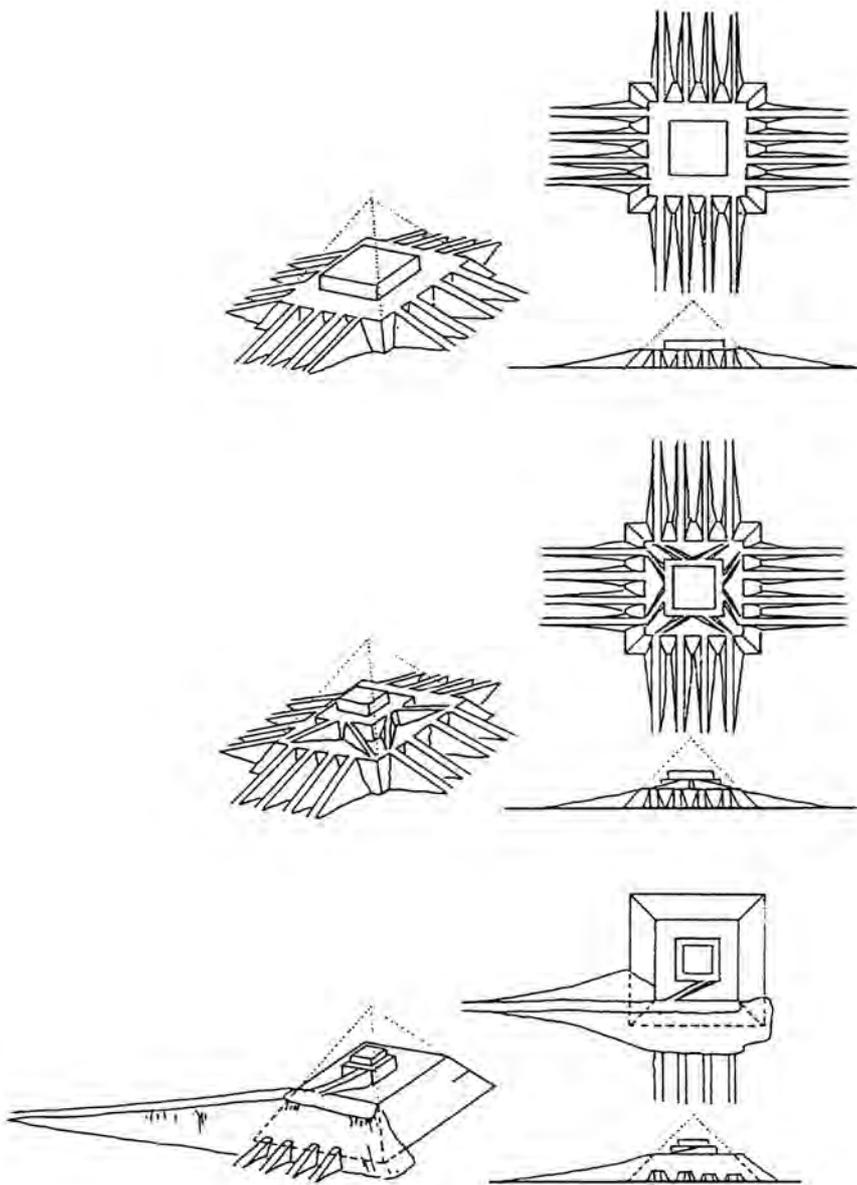


Abb. 7.3.2.1 Vorschlag Stadelmann für den Bau des unteren Teils der Pyramide

⁷⁰³ Stadelmann, Pyramiden, S.224ff.

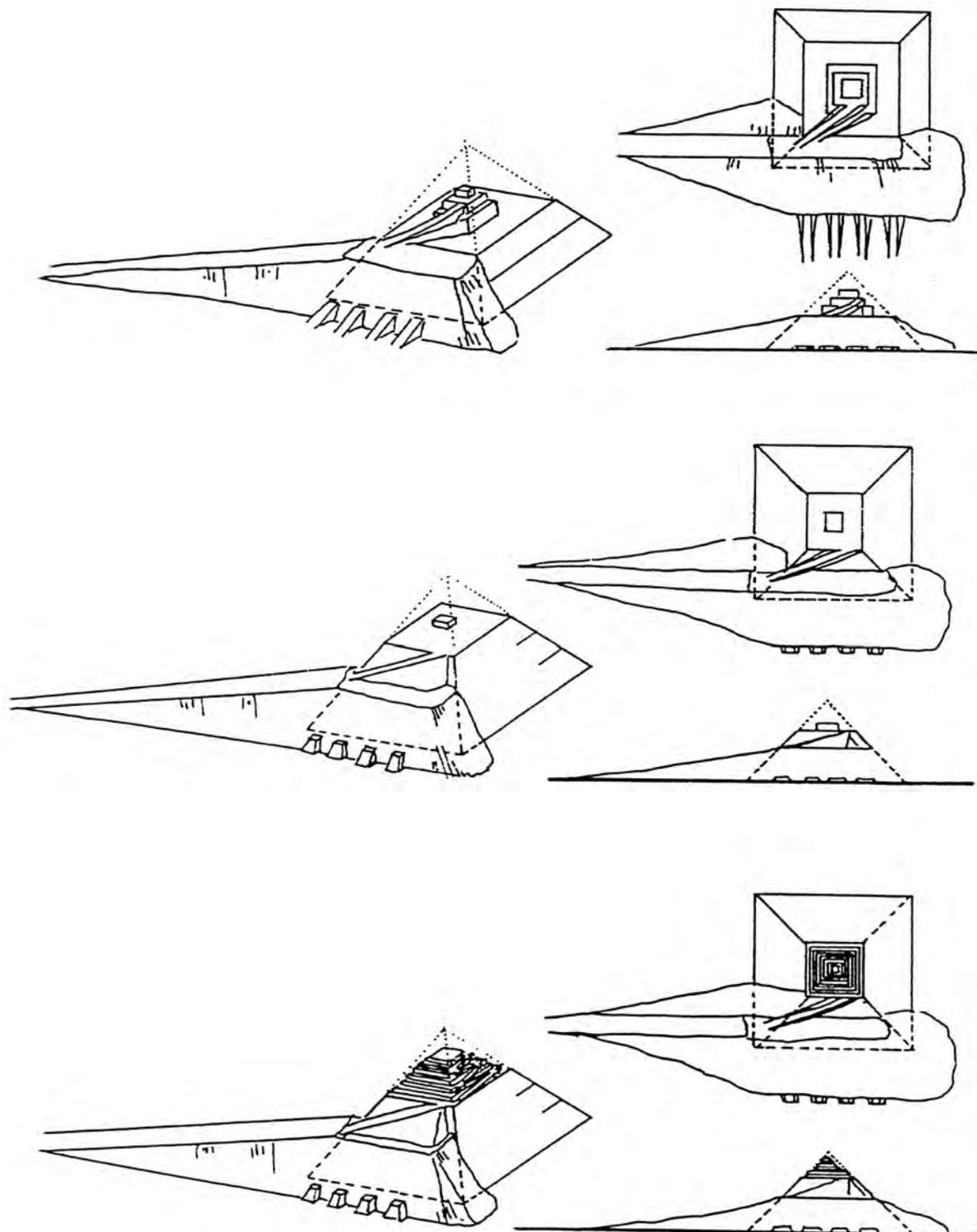


Abb. 7.3.2.2 Vorschlag Stadelmann für den oberen Teil der Pyramide

Im unteren Bereich der Pyramide kann so eine zeitgleiche Verbauung von Kern- und Verkleidungsmaterial erfolgen. Wie der Bau der Außenverkleidung des oberen Teils vorgenommen werden soll, bleibt weitgehend offen. Der Bau der Außenverkleidung der Pyramide und das Glätten der in Bosse stehenden Steine der Außenverkleidung sind ohne eine Art Baugerüst (äußere Baurampe) aus bau- und sicherheitstechnischen Gründen nicht vorstellbar.

Berechnungen der Transportkapazität der Rampen und zur Bauzeit der Pyramide werden nicht vorgelegt. Archäologische Befunde von derart großen Baurampen gibt es bei den Pyramiden des AR nicht. Der Vorschlag von Stadelmann erscheint daher nicht schlüssig. Einige der in Kapitel 7.2 „Grundsätzliche Lösungsansätze für den Pyramidenbau“ genannten Prämissen werden nicht erfüllt.

7.3.3 Vorschlag von Lauer für eine Rampenkonstruktion

1989 veröffentlichte Lauer seinen anlässlich des V. Internationalen Ägyptologenkongresses 1988 in Kairo zur Diskussion gestellten Vorschlag für eine Rampenkonstruktion zum Pyramidenbau am Beispiel der Cheopspyramide, dem ein bereits früher veröffentlichter Vorschlag zugrunde lag:⁷⁰⁴ Darin wird eine konstruktiv einfach zu errichtende Rampe vorgesehen, deren Basisbreite mit knapp 160 m von Beginn an auf die spätere endgültige Höhe ausgelegt ist, sodass mit zunehmender Höhe der Rampe nur deren Höhe, aber nicht die jeweilige Böschung angepasst werden muss (Abb. 7.3.3.1). Die Länge der Rampe beträgt ca. 375 m, sodass sich bei der Höhe der Cheopspyramide (146,6 m) eine maximale Steigung von 0,39 m pro Meter ergibt.⁷⁰⁵ Die Steigung bis zur Höhe der obersten Entlastungskammer beträgt etwa 10°. Für den Bau der letzten 7 m der Pyramidenspitze wird die Errichtung einer Plattform aus Lehmziegeln vorgeschlagen.

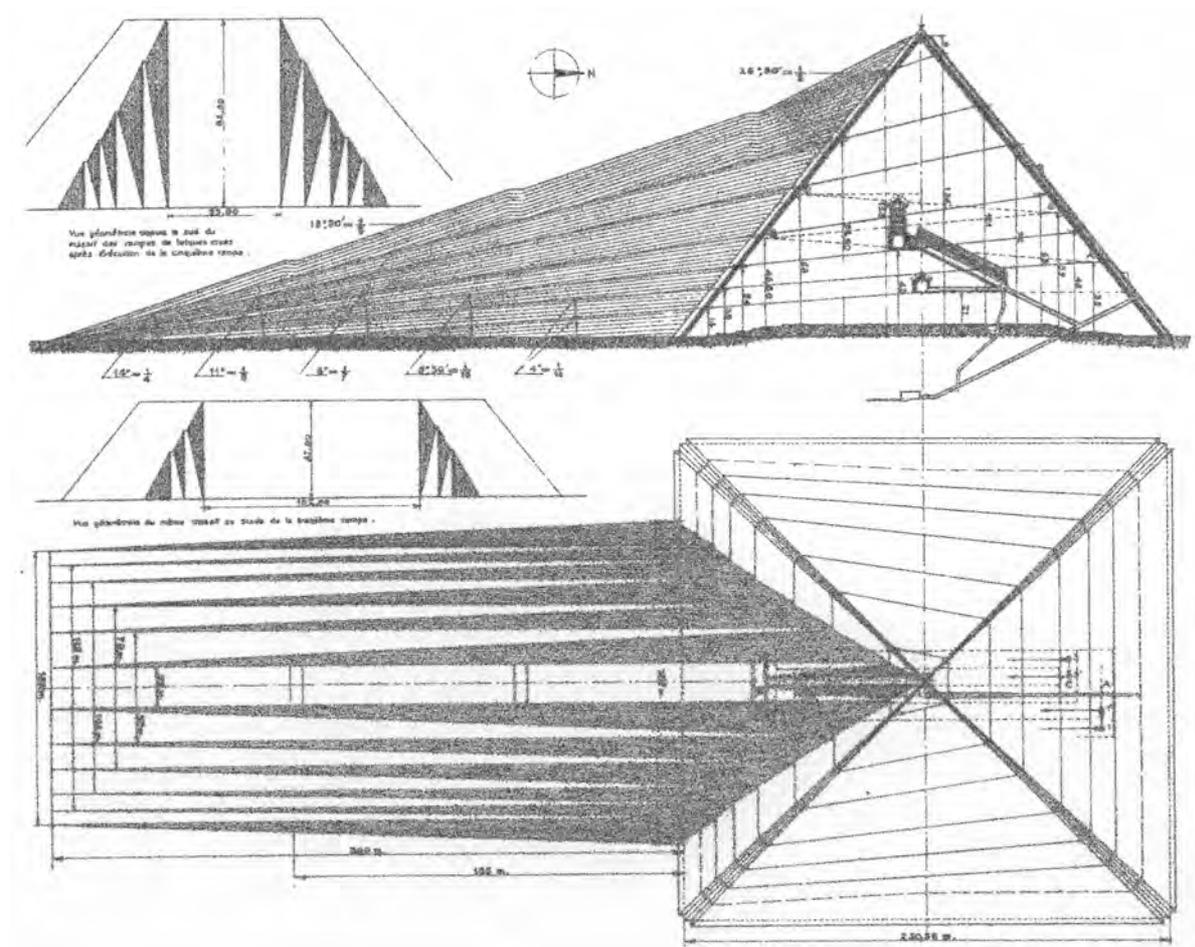


Abb. 7.3.3.1 Lauers Vorschlag für eine Rampenkonstruktion

⁷⁰⁴ Lauer, Pyramidenbau.

⁷⁰⁵ Goyon, Cheopspyramide, S.60.

Als Argument gegen die Hypothese von Lauer wird in der Fachliteratur immer wieder angeführt, dass es keinerlei Spuren des Baumaterials bzw. umfangreichen Abraums der Rampe gibt. Lauer selbst äußert sich auch nicht zu der Frage, auf welcher Seite der Cheopspyramide die Rampe hätte angeordnet sein können.⁷⁰⁶ Weiterhin hätte die Rampe in regelmäßigen Abständen über ihre gesamte Länge hinweg erhöht (aufgeschüttet) werden müssen, was zu Bauunterbrechungen oder zumindest Engpässen beim Transport geführt haben müsste. Darüber hinaus passen die einzelnen Höhen der Rampe kaum mit den Schichthöhen des Kernmauerwerks zusammen, sodass über die Bauweise (Stufen oder Schichten) nicht geurteilt werden kann. Hinzu kommt, dass das Volumen der Rampe etwa knapp zwei Fünftel der Baumasse der gesamten Pyramide betragen hätte. Reste derartiger Rampen wurden nirgends gefunden.

Auch bei dieser Bauhypothese werden einige der in Kapitel 7.2 „Grundsätzliche Lösungsansätze für den Pyramidenbau“ aufgeführten Prämissen nicht erfüllt (Bau der Außenverkleidung der Pyramide und das Glätten der in Bosse stehenden Steine ohne eine Art Baugerüst; Schichtweiser Bau des Kernmauerwerks). Eine Berechnung der Transportkapazität für das vorgeschlagene Rampensystem und der Bauzeit der Pyramide wird ebenfalls nicht vorgelegt. Auf die Bedenken von Goyon und anderer Ägyptologen zur Hypothese von Lauer zum Pyramidenbau wird hingewiesen.

7.3.4 Vorschlag von Borchardt für eine Rampenkonstruktion

Im Rahmen seiner Untersuchungen der Pyramide in Meidum entdeckte Borchardt auch verschiedene Ziegelrampen und entwickelte daraus seine Idee für die Errichtung der Pyramiden.⁷⁰⁷ Aufgrund der gefundenen Rampenreste meinte er, daraus eine Rampe rekonstruieren zu können (Abb. 7.3.4). Wie schon in Kapitel 4.3.2.3 „Die Pyramide des Snofru in Meidum“ dargelegt, können diese Rampen teilweise dem Pyramidenbau gedient haben. Es spricht jedoch vieles – vor allem die notwendigerweise sehr große Länge der Rampe – gegen eine derartige Bauweise, wie auch Maragioglio und Rinaldi sowie Arnold bemerken. Auch Goyon äußert sich sehr skeptisch.⁷⁰⁸

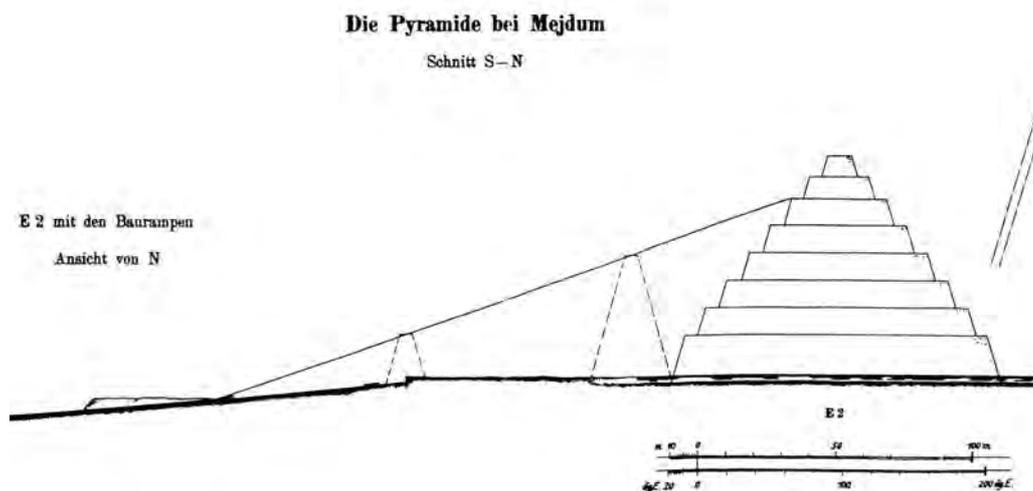


Abb. 7.3.4 Vorschlag einer Rampe nach Borchardt

⁷⁰⁶ Die Ost- und Westseite kommen wegen der dort befindlichen Friedhöfe wohl kaum infrage; die Südseite fällt zu den Steinbrüchen hin sehr stark ab und eine Rampe auf der Nordseite hätte den Eingang zur Pyramide verdeckt.

⁷⁰⁷ Borchardt, Pyramide.

⁷⁰⁸ Goyon, Cheopspyramide, S.55ff.

Aus bautechnischer Sicht kann die von Borchardt vorgeschlagene Rampe mit derart steilen Flanken aus Ziegelmaterial keineswegs errichtet worden sein. Es erscheint dagegen sehr wahrscheinlich, dass die gefundenen Reste von Ziegelrampen nur dem Materialtransport zur Pyramide und nicht zu deren unmittelbaren Errichtung gedient haben. Auch die in diesem Zusammenhang von Croon angestellten Kapazitätsberechnungen sind nicht schlüssig und gehen von zu vielen Annahmen aus, für die es kaum Anhaltspunkte gibt.⁷⁰⁹

Einige der in Kapitel 7.2 „Grundsätzliche Lösungsansätze für den Pyramidenbau“ genannten Voraussetzungen sind nicht erfüllt.

7.3.5 Vorschlag von Lattermann für eine Rampe

Lattermann hat sich Ende der neunziger Jahre unter besonderer Berücksichtigung bautechnischer Aspekte mit dem Bau der Cheopspyramide beschäftigt⁷¹⁰ und dazu einen Beitrag veröffentlicht⁷¹¹. Neben einer Beschreibung der Räumlichkeiten der Pyramide befasst er sich eingehend mit der Zugleistung von Menschen und Rindern und dem Materialtransport von den Steinbrüchen zur Baustelle. Schwerpunkt seiner Veröffentlichung ist jedoch seine Hypothese für die Errichtung der Cheopspyramide mittels einer breiten, senkrecht von Westen her auf die Pyramide zulaufenden Rampe als

„...einfachste, logischste, technisch sinnvollste und vor allem einzige Lösung, die einen kontinuierlichen Transport ohne Bauunterbrechung gewährleistet...“

Darüber hinaus schlägt Lattermann vor, die Rampe nur bis zu einer Höhe von 100 m anzulegen, da das Bauvolumen für die restlichen knapp 50 m nur noch 3,2 % der gesamten Baumasse beträgt (siehe Abb. 6.1). Bis zu dieser Höhe steigt der Neigungswinkel der 500 m langen Rampe (Basislänge) bis 10° (Steigungsverhältnis 1:6) an (Abb. 7.3.5.1).

Längsschnitt der Pyramidenrampe

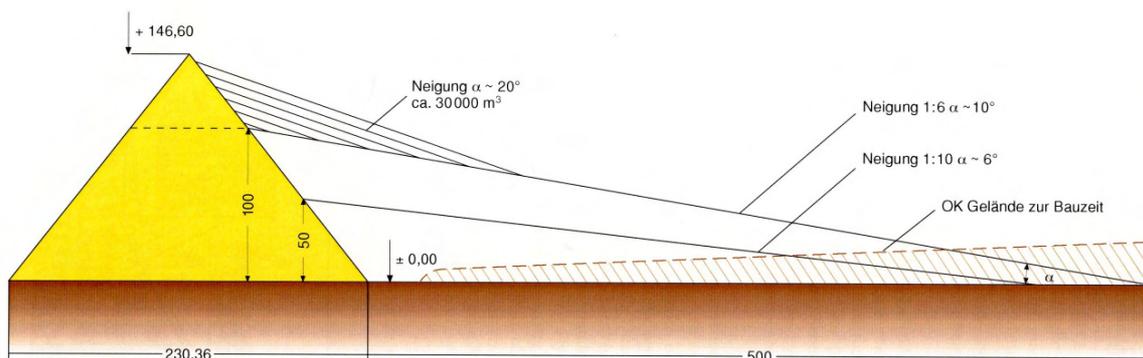


Abb. 7.3.5.1 Rampenbau nach Lattermann am Beispiel der Cheopspyramide

⁷⁰⁹ Borchardt, Pyramide, S.26–31.

⁷¹⁰ Lattermann, Pyramidenbau.

⁷¹¹ Lattermann, Cheopspyramide.

Nach Lattermann ist der entscheidende Vorteil seiner Hypothese die Gewährleistung eines kontinuierlichen Baubetriebes, da die Rampe ständig – mal auf der linken, mal auf der rechten Seite – erhöht werden könne, sodass auf diese Weise die lagenweise Errichtung der Pyramide ständig möglich würde. Jeweils die Hälfte der Breite der Rampe dient dem Transport, während die andere Hälfte gleichzeitig um zwei Steinlagen erhöht wird und umgekehrt (Abb. 7.3.5.2). Das Volumen dieser Baurampe liegt nach Lattermann mit 3,0 bis 3,4 Mio. m³ weit über dem Gesamtvolumen der Pyramide mit 2,6 Mio. m³.

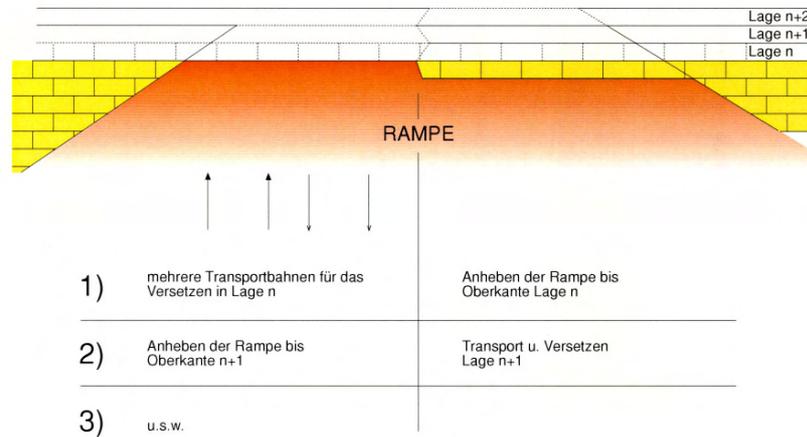


Abb. 7.3.5.2 Vorschlag von Lattermann für eine kontinuierliche Erhöhung der Rampe ohne Bauunterbrechung

Für die Erstellung gibt er einen Bedarf von 1500 Arbeitern an. Ab der Höhe von 100 m könne der Steintransport dann auf einer steileren Rampe mit menschlicher Arbeitskraft erfolgen. Für die letzten 20–25 m bis zur Pyramidenspitze bietet Lattermann keine Lösung an; es

„... seien besondere zusätzliche Maßnahmen erforderlich gewesen...“

Eine Hypothese, die für den kompletten Bau der Cheopspyramide einschließlich deren Spitze keine in sich schlüssige Lösung anbietet, kann nicht akzeptiert werden. Hinzu kommt, dass nirgends in der Umgebung der Pyramiden in Giza derart große Stein- oder Schuttmengen gefunden wurden, wie sie dem Volumen der von Lattermann vorgeschlagenen Rampe entsprechen.⁷¹² Außerdem spricht die bei vielen Pyramiden des AR archäologisch nachgewiesene Stufenbauweise des Kernmauerwerks gegen die Hypothese einer schichtweisen Steinverlegung. Auch bei dieser Bauhypothese sind der Bau der Außenverkleidung der Pyramide und das Glätten der in Bosse stehenden Steine der Außenverkleidung ohne eine Art Baugerüst bzw. äußere Umbauung aus bau- und sicherheitstechnischen Gründen nicht vorstellbar.

Eine Berechnung der Transportkapazität der vorgeschlagenen Rampe und der Bauzeit der Pyramide wird nicht vorgelegt.⁷¹³ Die von Lattermann an der Westseite der Pyramide vorgesehene Rampe mit einer Länge von 500 m verläuft darüber hinaus mitten im Westfriedhof der Cheopspyramide (Gräbergruppe G 4000), der ursprünglich etwa 150 m von ihr entfernt begann und in wesentlichen Teilen – zumindest im westlichen Bereich – während der zweiten Hälfte der Regierungszeit des Cheops angelegt wurde.⁷¹⁴ Aus diesen Gründen und mit Blick auf die Nichteinhaltung einiger der im Kapitel 7.2 „Grundsätzliche Lösungsansätze für den

⁷¹² Klemm und Klemm, Steinbruch.

⁷¹³ In einem persönlichen Gespräch am 26.07.2007 teilte H. Lattermann mit, dass nach seinen Berechnungen die Bauzeit der Cheopspyramide 14 Jahre betrage. Diese Berechnungen lege er aber nicht vor.

⁷¹⁴ Haase, Cheops, S.90 ff.

Pyramidenbau“ genannten Prämissen erscheint daher auch die Hypothese von Lattermann nicht schlüssig.

7.4 Bauhypothesen, denen entlang der Pyramidenseiten geführte Rampen zugrunde gelegt werden

7.4.1 Umlaufende Ziegelrampe nach Goyon

Goyon hat in verschiedenen Veröffentlichungen seine Hypothese von der Errichtung einer umlaufenden Ziegelrampe für den Bau der Cheopspyramide dargelegt.⁷¹⁵ Nach seinen Stabilitätsberechnungen geht er von einer Breite der Ziegelrampe mit durchschnittlich 17 m aus (Abb. 7.4.1.1).

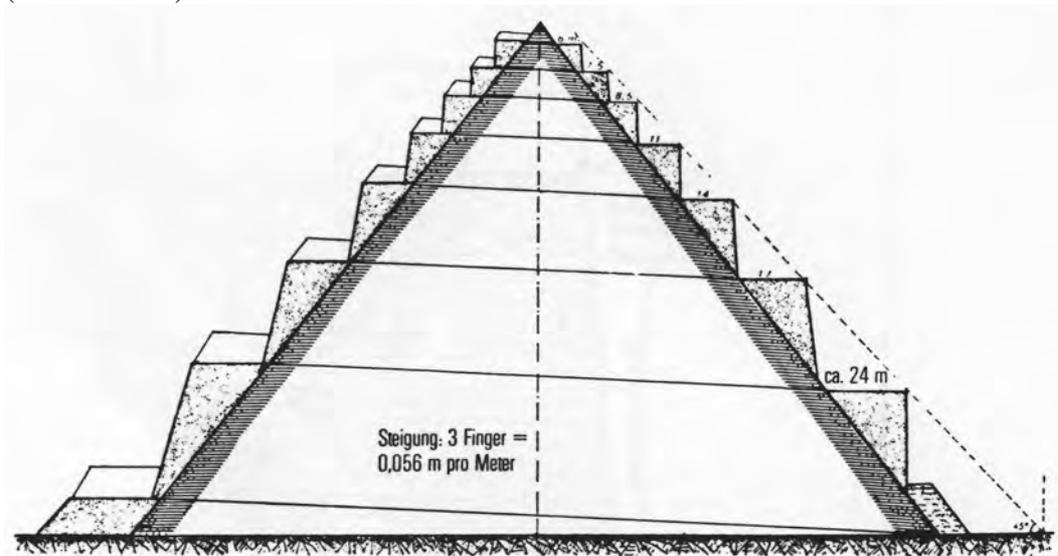


Abb. 7.4.1.1 Vorschlag Goyon für eine umlaufende Rampe

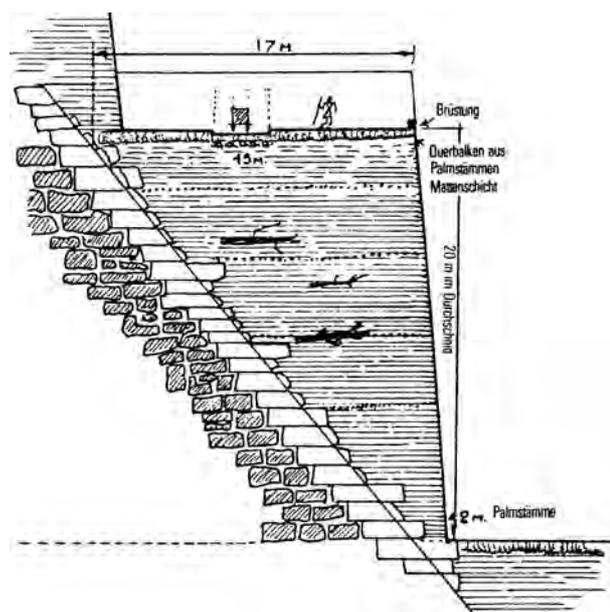


Abb. 7.4.1.2 Prinzip einer umlaufenden Rampe nach Goyon (Schnitt)

⁷¹⁵ Goyon, Cheopspyramide.

Die Pyramide einschließlich ihrer Verkleidung wuchs nach Goyon's Vorstellungen mit der Ziegelrampe gemeinsam in die Höhe und wurde von dieser vollkommen eingehüllt. Die in Bosse stehenden Steine der Außenverkleidung bieten für die Ziegelrampe entsprechenden Halt. Die Bauweise beschreibt Goyon in einer Zeichnung (Abb. 7.4.1.2). Die Steigung der Rampe entspricht mit 0,056 m pro Meter Rampenlänge etwa einem Höhenunterschied von ein oder zwei Schichthöhen. Das Aufsetzen des Pyramidion ist bei einer derartigen Rampenkonstruktion ohne weiteres möglich.

Zur genauen Vermessung und damit zur Einhaltung der Neigung der Pyramidenaußenseiten schlägt Goyon einen senkrechten Schacht in der Mitte der Pyramide vor, in dem ein Lot angebracht war, welches so auch in oberen Schichten stets die Achse der Pyramide anzeigen soll. Als Begründung führt er an, dass die immer wieder genannte Vermessung der Außenseiten mittels Schnüren dafür nicht geeignet ist. Diesem Argument kann entgegen gehalten werden, dass die exakte Vermessung der Basis der Cheopspyramide trotz des bis zu 8–10 m hohen Felskerns mit einer Messungengenauigkeit von wenigen cm (weniger als ein Hundertstel % der Länge) erfolgte – wahrscheinlich mit 4 bzw. 8 E langen Meßblättern.

Arnold merkt an,⁷¹⁶ dass bei keiner Pyramide ein derartiger Schacht gefunden wurde und dass ein solcher bei der Cheopspyramide auch mit der Lage und Anordnung der Innenräume kollidieren würde. Arnold weist weiter darauf hin, dass – für den Fall eines vorzeitigen Todes des Königs – der Nordeingang frei zugänglich sein musste und dass diese Tatsache auch gegen eine umlaufende Rampe spricht.

Goyon geht bei seiner Bauhypothese von einer schichtweisen Verlegung der Steine aus und negiert damit die Stufenbauweise des Kernmauerwerks, die bei vielen Pyramiden des AR archäologisch nachgewiesen ist. Unklar ist auch, wie die Steinblöcke um die Ecken der Ziegelrampe hätten gezogen werden können. Eine Berechnung der Transportkapazität für das vorgeschlagene Rampensystem und die Bauzeit der Pyramide wird ebenfalls nicht vorgelegt.

Graefe weist auf eine Berechnung der Bauzeit der Cheopspyramide nach der Bauhypothese von Goyon durch Henri Paul aus dem Jahr 1987 hin, wonach die Bauzeit 43 Jahre betragen habe.⁷¹⁷ Der Grund für diese lange Bauzeit liegt wahrscheinlich in der zu geringen Transportkapazität einer spiralförmig angelegten Rampe. In diesem Zusammenhang wird auf eine Darstellung in der Veröffentlichung von Goyon verwiesen,⁷¹⁸ aus der die geringe Transportkapazität ersichtlich ist.

Ein Vorteil des Vorschlages von Goyon liegt darin, dass mit der umhüllenden Ziegelrampe für den Bau der Außenverkleidung und für das spätere Glätten der in Bosse stehenden Steine der Außenverkleidung eine Arbeitsplattform bestand.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Hypothese für die Errichtung der Pyramiden nach Goyon mit der außerhalb der Pyramidenaußenfläche angebrachten Rampe aus Lehmziegeln als Transport- und Arbeitsrampe einen sehr innovativen Denkansatz bietet. Allerdings hat eine spiralförmig angelegte Rampe eine zu geringe Transportkapazität und das Problem des Transports großformatiger Steine an den Ecken ist nicht gelöst. Goyon negiert auch die stufenförmige Bauweise des Kernmauerwerks. Der Bau der Pyramiden nach der Hypothese von Goyon kann so nicht erfolgt sein.

⁷¹⁶ Arnold, Pyramidenbau.

⁷¹⁷ Graefe, Pyramidenbau [11].

⁷¹⁸ Goyon, Cheopspyramide, S.146, Abb.86.

7.4.2 Rampensystem nach Lehner

Lehner veröffentlichte 1985 seinen Vorschlag für die Errichtung der Pyramiden am Beispiel der Cheopspyramide mit einem Rampensystem, welches aus senkrecht auf zwei Ecken der Pyramide zulaufenden Rampen und einer umlaufenden Rampe besteht.⁷¹⁹ Dabei bezieht er aufgrund umfangreicher Untersuchungen die topographische Situation um die Cheopspyramide mit ein und schließt daher längere senkrecht auf die West-, Nord- und Ostseite der Pyramide zulaufende Rampen aus. Mit Blick auf die Lage der Steinbrüche sei von zwei – wie auch immer konstruierten – Rampen südlich und östlich auszugehen. Dabei führt die von Süden kommende Rampe auf die SW-Ecke zu und die von Osten herkommende Rampe verläuft parallel zur Südseite der Pyramide.⁷²⁰

Die von Süden kommende Rampe (Abb. 7.4.2.1 A) beginnt im großen Steinbruch südlich der Pyramide und verläuft bei einer Länge von 320 m und einer Steigung von ca. 6° (ca. 10%) bis in eine Höhe von 30 m über dem Nullniveau der Pyramide oberhalb der SW-Ecke und trifft dort die von Osten herkommende Rampe, welche an den kleineren Steinbruch südlich der Ostecke der Pyramide anschließt.

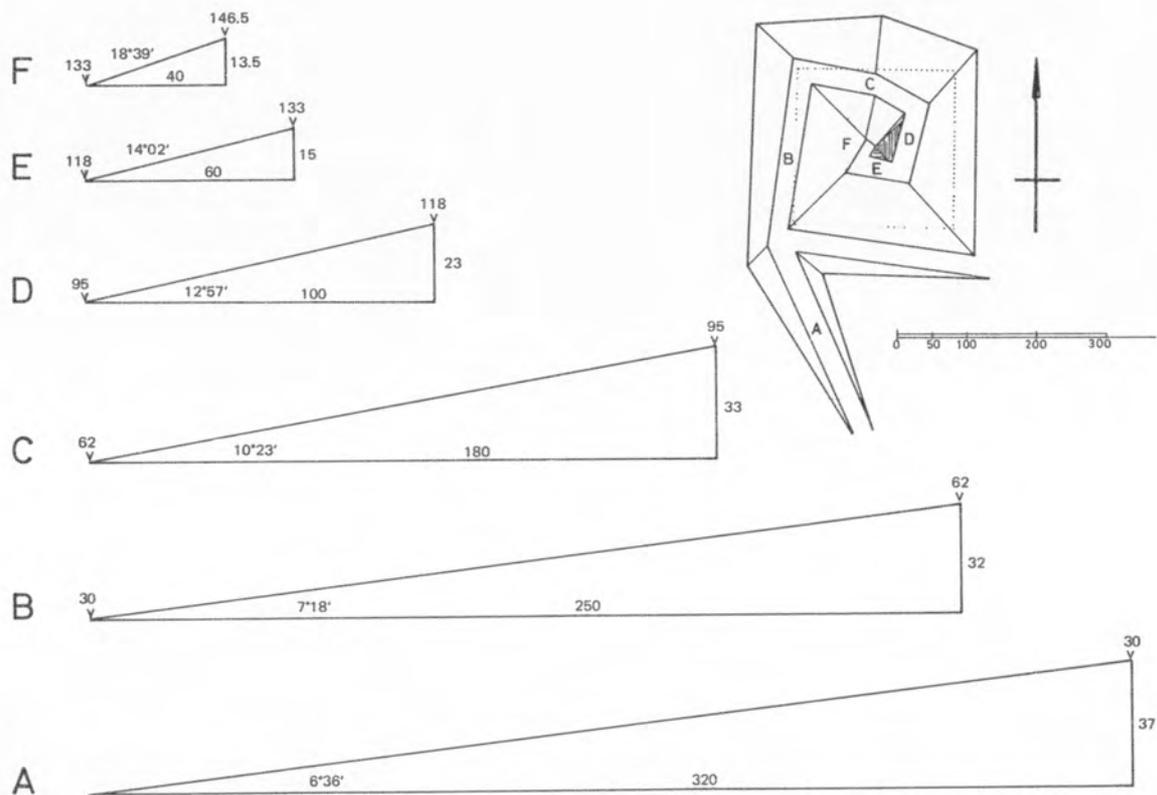


Abb. 7.4.2.1 Rampenmodell für den Bau der Cheopspyramide nach Lehner

Von dort aus sollen nacheinander mehrere Rampen (Abb. 7.4.2.1 B bis F) im Uhrzeigersinn um die Pyramide herum geführt worden sein. Die Rampe B erreicht eine Höhe von 62 m, die Rampe C 95 m, die Rampe D 118 m, die Rampe E 133 m und die Rampe F die Pyramidenhöhe von 146,5 m. Zur Verdeutlichung stellt Lehner vier Schnitte mit der Errichtung der einzelnen Rampen dar (Abb. 7.4.2.2.).

⁷¹⁹ Lehner, Cheops Project.

⁷²⁰ Ebenda, S.127.

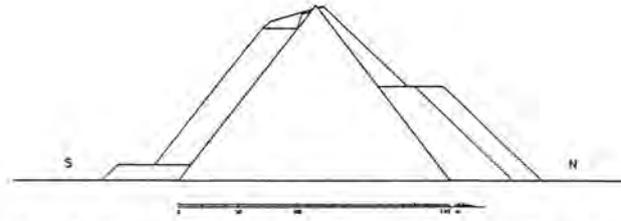


Fig. 6 A. Pyramid and accretion construction ramp in cross-section on the N-S axis of the pyramid.

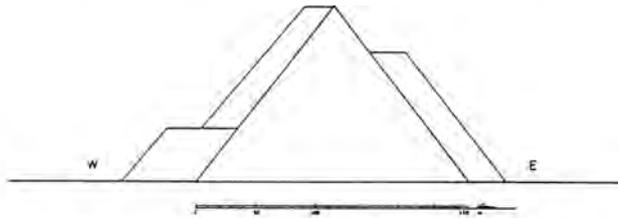


Fig. 6 B. Pyramid and accretion construction ramp in cross-section on the E-W axis of the pyramid.

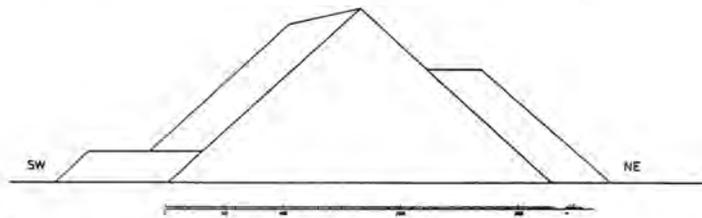


Fig. 7 A. Pyramid and accretion construction ramp in cross-section of the NE-SW diagonal of the pyramid.

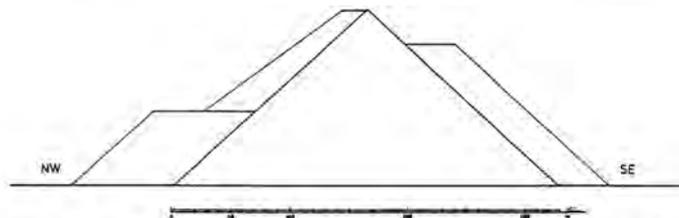


Fig. 7 B. Pyramid and accretion construction ramp in cross-section on the NW-SE diagonal of the pyramid.

Abb. 7.4.2.2 Rampenanordnung nach Lehner

Nach dem Vorschlag von Lehner wird die Pyramide – ähnlich wie beim Vorschlag von Goyon – fast vollständig von den spiralförmig umlaufenden Rampen eingehüllt. Die Frage nach dem Einhalten der Maße für Rücksprung bzw. Neigung stellt sich in gleicher Weise; der ständige Zugang zum Pyramideneingang von der Nordseite her wäre ebenfalls nicht möglich gewesen. Nachteilig war auch die stets notwendige Erhöhung und Verbreiterung der Rampen A und B entsprechend Baufortschritt bis in eine Höhe von 32 bzw. 37 m, was zu regelmäßigen Beeinträchtigungen der Transporte und damit der Bautätigkeiten führen dürfte. Etwa 60–65 % der gesamten Baumasse sind nach diesem Vorschlag bis zum Erreichen dieser Höhen verbaut worden (siehe Abb. 6.1). Die weiteren Rampen sollten entsprechend dem Baufortschritt jeweils verlängert werden. Nicht klar beschrieben sind auch die Arbeiten an der Pyramidenspitze. Aufgrund umfangreicher Untersuchungen zeigt Lehner, dass die beiden Rampen (A und die vom Osten her an der Südseite der Pyramide verlaufende) in ihrer Grundrichtung zumindest als Baurampen für den Steintransport zum Pyramidenplateau angenommen werden müssen.

Eine Berechnung bzw. Abschätzung der über das Rampensystem zu transportierenden Steinmassen bzw. der Transportkapazität und der Bauzeit der Pyramide wird von Lehner nicht vorgelegt. Im Gegensatz zu der Hypothese Goyon's stellt die spiralförmig umlaufende Rampe wegen der größeren Abmessungen eine erhöhte Transportkapazität dar. Ein Vorteil der Rampenkonstruktion nach Lehner liegt in der umlaufenden „Baurampe“, über die eine einfache und bautechnisch sichere Montage der Außenverkleidung und das spätere Glätten der in Basse stehenden Schicht von oben nach unten ermöglicht wird.

Der Bauvorschlag von Lehner stimmt mit der Annahme einer Schichtweisen Steinverlegung im Kernmauerwerk nicht mit dem Bauverfahren, wie es mit den Kernmauerwerkstufen der Pyramiden im AR Anwendung fand, überein. Wozu hätten nach dem Bauvorschlag von Lehner einzelne Stufen des Kernmauerwerks – wie bei der Cheopspyramide und der Pyramide des Mykerinos archäologisch nachgewiesen – errichtet werden sollen, wenn sich bei den vorgeschlagenen Rampen nach Lehner doch eine Schichtbauweise als geeigneter angeboten hätte? Lehner selbst ist sich der Probleme seines Vorschlages bewusst und sagt, dass auch seine Idee die bei Goyon's Hypothese angemerkten Probleme nicht besser löse.

Haase ermittelt unter Zugrundelegung der Abmessungen der umlaufenden Rampe nach Lehner die notwendige Arbeiterzahl zum Transport der Steine in die 28. und 36. Steinlage.⁷²¹ Aufgrund der dabei getroffenen Festlegungen berechnet Keyssner eine reine Bauzeit zwischen 47 und 59 Jahren.⁷²²

7.4.3 Integralrampe nach Klemm und Klemm

Klemm und Klemm stellten 1998 als Beitrag zum Pyramidenbau „Die Integralrampe als Konstruktionselement großer Pyramiden“ zur Diskussion.⁷²³ Ausgehend von der Tatsache, dass Rampenkonstruktionen bereits im AR ein verbreitetes technisches Hilfsmittel darstellen, schlagen Klemm und Klemm als Konstruktionsprinzip zwei an Pyramidenecken (SW- und NO-Ecke) gegenüberliegend beginnende und in die Pyramidenaußenflächen integrierte Rampen gleicher Umlaufrichtung vor (Abb. 7.4.3.1 und 7.4.3.2).

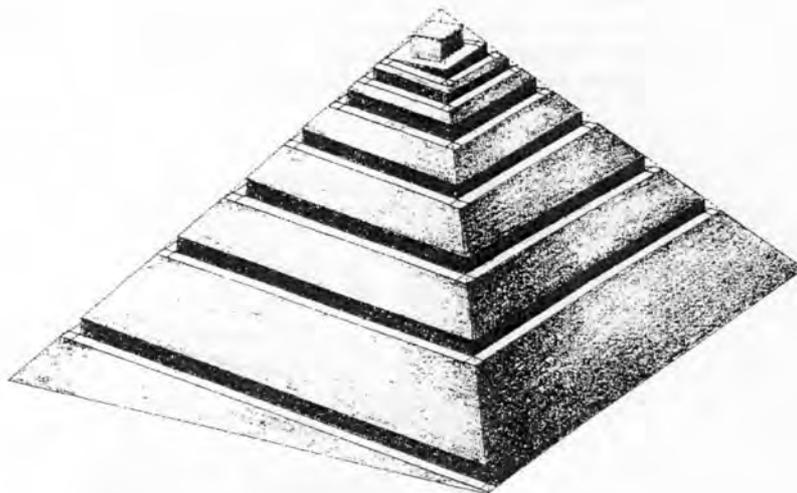


Abb. 7.4.3.1 Rampenmodell nach Klemm und Klemm

⁷²¹ Haase, Cheops, S.28–29.

⁷²² Keyssner, Baustelle Gisa, S.21.

⁷²³ Klemm und Klemm, Integralrampe.

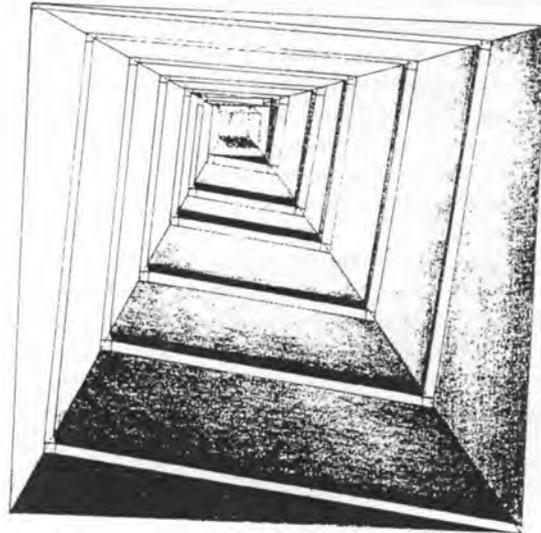


Abb. 7.4.3.2 Rampenmodell nach Klemm und Klemm (Draufsicht)

Dort könnten dann auch die jeweiligen Baurampen aus den Steinbrüchen (SW: Südlich der Cheopspyramide und östlich der Chephrenpyramide gelegene Steinbrüche; NO: Steinbrüche am Osthang des Plateaus) enden. Die Rampen haben einen Anstiegswinkel von 6° , der einer Rampenneigung von ca. 10 % entspricht. Die Breite der Rampen wird mit 4 m – in einem späteren Beitrag⁷²⁴ mit 5 m – angegeben; die daraus resultierende Einschnittshöhe in der Außenfläche der Pyramide beträgt ca. 5–6 m. Ein nach dem Bau übrig bleibender Abfall von Rampenmaterial entsteht bei diesem Vorschlag nicht. Zwei unabhängig voneinander nutzbare integrierte Rampen ermöglichen es nach Klemm und Klemm, Auf- und Abwärtsverkehr ohne gegenseitige Behinderung zu organisieren. Der Transport der Steine soll offensichtlich mit Ochsespannen und Zugmannschaften erfolgen (Abb. 7.4.3.3).

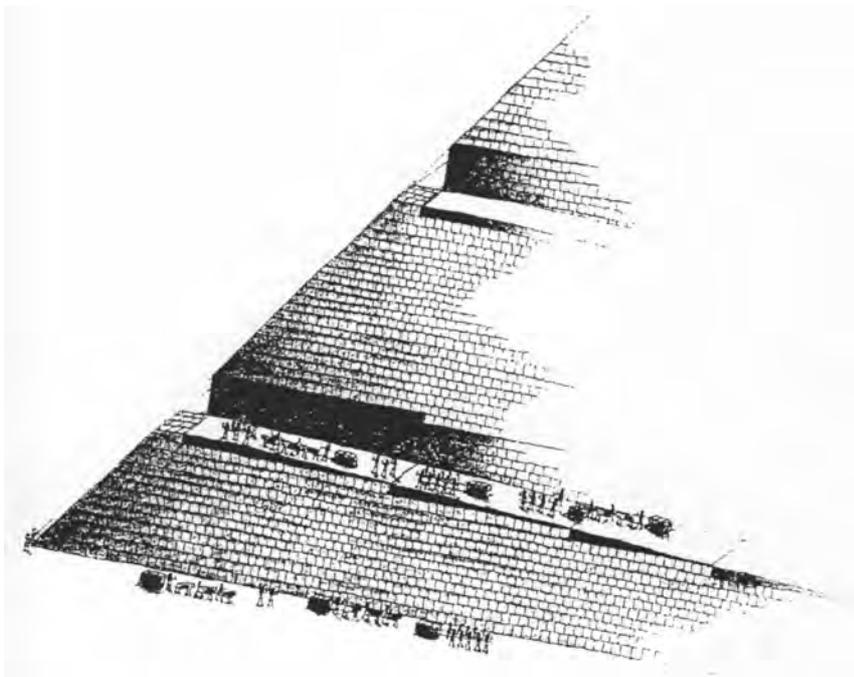


Abb. 7.4.3.3 Transport der Steine nach dem Vorschlag einer Integralrampe

⁷²⁴ Klemm und Klemm, Steinbruch.

Das Prinzip der Integralrampe nach Klemm und Klemm gestattet das Verbauen des Verkleidungsmauerwerks und der Außenverkleidung von unten nach oben. Bauunterbrechungen durch Erhöhungen der Rampen etc. gibt es nicht. Die schmalen Rampen führten nur zu geringen Einschnitten in den fertig gestellten Baukörper und sollen so für die Vermessung der Flanken (Rücksprung) kein Problem darstellen.

Das Ausfüllen der einzelnen Stufen der Verkleidungsschicht mit einer durchschnittlichen Höhe von 1 m soll mit keilförmig aufgefülltem Schutt samt einer gleitfähigen Nilschlammabdeckung oder auch mit Bohlen erfolgt sein. Die Deckenbalken der Königskammer bzw. der Entlastungskammern der Cheopspyramide könnten auf mobilen Rollen (quer gelegten Rundhölzern) gezogen worden sein.

