Professor Dr.-Ing. Dr. phil. Frank Müller-Römer

Pyramidenbau im Alten Ägypten

Überarbeitete Fassung (Stand 05.10.2008)

der Inaugural-Dissertation

„Pyramidenbau mit Rampen und Seilwinden – ein Beitrag zur Bautechnik im Alten Reich“

zur Erlangung des Doktorgrades
der Philosophie an der Ludwig-Maximilians-Universität
München

Oktober 2007

veröffentlicht unter

http://edoc.ub.uni-muenchen.de/8064/

Institut für Ägyptologie an der LMU München

Berichterstatter	Prof. Dr. Dieter Kessler
	Prof. Dr. Günter Burkard
	PD Dr. habil. Siegfried Richter
Datum der Disputation	11. Februar 2008
Prädikat	summa cum laude

Meiner geliebten Karin gewidmet

Vorwort und Danksagung

Meine erste Begegnung mit der Cheopspyramide im Jahr 1996 war für mich als Ingenieur ein Erlebnis ganz besonderer Art. Überwältigt von der Größe des Bauwerks und der verbauten Steine stand ich längere Zeit regungslos am Fuß der Pyramide und fragte mich, wie die Menschen der damaligen Zeit dieses Bauwunder wohl vollbracht hatten. Noch am selben Tag kaufte ich mir das Buch „Building in Egypt" von Dieter Arnold. Dies war der Beginn meiner Liebe zur Ägyptologie.

Im Sommersemester 1997 begann ich dann an der Ludwig-Maximilians-Universität München mit dem Studium der Ägyptologie, welches ich mit der Vorlage dieser Dissertation zum Thema „Pyramidenbau mit Rampen und Seilwinden - ein Beitrag zur Bautechnik im Alten Reich" abschloss.

Ich bin überzeugt, dass die von mir aus dem technischem Blickwinkel des Ingenieurs und auf der Grundlage der Wissenschaft der Ägyptologie sowie der archäologisch gesicherten Fakten vorgenommenen Überlegungen zu einer in sich geschlossenen und widerspruchsfreien Hypothese für die Errichtung der Pyramiden im Alten Reich geführt haben.

Ganz besonderen Dank möchte ich meinem wissenschaftlichen Betreuer, Herrn Prof. Dr. phil. Dieter Kessler, sagen, der mich bei der Durchführung dieser Arbeit umfassend beraten und mir mit vielen Hinweisen und Anregungen geholfen hat.

In verschiedenen Gesprächen und Diskussionen erhielt ich für meine Arbeit wertvolle Anregungen und konstruktive Kritik, für die ich mich insbesondere bei Frau Dr. phil. habil. Martina Ullmann und den Herren Dr.rer.nat. Norbert Genschke, Dipl.-Math. Michael Haase, Pyramidenforscher, Buchautor und Herausgeber der Fachzeitschrift zum ägyptischen Pyramidenbau „Sokar", Dipl.-Ing. Werner Hinz, Technischer Direktor des Deutschlandradio i.R., Dipl.-Ing. Walter Lattermann, Vorstandssprecher i.R. der Heilit + Wörner Bau-AG, Prof. Dr.-Ing. Heinz Lindenmeier, Hochschule der Bundeswehr in Neubiberg, Dr.-Ing., Dipl.-Ing. Steffen Müller, Bauingenieur, Reg.Dir. i.R. im Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Dipl.-Ing. (Univ.) Architekt Sebastian Rickert, Architekturbüro Maier Neuberger Partner, München, Univ.Prof. Dr.phil. Horst Sitta, Universität Zürich, und Dipl.-Ing. Klaus Stocker, Bauingenieur, sehr bedanke.

Dank der großzügigen Genehmigung von Herrn Dr. Zahi Hawass, dem Generalsekretär des Supreme Council of Antiquities in Ägypten, bei deren Erlangung mich die Herren Prof. Dr. phil. Günter Burkard, Vorstand des Instituts für Ägyptologie an der LMU und Prof. Dr. Günter Dreyer, Direktor des Deutschen Archäologischen Instituts in Kairo, bereitwillig unterstützten, konnte ich im Jahr 2006 eigene Untersuchungen und Vermessungen an der Cheopspyramide und der Pyramide des Mykerinos durchführen. Dabei war mir freundlicherweise Herr Thorsten Schindler behilflich.