Eine Bewertung führt zu folgender Feststellung: Nachdem über die Bauweise der inneren Pyramidenstruktur keine Aussage getroffen wird, gehen Klemm und Klemm wahrscheinlich von einer schichtweisen Steinverlegung aus, die – wie bereits an anderer Stelle mehrfach erwähnt – archäologisch jedoch nicht nachweisbar ist. Problematisch erscheinen die relativ geringe Breite der Integralrampen für das Heraufziehen der Steine mit Ochsengespannen und der Transport um die Ecken der Integralrampe. Offen bleibt auch, wie das Schließen der Lücken der beiden Integralrampen von oben nach unten vorgenommen werden soll.

Nach einer Abschätzung beträgt bei einer Steigung von 10 % das Zuggewicht eines Steines mit einem durchschnittlichen Gewicht von 3 t⁷²⁵ mit Schlitten und Seilen (ca. 0,5 t) bei einer Gleitreibungszahl μ von 0,25⁷²⁶ ca. 1260 kp. Bei der von Lattermann angegebenen Zugleistung eines Ochsen in Höhe von ca. 500 kp können demnach ein Gespann bestehend aus drei Ochsen die Steine nach oben ziehen.⁷²⁷ Eine Zugmannschaft mit menschlicher Kraft erfordert etwa 25–30 Arbeiter. Allerdings müssten für die genannte Gleitreibungszahl viele weitere Arbeitskräfte die Integralrampe ständig mit Wasser feucht halten, was wiederum die Zugleistung der Tiere mit der Gefahr des Ausrutschens beeinflusst hätte. Problematisch wäre darüber hinaus der Transport der Deckenbalken der Entlastungskammern mit einem Gewicht bis zu 60 t durch eine Zugleistung von mindestens 30 Zugochsen bzw. ca. 300 Arbeitern. Berücksichtigt man noch die scharfen Ecken an den Kanten der Pyramide und die dadurch entstehenden Schwierigkeiten, die Lasten um die Ecke zu ziehen mit, werden die Schwächen des Modells der Integralrampen deutlich.

Für die Montage des Pyramidions mit einem Gewicht von ca. 2,5 t bieten Klemm und Klemm keine

„...dezidierten Vorschläge an. Das war auch nicht die Fragestellung unserer Arbeit.“

Dieses Problem soll mit geeigneten Hebewerkzeugen aus Holz bewältigt worden sein.⁷²⁸

Berechnungen der Transportkapazitäten und der Bauzeit wurden nicht vorgelegt. Das Prinzip der Hypothese für eine Integralrampe nach Klemm und Klemm bedingt, dass immer nur eine Rampenbahn für den Materialtransport zur Verfügung steht und die Bauzeit sich daraus errechnet.⁷²⁹ Gerade im unteren Teil des Baukörpers mit der Masse der zu verbauenden Steine bildet nur ein Transportweg einen Engpass und führt zu einer Verlängerung der Bauzeit ge-

⁷²⁵ Entsprechend Kapitel 4.3.1 „Schiefe Ebene“

⁷²⁶ Holzschlitten auf nassem Untergrund entsprechend Kapitel 4.3.1 „Schiefe Ebene“.

⁷²⁷ Lattermann, Pyramidenbau S.24ff.

⁷²⁸ Sokar 5, S.40; Interview Haase mit Klemm und Klemm.

⁷²⁹ Dieses Argument gilt natürlich auch für andere Vorschläge mit Rampen.

genüber mehreren Rampen im unteren Bereich der Pyramide. Vorteilhaft dagegen ist die zweite, abwärts führende Integralrampe für den Rücktransport der Schlitten etc. Eine Abschätzung der Transportkapazität und der sich daraus ergebenden Bauzeit unter der Annahme einer Taktzeit von nur 5 Minuten⁷³⁰ ergibt, dass nach dieser Hypothese für den reinen Bau der Cheopspyramide ca. 54 Jahre erforderlich waren.⁷³¹

Unklar ist auch, wie die Lücken der Integralrampen geschlossen und die in Bosse stehenden Steine der Außenverkleidung anschließend von oben nach unten geglättet werden konnten. Ohne ein von außen angebrachtes „Gerüst“ erscheint dies nicht möglich.

Der Vorschlag von Klemm und Klemm, auf den kürzlich erneut hingewiesen wurde,⁷³² erscheint mit Blick auf die genannten Bedenken und die Nichteinhaltung verschiedener Prämissen (Kapitel 7.2 „Grundsätzliche Lösungsansätze für den Pyramidenbau“) in sich nicht schlüssig.

Den Vorschlag der Integralrampe nach Klemm und Klemm griff kürzlich Dörnenburg in seinem Buch „Pyramidengeheimnisse“ wieder auf.⁷³³ Er befasst sich dabei insbesondere mit der Frage des Transports der mit Steinen beladenen Schlitten an den Ecken der Pyramide sowie mit der Verringerung der Reibung durch eine Schotterunterfläche. Für die Taktzeit setzt Dörnenburg zwei Minuten an. Damit ergäbe sich eine Bauzeit von ca. 20 Jahren für die Cheopspyramide.

7.4.4 Vorschlag von Graefe

Graefe veröffentlichte unter Hinweis auf sein Manuskript zur Festschrift für Burkart Kienast (2001) seine Überlegungen zur Bauweise der Pyramiden mittels parallel zu den Stufen des Kernmauerwerks der Pyramide verlaufender Rampen. Die Ausführungen sind im Internet in aktualisierter Fassung abrufbar.⁷³⁴

Bei der Erarbeitung seines Vorschlages geht Graefe – wie bereits Hölscher, Landt sowie Klemm und Klemm und neuerdings Keyssner – von der zutreffenden Annahme aus, dass der Bau der Pyramiden ohne größeren Materialaufwand für Rampen, d.h. ohne senkrecht auf das Bauwerk zulaufende Rampen als Bauhilfsmittel erfolgt sein müsse. Weiterhin legt Graefe ebenfalls eine stufenförmige Bauweise des Kernmauerwerks zugrunde. Unter Berücksichtigung dieser Annahmen entwickelt er seinen Vorschlag, wonach parallel zu den Stufen des Kernmauerwerks stufenförmige Rampen – entweder im Zick-Zack-Verlauf oder umlaufend über alle Seiten der Pyramide – errichtet werden (Abb. 7.4.4.1). Der Transport von Steinblöcken soll dann durch Hochhebeln erfolgen (Abb. 7.4.4.2).

⁷³⁰ Überlegungen anlässlich eines Gesprächs mit Prof. Dr. Klemm am 17.07.2007.

⁷³¹ Entsprechend Kapitel 8.3 „Eine vergleichende Betrachtung mit den Bauzeiten der Roten Pyramide und der Cheopspyramide“ waren bei der Cheopspyramide durchschnittlich 2,14 Mio. Steinblöcke zu transportieren. Pro Jahr sind 39 600 Taktfolgen à 5 min (330 Tage à 10 Stunden à 12 Takte) möglich. Somit ergibt sich eine Bauzeit von 54 Jahren.

⁷³² Klemm und Klemm, Stones.

⁷³³ Dörnenburg, Pyramidengeheimnisse, S.149ff.

⁷³⁴ Graefe (www.uni-muenster.de/Philologie/laek/PYR) und Graefe, Pyramidenbau.

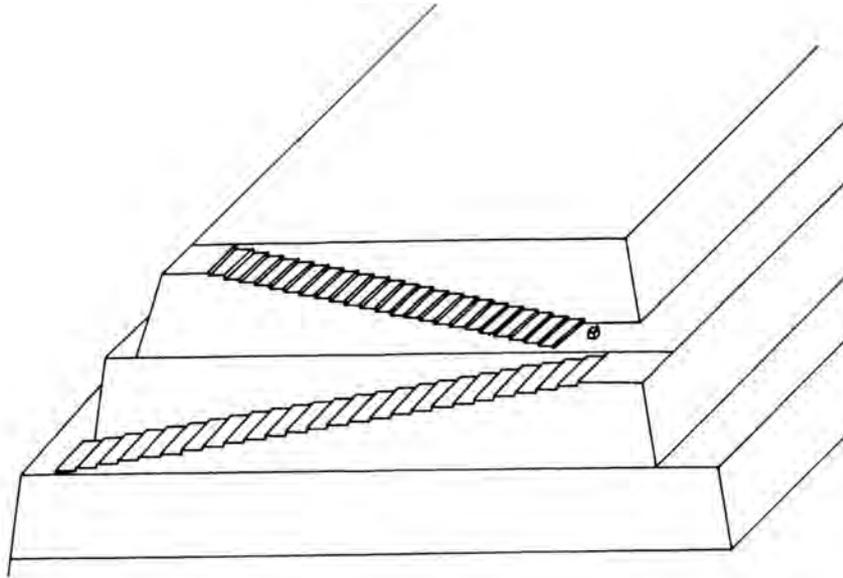


Abb. 7.4.4.1 Rampen mit Stufen nach Graefe

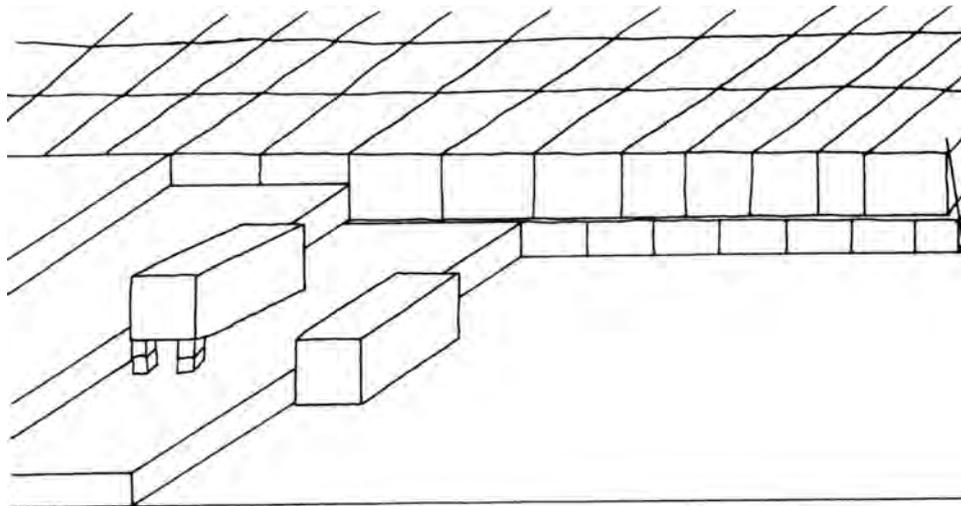


Abb. 7.4.4.2 Hochhebeln der Steine nach Graefe

Am Beispiel der Cheopspyramide erläutert Graefe seinen Vorschlag näher. Er nimmt dabei hypothetisch Kernstufen von 25 Ellen Höhe und eine Arbeitsbreite der Stufen von 14 Ellen an. Bei einer Bauhöhe von 225 Ellen beträgt die Seitenlänge der Treppen noch ca. 57 Ellen; auf diese Strecke werden die Steine um 25 Ellen (Kernmauerwerkstufenhöhe) gehoben. Dies entspricht einem Neigungswinkel von ca. 24° . Legt man eine auf allen vier Seiten umlaufende Rampe gleichmäßiger Steigung zugrunde, ist der Neigungswinkel der Rampe entsprechend geringer (0,11 Elle Höhe pro 1 Elle Wegstrecke, d.h. eine Steigung von ca. 11 %).

Nachdem der Rücksprung des Kernmauerwerks mit dem Verhältnis von 25 zu 14 Ellen einen steileren Neigungswinkel besitzt als derjenige der Außenverkleidung, ragt die äußere Seite der Rampen ab einer gewissen Höhe seitlich über die Fluchtlinie der Verkleidung hinaus (Abb. 7.4.4.3).

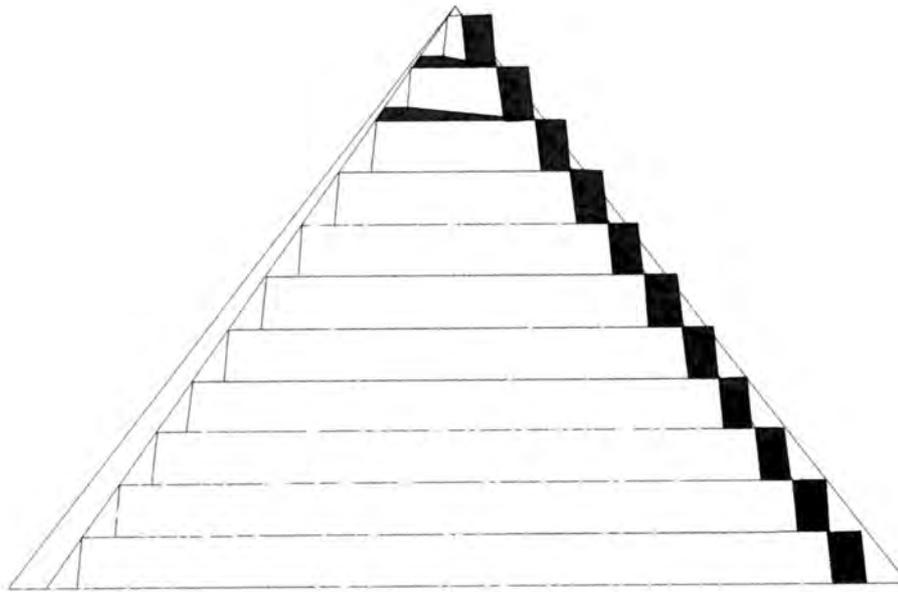


Abb. 7.4.4.3 Überbauung der oberen Stufen nach Graefe

Dieses überstehende Material muss später beim Bau des Verkleidungsmauerwerks, der äußeren Verkleidungsschicht und der Außenverkleidung abgetragen werden. Für den Bau der restlichen ca. 29 m bis zur Pyramidenspitze kann die Rampe mit der Neigung von ca. 24° nicht mehr in der erforderlichen Länge errichtet werden. Graefe schlägt daher vor, eine Außentreppe nach Isler zu nutzen, die zusammen mit dem Bau des Verkleidungsmauerwerks und der äußeren Verkleidungsschicht aus feinem Kalkstein errichtet werden soll.

Im Einzelnen befasst sich Graefe mit den fünf von Brinks postulierten Determinanten für den Pyramidenbau.⁷³⁵ Er verweist auf die Überlegungen von Brinks, wonach die Basislänge des Fluchtwinkels des Kernmauerwerks stets ein Vielfaches von 50 bzw. 100 Ellen betrage. Im Gegensatz dazu weisen die Fertigmaße der Basiskante der Verkleidungen sehr oft „ungerade“ Werte auf:

„Gerade“ Maße für die Kernmauerwerksbasis sind im Gegensatz zu den Angaben von Brinks bei genauem Hinsehen lediglich bei den „Stufenpyramiden“

Knickpyramide	300 Ellen ⁷³⁶
Mykerinos	150 Ellen ⁷³⁷
Sahure	100 Ellen ⁷³⁸
Unas	100 Ellen ⁷³⁹

als gesichert und archäologisch belegt anzunehmen. Weitere Fälle sind möglich, aber archäologisch nicht nachgewiesen.

⁷³⁵ Brinks, Pyramidenbau.

⁷³⁶ Dorner, Knickpyramide: Dorner berechnet die Basislänge der „inneren“ Pyramide mit 300 Ellen.

⁷³⁷ Maragioglio, VI, Addenda, TAV.4, Fig.2.

⁷³⁸ Basis des Kernmauerwerks im Abstand von 25 Ellen; Maragioglio VII, TAV.8, Fig.4.

⁷³⁹ Labrousse, Unas: Die Längen wurden aus den Zeichnungen der Bauaufnahme (Fig.38 und 42) ermittelt.

„Ungerade“ Maße für die Basiskanten (Fertigmaß der Außenverkleidung am Fuß der Pyramide, welches nicht mit dem 50 bzw. 100 Ellen Raster übereinstimmt) liegen z.B. bei folgenden Pyramiden vor:

Meidum	275 Ellen
Knickpyramide	360 (362) Ellen
Rote Pyramide	420 Ellen
Cheops	440 Ellen
Djedefre	210 (203) Ellen
Chephren	410 Ellen
Userkaf	140 Ellen
Unas	110 Ellen

Ein Maß bzw. eine Bauvorgabe könnte demnach – so Brinks und Graefe weiter – die Basislänge des Kernmauerwerks und eben nicht die Länge der Basiskante gewesen sein.

Der Aussage von Graefe, wonach sich die Fluchtlinien der Stufen des Kernmauerwerks in der Pyramidenspitze treffen „müssen“, kann nicht uneingeschränkt zugestimmt werden. Dafür gibt es auch keinen Grund. Eine Verlängerung der Verbindungslinie der drei (archäologisch nachgewiesenen) Stufenkanten bei der Pyramide des Mykerinos zeigt, dass dies nur in grober Annäherung der Fall ist.⁷⁴⁰

Der von Graefe aus den stets sehr genauen Unterlagen von Maragioglio und Rinaldi gemessene Fluchtwinkel der Stufen des Kernmauerwerks dieser Pyramide (Abb. 7.4.4.4) beträgt im Durchschnitt $54^{\circ}30'$. Der sich daraus für den Fluchtwinkel der Ecken der Stufen des Kernmauerwerks ergebende Winkel beträgt dann genau 45° . Dieser Wert gilt nach Brinks auch für andere, in dieser Beziehung archäologisch nachprüfbare Pyramiden (Meidum, Sahure und Neferirkare). Für den Bau bedeutet dies ein sehr einfach zu handhabendes Verfahren, die Ecken der Stufen des Kernmauerwerks festzulegen: Auf z.B. 15 Ellen Höhengewinn muss der Eckstein der nächsten Stufe genau um dieses Maß eingerückt werden. Dabei ist natürlich die Neigung der Stufen des Kernmauerwerks mit ca. 80° zu berücksichtigen.

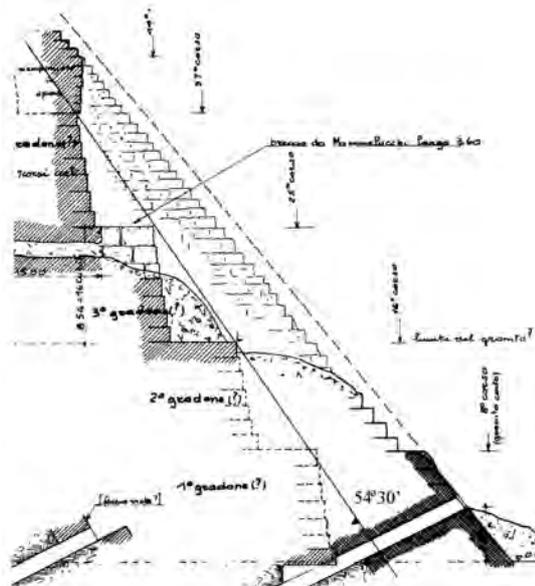


Abb. 7.4.4.4 Fluchtlinie der Kanten des Kernmauerwerks bei der Pyramide des Mykerinos

⁷⁴⁰ Maragioglio, VI, Addenda, TAV.4, Fig.2 Schnitt S-N.

Graefe weist in diesem Zusammenhang auf zwei in Höhe von 7 m hinter der äußeren Verkleidungsschicht der Pyramide des Chephren vorhandene abgearbeitete Felsstufen hin, deren Außenkanten ebenfalls durch einen Fluchtwinkel von $54^{\circ}30'$ aufeinander bezogen sind (Abb. 7.4.4.5). Diese Stufen sind wohl als „kleine“ Kernmauerstufen zu verstehen. Diese Beobachtung unterstreicht die damalige Bauweise der Stufen des Kernmauerwerks mit einem definierten Rücksprung von Stufe zu Stufe.

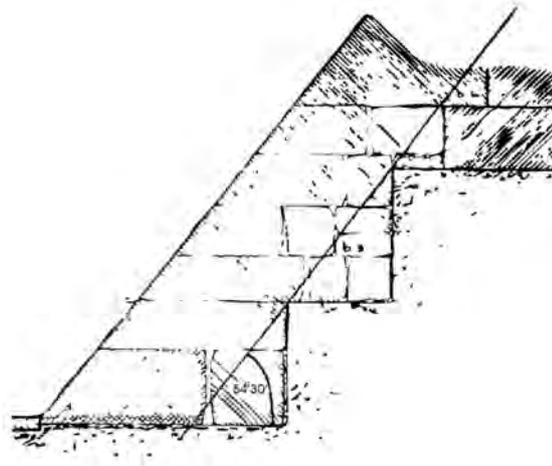


Abb. 7.4.4.5 Fluchtwinkel des Kernmauerwerks der Pyramide des Chephren

Der Lösungsansatz von Graefe besticht durch die Überlegung des Baus steiler Rampen und die Idee des Überschreitens der Fluchtlinie der Verkleidung bei konstant bleibender Rampenbreite. So wird eine sehr große Bauhöhe für eine unveränderte Transport- und Bauweise erreicht. Diese Rampen sind einfach zu errichten – ob nun mit Stufen wie Graefe vorschlägt, um die Steine hoch zu hebeln, oder als schiefe Ebene zum Hochziehen von mit Steinen beladenen Schlitten. Darüber hinaus fällt beim späteren Bau des Verkleidungsmauerwerks etc. kaum Abraum von Stufenresten an. Bis zur Höhe von 225 Ellen (ca. 118 m) werden nach diesem Vorschlag ca. 99,8 % der gesamten Steinmasse verbaut (siehe Abb. 6.1); lediglich ca. 6000 Steinblöcke und das Pyramidion müssen noch transportiert werden.

Unklar bleibt, wie die großen Steine der Innenbauten der Cheopspyramide hätten transportiert werden können, da Material mit derart großen Abmessungen – wie Graefe selbst formuliert – nicht über Eck zu transportieren gewesen war. Dafür soll dann eine breite, frontal auf die Nordseite zulaufende Treppe nach Isler angenommen werden.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass das Prinzip der Rampenidee von Graefe einen interessanten und innovativen Vorschlag darstellt. Die Kombination dieser Idee in Verbindung mit einer Treppe nach Isler und dem generellen Hochhebeln der Steine erscheint dagegen nicht für zweckdienlich; es muss eine einfachere Lösung gegeben haben. Zur Frage des Baus des Verkleidungsmauerwerks, der Außenverkleidung einschließlich Glättung und Aufsetzen des Pyramidions werden keine näheren Angaben gemacht.

Eine Berechnung bzw. Abschätzung der über das Rampensystem zu transportierenden Steinmassen und der Bauzeit der Pyramide wird ebenfalls nicht vorgelegt.⁷⁴¹

Die Bauhypothese von Graefe entspricht daher in einigen Punkten nicht den in Kapitel 7.2 „Grundsätzliche Lösungsansätze für den Pyramidenbau“ genannten Voraussetzungen.

⁷⁴¹ Auf eine Anfrage des Autors teilte Prof. Dr. Graefe am 18.07.2007 mit, dass ihm keine Berechnungen nach seinem Vorschlag bekannt sind.

7.4.5 Umlaufende Rampe nach Hampikian

Zur Frage der Fertigstellung der Pyramidenspitze der Cheopspyramide oberhalb der Höhe von 120 m entsprechend Stadelmanns Rampenhypothese (Kapitel 7.3.2 „Vorschlag von Stadelmann für ein Rampensystem“) und zur Platzierung des Pyramidions entwickelte Hampikian 1998 einen Vorschlag unter Einsatz umlaufender Rampen.⁷⁴² Die restliche noch zu verbauende Materialmenge misst bei einer Seitenlänge des Pyramidenstumpfes in 120 m Höhe noch 1% der Gesamtmenge und die verbleibende Höhe bis zur Spitze der Pyramide beträgt 42 m. Hampikian legt für den Bau der Spitze zwei Vorschläge vor, die beide einen Transport bis zu einer Höhe von 141 m beinhalten (Abb. 7.4.5.1 und 7.4.5.2). Das Material für die restlichen 6 m soll dabei über Stufen hoch gehiebt werden. Aus beiden Varianten von Hampikian wird deutlich, dass mit Einschnitten im Kernmauerwerk gearbeitet wird und dass zumindest Teile des Verkleidungsmauerwerks und der äußeren Verkleidungsschicht nach Aufsetzen des Pyramidions von oben nach unten gebaut werden müssten. Wie dieses bautechnisch geschehen soll, wird offen gelassen. Es handelt sich bei diesen Vorschlägen um rein theoretische, in der Praxis aus bautechnischen Gründen jedoch nicht umsetzbare Lösungen für den Bau der Pyramidenspitze.

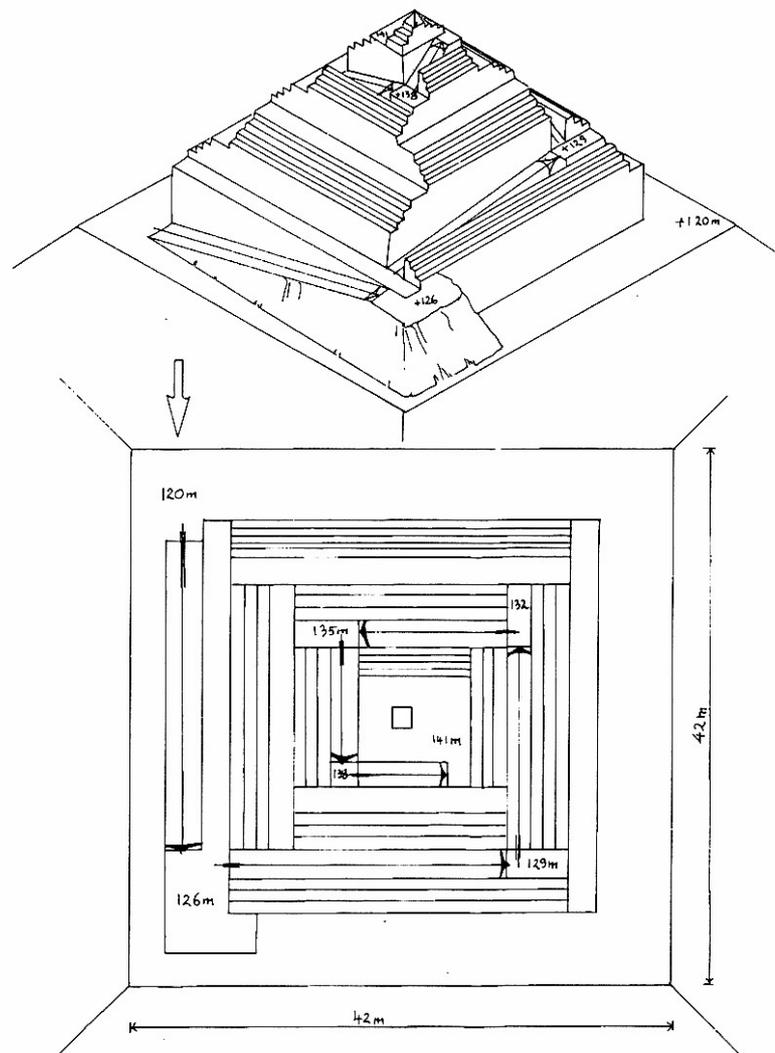


Abb. 7.4.5.1 Vorschlag 1 von Hampikian für den Bau der Pyramidenspitze

⁷⁴² Hampikian, Cheopspyramide.

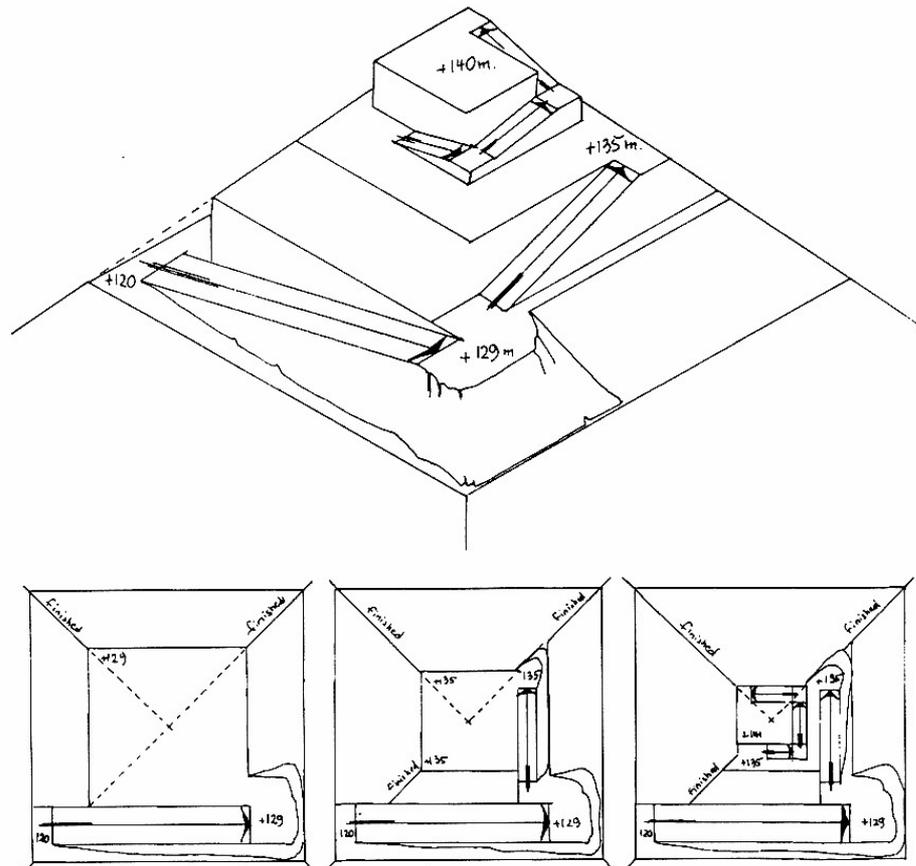


Abb. 7.4.5.2 Vorschlag 2 von Hampikian für den Bau der Pyramidenspitze

7.4.6 Vorschlag von Hölscher

Hölscher geht ebenfalls von einer stufenförmigen Struktur des Kernmauerwerks aus (Abb. 7.4.6).⁷⁴³ Der Materialtransport erfolgt entsprechend seinem Vorschlag über parallel zur Pyramidenseite auf den einzelnen Stufen gebaute Rampen aus Ziegeln. Die nach oben hin kürzer werdenden Stufen führen dann zwangsläufig zu steileren Rampen. Graefe hat diese Idee im Grundsatz später wieder aufgegriffen.

Goyon lässt diesen Vorschlag daher nur für Pyramiden zu, bei denen kleinere Steine, die auf Tragen transportiert werden konnten, verbaut wurden. Die Frage des Baus der Verkleidung bliebe – so auch Clarke-Engelbach – ungelöst.

Unbestreitbar ist die Tatsache, dass Hölscher als Erster den grundsätzlich richtigen Ansatz für den Bau des stufenförmigen Kernmauerwerks der Pyramiden des AR formuliert hat. Über später wieder abzubauenen Rampen können auch Steine größeren Gewichts über eine steile Rampe nach oben transportiert werden. In Kapitel 8 „Eine neue Hypothese für den Bau der Pyramiden: Pyramidenbau mit Rampen und Seilwinden“ wird darauf ausführlich eingegangen werden.

⁷⁴³ Goyon, Cheopspyramide, S.62–63; die Quellenangabe für die Äußerungen Hölschers und dessen Vorschlag stimmt jedoch nicht.

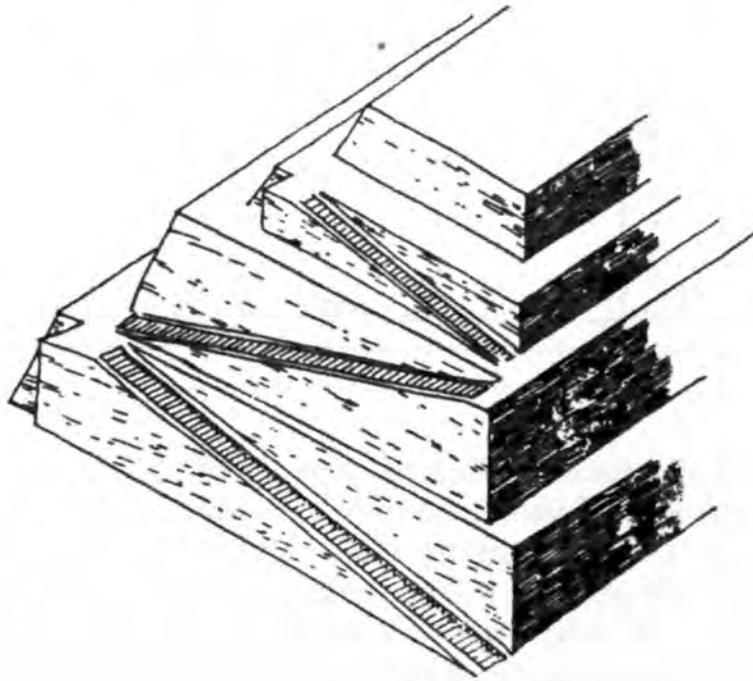


Abb. 7.4.6 Rampenvorschlag nach Hölscher

7.4.7 Kombination einer senkrecht auf die Pyramide zulaufenden Rampe und einer Integralrampe (Innenrampe) nach Houdin

Anfang April 2007 stellten der französische Architekt Jean-Pierre Houdin und die Firma Dassault Systemes in Paris in einer großen 3D-Show eine neue Hypothese zum Bau der Cheops-Pyramide vor,⁷⁴⁴ die zum Teil auf Studien von Dormion aufbaut.⁷⁴⁵

Danach soll der Bau der Pyramide in nacheinander folgenden horizontalen Lagen erfolgt sein. Dabei werden die Fassadensteine (äußere Verkleidungsschicht) in jeder Lage zuerst positioniert, um stets die richtige Neigung zu erreichen. Die Steine des Verkleidungsmauerwerks werden anschließend nach innen gesehen dahinter eingebaut.⁷⁴⁶

Houdin kombiniert unterschiedliche Bauverfahren:

- Von Süden her senkrecht auf die Pyramide zulaufend wird eine Rampe mit einer Länge von ca. 425 m bis zu einer Höhe der Pyramide von 43 m angenommen (Abb. 7.4.7.1).⁷⁴⁷ Die Rampenbahn wird – wie bereits von Lattermann vorgeschlagen – in zwei Spuren aufgeteilt, die anwechselnd entsprechend Baufortschritt erhöht werden, sodass es zu keinen Transportunterbrechungen kommt. Bis zu dieser Höhe wird das Material über die Rampe nach oben transportiert. Über die externe Rampe aus Stein mit zwei voneinander unabhängigen Bahnen (mit Nilschlamm als Schmiermittel) werden die auf Schlitten befestigten Steine von jeweils 8 Menschen nach oben gezogen. Mit einer Höhe von 43 m hat die Rampe nach einer Bauzeit von 14 Jahren ihre größte Höhe erreicht.⁷⁴⁸

⁷⁴⁴ Dassault, Cheops.

⁷⁴⁵ Welt online; Boeing, Heise.

⁷⁴⁶ Houdin, Cheops, S.41.

⁷⁴⁷ Houdin, Cheops, S.42; Bis zu dieser Höhe sind entspr. Abb. 6.1 etwa 65% der Steine verbaut.

⁷⁴⁸ Dessault, Cheops, Appendix 2.

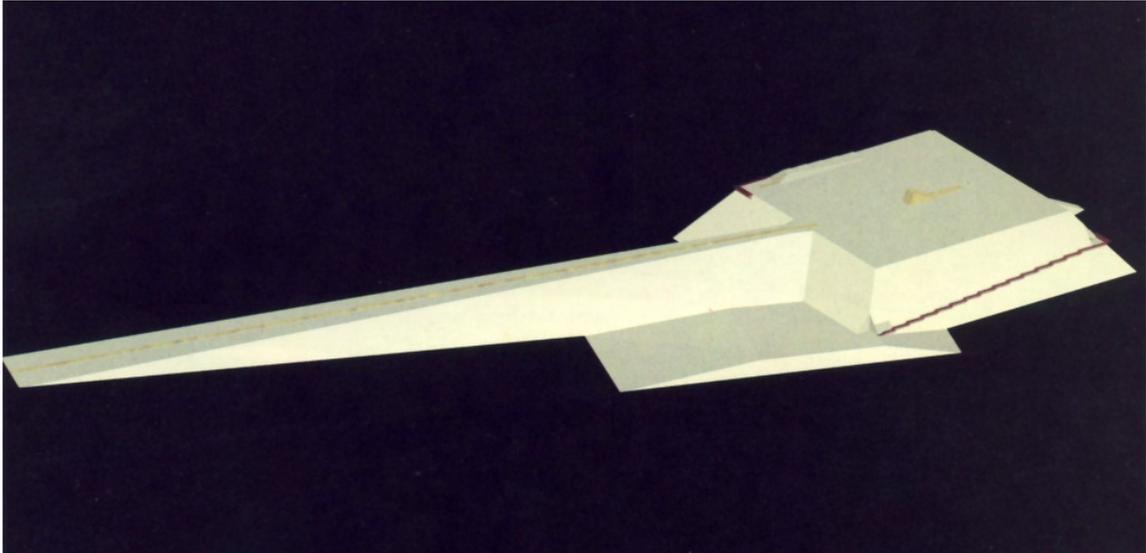


Abb. 7.4.7.1 Südrampe bis zur Höhe 43 m

- Unabhängig von dem Bau der Außenrampe wird der Bau einer tunnelförmigen Innenrampe (Integralrampe) vom Fuß der Pyramide beginnend vorgeschlagen, über die der Materialtransport ab einer Höhe von 43 m erfolgt (Abb. 7.4.7.2). Die Innenrampe wird mit einer Breite von 2,6 m mit zwei Seitenpassagen für die Schleppmannschaften und einer Mittelspur für die Schlitten und einem Kraggewölbe angenommen. Bis zu einer Höhe von 106 m könnten auf diese Weise bei einer konstanten Neigung der Innenrampe von 7% etwa 2.550.000 m³ – also 98% des gesamten Baumaterials – transportiert werden.⁷⁴⁹ Bis zu einer Höhe von 130 m würde die Steigung dann bis auf 20% erhöht.

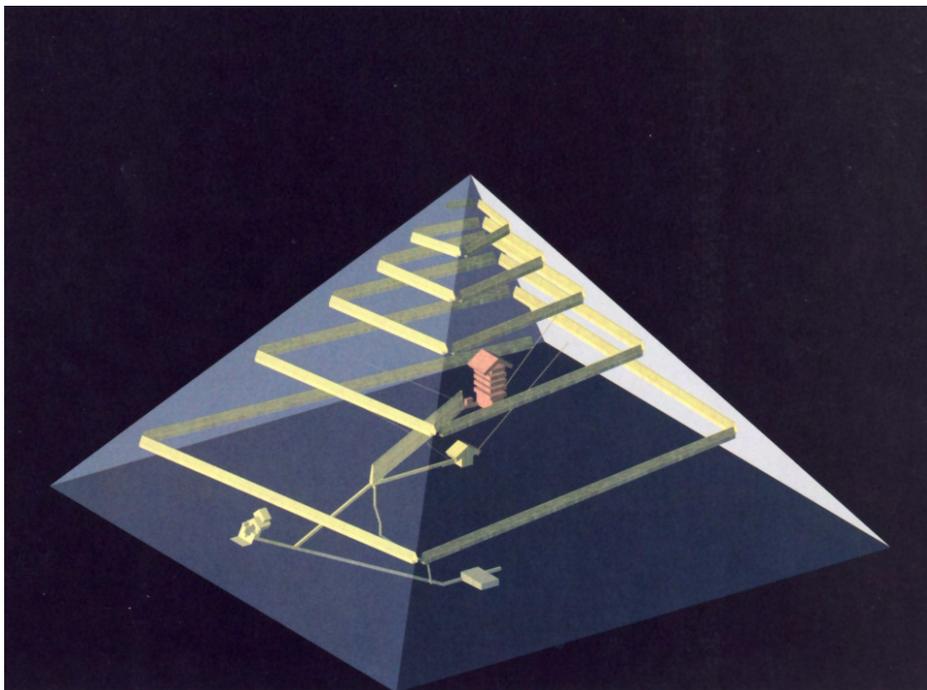


Abb. 7.4.7.2 Vorschlag einer Integralrampe (Tunnelrampe) nach Houdin

⁷⁴⁹ Houdin, Cheops, S.48ff.

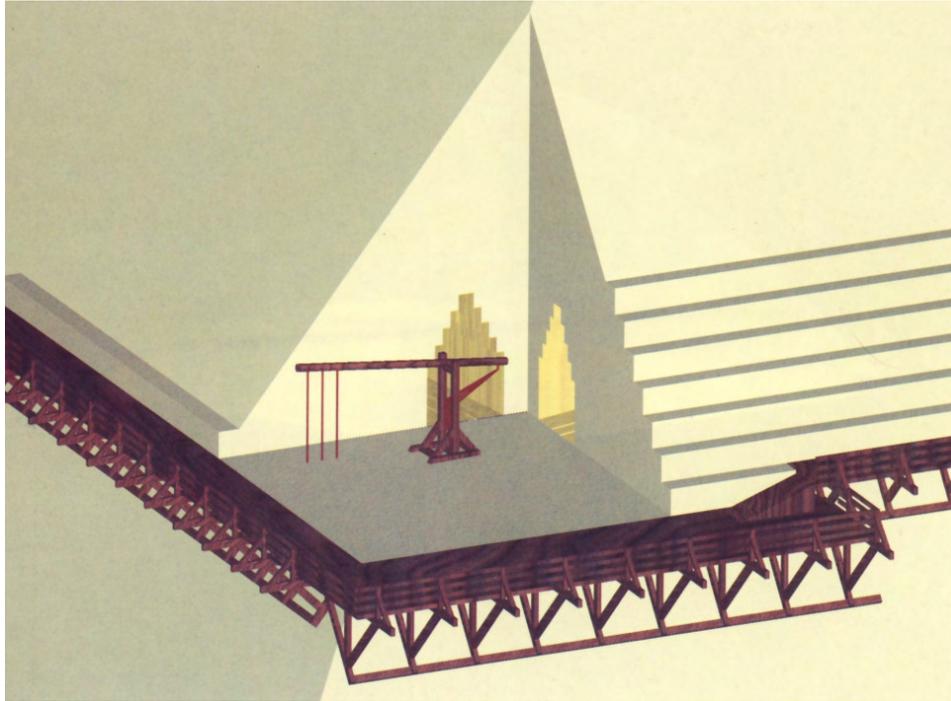


Abb. 7.4.7.3 Absatzkerbe mit einer Hebevorrichtung, ihre Einfassung, der äußere Gang und die „Regal-Fassadenblöcke“

An den Ecken, an denen die Innenrampe um 90° abbiegt, werden so genannte Absatzkerben bzw. Eckbuchten (Abb. 7.4.7.3) mit Abmessungen von ca. 10 x 10 m für die Drehung der Schlitten vorgesehen. Das Problem des späteren Verschließens dieser Eckbuchten nach Fertigstellung der Pyramidenspitze soll durch den Einbau von Füllblöcken von der Innenseite der Kerben aus geschehen. Das dafür notwendige Material wird während der Baumaßnahmen auf außen an der Pyramidenfläche angebrachten Stufen („Regale“) gelagert.

Nachdem die Innenrampe nur in einer Richtung begangen wird, ist ein äußerer Gang (Holzgerüst) erforderlich, um den Schlepptmannschaften, Hilfsarbeitern etc. den Rückweg nach unten zu ermöglichen. Dieser aus einem Holzgestell bestehende Weg soll an die ungeglätteten Steine der Außenverkleidung angebaut werden.

- Die Arbeiten Oberhalb von 130 m sollen durch einen Hebeturm vorgenommen werden (Abb. 7.4.7.4)
- Für den Transport der schweren Granitsteine und Deckenbalken der Grabkammern mit einem Gewicht bis zu ca. 60 t wird als weiteres Bauverfahren die Errichtung eines Schrägaufzugs mit Gegengewicht vorgesehen:

In 43 m Höhe (Basisniveau der Königskammer) beginnt der Verbau der Deckenbalken der Entlastungskammern. Zum Transport der Granitbalken vom Ende der äußeren Rampe (43 m) in die jeweilige Höhe der Entlastungskammern (größte Höhe 54 m) schlägt Houdin einen Lastenaufzug vor (Abb. 7.4.7.5), der mit einem Gegengewicht von ca. 25 t über Seilrollen einen leichteren Transport ermöglichen soll.⁷⁵⁰ Dieser Aufzug verläuft in der nach oben noch offenen Großen Galerie mit einer Steigung von 26,5° (Neigungsverhältnis 2:1).

Im linken Teil in Abbildung 7.4.7.5 sind die über die äußere Rampe auf einen Lagerplatz in 43 m Höhe zu transportierenden Granitbalken dargestellt. Der Lastenaufzug ist

⁷⁵⁰ Als Gegengewicht nimmt Houdin die drei Granitblöcke an, mit denen später die Große Galerie an ihrem unteren Ende gegen Grabräuber gesichert wurde. Daher stammt die Angabe des Gewichtes von insgesamt 25 t.

mit Seilen über Umlenkrollen auf der entsprechenden Höhe der Entlastungskammern (Bildmitte) mit dem Schlitten mit dem Gegengewicht in der Großen Galerie verbunden. Nach erfolgtem Transport eines Deckenbalkens wird der Schlitten mit den Gegengewichten durch Beladen des Lastenaufzuges mit einer entsprechenden Menge Kalksteine in der Großen Galerie wieder nach oben gezogen und steht für den nächsten Transport bereit.

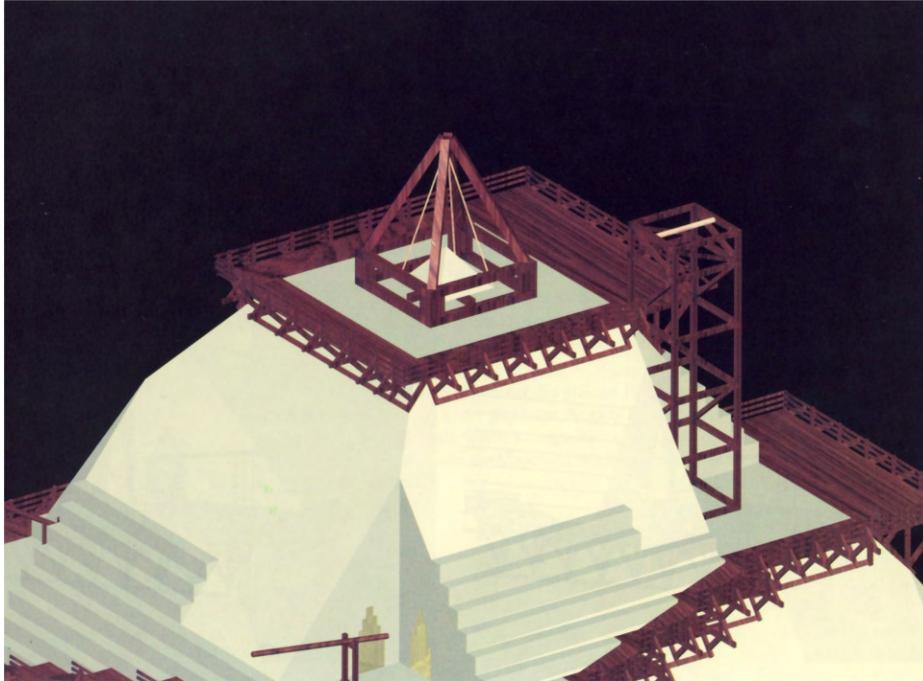


Abb. 7.4.7.4 Die Maschine (Hebeturm) auf dem Niveau 140 m

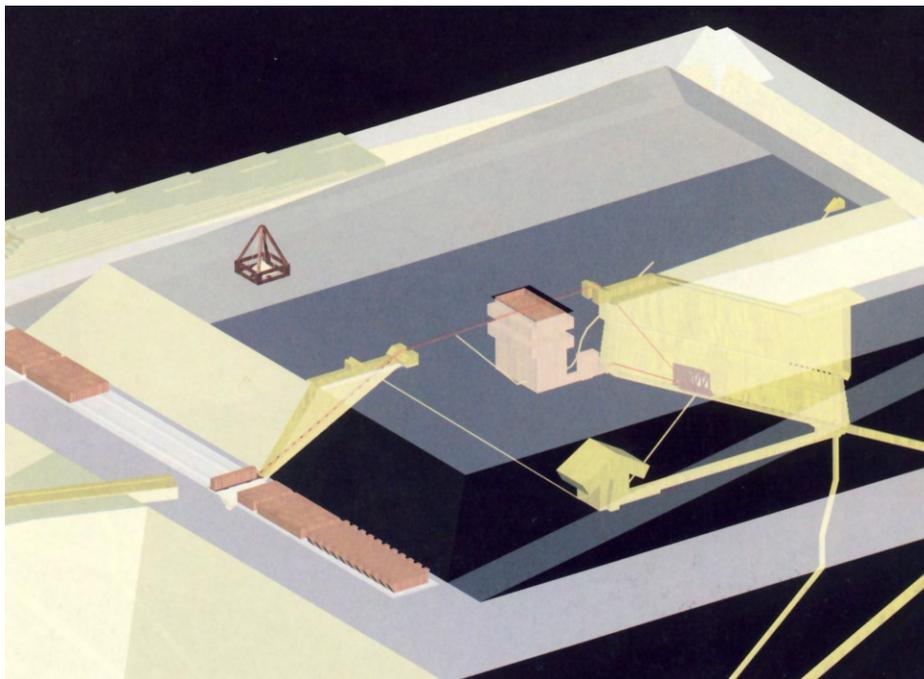


Abb. 7.4.7.5 Aufzugmodell zum Transport der Deckenbalken

Von Houdin gibt es Beschreibungen seiner Hypothese in einer Veröffentlichung aus dem Jahr 2003⁷⁵¹ und in seinem 2007 erschienen Buch „Cheops“⁷⁵². Nachstehend getroffene Aussagen der Bewertung seiner Vorschläge beruhen darauf:

- Berechnungen der Transportkapazität der Tunnelrampe, Taktzeiten der einzelnen Schleppvorgänge und die sich daraus ergebenden Bauzeiten sind aus dem Vorschlag nicht ersichtlich. In seinem Buch beschreibt Houdin lediglich einen extrem knapp gehaltenen Zeitplan „als Vorschlag“ ohne jegliche Berechnung.⁷⁵³
- Entgegen der archäologischen Befunde geht Houdin von einer schichtweisen Verlegung des Kernmauerwerks aus.
- Fragen der Montage der Pyramidenspitze und des Pyramidion (Aufzugeinrichtung in Abb. 7.4.7.4) werden nicht näher beschrieben.
- Die Montage der äußeren Verkleidungsschicht und deren Glättung sowie das Schließen der Absatzkerben an den Ecken der Pyramide können ohne ein Hilfsgerüst entlang der gesamten Außenfläche aus arbeits- und sicherheitstechnischen Gründen nicht erfolgen. Der von Houdin vorgesehene äußere Holzunnel erscheint dafür nicht geeignet.
- Die außerhalb der Pyramidenaußenfläche vorgesehene Lagerung von Steinmaterial auf Stufen, die nur an den Unebenheiten der in Bossen stehenden Steine der Außenverkleidung haften, birgt große statische Unsicherheiten in sich.