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

Inhaltsverzeichnis Seite

1.	Einleitung und Zielsetzung	8
2.	Definitionen und Festlegungen	12
2.1	Definition Baustrukturen	12
2.2	Definition Mauerwerk	14
2.3	Längenbeizeichnungen	15
2.4	Festlegungen	15
3.	Zeitliche Entwicklung des Pyramidenbaus im Alten und Mittleren Reich	16
4.	Bautechnik im Alten Reich	18
4.1	Baumaterial	20
4.1.1	Steingewinnung und Steinbearbeitung	20
4.1.2	Steinverarbeitung an der Baustelle	22
4.1.3	Ungebrannte Ziegel	23
4.2	Hebeeinrichtungen	25
4.2.1	Balken, Stangen	25
4.2.2	Absenken und Anheben schwerer Lasten	26
4.2.2.1	Das Fallsteinsystem im Korridor zur Grabkammer des Königs in der Cheopspyramide	26
4.2.2.2	Das Fallsteinsystem im Korridor zur Grabkammer der Pyramide des Mykerinos	31
4.2.2.3	Aufrichten von Pfeilern sowie Statuen und Heben von Steinblöcken	33
4.2.2.4	Seile	37
4.2.2.5	Zusammenfassung: Hebeeinrichtungen	39
4.3	Transporteinrichtungen	40
4.3.1	Schiefe Ebene	40
4.3.1.1	Zugkräfte (Gleitreibung)	40
4.3.1.2	Zugkräfte (Rollreibung)	42
4.3.2	Rampen	43
4.3.2.1	Die Pyramide des Sechemchet	43
4.3.2.2	Die kleinen Schichtpyramiden des Alten Reiches	43
4.3.2.3	Die Pyramide des Snofru in Meidum	44
4.3.2.4	Die Rote Pyramide in Dahschur	45
4.3.2.5	Die Cheopspyramide	45
4.3.2.6	Das Sonnenheiligtum des Niuserre	47
4.3.2.7	Die Pyramiden des Mittleren Reiches	47
4.3.2.8	Zusammenfassung: Verwendung von Rampen beim Bau des Pyramidenkörpers	48
4.3.3	Steintransport auf der geraden und schrägen Ebene	49
4.3.4	Transport von Leitern mittels Scheibenrädern	54
4.4	Vermessungstechnik	55
4.5	Mathematische Kenntnisse	60
5.	Archäologische Befunde an Pyramiden	61
5.1	Die Entwicklung der Bauweise von Pyramiden	61

5.1.1	Schichtpyramiden	61
5.1.1.1	Die Pyramide des Djoser	61
5.1.1.2	Die Pyramide des Sechemchet	64
5.1.1.3	Die Pyramide des Chaba	65
5.1.1.4	Die kleinen Schichtpyramiden des Alten Reiches	66
5.1.1.5	Die Pyramiden des Snofru	66
5.1.1.5.1	Meidum	67
5.1.1.5.2	Knickpyramide	68
5.1.2	Stufenpyramiden	73
5.1.2.1	Die Rote Pyramide	73
5.1.2.2	Die Cheopspyramide	74
5.1.2.3	Die Pyramide des Djedefre	82
5.1.2.4	Die Pyramide des Chephren	84
5.1.2.5.	Die Pyramide des Bicheris (Nebka)	85
5.1.2.6	Die Pyramide des Mykerinos (Menkaure)	86
5.1.2.7	Die Mastaba el-Faraun des Schepseskaf	91
5.1.2.8	Die Pyramide des Userkaf	91
5.1.2.9	Die Pyramide des Sahure	92
5.1.2.10	Die Pyramide des Neferirkare	94
5.1.2.11	Die unvollendete Pyramide des Schepseskare	95
5.1.2.12	Die unvollendete Pyramide des Neferefre (Raneferef)	96
5.1.2.13	Die Pyramide des Niuserre	97
5.1.2.15	Die Pyramide des Menkauhor	98
5.1.2.15	Die Pyramide des Djedkare Asosi	98
5.1.2.16	Die Pyramide des Unas	99
5.1.2.17	Die Pyramide Lepsius XXIV	99
5.1.2.18	Die Pyramiden der 6. Dynastie	100
5.1.3	Die Pyramiden der Ersten Zwischenzeit und des Mittleren Reiches	101
5.1.3.1	Die Pyramide Amenemhets I.	103
5.1.3.2	Die Pyramide Sesostris' I.	103
5.1.3.3	Die Pyramide Amenemhets II.	103
5.1.3.4	Die Pyramide Sesostris' II.	104
5.1.3.5	Die Pyramide Sesostris' III.	104
5.1.3.6	Die Pyramiden Amenemhets III.	104
5.1.3.6.1	Die Pyramide Amenemhets III. in Dahschur	104
5.1.3.6.2	Die Pyramide Amenemhets III. in Hawara	105
5.1.3.7	Pyramiden der 13. Dynastie	105
5.2	Zusammenfassung: Archäologische Befunde und Entwicklung der Bautechniken im Alten Reich	105
5.3	Der Wechsel von der Schicht- zur Stufenbauweise der Pyramide im Alten Reich	109
5.4	Die Weiterentwicklung der Pyramidenbauweise im Mittleren Reich	114
6.	Bauzeiten der Pyramiden	116
7.	Analyse und Bewertung der bisher bekannt gewordenen Bauhypothesen	122
7.1	Historische Beschreibungen des Pyramidenbaus	122
7.1.1	Herodot	122
7.1.2	Diodor	124