Unter Einbeziehung vorstehend genannter Aspekte bietet die von Houdin vorgetragene Hypothese keinen in sich schlüssigen Lösungsansatz zu der Frage, wie die Pyramiden im AR hätten errichtet werden können. Sowohl das Prinzip der äußeren Rampe als auch das der inneren Rampe wurden bereits z.T. mehrfach vorgeschlagen und diskutiert (Kapitel 7.3 „Bauhypothesen unter Verwendung senkrecht auf die Pyramide zulaufender Rampen und Kapitel 7.4 „Bauhypothesen unter Verwendung entlang der Pyramidenseiten geführter Rampen“). Auch die Kombination beider Verfahrensvorschläge bringt keine neuen Aspekte. Archäologische Befunde (z.B. Stufenstruktur des Kernmauerwerks) wurden nicht berücksichtigt. Es entspricht wohl auch nicht der Denkweise der Baumeister im Alten Ägypten, Bauwerke mit so unterschiedlichen Verfahren zu errichten. Für die vorgeschlagenen Hebeeinrichtungen gibt es keine Belege. Lasten wurden im AR generell nur über schiefe Ebenen transportiert und nicht gehoben.

Am Ende seines Buches weist Houdin noch auch Untersuchungen der Cheopspyramide nach dem Verfahren der Mikrogravimetrie in den Jahren 1986–87 hin:⁷⁵⁴ Unter der Schirmherrschaft der EDF Stiftung seien tausende mikrogravimetrische Messungen innerhalb und außerhalb der Cheopspyramide vorgenommen worden.⁷⁵⁵ Aus den Untersuchungsergebnissen, die an einzelnen Stellen der Pyramide auf unterschiedliche Dichten (spezifisches Gewicht) schließen lassen, konstruiert Houdin den Nachweis für seinen Vorschlag einer Tunnelrampe.

Im Rahmen seiner Schlussfolgerungen führt Houdin weiter aus, dass

„...die Technik der Innenrampe von Chephren und vielleicht auch von Mykerinos beim Bau ihrer Pyramiden wieder verwendet wurde.“

⁷⁵¹ Houdin, La Pyramide.

⁷⁵² Houdin, Cheops

⁷⁵³ Houdin, Cheops, S.36/37

⁷⁵⁴ Houdin, Cheops, S.147ff.

⁷⁵⁵ Eine Quellenangabe lässt Houdin vermissen.

Damit negiert der Architekt Houdin die archäologischen Befunde, die z.B. bei der Pyramide des Mykerinos vorliegen.

Die spektakuläre Veröffentlichung der Hypothese diente offensichtlich dazu, das von Dassault Systemes entwickelte Software System DELMIA für 3D-Darstellungen am Beispiel der stets sehr populären Frage der Pyramidenbauweise möglichst publik zu machen. Wie Fachpublikationen und weit über 200 Presseveröffentlichungen allein im Internet zeigen, ist dies auch gelungen.⁷⁵⁶ So ist verständlich, dass Hawass gegenüber der New York Times äußert, dass er zwar bezüglich der Hypothese von Houdin beträchtliche Zweifel habe, aber dass dieser zumindest kein „Pyramidiot“ sei, wie er die zahlreichen Hobbytheoretiker vom Schlage eines Erich von Däniken nennt⁷⁵⁷. Nicht verständlich bleibt jedoch die Äußerung Stadelmanns, der – wenn das Pressezitat stimmt – Houdins Theorie als „...mehr als interessant, revolutionär und in sich schlüssig...“ bezeichnete⁷⁵⁸.

Im Jahr 2009 untersuchte Bob Brier die schon von Houdin beschriebene Kerbe in der NO Flanke der Pyramide, welche sich 89 m über der Basisschicht befindet⁷⁵⁹ und nach Houdins These die neunte Kerbe (gemeint ist die neunte Ecke) der Innenrampe an der Nordostecke darstelle. Bei seinen Untersuchungen entdeckte Brier an dieser Stelle einen Hohlraum mit den Abmessungen von ca. 3m an im Quadrat und ca. 3,2 m Höhe.⁷⁶⁰ Er vertritt dazu die Auffassung, dass dieser Hohlraum zum Drehen der Steinblöcke in den nächsten (um 90° versetzten) Gang gedient habe und nach Abschluss der Arbeiten zu den Gängen hin verschlossen worden sei.

Auch wenn es keine schlüssige Erklärung für den Hohlraum gibt, so ist damit dennoch nicht der Beweis für die Richtigkeit der These von Houdin erbracht. Die vorstehend genannten Einwände gelten weiterhin.

7.5. Hypothesen für den Einsatz von Hebegeäten bzw. Zugeinrichtungen

7.5.1 Vorschlag von Isler zum Pyramidenbau mittels Hebeln

In zwei Beiträgen stellte Isler 1985 und 1987 seine Vorschläge zum Pyramidenbau zur Diskussion.⁷⁶¹ Die erste Hypothese sagte aus, dass über an den Pyramidenbaukörper einschließlich der fertig gestellten Verkleidung von außen angelegte breite Treppen aus Stein das Baumaterial hochgehoben werden konnte (Abb. 7.5.1.1).

Isler nimmt eine lagenweise Steinverlegung an. Die Treppen sollen in gewissen Abständen mit aus der Verkleidung hervorstehenden größeren Steinen mit der Pyramide und einer darauf errichteten, um die Pyramide umlaufenden Plattform verbunden werden. Auf diese Weise erkläre sich bei der Cheopspyramide auch das so genannte Petrie-Diagramm.⁷⁶² Dieses zeigt

⁷⁵⁶ Brier, Pyramide.

⁷⁵⁷ In seinem Vorwort zu dem Buch von Houdin (Houdin, Cheops) schreibt Hawass u.a.: „Obwohl der Beweis für diese Theorie, der sehr viele Indizien erfordert, noch nicht erbracht worden ist, so verdient sie dennoch unsere Aufmerksamkeit. Sollte sie sich als zutreffend herausstellen, wird sie uns neue Einsichten in die Genialität der Pyramidenbauer liefern...“

⁷⁵⁸ Mysteria3000.

⁷⁵⁹ Houdin, Cheops, S.150.

⁷⁶⁰ Brier, Cheopspyramide

⁷⁶¹ Isler I und Isler II.

⁷⁶² Petrie hat die einzelnen Stufenhöhen der Cheopspyramide an der NO-Ecke vermessen und in einem Diagramm dargestellt (Petrie, Pyramids, Pl.VIII). Eine spätere Vermessung der Stufenhöhen an der SO-Ecke durch

u.a. für die 90. und 98. Lage jeweils einen Sprung in der Höhe der Steine des Verkleidungsmauerwerks, wie in Abb. 7.5.1.1 dargestellt. Dieser Vorschlag bedingt – wie aus Abb. 7.5.1.2 ersichtlich ist –, dass die Treppenrampe unter Beibehalt einer gleich bleibenden und geringeren Neigung als die der Pyramidenaußenfläche ständig erhöht und damit auch verlängert werden muss⁷⁶³.

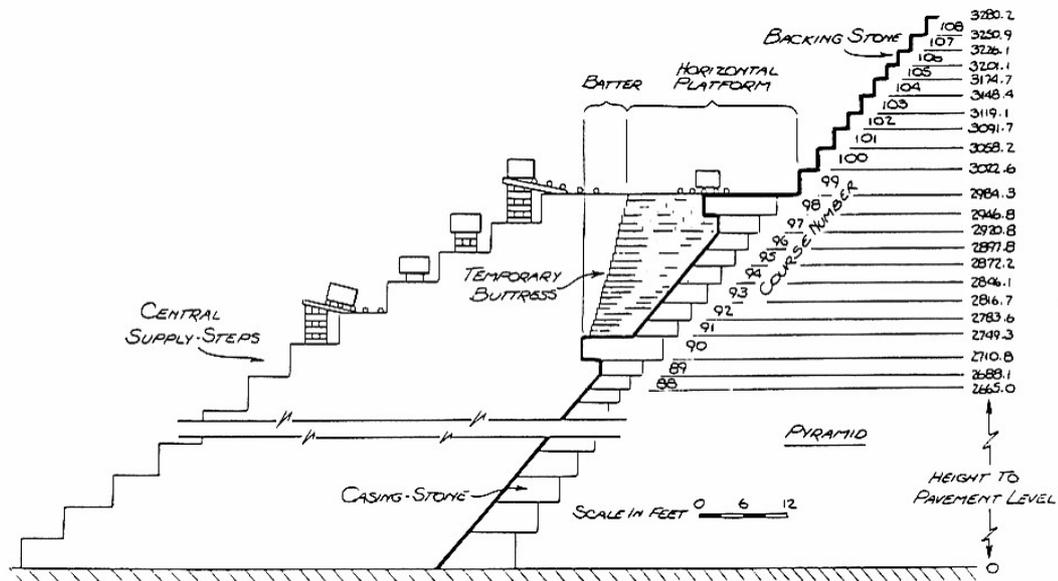


Abb. 7.5.1.1. Treppe nach Isler

Zum Neigungswinkel und zur Gesamtlänge der Treppe bis zur Pyramidenspitze sowie zu Kapazitätsbetrachtungen und Bauzeiten macht Isler keine Angaben. Für das Hochhebeln stellt Isler verschiedene Möglichkeiten vor. Nach Fertigstellung des Verkleidungsmauerwerks schlägt Isler weitere Treppen mit dem Neigungswinkel der Verkleidungsschicht vor, um diese von oben nach unten anzubringen.

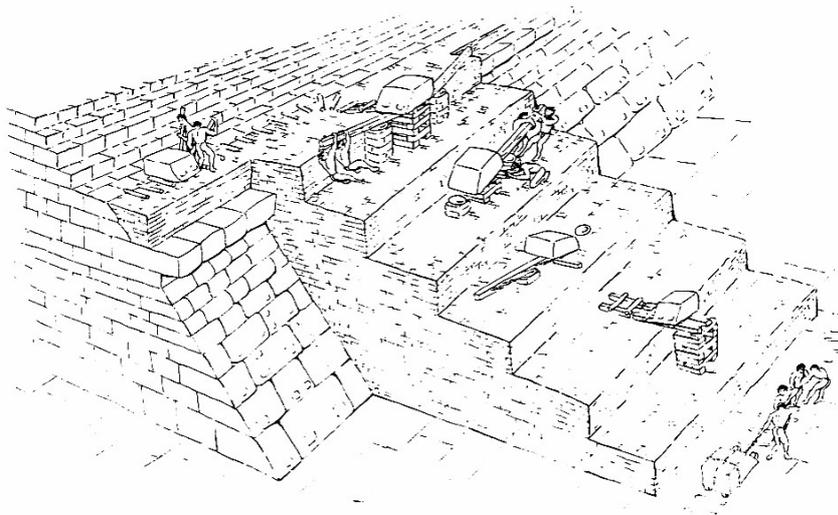


Abb. 7.5.1.2 Hochhebeln der Steine nach Isler

eine Hobby-Archäologen-Gruppe (Ägyptische Pyramiden 2, S.103) führte zu denselben Werten. Auch eine Messung von Goyon (Goyon, Messungen und Goyon, Cheopspyramide, S.220ff.) bestätigte diese Werte.

⁷⁶³ Isler I, Fig.8 und 10.

In seiner zweiten Bauhypothese geht Isler dagegen aufgrund verschiedener archäologischer Befunde und „zwischenzeitlich gewonnener Erkenntnisse“ von einem stufenförmigen Kernmauerwerk der Pyramiden aus. Er entwickelt ein Verfahren, wie die Stufen schichtweise durch Hochhebeln der Steine gebaut werden könnten. Dabei wird übersehen, dass das Kernmauerwerk innerhalb der jeweiligen Außenmauer der Stufe aus Steinen ganz unterschiedlichen Formats besteht und die Zwischenräume mit einer Mischung aus Splintern, Schutt etc. aufgefüllt sind.

Der Vorschlag von Isler hat darüber hinaus den weiteren großen Nachteil, dass der Neigungswinkel der Treppe sehr steil für das Hochhebeln der Steine ist. Es ist sehr unwahrscheinlich, dass die Baumeister im AR eine derart gefährliche Transportmöglichkeit gewählt haben dürften. Auch bei dieser Bauhypothese sind der Bau der Außenverkleidung der Pyramide und das Glätten der in Bosse stehenden Steine der Außenverkleidung ohne eine Art Baugerüst aus bau- und sicherheitstechnischen Gründen nicht vorstellbar.

Eine Berechnung der Transportkapazität und der Bauzeit der Pyramide wird nicht vorgelegt. Das von Isler vorgeschlagene Bauverfahren dürfte trotz der von Hodges durchgeführten Feldversuche⁷⁶⁴ in der Praxis nicht einsetzbar sein. Verschiedene der in Kapitel 7.2 „Grundsätzliche Lösungsansätze für den Pyramidenbau“ formulierten Prämissen werden nicht eingehalten.

7.5.2 Vorschlag für eine Hebeeinrichtung nach Croon

Croon hat sich in seiner Veröffentlichung „Lastentransport beim Bau der Pyramiden“ eingehend mit den verschiedenen Möglichkeiten des Steintransports am Beispiel der Cheopspyramide befasst.⁷⁶⁵ Ausgehend von Annahmen über ein durchschnittliches Gewicht der Steine (2.5 t), einen Reibungskoeffizienten von 0,25, einer menschlichen Zugkraft von 30 kg und einer Neigung der senkrecht auf die Pyramide zulaufenden Rampe von 20° berechnet er die Länge eines Schlittenzuges mit 48 Arbeitern in je vier Reihen mit 15 m und kommt so zu dem Schluss, dass die restlichen 10 m der Pyramidenspitze mit anderen Hilfsmitteln (Hebeeinrichtungen) gebaut werden mussten, da dort der Platz für diese Gespannlänge nicht mehr vorhanden ist. Das ständige Erhöhen der senkrecht auf die Pyramide zulaufenden Rampe kommt seiner Meinung nach noch erschwerend hinzu. Croon scheidet daher die Möglichkeit der Bauweise über eine senkrecht auf die Pyramide zulaufende Rampe aus.

Als Zweites untersucht Croon ein Bauverfahren mit parallel zu den Stufen des Kernmauerwerks geführten Rampen. Wie in Abb. 7.5.2.1 dargestellt, werden – entsprechend einer Beobachtung der Stufenhöhen nach Petrie durch Landt⁷⁶⁶ – wiederum am Beispiel der Cheopspyramide unterschiedlich hohe Stufen des Kernmauerwerks angenommen und parallel zu diesen auf allen vier Seiten eine möglichst große Zahl von Rampen mit einer Breite von 8 m und einer Neigung von 20° angeordnet.

Bei der Berechnung der Transportkapazität wird ein Teil der Rampen für den abwärtsgerichteten Verkehr (leere Schlitten und Arbeiter) vorgesehen. Croon ermittelt für den Bau der Pyramide insgesamt ca. 364 000 Schleppzüge. Bei einer angenommenen täglichen Arbeitszeit von 12 Stunden und einer Arbeitszeit von nur drei Monaten pro Jahr (Zeit der Überschwemmung) sowie Einbeziehung der weiteren Annahmen wie bei der senkrecht zulaufenden Rampe kommt Croon zu dem Ergebnis, dass alle 3,6 Minuten auf jeder Rampe ein Schleppzug ein-

⁷⁶⁴ Hodges, Pyramides.

⁷⁶⁵ Croon, Lastentransport.

⁷⁶⁶ Landt, Cheopspyramide, S.70.

treffen muss. Die sich daraus ergebende Arbeitsleistung pro Arbeiter liegt nach Croon jenseits realistischer Werte, sodass auch diese Möglichkeit des Pyramidenbaus ausgeschlossen wird. Nach Stadelmann wurde an den Pyramiden an etwa 300 Tagen im Jahr gearbeitet⁷⁶⁷, sodass sich dann die Transportzeit pro Schleppzug und Rampe auf ca. 12 Minuten verlängert. Angaben zur Zahl der für einen Schleppzug bei einer Rampensteigung von 20% benötigten Arbeiter macht Croon nicht.

TAFEL 5.

Abb. 15 und 16.
Einzelrampen beim
Stufenbau.

Cheops-Pyramide
Anordnung der Stufen
nach Landt.

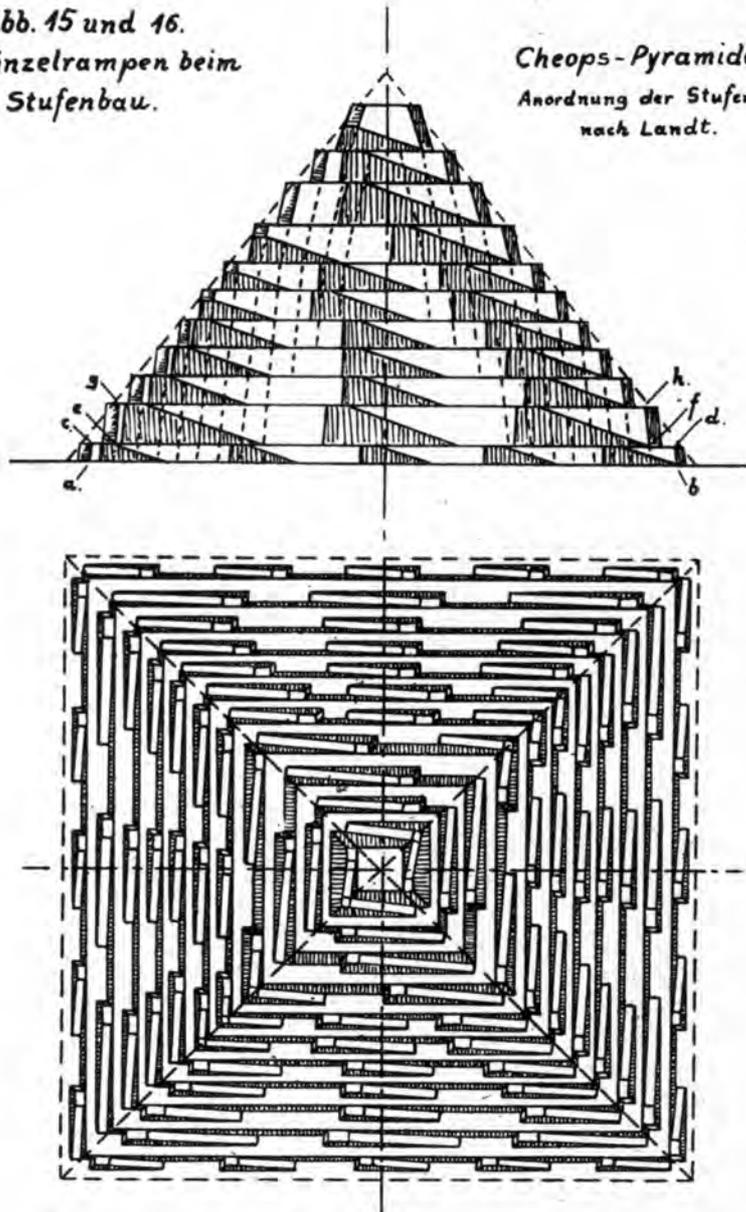


Abb. 7.5.2.1 Vorschlag von Landt für Rampenanordnung parallel zu den Pyramidenseiten

Croon untersucht dann das Prinzip des Hochhebelns von Steinen und mittels eines Kippschlittens nach dem Vorschlag von Choisy⁷⁶⁸ und kommt nach Kapazitätsberechnungen zu dem Schluss, dass auch dieses Verfahren für den Bau der Cheopspyramide nicht infrage kommt.

⁷⁶⁷ Stadelmann, MDAIK 36.

⁷⁶⁸ Choisy, Kippschlitten.

Nicht zuletzt spricht auch das erstmalige Auftauchen von Kippschlittenmodellen im NR gegen eine Verwendung beim Bau der Pyramiden im AR.

Aufgrund der Untersuchungen und Darstellungen von Hölscher im Totentempel des Chephren⁷⁶⁹ geht Croon davon aus,

„...dass die Alten Ägypter die Steinblöcke beim Heben mit Stricken und mit zangenartigen Vorrichtungen gehalten haben. Beide setzen eine kranartige Hebevorrichtung voraus.“

Auf der Basis des Prinzips des Schaduf schlägt Croon für die Bauweise der Pyramiden eine Hebeeinrichtung (Abb. 7.5.2.2) vor, bei der durch das nach unten gerichtete Zuggewicht von Arbeitern, die auf verschiedenen Stufen stehen, über die Hebelwirkung auch größere Steine gehoben werden können. Technisch dürfte dieses Prinzip funktionieren. Allerdings stellt Croon gerade für diesen, seinen Vorschlag der Bautechnik keine detaillierte Kapazitätsberechnung zur Bauzeit der Cheopspyramide vor. Auch andere Fragen wie das Aufsetzen des Pyramidion und der Bau des Verkleidungsmauerwerks sowie der äußeren Verkleidungsschicht werden nicht angesprochen. Hinzu kommt, dass der Schaduf erstmals im NR belegt ist und auch Croon selbst

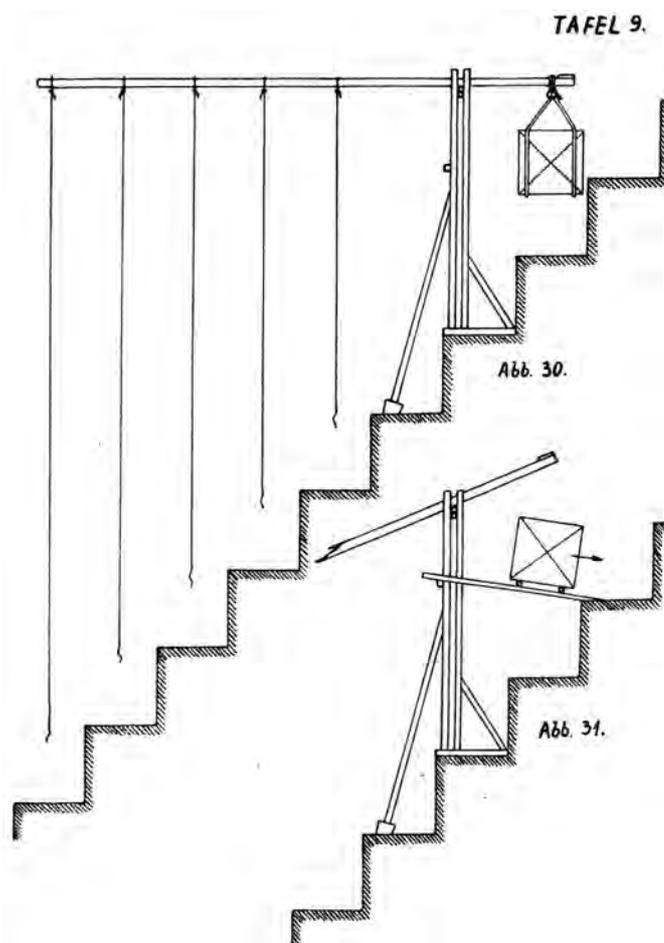


Abb. 7.5.2.2 Vorschlag von Croon für eine Hebeeinrichtung

⁷⁶⁹ Hölscher, Chephren.

„...glaubt annehmen zu müssen, dass sie⁷⁷⁰ jünger als die Pyramidenbauten sind.“

Der von Croon vorgeschlagene Hebekran kommt daher als Bautechnik für den Bau der Pyramiden nicht infrage kommt. Andererseits stellt Croon verschiedene Berechnungen an, die für die Bewertung von Bauverfahren von Wert sind. Darüber hinaus weist er in seiner Arbeit auf die Idee von Landt zur Anordnung mehrerer Rampen pro Pyramidenseite und der damit verbundenen Erhöhung der Transportkapazität (Gleichzeitigkeit) und somit einer Verringerung der Bauzeiten gegenüber vielen anderen geäußerten Hypothesen zum Rampenbau hin.

Die Idee von Landt stellt einen sehr innovativen Denkansatz dar.

7.5.3 Vorschlag von Löhner für den Bau der Pyramide mit Seilrollenböcken

Franz Löhner hat sich seit vielen Jahren mit Verfahren für den Pyramidenbau beschäftigt und seine Vorschläge im Internet publiziert.⁷⁷¹ Zusammen mit Illig hat er einen Teil dieser Vorschläge auch als Buch veröffentlicht.⁷⁷²

Ein zentrales Element der Idee von Löhner ist die Seilrolle aus Zedernholz. Sie dient dazu, auf einer Schleppstrecke bzw. auf der Oberfläche des fertig gestellten Pyramidenstumpfes ein Seil, an dem ein Schlitten befestigt ist, umzulenken. Dadurch kann die Schleppmannschaft die Zugkräfte nach unten richten und auch das eigene Körpergewicht als Teilzugkraft einsetzen. Nach Löhners Vorschlag ist der Seilrollenblock ca. 20 cm breit und die Rolle hat einen Durchmesser von 14 cm. Sie ist links und rechts drehbar in einem Holzbock gelagert (Abb. 7.5.3.1). Das Lager ist mit Kupferblech ausgeschlagen und wird geschmiert.

Für den Transport der Schlitten auf der von Beginn an mit der äußeren Verkleidungsschicht versehenen Pyramidenflanke schlägt Löhner als weiteres wesentliches Merkmal seiner Idee den Einsatz von Holzgleisen vor (Abb. 7.5.3.2).

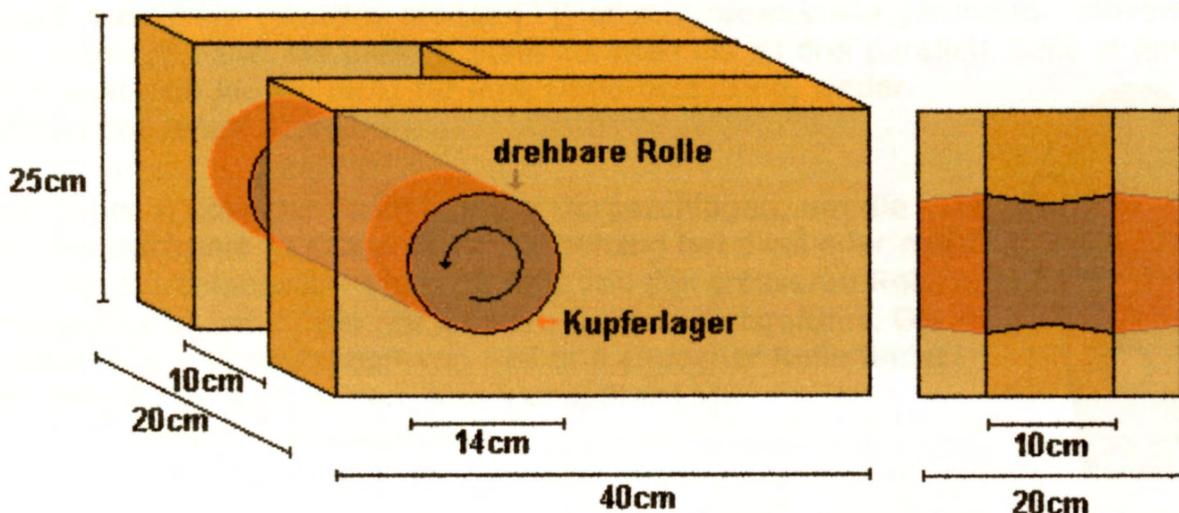


Abb. 7.5.3.1 Seilrollenbock nach Löhner

⁷⁷⁰ Gemeint sind entsprechende bildliche Darstellungen des Schaduf.

⁷⁷¹ Löhner, Pyramidenbau.

⁷⁷² Illig, Cheopspyramide.

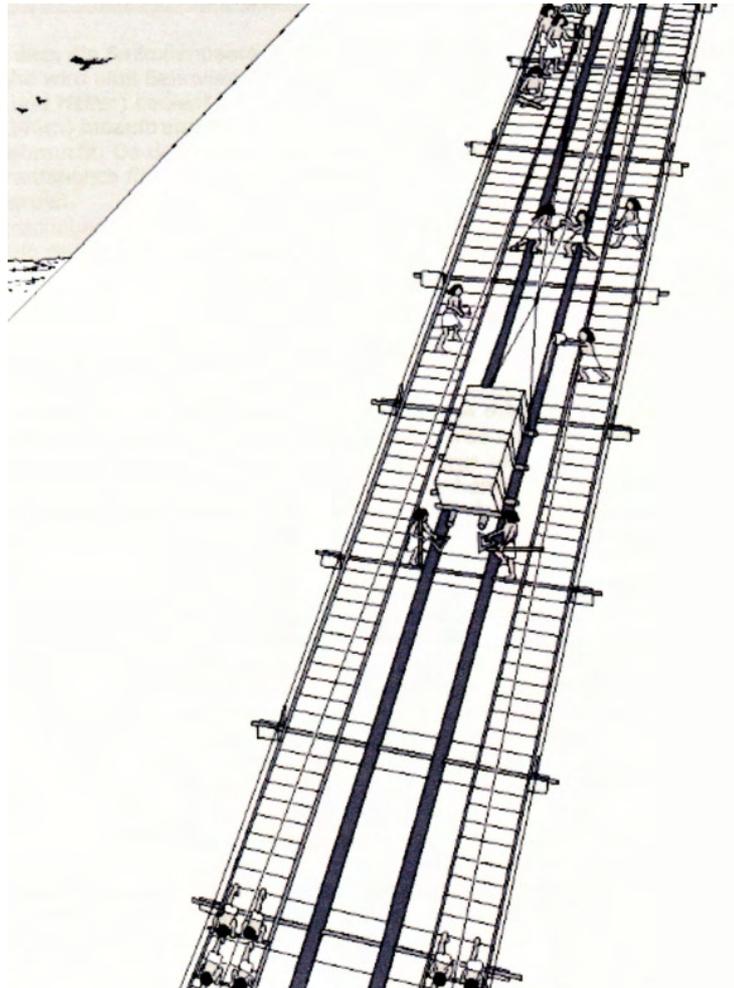


Abb. 7.5.3.2 Gleisanlage mit Seilrollenstation nach Löhner

Die Verankerung der Gleise erfolgt an den in Bossen stehenden gelassenen Steinen der Außenverkleidung bzw. auf der Kante der jeweiligen Baufäche. Die Verankerung der Seilrollen wird ebenfalls in hervorstehenden Steinblöcken der Verkleidung vorgenommen (Abb. 7.5.3.3). Im Detail wird auf Löhners Darstellungen verwiesen.

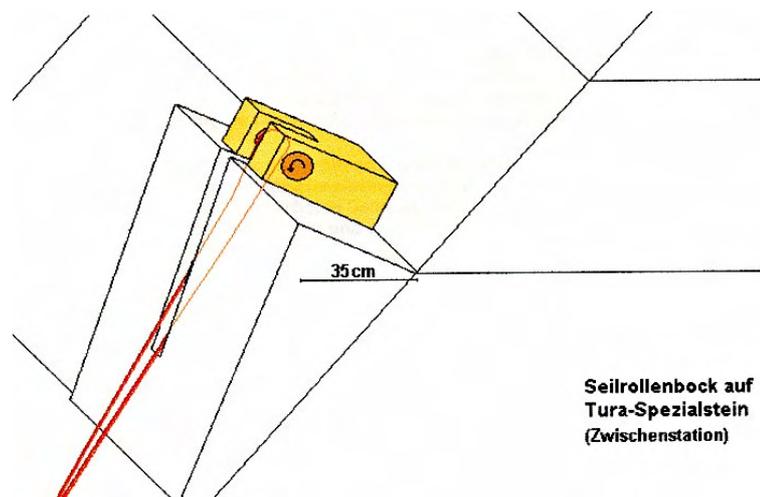


Abb. 7.5.3.3 Befestigung einer Seilrolle an der Außenverkleidung

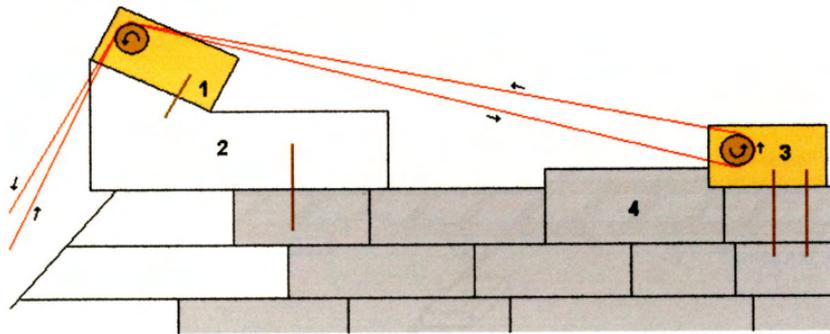


Abb. 7.5.3.4 Befestigung der Seilrollenböcke

Die Schlepptmannschaften benutzen Leitern, die auf beiden Seiten der Gleise verlegt sind. Für den Transport der Granitblöcke der Entlastungskammern schlägt Löhner die Verwendung von Schwerlastenaufzügen mit Gegengewichten vor. Für das Aufsetzen des Pyramidions hat Löhner ebenfalls einen Lösungsvorschlag (Abb. 7.5.3.5).

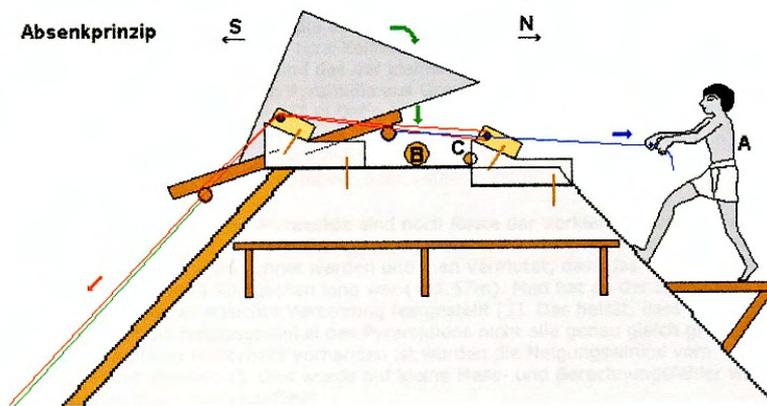


Abb. 7.5.3.5 Aufsetzen des Pyramidions

Die Vorschläge Löhners für den Pyramidenbau lassen verschiedene problematische bautechnische Aspekte wie z.B. die Konstruktion der Schlitten für den Transport der Steine auf einer Fläche mit dem Neigungswinkel von über 50°, an die Pyramidenflanke angelegte Leitern oder die in Abb. 7.5.3.4 dargestellte Seilbewegung entgegen der Drehrichtung der Seilrolle mit der dabei auftretenden Reibung unberücksichtigt. Löhner lässt auch die heute im Allgemeinen nicht mehr bestrittene Stufenbauweise des Kernmauerwerks sowie das Glätten der Außenverkleidung nach deren Fertigstellung von oben nach unten außer Betracht.

Die Pyramiden können daher nicht in der von Löhner beschriebenen und teilweise recht komplizierten Art gebaut worden sein. Eine Kapazitätsberechnung des Transportsystems und eine Ermittlung der Bauzeit nach dem vorgeschlagenen Verfahren liegen nicht vor.

Zutreffend ist sicherlich die Annahme Löhners, wonach die Funktion einer Seilumlenkwalze (bzw. Rolle, wie von Löhner bezeichnet) bereits im AR bekannt war und auch beim Pyramidenbau eingesetzt wurde, allerdings nicht in der von ihm beschriebenen Art und Weise. Auch mit Blick auf die in Kapitel 7.2 „Grundsätzliche Lösungsansätze für den Pyramidenbau“ genannten Prämissen und deren teilweise Nichtbeachtung erscheint die Hypothese Löhners für den Bau von Pyramiden nicht schlüssig.

7.5.4 Vorschlag von dos Santos für den Einsatz eines Spills

In einem Beitrag zum Thema „Theorien zur Bautechnik der Großen Pyramide“ stellt dos Santos seinen Vorschlag für die Errichtung der Pyramiden mittels eines waagrecht auf der jeweiligen Bauebene der Pyramide angeordneten Drehsystems vor.⁷⁷³ Dieses besteht aus einer senkrecht in einem Lager stehenden Walze, in die nach Art einer Seilwinde (Spill) Stäbe zum Drehen der Walze befestigt sind. Um diese Walze wird dann das Seil gewickelt, um die Steine über die immer zeitgleich mit dem inneren Mauerwerk errichtete Außenverkleidung der Pyramide über eine eigens zu diesem Zweck errichtete Gleitbahn nach oben zu ziehen (Abb.7.5.4.1). Mehrere dieser Systeme könnten parallel betrieben werden. Für das Hochziehen der Steine (durchschnittliches Gewicht ca. 2,5 t) soll entsprechend dem Vorschlag die Kraft von vier Männern mit je 25 kg ausreichend sein.

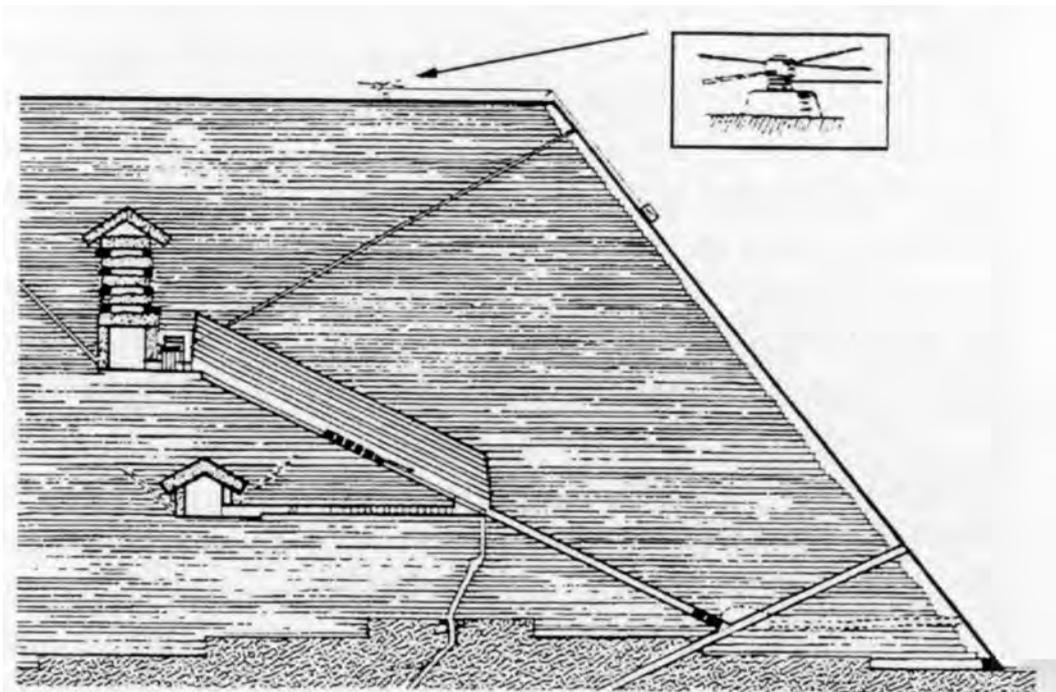


Abb. 7.5.4.1 Bauvorschlag für die Cheopspyramide nach dos Santos

Dos Santos geht bei seinen Überlegungen davon aus, dass im AR die Hebelwirkung durch den Gebrauch von Steinbohrern bekannt war. Auch das Fallsteinsystem der Cheopspyramide verwende das Prinzip der Seilwinde, indem die Walzen, an denen die Fallsteine befestigt gewesen seien, mittels darin befestigter Stäbe mit relativ geringem Kraftaufwand herabgelassen werden konnten (Abb. 7.5.4.2).

Für das Fertigstellen der Pyramidenspitze macht dos Santos keinen Vorschlag; eine Berechnung der Transportleistungen und der Bauzeit der Cheopspyramide wird im Detail nicht vorgelegt. Der in dem Artikel dargelegte Vorschlag für den Bau der Cheopspyramide scheint aus vielerlei Gründen so nicht realistisch zu sein. Dos Santos geht nicht von der Stufenbauweise des Kernmauerwerks, sondern von einer Schichtweisen Steinverlegung aus, beschreibt nicht die Kraftumlenkung an der jeweils obersten Steinreihe und den Auf- und Abstieg der Arbeiter über die Pyramidenaußenfläche und lässt die Frage des Baus der Pyramidenspitze außer Acht.

⁷⁷³ Santos, Bautechnik.

Gleiches gilt für die archäologisch nachgewiesene Glättung der in Bosse stehenden Steine der Außenverkleidung nach Fertigstellung der Pyramide von oben nach unten. Diese Bauhypothese entspricht daher in einigen Punkten nicht den in Kapitel 7.2 „Grundsätzliche Lösungsansätze für den Pyramidenbau“ genannten Voraussetzungen.

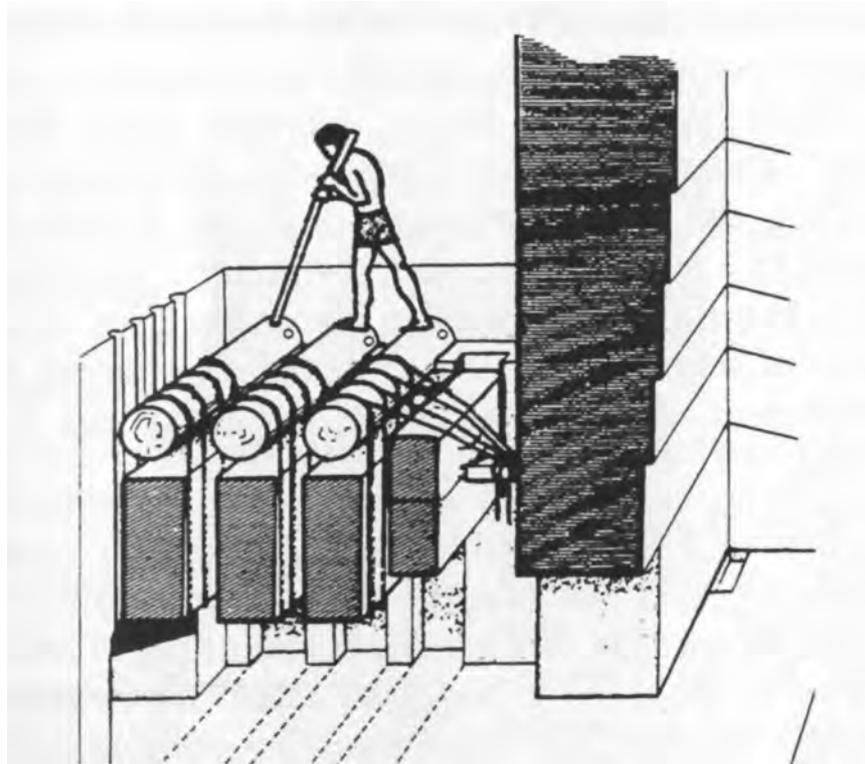


Abb. 7.5.4.2 Mögliche Handhabung der Fallsteine der Cheopspyramide nach dos Santos

Bemerkenswert und innovativ zugleich an den Überlegungen von dos Santos ist jedoch, dass er für die Zugleistung zum Transport der Steine nach oben nicht mehr Zugmannschaften oder Ochsespanne über Rampen, sondern das Prinzip der Seilwinde einsetzt, welches durch die Kraftübersetzung den Transport mit viel weniger Kraftaufwand und damit durch eine geringere Zahl an Arbeitern ermöglicht (Durchmesser der Rolle zu der Länge der Stäbe, siehe Ausführungen im Kapitel 4.2.2.1 „Das Fallsteinsystem im Korridor zur Grabkammer des Königs in der Cheopspyramide“).

7.5.5 Vorschlag von Riedl für eine Hebebühne mit Seilwinde und Holmen

Riedl hat 1980 in seinem Buch „Der Pyramidenbau und seine Transportprobleme“⁷⁷⁴ und in zwei Beiträgen Vorschläge für den Pyramidenbau veröffentlicht.⁷⁷⁵ Er geht bei seinen Bauvorschlägen von Gerüsten bzw. Plattformen aus, die entlang der Außenverkleidung des fertig gestellten Pyramidenstumpfes durch Seilwinden emporgehoben werden können und dabei Steine transportieren. Links und rechts der Plattform sind stufenförmige Aussparungen in der Verkleidung zum Absetzen der Plattform freigehalten, die auch als Aufstiegsmöglichkeit für die Arbeiter dienen (Abb. 7.5.5.1).

⁷⁷⁴ Riedl, Pyramidenbau.

⁷⁷⁵ Riedl, 1981 und Riedl, 1982.

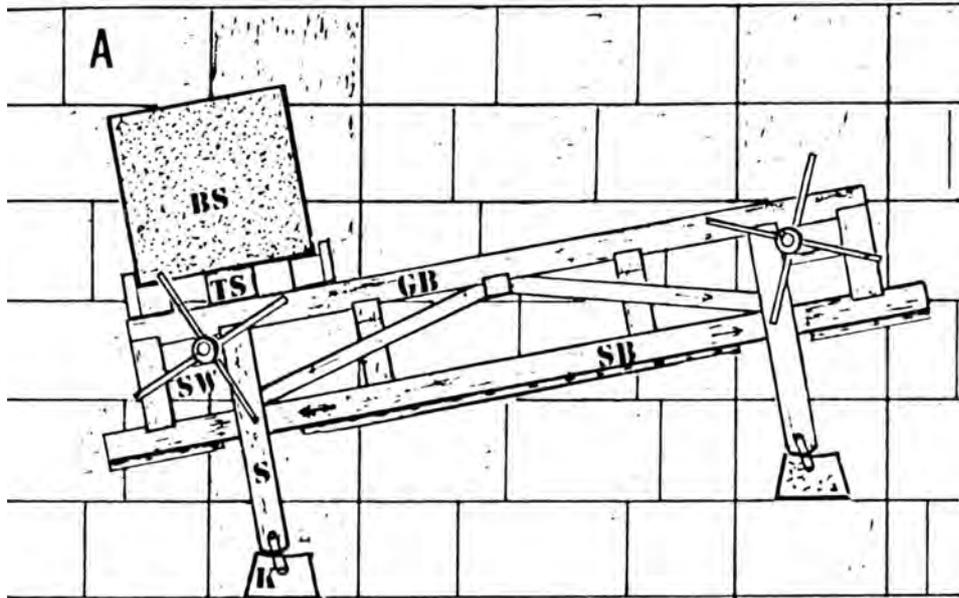


Abb. 7.5.5.1 Transporteinrichtung nach Riedl

Durch die Seilwinden auf der Plattform (als SW gekennzeichnet) kann der Schlitten mit der Last z.B. nach links so weit verschoben werden, bis der rechte Fuß der Plattform praktisch ohne Last ist (Kippvorgang auf der linken Seite). Dann wird die entlastete rechte Stütze der Plattform durch eine weitere Seilwinde von der jeweiligen Arbeitsplattform des Pyramidenstumpfes (Abb. 7.5.5.2) nach oben um eine Stufe in der Außenverkleidung angehoben und die Last mittels der Seilwinden auf der Plattform nach rechts bewegt, sodass die linke Stütze entlastet und anschließend von einer weiteren Seilwinde auf der Arbeitsplattform angehoben werden kann.

Die Seilwinde nutzt das gleiche Prinzip wie ein Bohrer, der mit Wickelschnur und Bogen gedreht wird und dadurch eine Kraftverstärkung in Form einer höheren Geschwindigkeit erhält.

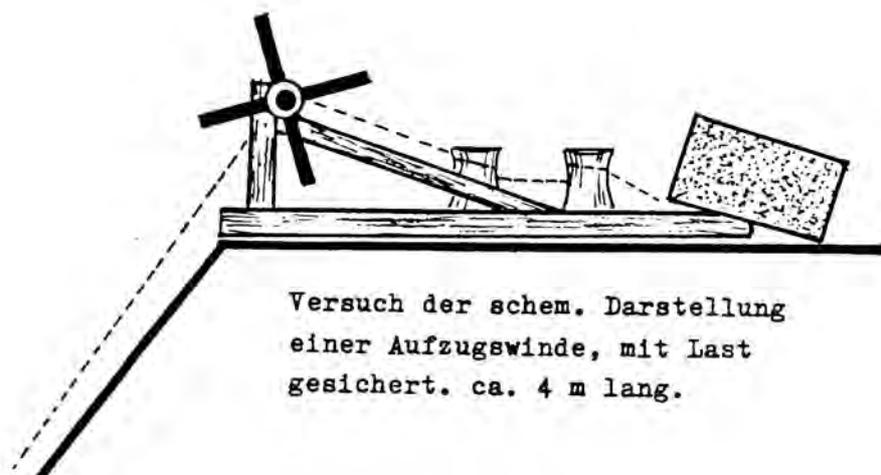


Abb. 7.5.5.2 Aufzugswinde nach Riedl

Die Seilwinde nach Riedl ist mit Holmen zur Kraftübersetzung versehen; die Zugseile umschlingen die Achse der Seilwinde drei bis viermal und werden dann wieder nach unten zurückgeführt.

Eine Abschätzung von Riedl ergibt, dass mit möglichst vielen Arbeitsbühnen entsprechend der Breite der Pyramidenflanken die für den Bau der Cheopspyramide erforderlichen Steinmassen in etwa 20 Jahren hätten gehoben werden können. Eine Berechnung im Detail liegt nicht vor. Für den Bau der Pyramidenspitze wird keine Lösung vorgeschlagen.

Die von Riedl vorgeschlagenen Konstruktionen und Transportmechanismen sind als sehr kompliziert und störanfällig zu bezeichnen. Riedl berücksichtigt verschiedene der in Kapitel 7.2 „Grundsätzliche Lösungsansätze für den Pyramidenbau“ formulierten Prämissen für die Akzeptanz einer Hypothese nicht. Die Pyramiden sind auf diese Weise mit Sicherheit nicht zu errichten gewesen. Der Musikexperte Riedl wurde mit seinen Vorschlägen in der Welt der Ägyptologie daher auch nicht ernst genommen. Bei dieser pauschalen Ablehnung seiner Vorschläge ging jedoch leider seine innovative und sehr gute Idee des Einsatzes der Seilrolle mit Holmen als Transport- und Zugeinrichtung von Lasten auch über große Steigungen hinweg völlig verloren. Erst dos Santos griff diese Idee – wie bereits im Kapitel 7.5.4 „Vorschlag von dos Santos für den Einsatz eines Spills“ bereits geschildert – ausgehend von dem System der Fallsteine in der Cheopspyramide – wieder auf.

Das Prinzip der Seilrolle mit Holmen (Speichen) – also das der Seilwinde – stellt einen wichtigen Aspekt der in Kapitel 8 entwickelten neuen Hypothese „Pyramidenbau mit Rampen und Seilwinden“ dar.

7.5.6 Der Schrägaufzug nach Abitz

Abitz hat 1992 seinen Vorschlag „Der Bau der großen Pyramide mit einem Schrägaufzug“ veröffentlicht.⁷⁷⁶ Er geht wie viele andere auch von der Annahme aus, dass es Schlepplbahnen bis zur Höhe der Pyramidenspitze von 146 m nicht gegeben haben kann. Lediglich für die unteren 7 Lagen hält Abitz den Einsatz von Rampen für wahrscheinlich. Darüber hinaus nimmt Abitz eine zeitgleiche Verlegung des Kernmauerwerks und des Verkleidungsmauerwerks einschließlich Außenverkleidung jeweils in einer Steinlage an. Er negiert dabei die archäologischen Befunde eines stufenförmigen Kernmauerwerks, welches bei vielen Pyramiden des AR belegt ist.