7.1.3	Plinius	124
7.2	Grundsätzliche Lösungsansätze für den Pyramidenbau	124
7.3	Bauhypothesen, denen senkrecht auf die Pyramide zuführende Rampen zugrunde liegen	125
7.3.1	Überlegungen zum Problem des Pyramidenbaus nach Arnold	125
7.3.2	Vorschlag von Stadelmann für ein Rampensystem	127
7.3.3	Vorschlag von Lauer für eine Rampenkonstruktion	130
7.3.4	Vorschlag von Borchardt für eine Rampenkonstruktion	131
7.3.5	Vorschlag von Lattermann für eine Rampe	132
7.4	Bauhypothesen, denen entlang der Pyramidenseiten geführte Rampen zugrunde gelegt werden	134
7.4.1	Umlaufende Ziegelrampe nach Goyon	134
7.4.2	Rampensystem nach Lehner	136
7.4.3	Integralrampe nach Klemm und Klemm	138
7.4.4	Vorschlag von Graefe	141
7.4.5	Umlaufende Rampe nach Hampikian	145
7.4.6	Vorschlag von Hölscher	147
7.4.7	Kombination einer senkrecht auf die Pyramide zulaufenden Rampe und einer Integralrampe (Innenrampe) nach Houdin	147
7.5	Hypothesen für den Einsatz von Hebegeräten bzw. Zugeinrichtungen	153
7.5.1	Vorschlag von Isler zum Pyramidenbau mittels Hebeln	154
7.5.2	Vorschlag für eine Hebeeinrichtung nach Croon	155
7.5.3	Vorschlag von Löhner für den Bau der Pyramide mit Seilrollenböcken	157
7.5.4	Vorschlag von dos Santos für den Einsatz eines Spills	160
7.5.5	Vorschlag von Riedl für eine Hebebühne mit Seilwinde und Holmen	161
7.5.6	Der Schrägaufzug nach Abitz	163
7.5.7	Hebezeug-Paternoster nach Munt	167
7.5.8	Schrägaufzug nach Dorka	168
7.5.9	Vorschlag von Pitlik für eine Förderrampe	169
7.5.10	Hebeanlage nach Bormann	171
7.5.11	Vorschlag eines rollenden Steintransportes nach Parry	172
7.5.12	Bauvorschlag von Keyssner mittels Umbauung (Montagemantel) und Zugeinrichtung	176
7.6	Zusammenfassung: Bewertung der Bauvorschläge für Pyramiden entsprechend den Kapiteln 7.3 bis 7.5	178
8.	Eine neue Hypothese für den Bau der Pyramiden: „Pyramidenbau mit Rampen und Seilwinden“	182
8.1	Baudaten der Pyramide des Mykerinos	183
8.2	Die einzelnen Bauabschnitte	186
8.2.1	Bau des Kernmauerwerks	187
8.2.2	Anbringen des Verkleidungsmauerwerks	193
8.2.3	Berechnung der Transportleistungen und der Bauzeit der Pyramide	195
8.2.3.1	Berechnung der Bauzeit für das Kernmauerwerk	197
8.2.3.2	Berechnung der Bauzeit für das Verkleidungsmauerwerk sowie für die Außenverkleidung und die Arbeitsplattform	198