Das Prinzip des Schrägaufzuges nach Abitz funktioniert ist wie folgt zu beschreiben (Abb. 7.5.6.1): Auf zwei parallel angeordneten Ziegelmauern M läuft eine große Holzwalze W, über die das Seil S geführt wird, an dessen unterem Ende der Förderkorb K befestigt ist. Der zu transportierende Stein STB wird am anderen Ende des Seils befestigt. Ist nun die Last im Förderkorb (Menschen, Steine) größer als die des zu hebenden Steins, bewegt sich die Walze und hebt den Stein um 10 m hoch und um 10 m nach vorn. Durch die Öffnung Ö2 kann dann der Stein – ggf. über eine schräge Rampe nach unten – zur entsprechenden Steinlage, an der gerade gebaut wird, transportiert werden. Die Kapazität seines Schrägaufzuges berechnet Abitz mit 40 Steinblöcken pro Tag bzw. 12 000 Blöcken pro Jahr.

Je nach Bauhöhe des Pyramidenstumpfes müssen – jeweils gegeneinander versetzt – mehrere Aufzüge übereinander angeordnet werden (Abb. 7.5.6.2).

⁷⁷⁶ Abitz, Pyramidenbau.

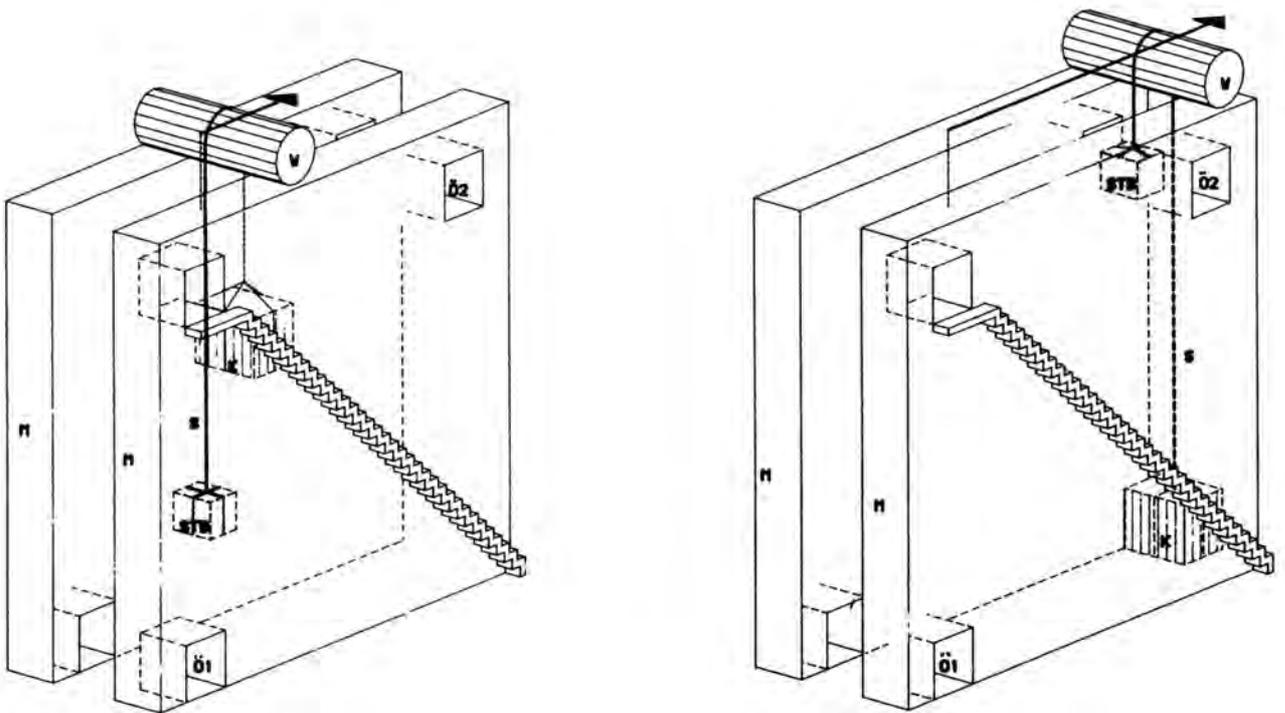
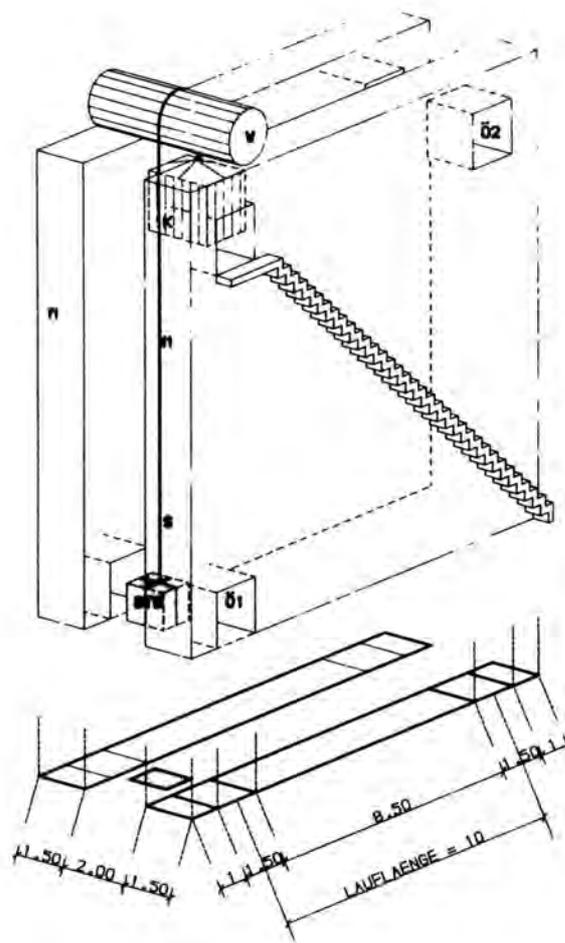


Abb. 7.5.6.1 Bauart und Funktion des Schrägaufzuges nach Abitz

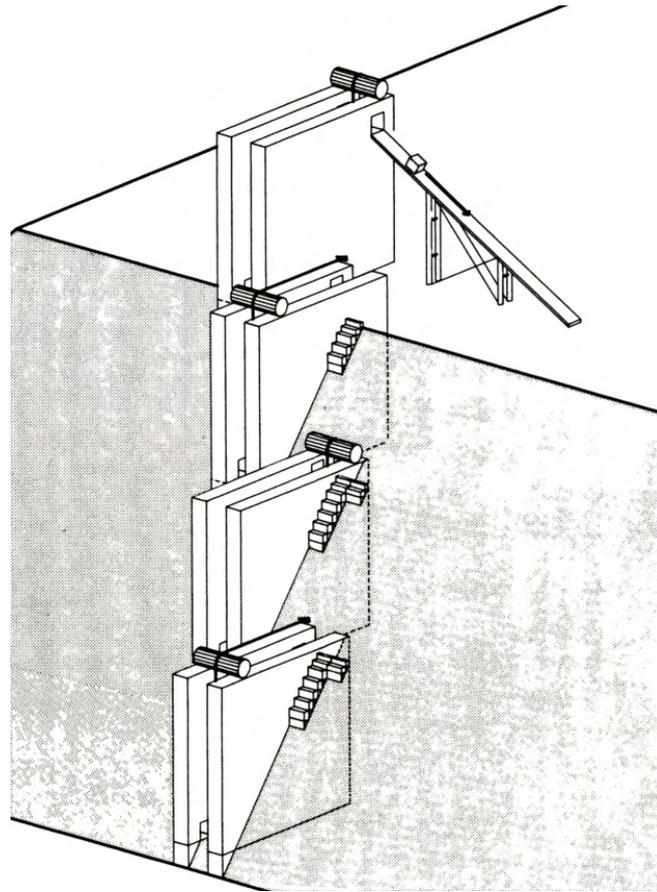


Abb. 7.5.6.2 Die Kette von Schrägaufzügen nach Abitz

Das System nebeneinander arbeitender Aufzugketten und das Verfahren zum Aufsetzen des Pyramidion zeigen die Abb. 7.5.6.3 und 7.5.6.4. Auf diese Weise ist es nach Abitz möglich, unter der Annahme einer Durchschnittshöhe von 10 m pro Aufzug die Cheopspyramide in etwa 18 Jahren zu errichten. Für das Schließen der Lücken, in denen die Mauern des Aufzuges standen, entwickelte Abitz einen speziellen Vorschlag, auf den hier nicht näher eingegangen wird.

Prinzipiell ist eine technische Einrichtung wie von Abitz beschrieben zum Heben von Lasten geeignet. Sowohl Walzen als auch Seile sind im AR belegt. Abitz kommt weiterhin zu dem Ergebnis, dass auch der Steintransport mittels seines Schrägaufzuges gegenüber Schleppzügen mit Menschenkraft auf Rampen um durchschnittlich 50 % zeitsparender durchgeführt werden kann.

Eine Bewertung des Vorschlages von Abitz für den Pyramidenbau mittels des Schrägaufzuges geht von der Annahme aus, dass die Baumeister im AR auch für den Pyramidenbau Verfahren anwendeten, die technisch einfach und leicht zu beherrschen waren und die sich aus einer langjährigen Bauerfahrung herausgebildet hatten. Der von Abitz vorgelegte Vorschlag erscheint technisch zwar möglich, aber sehr komplex zu sein und nicht der Vorgehensweise und dem Stand der Bautechnik der damaligen Zeit zu entsprechen.

Darüber hinaus widerspricht er der Stufenbauweise des Kernmauerwerks und kommt allein schon aus diesem Grund nicht in Betracht. Auch bei dieser Bauhypothese sind der Bau der

Außenverkleidung der Pyramide und das Glätten der in Bosse stehenden Steine der Außenverkleidung ohne eine Art Baugerüst aus bau- und sicherheitstechnischen Gründen nicht vorstellbar.

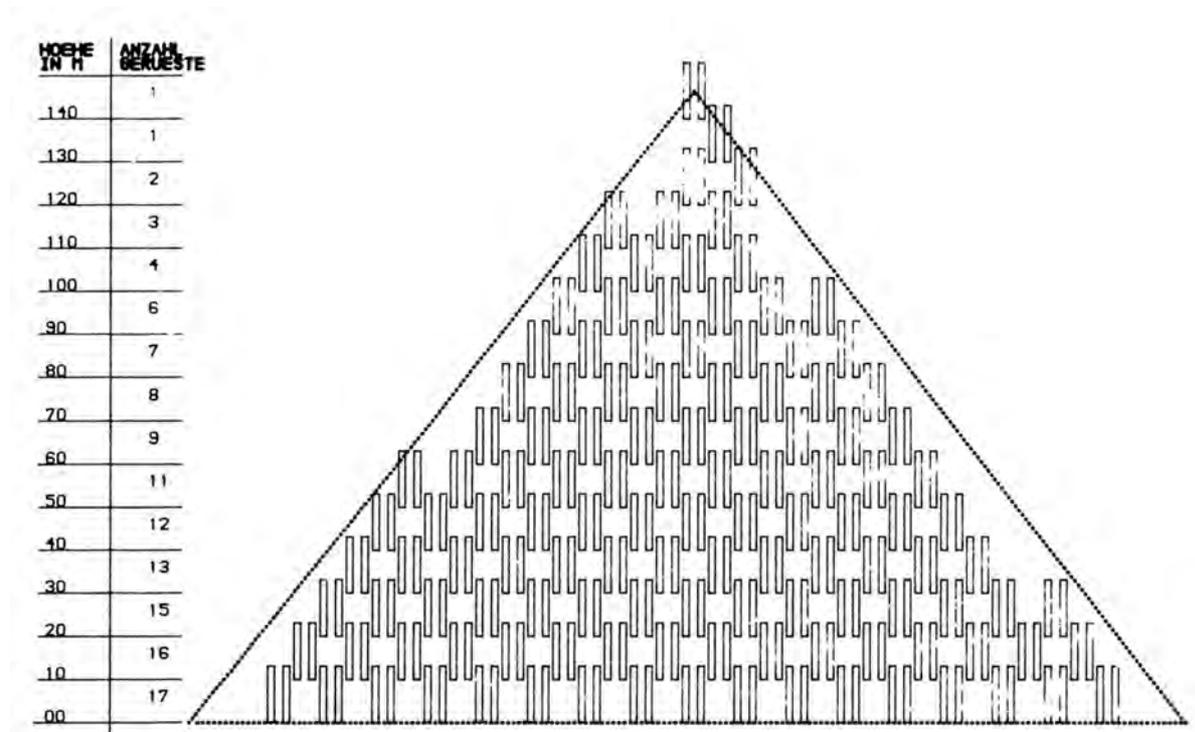


Abb. 7.5.6.3 Das System nebeneinander arbeitender Aufzugsketten nach Abitz

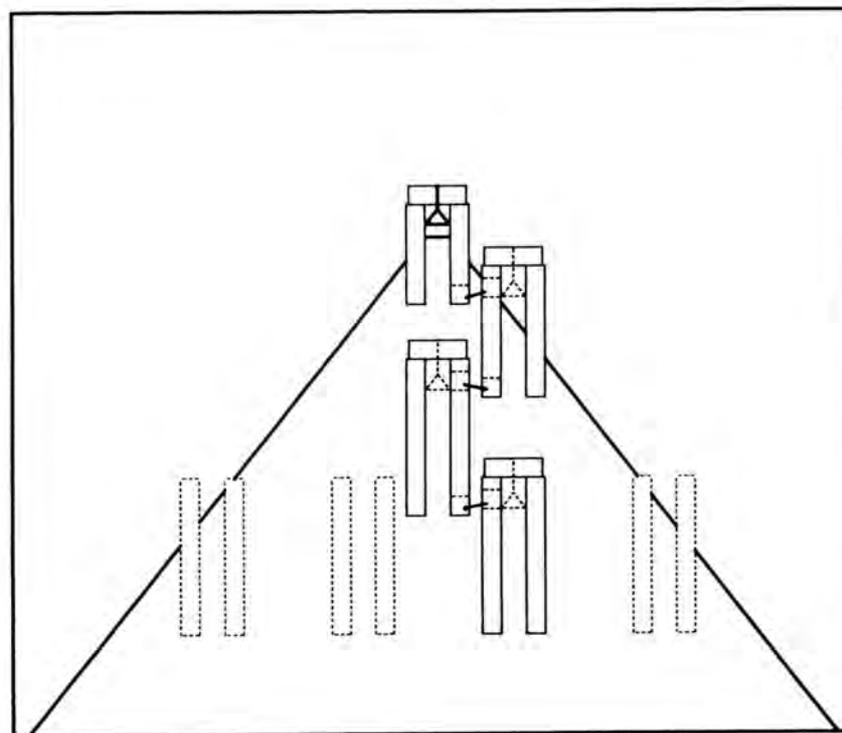


Abb. 7.5.6.4 Das Aufsetzen des Pyramidion nach Abitz

7.5.7 Hebezeug-Paternoster nach Munt

Munt veröffentlichte 1999⁷⁷⁷ und in weiteren Berichten 2002⁷⁷⁸ seinen Vorschlag für den Pyramidenbau mittels eines Hebezeug-Paternosters; seinen Vorschlag stellte er u.a. im Dezember 1999 im Institut für Ägyptologie der Ludwigs-Maximilians-Universität München zur Diskussion.

Ausgehend von der im Hafengebiete der Pyramiden des Chephren und Mykerinos gefundenen Seilumlenkrolle⁷⁷⁹ und der daraus rekonstruierten Entladeeinrichtung entwirft Munt eine Einrichtung, bei der das Heben eines Steines von einer Stufe zu einer höheren über mehrere Stufen hinweg ohne Absetzen des Steines (also ohne Unterbrechung des Transportvorganges, wie es bei einem einfachen Kran erforderlich wäre) möglich sein soll – den Hebezeug-Paternoster. Dabei wird jede Last an einen Tragebaum angehängt, der dann von dem Hebezeug einer Stufe von dem der nächsten übernommen werden kann. Abb. 7.5.7.1 zeigt das Modell mit Hebezeugkette.

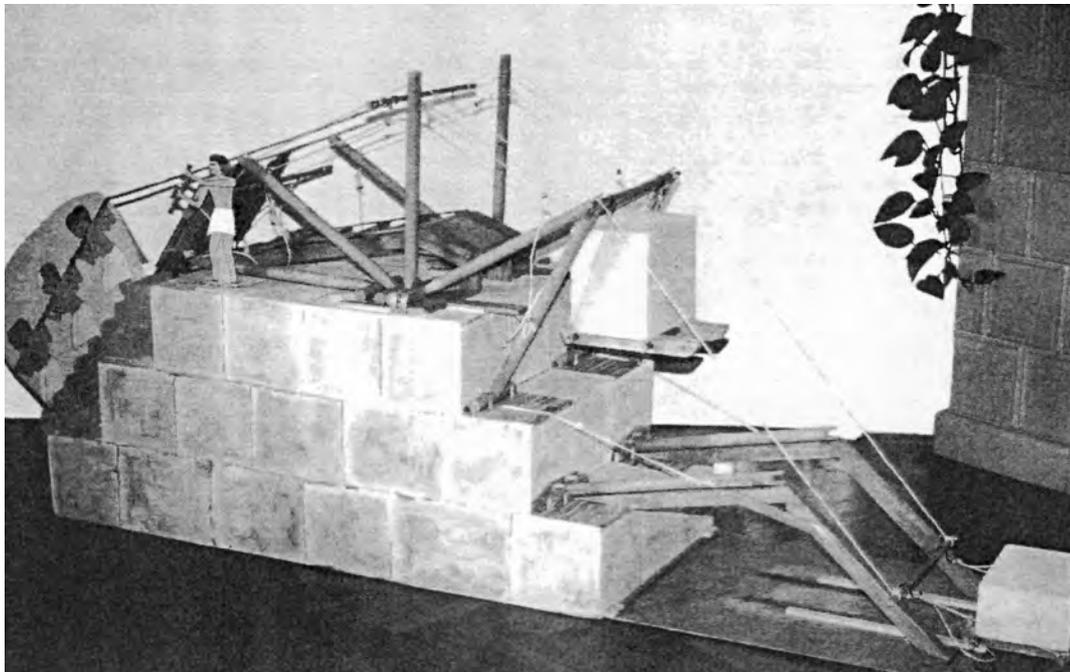


Abb. 7.5.7.1 Modell mit Hebezugkette nach Munt

Der Übergabevorgang ist aus der Abbildung 7.5.7.2 ersichtlich. Dort wird der Tragebaum durch das obere Hebezeug vom unteren übernommen. Das Prinzip des Hebezeug-Paternosters erfordert auf der obersten Plattform des Pyramidenstumpfes eine Seilumlenkeinrichtung von 52° (Neigung der Seitenfläche der Pyramide in die Waagerechte). Die Zugmannschaft stand auf der Pyramidenplattform. Zum Ziehen von Stein und Schlitten mit einem Gewicht von 2,6 t berechnet Munt eine Anzahl von 140 Arbeitern. Etwa ab der Hälfte der Pyramidenhöhe wird die Fläche auf dem Pyramidenstumpf zu klein für die Zugmannschaft, sodass diese z.T. auf der gegenüberliegenden Flanke talabwärts ziehen muss. An der Spitze der Pyramide wachsen die beiden Seilumlenkeinrichtungen dann zu einem Seildrehkreuz zusammen, sodass nach Munt auch die letzten vier Steine zur Spitze hochgezogen werden könnten. Für einen

⁷⁷⁷ Munt, Cheopspyramide.

⁷⁷⁸ Munt 2002.

⁷⁷⁹ Arnold, Building, S.283.

kontinuierlichen Zug an den Seilen wird dadurch gesorgt, dass in dem Augenblick, in dem der auf der Plattform angelangte Schlitten aufsetzt, ein neuer Schlitten von den untersten Hebezeugen übernommen wird. Für den Transport der Granitbalken der Königskammer, der Giebelbalken über dem Eingang der Pyramide und des Pyramidions schlägt Munt z.T. Gegengewichte aus Steinen, die vorher zur Arbeitsplattform transportiert wurden, sowie Umlenkrollen (Walzen) vor.



Abb. 7.5.7.2 Übernahme von Lasten in der Hebezeugkette nach Munt

Die Kapazitätsberechnung, die Munt vorlegt, ergibt beim Einsatz von zeitweise zwei Hebezeugen, dass die Cheopspyramide in einer Bauzeit von ca. 15 Jahren hätte errichtet werden können.

Der Bauvorschlag von Munt ist aus verschiedenen Gründen heraus nicht geeignet, beim Bau der Pyramiden Anwendung zu finden. Munt berücksichtigt nicht die archäologisch nachgewiesene Stufenbauweise des Kernmauerwerks der Pyramiden und die Tatsache, dass die Außenverkleidung erst nach Fertigstellung der Pyramide von oben nach unten geglättet wurde. Seine Bauhypothese entspricht darüber hinaus in einigen Punkten nicht den in Kapitel 7.2 „Grundsätzliche Lösungsansätze für den Pyramidenbau“ genannten Voraussetzungen. Außerdem sind die von ihm vorgeschlagenen Holzkonstruktionen so kompliziert, dass sie nicht dem damaligen Stand der Bautechnik entsprechen. Für das Einhängen der Last werden moderne Seilaufhängevorrichtungen aus Stahl angenommen. Ob es so große Seillängen gab, die dem Vorschlag des Hebezeug-Paternosters entsprochen hätten, ist auch sehr zweifelhaft.

7.5.8 Schrägaufzug nach Dorka

Dorka veröffentlichte 2002 seinen Vorschlag für das Heben von Steinen beim Pyramidenbau in der 4. Dynastie.⁷⁸⁰ Er beschreibt darin – unter Bezug auf die senkrechten Spuren (Vertie-

⁷⁸⁰ Dorka, Pyramid Building, S.11.

fungen) der an der östlichen Außenseite der 5. und 6. Stufe der Schicht E 2 der Pyramide des Snofru in Meidum gefundenen Vertiefungen⁷⁸¹ – Struktur und Gebrauch einer an die fertige Pyramidenfläche angelehnten Treppen- und Rampenkonstruktion aus Ziegeln (Abb.7.5.8), über die Arbeiter aufsteigen und Steine mit Gegengewichten nach oben gezogen werden könnten.

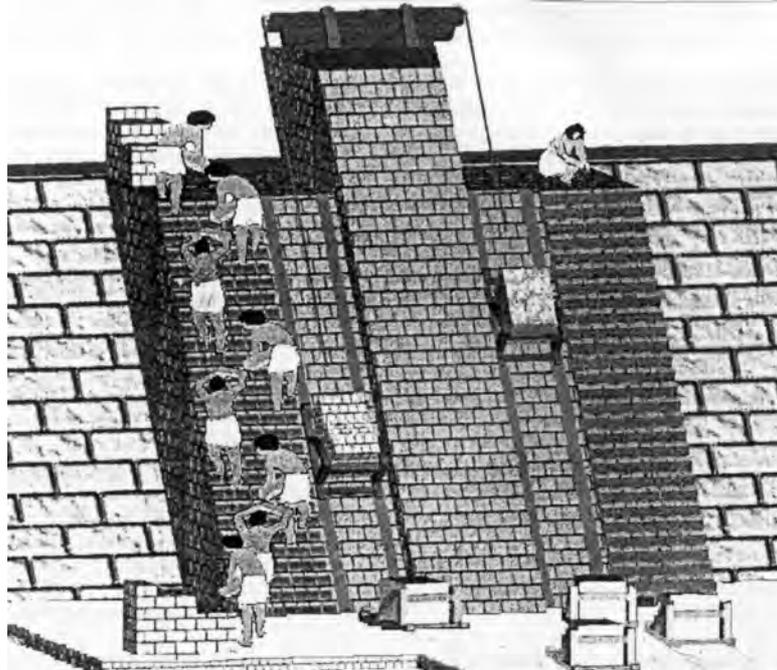


Abb. 7.5.8 Prinzipielle Darstellung des Schrägaufzuges nach Dorka

Auch dieser nur sehr summarisch vorgestellte Bauvorschlag berücksichtigt nicht die Stufenbauweise des Kernmauerwerks und die Tatsache, dass die äußerste Verkleidungsschicht von oben nach unten geglättet wurde. Berechnungen der Bauzeiten liegen nicht vor.

7.5.9 Vorschlag von Pitlik für eine Förderrampe

Pitlik stellte 1992 sein Modell zum Transport von Steinen mit einem Gangspill vor (Abb. 7.5.9).⁷⁸² Danach werden die Steine mit einem Gewicht von 3 t, die auf Schlitten befestigt sind, über eine Rollenbahn (schiefe Ebene) von 8 Arbeitern am Gangspill (Seilwinde) hochgezogen. In einer Höhe von ca. 7 m befindet sich jeweils ein Umsetzplateau, auf dem die Schlitten vom Seil abgehängt, zur nächsten Rampe seitlich verschoben und dort an das von der nächst höheren Stufe kommende Seil wieder angehängt werden. Parallel zur Aufwärtsbahn befindet sich eine schmalere Bahn für das Zurücklaufen der Schlitten. Die Vorteile einer derartigen Anordnung sind nach Pitlik die Folgenden: Die an dem Gangspill tätigen Arbeiter bleiben dort ständig an Ort und Stelle tätig, sodass sich wenig Leerwege ergeben. Das horizontal angelegte Umsetzplateau ermöglicht die horizontale Anordnung des Gangspills.

Für den Rücktransport der leeren Schlitten wird das gleiche, relativ kurze und damit leichte Seil verwendet. Das über das Spill geführte Seil wird ständig über einen Sicherungspflöck gelenkt.

⁷⁸¹ Petrie, Meidum, S.10 und Bl.2.

⁷⁸² Pitlik, Cheopspyramide.

Das Transportmodell von Pitlik beinhaltet neben dem innovativen Vorschlag des Einsatzes einer Seilwinde zur Kraftumsetzung die interessante Idee, wonach bei der großen zu transportierenden Steinmenge besonders die Kontinuität der erforderlichen Leistung im Zusammenhang mit dem vorhandenen Platz, der einsetzbaren Winden etc. eine große Bedeutung gewinnt, und die Transportweise gut durchorganisiert werden muss. Allerdings sind gegen die senkrechte Anordnung der Seilwinde in einem Lager aus Rundhölzern bei einer Zuglast von 3 t Bedenken zur Anwendung für einen Dauereinsatz anzubringen. Pitlik berechnet den notwendigen Kraftaufwand an der Gangspill-Winde wie folgt:⁷⁸³ Bei einem Durchmesser des Gangspills von 30 cm und 4 Speichen von je 2 m Länge bei 3 t Zuglast ergibt sich ein Kraftaufwand von 225 kp (3000 kp x 15 cm geteilt durch 200 cm). Dies ergibt pro Speiche eine notwendige Drehkraft von 56 kp.

Eine Berechnung der Transportkapazität bzw. davon abhängig der Bauzeit einer Pyramide wird vorgelegt. Danach ergibt für den Bau der Cheopspyramide eine Bauzeit von 16 Jahren. Das Transportmodell von Pitlik ist keine in sich geschlossene Hypothese für den Bau der Pyramiden, beinhaltet jedoch innovative Ansätze für den Transport der Steine über steile Rampen.

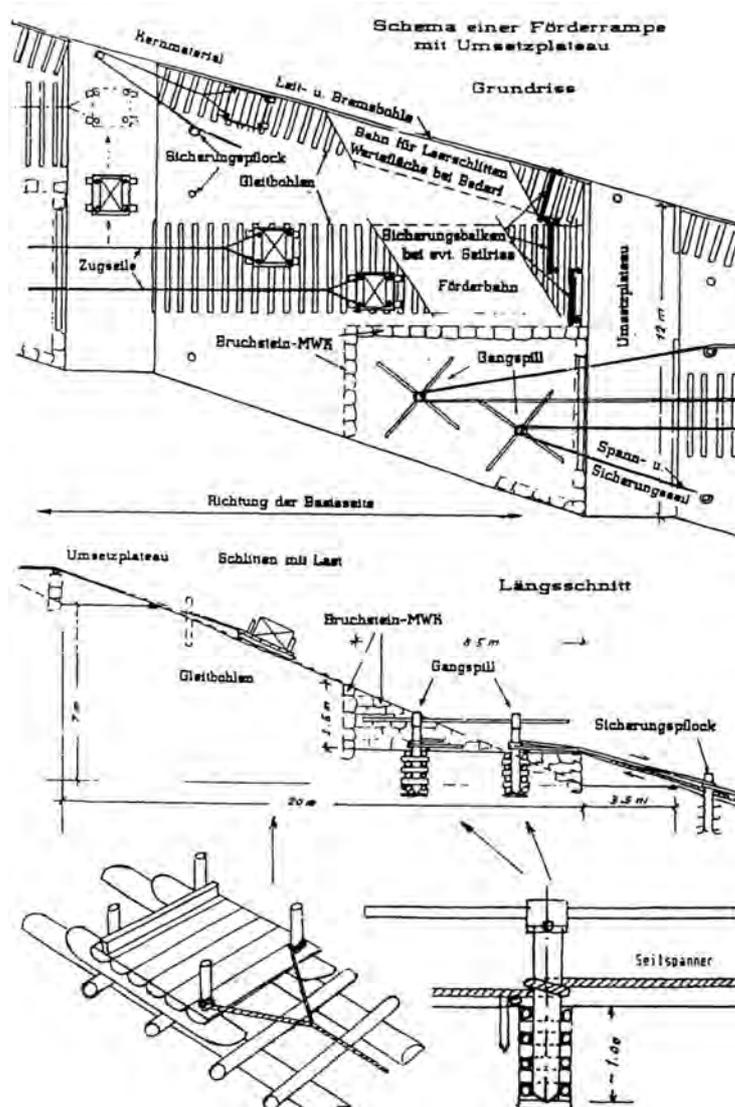


Abb. 7.5.9 Schema einer Förderrampe mit Umsetzplateau nach Pitlik

⁷⁸³ Pitlik, Baustelle, S.43.

7.5.10 Hebeanlage nach Bormann

2004 wurde von Bormann ein Kombinationsmodell aus einer senkrecht auf den Pyramidenstumpf zulaufenden Rampe und dem Einsatz einer Hebeeinrichtung für den oberen Teil des Bauwerks zur Diskussion gestellt.⁷⁸⁴ Im ersten Bauabschnitt wird mit einer Rampe ein ca. 40 m hoher Pyramidenstumpf (der Cheopspyramide) errichtet (Abb.7.5.10.1).

Dabei beträgt das Volumen der Rampe etwa 65% desjenigen der Pyramide. Bis zu diesem Zeitpunkt sind dann aber fast $\frac{2}{3}$ der Steine der Pyramide verbaut. Im zweiten Bauabschnitt werden dann die Steine sowie das Material der nun überflüssig gewordenen Rampe mit einer Hebeeinrichtung nach Abb. 7.5.10.2 nach oben befördert.

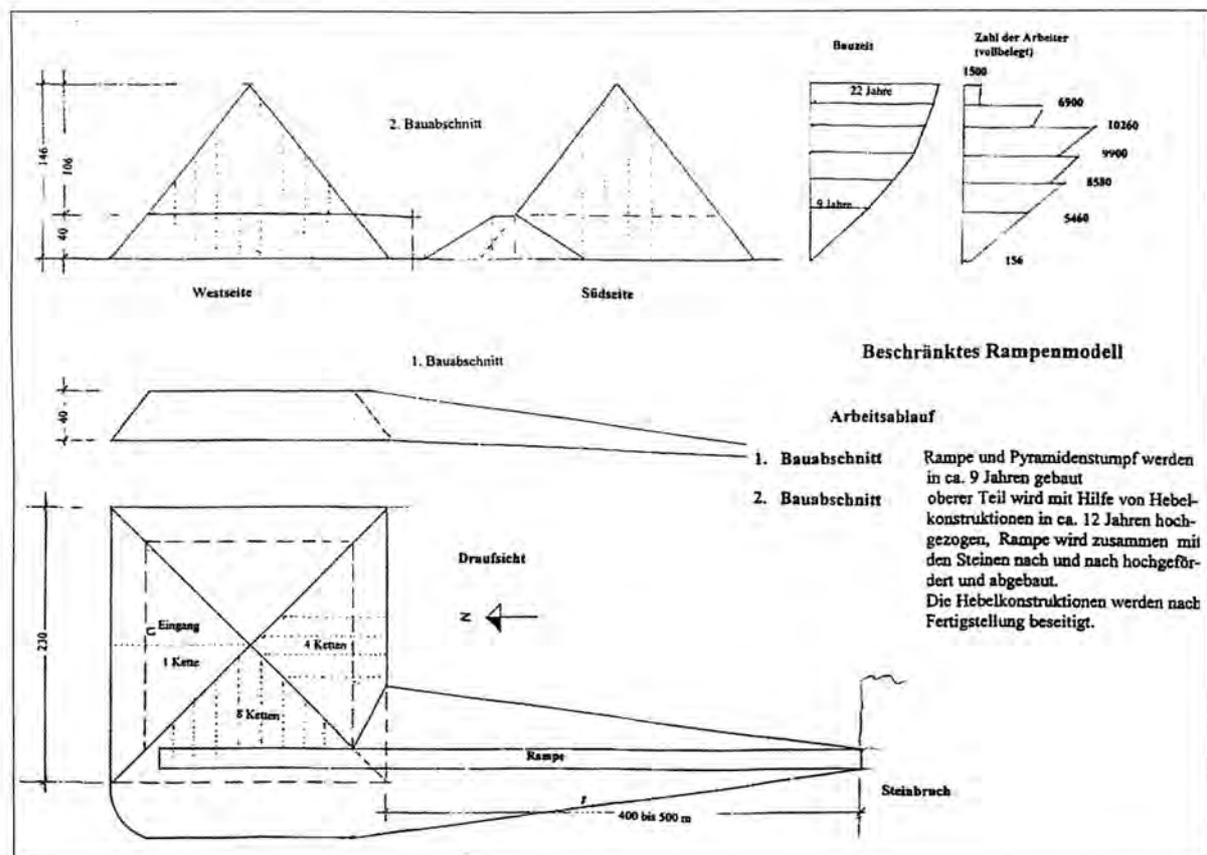


Abb. 7.5.10.1 Beschränktes Baurampenmodell nach Bormann

Bormann hat seinen Vorschlag für den Bau der Cheopspyramide offensichtlich unter rein technischen Aspekten erarbeitet. Richtig ist, dass es im AR als Bautechniken die Rampe und auch Hebel gab. Allerdings werden bei diesem Vorschlag die archäologischen Befunde (Kernmauerwerk und Verkleidungsmauerwerk) außer Betracht gelassen. Unklar ist auch, wie mit der beschriebenen Hebeeinrichtung die schweren Granitblöcke der Entlastungskammern sowie die Bauteile für die Königskammer einschließlich der Fallsteine transportiert werden konnten. Die von Bormann vorgelegte Kapazitätsberechnung führt zu einer Bauzeit der Cheopspyramide von 21 Jahren.

⁷⁸⁴ Bormann, Pyramidenbau.

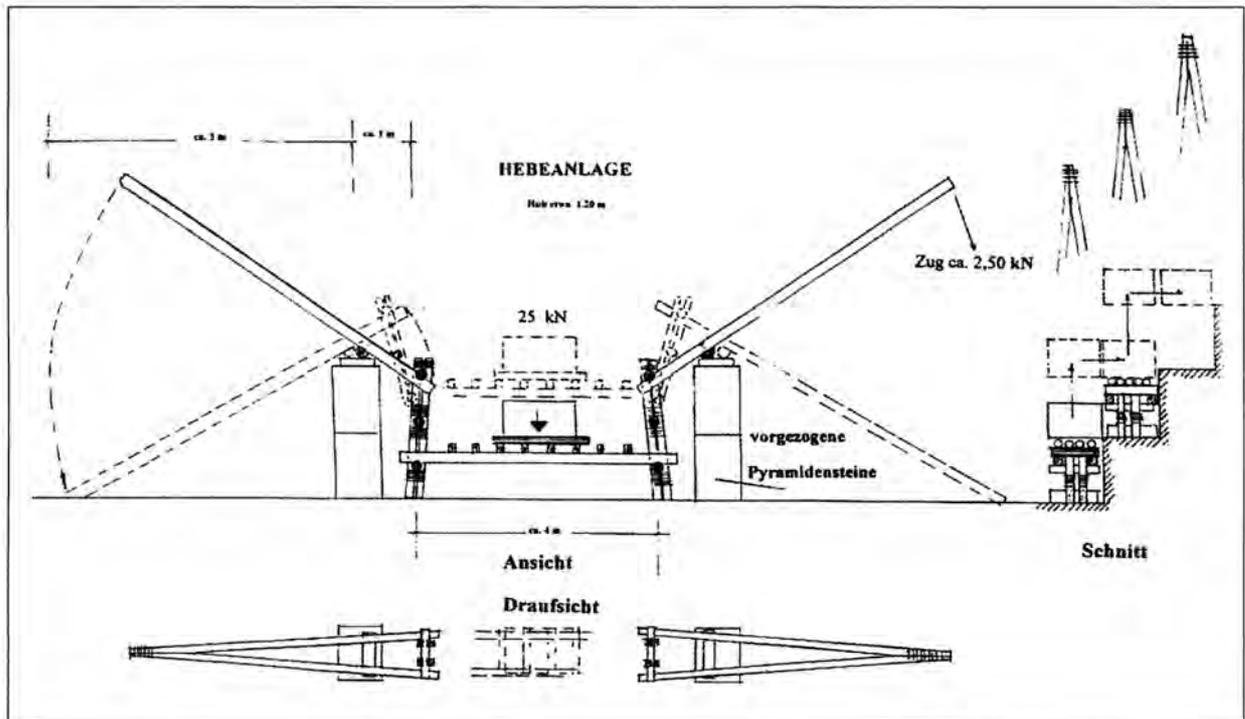


Abb. 7.5.10.2 Skizze der Hebelanlage nach Bormann

7.5.11 Vorschlag eines rollenden Steintransportes nach Parry

Parry veröffentlichte im Jahr 2004 unter Bezug auf als Grabbeigaben des NR (18. Dynastie) gefundene Wippen (Abb. 7.5.11.1; Abmessungen 52 mm Höhe und 235 mm Länge)⁷⁸⁵ seine Idee des rollenden Steintransportes (Abb. 7.5.11.2.), die er in Japan in einem Feldversuch testete.⁷⁸⁶



Abb. 7.5.11.1 Kippschlitten

⁷⁸⁵ Siehe auch Brugsch, Thesaurus.

⁷⁸⁶ Parry, Engineering.

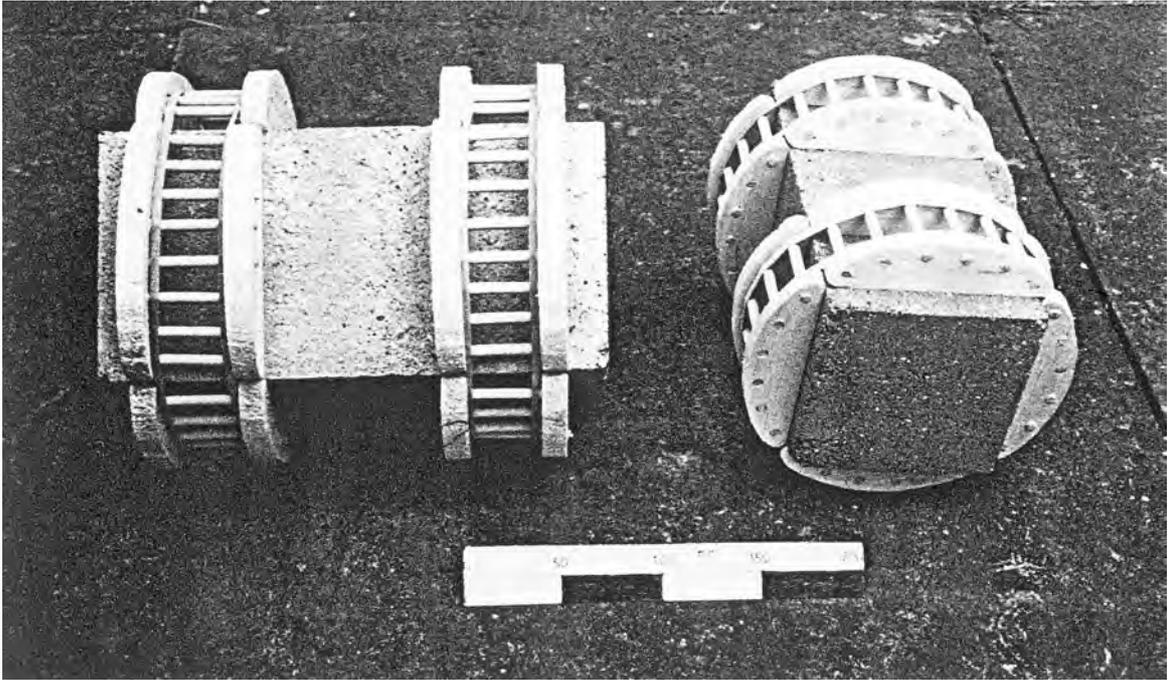


Abb. 7.5.11.2 Steinblock, eingeschlossen in vier Kippschlitten

Danach wird ein Steinblock mit dem Gewicht von 2,5 t mit zwei mal vier Wippen „eingepackt“ und dann als eine Art große Walze auf einer Rampe nach oben gezogen (Abb. 7.5.11.3 und 7.5.11.4). Wie in Kapitel 4.3.1.2 „Zugkräfte (Rollreibung)“ erläutert, bietet die Rollreibung insbesondere bei großen Durchmessern der Walzen bzw. Räder einen geringeren Widerstand gegenüber einem Transport mittels Gleitreibung. Auf einer Rampe mit der Steigung 1:10 konnten 6 Arbeiter den in eine Walze eingeschlossenen Stein nach oben ziehen; bei einer Steigung von 1:4 (ca.21°) waren zehn Arbeiter erforderlich; 15 Arbeitskräfte wurden benötigt, um die Walze 15 m nach oben zu ziehen. Höhere Gewichte wie Granitquader der Entlastungskammern der Cheopspyramide erfordern dann eine größere Zahl an Arbeitern.

Entsprechend den im Anhang zur Veröffentlichung von Parry vorgelegten Berechnungen werden nur 1/6 der für einen Schlittentransport benötigten Zugkräfte benötigt. Bei diesem Vergleich wird allerdings die Rollreibung der Walze vernachlässigt. Im Bereich der aufgeschütteten Rampen handelt es sich um eine Oberfläche aus Steinen und Schotter mit relativ geringer, aber nicht zu vernachlässigender Rollreibung.

Für den Bau der Cheopspyramide schlägt Parry im unteren Bereich Rampen auf allen vier Seiten vor (Abb. 7.5.11.5). Im mittleren und oberen Bereich soll der Transport über Steinrampen erfolgen, die auf den Bossen der Verkleidung fußen und über die äußere Verkleidungsschicht hinausragen.

Bei einer Bewertung des Vorschlages von Parry ist anzumerken, dass er offensichtlich von einer schichtweisen Steinverlegung ausgeht – im Widerspruch zu den archäologischen Befunden. Hinzu kommt, dass das Prinzip der Wippe erstmals im NR belegt ist und somit als Transportprinzip für die Pyramidenbauten im AR sehr fraglich und daher mit Blick auf die genannten Prämissen auszuschließen ist. Zu beachten ist auch, dass es keine einheitlichen Steinformate gab und dass daher eine Vielzahl unterschiedlicher Transportwippen erforderlich gewesen sein müsste. Eine Berechnung der Transportkapazität und der Bauzeit wird nicht vorgelegt. Es werden nur Angaben zu der Zahl der benötigten Arbeiter gemacht.



Abb. 7.5.11.3 Seilrolle beim Versuch



Abb. 7.5.11.4 Zugmannschaft an der schiefen Ebene

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Vorschlag eines rollenden Steintransports nach Parry zwar theoretisch möglich erscheint, mit den archäologischen Befunden des AR jedoch nicht im Einklang steht und daher für den Pyramidenbau im AR nicht näher in Betracht gezogen werden sollte. Eine im Rahmen dieser Arbeit vorgenommene grobe Abschätzung der Bauzeit aufgrund einer Zeichnung des Rampenmodells von Parry (Abb. 7.5.11.5) führt zu einer reinen Bauzeit ohne Vorbereitungsarbeiten von etwa 55 Jahren.⁷⁸⁷

⁷⁸⁷ Ausgegangen wird wiederum von 2,14 Mio. Steinblöcken für den Bau der Cheopspyramide; die Taktzeit für eine Rampe mit der Länge von 15 m beträgt nach Parry, Engineering, S.132, 5 min. Die durchschnittliche Rampenlänge der 8 Rampen in der Phase 1 (Parry, Engineering, S.143) beträgt ca. 50 m bei einer angenommenen Taktzeit von 15 min und einer Höhe der 1.Stufe (Abmessungen 230 und 194 m) von 23 m. Die durchschnittliche Rampenlänge der 4 Rampen der Phase 2 beträgt ca. 185 m bei einer angenommenen Taktzeit (einschl. Seilwech-

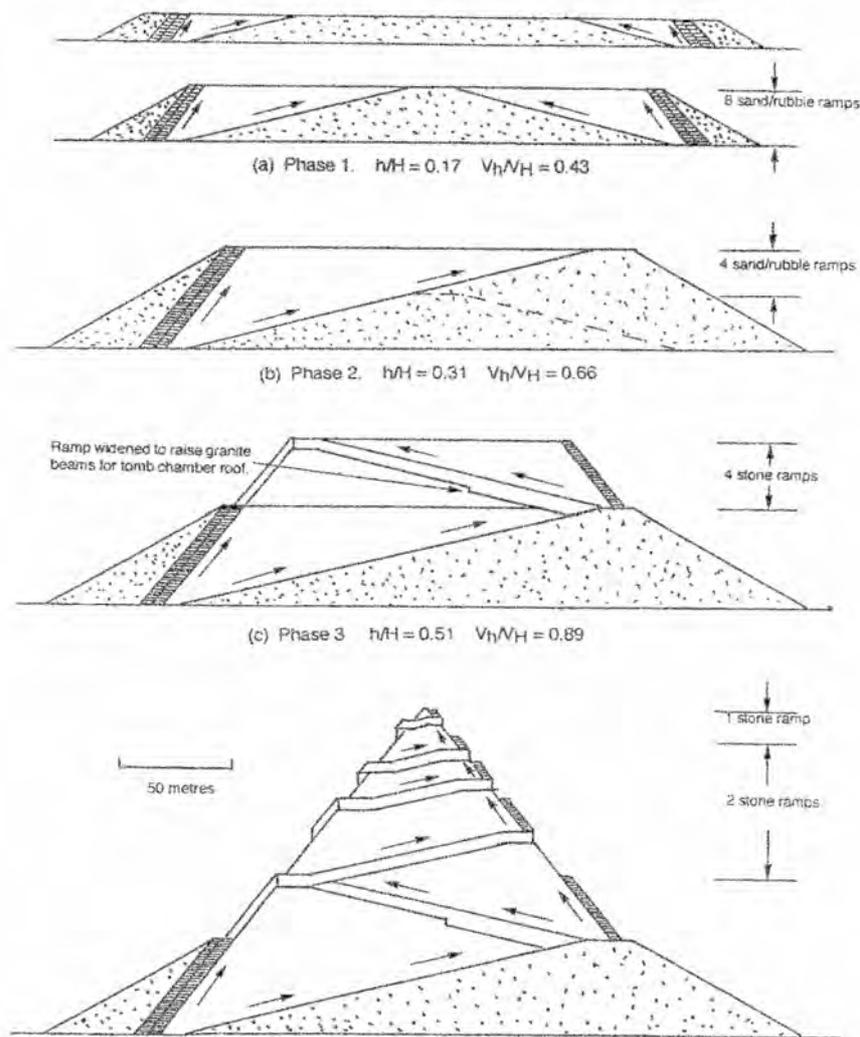


Abb. 7.5.11.5 Mögliches Rampensystem nach Parry

Die Bauhypothese von Parry ist daher in der Diskussion zum Pyramidenbau nicht weiter berücksichtigen.

sel) von 30 min und einer Höhe der 2.Stufe (Abmessungen 194 und 165 m) von 20 m. Die durchschnittliche Rampenlänge der 4 Rampen der Phase 3 beträgt ca. 140 m bei einer angenommenen Taktzeit (einschl. Seilwechsel) von 20 min und einer Höhe der 3.Stufe (Abmessungen 165 und 121 m) von 29 m. Daran schließen sich 3 Stufen mit je zwei Rampen an. Deren durchschnittliche Werte für den Takt werden mit 20 min angenommen.

Die einzelnen Volumina, Anzahl der Steinblöcke und Arbeitstakte sind:

Stufe 1	1.026 751 m ³	855 626	106 953	8,1 Jahre
Stufe 2	638 460 m ³	532 050	133 012	20,15 Jahre
Stufe 3	597 700 m ³	498 083	124 520	12,6 Jahre
Restl. Stufen	337 000 m ³	281 000	141 000	14,2 Jahre

Die Bauzeit beträgt somit

55 Jahre

Selbst bei einer Halbierung der Taktzeiten, die jedoch nicht realistisch erscheint, ergibt sich eine reine Bauzeit ohne Vorbereitungsarbeiten von knapp 28 Jahren, die mit der Dauer der Regentschaft des Cheops nicht in Einklang zu bringen ist.

7.5.12 Bauvorschlag von Keyssner mittels Umbauung (Montagemantel) und Zugeinrichtung

Gemeinsam mit dem Institut für Baugeschichte der Universität Karlsruhe veröffentlichte Keyssner im Jahr 2007 seine Hypothese für den Bau der Cheopspyramide.⁷⁸⁸ Diesem Bauvorschlag liegt die Idee eines „Montagemantels“ um die Pyramide herum zugrunde. Auf diese Weise soll es möglich sein, das Bauverfahren und die Baugeschwindigkeit zu optimieren. In 9 Zonen mit je 16 m Höhe wird durch eine Umbauung ein stets 3 m breiter niveaugleicher Umgang pro zu verlegender Steinschicht geschaffen. In dem Mantel sind in Abständen senkrecht angeordnete Transportspuren (1,5 m breit) und Treppen (1 m breit) angeordnet. Durch eine weitere Aufmauerung entstehen am jeweiligen Ende der Transportbahnen Plattformen, auf denen sich stationär eingebaute Winden (Spille) befinden. Auf der jeweils obersten bereits fertig gestellten Steinlage ist ein Holzgestell mit einer Walze montiert, über die die Zugseile zwischen Schlitten und Spill geführt werden. An den einzelnen Plattformen erfolgt jeweils ein Wechsel der Zugseile.

Abb. 7.5.12.1 und 7.5.12.2 zeigen die beschriebene Anordnung.

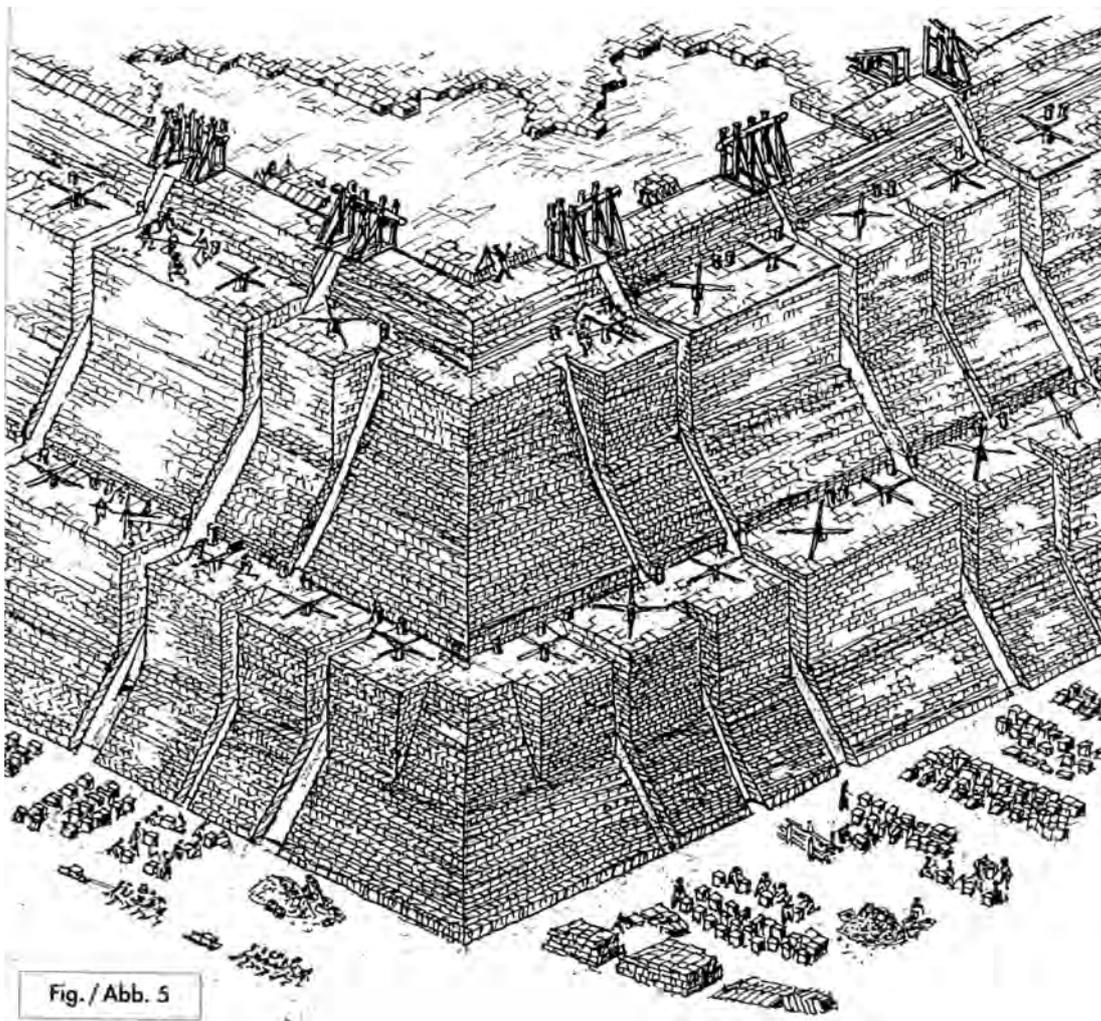


Abb. 7.5.12.1 Montagemantel mit Transportbahnen nach Keyssner

⁷⁸⁸ Keyssner, Baustelle Gisa.

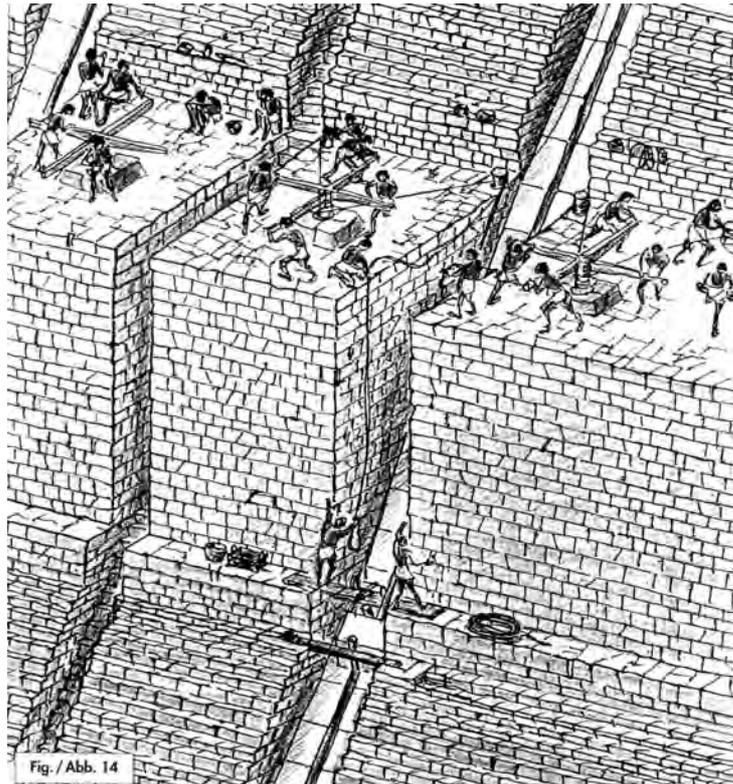


Abb. 7.5.12.2 Prinzip des Seilwechsels nach Keyssner

Keyssner kombiniert dabei das Prinzip des senkrecht angeordneten Aufzuges, wie es bereits Löhner (Kapitel 7.5.3 „Vorschlag von Löhner für den Bau der Pyramide mit Seilrollenböcken“) und Dorka (Kapitel 7.5.8 „Schrägaufzug nach Dorka“) vorgeschlagen haben, mit dem Prinzip des Spills und des Wechsels von einer Transportbahn zur anderen, wie es von Pitlik (Kapitel 7.5.9 „Vorschlag von Pitlik für eine Förderrampe“) erstmals beschrieben wurde. Durch eine erhöhte Überbauung an der Spitze der Pyramide, wie sie Graefe vorgeschlagen hat, (Kapitel 7.4.4 „Vorschlag von Graefe“) kann das Pyramidion ohne Probleme aufgesetzt werden. Problematisch scheint die Kraftumlenkung beim Gegenzug-Modus⁷⁸⁹ zu sein.

Ausführlich werden die für den Bau der Pyramide selbst und für den Montagemantel zu transportierenden Steinmassen und die entsprechenden Transportzeiten berechnet. Unter der Annahme einer vierjährigen Vorbereitungszeit und eines Zeitraums von 2,7 Jahren für die Glättungsarbeiten der Pyramidenaußenfläche errechnet Keyssner eine Gesamtbauzeit von 27,2 Jahren.⁷⁹⁰

Ein sehr interessanter und innovativer Aspekt am Vorschlag von Keyssner ist das Prinzip des Baumantels. Dieser gestattet jeweils auf gleichem Niveau das gefahrlose Verlegen der Steine der Außenverkleidung und nach Fertigstellung der Pyramide die von oben nach unten vorzunehmende Glättung.

Keyssner geht allerdings – entgegen den archäologischen Befunden – von einem Schichtweisen Bau der Pyramide aus und negiert offensichtlich die Stufenbauweise des Kernmauerwerks.⁷⁹¹ Seine Bauhypothese entspricht darüber hinaus in einigen Punkten auch nicht den in

⁷⁸⁹ Keyssner, Baustelle Gisa, Abb.9.

⁷⁹⁰ Keyssner, Baustelle Gisa, S.35.

⁷⁹¹ Keyssner, Baustelle Gisa S.11, Abschnitt 4.2 und S.13, Abschnitt 5.

Kapitel 7.2 „Grundsätzliche Lösungsansätze für den Pyramidenbau“ genannten Voraussetzungen.

Der von ihm vorgeschlagenen neuen Hypothese kann daher in der vorliegenden Form nicht zugestimmt werden. Auf diese Art und Weise wurde die Cheopspyramide nicht gebaut.

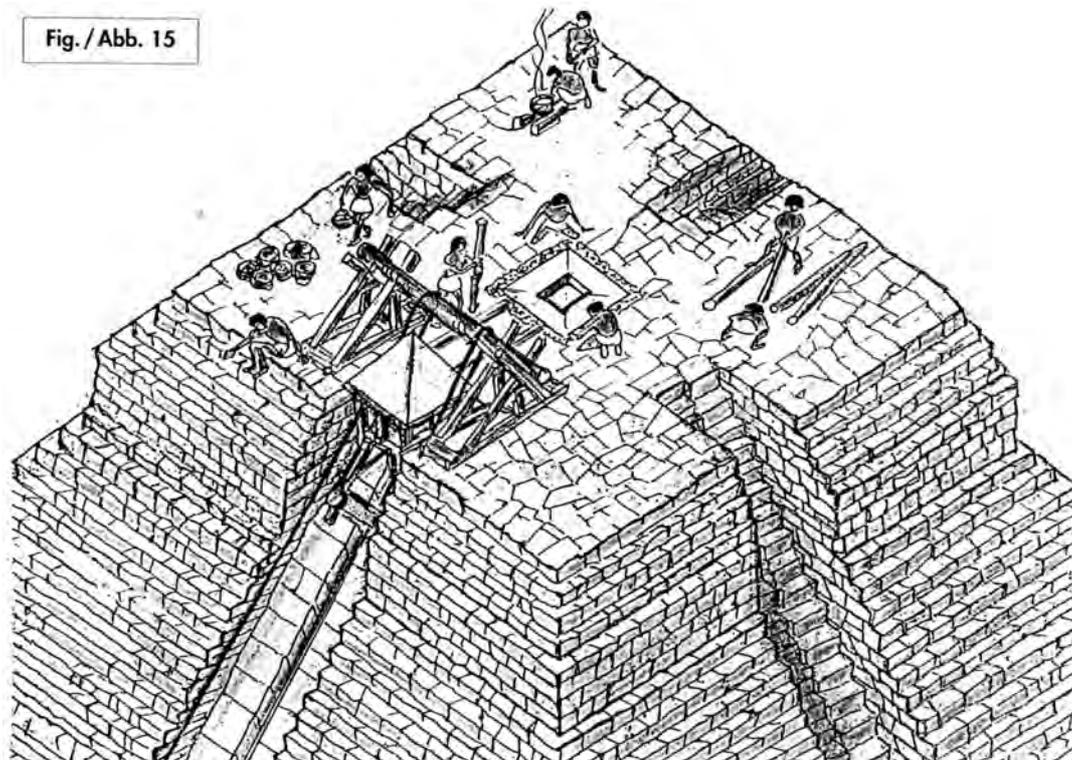


Abb. 7.5.12.3 Aufsetzen des Pyramidion

7.5.13 Bauvorschlag von Winkler (Hebeleiter)

Im Jahr 2001 befasste sich Winkler in seiner Dissertation „Logistik des Pyramiden-Baus“⁷⁹² eingehend mit der Logistik des Planens, des Messens, des Bauens der ägyptischen Pyramiden. Darin legte er auch einen konkreten Bauvorschlag vor. Er vertritt die Auffassung, dass Planung, Berechnung der Baudaten und Bau der Pyramiden im Alten Ägypten nach festgelegten Regeln erfolgten, die er in seiner Dissertation ausführlich erläutert und zu begründen versucht. Allerdings wird den archäologischen Befunden nicht immer Rechnung getragen.⁷⁹³ Andererseits sind in dieser Arbeit eines Baufachmanns und Nicht-Ägyptologen interessante Aspekte und Betrachtungen zum Pyramidenbau wie beispielsweise zum Zusammenhang zwischen Basislänge des Pyramidion und der Pyramide enthalten. Der Vorschlag, den Begriff *mḥ.t* und das damit in Zusammenhang zu bringende Gerät als Messeinrichtung für den Rücksprung beim Bau der Pyramiden anzusehen, ist überzeugend.

Bei der von Winkler entwickelten Bauhypothese geschieht der Transport der Steine, die jeweils in zwei Kippschlitten eingebunden sind – ähnlich wie es später Parry vorschlägt (siehe

⁷⁹² Winkler, Pyramidenbau

⁷⁹³ So wird z.B. die Höhe der Stufen des Kernmauerwerks der Pyramide des Mykerinos mit 14 Ellen (S.122) angegeben, obwohl diese aufgrund der archäologischen Befunde zwischen 15,6 und 16 Ellen beträgt.

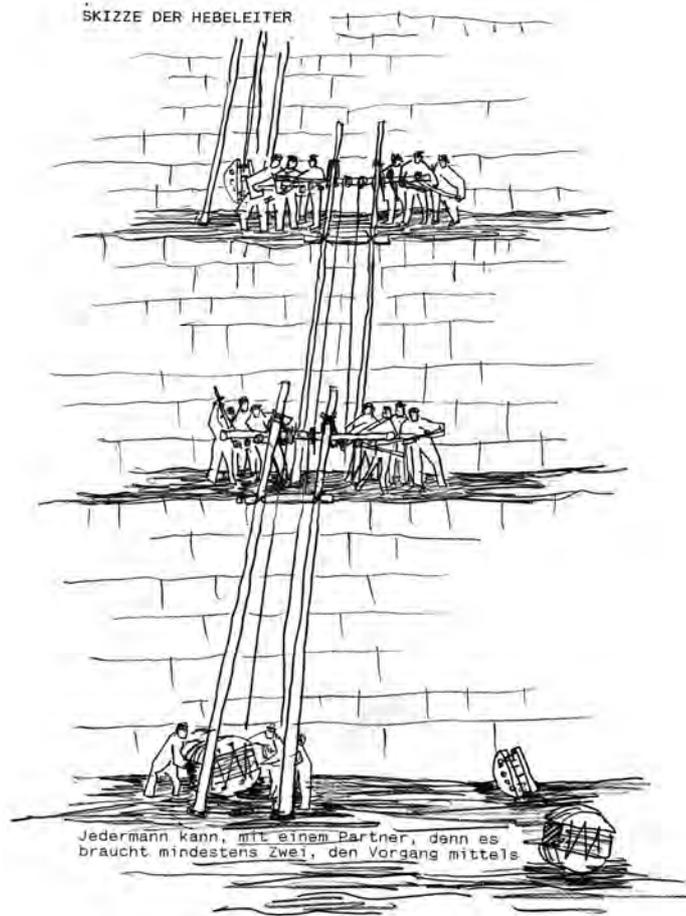


Abb. 7.5.13.1 Hebeleiter nach Winkler

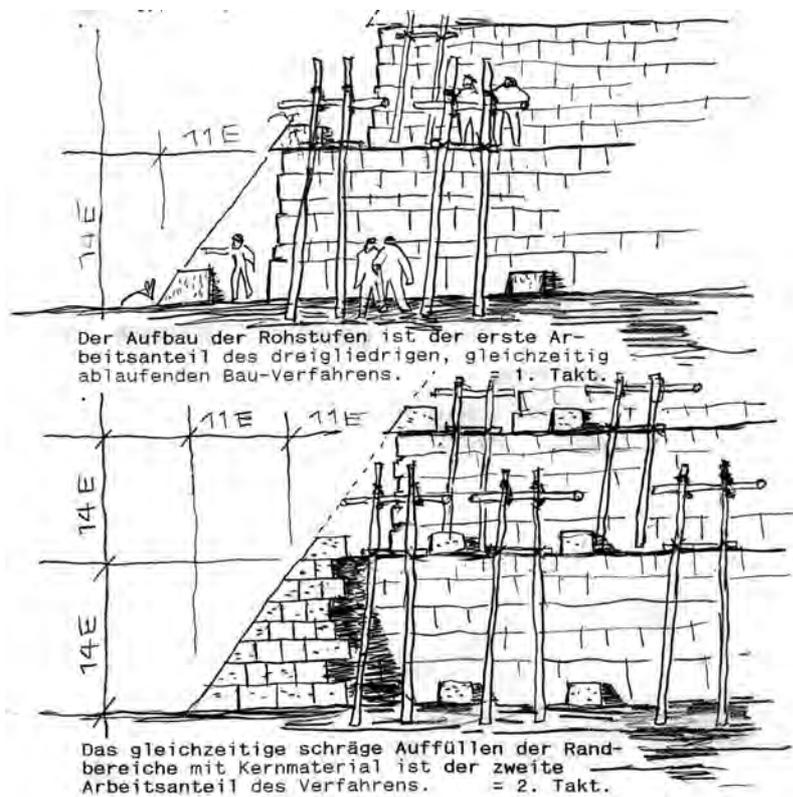


Abb. 7.5.13.2 Bau der Außenverkleidung

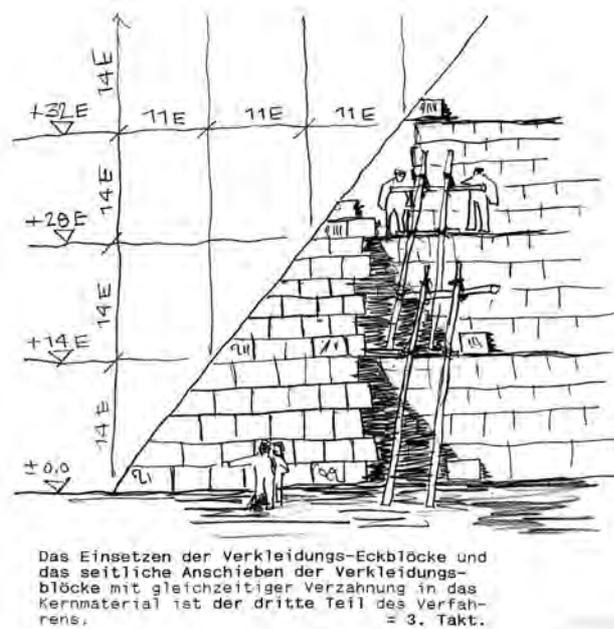


Abb. 7.5.13.3 Bau der äußeren Verkleidung

Kapitel 7.5.11) –, über senkrecht an die Stufen des Kernmauerwerks angelehnte Holme („Hebeleiter“), an deren oberen Ende ein Spill angeordnet ist, mit dem die Steine nach oben gezogen werden (Abb. 7.5.13.1). Winkler bezieht sich dabei auf die Schilderungen des Pyramidenbaus durch Herodot.⁷⁹⁴ Wie in Kapitel 7.1.1 in einer Fußnote dargelegt, kann die Formulierung von Herodot nicht für den Einsatz von Stangen herangezogen werden.

Das Verkleidungsmauerwerk und die äußere Verkleidungsschicht werden nach dieser Hypothese zeitgleich gebaut, wobei die fertig geglätteten Steine jeweils zur Seite geschoben werden. Nacharbeiten entstünden nicht. Gerüste werden nach diesem Vorschlag auch nicht benötigt. Die in den Abbildungen 7.5.13.2 und 7.5.13.3 angegebenen Maße sind nur beispielhaft gewählt.

Zum Bau stehen an den Stufen des Kernmauerwerks viele Hebeleitern nebeneinander; die mittlere auf jeder Pyramidenseite reicht dann bis zur Spitze (Plattform für das Pyramidion). Diese Anordnung ist nach Winkler auch der Grund dafür, warum die Eingänge der Grabkorridore zu den Pyramiden in der 4. Dynastie ab der Knickpyramide (Westeingang zur oberen Grabkammer) asymmetrisch – leicht verschoben von der Mittelachse in Richtung Osten – angelegt wurden. Ansonsten wäre der Zugang zur Grabkammer durch die mittlere Hebeleiter auf der Nordseite ständig blockiert. Es handelt sich hierbei um einen Erklärungsversuch für die asymmetrische Anordnung der Grabkorridore, der jedoch durch die vorgeschlagene Bautechnik nicht zu begründen ist: Drei Seiten der Pyramide sind davon nicht betroffen und auch auf der Nordseite wäre im unteren Bereich der Pyramide eine andere Anordnung der Hebeleitern vorstellbar.

Der von Winkler vorgeschlagenen Bauhypothese liegt die richtige Annahme eines stufenförmigen Kernmauerwerks zugrunde. Allerdings ist es bautechnisch kaum möglich, die Steine mit unterschiedlichsten Formaten über Kippschlitten nach oben zu rollen. Der Einsatz von Winschen ist jedoch einleuchtend. Es erscheint jedoch nicht möglich zu sein, die Steine der

⁷⁹⁴ Winkler, Pyramidenbau, S.27 ff.

äußeren Verkleidungsschicht ohne ein Arbeitsgerüst von beiden Seiten aus in einem senkrecht angeordneten Schnitt zu sägen, um exakte Fugen sehr geringer Dicke zu erhalten, wie dies archäologisch belegt ist.

Für das Aufsetzen des Pyramidion bietet Winkler keinen realistischen Vorschlag an.

Die berechnete Bauzeit von 6,8 Jahren für die Cheopspyramide⁷⁹⁵ erscheint als viel zu gering und zeigt, dass die vorgeschlagene Hypothese auf falschen Voraussetzungen und Annahmen beruht.

7.6 Zusammenfassende Bewertung der Bauvorschläge für Pyramiden entsprechend der Kapitel 7.3 bis 7.5

Die Idee senkrecht auf die Pyramide zulaufender Baurampen wurde immer wieder mit unterschiedlichen Argumenten vorgetragen. Bei der Entwicklung der Bauhypothesen der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts zeichnet sich allerdings die Tendenz ab, Bauverfahren vorzuschlagen, die den Materialaufwand für die Rampen minimieren. Vorschläge zum Bau spiralförmig an die Pyramide angelegter Rampen wurden vermehrt zur Diskussion gestellt.

Zusammenfassend kann zum Einsatz von Rampen beim Bau des Pyramidenkörpers festgestellt werden:

Senkrecht auf die Pyramide zulaufende Rampen müssen als Baumethode ausgeschlossen werden:

- 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 Baufortschritt ohne Unterbrechung der Transportarbeiten erhöht werden zu können.
- Die Baumasse der Rampen wäre sehr groß und kann je nach Ausführung das Volumen der Pyramide selbst erreichen bzw. übertreffen.
- Es liegen keine archäologischen Nachweise zu Rampenresten und größeren Schuttablagerungen abgebauter Rampen vor.
- 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.⁷⁹⁶
- Eine schichtweise Verlegung der Steine im Kernmauerwerk der Pyramide, wie sie bei dieser Art der Rampen erfolgen muss, entspricht nicht den archäologischen Befunden.
- Die Verlegung des Verkleidungsmauerwerks und der Außenverkleidung sowie deren Glättung sind ohne außen angeordnetes Baugerüst bzw. Umbauungen aus bau- und sicherheitstechnischen Gründen nicht durchführbar.

Spiralförmig angeordnete Rampen müssen als Baumethode ebenfalls ausgeschlossen werden:

- Der Transport des Baumaterials um 90° an den Ecken der Pyramide – auch wenn diese abgeschrägt ausgeführt werden – erscheint nur schwer möglich und würde einen großen

⁷⁹⁵ Ebenda, S.114.

⁷⁹⁶ Nach Isler I: Petrie, The Building of Pyramid, in: Ancient Egypt, 1930, part II, S.35.

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 ohne außen angeordnete Baugerüste sind bei Integralrampen aus bau- und sicherheitstechnischen Gründen ebenfalls nicht durchführbar.
- Eine exakte Vermessung während des Baus ist bei außerhalb der Pyramide spiralförmig angeordneter Rampen schwierig, da Außenflächen und Ecken teilweise verdeckt sind. Die Einhaltung des stets gleich bleibenden Rücksprungs ist sehr erschwert.

Alle der bisher veröffentlichten Hypothesen für den Pyramidenbau, denen die vorstehend genannten Rampen zugrunde liegen, gehen davon aus, dass die Steine mittels Ochsespannen oder Menschenkraft auf Schlitten nach oben gezogen wurden. Dabei tritt ein Widerspruch insofern auf, als für die Zuggespanne und die Arbeiter der Boden der Rampen möglichst griffig sein musste, damit ein Rutschen beim Ziehen der Lasten vermieden werden konnte. Transportschlitten hingegen sind umso leichter zu ziehen, je geringer der Gleitreibungsfaktor der Rampe, d.h. je glatter deren Oberfläche ist. Eine Lösung könnten getrennte Bahnen für den Schlittentransport und für die Zugmannschaften (seitlich angeordnete Treppen) sein.

Senkrecht an die Pyramidenaußenflächen angelehnte **Treppenkonstruktionen**, wie sie Isler und Graefe vorschlagen, scheinen u.a. wegen der außerordentlich großen Steigung für den Transport des Steinmaterials sehr problematisch und nicht praktikabel zu sein.

Aus den geschilderten sicherheits- und bautechnischen Fragen heraus und wegen der unvollständigen Darstellungen bzw. des Fehlens der Berechnung der Bauzeiten der betrachteten Pyramiden 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.

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

Mehreren Hypothesen zum Pyramidenbau 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 bestimmt wird. Entsprechend der Größe der unteren Stufen des Kernmauerwerks können – wie Landt es vorschlägt – auf allen Seiten jeweils mehrere Rampen angeordnet und so insbesondere die großen Materialmengen im unteren Bereich der Pyramide zeitökonomisch transportiert und verlegt werden. Den Bauvorschlägen bzw. Überlegungen von Hölscher, Croon bzw. Landt, Graefe und Pitlik hat daher bei weiteren Überlegungen eine besondere Aufmerksamkeit zu gelten.

Die Vorschläge für eine Bauweise mit Rampen – fast immer nur am Beispiel der Cheopspyramide vorgelegt – lassen jedoch sehr oft eine Berechnung der Transportkapazität im Verhältnis zur archäologisch belegten Planungs- und Bauzeit der Cheopspyramide von max. 23 Jahren vermissen.⁷⁹⁷ Darüber hinaus messen die meisten der geschilderten Hypothesen für den Pyramidenbau mittels Rampen dem „Zeitfaktor“ insofern zu wenig Bedeutung bei, als der Bau des unteren Teils der Pyramide den größten Teil des Baumaterials erfordert. Bei der Cheopspyramide sind dies bis 25 m Höhe 42,5 % und bis 50 m Höhe 71,4 % des Materials (siehe Abb. 6.1). Die Transportmöglichkeit über nur eine Rampe stellt daher im Vergleich zum Transport über mehrere Rampen auf allen Seiten des Kernmauerwerks einen großen zeitlichen Engpass dar, wodurch sich die Bauzeit „unnötig“ verlängert.

Es kann daher mit Sicherheit angenommen werden, dass die Baumeister, die im AR für den Pyramidenbau zuständig waren, mit Blick auf die nicht vorhersehbare Lebensdauer des Königs die Vorgabe für eine möglichst schnelle Fertigstellung des Grabmals hatten. Allein schon aus diesem Grund wurden keine senkrecht auf die Pyramide zuführende oder die Pyramide spiralförmig umlaufende Rampenkonstruktion mit der genannten Einschränkung der Transportkapazität gewählt. Die Entscheidung für die Bauweise der Schichtpyramiden bzw. ab der Roten Pyramide für die Stufenbauweise des Kernmauerwerks mit der Möglichkeit der Anordnung von parallel zu allen vier Pyramidenseiten verlaufenden Rampen findet offensichtlich darin ihre Begründung.

Es ist weiterhin nicht ausreichend, ein technisch funktionierendes Hebesystem vorzustellen und damit den Bau der Pyramide erklären zu wollen. Dieses muss vielmehr auch für eine Gesamtlösung zum Bau der Pyramide unter Einbeziehung der archäologischen Befunde geeignet sein. Bauhypothesen dürfen nicht nur für eine, sondern müssen in ihren Grundzügen für alle Pyramiden des AR vorstellbar sein. Darüber hinaus müssen sie für den Bau einer Pyramide als Gesamtsystem gelten; sie dürfen nicht nur für einzelne Bauabschnitte anwendbar sein.

Die meisten der vorgelegten Bauhypothesen gehen von Zugkräften aus, die von Ochsen spannen bzw. von Menschen erbracht werden. Ihnen liegen daher geringe Rampensteigungen und große Zugmannschaften zugrunde. Die Berechnungsergebnisse sähen anders aus, wenn die Zugleistung von Seilwinden in die bisher vorgelegten Hypothesen der Kapitel 7.3 „Bauhypothesen unter Verwendung senkrecht auf die Pyramide zulaufender Rampen“ und 7.4 „Bauhypothesen unter Verwendung entlang der Pyramidenseiten geführter Rampen“ einbezogen worden wären.

Auf die Kombination parallel zur Pyramidenseite angeordneter Rampen und Zugeinrichtungen mit Seilwinde bzw. Walze und des sich daraus ergebenden Einsatzes von Rampen mit einer wesentlich größeren Steigung als Bauverfahren wird im nachfolgenden Kapitel 8 „Eine neue Hypothese für den Bau der Pyramiden: Pyramidenbau mit Rampen und Seilwinden“ eingegangen; die dort erstmalig formulierte Hypothese zum Pyramidenbau beruht auf dieser Kombination archäologisch belegter Bauweisen bzw. Verfahren.

⁷⁹⁷ Die Regierungszeit Cheops' betrug nach v. Beckerath 23 Jahre; unmittelbar nach Regierungsantritt verlegte Cheops seine Residenz und die Königsmetropole von Dahschur nach Gisa (Stadelmann, Pyramiden, S.105). Die Bestattung des Cheops fand in der fertig gestellten Pyramide statt. Nach Krauss und Warburton (Hornung, Chronology, S.491) soll die Regierungszeit 26 Jahre betragen haben.

8. Eine neue Hypothese für den Bau der Pyramiden: „Pyramidenbau mit Rampen und Seilwinden“

Ausgehend von den archäologisch nachgewiesenen bzw. aufgrund der Belege gefolgerten und in den Kapiteln 4 „Bautechnik“ und 5 „Archäologische Befunde an Pyramiden“ dargestellten

- 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

sowie

- von den im Kapitel 7.6 „Zusammenfassung: Bewertung der Bauvorschläge für Pyramiden“ getroffenen Feststellungen zu bisher veröffentlichten Hypothesen zum Pyramidenbau und deren Bewertung

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.

Die hiermit vorgelegte Hypothese zum Bau der Stufenpyramiden im AR geht von **mehreren Bauabschnitten** aus, in denen der Bau der Pyramide im Wesentlichen wie folgt vorgenommen wurde:

- Im Inneren wird das **stufenförmige Kernmauerwerk**⁷⁹⁸ bis einschließlich der 6. Stufe errichtet. 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.
- Daran anschließend wird von der untersten Schicht der Außenverkleidung ausgehend eine stufenförmige Umbauung der Pyramide als **Arbeitsplattform**⁷⁹⁹ errichtet, über

⁷⁹⁸ Auf die statisch bedingte Stufenbauweise wurde am Schluss des Kapitels 5.3 „Der Wechsel von der Schicht zur Stufenpyramide im Alten Reich“ hingewiesen.

⁷⁹⁹ Das Verlegen der Steine des Verkleidungsmauerwerks und das genaue Einpassen der mit ihren waagerechten Lagerflächen schon exakt zugeschnittenen Steine der äußeren Verkleidung und der Außenverkleidung erfordern

die die Verlegung des Verkleidungsmauerwerks, der äußeren Verkleidungsschicht und der Außenverkleidung in einem Arbeitsgang vorgenommen werden.⁸⁰⁰ 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 Pyramidion wird der **Rückbau** der stufenförmigen Umbauung (Arbeitsplattform) bei gleichzeitiger Glättung der Außenverkleidung von oben nach unten vorgenommen.

Grundidee dieser Hypothese sind einmal der Bau des stufenförmigen Kernmauerwerks über steil angelegte Rampen unter Einsatz von Seilwinden und zum anderen die Errichtung einer Umbauung als Arbeitsplattform, um den Bau der Pyramidenspitze und 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 der Pyramide. Damit wird die vollständige Errichtung der Pyramide einschließlich Aufsetzen des Pyramidions nach einem einheitlichen Bauverfahren möglich.

Durch Verwendung von Seilwinden ist es möglich, auch schwere Lasten über steile Rampen nach oben zu transportieren, ohne dass dafür Zugmannschaften benötigt werden. Die Menschen bleiben an ihren Arbeitsplätzen und bewegen die Steine nach oben. In der Kombination zweier archäologisch nachgewiesener Bautechniken – Rampe und Seilwinde – liegt der Ansatz für den hiermit vorgestellten Vorschlag für den Pyramidenbau im AR.

Auf den ersten Blick erscheint es widersprüchlich, zwei voneinander unabhängige Rampensysteme zu errichten und im weiteren Verlauf der Bauarbeiten wieder abzubauen. Die archäologischen Befunde zeigen jedoch, dass das Kernstufenmauerwerk separat vom Verkleidungsmauerwerk errichtet wurde. Wie in Kapitel 5.1.2.6 „Die Pyramide des Mykerinos“ erläutert, wurden zwei der Königinnenpyramiden des Mykerinos nicht verkleidet. Sie waren nur in Form des Kernmauerwerks errichtet worden. Aus Abb. 8.1.1 ist darüber hinaus erkennbar, dass die Steine des Verkleidungsmauerwerks an die Außenwand des Kernstufenmauerwerks angesetzt wurden. Eine schichtweise und zeitgleiche Verlegung des Kernmauerwerks und des Verkleidungsmauerwerks einschließlich der Außenverkleidung von nur einer Rampe aus ist somit auszuschließen. Der separate Bau des Kernmauerwerks mit einer gut gefügten Außenmauer und Füllmaterial im Inneren dürfte – wie bereits an anderer Stelle dargestellt – statisch bedingt sein, um bei Erschütterungen (Bodensetzungen, Erdbeben) Risse und Verwerfungen des Baukörpers zu vermeiden.

Wenn nach der hiermit vorgelegten Hypothese die Pyramide des Mykerinos erbaut werden konnte, so ist dieser Vorschlag prinzipiell auch für die Errichtung der anderen Stufenpyramiden des AR – mit individuellen Anpassungen – gültig.

8.1 Baudaten der Pyramide des Mykerinos

Nach den Untersuchungen und Veröffentlichungen von Maragioglio und Rinaldi⁸⁰¹ sind die Stufen 2, 3 und 4 des Kernmauerwerks⁸⁰² – aus jeweils 7 Steinschichten bestehend – archäo-

aus Gründen der Arbeitsmöglichkeit von allen Seiten sowie der Arbeitssicherheit eine Umbauung der Pyramide mit einer Arbeitsplattform.

⁸⁰⁰ Auf eine zeitgleiche Verlegung der Backing Stones (äußere Verkleidungsschicht) und der Außenverkleidung weist auch Stadelmann aufgrund seiner Untersuchungen an der Roten Pyramide hin (Kapitel 5.1.2.1).

⁸⁰¹ Maragioglio VI, Addenda, TAV.4, Fig.2.

logisch nachgewiesen.⁸⁰³ Abb. 8.1.1 zeigt im oberen Bildbereich die 7 Steinlagen der 4. Stufe und im Vordergrund die Oberkante der 4. Steinlage der 3. Stufe.

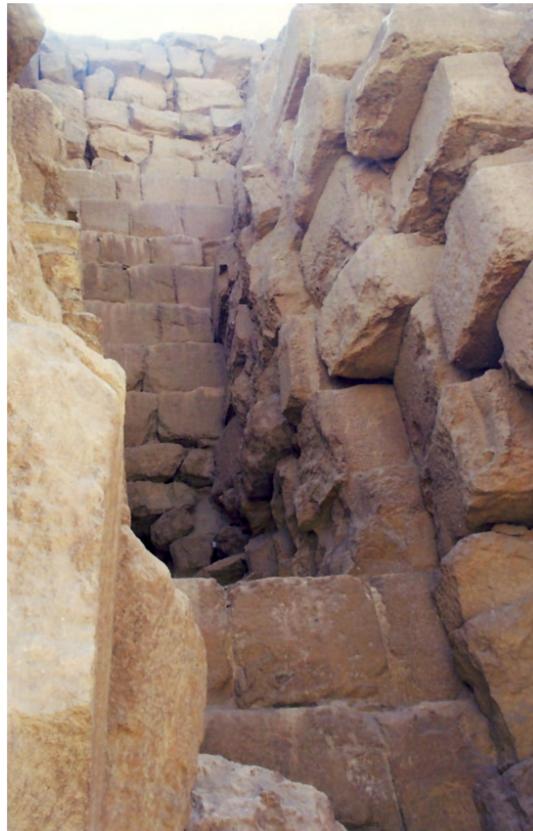


Abb. 8.1.1 3. und 4. Stufe der Pyramide des Mykerinos in der Bresche der Nordseite



Abb. 8.1.2 Verkleidungsmauerwerk der Nordseite der Pyramide des Mykerinos

⁸⁰² Siehe auch Abb.5.3.6.

⁸⁰³ Maragioglio, VI, S.34.

Die Höhe dieser beiden Stufen beträgt je 16 Ellen (8,54 m). Die Breite dieser Stufen wurde mit 4,8 m bzw. 4,2 m vermessen. Die flächig behauenen Kalksteinblöcke der Außenmauern der einzelnen Stufen sowie der oberen Steinschicht einer Stufe des Kernmauerwerks nach innen bis zum Beginn der nächsten Stufe haben Abmessungen bis zu 1,4 m Höhe, 2,3 m Breite und 0,6 m Tiefe. Bei einem spezifischen Gewicht von ca. 1,7–2,6 t/m³ bzw. kg/l⁸⁰⁴ ergibt sich ein maximales Gewicht von etwa 4,5 t. Die Kalksteinblöcke der oberen Reihen der Außenmauern der Stufen sowie das Material innerhalb der Stufen und die Blöcke des Verkleidungsmauerwerks (Abb. 8.1.2) haben z.T. wesentlich geringere Abmessungen.

Das Gewicht des Pyramidion mit einer Basislänge von ca. 1,5 m – ähnlich den Abmessungen des von Stadelmann gefundenen Pyramidion der Roten Pyramide⁸⁰⁵ – beträgt 1,8 t.⁸⁰⁶ Wie von den Königinnenpyramiden des Mykerinos – ebenfalls Stufenpyramiden – bekannt ist,⁸⁰⁷ haben die Höhen deren einzelner Stufen etwa gleiche Abmessungen, wobei die untere Stufenhöhe geringfügig niedriger ist. Es werden daher bei der Pyramide des Mykerinos – wie auch von Maragioglio und Rinaldi vorgeschlagen (siehe Abb. 5.1.2.6.2) – zwei Stufen unterhalb der Bresche angenommen. Die Gesamthöhe dieser beiden Stufen ist mit 16,39 m im Durchschnitt pro Stufe etwas kleiner als die der oberen Stufen und ist mit der Bauweise der Nebenpyramiden vergleichbar. Nach vorgenommener Rekonstruktion besteht das Kernmauerwerk aus sieben Stufen (Abb. 8.1.3). Dabei werden die Höhen der Stufen 5–7 und deren Rücksprünge entsprechend der archäologisch nachgewiesenen Stufen 3 bzw. 4 angenommen (Höhe 8,5 m und Stufenbreite 4,2 m).

Denkbar ist jedoch auch, dass die Stufe 7 nicht mehr aus einer äußeren Mauer mit Auffüllung des Innenraumes sondern aus gut behauenen Steinen besteht, die lagenweise unterschiedlich verlegt wurden, wie es in der Spitze der Cheopspyramide zu beobachten ist (Abb. 8.1.4).

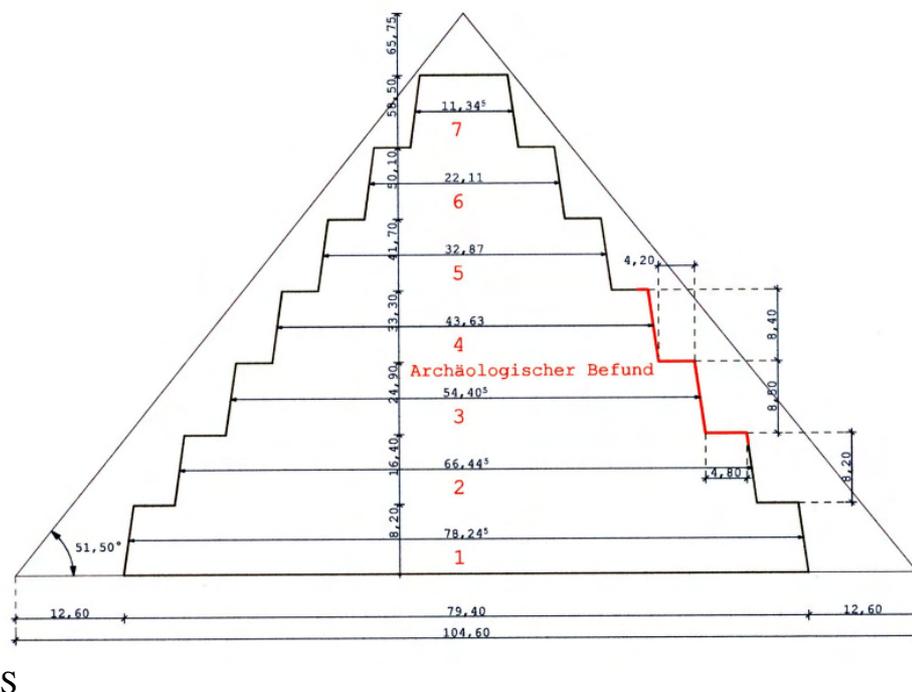


Abb. 8.1.3 Stufen des Kernmauerwerks der Pyramide des Mykerinos (Maßangaben in m)

⁸⁰⁴ Arnold, Baukunst, S.119; bei den Berechnungen werden 2,4 t/m³ angesetzt.

⁸⁰⁵ Stadelmann, Pyramiden, S.101: Basislänge 3 E (1,57 m); Winkel 45°.

⁸⁰⁶ Volumen 0,645 m³, Gewicht 1,8 t.

⁸⁰⁷ Maragioglio, VI, Addenda, TAV.11, Fig.2.

Die obersten Schichtlagen und die Verankerung des Pyramidion dürften denjenigen der Pyramide des Chephren ähneln, die Lepsius beschrieben hat.⁸⁰⁸

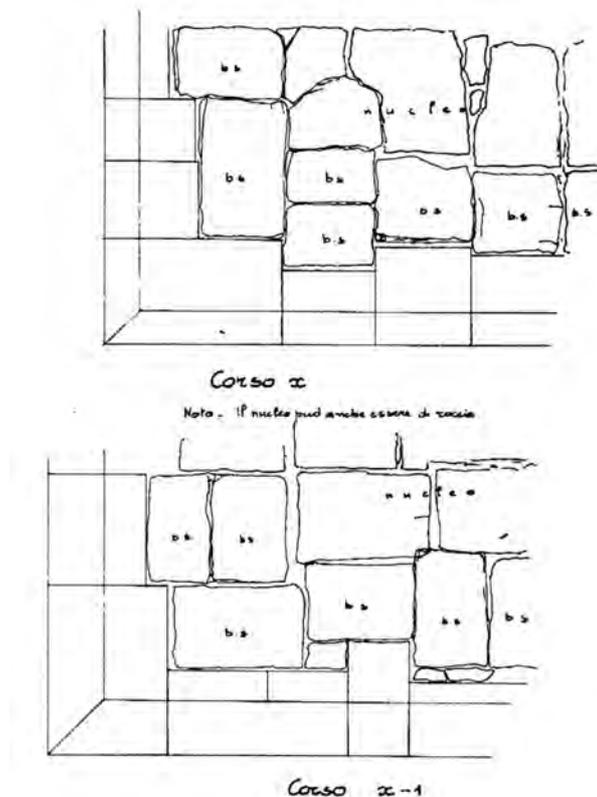


Abb. 8.1.4 Schichtweise wechselseitig verlegte Steine des Kernmauerwerks bzw. des Verkleidungsmauerwerks an der Spitze der Cheopspyramide nach Maragioglio und Rinaldi

Der Neigungswinkel der geglätteten Außenverkleidung beträgt nach Maragioglio und Rinaldi $51^{\circ}30'$. Die Außenverkleidung bestand von der Basis aufsteigend aus 16 Steinschichten aus Rosengranit, deren äußere Seiten im unteren Bereich – soweit heute noch erhalten – größtenteils ungeglättet sind und in Bossen stehen. In den oberen Schichten war die äußere Außenverkleidung wahrscheinlich – wie bei den Pyramiden des AR üblich – in Kalkstein ausgeführt. Davon sind jedoch keinerlei Reste erhalten.

8.2 Die einzelnen Bauabschnitte

Nach der Entscheidung über den Bau der Pyramide und nach der abgeschlossenen Bauplanung sowie der Auswahl des Bauplatzes wurde dieser planiert und ggf. an Stellen losen Gerölls mit Steinplatten unterfüttert. Die Transportwege von den zu erschließenden Steinbrüchen und vom neu gebauten Hafen zur Baustelle wurden festgelegt und ausgebaut. Weiterhin erfolgten die Vermessung der Kanten der unteren Stufe des Kernmauerwerks, die Ausrichtung der Pyramidenbasis nach Norden und deren Festlegung. Die Länge der Basiskante der unteren Stufe beträgt nach Maragioglio und Rinaldi entsprechend Abb. 8.1.3 ca. 80 m (150 Ellen?).⁸⁰⁹ Ebenfalls vermessen wurden die Basiskanten der untersten Schicht der Außenverkleidung mit

⁸⁰⁸ Lepsius, Denkmäler I, S.27

⁸⁰⁹ Maragioglio, VI, Addenda, TAV.4, Fig.2.

den Abmessungen 200 Ellen (104,6 m).⁸¹⁰ Parallel zu diesen Arbeiten erfolgten Festlegung und Baubeginn des Grabschachtes und der Grabkammern.⁸¹¹

Nach Abschluss der Vorbereitungsarbeiten, wofür etwa ein Jahr angesetzt wird, begannen die eigentlichen Bauarbeiten.

8.2.1 Bau des Kernmauerwerks

Der archäologische Befund der Stufen 2 bis 4 des Kernmauerwerks zeigt, dass Höhen und Breiten der Stufen nicht immer dieselben Abmessungen haben. Eine einheitliche „Fluchtlinie“ der Stufenkanten lässt sich mit $54^{\circ}30'$ nur grob feststellen; nicht alle Kanten werden davon erfasst.⁸¹² So liegt die Kante der dritten Stufe etwas innerhalb dieser Fluchtlinie.⁸¹³ Auch bei den Königinnenpyramiden G III c und G III b sind derartige Unterschiede der Stufenhöhen und -breiten festzustellen.⁸¹⁴ Der gleichmäßige Neigungswinkel der Pyramidenseiten wurde daher erst durch die exakte Verlegung des Verkleidungsmauerwerks unter Einhaltung stets des gleichen Rücksprungs sowohl an den Seitenflächen der Pyramiden als auch an den vier Kanten – ausgehend von den Basisblöcken der untersten Lage der Außenverkleidung – erreicht (Näheres siehe Kapitel 8.2.2 „Anbringen des Verkleidungsmauerwerks“).

Das scheint auch der Grund dafür zu sein, warum der äußere Neigungswinkel ($51^{\circ}30'$) stets etwas geringer ist als derjenige, der die Kanten der Stufen des Kernmauerwerks verbindet ($54^{\circ}30'$) und damit von diesem unabhängig realisiert werden kann. Die oberen Kanten der einzelnen Stufen des Kernmauerwerks müssen daher nicht so exakt wie die Ecksteine der äußeren Verkleidung positioniert werden.

Mit Beginn der Arbeiten wurden an allen Pyramidenseiten gleichzeitig die Steinreihen der untersten Stufe des Kernmauerwerks sowie das entsprechende Füllmaterial (Steine unterschiedlichen Formats, Gesteinssplitter, Tafla, Sand, Mörtel) im Innern der Stufen eingebracht. Der Steintransport erfolgte über die von Steinreihe zu Steinreihe nach oben „mit wachsenden“ Rampen. Nach Fertigstellung jeder Schicht der Außenmauer der einzelnen Stufen des Kernmauerwerks und Einbringen des Füllmaterials mussten die Rampen erhöht, d.h. verlängert werden. Der schon errichtete Teil war davon nicht betroffen. Die Seilwinden mussten ebenfalls versetzt werden.

Die Transportrampen werden mit einer Steigung von $26,5^{\circ}$ – das Verhältnis Basis zu Höhe beträgt dann 2:1 – und mit der Breite der jeweiligen Stufen des Kernmauerwerks (4,8 m auf den beiden ersten Stufen und 4,2 m auf allen weiteren Stufen) angenommen. Dieses Neigungsverhältnis von 2:1 ($26^{\circ} 33' 54''$) findet mit nur geringen Abweichungen bei den Grabkammerkorridoren in fast allen Pyramiden der 4. Dynastie Anwendung. Für den Materialtransport nach oben an die Oberfläche (herausgeschlagenes Felsgestein) scheiden Zugmannschaften oder Ochsenespanne bei einem Querschnitt des Korridors in der Pyramide

⁸¹⁰ Im Gegensatz zu Maragioglio und Rinaldi gibt Stadelmann für die Basislänge zwei unterschiedliche Werte an: 196 mal 200 Ellen bzw. 102,20 mal 104,6 m. Stadelmann, Pyramiden, S.142.

⁸¹¹ Auf die Frage ob es sich mit dem später überbauten Zugang zur Vorkammer der Grabkammer (Maragioglio, VI, Addenda, TAV.5, Fig.1) um eine Erweiterung bzw. Änderung des ursprünglichen Bauplanes der Pyramide handelt oder ob dies ein Transportweg für die Granitplatten zur Verkleidung der Grabkammer war, wird nicht näher eingegangen.

⁸¹² Diese Feststellung deckt sich nicht ganz mit den Aussagen von Graefe. Siehe Kapitel 7.4.4 „Vorschlag von Graefe“.

⁸¹³ Dabei wird die genaue messtechnische Erfassung dieser Kante durch Maragioglio und Rinaldi vorausgesetzt.

⁸¹⁴ Maragioglio, VI, Addenda, TAV.11, Fig.2.

des Mykerinos von 1,2 m (Breite) und 1,05 m (Höhe) aus. Über die Zugänge zu den Grabkammern dieser Pyramide wurden auch Granitplatten zur Verkleidung der unteren Grabkammer mit den größten Abmessungen von 3,2 m (Länge), 0,95 m (Breite) und 0,7 m (Höhe) und einem Gesamtgewicht von ca. 6,5 t transportiert. Steile Rampen sind somit im AR belegt. Die im Grab des Debeheni aus der frühen fünften Dynastie und im Grab des Rechmire der 18. Dynastie dargestellten Rampen (Kapitel 4.3.1.1 „Zugkräfte [Gleitreibung]“, Abb. 4.3.1.1.3 und 4.3.1.1.4) zeigen ebenfalls ein Verhältnis Basis zu Höhe von 2:1.

Die hiermit vorgeschlagenen Rampen bestehen zum einen auf einer Breite von 3 m aus der eigentlichen Transportbahn und zum anderen aus einer Treppe, die daneben verläuft. Die Breite der Rampe entspricht insgesamt der Breite der jeweiligen Stufe. Die Anordnung einer Rampe (Schnittzeichnung) zeigt Abb. 8.2.1.1.

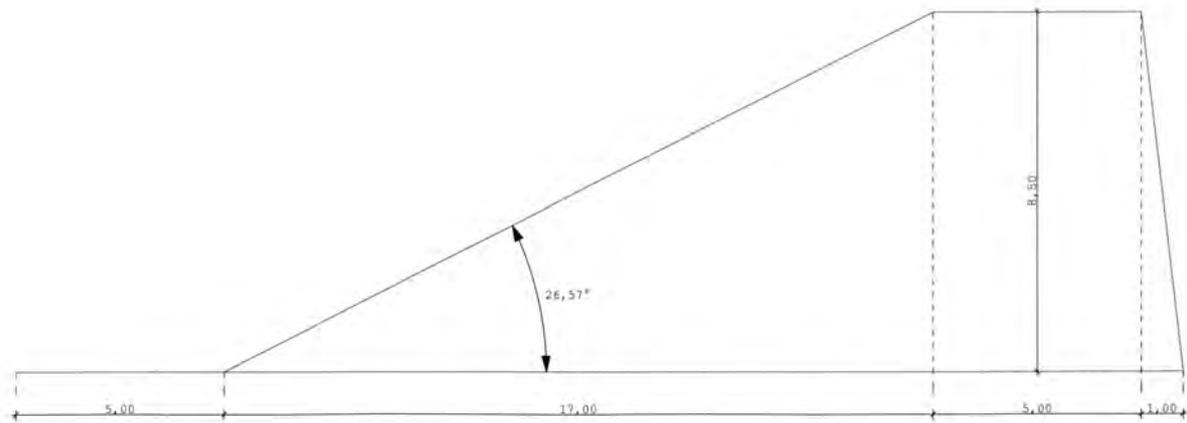


Abb. 8.2.1.1 Vorschlag für die Transportrampe (Maßangaben in m)

Für die Außenseiten der Rampen werden exakt behauene Steine verwendet, sodass sich eine stabile und leicht nach innen geneigte Außenmauer ergibt. Im Inneren können nicht so exakt zugehauene Steine und Lehmziegel verbaut werden.