8.2.3.3	Berechnung des Zeitaufwandes für die Glättung der Außenverkleidung	199
8.2.3.4	Bauzeit für die Pyramide des Mykerinos	200
8.3	Eine vergleichende Betrachtung mit den Bauzeiten der Roten Pyramide und der Cheopspyramide	200
8.3.1	Berechnung der Bauzeit der Roten Pyramide	200
8.3.2	Berechnung der Bauzeit der Cheopspyramide	205
8.4	Ausblick auf weitere Pyramiden des Alten Reiches	211
9.	Zusammenfassung und Ergebnisse	213
10.	Quellenverzeichnis und Abkürzungen	215
10.1	Quellenverzeichnis Text	215
10.2	Quellenverzeichnis Abbildungen	2275
10.3	Verzeichnis der Abkürzungen	230

1. Einleitung und Zielsetzung

Seit jeher faszinieren die Pyramiden des Alten Reiches die Besucher Ägyptens. Die außergewöhnlich beeindruckende Größe der Bauwerke und die gewaltigen Abmessungen der verbauten Steine bleiben für jeden Betrachter unvergesslich. Die Cheopspyramide zählt daher seit griechischer Zeit zu Recht zu den sieben Weltwundern der Antike.[1] Als einzige dieser Bauten steht sie heute noch. Immer wieder wurde die Frage gestellt, was die damaligen Könige veranlasst hat, solch gewaltige Grabstätten zu errichten. Der Bau der Pyramiden im AR muss stets im Zusammenhang mit den seinerzeitigen gesellschaftlichen Verhältnissen, den religiösen Vorstellungen sowie den archäologischen Befunden, dem damaligen Stand der Technik und den logistischen Fähigkeiten der Baumeister betrachtet und erklärt werden.

Vom Beginn der 3. Dynastie bis zum Anfang des Neuen Reiches hatte der Grabkomplex, an dem die Toten- und Erneuerungsfeiern des Königs stattfanden, mit wenigen Ausnahmen eine Pyramide als sichtbares Diesseits des kosmischen Himmelaufstiegs des Königs.[2] In der Regel wurde der Leichnam des Königs auch in der Pyramide beigesetzt.

Am Anfang dieser Epoche fand der Übergang von der Bauweise mit luftgetrockneten Ziegeln zu Steinbauten mit größeren Abmessungen der Steine statt.[3] Mit der Schichtpyramide des Djoser wurden die bisher getrennten architektonischen Elemente königlicher Gräber erstmals im Pyramidenbezirk zusammengefasst und in Steinbauweise ausgeführt. Offen und weiterhin in Diskussion bleibt die Frage, ob es bis dahin zwei königliche Gräber – eines in Abydos und eines in Memphis – gab. Seit Djoser befinden sich jedoch innerhalb des Pyramidenbezirks ein Nordgrab (Pyramide) und ein Südgrab. In der Pyramide des Djoser-Nachfolgers Sechemchet ist in der Grabkammer erstmals ein königlicher Sarkophag nachgewiesen.

Ab der 4. Dynastie wurde das Südgrab in Form einer kleinen Nebenpyramide im Süden des Pyramidenbezirks ausgeführt („Kultpyramide“). Außerdem entwickelten sich die vier Hauptelemente

- Pyramide mit Kultpyramide, Nebenanlagen und Umfassungsmauer,
- Totentempel,
- Aufweg und
- Taltempel.

Der Zugang zur Grabkammer und der in der Achse liegende Zugangskorridor wurden nach Norden ausgerichtet.[4] Mit Bau der Pyramide des Mykerinos verringerten sich die Abmessungen der Pyramiden; gleichzeitig nahmen Größe der Totentempel und Umfang ihrer Ausstattung zu. Schepseskaf und Chentkaus kehrten vorübergehend wieder zur Form der Mastaba zurück.