Für die Ausgestaltung der Transportbahn der Rampe (Oberfläche) sind verschiedene Ausführungen vorstellbar:

- Die Oberfläche besteht aus geglättetem Kalkstein.
- In die Oberfläche sind Längsspuren eingearbeitet, die etwas breiter als die Schlittenkufen sind. Darin befinden sich in einem Mörtelbett beweglich angeordnete Steinkugeln aus Dolerit.
- Die Oberfläche besteht aus in einem Mörtelbett befestigten Steinkugeln aus Dolerit.
- In die Oberfläche sind Querrillen eingearbeitet, in die Holzbohlen eingelegt sind.

Eine mögliche Anordnung der Rampen auf den einzelnen Stufen zeigt Abb. 8.2.1.2. Die Rampen auf den Stufen 1–6 können auf allen vier Seiten des Bauwerks errichtet werden. Auf der Nordseite müssen beiden unteren Rampen soweit auseinander gezogen werden, dass der Eingang zum Grabkorridor jederzeit frei zugänglich ist.

Unter Zugrundelegung der Abmessungen der Transportrampe (Abb. 8.2.1.1) lassen sich auf jeder Pyramidenseite auf den einzelnen Stufen des Kernmauerwerks Rampen wie folgt genannt anordnen:

Stufe 1	2 Rampen
Stufe 2	2 Rampen
Stufe 3	1 Rampe
Stufe 4	1 Rampe
Stufe 5	1 Rampe
Stufe 6	1 Rampe

Die Aufsicht auf alle Rampen zeigt Abb. 8.2.1.3. Die angegebenen Maße geben die Höhe der einzelnen Stufen des Kernmauerwerks in m an.

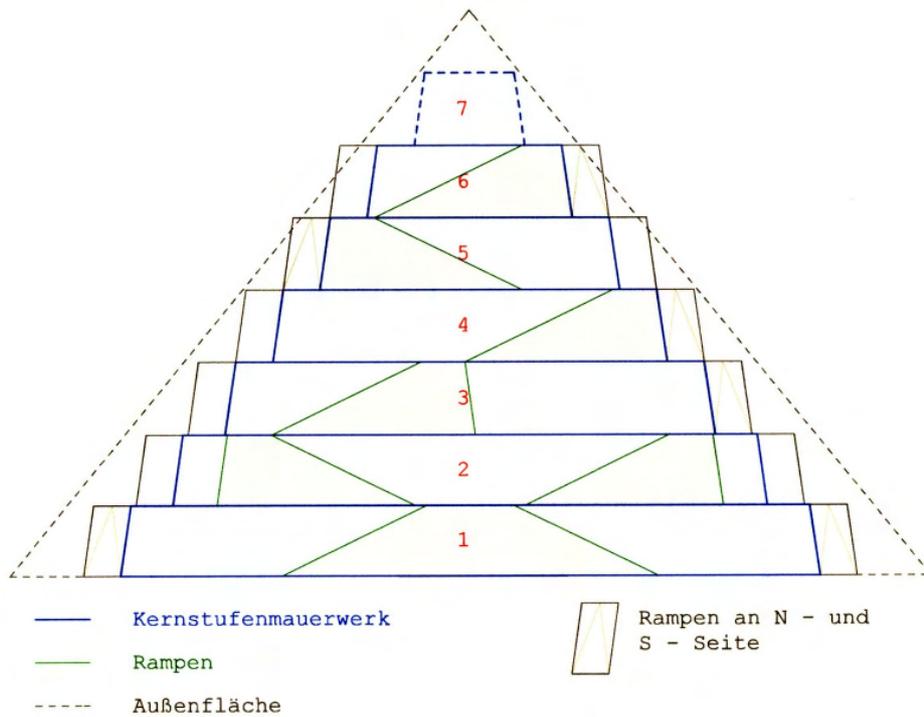


Abb. 8.2.1.2 Anordnung der Rampen auf den Stufen 1–6 des Kernmauerwerks

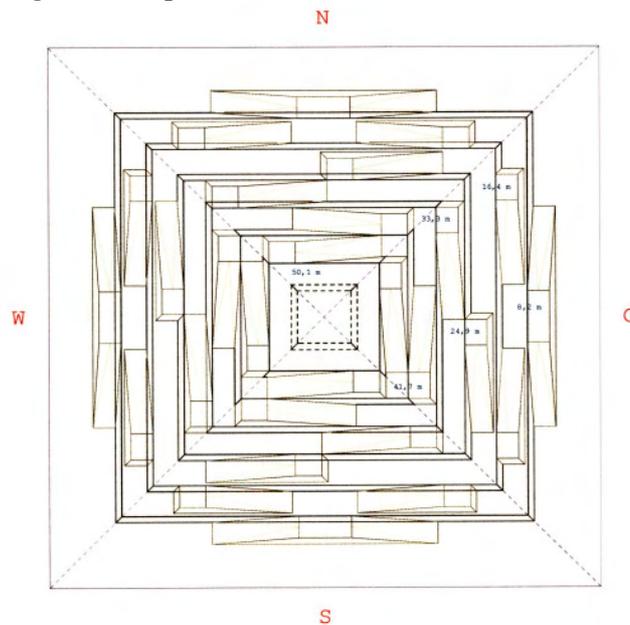


Abb. 8.2.1.3 Aufsicht auf alle Rampen des Kernmauerwerks⁸¹⁵

⁸¹⁵ Hierbei wird von einer einheitlichen Basislänge von 104,6 m ausgegangen. Dies gilt auch für die Abb. 8.2.1.4.

Aus dieser Darstellung wird noch einmal deutlich, dass die Stufen des Kernmauerwerks von jeder Seite der Pyramide aus zeitgleich über zwei Rampen bzw. über eine Rampe gebaut werden können. Die Transportkapazität wird somit durch diese Tangentialrampen gegenüber senkrecht zu den Außenseiten der Pyramide oder spiralförmig angeordneten Rampen wesentlich erhöht.

Eine perspektivische Abbildung der Rampen aus Südwest ist in Abb. 8.2.1.4 dargestellt:

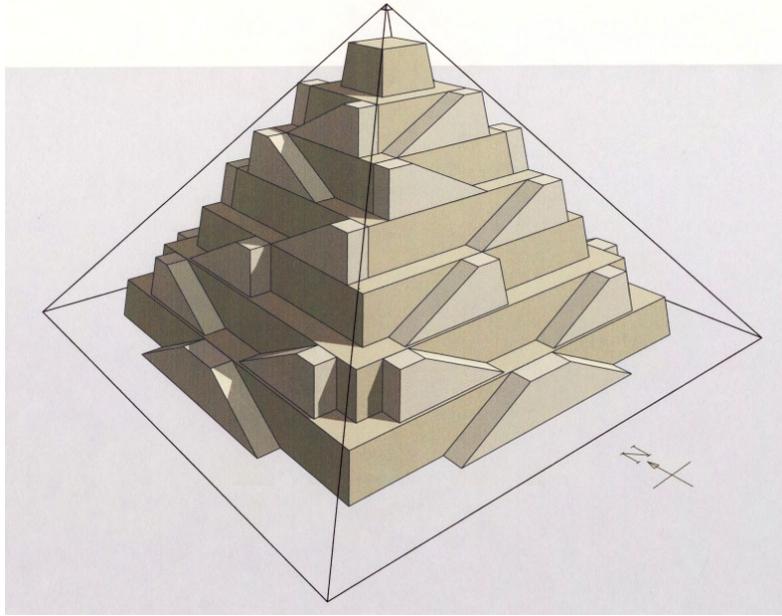


Abb. 8.2.1.4 Perspektive der Rampen zur Errichtung des Kernmauerwerks

Die im Folgenden gemachten Ausführungen sollen beispielhaft das Transportprinzip auf einer steilen Rampe aufzeigen. Einzelne Parameter sind aufgrund allgemeiner Erfahrungen im Bauwesen angenommene Größen, die bisher durch praktische Versuche jedoch noch nicht erhärtet wurden.

Auf der oberen Plattform (5 m Länge) der einzelnen Rampen ist jeweils eine Seilwinde an der der Rampe gegenüber liegenden Seite angeordnet. Eine mögliche Ausführung und Anordnung einer Seilwinde zeigt Abb. 8.2.1.5.

Die Seilwinde besteht aus kreuzförmig zusammengebundenen und im Boden verankerten Hölzern, auf denen die Walze liegt. Nachdem die größten Steine Abmessungen von ca. 2,3 m auf 1,4 m bei einer Höhe von 0,6 m (Gewicht ca. 4,5 t) haben, können die Stützen für die Walze so weit auseinander angeordnet werden, dass der Schlitten mit der Steinlast bzw. die Steinblöcke unmittelbar auf die Plattform gezogen werden können.

Das vordere Tragholz für die Walze wird max. mit ca. 3500 kN auf Druck belastet. Damit das hintere Tragholz, welches einer Zugkraft nach oben zur Walze hin mit ca. 1200 kN ausgesetzt ist, sich nicht aus der Verankerung löst, wird es mit Seilen zusätzlich auf der Rampe befestigt. Dabei ist das Eigengewicht der Walze nicht berücksichtigt. Durch Verwendung von Harthölzern und Schmieren der Auflagestellen der Walze kann deren Reibung sehr gering gehalten und daher bei Berechnung der Zuglasten vernachlässigt werden.

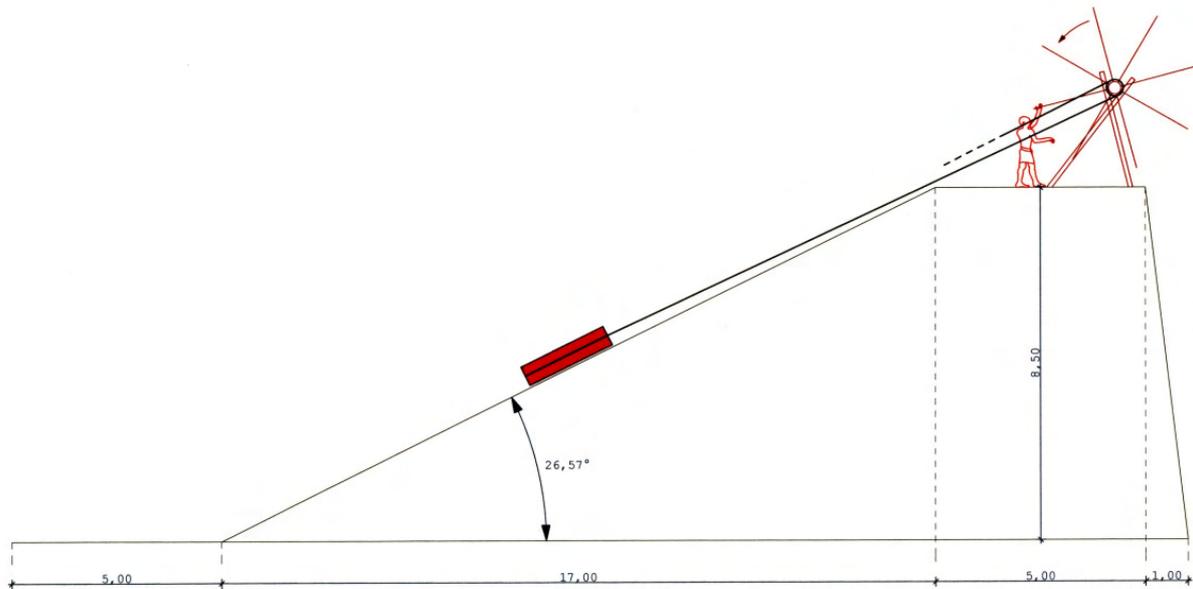


Abb. 8.2.1.5 Anordnung der Seilwinde am oberen Ende der Rampe

Die Abmessungen der Schleppunterlage aus Holz (z.B. Schlitten) werden mit einer Länge von 2,5 m und eine Breite von 1,5 m angenommen. Denkbar ist jedoch auch, dass die Steine direkt auf der Rampe an Seilen befestigt nach oben gezogen wurden. Dafür muss dann eine entsprechend große Zugkraft angesetzt werden. Der Vorteil besteht jedoch darin, dass Aufladen und Abladen der Steine sowie ein Rücktransport des Schlittens entfallen. Die Schleppunterlagen müssen so gestaltet sein, dass sie in beide Richtungen gezogen werden können (Richtungswechsel auf der oberen Plattform einer Rampe zum Fußpunkt der nächsten Rampe).

Für die Abschätzung der maximal notwendigen Zugkraft für den Transport der größten angenommenen Steinlast von 4,5 t gilt folgende Annahme: An einem Steinblock für die Außenmauer einer Stufe des Kernmauerwerks mit den Abmessungen 2,3 m Länge, 1,4 m Breite und 0,6 m Höhe werden ein oder mehrere Seile befestigt, die zu der Seilwinde mit 30 cm Walzendurchmesser geführt werden und diese mehrfach umschlingen und gegen Verschieben gesichert sind. Auf jeder Seite der Seilwinde befinden sich 8 (oder auch mehr) Speichen mit je 2 m Länge, an deren Ende je ein Holz waagrecht angebracht ist. Die einzelnen Speichen können auch miteinander durch Holzverstrebungen verbunden sein. Die Kraftübersetzung beträgt 15 cm (Walzenradius) zu 2 m Speichenlänge, also 1:13. An jeder Speiche können gleichzeitig 4 Arbeiter mit je 30 kp (Kraft ist nach unten bzw. vorn gerichtet) arbeiten und so $120 \text{ kp} \times 13 = 1560 \text{ kp}$ bewegen. Bei insgesamt zwei Speichenebenen (an den beiden Enden der Seilwinde) ergibt sich die Gesamtzugkraft zu ca. 3100 kp.

Dies ist die erforderliche Zugkraft für den Transport eines Steines unmittelbar über eine geglättete Kalksteinrampe mit der Neigung von 2:1 bzw. einem Winkel von $26,5^\circ$ und einer Gleitreibungszahl von 0,25 (Kapitel 4.3.1 „Schiefe Ebene“) und stellt somit den ungünstigsten Fall dar. Werden Schlitten bzw. Holzunterlagen mit geringerer Gleitreibungszahl, quer gelegte Holzbohlen,⁸¹⁶ eine mit feinem Sand⁸¹⁷ bestreute glatte Oberfläche oder eine Unterlage mit

⁸¹⁶ Archäologisch erst ab dem MR belegt. Andererseits ist das Prinzip der Walze schon im AR bekannt.

⁸¹⁷ Feiner Sand hat eine mit Steinkugeln vergleichbare günstige Rollreibung zur Folge.

Kugeln aus Dolerit benutzt, ergibt sich eine Zuglast von ca. 2200 kp.⁸¹⁸ Diese verringert sich bei kleineren Steinblöcken noch weiter.

Legt man ein durchschnittliches Schlittengewicht von 1,7 t (1,5 t Steine und 0,2 t Schlitten etc.) zugrunde, so beträgt bei einer Gleitreibungszahl von 0,05 die erforderliche Zugkraft ca. 1700 kp. Die dafür erforderliche Kraft an der Seilwinde kann von 4 Arbeitern erbracht werden.

Die notwendige Reibungskraft, damit die Walze unter dem Seil nicht durchdreht, wird durch eine raue Holzoberfläche, die natürliche Rauheit der Seile, durch eine Mehrfachumschlingung und durch eine Zugkraft entlang der Rampe zu deren Fußpunkt erzielt. Das Seil wird zum Fußpunkt der Rampe zurückgeführt und von Arbeitern nach unten straff geführt bzw. gezogen. Dort befindet sich auch eine Sicherungseinrichtung (z.B. im Stein verankerte Holzpflocke), welche ein eventuelles Zurückrutschen der Last (Speichenbruch o.Ä.) durch Arretieren des Seils verhindert.

Der waagerechte Weitertransport der Steine am jeweiligen Ende einer Rampe zu dem Ort der Verlegung in den einzelnen Schichten der Stufen des Kernmauerwerks bzw. des Verkleidungsmauerwerks sowie zur nächst höher gelegenen Rampe konnte mittels Hebeln und über Steinkugeln vorgenommen werden. Wie aus Abb. 8.2.1.6 am Beispiel der Pyramide G III c (Mykerinos) ersichtlich ist, wird auch beim Füllmauerwerk im Stufeninneren die jeweilige Schichthöhe eingehalten, sodass ein Verschieben der Steinblöcke über Steinkugeln gut möglich ist. Es wird weiterhin angenommen, dass die jeweils oberste waagerechte Schicht der Rampen auf den ersten Metern nach Ende der Schräge mit in einem Mörtelbett lose angeordneten Doleritsteinkugeln versehen ist, damit die Schlitten bzw. die Steinblöcke ggf. gedreht werden können, um anschließend ebenfalls auf Steinkugeln zum Weitertransport bereit zu stehen.

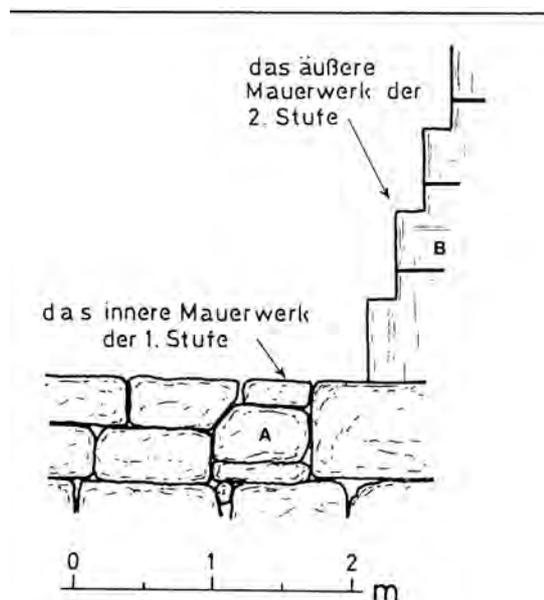


Abb. 8.2.1.6 Steinlagen innerhalb der Stufe des Kernmauerwerks bei der Königinnenpyramide G III c

⁸¹⁸ Mit Blick auf die zwangsläufig groben Abschätzungen wurde auf eine Einbeziehung der zusätzlichen – relativ geringen – Reibungsverluste an der Auflage der Walze verzichtet.

8.2.2 Anbringen des Verkleidungsmauerwerks

Die bei vielen Pyramiden heute noch feststellbare sehr genau durchgeführte Vermessung⁸¹⁹ und Bauausführung der Basisschicht der Außenverkleidung sowie deren Abmessungen zeigen, dass der Bau des Verkleidungsmauerwerks und auch der äußeren Verkleidungsschicht grundsätzlich von der Basis aus zur Pyramidenspitze hin erfolgte.⁸²⁰

Bei einigen Pyramiden, z.B. den Königinnenpyramiden des Mykerinos G III b und G III c wurde nur das Kernmauerwerk errichtet.⁸²¹ Es sei daher an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass diese Tatsache die getrennten Bauvorgänge von Kernmauerwerk und Verkleidungsmauerwerk mit äußerer Verkleidung belegt. Auch Lauer äußert sich in diesem Sinn aufgrund seiner Untersuchungen und Forschungen an der Pyramide des Djoser (siehe Kapitel 5.1.1.1 „Die Pyramide des Djoser“).

Ein genaues Verlegen und Bearbeiten der Steine des Verkleidungsmauerwerks, der äußeren Verkleidungsschicht und der Außenverkleidung erfordert eine außerhalb der Außenfläche der Pyramide angeordnete Arbeitsplattform. Nur auf diese Weise ist auch ein gefahrloses Arbeiten möglich. In Abb. 8.2.2.1 sind diese Arbeitsplattformen an den Seiten außerhalb der Pyramidenaußenflächen dargestellt. Die Anordnung der Rampen zum Bau der Arbeitsplattformen entspricht derjenigen beim Bau des Kernmauerwerks. Auf eine Darstellung im Einzelnen wurde daher verzichtet.

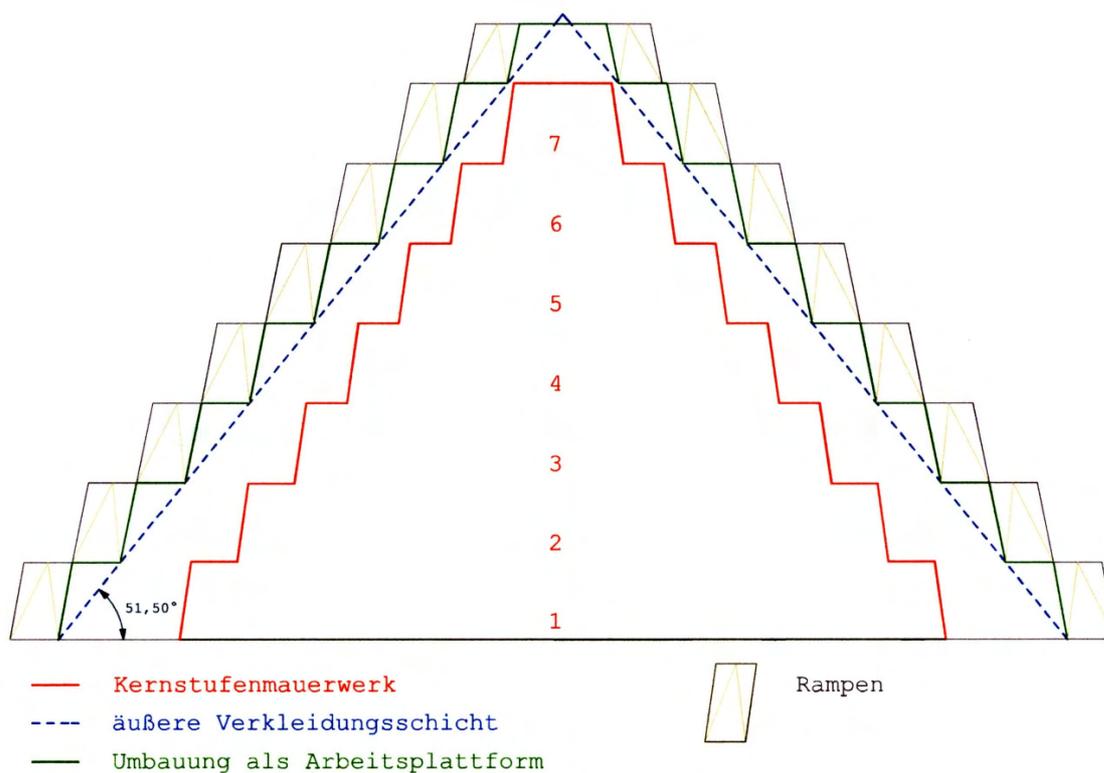


Abb. 8.2.2.1 Arbeitsplattform an den Außenflächen der Pyramide

⁸¹⁹ Siehe Kapitel 4.4 „Vermessungstechnik“; die maximale Abweichung der Basislänge der Cheopspyramide beträgt 3,2 cm bei einer Gesamtlänge von 230,34 m.

⁸²⁰ Stadelmann weist darauf hin (Stadelmann, Pyramiden, S.226), dass aufgrund seiner Beobachtungen an der Roten Pyramide die äußere Verkleidungsschicht/Außenverkleidung von Anfang an zusammen mit dem Kernmauerwerk verlegt worden ist.

⁸²¹ Jánosi, Königinnen, S.85

Wie aus Abb. 8.1.2 ersichtlich ist, wurden die Steine des Verkleidungsmauerwerks auf den Stufen des Kernmauerwerks aufgeschichtet und an die rückwärtigen Versetzungen der Außenmauer des Kernmauerwerks angepasst. Man kann fast von einer Verzahnung sprechen. Ohne den Bau einer äußeren Arbeitsplattform mit Rampenzuführungen ist dies technisch nicht möglich. Gleiches gilt für die Verlegung und Bearbeitung der Steine der Außenverkleidung. Nur mit einer von außen angeordneten Arbeitsplattform ist es möglich, die Steine der Außenverkleidung vor Ort passgenau zu bearbeiten (Sägen der vertikalen Fugen; siehe weiter unten) sowie später beim Rückbau der Arbeitsplattform die Außenfläche der Pyramide von oben nach unten zu glätten. Die Unebenheiten der in Bosse stehenden und teilweise vorsorglich noch weiter hinausragenden Steine der Außenverkleidung geben der an die Außenfläche der Pyramide angelehnten Baurampe, die ebenfalls schichtweise errichtet wurde, entsprechenden Halt und bilden so eine Verzahnung der Baurampe mit der Außenverkleidung.

Für den Steintransport auf den einzelnen Stufen der Bauplattform wird der Bau etwa fünf Meter breiter Rampen, die den entlang der Stufen des Kernmauerwerks gebauten Rampen vergleichbar sind, aus Nilschlammziegeln und kleineren Steinen mit einer Außenmauer aus Stein an den Seitenflächen der Pyramide – ähnlich dem Vorschlag von Goyon (Kapitel 7.4.1 „Umlaufende Ziegelrampe nach Goyon“), jedoch nicht umlaufend – angenommen. Diese Baurampen mit einer Neigung von 2:1 wachsen von Steinlage zu Steinlage mit. Innerhalb einer Steinlage werden zuerst die Steinblöcke des Verkleidungsmauerwerks und der äußeren Verkleidung eingebracht und dann die der Außenverkleidung auf der darunter liegende Lagen eingebaut bzw. nach Herstellen einer gemeinsamen Fuge seitlich zum Nachbarstein verschoben.⁸²² Der Bau der 7. Stufe des Kernmauerwerks – falls es eine solche gab – sowie das Anbringen der Verkleidung der Pyramidenspitze sind einschließlich Aufsetzen des Pyramidion über die Stufen der Umbauung mit der Arbeitsplattform ohne weiteres möglich.

Die Steine der Außenverkleidung sind bereits vor dem Transport in ihren horizontalen Auflageflächen exakt bearbeitet; die Vorderseiten stehen in Bosse.⁸²³ Wie bereits im Kapitel 4.1.2 „Steinverarbeitung an der Baustelle“ dargelegt wurde, sind die Seitenflächen der Steine der Außenverkleidung einer Steinlage zumindest teilweise erst beim Verlegen genau zugeschnitten worden. Wie an verschiedenen Stellen zu beobachten ist, sind diese Schnitte nicht genau senkrecht ausgeführt und können daher nur vor Ort durchgeführt worden sein.⁸²⁴ Diese Arbeiten erfordern ebenfalls eine Arbeitsplattform außerhalb der Außenfläche der Pyramide, um den Sägevorgang von beiden Seiten aus gefahrlos durchführen zu können. Nur ein maßgenaues Aneinanderpassen der Steine der äußeren Verkleidungsschicht verhindert das Eindringen von Wasser und bietet Flugsand bei Stürmen keinen Ansatzpunkt für Beschädigungen und Abtragungen.⁸²⁵ Vor dem Anfügen des nächsten Verkleidungssteines wurde am vorhergehenden Stein die Neigungslinie der Seitenfläche der Pyramide angezeichnet, damit beim späteren Abarbeiten der von dieser Markierung nach außen in Bosse stehenden Steine der Außenverkleidung der genaue Neigungswinkel eingehalten werden konnte.

Die Glättung der in Bossen stehenden Außenflächen der Außenverkleidung erfolgte ebenfalls von der Bauplattform aus nach Fertigstellung der Pyramidenspitze von oben nach unten als

⁸²² Zum waagerechten Verschieben der Blöcke der Außenverkleidung siehe Stadelmann, Pyramiden, S.110.

⁸²³ Arnold Baukunst, S.43, Goyon, Cheopspyramide, S.137.

⁸²⁴ Lehner, Schätze, S.42.

⁸²⁵ Wie stark der Wind (Sandsturm) zu Abtragungen an den Steinen führen kann, zeigen die äußeren Schichten des Verkleidungsmauerwerks der Pyramiden in Gisa. Früher ebene Flächen und Kanten wurden extrem abgeschliffen.

abschließende Baumaßnahme zeitgleich mit dem Rückbau der Bauplattform selbst.⁸²⁶ Abb. 8.2.2.2 zeigt das Verfahren zur Glättung von Steinoberflächen, wie es einer Darstellung aus dem Grab des Rehmire (TT 100 Theben West) entnommen werden kann.

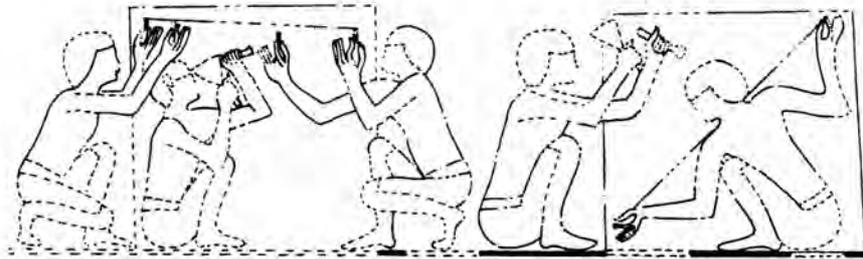


Abb. 8.2.2.2 Glätten von Steinflächen; Darstellung aus dem Grab des Rehmire⁸²⁷

Durch Vermessen der Seitenlängen einer fertig gestellten Steinschicht der Außenverkleidung des Pyramidenstumpfes von Eckstein zu Eckstein konnte kontrolliert werden, ob die Neigungswinkel der Ecken und die der Seitenflächen (Rücksprung) der Pyramide stets die vorgegebenen Werte haben. Korrekturen waren so ggf. möglich. Die exakte Vermessung der Basis der Cheopspyramide zeigt trotz des im Inneren vorhandenen Felsspornes – also ohne Diagonalmessung –, dass diese Art der Vermessung offensichtlich kein Problem darstellte.

Nachdem an einer siebten Stufe des Kernmauerwerks (Abb. 8.2.2.1) keine Rampen mehr angeordnet werden können, ist es auch möglich, die Pyramidenspitze oberhalb der Stufe 6 zusammen mit dem Bau des Verkleidungsmauerwerks unter Benutzung der Arbeitsplattformen (Abb. 8.2.2.1) zu errichten.

8.2.3 Berechnung der Transportleistungen und der Bauzeit der Pyramide

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 z.T. sehr unterschiedlich sind.

Nachdem die Grabkammern der Pyramide des Mykerinos unterhalb der Stufen des Kernmauerwerks angeordnet sind, können diese Durchschnittswerte einfach berechnet werden:

- Die Blockgröße der Steine des Kernmauer- und Verkleidungsmauerwerks wird mit einer durchschnittlichen Abmessung von 1,3 m x 1,3 m und einer Höhe von 0,7 m (1,2 m³) angenommen.⁸²⁸ Das Gewicht beträgt dann ca. 3 t.⁸²⁹ Dabei ist berücksichtigt, dass die Füllsteine des Kernmauerwerks geringere und die Außenmauern des Kernmauerwerks größere Abmessungen haben. Die hier angenommenen Größen dienen der

⁸²⁶ Auch Herodot berichtet von einer Fertigstellung der Pyramide von oben nach unten; siehe Kapitel 7.1.1 „Herodot“; Diodor berichtet von einer Bauweise der Pyramiden, wonach Erdaufschüttungen (Nilschlammziegel) entlang der Außenseiten vorgenommen wurden (siehe Kapitel 7.1.2 „Diodor“). Plinius erwähnt in diesem Zusammenhang ein Terrassensystem (siehe Kapitel 7.1.3 „Plinius“).

⁸²⁷ Davies, Rehmire, pl.LXII.

⁸²⁸ Ermittelt an der Steinstruktur der Cheopspyramide: Ca. 210 Schichten bei einer Höhe von 147 m ergeben eine durchschnittliche Höhe der Steinlagen der äußeren Verkleidungsschicht von 0,7 m; Haase, Cheops, S.28, geht von durchschnittlicheren Abmessungen der Steine des Verkleidungsmauerwerks mit 1,3 · 1 · 0,69 m (28. Steinlage) bzw. 1,3 · 1 · 1 m (36. Steinlage) aus. Diese Abmessungen entsprechen Gewichten von 2,5 t bzw. 3,6 t; Lehner nennt ein durchschnittliches Gewicht von 2,5 t (Lehner, Geheimnis, S.108).

⁸²⁹ Das spezifische Gewicht von Kalkstein wird nach Arnold, Baukunst, S.119, wiederum mit 2,4 t/m³ angenommen.

Vereinfachung der Modellrechnung. Diese durchschnittliche Blockgröße wird im Folgenden für eine Schlittenladung bzw. einen Schleppvorgang angesetzt.

- Für die Steine der äußeren Verkleidungsschicht und der Außenverkleidung werden durchschnittliche Abmessungen von 0,7 m x 0,7 m x 1,1 m (ca. 0,54 m³) mit einem Gewicht von 1,5 t angenommen.⁸³⁰ Jeweils zwei dieser Steinblöcke ergeben eine Schlittenladung bzw. einen Schleppvorgang.
- Die Transportleistungen beziehen sich auf die Bauleistungen für die außen angeordnete Bauplatzform und das Kernmauerwerk sowie die äußere Verkleidung. Das Versetzen der Seilwinden erfolgt – bezogen auf die Zahl der Arbeitstakte (siehe weiter unten) – nur gelegentlich, sodass die dafür notwendige Umrüstzeit bei der Abschätzung der Bauzeiten nicht berücksichtigt wird.
- Ein Abschlag vom Steinvolumen für die mit Mörtel, Sand etc. gefüllten Zwischenräume wird nicht vorgenommen.

Das Volumen der (fertigen) Pyramide des Mykerinos berechnet sich nach der Formel

$$V = \frac{1}{3} \cdot G \cdot h .$$

Dabei sind G die Grundfläche und h die Höhe der Pyramide. Das Gesamtvolumen ergibt sich somit zu

$$V = 239\,793 \text{ m}^3.$$

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 waagerechte Verbringen der Steine in der jeweiligen Ebene zum Einbauplatz, da der horizontal durchzuführende Transport in der jeweiligen Schicht 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 Schlittenladung⁸³¹ bzw. für einen Schleppvorgang bis zur Höhe einer Stufe werden folgende praxisnahe Annahmen getroffen: Für die Dauer des Transports auf eine nächst höher gelegene Stufe (ca. 8 m) wird eine Zeit von 5 min angesetzt. Dies bedeutet eine Schleppgeschwindigkeit von ca. 4 m pro min und erfordert ca. 5 Umdrehungen der Seilwinde pro 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, sodass sich eine Taktzeit mit 15 min ergibt. Nachdem die Schlittenladungen bzw. Steine durchschnittlich nur die halbe Höhe einer Stufe transportiert werden müssen (zwischen 0 und 8 m), ergibt sich bei der angestellten Betrachtung eine kleine Zeitreserve von ca. 2 min pro Takt.

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 Zeitauf-

⁸³⁰ Nach Hölscher, Chephren, S.62, betrug die Höhe Steine der Außenverkleidung bei der Chephrenpyramide an deren Basis ca. 107 cm (2 Ellen) und an der Spitze nur noch 53 cm (1 Elle); zwischendurch gab es aber auch Steine mit nur 40 cm Höhe.

⁸³¹ Ein Steinblock mit einem Gewicht von ca. 3 t oder zwei Steinblöcke der äußeren Verkleidungsschicht mit je 1,5 oder mehrere kleinere Steinblöcke mit einem Gesamtgewicht von ca. 3 t. Dabei handelt es sich um Durchschnittswerte.

wand 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. Schleppevorgang eintreffen. Der Mehraufwand, d.h. die größere Transporthöhe, findet jedoch in einer größeren Zahl eingesetzter Arbeitskräfte seinen Niederschlag.

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 ebenfalls nur um eine Abschätzung handeln.

Zur Ermittlung des Transportvolumens und somit der Bauzeit für die komplette Pyramide des Mykerinos einschließlich der Umbauung mit der Arbeitsplattform und der darauf befindlichen Rampen wird der Baukörper in die entsprechende Anzahl von Pyramidenstümpfen unterteilt. Das jeweilige Volumen berechnet sich dann nach der Formel

$$V = (a^2 + ab + b^2) \cdot h/3 .$$

Dabei sind h die Höhe des Pyramidenstumpfes und a bzw. b die Seitenlängen der unteren und oberen Fläche.

8.2.3.1 Berechnung der Bauzeit für das Kernmauerwerk

Die sechs Stufen des **Kernmauerwerks** haben somit folgende Volumina und bestehen aus der aufgeführten Zahl der Steinblöcke (1,2 m³; 3 t) bzw. Schlittenladungen:

Stufe 1	50196 m ³	41830 Steinblöcke bzw. Schlittenladungen
Stufe 2	36197 m ³	30164
Stufe 3	25155 m ³	20963
Stufe 4	15990 m ³	13325
Stufe 5	9092 m ³	7577
Stufe 6	4106 m ³	3422
	<hr/>	<hr/>
	140736 m ³	117280 Steinblöcke bzw. Schlittenladungen

Damit ergibt sich folgende Anzahl an Arbeitstakten bei Einbeziehung der Zahl der Rampen pro Pyramidenseite entsprechend Abb. 8.2.1.2:

Stufe 1	41830 Schlittenladungen	bei 8 Rampen	5229 Arbeitstakte
Stufe 2	30164	bei 8 Rampen	3771
Stufe 3	20963	bei 4 Rampen	5241
Stufe 4	13325	bei 4 Rampen	3331
Stufe 5	7577	bei 4 Rampen	1894
Stufe 6	3422	bei 4 Rampen	856
			<hr/>
	Gesamtzahl der Arbeitstakte		20322

Für die Ermittlung der Bauzeit des Kernmauerwerks (Stufen 1–6; die 7. Stufe mit einem Volumen von 900 m³ wird später im Zusammenhang mit der Errichtung der Arbeitsplattform gebaut) wird weiterhin angenommen, dass an 300 Tagen im Jahr und an 10 Stunden jedes

dieser Tage (Schichtbetrieb) gearbeitet wurde, sodass pro Jahr bei der angenommenen Dauer von 15 min für einen Schleppvorgang insgesamt 12000 Arbeitstakte stattfanden. Für den Bau des Kernmauerwerks der Pyramide des Mykerinos wurden demnach etwa 1,7 Jahre benötigt. Hinzu kommen der Bau und Abbau der Rampen der Stufen 1–6 (insgesamt 30 Rampen) mit einem Volumen von ca. 9000 m³. Daraus errechnet sich bei einem gleichzeitigen Bau und Rückbau auf den vier Seiten eine Zeit von ca. 0,4 Jahren.

Der Bau des **Kernmauerwerks** konnte somit in etwa **2,1 Jahren** erfolgen.

8.2.3.2 Berechnung der Bauzeiten für das Verkleidungsmauerwerk sowie für die Außenverkleidung und die Arbeitsplattform

Das Transportvolumen und somit die Bauzeiten für die außen angebrachte Arbeitsplattform sowie des Kernmauerwerks (7. Stufe), des Verkleidungsmauerwerks, der äußeren Verkleidungsschicht und der Außenverkleidung berechnen sich wie folgt:

Die acht Pyramidenstümpfe der **Arbeitsplattform** (einschließlich des Verkleidungsmauerwerks und der Außenverkleidung) haben **ohne** das Kernmauerwerk folgende Volumina bzw. bestehen aus folgender Anzahl von Schlittenladungen mit einem Volumen von durchschnittlich 1,2 m³ bzw. 3 t:⁸³²

Stufe 1	36888 m ³ bzw. 33740 Schlittenladungen bei	12 Rampen ⁸³³	2562 Arbeitstakte
Stufe 2	31338 m ³ bzw. 26115	8 Rampen	3264
Stufe 3	25573 m ³ bzw. 21311	8 Rampen	2664
Stufe 4	18422 m ³ bzw. 15325	8 Rampen	1919
Stufe 5	12126 m ³ bzw. 10105	8 Rampen	1263
Stufe 6	7553 m ³ bzw. 6294	4 Rampen	1574
Stufe 7 ⁸³⁴	5444 m ³ bzw. 4534	4 Rampen	1134
Stufe 8	728 m ³ bzw. 607 ⁸³⁵	1 Rampe	607

Für den Bau von 13 Rampen pro Seite mit einem Volumen von je 378 m³ werden erforderlich

19656 m ³ bzw. 16380 Schlittenladungen bei	7,5 Rampen ⁸³⁶	2184 Arbeitstakte
<hr/>		<hr/>
157728 m ³	Gesamtzahl der Arbeitstakte	17622

Für die Bauzeit der Arbeitsplattform, des Verkleidungsmauerwerks, der äußeren Verkleidung und der Außenverkleidung werden somit – bei wiederum 300 Arbeitstagen pro Jahr - ca. **1,5 Jahre** angesetzt.

Anschließend müssen die Baurampen und die Arbeitsplattform wieder demontiert und die in Bosse stehenden Steine der äußeren Verkleidungsschicht geglättet werden. Die dafür notwendige Zeit wird wie folgt berechnet:

⁸³² Das geringere Volumen wird mit Blick auf die unterschiedlichen Steingrößen angesetzt.

⁸³³ Die Anzahl der Rampen vergrößert sich durch die breitere Basis der Bauplattformen.

⁸³⁴ Einschließlich Volumen des Kernmauerwerks der Stufe 7.

⁸³⁵ Einschließlich Pyramidion.

⁸³⁶ Im Durchschnitt können auf allen vier Seiten der Pyramide insgesamt etwa 7,5 Rampen zeitgleich gebaut werden (52 Rampen geteilt durch 7 Stufen).

Gesamtvolumen der Pyramide einschließlich Bauplattform	278808 m ³
Gesamtvolumen der äußeren Baurampen	19656 m ³
abzüglich Volumen der Pyramide	<u>./ 239793 m³</u>
restliches, zu entsorgendes Baumaterial	58671 m ³

Bei gleichzeitiger Nutzung von durchschnittlich 7,5 Rampen je Seite der Pyramide ergeben sich bei insgesamt 48893 Schlittenladungen 6519 Arbeitstakte. Daraus errechnet sich für den **Rückbau** der Arbeitsplattform ein Zeitraum von etwa **0,5 Jahren**.

Das nach Fertigstellung der Pyramide zu entsorgende Baumaterial der Rampen entlang der Arbeitsplattform, welches zum Teil aus Nilschlammziegeln bestand, hat mit ca. 60 000 m³ etwa ¼ des Volumens der Pyramide. Das Ziegelmaterial konnte in der Landwirtschaft wieder verwendet werden; der übrige Bauschutt wurde an den nordöstlichen Abhängen des Wüstenplateaus bzw. im südlichen Umfeld der Pyramiden auf dem Gisa-Plateau gelagert⁸³⁷.

8.2.3.3 Berechnung des Zeitaufwandes für die Glättung der Außenverkleidung

Der notwendige Zeitaufwand für die Glättung der Außenverkleidung kann nur grob geschätzt werden. Es wird davon ausgegangen, dass pro Arbeitstag (10 Stunden, Schichtbetrieb) von einem Arbeiterteam eine Fläche der in Bosse stehenden Steine der Außenverkleidung (Tura-kalkstein ab der 17. Verkleidungssteinlage) von 1,0 m mal 1,0 m geglättet werden kann. Für die Granitverkleidung (8 bzw. 16 Steinlagen)⁸³⁸ wird dieser Wert auf 0,5 m mal 0,5 m reduziert.⁸³⁹ Die Tatsache, dass die Glättungsarbeiten der unteren 16 Steinlagen (Granitverkleidung) nicht vollständig durchgeführt wurden, wird nicht berücksichtigt.

Zur Berechnung der Dauer der Glättungsarbeiten wird die Außenfläche der Pyramide in 7 Pyramidenstümpfe mit der Stufenanordnung nach Abb. 8.2.2.1 und der jeweiligen Stufenhöhe entspr. Abb. 8.3.1 unterteilt und jeweilige Fläche der vier Seiten und die der Pyramidenspitze berechnet. Dabei wird der Umfang der einzelnen Pyramidenstümpfe jeweils in deren halber Höhe zugrunde gelegt:

Stufe	Fläche	Umfang	Arbeitstage	Anzahl der Teams	Dauer (Tage)
1	3230 m ²	396 m	12920	197	66
2	2767 m ²	332 m	11069	168	66
3	2448 m ²	288 m	2448	144	17
4	1967 m ²	234 m	1967	116	17
5	1533 m ²	182 m	1532	91	17
6	1044 m ²	124 m	1044	62	17
7	635 m ²	76 m	635	38	17

⁸³⁷ Näheres siehe bei Haase, Steinbruch.

⁸³⁸ Nach Maragioglio (VI, Addenda, TAV.4, Fig.2) waren mit Sicherheit die unteren 8 Schichten der Außenverkleidung (dies entspricht der Höhe der Stufe 1 in Abb. 8.3.1), eventuell sogar die unteren 16 Schichten in Granit ausgeführt. Um sicherzugehen, wird bei o.g. Berechnung von 16 Schichten Granit ausgegangen.

⁸³⁹ Nach Auskunft von zwei älteren Steinmetzen aus der Eifel mit 50 jähriger Berufserfahrung kann eine sehr unebene Fläche von 1 m³ aus mittelhartem Kalkstein (Savangniere Stein, französischer Jura) mit einer Genauigkeit von 0,5mm über die gesamte Fläche mit heutigen Werkzeugen in etwa 4–5 Stunden bearbeitet werden. Legt man die weicheren Kupfermeißel des AR zugrunde, können 10 Arbeitsstunden als realistischer Wert für eine vergleichbare Arbeit angenommen werden.

Spitze	80 m ²	11 m	80	4	20
Gesamtdauer der Glättung					237

Um gegenseitige Behinderungen zu vermeiden, besteht zwischen zwei Arbeitsteams jeweils ein Abstand von 1 m. Daraus ergeben sich die Anzahl der maximal einsetzbaren Teams pro Pyramidenstumpf und die Anzahl der Arbeitstage für dessen Glättung gemäß vorstehend aufgeführter Berechnung. Durch den Einsatz von maximal ca. 197 Teams kann diese Arbeitsleistung auch im unteren Teil der Pyramide und zeitgleich auf allen vier Seiten der Pyramide erbracht werden. Die Anzahl der benötigten Teams steigt im Verlauf der Glättungsarbeiten stetig an; neue Teams konnten so ständig ausgebildet bzw. eingearbeitet werden. Bei der Höhe der Pyramide von 65 m ergeben sich für die Glättung insgesamt ca. 237 Tage bzw. **0,8 Jahre**. Hinzu kommt, dass ein Teil der unteren Granitsteinlagen nicht geglättet wurde, sodass sich eine geringere Zeit für die Glättungsarbeiten ergibt.

Dieser Zeitbedarf liegt geringfügig über der für den Rückbau der Bauplattform benötigten Zeitspanne von 0.5 Jahren. Berücksichtigt werden muss jedoch noch die Tatsache, dass der Rückbau der Arbeitsplattform und der Rampen koordiniert mit den Glättungsarbeiten durchgeführt werden muss und es immer wieder zu Unterbrechungen der Rückbauarbeiten wegen gegenseitiger Behinderung der verschiedenen Arbeiten kommt. Dafür werden **weitere 0,2 Jahre** angenommen.

8.2.3.4 Bauzeit für die Pyramide des Mykerinos

Die Bauzeit der Pyramide des Mykerinos berechnet sich somit ohne vorbereitende Arbeiten:

Bau des Kernmauerwerks	2,1 Jahre
Verkleidungsmauerwerk etc.	1,5 Jahre
Rückbau der Arbeitsplattform	0,5 Jahre
Glättung zusätzlich	0,5 Jahre

Somit ergibt sich eine Bauzeit (ohne Vorbereitungsarbeiten) von insgesamt **ca. 4,6 Jahren**.

Beim Bau der Pyramide des Mykerinos wurden durchschnittlich ca. 202 m³ bzw. 186 Steinblöcke pro Tag transportiert.

8.3 Eine vergleichende Betrachtung mit den Bauzeiten der Roten Pyramide und der Cheopspyramide

Die anhand des Baus der Pyramide des Mykerinos durchgeführte Berechnung der Bauzeit wird an zwei weiteren Pyramiden, deren Bauzeit weitgehend bekannt ist, „gespiegelt“. Dabei handelt es sich um überschlägige Vergleichsrechnungen, mit denen eine ungefähre Bauzeit ermittelt wird. Die angenommene Anordnung der Stufen des Kernmauerwerks und der Rampen sowie die Taktzeiten sind dafür ein Vorschlag. Der Bau des Verkleidungsmauerwerks, der äußeren Verkleidung, der Außenverkleidung und der Arbeitsplattform sowie deren Rückbau und das Glätten der Außenverkleidung wird nach dem gleichen Prinzip wie bei der Pyramide des Mykerinos vorgenommen.

8.3.1 Berechnung der Bauzeit der Roten Pyramide

Für eine überschlägige Abschätzung der reinen Bauzeit der Roten Pyramide nach der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Hypothese müssen ebenfalls Annahmen über die – archäologisch zum Teil nicht belegbaren – Abmessungen und die Zahl der Stufen des Kernmauerwerks sowie weitere Festlegungen getroffen werden:

- Die Stufenhöhe wird mit 10 m angenommen. Daraus ergibt sich dann eine Zahl von 10 Stufen.
- Die durchschnittliche Größe der Steinblöcke des Verkleidungs- und Kernmauerwerks wird mit etwa 0,7 m Höhe, 1,1 m Breite und 1,0 m Tiefe angenommen.⁸⁴⁰ Dies entspricht einem Volumen von 0,77 m³ mit einem Gewicht von 1,9 t.
- Die Taktzeit wird trotz der etwas längeren Rampen mit Blick auf das geringere Durchschnittsgewicht als bei der Pyramide des Mykerinos dennoch ebenfalls mit 15 min angenommen.
- Die Zahl der Arbeitstage/Jahr und der Arbeitsstunden/Tag werden analog zu den Werten bei den Berechnungen der Pyramide des Mykerinos angesetzt.
- Der Bau der beiden weitgehend unterirdisch gelegenen Grabkammern wird nicht gesondert betrachtet.

Eine sich daraus für die Rote Pyramide ergebende Schnittzeichnung des angenommenen Kernmauerwerks mit einer Anordnung der Stufen ist in Abb. 8.3.1.1 dargestellt.

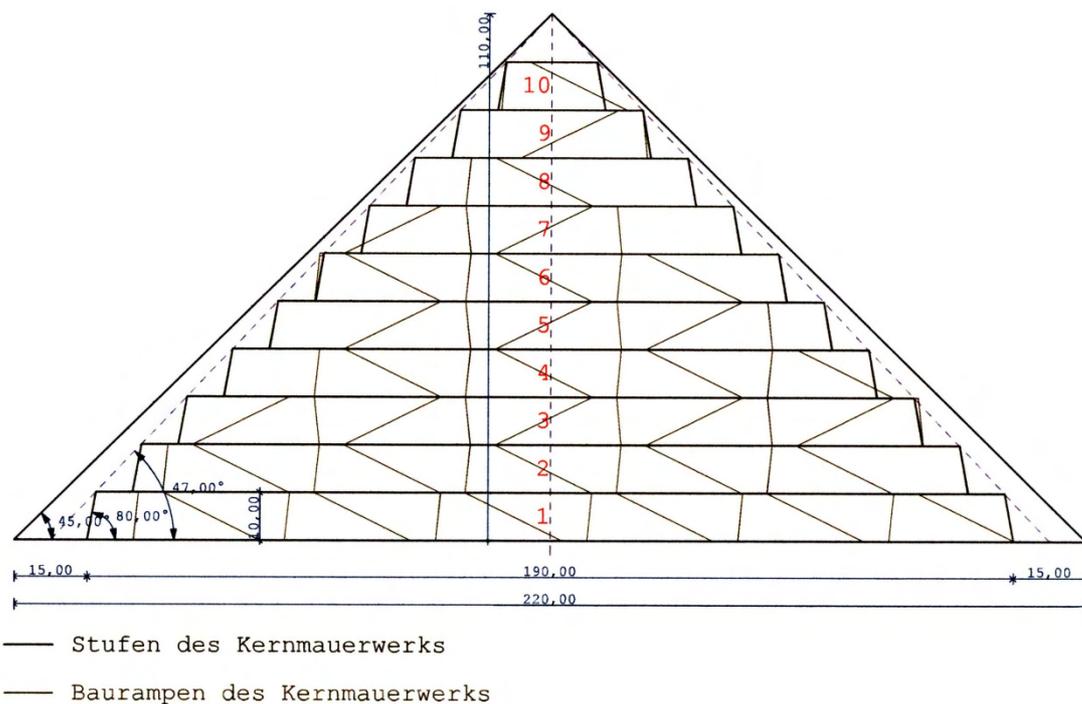


Abb. 8.3.1.1 Anordnung der Rampen für den Bau des Kernmauerwerks der Roten Pyramide (Maßangaben in m)

⁸⁴⁰ Perring, *Pyramids I*, hat die Höhe der unteren 21 Steinstufen des Verkleidungsmauerwerks mit insgesamt 21,4 m – also mit einer durchschnittlichen Stufenhöhe von 1,02 m – und die Breite mit 0,9 m angegeben (Maragioglio, III Addenda, TAV.18, Fig.3); Maragioglio gibt die Steinhöhen am Eingang mit durchschnittlich 50–70 cm (Maragioglio, III, S.126) und deren Tiefe mit 0,90–1,2 m an (Maragioglio, III, Addenda, TAV.19, Fig.6). Stadelmann, MDAIK 38, nennt für die Ecksteine des Verkleidungsmauerwerks bis zu einer Höhe von $\frac{2}{3}$ der Pyramide Abmessungen von 1–1,3 m Höhe; Lepsius beschreibt die Blöcke des Kernmauerwerks als im Ganzen „...vielleicht nicht so groß wie in Gisa...“ (Lepsius, Textband I, S.206).

Die 10 Stufen des **Kernmauerwerks** haben folgende Volumina bzw. bestehen aus folgender Anzahl der Steinblöcke je 0,77 m³:

Stufe 1	354305 m ³	460136 Ladungen
Stufe 2	287642 m ³	373561
Stufe 3	227828 m ³	295881
Stufe 4	175033 m ³	227316
Stufe 5	129140 m ³	167714
Stufe 6	90250 m ³	117208
Stufe 7	58293 m ³	75705
Stufe 8	33290 m ³	43234
Stufe 9	15257 m ³	19814
Stufe 10	4166 m ³	5410
	1375204 m ³	1785979 Steinblöcke

Damit ergeben sich unter den gleichen Annahmen wie beim Bau der Pyramide des Mykerinos für die Berechnung der erforderlichen Transportzeiten folgende Werte:

Stufe 1	460136 Ladungen	bei 24 Rampen	19172 Arbeitstakte
Stufe 2	373561	20 Rampen	18678
Stufe 3	295882	20 Rampen	14794
Stufe 4	227315	16 Rampen	14207
Stufe 5	167715	12 Rampen	13976
Stufe 6	117208	12 Rampen	9767
Stufe 7	75705	8 Rampen	9463
Stufe 8	43238	4 Rampen	10809
Stufe 9	19814	4 Rampen	4954
Stufe 10	5410	2 Rampen	2705
	Gesamtzahl Arbeitstakte		118525

Für die überschlägige Ermittlung der Bauzeit der Roten Pyramide (ohne Vorbereitungsarbeiten) wird wiederum angenommen, dass an 300 Tagen im Jahr und an 10 Stunden jedes dieser Tage (Schichtbetrieb) gearbeitet wurde, sodass pro Jahr bei der angenommenen Dauer von 15 min für einen Schleppvorgang insgesamt 12000 Arbeitstakte durchgeführt werden konnten.

Für den Steintransport beim Bau des **Kernmauerwerks** der Roten Pyramide wurden unter diesen Annahmen **9,9 Jahre** benötigt.

Das **Transportvolumen** und die **Bauzeit** für die außen angebrachte **Arbeitsplattform**, des Verkleidungsmauerwerks und der Außenverkleidung (Abb. 8.3.1.2) berechnen sich wie folgt:

Die elf Pyramidenstümpfe der **Arbeitsplattform** (einschließlich des Verkleidungsmauerwerks und der Außenverkleidung) haben **ohne** das Kernmauerwerk folgende Volumina bzw. bestehen aus folgender Anzahl von Schlittenladungen mit einem Volumen von wiederum durchschnittlich 0,77 m³:

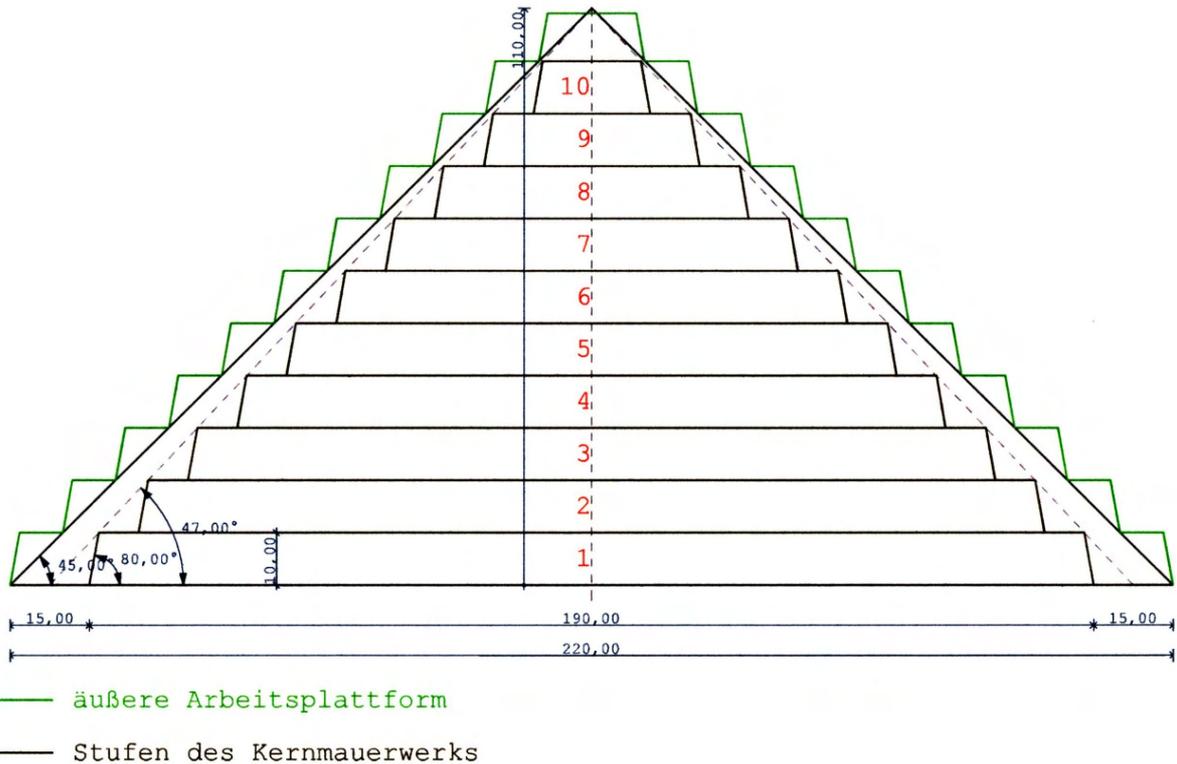


Abb. 8.3.1.2 Arbeitsplattformen bei der Roten Pyramide (äußere Stufen; Maßangaben in m); die Stufen im Inneren der Pyramide stellen das Kernmauerwerk dar.

Stufe 1	116585 m ³ bzw. 151409 Schlittenladungen bei	28 Rampen ⁸⁴¹	5407 Arbeitstakte
Stufe 2	96518 m ³ bzw. 125348	20 Rampen	6267
Stufe 3	85462 m ³ bzw. 110990	20 Rampen	5550
Stufe 4	71457 m ³ bzw. 92801	16 Rampen	5800
Stufe 5	58550 m ³ bzw. 76039	16 Rampen	4752
Stufe 6	46640 m ³ bzw. 60571	12 Rampen	5048
Stufe 7	35797 m ³ bzw. 46490	12 Rampen	3874
Stufe 8	26000 m ³ bzw. 33766	8 Rampen	4221
Stufe 9	18383 m ³ bzw. 23874	4 Rampen	5969
Stufe 10	10274 m ³ bzw. 13343	4 Rampen	3336
Stufe 11 ⁸⁴²	3610 m ³ bzw. 4688	2 Rampen	2344

Für den Bau von 35 Rampen pro Pyramidenseite mit je 378 m³ ergeben sich

52920 m³ bzw. 68727 Schlittenladungen bei 14 Rampen⁸⁴³ 4909 Arbeitstakte

622196 m³

Gesamtzahl der Arbeitstakte 57477

Die Bauzeit für die Arbeitsplattform, das Verkleidungsmauerwerks, die äußere Verkleidung und die Außenverkleidung beträgt somit unter Berücksichtigung der gemachten Annahmen ca. **4,8 Jahre**.

⁸⁴¹ Die Anzahl der Rampen vergrößert sich durch die breitere Basis der Bauplattformen.

⁸⁴² Einschließlich Pyramidion.

⁸⁴³ Im Durchschnitt können in den Stufen 1–10 auf allen vier Seiten der Pyramide je 14 Rampen gebaut werden.

Anschließend müssen die Baurampen und die Arbeitsplattform wieder demontiert und die in Bosse stehenden Steine der Außenverkleidung geglättet werden. Die dafür notwendige Zeit wird wie folgt berechnet:

Gesamtvolumen der Pyramide einschließlich Arbeitsplattform	1944480 m ³
Gesamtvolumen der äußeren Baurampen	52920 m ³
abzüglich Volumen der Pyramide	./ 1774667 m ³
restliches, zu entsorgendes Baumaterial	<hr/> 222733 m ³

Bei gleichzeitiger Nutzung von durchschnittlich 14 Rampen errechnen sich bei insgesamt 289264 Schlittenladungen rund 20662 Arbeitstakte. Daraus ergibt sich für den reinen Rückbau der Bauplattform der Pyramide eine Zeit von **1,7 Jahren**.

Das nach Fertigstellung der Pyramide zu entsorgende Baumaterial, welches zum Teil aus Nilschlammziegeln bestand, hat mit ca. 220 000 m³ etwa 12 % des Volumens der Roten Pyramide. Das Ziegelmaterial konnte in der Landwirtschaft wieder verwendet werden; der übrige Bauschutt wurde im Umfeld und in den Steinbrüchen gelagert.

Der für die **Glättung** der Außenverkleidung erforderliche Zeitaufwand berechnet sich unter denselben Annahmen wie bei den Berechnungen der Zeitdauer für die Pyramide des Mykerinos – jedoch unter der Voraussetzung einer ausschließlich aus Kalkstein bestehenden Außenverkleidung sowie einer Einteilung in 10 Stufen (Abb. 8.3.1.1) – wie folgt:

Stufe	Fläche	Umfang	Arbeitstage	Anzahl der Teams	Dauer (Tage)
1	8415 m ²	840 m	8415	410	21
2	7612 m ²	760 m	7612	380	20
3	6809 m ²	680 m	6809	340	20
4	6038 m ²	604 m	6038	302	20
5	5267 m ²	528 m	5267	264	20
6	4464 m ²	448 m	4464	224	20
7	3661 m ²	368 m	3661	184	20
8	2858 m ²	286 m	2858	143	20
9	2088 m ²	208 m	2858	104	20
10	1253 m ²	124 m	1253	60	21
Spitze	514 m ²	52 m	514	24	21
Gesamtdauer der Glättung					<hr/> 223

Für die Glättung ergeben sich somit ca. **0,8 Jahre**. Es wird wiederum davon ausgegangen, dass wegen der Koordinierungen zwischen Rückbau und Glättung eine gewisse Zeit hinzuge-rechnet werden muss. Diese wird mit ca. **0,5 Jahren** angesetzt und muss zusätzlich zu der Zeit, die für den Rückbau benötigt wird, berücksichtigt werden.

Die Bauzeit der Roten Pyramide berechnet sich somit ohne Berücksichtigung der Vorbereitungsarbeiten:

Bau des Kernmauerwerks	9,9 Jahre
Verkleidungsmauerwerk etc.	4,8 Jahre

Rückbau der Arbeitsplattform	1,7 Jahre
Glättung zusätzlich	0,5 Jahre

Somit ergibt sich eine Bauzeit (ohne Vorbereitungsarbeiten) von insgesamt **ca. 16,9 Jahren**.

Stadelmann hat – wie bereits an anderer Stelle erwähnt – bei seinen Grabungen an der Roten Pyramide in der Südwestecke einen mit dem Datum der Grundsteinlegung („15. Mal der Zählung“) gekennzeichneten Fundamentstein gefunden.⁸⁴⁴ Ein weiterer Fund eines Backing Stone stammt aus der 16./17. Lage mit einer Bezeichnung „16. Mal“ ohne den Zusatz der „Zählung“. Ein Bruchstück eines sehr beschädigten Backing Stone weist die Beschriftung „Jahr des 24. Mals ... Jahreszeit“ auf.

Die Berechnungen von Stadelmann (Kapitel 6 „Bauzeiten der Pyramiden“) ergeben aufgrund der archäologischen Funde beschrifteter und datierter Backing Stones für die Bauzeit der ersten 12 m drei Jahre und für die Errichtung des Kernmaterials der Pyramide 15 Jahre.

Die Errichtung der ersten 12 m des Pyramidenkörpers erfordert den Transport und die Verlegung von ca. 573000 Steinblöcken in ca. 23900 Arbeitstakten (Stufe 1) und von ca. 100000 Steinblöcken in ca. 5000 Arbeitstakten (2 m der Stufe 2). 28900 Arbeitstakte entsprechen einer Bauzeit von 2½ Jahren. Die Aussagen Stadelmanns decken somit grundsätzlich mit vorstehend durchgeführten Berechnungen.

Bei dem Transport von ca. 2,59 Mio. Steinblöcken während 300 Arbeitstagen über 15 Jahre hinweg ergibt sich eine durchschnittliche tägliche Transportleistung von 576 Steinblöcken bei einem durchschnittlichen Volumen von 0,77 m³ je Block bzw. ein tägliches Transportvolumen von 443 m³.⁸⁴⁵

8.3.2 Berechnung der Bauzeit der Cheopspyramide

Für eine Abschätzung der reinen Bauzeit der Cheopspyramide nach der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Hypothese müssen ebenfalls Annahmen über die – archäologisch zum Teil nicht nachweisbaren – Abmessungen und die Zahl der Stufen des Kernmauerwerks sowie weitere Festlegungen getroffen werden:

- Ausgangspunkt sind eigene Beobachtungen (siehe Kapitel 5.1.2.2 „Die Cheopspyramide“): Im so genannten „Grabräubergang“ ändert sich in der 7. Steinschicht (Unterkante 7,06 m über der Fundamentschicht) die Struktur des Kernmauerwerks in einer Entfernung von ca. 15 m vom Eingang. Unter Berücksichtigung der horizontalen Abmessungen der Außenmauer der ersten Kernstufe (1 m) und des nicht mehr vorhandenen Verkleidungsmauerwerks und der Außenverkleidung (ca. 3 m) sowie der Neigung der Außenmauer der Kernstufen (80°) ergibt sich eine Basislänge der ersten Stufe des Kernmauerwerks von ca. 197 m (375 Ellen).⁸⁴⁶

⁸⁴⁴ Stadelmann, Pyramiden, S.100.

⁸⁴⁵ Verner geht von einer täglichen Transportleistung von 300 bis 600 Steinblöcken aus (Verner, Pyramiden, S.89); Haase nennt eine Tagesleistung von 322 m³ (Haase, Cheops, S.26).

⁸⁴⁶ Dabei handelt es sich um eine rechnerisch ermittelte Annahme, welche die Stellen des Felskerns, die bis zum Verkleidungsmauerwerk reichen, außer Betracht lässt. Gleiches gilt für die vorgeschlagene Rampenanordnung entlang der 1.Stufe des Kernmauerwerks.

- Weiterhin werden eine Stufenhöhe von 11 m und die Zahl der Stufen mit 12 zugrunde gelegt.⁸⁴⁷
- Die Breite der Stufen ergibt sich dann unter Berücksichtigung der Fluchtlinie von 54°30' entlang der Seitenkanten der Stufen des Kernmauerwerks zu 5,75 m.
- Die Taktzeit wird wegen der längeren Rampen gegenüber der Pyramide des Mykerinos mit 20 min angenommen.
- Das Volumen des Felskerns in der Basis der Pyramide wurde von Haase mit etwa 7,9 %⁸⁴⁸ bzw. neuerdings mit 7,7 %, also ca. 200000 m³,⁸⁴⁹ der gesamten Baumasse berechnet. Goyon nennt ein Volumen zwischen 127000 und 160000 m³.⁸⁵⁰ Das Volumen des Felskerns wird in die Berechnungen miteinbezogen.
- Die weiteren Baudaten wie Zahl der Arbeitstage/Jahr und Steingrößen, durchschnittliches Gewicht der Steinblöcke etc. werden analog zu den Berechnungen der Pyramide des Mykerinos angesetzt.⁸⁵¹

Einen Vergleich mit den entsprechenden Werten der Königinnenpyramiden G III a – G III c und der Pyramide des Mykerinos zeigt nachstehende Aufstellung:

	G I a – G I c ⁸⁵²	G III a – G III c ⁸⁵³	Mykerinos	Cheops
Basislänge	47 m	44 m	104 m ⁸⁵⁴	230 m ⁸⁵⁵
Höhe	30 m	30 m	66 m ⁸⁵⁶	150 m ⁸⁵⁷
Anzahl der Stufen	4	4	7 ⁸⁵⁸	12 ⁸⁵⁹
Stufenhöhe	6	5 m	8,4 m ⁸⁶⁰	11 m ⁸⁶¹
Stufenbreite	3,5 m	3,5 m	4,4 m ⁸⁶²	5,75 m ⁸⁶³
Basislänge der Stufe 1	32 m	31 m	80 m ⁸⁶⁴	197 m ⁸⁶⁵

Eine sich daraus für die Cheopspyramide ergebende Darstellung des angenommenen Kernmauerwerks mit einer Anordnung der Stufen ist in Abb. 8.3.2.1 dargestellt.

⁸⁴⁷ Graefe, Pyramidenbau, nimmt bei 11 Stufen für die Höhe der Kernstufen 13 m und für die Stufenbreite 7,35 m an. Die Fluchtlinie der Stufenkanten in der Seitenfläche liegt damit ebenfalls bei 54,5 ° (Kapitel 7.4.4 „Vorschlag von Graefe“).

⁸⁴⁸ Haase, Felskern.

⁸⁴⁹ Haase, Cheops, S.17.

⁸⁵⁰ Goyon, Cheopspyramide, S.117.

⁸⁵¹ In verschiedenen Veröffentlichungen wird immer von einem Durchschnittsvolumen von 1 m³ für einen Steinblock und von einem theoretischen Volumen der Pyramide von 2,3 Mio. m³ – ohne Berücksichtigung des Felskerns, der Hohlräume sowie des Mörtel- und Schuttanteils – ausgegangen.

⁸⁵² Durchschnittswerte nach Jánosi, S.77ff.

⁸⁵³ Durchschnittswerte, ermittelt aus Maragioglio IV, Addenda, TAV.12, Fig.1, TAV.13, Fig.2, TAV.14, Fig.3.

⁸⁵⁴ Faktor 2,36 gegenüber G III a – G III c.

⁸⁵⁵ Faktor 2,1 gegenüber Mykerinos.

⁸⁵⁶ Faktor 2,36 gegenüber G III a – G III c.

⁸⁵⁷ Faktor 2,27 gegenüber Mykerinos.

⁸⁵⁸ Faktor 1,75 gegenüber G III a – G III c.

⁸⁵⁹ Faktor 1,71 gegenüber Mykerinos; Graefe nimmt 11 Stufen an.

⁸⁶⁰ Faktor 1,31 gegenüber G III a – G III c.

⁸⁶¹ Faktor 1,43 gegenüber Mykerinos.

⁸⁶² Faktor 1,26 gegenüber G III a – G III c.

⁸⁶³ Faktor 1,31 gegenüber Mykerinos.

⁸⁶⁴ Faktor 2,58 gegenüber G III a – G III c.

⁸⁶⁵ Faktor 2,46 gegenüber Mykerinos.

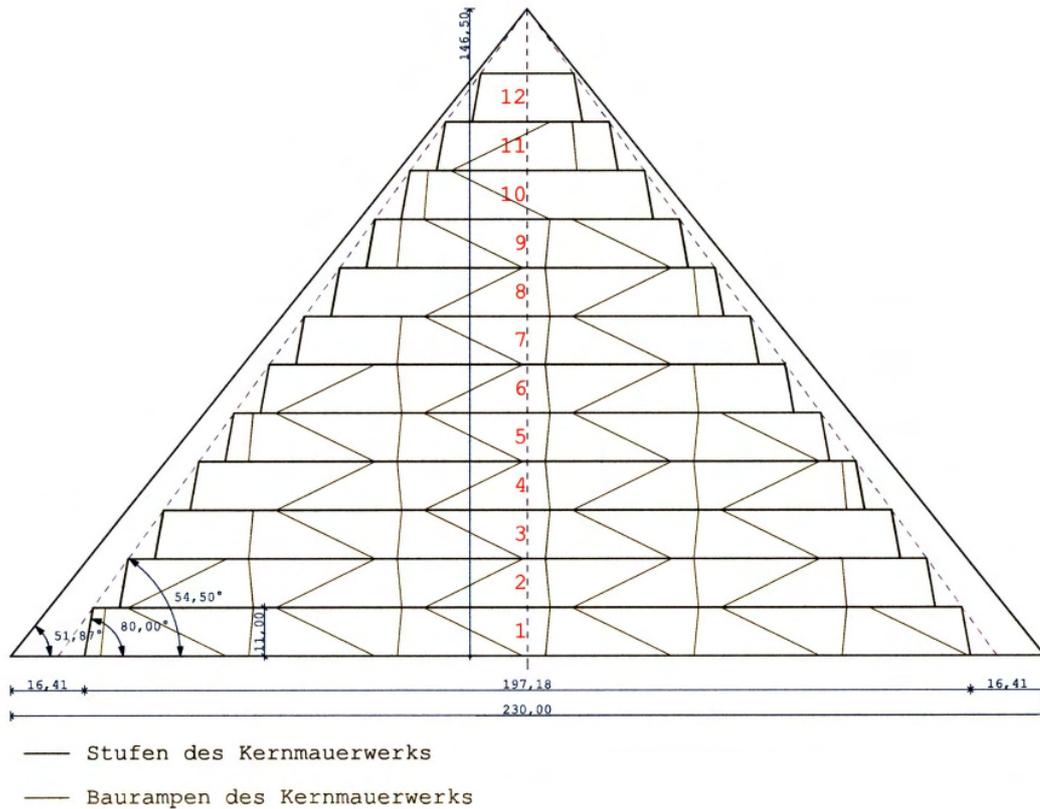


Abb. 8.3.2.1 Anordnung der Rampen beim Bau des Kernmauerwerks der Cheopspyramide (Maßangabe in m)

Die 12 Pyramidenstümpfe des **Kernmauerwerks** haben nachstehend genannte Volumina bzw. bestehen aus folgender Anzahl der Steinblöcke durchschnittlich je 1,2 m³:⁸⁶⁶

Stufe 1	482275 m ³	401896 Ladungen
Stufe 2	354620 m ³	295517
Stufe 3	295315 m ³	246096
Stufe 4	241465 m ³	201221
Stufe 5	193031 m ³	160859
Stufe 6	150013 m ³	125011
Stufe 7	112389 m ³	93658
Stufe 8	80206 m ³	66838
Stufe 9	53439 m ³	44533
Stufe 10	32076 m ³	26730
Stufe 11	16153 m ³	13461
Stufe 12	5628 m ³	4690
	1952610 m ³ ⁸⁶⁷	1680510 Ladungen

⁸⁶⁶ Die durchschnittliche Größe der bei der Cheopspyramide verbauten Steine unterscheidet sich wesentlich von der der Roten Pyramide; sie ist mit derjenigen der Pyramide des Mykerinos vergleichbar. Lehner geht von einem durchschnittlichen Gewicht von 2,5 t und somit von einem Volumen von ca. 1 m³ aus (Lehner, Geheimnis, S.108).

⁸⁶⁷ Die Ungenauigkeit zum berechneten Volumen (230,3 m Basislänge, 146,5 m Höhe) von 2,59 Mio. m³ ist durch Auf- und Abrundungen sowie durch zeichnerische Maßnahmen bedingt.

Damit ergeben sich unter den gleichen Annahmen wie beim Bau der Pyramide des Mykerinos für die Berechnung der erforderlichen Transportzeiten folgende Werte:

Stufe 1	401896 Ladungen	bei 24 Rampen	16746 Arbeitstakte
Stufe 2	295517	20 Rampen	14778
Stufe 3	246096	16 Rampen	15381
Stufe 4	201221	16 Rampen	12576
Stufe 5	160859	16 Rampen	10054
Stufe 6	125011	12 Rampen	10418
Stufe 7	93657	8 Rampen	11707
Stufe 8	66838	8 Rampen	8355
Stufe 9	44532	8 Rampen	5567
Stufe 10	26730	4 Rampen	6683
Stufe 11	13461	4 Rampen	3365
Stufe 12	4690	1 Rampen	4690
Gesamtzahl Arbeitstakte			120320

Für die überschlägige Ermittlung der Bauzeit der Cheopspyramide (ohne vorbereitende Maßnahmen) wird ebenso wieder angenommen, dass an 300 Tagen im Jahr und an 10 Stunden jeder dieser Tage (Schichtbetrieb) gearbeitet wurde, sodass pro Jahr bei einer angenommenen Dauer von 20 min für einen Schleppvorgang insgesamt 9000 Arbeitstakte stattfinden konnten.

Für den Steintransport beim Bau des **Kernmauerwerks** der Pyramide wurden demnach 13,4 Jahre benötigt. Dieser Wert verringert sich um $\frac{3}{4}$ Jahr auf **insgesamt 12,6 Jahre** unter Berücksichtigung des Volumens des Felssporns.

Das Transportvolumen und somit die Bauzeit für die außen angebrachte Arbeitsplattform, des Verkleidungsmauerwerks und der Außenverkleidung berechnet sich wie folgt:

Die dreizehn Pyramidenstümpfe der **Arbeitsplattform** (einschließlich des Verkleidungsmauerwerks und der Außenverkleidung, Abb. 8.3.2.2) haben **ohne** das Kernmauerwerk folgende Volumina bzw. bestehen aus folgender Anzahl von Schlittenladungen mit einem Volumen von wiederum durchschnittlich 1,2 m³:

Stufe 1	143561 m ³ bzw. 119634 Schlittenladungen	bei 28 Rampen	4273 Arbeitstakte
Stufe 2	125871 m ³ bzw. 104893	24 Rampen	4187
Stufe 3	110189 m ³ bzw. 91824	20 Rampen	4591
Stufe 4	99271 m ³ bzw. 82726	20 Rampen	4136
Stufe 5	85060 m ³ bzw. 70883	16 Rampen	4430
Stufe 6	68678 m ³ bzw. 57232 Schlittenladungen	bei 16 Rampen	3577 Arbeitstakte
Stufe 7	56747 m ³ bzw. 47289	12 Rampen	3941
Stufe 8	45733 m ³ bzw. 38111	12 Rampen	3176
Stufe 9	37652 m ³ bzw. 31377	8 Rampen	4672
Stufe 10	28160 m ³ bzw. 23467	8 Rampen	2933
Stufe 11	18343 m ³ bzw. 15286	4 Rampen	3822
Stufe 12	11103 m ³ bzw. 9253	2 Rampen	4627
Stufe 13 ⁸⁶⁸	4400 m ³ bzw. 3667	2 Rampen	1834

⁸⁶⁸ Einschließlich Pyramidion.

Für den Bau von 43 Rampen pro Pyramidenseite mit je 378 m³ ergeben sich

65016 m³ bzw. 54180 Schlittenladungen bei 14 Rampen⁸⁶⁹ 3870 Arbeitstakte

899784 m³

Gesamtzahl der Arbeitstakte 54079

Die Bauzeit für die Bauplattform, das Verkleidungsmauerwerk etc. beträgt somit ca. **6 Jahre**.

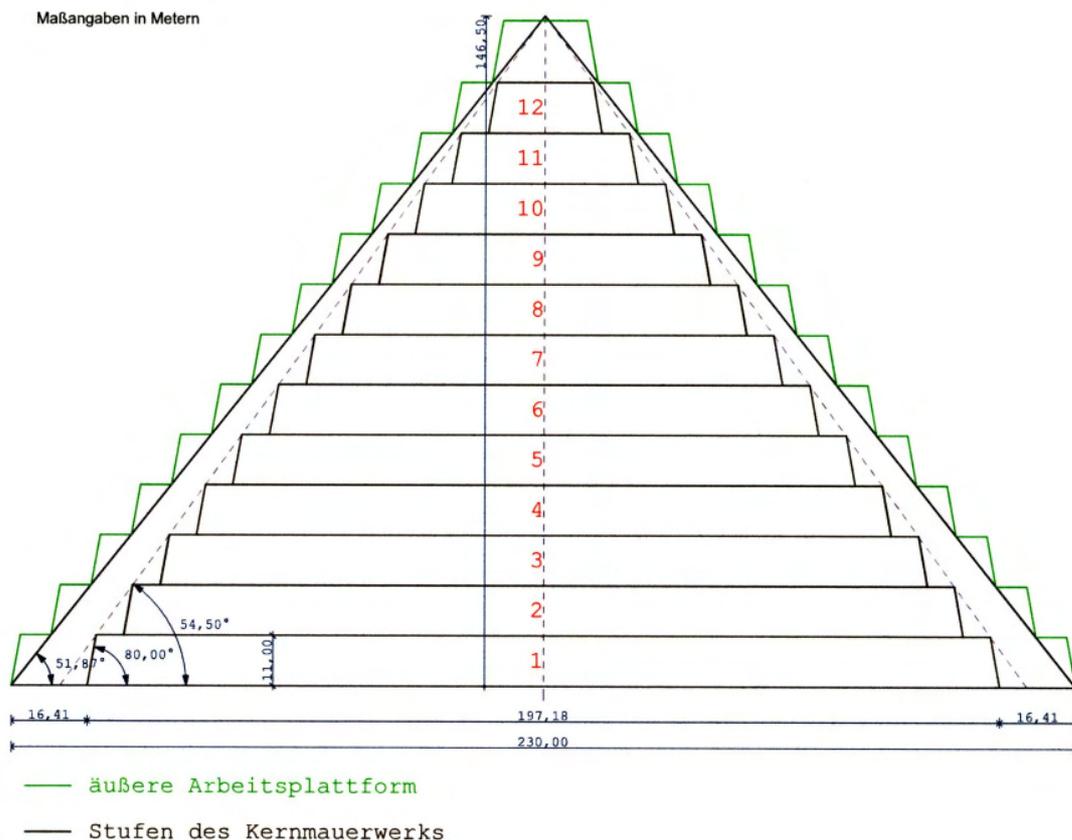


Abb. 8.3.2.2 äußere Bauplattformen bei der Cheopspyramide; die Stufen im Inneren der Pyramide stellen das Kernmauerwerk dar.

Anschließend müssen die Arbeitsplattform und die Baurampen wieder demontiert und die in Bosse stehende Außenverkleidung geglättet werden. Die dafür notwendige Zeit wird wie folgt berechnet:

Gesamtvolumen der Pyramide einschließlich Arbeitsplattform	2787378 m ³
Gesamtvolumen der äußeren Baurampen	65016 m ³
abzüglich Volumen der Pyramide	<u>./.</u> 2583280 m ³
restliches, zu entsorgendes Baumaterial	269114 m ³

Bei gleichzeitiger Nutzung von durchschnittlich 14 Rampen ergeben sich bei insgesamt 224262 Schlittenladungen rund 16019 Arbeitstakte.

⁸⁶⁹ Im Durchschnitt können in den Stufen 1–12 auf allen vier Seiten der Pyramide je 14 Rampen gebaut werden.

Daraus ergibt sich für den reinen Rückbau der Bauplatzform der Pyramide eine Zeit von **1,8 Jahren**.

Das nach Fertigstellung der Pyramide zu entsorgende Baumaterial, welches zum Teil aus Nilschlammziegeln bestand, hat mit ca. 270 000 m³ etwa 10,5 % des Volumens der Cheopspyramide. Das Ziegelmaterial (Nilschlamm) konnte in der Landwirtschaft als Düngemittel wieder verwendet werden; der übrige Bauschutt wurde – wie bereits bei der Pyramide des Mykerinos erwähnt – an den nordöstlichen Abhängen des Wüstenplateaus bzw. im südlichen Umfeld der Pyramiden auf dem Gisa-Plateau gelagert.

Der notwendige Zeitaufwand für die Glättung der Außenverkleidung kann wiederum unter vergleichbaren Annahmen wie bei der Pyramide des Mykerinos und der Roten Pyramide berechnet werden: Pro Arbeitstag kann von einem Arbeiterteam eine Fläche der in Bosse stehenden Steine der Außenverkleidung (Kalkstein) von 1 m mal 1 m geglättet werden. Durch Einsatz vieler Arbeitsteams kann diese Leistung sowohl im unteren Teil der Pyramide als auch auf allen vier Seiten der Pyramide gleichzeitig erbracht werden. Entsprechend Abb. 8.3.2.1 wird von 12 Stufen mit einer Höhe von je 11 m ausgegangen.

Stufe	Fläche	Umfang	Arbeitstage	Anzahl der Teams	Dauer (Tage)
1	9748 m ²	882 m	9748	440	22
2	9004 m ²	819 m	9004	408	22
3	8260 m ²	751 m	8260	374	22
4	7478 m ²	680 m	7478	340	22
5	6734 m ²	612 m	6734	306	22
6	5990 m ²	544 m	5990	272	22
7	5209 m ²	474 m	5209	236	22
8	4465 m ²	406 m	4465	202	22
9	3721 m ²	338 m	3721	168	22
10	2939 m ²	267 m	2939	132	22
11	2158 m ²	196 m	2158	98	22
12	1451 m ²	132 m	1451	66	22
Spitze	670 m ²	61 m	670	30	22
Gesamtdauer der Glättung					286

Bei der Höhe der Pyramide von 146 m ergeben sich somit für die Glättung insgesamt ca. 286 Tage bzw. ca. **1 Jahr**. Dieser Zeitraum liegt wiederum unter dem, der sich für den Rückbau der Arbeitsplattform ergibt. Wegen der Koordinierungen zwischen Rückbau und Glättung wird wiederum ein zusätzlicher Zeitraum hinzugerechnet werden müssen. Dieser wird mit **1 Jahr** angesetzt.

Die Bauzeit der Cheopspyramide (ohne vorbereitende Maßnahmen) errechnet sich bei Berücksichtigung des Volumens des Felskerns somit wie folgt:

Bau des Kernmauerwerks	12,4 Jahre
Verkleidungsmauerwerk etc.	6 Jahre
Rückbau der Arbeitsplattform	1,8 Jahre
Glättung zusätzlich	1 Jahr

Somit ergibt sich eine Bauzeit von insgesamt **ca. 21,2 Jahren**.

Einschließlich Vorbereitungsarbeiten von ca. 2 Jahren Dauer errechnet sich eine **Gesamtbauzeit von ca. 22 Jahren**. Dieses Ergebnis in etwa mit der von Herodot mit 20 Jahren angegebenen Bauzeit und mit der Dauer der Herrschaft des Cheops vergleichbar.

Bei dem Transport von ca. 2 Mio. Steinblöcken (bei Berücksichtigung des Felskerns) während 300 Arbeitstagen über 20,2 Jahre hinweg ergibt sich eine durchschnittliche tägliche Transportleistung von 327 Steinblöcken (393 m³).⁸⁷⁰

Diese Betrachtung mit den erläuterten Durchschnittswerten für Steinformate und -gewichte müsste bei einer genaueren Betrachtung für den Transport der großen Kalksteinblöcke über dem Eingang auf der Nordseite der Pyramide sowie der Granitblöcke unterschiedlicher Formate (Große Galerie, Grabkammern, Entlastungskammern, Fallsteinsysteme etc.) modifiziert werden. Dabei wäre es denkbar, dass im unteren Bereich an der Ostseite der Cheopspyramide einige der tangential angeordneten Rampen mit geringerer Neigung angelegt waren, um die größeren Steine mit einem Gewicht bis zu 60 t, die über den Aufweg angeliefert wurden, transportieren zu können. Vorstellbar wäre auch, dass der Aufweg mit gleich bleibender Steigung (10 zu 1) bis an die Pyramide bzw. in die Baustelle hinein geführt wurde, um so eine Höhe von 40–45 m über dem Nullniveau der Pyramide zu erreichen, von der aus dann die Deckenbalken der Entlastungskammern weiter nach oben transportiert werden konnten. Die dafür erforderlichen Betrachtungen waren jedoch nicht Bestandteil der Dissertation.

Aufgrund seiner Untersuchungen der topographischen Situation an der SW-Ecke zeigt Lehner auf, dass die vom Steinbruch vom Süden her kommende Rampe bei einer Verlängerung die Pyramide etwa 30 m über dem Nullniveau treffen würde.⁸⁷¹

Auf die kürzlich von Haase vorlegte Hypothese für eine Rampe für die Schwertransporte bei Bau der Cheopspyramide⁸⁷² sein an dieser Stelle nochmals hingewiesen (vergleiche auch Kapitel 4.3.2.5 „Cheopspyramide“).

8.4 Ausblick auf weitere Pyramiden des Alten Reiches

Die am Beispiel der Pyramide des Mykerinos als Hypothese vorgestellte und im Einzelnen erläuterte sowie an der Roten Pyramide und an der Cheopspyramide gespiegelte Bauweise für Stufenpyramiden gilt grundsätzlich auch für alle anderen Stufenpyramiden im AR. Auf den Stufen des Kernmauerwerks parallel zu diesen angeordnete Rampen in unterschiedlicher Ausführung (Neigung, Breite) und entsprechende Zugeinrichtungen sind beim Bau jeder Pyramide vorstellbar. Die beim Bau gewonnenen Erfahrungen fanden sicherlich bei Errichtung der nächsten Pyramiden ihre Anwendung. Dagegen bedarf die Klärung der Bauweise der Schichtpyramiden des AR noch weiterer Untersuchungen. Durch die Neigung der Schichten zur Pyramidenmitte hin ist der Einsatz von Rampen, wie sie für den Bau des Kernmauerwerks der Stufenpyramiden vorgeschlagen werden, ohne Modifizierung kaum vorstellbar. Vielleicht wurden die Schichtpyramiden mittels einer stetig mit wachsenden Arbeitsplattform gebaut.⁸⁷³

⁸⁷⁰ Verner geht von einer täglichen Transportleistung von 300 bis 600 Steinblöcken aus (Verner, Pyramiden, S.89).

⁸⁷¹ Lehner, Cheops Project.

⁸⁷² Haase, Rampe für Schwertransporte.

⁸⁷³ Goneim verweist im Rahmen seiner Untersuchungen der Pyramide des Sechemchet auf Dämme oder Rampen an der Ost-, West- und Südseite der Pyramide. Diese entstanden seiner Meinung nach beim Bau der Pyrami-

9. Zusammenfassung und Ergebnisse

Ziel der Dissertation war es – ausgehend vom Stand der aktuellen ägyptologischen Forschung – die wichtigsten der bisher bekannt gewordenen Hypothesen zum Bau der Pyramiden und entsprechende Bauvorschläge nach wissenschaftlichen Methoden zu analysieren und daraufhin zu überprüfen, inwieweit die Pyramiden des AR danach errichtet werden konnten. Darauf aufbauend wurde eine eigene, aus den archäologischen Befunden ableitbare und in sich widerspruchsfreie Hypothese für den Bau der Stufenpyramiden im AR entwickelt.

Verschiedenen bisher veröffentlichten Hypothesen zum Pyramidenbau (Stadelmann, Arnold, Lehner, Goyon, Klemm und Klemm, Lattermann, Houdin) liegt der Einsatz von senkrecht auf die Pyramiden zuführenden oder um die Pyramide herum angeordneten Rampen (Integralrampen) zugrunde. Andere Vorschläge beinhalten steile, parallel zu den Stufen des Kernmauerwerks angeordnete Rampen (Landt, Graefe). Weitere Bauvorschläge befassen sich mit dem Einsatz von Seilwinden (z.B. Riedl, Pitlik, Keyssner und Winkler). Bei den meisten Hypothesen wird jedoch entgegen den archäologischen Befunden von einer schichtweisen Verlegung des Kernmauerwerks ausgegangen. Ungelöst bleiben fast immer auch die Fragen des Aufsetzens des Pyramidion und der gefahrlosen Montage der Außenverkleidung sowie deren Glättung. Berechnungen zu Bauzeiten werden nur selten vorgelegt.

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen und Überlegungen führen zu der Schlussfolgerung, dass die bautechnischen Schwierigkeiten bei der Knickpyramide die Baumeister zwangen, eine andere, gegen Bodensenkungen und Erdstöße sichere Bauweise für den Bau der Roten Pyramide zu entwickeln, die darüber hinaus auch der Forderung des Königs nach einer schnellen Fertigstellung genügen konnte. Das Ergebnis war die Errichtung des Pyramidenkerns in Stufenform, um einerseits eine größere Stabilität des Baukörpers zu erzielen und andererseits über auf allen vier Seiten des Bauwerks parallel zum Kernmauerwerk angeordneten Tangentialrampen in möglichst kurzer Zeit viel Material zu transportieren. Hinzu kam die Verwendung größerer Steinformate. Beim anschließenden Bau der Cheopspyramide wurde diese Bauweise unter Verwendung noch größerer Steinformate übernommen, um dieses gewaltige Bauwerk in überschaubarer Zeit erstellen zu können.

Mit der hiermit vorgelegten Bauhypothese für die Stufenpyramiden im AR wird eine Kombination zwischen den archäologisch belegten Prinzipien der Rampe und der Walze in der Verwendung als Seilwinde vorgeschlagen. Damit können parallel zu den einzelnen Stufen des Kernmauerwerks und der äußeren Umbauung (Arbeitsplattform) angeordnete Rampen mit wesentlich größerer Neigung angenommen werden, als dies in bisher formulierten Bauhypothesen für den Materialtransport mittels Zugmannschaften möglich ist. Dadurch wird, wie am Beispiel der Pyramide des Mykerinos gezeigt, 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. Die Verwendung mehrerer Rampen mit einer großen Steigung (26,5°; Steigung 2:1) auf den einzelnen Stufen des Kernmauerwerks und der Umbauung sowie auf jeder Seite der Pyramide führt zu einem hohen Materialfluss und ermöglicht so eine zeitoptimierte Errichtung des Bauwerks.

de. Ferner seien unzweifelhaft Reste von weiteren Anschüttungen zu beobachten, die den Arbeitern den Zugang zum Arbeitsplatz ermöglichten. Goneim vermutet daher, dass die Schichten der Pyramide von einer auf allen Seiten der Pyramide angebrachten Aufschüttung aus Lehm aus errichtet wurden und schlägt somit erstmals eine Umbauung (Arbeitsplattform) vor.

Mit dieser neuen Hypothese zum Bau der Pyramiden im AR wird erstmals vorgeschlagen, im Anschluss an die Errichtung des Kernmauerwerks und nach Rückbau der dafür benötigten Baurampen den Bau des Verkleidungsmauerwerks, der äußeren Verkleidungsschicht und der Außenverkleidung mittels dafür wurden entlang der Außenseiten der Pyramide angeordneter stufenförmiger Arbeitsplattformen und Baurampen, die nach Fertigstellung der Pyramide im Takt mit der Glättung der Außenverkleidung von oben nach unten wieder abgebaut wurden, durchzuführen. Durch die Umbauung mit der Arbeitsplattform über die Fluchtlinie der Außenverkleidung der Pyramide hinaus ergibt sich eine einfache Methode zur Konstruktion der Pyramidenspitze und des Aufsetzens des Pyramidion.

Der Berechnung der Transportleistungen und den sich daraus ergebenden Bauzeiten liegen jeweils die ungünstigsten Annahmen wie Größe und Gewicht der Steinblöcke, große Gleitreibungszahl der Oberflächen der Rampen, lange Taktzeiten etc. zugrunde. Günstigere Werte würden zum Einsatz einer geringeren Anzahl von Rampen bzw. kürzeren Bauzeiten führen. Verschiedentlich sind auch bauliche Alternativlösungen (z.B. Oberfläche der Rampen) angesprochen, die jedoch die Bauweise nicht grundsätzlich beeinflussen.

Eine Berechnung der Bauzeiten für die Pyramiden des Mykerinos, des Snofru (Rote Pyramide) und des Cheops ergibt unter realitätsnahen bautechnischen Annahmen folgende Werte:

Pyramide des Mykerinos: Planung und Vorbereitung 1 Jahr;
Bau einschließlich Glättung ca. 4,6 Jahre;⁸⁷⁴
insgesamt **5,6 Jahre**

Rote Pyramide: Planung und Vorbereitung 2 Jahre;
Bau einschließlich Glättung ca. 16,9 Jahre;
insgesamt **18,9 Jahre**

Cheopspyramide: Planung und Vorbereitung 2 Jahre;
Bau einschließlich Glättung ca. 21,2 Jahre;
insgesamt **23,2 Jahre.**

Diese Bauzeiten passen zu der allgemein angenommenen Dauer der Herrschaft der Könige Snofru mit 35 Jahren,⁸⁷⁵ Cheops mit 23 Jahren⁸⁷⁶ und Mykerinos mit 28⁸⁷⁷ bzw. 6⁸⁷⁸ Jahren.

Die vorgeschlagene Lösung für den Bau der Stufenpyramiden im AR widerspricht weder den Beschreibungen des Herodot, wonach die Pyramiden in Stufen errichtet und von oben nach unten fertig gestellt 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.

In der modernen Wissenschaft kommt interdisziplinären Untersuchungen, bei denen verschiedene Wissenschaftsbereiche beteiligt sind, eine zunehmend größere Bedeutung zu. Am Bei-

⁸⁷⁴ Die Glättung der Außenverkleidung wurde nicht vollständig durchgeführt.

⁸⁷⁵ Nach Krauss und Warburton (Hornung Chronology, S.490) neuerdings 33 Jahre.

⁸⁷⁶ Nach Krauss und Warburton (Hornung Chronology, S.491) neuerdings 26 Jahre.

⁸⁷⁷ Beckerath, Chronologie, S.188.

⁸⁷⁸ Nach Krauss und Warburton (Hornung, Chronology, S.485) neuerdings 6 Jahre.

spiel des Pyramidenbaus im Alten Ägypten wird gezeigt, wie aufgrund bautechnischer Überlegungen (Ingenieurwissenschaft) unter Einbeziehung archäologischer Befunde und historischer Zusammenhänge (Ägyptologie) die Analyse bisher vorgelegter Hypothesen zum Pyramidenbau vorgenommen werden kann und welche Schwachstellen sich herausstellen. Daraus wurde eine neue, in sich widerspruchsfreie Hypothese zum Pyramidenbau entwickelt, welche die Schwachstellen aller bisher formulierten Bauhypothesen vermeidet.

Die Fragestellung, warum die Pyramiden im Alten und Mittleren Reich mit wechselnden Neigungswinkeln zwischen 28 Finger auf eine Elle bei der Roten Pyramide und 21 bzw. 22 Finger auf eine Elle bei vielen Pyramiden des Alten Reichs hin bis zu 18 Fingern auf eine Elle bei den Pyramiden des MR gebaut wurden, hat jedoch noch immer keine einleuchtende und zufrieden stellende Erklärung gefunden. Ähnliches gilt für die Frage nach der Verschiebung des Grabkorridors aus der Nord-Süd Achse verschiedener Pyramiden des AR in Richtung Osten.