Am Beginn der 5. Dynastie begann mit der Grabanlage des Sahure in Abusir eine neue Epoche im Pyramidenbau. Der Totentempel wurde direkt mit der Pyramide verbunden und lag

[1] Antipatros von Sidon, 2.Jhdt. v.Chr. in Ekschmitt, Weltwunder, S.9.
[2] LÄ III, S.498ff.
[3] Heisel, Baubezeichnungen, S.79.
[4] Die Ausrichtung geschah durch Beobachtung der Zirkumpolarsterne, die in den Pyramidentexten als Ziel der nächtlichen königlichen Himmelfahrt erscheinen. Als Zirkumpolarsterne werden die Sterne bezeichnet, die aus Sicht des Beobachters während des gesamten Jahres zu sehen sind, weil sie ständig um den Pol zu kreisen scheinen. Es gibt am Ort der Beobachtung (z.B. Ägypten) umso weniger Zirkumpolarsterne, je weiter dieser vom Nordpol entfernt ist. Nähere Angaben siehe bei Ekrutt, Sterne, S.10–11 und 22.

nun innerhalb der Umfassungsmauer. Erstmals wurden Säulen statt Pfeiler verwendet. Die am Ende der 5. Dynastie gefundene Anordnung der Räumlichkeiten blieb bis in die 12. Dynastie fast unverändert. Ab der 5. Dynastie sind mit dem Grab des Unas erstmals Pyramidentexte nachgewiesen. In der 6. Dynastie wurden wieder Pfeiler anstelle von Säulen als Bauelemente eingesetzt.

Die archäologischen Untersuchungen haben zweifelsfrei ergeben, dass die Pyramiden vor allem als Königsgräber errichtet wurden und die Baumeister über Generationen hinweg versuchten, die Zugänge zu den Grabkammern immer wirksamer vor Eindringlingen zu schützen. Die Unversehrtheit der Mumie des Königs wurde für König und Hofgesellschaft als unabdingbar für das Leben im Jenseits betrachtet.[5] Die Pyramide enthielt in den meisten Fällen in einem in ihr zentral gelegenen Punkt oder in einem tiefen Schacht unter ihrem Mittelpunkt einen Sarkophag aus Hartgestein. Die Pyramiden des MR zeigen, dass immer komplexere Zugangssysteme hin bis zu Blindgängen gebaut wurden. Einige Grabkammern wurden wannenförmig aus einem Monolith gearbeitet und mit großen Abdeckplatten verschlossen. Bei einer unvollendeten Ziegelpyramide in Dahschur wiegen die Wanne aus Quarzit mehr als 150 t und der Verschlussblock 83 t.[6]

In der Ersten Zwischenzeit führte die Auflösung der staatlichen Einheit Ägyptens zu Königsgräbern in der Form aufwendig gestalteter Privatgräber.[7] Lediglich die memphitischen Könige setzen mit den Königsgräbern des Ibi und Chui (beide 8. Dynastie) die bisherige Tradition fort.

Mit der Verlegung der Residenz nach Norden und nach Beendigung der regionalen Eigenbestrebungen einzelner Provinzen mit Beginn des MR wurde wieder auf die Form der Pyramide als Königsgrab zurückgegriffen.

Polz weist in seiner Habilitationsschrift nach, dass nach dem pAbbott davon ausgegangen werden kann, dass auch in der thebanischen Nekropole die Grabanlage des Mentuhotep II. von einer Pyramide bekrönt war. [8] Amenemhet I und Sesostris I. knüpften wieder an die Tradition des Baus großer Pyramiden als Königsgrab an und errichteten Pyramiden in Lischt. Weitere Bauten entstanden in Dahschur (Amenemhet II., Sesostris III. und Amenemhet III.), in Lahun (Sesostris II.) und in Hawara (Amenemhet III.). Dabei fanden verschiedene Änderungen der früher in der 6. Dynastie noch vorhandenen Elemente des Pyramidenbezirks statt. Polz führt weiterhin aus, dass mit der Entdeckung der Pyramidenanlage des Nub-Cheper-Re Intef in der Nekropole von Dra´Abu el-Naga, die an das Ende der 17. Dynastie datiert wird, deutlich wird, dass die Bezeichnung p3 mr des pAbbott Königsgräber nennt, die von einer Pyramide bekrönt waren. Es wird daher durch die jüngsten Forschungen aufgezeigt, dass die Pyramide als Teil der königlichen Grabanlage – sei es als großes Pyramidenbauwerk oder als ein architektonisches Element eines Grabbaus – bis Ende der Zweiten Zwischenzeit eingesetzt wurde.

Obwohl die Ägypter in der damaligen Zeit von der Vorstellung einer Fortexistenz nach dem Tod im Jenseits ausgingen, wurde für den Verstorbenen ein Ort des Erscheinens an den Festtagen errichtet. In der oberen Ruhestätte verbleibt der Leichnam, der durch Mumifizierung und aufwendige Grabbauten mit Sarkophagen und Blockiersystemen vor Raub und Beschädi-

[5] Lauer, Geheimnis, S.123.
[6] Jequier, Deux Pyramides.
[7] LÄ III, S.501ff.
[8] Polz, Habilitation, Kapitel 3.5, S.286ff.

gung geschützt wird.[9] Dazu gehört auch eine unsichtbare Grabsicherung durch Amulette, die dem Leichnam beigegeben werden. Gleichzeitig soll mit der intensiven Vorbereitung auf das Jenseits den dort zu erwartenden Gefahren begegnet werden.[10] Hinzu kommt die Versorgung des Toten mit allem Notwendigen. Der Grabkomplex bildete mit den inneren Räumen und dem äußeren Hofteil über viele Jahre oder Jahrzehnte hinweg die Stelle der Versorgung des Toten (Gedenken) und, nach außen gerichtet, die Kommunikationsstelle mit den Lebenden (Festtag).

Im Alten Ägypten galten für die Standortwahl zum Bau der Pyramiden als Königsgrab offensichtlich einige Grundvoraussetzungen:

- Der Westen, auf der Seite der untergehenden Sonne, galt ganz allgemein als das Totenreich – personifiziert durch die Göttin Amentet.[11] So liegen die thinitischen Königsgräber von Abydos, die Pyramiden des AR und MR mit ihren Privatfriedhöfen, die Sonnenheiligtümer der 5. Dynastie sowie die Nekropolen von Theben-West auf der Westseite des Nil.[12] Befinden sich Friedhöfe auf der Ostseite, ist wenigstens die Scheintür mit Schacht an der Westseite angeordnet.
- Die Pyramidenstandorte mussten einerseits hoch über dem Fruchtland liegen, um weithin sichtbar zu sein, und andererseits möglichst am Rand des Wüstenplateaus angeordnet sein, um die Steintransporte über den Nil bzw. einen Kanal im Fruchtland günstig durchführen zu können. Gleiches gilt für die Lage des Pyramidenbauplatzes in der Nähe geeigneter Steinbrüche für das Kernmauerwerk.
- Hinzu kam wahrscheinlich im AR – so eine häufig vertretene Auffassung – auch die Absicht, das Grabmal in der Nähe zur Hauptstadt Memphis zu errichten.

Die Fragen nach den bei der Materialgewinnung und dem Transport, bei der Bauplanung sowie beim Bau selbst verwendeten Techniken und Verfahren beschäftigten in den vergangenen Jahrhunderten viele Ägyptologen, Archäologen, Ingenieure und interessierte Laien. Zahlreiche, oft abenteuerliche Hypothesen oder Behauptungen wurden aufgestellt.

Den klassischen Ägyptologen und auch den Archäologen sind die baulichen und technischen Aspekte, die für die Errichtung der Pyramiden zu beachten sind, im Allgemeinen nicht sehr geläufig oder sogar fremd. Daran mangelt es oft bei den von ihnen entwickelten Hypothesen über den Pyramidenbau; diese werden aber dennoch immer wieder zitiert und weiter verbreitet. Andererseits bemühen sich viele „Nicht-Ägyptologen“ um Erklärungen zu bautechnischen Fragen und legen unterschiedlichste Berechnungen dazu sowie zu den beim Bau benötigten Personalleistungen vor. Derartige Betrachtungsweisen enthalten oft diskussionswürdige Aspekte. Häufig lassen sie dabei jedoch die archäologischen Kenntnisse und Zusammenhänge außer Betracht. Die entsprechende Beachtung und Anerkennung seitens der Welt der Ägyptologie für diese Gruppe der „Nicht-Ägyptologen“ wird oft vermisst.