10. Quellenverzeichnis und Abkürzungen

10.1 Quellenverzeichnis Text

Abitz, Pyramidenbau	Abitz, F., Der Bau der großen Pyramide mit einem Schrägaufzug, in: ZÄS 119 (1992), S.61ff.
Ägyptische Pyramiden 1	Ägyptische Pyramiden, Band 1, Hrsg. Hobby-Ägyptologen der Gruppe Rott, Ausstellung Ägyptische Pyramiden, 1994
Ägyptische Pyramiden 2	Ägyptische Pyramiden, Band 2, Hrsg. Hobby-Ägyptologen e.V., Roetgen-Rott, Ausstellung Ägypten – Land der Pyramiden, Monschau 1997
Altenmüller, Bauphase	Altenmüller, H., Bemerkungen zur frühen und späten Bauphase des Djoserbezirks in Saqqara, in: MDAIK 28 (1972), S.1–12.
Arnold, Amenemhet III.	Arnold, D., Die Pyramide Amenemhets III. in Dahschur, in: MDAIK 38 (1982), S.17ff.
Arnold, Baukunst	Arnold, D., Lexikon der ägyptischen Baukunst, Artemis & Winkler, München, 1997
Arnold, Building	Arnold, D. Building in Egypt, Oxford University Press, 1991
Arnold, Controll Notes	Arnold, F. The Control Notes and Team Marks, in: PMMA 23 (1990)
Arnold, Hawara	Arnold, D., Die Pyramide Amenemhets III. in Hawara, in: MDAIK 35 (1979), S.1ff.
Arnold, Pyramiden	Arnold, D. Die Pyramiden des Mittleren Reiches, in: Die Schätze der Pyramiden, Hrsg. Hawass, Z., Weltbild Verlag, Augsburg, 2004, S.329ff.
Arnold, Pyramidenbau	Arnold, D. Überlegungen zum Problem des Pyramidenbaus in: MDAIK 37 (1981), S.15ff.
Arnold, Pyramidenbezirk	Arnold, D. Der Pyramidenbezirk des Königs Amenemhet III. in Dahschur, Band I Die Pyramide, Mainz 1995.
Arnold, Sesostris	Arnold, D., The Pyramid Complex of Senwosret I., in: PMMA 22 (1988)
Arthus-Bertrand	Arthus-Bertrand, Y., Ägypten – ein Porträt in Luftbildern, RV Verlag, Berlin 1993
Aufrère, temples	Aufrère, S. Etc., L'Égypte Restituée, Tome 3, Sites, temples et pyramides des Moyenne et Basse Égypte, S.219
Autuori, Mastaba Tombs	Autuori, J.C., Back to the Mastaba Tombs of the first Dynasty at Saqqara. Officials or Kings? In: Hrsg. Pirelli, R., Egyptological Essays on State and Society, Universitata Napili, 2002
Barsoum, Große Pyramide	Barsoum, M., Microstructural Evidence of Reconstituted Limestone Blocks in the Great Pyramids of Egypt, in: Journal of the American Ceramic Society, Vol. 89, Issue 12, Page 3788, December 2006
Bárta, Pyramidenfelder von oben	Bárta, M. und Bruna V., Altägyptische Pyramidenfelder von oben, in: Sokar 15 (2/2007), S.62
Bassermann-Jordan, Zeitmessung	Bassermann-Jordan, E. v., Die Geschichte der Zeitmessung und der Uhren, Band I, de Gruyter, Berlin, 1920

- Becker, Chephren 1
 Becker, Chephren 2
 Becker, Chephren 3
 Becker, Pyramidenkorridore
 Beckerath, Chronologie
 Berlandini, Menkauhor
 Bertinetti, Ägypten
 Birell, Portucullis Stones
 Bissing, Diodor
 Bock, Stufenpyramiden
 Boeing, Heise
 Borchardt, Bohrer
 Borchardt, Dritte Bauperiode
 Borchardt, Längen
 Borchardt, Meidum
 Borchardt, Neferirkare
 Borchardt, Niuserre
 Borchardt, Pyramide
 Borchardt, Re – Heiligtum
 Borchardt, Sahure
 Borchardt, Zahlenmystik
- Becker, J., Die Chephren Pyramide, in: Sokar 8 (1/2004), S.6ff.
 Becker, J., Der Bau der Chephrenpyramide in: Sokar 10 (1/2005), S.24ff.
 Becker, J., Der Bau der Chephrenpyramide in: Sokar 9(2/2004), S.18ff.
 Becker, J., Die Funktion der Pyramidenkorridore als vermessungstechnische Einrichtungen, in: Sokar 6 (1/2003), S.14ff.
 Beckerath, v. J., Chronologie des pharaonischen Ägypten, Philipp von Zabern, Mainz, 1997
 Berlandini, J., La Pyramide ´Ruinée´de Sekkare-Nord et le Roi Ikaouhor-Menkaouhor, RdE 31, S.3–28
 Bertinetti, Marcello, Ägypten von oben, GEO Verlag, München 2003
 Birell, M., Portucullis Stones: Tomb security during The early Dynastic Period, in: BACE, Volume 11 (2000)
 Bissing, F. W. Frhr. von
 Der Bericht des Diodor über die Pyramiden, Verlag Dunker, Berlin, 1901
 Bock, J. Die kleinen Stufenpyramiden des frühen Alten Reiches in: Sokar 12 (1/2006), S.20ff.
 Boeing, N. Systemmanagement im alten Ägypten, in: Technology Review, 2.4.2007, unter www.heise.de
 Borchardt, L., Beiträge zu Griffith´ Benihasan III. in: ZÄS, Band XXXV (1897), S.107
 Borchardt, L., Einiges zur dritten Bauperiode der Großen Pyramide bei Gise, Julius Springer Verlag Berlin, 1932
 Borchardt, L., Längen und Richtungen der vier Grundkanten der großen Pyramide bei Gise, Julius Springer Verlag Berlin, 1926
 Borchardt, L., Die Entstehung der Pyramide, Springer Verlag, Berlin, 1928,
 Borchardt, L. Das Grabdenkmal des Königs Nefer-ir-ka-re, in Ausgrabungen der Deutschen Orient-Gesellschaft in Abusir, Hinrichs'sche Buchhandlung, Leipzig, 1909
 Borchardt, L., Das Grabdenkmal des Ne-User-Re, in Wissenschaftliche Veröffentlichung der Deutschen Orient-Gesellschaft 7, Leipzig, 1097
 Borchardt, L., Die Entstehung der Pyramide, Verlag von Julius Springer, Berlin, 1928
 Borchardt, L., Das Re-Heiligtum des Niuserre, Band 1 – Der Bau -, Verlag von Alexander Duncker, Berlin, 1905
 Borchardt, L., Das Grabdenkmal des Königs Sahure, in: Wissenschaftliche Veröffentlichungen der Deutschen Orient-Gesellschaft 14, Band 1 Der Bau, Leipzig, 1910,
 Borchardt, L., Gegen die Zahlenmystik an der großen Pyramide bei Gise, Verlag von Behrend & Co., Berlin 1922

- Bormann, Pyramidenbau
 Bormann, J., Die Fördertechnik beim Bau der Pyramiden, in: Bautechnik 81 (2004), Heft 2, S.134ff.
- Brier, Pyramide
 Brier, B., How to build a Pyramid, in: Archaeology May/June 2007, S.23ff.
- Brier, Cheopspyramide
 Brier, B., Return to the Great Pyramid, in: Archeology July/August 2009, S.27ff.
- Brinks, Pyramidenbau
 Brinks, J. Einiges zum Bau der Pyramiden des Alten Reiches in: GM 78 (1984), S.33 ff.
- Brinks, Stufenhöhen
 Brinks, J., Die Stufenhöhen der Cheopspyramide – System oder Zufall? In: GM 48 (1981), S.17ff.
- Brockhaus, Enzyklopädie
 Brockhaus Enzyklopädie, 17. Band, S.265, Brockhaus, Wiesbaden, 1973
- Brugsch, Thesaurus
 Brugsch, H., Thesaurus Altägyptische Inschriften, Fünfte Abteilung, S.1298, Ziffer 2, Hinrichs'sche Buchhandlung, Leipzig, 1892
- Burkard, Literaturgeschichte
 Burkard, G., in: Burkard, G. – Thissen, H.J., Einführung in die Altägyptische Literaturgeschichte I. Altes und Mittleres Reich, Einführungen und Quellentexte zur Ägyptologie 1, München, 2003, S.122
- Carpiceci, Kunst und Geschichte
 Carpiceci, A., C., Kunst und Geschichte in Ägypten, Florenz, 1999
- Choisy, Kippschlitten
 Choisy, A, L'art de bâtir chez les Egyptiens, Verlag Ronvevre, Paris, 1904
- Clarke und Engelbach, Egyptian
 Clarke, S. und Engelbach, R Ancient Egyptian Masonry, Oxford University Press, London, 1930
- Containerhandbuch
www.containerhandbuch.de
- Croon, Lastentransport
 Croon, L., Lastentransport beim Bau der Pyramiden, Dissertation, Buchdruckerei des Stephanstifts, Hannover, 1925
- Davies, Rechmire
 Davies, N. de G., The Tomb of Rekh-mi-Re at Thebes, Vol. II, Publications of the MMA, Egyptian Expedition, Vol. XI, New York, 1948
- Dereser, Djoser
 Dereser, Chr., Die Stufenpyramide von Djoser, in: Kemet 17, Heft 1 (2008), S.43–47
- Dassault, Cheops
 Dassault Sytemes, www.3ds.com/khufu
- Dörnenburg, Pyramidengeheimnisse
 Dörnenburg, F., Pyramidengeheimnisse? Enträtselte Mysterien, Patrik Brose, 2008.
- Domning, Ropework
 Domning, D. P., Some Examples of Ancient Egyptian Ropework, in: CdE, Tome LII, Nr. 104 (1977), S.49ff.
- Dorka, Pyramid Building
 Dorka, U.E., Lifting of Stones in the 4. Dynasty Pyramid Building, in: GM 189 (2002), S.11ff.
- Dorner, Cheopspyramide
 Dorner, J. Das Basisviereck der Cheopspyramide in: Hrsg. Janosi, P., Festschrift Arnold, D., Österreichische Akademie der Wissenschaften, Wien 2005, S.275–281
- Dorner, Form der Knickpyramide
 Dorner, J., Die Form der Knickpyramide in: GM 126 (1992), S.39ff.
- Dorner, Genauigkeit
 Dorner, J., Die Genauigkeit der altägyptischen Streckenmessung, in: Sokar 15 (2/2007), S. 50ff.
- Dorner, Knickpyramide
 Dorner, J., Form und Ausmaße der Knickpyramide in: MDAIK 42 (1986), S.43–58
- Dorner, Rote Pyramide
 Dorner, J., Neue Messungen an der Roten Pyramide in Stationen – in: Hrsg. Guksch, H. und Polz, D. , Stationen – Beiträge zur Kulturgeschichte Ägyptens, Philipp von Zabern, Mainz, 1998

Dorner, Orientierung	Dorner, J., Die Absteckung und astronomische Orientierung ägyptischer Pyramiden, Dissertation, Innsbruck, 1981
Dreyer, Stufenpyramiden	Dreyer, G. und Kaiser, W. Zu den kleinen Stufen-Pyramiden Ober- und Mittelägyptens in: MDAIK , 36 (1980), S.43ff.
Dreyer, Sinki	Dreyer, G. und N. Swelim. Die kleine Stufenpyramide von Abydos Süd (Sinki) – Grabungsbericht in MDAIK 38 (1982), S.42ff.
Edwards, Pyramids	Edwards, I.E.S. The Pyramids of Egypt, Penguin Books, 1985
Edwards, Pyramiden	Edwards, I.E.S., Die ägyptischen Pyramiden, Otto Harrassowitz, Wiesbaden, 1967
Ekrutt, Sterne	Ekrutt, J. Sterne und Planeten, Gräfe und Unzer Verlag, 1990
Ekschmitt, Weltwunder	Ekschmitt, Werner, Die sieben Weltwunder, Philipp von Zabern, Mainz, 10. Auflage 1996
Ermann, Literatur	Ermann, A. Die Literatur der Ägypter, Hinrichs'sche Buchhandlung, Leipzig, 1923
Ermann, Wörterbuch	Ermann, A. und Grapow, H. (Hrsg.) Ägyptisches Handwörterbuch, Darmstadt, 1981
Fakhry, Snofru	Fakhry, A., The Monuments of Sneferu at Dahshur, Kairo, 1959/1961
Fakhry, Pyramids	Fakhry, A., The Pyramids, The University of Cicago Press, 1961
Fernau, Statuentransport	Fernau,U., Zum Statuentransport im Alten Ägypten, in: Kemet 16, Heft 1 (2007), S.73–74
Firth, Exvacations	Firth, C. M., Exvacations of the Department of Antiquities at Saqqara, in: ASAE 29, S.68
Firth, Step Pyramid	Firth, C.M. and Quibell, J., E., The Step Pyramid, Institut Francais, Kairo, 1935 Volume I, S.128 und pl. 93, Ziff.7
Franke, Großpyramiden	Franke, Chr. und Eggert, S., Ägyptische Großpyramiden vor 5000 Jahren – ein ungelöstes Problem, Eigenverlag, Dresden, 2005
Gardiner, Texts	Gardiner, A.H., Egyptian hieratic Texts, Series I: Litarary Texts of the New Kingdom, Part I, Leipzig 1911
Goedicke, Amenemhet I.	Goedicke, H. Re-used Blocks from the Pyramid of Amenemhet I. at Lisht, New York, 1971
Goneim, Pyramide	Goneim, M. Z., Die verschollene Pyramide, Brockhaus Wiesbaden, 1995
Goneim, Horus Sechemchet	Goneim, M.Z., Excavations at Saqqara, Horus Sechemchet, Volume I, Institut Francais d'Archeologie Orientale, Cairo, 1957
Gossart, Cheops	Gossart, J., Le grand retour de Chéops in Kadath (70) 3, 1989, S.6
Goyon, Cheopspyramide	Goyon, G., Die Cheopspyramide, Weltbildverlag Augsburg, 1990
Goyon, Karnak	Goyon, J.-C. und Golvin, J.-C. Karnak Ägypten – Anatomie eines Tempels, Ausstellungskatalog, Wasmuth Verlag Tübingen, 1990
Goyon, Messungen	Goyon, G. Les Rangs d'assises de la Grande Pyramide, in: BIFAO 78 (1978), S.410–413
Graefe, Kernstruktur	Graefe, E. Grundsätzliches zur Kernstruktur der Pyramiden in: GM 191 (2002), S.111

Graefe, Pyramidenbau	Graefe, E., Über die Determinanten des Pyramidenbaus bzw. Wie haben die Alten Ägypter die Pyramiden erbaut? www.uni-muenster.de/Philologie/laek/PYR
Greiss, Plant	Greiss, E.A.M., Anatomical Identification of Plant Material from Ancient Egypt in: BdE Tome XXXI (1949), S.249ff. und Foto X
Gundacker, Meidum	Gundacker, R. Ausgewählte Baugraffiti der Pyramide von Meidum, in: Sokar 15 (2/2007), S.24ff.
Gundacker, Snofru	Gundacker, R. Anmerkungen zum Bau der Pyramiden des Snofru in: Sokar 11 (2/2005), S.9–23
Gupta, das, Einbrüche	Gupta, Das, T.K., Die Einbrüche in die Chufu – Pyramide, in: Kemet 16, Heft 2 (2007), S.60ff.
Haase, Blockierstein	Haase, M., Das Fragment eines Blockiersteins am Eingang der Cheopspyramide, in: Sokar 9 (2/2004), S.16
Haase, Cheops	Haase, M., Eine Stätte für die Ewigkeit – Der Pyramidenkomplex des Cheops, Philipp von Zabern, Mainz, 2004
Haase, Djedefre	Haase, M., Goldenster der Falken – Sohn des Re in: Antike Welt 38, Heft 3 (2007), S.53–61
Haase, Fallsteinsystem	Haase, M., Das Fallsteinsystem der Cheopspyramide, in: Sokar 15 (2/2007), S.31ff.
Haase, Felskern	Haase, M., Der Felskern der Cheopspyramide, in: G.A.R.L. 1/1993, S.5–13
Haase, Knickpyramide	Haase, M., Snofru und die Pyramiden von Dahschur, 1. Teil: Die Knickpyramide, in: Sokar 1 (2001), S.5
Haase, Knickpyramide 1	Haase, M., Im Inneren der Knickpyramide, in: Sokar 14, (1/2007), S.13–19
Haase, Steinbruch	Haase, M. Vom Steinbruch zur Pyramidenspitze in: Sokar 5 (2/2002), S.37 oben
Haase, Pyramidenzeitalter	Haase, M., Fehlstart ins Pyramidenzeitalter, in: Antike Welt 36, Heft 6 (2005), S.12
Haase, Rampe für Schwertransporte	Haase, M. Eine Rampe für Schwertransporte beim Bau der Cheops-Pyramide, in: Sokar 15 (2/2007), S.48–49
Haase, Tränen	Haase, M., Das Feld der Tränen, Ullstein, München, 2000
Haase, Vermächtnis	Haase, M., Das Vermächtnis des Cheops, Herbig Verlagsbuchhandlung, München, 2003
Hampikian, Cheopspyramide	Hampikian, N., How East he Pyramidion Placed at the Top of Khufu Pyramid? In: in: Hrsg. Guksch, H. und Polz, D. , Stationen – Beiträge zur Kulturgeschichte Ägyptens, Philipp von Zabern, Mainz, 1998, S.47–51
Hassan, Gisa	Hassan, S., Excavations at Gisa, 1935–1936, Vol. VII, Government Press, Cairo 1953
Hassan, Gisa 1	Hassan, S. Excavations at Gisa, 1932–1933, Vol. IV, Government Press, Cairo 1943, Fig. 122
Hawass, Cheopspyramide	Hawass, Z., The Programs of the Royal Funerary Complexes of the Fourth Dynasty, in: Helck, W., (Hrsg.) Probleme der Ägyptologie, 9. Band, S.224ff.
Hawass, Kultpyramide	Hawass, Z., The Discovery of the Satellite Pyramid of Khufu (G I d), in: Studies in Honor of William Kelly Simpson ,1996, S.385ff.

- Hawass, Schätze
Hawass/Verner
Heisel, Baubezeichnungen
Hinkel, Königspyramiden
Hodges, Pyramides
Höhn, Pyramidenbau
Hölscher, Chephren
Horneffer, Herodot
Hornung, Chronology
Hornung, Einführung
Houdin, La Pyramide
Houdin, Cheops
Illig, Cheopspyramide
Isler I
Isler II
Jánosi, Amenemhet I.
Jánosi, Königinnen
Jánosi, Kultpyramiden
Jéquier, Deux Pyramides
Jones, Boats
Junker, Gisa
Keyssner, Baustelle Gisa
- Hawass, Z., Die Schätze der Pyramiden, Hrsg., Weltbildverlag, Augsburg, 2004
Hawass, Z. und Verner, M., Newly Discovered Blocks from the Causeway of Sahure in: MDAIK 51, (1995) S.181–183 und Tafel 54
Heisel, J.P., Antike Bauzeichnungen, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 1993
Hinkel, W., Die Königspyramiden von Meroe, in: Antike Welt 2/2002, S.189
Hodges, P., How the Pyramides were built, Longmead, 1989
Höhn, A. Die Verwendung von Winkelhebern beim Bau der Großen Pyramiden, www.pyramidenbau.ch
Hölscher, U., Das Grabdenkmal des Königs Chephren, Hinrichs'sche Buchhandlung, Leipzig, 1912
Horneffer, A., Herodot Historien – Deutsche Gesamtausgabe, Kröner Verlag Stuttgart, Historien II, 125
Hornung, E., Krauss, R., Warburton, D.A., Hrsg. Ancient Egyptian Chronology, HdO, Section 1, Band 83, Brill, Leiden, 2006
Hornung, E. Einführung in die Ägyptologie, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 1993, S.60ff.
Houdin, J.-P. und H., La Pyramide de Kheops, Paris, 2003
Houdin, J.-P., Cheops – Die Geheimnisse um den Bauprozess der Großen Pyramide, Verlag von Zabern, Mainz, 2007
Titel der engl. Ausgabe „Cheops – The secrets behind of the Great Pyramid“, Farid Atiya, 2006
Illig, H., Der Bau der Cheopspyramide, Mantis Verlag, August 1994
Isler, M., On Pyramid Building, in: JARCE 22 (1985), S.129–142
Isler, M., On Pyramid Building II, in: JARCE 24 (1987), S.95–112
Jánosi, P., Der Pyramidenkomplex Amenemhets I. in Lischt in: Sokar 14, (1/2007), S.51ff.
Jánosi, P., Die Pyramidenanlagen der Königinnen, Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien 1996
Jánosi, Peter, Die Kultpyramiden des Alten und Mittleren Reiches in: Sokar Nr. 7, (2/2003). S.4–25
Jéquier, G., Deux Pyramides du Moyen Empire, Institut Français d'Archologie Orientale, Kairo, 1933 pl.XVII – XVIII, p.58–65
Jones, D., Boats, British Museum Press, London 1995, S.36–43
Junker, H., Giza, Wien und Leipzig, 1929–1955, 12 Bände, Verlag Rohrer
Keyssner, H., Baustelle Giza – Kritische Untersuchung zum Bau der Cheopspyramide, Institut für Baugeschichte der Universität Karlsruhe, 2007

Klebs, Reliefs I	Klebs, L., Die Reliefs des alten Reiches, Carl Winters Universitätsbuchhandlung, Heidelberg, 1915
Klemm u. Klemm, Integralrampe	Klemm, R. und Klemm, D., Die Integralrampe als Konstruktionselement großer Pyramiden, in: Stationen – Beiträge zur Kulturgeschichte Ägyptens, Hhsg. Guksch, H. u. Polz, D., Verlag von Zabern, Mainz, 1998, S.87–94
Klemm u. Klemm, Steine	Klemm, R. und Klemm, D., Steine und Steinbrüche im alten Ägypten, Springer Verlag, Berlin, 1992
Klemm und Klemm, Steinbruch	Klemm, R. und Klemm, D., Vom Steinbruch zur Pyramidenspitze in: Sokar 5 (2/2002), S.34ff.
Klemm und Klemm, Stones	Klemm, R. und Klemm, D., The Stones of the Pyramid, to be published in SDAIK, 2008
Klemm, Klemm und Murr	Klemm, D., Klemm, R. und Murr, A. Zur Lage und Funktion von Hafenanlagen an den Pyramiden des Alten Reiches in: SAK 26 (1998), S.173ff.
Kleppisch, Willkür	Kleppisch, K., Willkür oder mathematische Überlegung Beim Bau der Cheopspyramide?, Verlag von Oldenburg, München und Berlin, 1927
Köpp, Straße der Pharaonen	Köpp, H., Die Straßen der Pharaonen in: Sokar 18(1/2009), S.34.
Korff, Klang der Pyramiden	Korff, F.W., Der Klang der Pyramiden; Platon und die Cheopspyramide – das enträtselte Weltwunder, Olms Verlag, Hildesheim, 2009
Krauss, Bauzeit	Krauss, R., Zur Berechnung der Bauzeit an Snofrus Roter Pyramide in: ZÄS 125 (1998), S.29ff.
Krauss, Chronologie	Krauss, R., Chronologie und Pyramidenbau in der 4. Dynastie, in: Or 66 (1997), S.1ff.
Kühn, Sternenzelt	Kühn, Thomas, Das “Sternenzelt des Djedefre” in Abu Roasch, in: Kemet, Jahrgang 17 (2008), Heft 3, S.18ff.
LÄ	LÄ, Hrsg. W. Helck und R. Otto Band I – VII, Harrassowitz, Wiesbaden 1975–1992
Labrousse, Unas	Labrousse, Lauer, Leclant Le Temple Haut du Complexe Funéraire du Roi Unas, in: BdE 73 (1977)
Landström, Ships	Landström, B., Ships of the Pharaohs, Allen & Unwin, London, 1970
Landt, Cheopspyramide	Landt, E., Ein neuer Kampf um die Cheopspyramide, Weidmannsche Buchhandlung, Berlin, 1923
Lattermann, Pyramidenbau	Lattermann, W., Der Bau der Cheopspyramide, Eigenverlag, München, 2002
Lattermann, Cheopspyramide	Lattermann, W., Der Bau der Cheopspyramide, in: Antike Welt, 34 Heft 4 (2003), S.339ff.
Lauer, Pyramiden	Lauer, J.-P., Histoire Monumentale des Pyramides d’Egypte, Tome I, Les Pyramides à Degrés, Kairo, 1962
Lauer, Geheimnis	Lauer, J.-P., Das Geheimnis der Pyramiden, Herbig Verlagsbuchhandlung München, 1980
Lauer, Pyramide à Degrés	Lauer, J.-P., La Pyramide à Degrés – L’Architectura Tome I – Texte, Kairo 1936
Lauer, Pyramide à Degrés 2	Lauer, J.-P., La Pyramide à Degrés, Kairo, 1962
Lauer, Pyramidenbau	Lauer, J.-P., Le Problème de la Construction de la Grande Pyramide in: RdE 40 (1989), S.91ff.

- Lauer, Saujet el-Arian Lauer, J-P., Sur l'age et l'attribution possible de l'excavation monumentale de Zaouiêt el-Aryân, in: RdE 14 (1962), S.21–36
- Leclant, Pepi I. Leclant, J. und Labrousse, A. Die Ausgrabungen in der Nekropole der Königinnen Pepis I. in Saqqara von 1988–1998 in: Sokar 4 (1/2002), S.10ff.
- Lehner, Geheimnis Lehner, M., Geheimnis der Pyramiden, Orbis Verlag für Publizistik München, 1999
- Lehner, Cheops Projekt Lehner, M., The Develoment of the Gisa Necropolis: The Khufu Project in: MDAIK 41 (1985), S.109–143
- Lehner, Schätze Lehner, M., Der Bau einer Pyramide im Alten Reich, in: Die Schätze der Pyramiden, Hrsg. Hawass, Weltbild Verlag, Augsburg, 2004, S.32ff.
- Lepsius, Bau Lepsius, R., Über den Bau der Pyramiden in: Monatsberichte der Akademie der Wissenschaften zu Berlin, 1843, S.177–203
- Lepsius, Denkmäler I Lepsius, R., Denkmäler Aegypten und Aethiopien, Text Volume I, Hinrichs'sche Buchhandlung, Leipzig, 1897
- Lepsius, Denkmäler II Lepsius, R., Denkmäler Aegypten und Aethiopien, Text Volume II, Hinrichs'sche Buchhandlung, Leipzig, 1897
- Lepsius, Elle Lepsius, R., Die Alt-Ägyptische Elle und ihre Entstehung, Königliche Akademie der Wissenschaften, Berlin 1865
- Lepsius, Metalle Lepsius, R., Die Metalle in den Ägyptischen Innschriften, Königliche Akademie der Wissenschaften, Berlin 1872
- Little, „Chephren Diorite“ Little, O.H., Premiminary Report on some geological Specimens from the “Chephren Diorite” Quarries Western Desert, in: ASAE 33 (1933), S.75ff.
- Lloyd, Herodot Lloyd, A.B., Herodotus, Book II, Commentary 99–182, Brill, Leiden, 1988
- Löhner, Pyramidenbau Löhner, F., Pyramidenbau mit Seilrollenböcken in: www.cheops-pyramide.ch , 2007
- Lucas, Egyptian Lucas, A. und Harris, J.R., Ancient Egyptian Materials and Industries, Arnold LTD, London, 1962
- Mackay, Tomb 260 Mackay, E., Note on a new Tomb (No. 260) at Draḥ abul Naga, Thebes, in: JEA III (1916), S. 125–126 and Pl.XV
- Maragioglio Maragioglio, V. und Rinaldi C.A., L'Achittetura delle Piramidi Menfite, Band II–VII, Turin/Rapallo, 1963–1970
- Mendelsohn, Rätsel Mendelsohn, K., Das Rätsel der Pyramiden, Bechtermünz Verlag, Augsburg, 1999
- Mohr, Mastaba Mohr, H. T., The Mastaba of Hetep-her-Akhti, Brill, Leiden, 1943,
- Moore's, Stone-Cutting Moore's, R. G. Evidence for Use of a Stone-Cutting Drag Saw by the Fourth Dynastie Egyptians, in: JARCE 28 (1991), S.139ff.
- Morgan, Dahschur Morgan, J. de, Foullies à Dahchour en 1894–1895, Verlag Adolf Holzhausen, Wien, 1903
- Müller-Römer, Pyramiden Müller-Römer, F. Die Technik des Pyramidenbaus im Alten Ägypten, Utz Verlag, München, 2008
- Müller-Römer, Klang der Pyramiden Müller-Römer, F. „Ist das Rätsel um die äußere Form der Pyramiden gelöst? oder Der Klang der Pyramiden – Wirklichkeit oder Wunschdenken?“, Vortrag anlässlich

- der 41. SÄK 2009, unter <http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/propylaeumdok/volltexte/2009/307>
- Munt, Cheopspyramide
Munt, H., Cheopspyramide – sensationelle Bautechnik, in: EFODON Dokumentation 43, 1999
- Munt 2002, Bautechnik
Munt, H. Die Bautechnik der Cheopspyramide I und II in: Kemet 11, Heft 4 (2002), S.60ff. und Kemet 12, Heft 1 (2003), S.66ff.
- Munro, Unas
Munro, P., Der Unas-Friedhof Nord West ; Das Doppelgrab der Königinnen Nebet und Khenut, Verlag von Zabern, Mainz, 1993
- Mysteria3000
Mysteria3000, Archiv, Jean-Pierre Houdin, Neue Theorie über den Bau der Cheopspyramide, www.mysteria3000.de
- Nour, Cheops Boats
Nour, W. Z., The Cheops Boats, Part I General Organisation for Government Printing Offices, Cairo, 1960
- Obadalek, Meidum
Obadalek, J., Einige Erkenntnisse über die Pyramide von Meidum in: ZÄS 107 (1980), S.63ff.
- Otto, Pyramiden
Otto, G., Das Pharaonische Ägypten; Pyramiden – Produkte Menschlicher Eitelkeit, in: Kemet 3/2008, S.4ff.
- Parry, Engineering
Parry, D., Engineering the Pyramids, Sutton Publishing Limited, Gloucestershire, 2004
- Pauly, RE
Paulys Real-Encyclopädie der Classischen Altertumswissenschaften, Fünfter Band, S.663, Hrsg. Wissowa, G., Metzlersche Buchhandlung Stuttgart, 1905
- Perring, Pyramids I
Perring, J.E., Pyramids I, Perring, J.E., Pyramids II, reprint of the edition London 1893, LTR Verlag Wiesbaden, 1982
- Perring, Pyramids III
Perring, J.E., Pyramids III, Perrot, G. und Chipiez, C. Ägypten, Leipzig, Brockhaus Verlag, 1884
- Perrot, Ägypten
- Petrie, Kahun
Petrie, W.M.F., Kahun, Gurob and Hawara, London, 1890; S.27, Tafel IX
- Petrie, Meidum
Petrie, W. M. F., Mackay, E. und Wainwright, G., Meydum and Memphis (III), in: BSAE 16 (1910)
- Petrie, Medum
Petrie, W.M.F., Medum, London 1892, S.11ff. und Pl. VIII
- Petrie, Pyramids
Petrie, W.M.F., The Pyramids and Temples of Gizeh, London, 1883
- Petrie, Tools
Petrie, W.M.F., Tools ans Weappons, London, 1917
- Pichot, Wissenschaft
Pichot, A., Die Geburt der Wissenschaft, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 1995
- Pitlik, Cheopspyramide
Pitlik, H., Baustelle Cheopspyramide, in: GM 129 (1992), S.83ff.
- Pitlik, Baustelle
Pitlik, H., Baustelle Cheopspyramide aus Sicht eines Bauleiters, Eigenverlag, Wien, 2002
- Polz, Habilitation
Polz, D. Der Beginn des neuen Reiches – Zur Vorgeschichte einer Zeitenwende, Habilitation LMU München, 2006, DAI Kairo, Sonderschrift 31 Verlag Walter de Gruyter, Berlin, New York, 2007
- Quibell, Saqqara
Quibell, J.E., Excavations at Saqqara, The Tomb of Hesy, Kairo, 1913
- Quibell, Teti
Quibell, J.E., Excavations at Saqqara, Teti Pyramid, North Side, Kairo, 1927,

- Reisner, Chaba Reisner, G. A., The Development of the Egyptian Tomb down to the Accession of Cheops, Harvard University Press, Cambridge, 1936
- Reisner, Catalogue General Reisner, G.A., Catalogue General des Antiquites Egyptiennes, No.4798–4976 et 5034–5200, Le Caire, 1913
- Reisner, Mykerinos Reisner, G. A., Mycerinos, The temples of the Third Pyramid at Giza, Havard University Press, Cambridge, 1931
- Reinecke, Mathematik Reineke, W.F., Gedanken zum vermutlichen Alter der mathematischen Kenntnisse im alten Ägypten, in: Zeitschrift für Ägyptische Sprache und Altertumskunde (ZÄS) Band 105, 1978, S.74.
- Richter, Hartsteinbearbeitung Richter, K., Altägyptische Hartsteinbearbeitung durch Sägen, in: Sokar 4 (1/2002). S.30–31
- Richter, Kupfer Richter, K. Kupfer als Werkstoff im Alten Reich, in Sokar 6 (1/2003), S.40
- Richter, Hemutiu Richter, K., Auf den Spuren der „Hemutiu“ in: Sokar 3 (2/2001), S.29ff.
- Riedl, Pyramidenbau Riedl, O.M., Der Pyramidenbau und seine Transport-Probleme, Eigenverlag, Wien, 1980
- Riedl, 1981 Riedl, O.M., Das Transportproblem bei Bau der Großen Pyramiden, in: GM 52 (1981), S.67ff.
- Riedl, 1982 Riedl, O.M., Nachtrag zu Das Transportproblem beim Bau der großen Pyramiden, in: GM 53 (1982), S.47ff.
- Ryan, Old Rope Ryan, D. Old Rope in: KMT 4, No.2,
- Romer, Pyramid Romer, J., The Great Pyramid, Cambridge University Press, 2007, S.72–80
- Saleh, Mycerinos Pyramid Saleh, A., Excavations Around Mycerinos Pyramid Complex in: MDAIK 30 (1974)
- Santos, Bautechnik Santos, dos, A., Theorien zur Bautechnik der Großen Pyramide in: Kemet 7, Heft 3 (1998), S.27ff.
- Sauerbier, Bohrwerkzeuge Sauerbier, A., Bohrwerkzeuge in der Pyramidenzeit, in: Sokar 5 (2/2002), S.44
- Schäfer, Annalen Schäfer, H. Ein Bruchstück altägyptischer Annalen, Abhandlung der Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, phil.-hist. Abteilung, Anhang, Berlin 1902
- Schulze, Falken Schulze, P., Der Sturz des göttlichen Falken, Lübbe Verlag, Bergisch-Gladbach, 1983
- Spencer, Brick Architecture Spencer, A. J., Brick Architecture in Ancient Egypt, Aris Phillips Ltd., Warminster, 1979
- Spiegel, Reformbewegungen Spiegel, J., Soziale und weltanschauliche Reformbewegungen im Alten Ägypten, Heidelberg, 1950
- Stadelmann, Pyramiden Stadelmann, R., Die ägyptischen Pyramiden, Verlag von Zabern, 3. Auflage 1997
- Stadelmann, Große Pyramiden Stadelmann, R., Die großen Pyramiden von Giza, Akademische Druck- und Verlagsanstalt Graz, 1990
- Stadelmann, MDAIK 36 Stadelmann, R., Snofru und die Pyramiden von Meidum und Dahschur, in: MDAIK 36 (1980), S.437ff.
- Stadelmann, MDAIK 38 Stadelmann, R., Die Pyramiden des Snofru in Dahschur, Erster Bericht über die Ausgrabungen an der nördlichen Steinpyramide in: MDAIK 38 (1982), S.380ff.

- Stadelmann, MDAIK 39 Stadelmann, R., Die Pyramiden des Snofru in Dahschur, Zweiter Bericht über die Ausgrabungen an der nördlichen Steinpyramide in: MDAIK 39 (1983), S.234
- Stadelmann, MDAIK 43 Stadelmann, R., Beiträge zur Geschichte des AR. Die Länge der Regierung des Snofru in: MDAIK 43 (1987), S.229ff.
- Stadelmann, Pyramide und Sonnen-Heiligtum Stadelmann, R., Pyramide und Sonnenheiligtum des Userkaf in Sakkara und Abusir in: Sokar 7 (2/2003), S.26
- Stein, Herodot Stein, H., Herodotos, Erster Band, Waidmann'sche Buchhandlung, Berlin, 1883
- Steindorff, Grab des Ti Steindorff, G., Das Grab des Ti, Tafel 134 Hinrich'sche Buchhandlung, Leipzig, 1913
- Stocks, Antiquity Stocks, D.A., Stone sarcophagus manufacture in Ancient Egypt, in: Antiquity 73 (1999), S.918–922
- Stocks, Experiments Stocks, D.A., Experiments in Egyptian Archaeology Stoneworking technology in Ancient Egypt, Routledge, London, 2003
- Stocks, Great Pyramid Stocks, D., Immutable laws of friction; preparing and fitting stone blocks into the Great Pyramid of Giza, in: Antiquity 77 (2003), S.572–578
- Stocks, Handwerker Stocks, D., Auf den Spuren von Cheops' Handwerker, in: Sokar 10 (1/2005), S.4–9
- Stocks, Steinobjekte Stocks, D., Das Bewegen schwerer Steinobjekte im Alten Ägypten in: Sokar 18 (1/2009), S.38-43.
- Stocks, Werkzeugkonstrukteure Stocks, H., Werkzeugkonstrukteure im Alten Ägypten, in: Sokar 15 (2/2007), S.74ff.
- Stöcker, Physik Stöcker, H., Taschenbuch der Physik, Verlag Harry Deutsch, Frankfurt a. Main, 2000
- Strub-Roessler, Pyramiden Strub-Roessler, H., Vom Kraftwesen der Pyramiden, in: Technische Rundschau Nr. 42/43 (1952) , Bern
- Teeter, Ropw-Making Teeter, E., Techniques and Terminology of Rope-Making in ancient Egypt, in: JAE 73 (1987), S.71ff.
- Theis, Pyramiden Theis, Ch., Die Pyramiden des Chendjer, des Ameni-Qemau und das Grabmal eines unbekanntenen Königs in Saqqara-Süd, in: Kemet 3/2008, S.33ff.
- Tietze, Pyramide Tietze, Christian, Die Pyramide, Verlag Arcus, Potsdam, 1999
- Tompkins, Große Pyramide Tompkins, P., Cheops – Die Geheimnisse der Großen Pyramide, Knauer, Bern und München, 1995
- Urkunden I Urkunden des Alten Reichs, Erster Band, bearbeitet von Sethe, K., Hinrich'sche Buchhandlung , Leipzig, 1933
- Valloggia, Djedefre Valloggia, M., Le complexe funéraire de Rêdjédef á Abou Rawash: état des travaux après dix campagnes (1995–2004) in: BSFE, S.12ff.
- Valloggia, Abu Roasch Valloggia, M., Unvollendete Pyramiden aus der Zeit der 4. Dynastie, in: Hawass, Hrsg., Die Schätze der Pyramiden, Weltbildverlag, Augsburg, 2004, S.230/231.
- Valloggia, Egyptian Archaeology Valloggia, M., Radjedef's pyramid complex at Abu Rawash, in: Egyptian Archaeology 23, (Autumm 2003), S.11

- Vallogia, Im Zeichen des Re
Vercoutter, Mirgissa
- Vermeulen, Cheopspyramide
- Verner, Abusir
- Verner, Kongress
- Verner, Lepsius XXIV 1997
- Verner, Lepsius XXIV 1998
- Verner, Lepsius XXIV, 2004
- Verner, Pyramiden
- Verner, Raneferef
- Verner, unvollendete Pyramide
- Verner, verlorene Pyramiden
- Vogel, Nilschiffahrt
- Vymazolová, König Menkauhor
- Vyse, Operations
- Weinstein, Annealing
- Welt online
- Wessel
- Wiedemann, Diodor
- Wildung
- Wilkinson, Funerary
- Winkler, Pyramidenbau
- Wolf , Snofru
- Wolf, Blockierungssysteme
- Vallogia, M., Im Zeichen des Re, in: Sokar 13 (2/2006), S.19
Vercoutter,J., Hrsg., Vila, A. in: Mirgissa I., Chapitre II,
Les Vistiges de la Plaine, S.193ff., Paris, 1970
Vermeulen, J. Das Geheimnis der Cheops-Pyramide,
in: Bild der Wissenschaft, Februar 1989, S.43
Preliminary Report 1997/8, Excavations at Abusir
in: ZÄS 126 (1999), S.70-76
Verner, M.,
www.archeogate.org/egittologia/article/657/1/nuove-
Verner, M., Excavations at Abusir in: ZÄS 124 (1997),
S.71–76
Verner, M., Pyramid Lepsius XXIV Beiträge zur Kulturge-
schichte Ägyptens, in: Hrsg. Guksch, H. und Polz, D., Statio-
nen – Beiträge zur Kulturgeschichte Ägyptens, v. Zabern,
Mainz, 1998, S.145–150
Verner, M. und Krejci, J. Die Zwillingspyramide L 25
in Abusir , in: Sokar 8 (1/2004), S. 20–22
Verner, M., Die Pyramiden, Rowohlt Verlag
GmbH, 1998
Verner, M. et al. The Pyramid Complex of Raneferef,
Abusir IX – The Archaeology, Tschechisches Institut
für Archäologie, Prag 2006
Verner, M., Eine zweite unvollendete Pyramide in
Abusir, in: ZÄS 109 (1982), S.75–78
Verner, M. Verlorene Pyramiden, vergessene
Pharaonen, Akademia Skodaexport, Prag, 1994
Vogel, C. Nilschiffahrt im Bereich des Zweiten
Katarakts in: SAK 26 (1998), S.265ff.
Vymazolová, H. und Coppens, F., König Menkauhor,
in: Sokar, 17 (2/2008), S.35
Vyse, H. Operations carried out on the Pyramids
of Gizeh, Vol. I - III, London 1840–42
Weinstein, J. ; A Fifth Dynasty Reference to
Annealing, in: JARCE 11 (1974), S.23–25
Welt online, 2.4.2007, www.welt.de/wissenschaft
Wessel, P., Physik, Hirzel Verlag Leipzig, 1950
Wiedemann, A., Handbücher der Alten Geschichte,
Band I, Ägyptische Geschichte, S.179
Verlag Gotha, 1884
Wildung, D., Ägypten, Taschen Verlag Köln, 1997
Wilkinson, T.,: Before the Pyramids: Early Develop-
ments in Egyptians Royal funerary Ideology in: Hrsg.
Hendrickx. S. u.a. Egypt at its Origins, Orientalia
Lovaniensia Analecta, 138 (2004)
Winkler, R., Logistik des Pyramiden-Baues, Dissertation,
Fakultät 1 Architektur und Stadtplanung der Universität
Stuttgart, 2002.
Wolf, N., Die Blockiersysteme in Snofrus Pyramiden,
in: Sokar, 11 (2/2005), S.24-30
Wolf, N., Blockierungssysteme in Grabanlagen
des Alten Reiches, Diplomarbeit, Universität
Wien, 2006

10.2 Quellenverzeichnis Abbildungen

2.1.1	Arnold, Building, S.160, Fig.4.88/1
2.1.2	Lehner, Geheimnis S.95
2.1.3	Maragioglio VI, Tav.4, Fig.2
2.1.4	Arnold, Building, S.160, Fig.4.88/6
4.1.1	Steindorf, Grab des Ti
4.1.2	Foto Müller-Römer
4.1.3.1	Davies, Rechmire, pl. LVIII
4.2.2.1.1	Maragioglio IV, Tav.7, Fig.3
4.2.2.1.2	Petrie, Pyramids, Pl.XII
4.2.2.2	Maragioglio VI, Tav.5, Fig.3
4.2.2.3.1	Hölscher, Chephren, Ausschnitt Blatt XVIII
4.2.2.3.2	Hölscher, Chephren, S.77
4.2.2.3.3	Reisner, Mycerinos, Plate A (6)
4.2.2.3.4	Munt, Kemet 4 / 2002, Abb.2, S.61
4.2.2.3.5	Höhn, Pyramidenbau
4.2.2.4.1	Domning, Ropework, S.50
4.2.2.4.2	Jones, Boats, S.41
4.3.1.1.1	Lattermann, Pyramidenbau, S.24
4.3.1.1.2	Maragioglio VI, Tav.4, Fig.2
4.3.1.1.3	Hassan, Gise 1
4.3.1.1.4	Davies, Rechmire, Pl.23; Zeichnung nach Newberry
4.3.2.2	Dreyer 2
4.3.2.3	Petrie, Meidum, Pl.12
4.3.2.4	Stadelmann, MDAIK 38, S.381
4.3.2.7	Vogel, Nilschiffahrt, S.267
4.3.3.1	Arnold, Building, S.58
4.3.3.2	Mohr, Mastaba, Page 39, Fig.3
4.3.3.3	Arnold, Building, S.276
4.3.3.4	Klebs, Reliefs I, S.40, Abb.26
4.4.1	Petrie, Kahun, Tafel IX
4.4.2	Davies, Rechmire,
4.4.3	Stocks, Handwerker
4.4.4	Borchardt, Niuserre, S.154
4.4.5	Jánosi, Königinnen, S.80, Abb.28
4.4.6	Winkler, Pyramidenbau, S.38
5.1.1.1	Foto Müller-Römer
5.1.1.5.1	Foto Müller-Römer
5.1.1.5.2.1	Foto Müller-Römer
5.1.1.5.2.2	Foto Müller-Römer
5.1.2.2.1	Foto Müller-Römer
5.1.2.2.2	Foto Müller-Römer
5.1.2.2.3	Foto Müller-Römer
5.1.2.2.4	Foto Müller-Römer
5.1.2.2.5	Foto Müller-Römer
5.1.2.2.6	Foto Müller-Römer
5.1.2.3	Foto Müller-Römer
5.1.2.6.1	Foto Müller-Römer
5.1.2.6.2	Maragioglio VI, Tav.4, Fig.2
5.1.2.6.3	Foto Müller-Römer
5.1.2.6.4	Foto Müller-Römer
5.1.2.6.5	Foto Müller-Römer
5.1.2.9.1	Lehner, Geheimnis, S.142
5.1.2.9.2	Foto Müller-Römer

5.1.2.10	Foto Müller-Römer
5.1.3.1	Lehner, Geheimnis, S.164
5.1.3.2	Fakhry, Pyramids, S.203, Fig.108
5.3.1	Zeichnung Müller-Römer
5.3.2	Lauer, Pyramiden Pl.10
5.3.3	Lehner, Geheimnis, S.95 oben
5.3.4	Maragioglio III, Addenda, Tav.2, Fig.2
5.3.5	Maragioglio III, Addenda, Tav.4, Fig.8
5.3.6	Zeichnung Müller-Römer
5.4.1	Arnold, Senwosret, S.66
5.4.2	Arnold, Building, S.126
6.1	Lattermann, Pyramidenbau, S.32
7.3.1	Arnold, Pyramidenbau, S.22
7.3.2.1	Stadelmann, Große Pyramiden, S.267
7.3.2.2	Stadelmann, Große Pyramiden, S.268
7.3.3.1	Lauer, Pyramidenbau, S.106, Pl.2
7.3.4	Borchardt, Pyramide, Tafel 4 untere Hälfte
7.3.5.1	Lattermann, Pyramidenbau, S.27
7.3.5.2	Lattermann, Pyramidenbau, S.34
7.4.1.1	Goyon, Cheopspyramide, S.133, Abb.74
7.4.1.2	Goyon, Cheopspyramide, S.135, Abb.75
7.4.2.1	Lehner, Cheops Project, S.130, Fig.5
7.4.2.2	Lehner, Cheops Project, S.131, Fig.6 und 7
7.4.3.1	Klemm und Klemm, Integralrampe, Abb.1
7.4.3.2	Klemm und Klemm, Integralrampe, Abb.2
7.4.3.3	Klemm und Klemm, Integralrampe, Abb.3
7.4.4.1	Graefe, Pyramidenbau, Abb.4
7.4.4.2	Graefe, Pyramidenbau, Abb.3
7.4.4.3	Graefe, Pyramidenbau, Abb.6
7.4.4.4	Graefe, Pyramidenbau, Abb.13
7.4.4.5	Graefe, Pyramidenbau, Abb.12
7.4.5.1	Hampikian, Cheopspyramide, Fig.1
7.4.5.2	Hampikian, Cheopspyramide, Fig.2
7.4.6	Goyon, Cheopspyramide, S.63
7.4.7.1	Houdin, Cheops, S.44 unten
7.4.7.2	Houdin, cheops, S.51 unten
7.4.7.3	Houdin, Cheops, S.66 unten
7.4.7.4	Houdin, Cheops, S.70 unten
7.4.7.5	Houdin, Cheops, S.101 unten
7.5.1.1	Isler I, S.136, Fig.7
7.5.1.2	Isler I, S.140, Fig.20
7.5.2.1	Croon, Lastentransport, S.26, Tafel 5, Abb.15 und 16
7.5.2.2	Croon, Lastentransport, S.54, Tafel 9, Abb.30 und 31
7.5.3.1	Löhner, Pyramidenbau
7.5.3.2	Löhner, Pyramidenbau
7.5.3.3	Löhner, Pyramidenbau
7.5.3.4	Löhner, Pyramidenbau
7.5.3.5	Löhner, Pyramidenbau
7.5.4.1	Santos, Bautechnik, Abb.16
7.5.4.2	Santos, Bautechnik, Abb.14
7.5.5.1	Riedl, 1981, Abb. S.46
7.5.5.2	Riedl, 1982, Abb. S.48
7.5.6.1	Abitz, Pyramidenbau, S.67, Abb.2
7.5.6.2	Abitz, Pyramidenbau, S.70, Abb.4
7.5.6.3	Abitz, Pyramidenbau, S.71, Abb.6

7.5.6.4	Abitz, Pyramidenbau, S.71, Abb.5
7.5.7.1	Munt, 2002 , Abb.5
7.5.7.2	Foto Munt
7.5.8	Dorka, Pyramid BuildingS.19
7.5.9	Pitlik, Cheopspyramide, S.85
7.5.10.1	Bormann, Pyramidenbau
7.5.10.2	Bormann, Pyramidenbau
7.5.11.1	Arnold, Building, S.272
7.5.11.2	Parry, Engineering, S.124
7.5.11.3	Parry, Engineering, S.129
7.5.11.4	Parry, Engineering, S.132
7.5.11.5	Parry, Engineering, S.143
7.5.12.1	Keyssner, Baustelle Gisa, S.26, Abb. 5
7.5.12.2	Keyssner, Baustelle Gisa, S.49, Abb.14
7.5.12.3	Keyssner, Baustelle Gisa, S.50, Abb.15
7.5.13.1	Winkler, Pyramidenbau, S.48
7.5.13.2	Winkler, Pyramidenbau, S.53
7.5.13.3	Winkler, Pyramidenbau, S.54
8.1.1	Foto Müller-Römer
8.1.2	Foto Müller-Römer
8.1.3	Darstellung Architekturbüro Maier Neuberger
8.1.4	Maragioglio IV, Addanda, Tav. 2, fig. 12-13
8.2.1.1	Darstellung Architekturbüro Maier Neuberger
8.2.1.2	Darstellung Architekturbüro Maier Neuberger
8.2.1.3	Darstellung Architekturbüro Maier Neuberger
8.2.1.4	Darstellung Architekturbüro Maier Neuberger
8.2.1.5	Darstellung Architekturbüro Maier Neuberger
8.2.1.6	Jánosi, Königinnen, S.83, Abb.30
8.2.2.1	Darstellung Architekturbüro Maier Neuberger
8.2.2.2	Davies, Rechmire 2
8.3.1.1	Darstellung Architekturbüro Maier Neuberger
8.3.1.2	Darstellung Architekturbüro Maier Neuberger
8.3.2.1	Darstellung Architekturbüro Maier Neuberger
8.3.2.2	Darstellung Architekturbüro Maier Neuberger

10.3 Verzeichnis der Abkürzungen

AR	Altes Reich
ASAE	Annales du Service des Antiquités des l'Égypte, Kairo
BACE	The Bulletin of the Australian Centre for Egyptology
BdE	Bibliothèque d'Étude, Institut Français d'Archéologie Orientale, Kairo
BIFAO	Bulletin de l'Institut Français d'Archéologie Orientale, Kairo
BMFA	Bulletin of the Museum of Fine Arts, Boston
BSEA	British School of Egyptian Archaeology, London (bis 1940 BSAE)
BSFE	Bulletin de la Société Française d'Égyptologie, Paris
CdE	Chronique d'Égypte
GM	Göttinger Miscellen
G.R.A.L.	Zeitschrift für Archäologie und archäologische Grenzwissenschaften, Berlin
HdO	Handbook of Oriental Studies
JARCE	Journal of the American Research Center in Egypt, Boston
JEA	Journal of Egyptian Archaeology, London
KMT	A modern Journale of Ancient Egypt, Hersg.: KMT Communications
LÄ	Lexikon der Ägyptologie, Wiesbaden
LD	Lepsius Denkmäler
MDAIK	Mitteilungen des Deutschen Archäologischen Instituts Kairo
MMA	The Metropolitan Musum of Art
MR	Mittleres Reich
NR	Neues Reich
Or	Orientalia, Nova Series, Rom
PMMA	Publications of the Metropolitan Museum of Art, Egyptian Expedition, New York
RdE	Revue d'Égyptologie, Kairo bzw. Paris
RE	Paulys Encyclopädie der Classischen Altertums-Wissenschaften
SAK	Studien zur Altägyptischen Kultur, Hamburg
ZÄS	Zeitschrift für Ägyptische Sprache und Altertumskunde Leipzig / Wiesbaden