Trotz vieler Veröffentlichungen und vorgetragener Hypothesen konnte für die Fragen, nach welchen Verfahren, in welchen Abschnitten, mit welchen Hilfsmitteln, innerhalb wie vieler Jahre und mit welchem personellen Aufwand die Pyramiden des AR geplant und gebaut wurden, noch kein in sich geschlossener Lösungsvorschlag zur Diskussion gestellt werden. Auch neuere Veröffentlichungen und Vorschläge zum Pyramidenbau helfen nicht entscheidend wei-

[9] Wolf, Blockierungssysteme.
[10] Hornung, Einführung.
[11] LÄ I, S.223.
[12] Die einzige Pyramide, die auf der Ostseite des Nils liegt, ist die kleine Stufenpyramide in Saujet el-Meitin.

ter.[13] Ziel dieser Arbeit ist es daher, ausgehend vom Stand der ägyptologischen Forschung und den archäologischen Befunden, bisher bekannt gewordene Hypothesen zum Bau und Bauvorschläge nach wissenschaftlichen Methoden zu analysieren und daraufhin zu überprüfen, inwieweit die Pyramiden des AR danach hätten errichtet werden können.

Darauf aufbauend wird eine neue, aus den archäologischen Befunden des AR abgeleitete und in sich widerspruchsfreie Hypothese für den Bau der Stufenpyramiden im AR entwickelt. Dabei wird von folgenden Voraussetzungen bzw. Festlegungen ausgegangen:

- Nur die im AR bekannten und archäologisch nachgewiesenen technischen Hilfsmittel, Bauverfahren, Transportverfahren und Werkzeuge werden berücksichtigt.
- Gleiches gilt für die archäologischen Befunde der baulichen und bautechnischen Merkmale der Pyramiden des AR.
- Darüber hinaus werden die bau- und sicherheitstechnischen Aspekte für den Bau der Verkleidung und für die Glättung der Außenflächen der Pyramide sowie die Möglichkeiten, gefahrlos zur jeweiligen Baustelle zu gelangen, mit einbezogen.
- Eine Berechnung der Bauzeiten mehrer Pyramiden nach der entwickelten Bauhypothese wird vorgenommen.

Fragen der Stein- und Materialgewinnung für den Pyramidenbau, der Wohnsiedlungen der Arbeiter, des Transports der Baumaterialien zur Baustelle und deren Lagerung, der Planung und Einmessung der Pyramidengrundfläche, der Zahl der benötigten Arbeitskräfte sowie Anzahl, Anordnung und Bau der Grabkammern stehen nicht im Mittelpunkt dieser Arbeit. Gleiches gilt auch für die kultische und auf das Königtum bzw. den König selbst bezogene Bedeutung des Pyramidenbezirks.

Nach der Beschreibung bzw. Definition der verwendeten Begriffe sowie der Festlegung der Schreibweisen in Kapitel 2 wird im darauf folgenden Kapitel 3 die zeitliche Entwicklung des Pyramidenbaus dargestellt. In den Kapiteln 4 und 5 werden – ebenfalls noch als Ausgangsmaterial für die spätere Analyse und Bewertung der verschiedenen Bauhypothesen sowie für die Entwicklung einer eigenen Hypothese – die im AR archäologisch nachgewiesenen Bautechniken, Bauverfahren, Werkzeuge und Hebeeinrichtungen sowie die baulichen und bautechnischen Befunde aufgezeigt. Im Kapitel 6 sind Angaben und veröffentlichte Berechnungen zu Bauzeiten der Pyramiden des AR zusammengefasst. Anschließend wird im Kapitel 7 eine ausführliche Analyse und Bewertung der bisher veröffentlichten (und ernst zu nehmenden) Bauhypothesen vorgenommen. Nach einem „Ausschlussverfahren“, welches die archäologischen Befunde und die technische Realisierung einbezieht, werden sodann die einzelnen Vorschläge und Hypothesen beurteilt. Die dann noch mit den archäologischen Befunden in Einklang stehenden und bautechnisch möglichen Vorschläge und Ideen für den Pyramidenbau werden – soweit sinnvoll – in die eigene Hypothese für den Bau der Pyramiden (Kapitel 8), die am Beispiel der Pyramide des Mykerinos eingehend erläutert wird, mit einbezogen. Diese Hypothese stellt als Ergebnis der Dissertation einen Vorschlag zum Bau der Pyramiden in Ägypten im AR dar (Kapitel 9 – Zusammenfassung und Ergebnisse). Kapitel 10 enthält das Quellenverzeichnis für zitierte Texte und Bilddarstellungen sowie das Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen.

[13] u.a.: Klemm und Klemm, Integralrampe; Graefe, Kernstruktur; Lattermann, Pyramidenbau; Haase, Stationen; Lehner, Schätze; Goyon, Cheopspyramide; Stadelmann, Große Pyramiden; Abitz, Pyramidenbau; Lauer, Geheimnis; Houdin, Cheops; Parry, Engineering; Keyssner, Baustelle Gisa.

2. Definitionen und Festlegungen

In der Literatur zum Pyramidenbau gibt es für die unterschiedlichen Bauformen sehr verschiedene, z.T. in sich widersprechende Bezeichnungen. Für diese Arbeit werden daher folgende Definitionen bzw. Festlegungen getroffen und verwendet:

2.1 Definition Baustrukturen

Mastaba
Unter einer Mastaba wird ein rechteckiges, nach oben mit einem Rücksprung der Außenmauer von 70–80º aufgeführtes Bauwerk aus Ziegeln oder Steinen (Steinquader-Tumulus) verstanden. Die einzelnen Steinlagen sind leicht nach innen geböscht.

Stufenmastaba
Die Stufenmastaba besteht aus einzelnen Stufen, die jeweils nach innen zurückgesetzt gebaut sind. Beispiel für diese Bauweise ist die Stufenmastaba des Schepseskaf in Saqqara Süd (Mastaba el-Faraun), deren Kernmauerwerk aus zwei Stufen besteht.[14]

Schichtpyramide
Der Pyramidenkern besteht aus einzelnen Mauerschichten von ca. 5–30 Ellen (2,6–15,6 m) Dicke, die in einem Winkel von ca. 70º errichtet werden und einen inneren Kern umgeben.[15] Die Steine sind mit einer leichten Neigung nach innen verlegt. Die Höhe der Schichten nimmt von der äußeren hin zu den inneren zu, sodass die Pyramide stufenförmig aussieht. Beispiele für diese Bauweise sind die Pyramiden des Djoser und des Sechemchet in Saqqara sowie die des Snofru in Meidum. Zur Bauweise siehe Abb. 2.1.1. und 2.1.2.

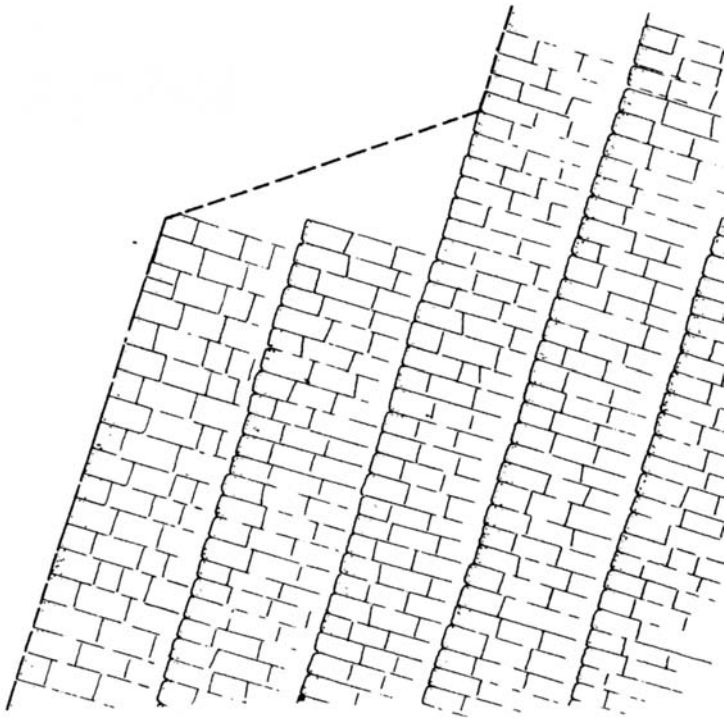


Abb. 2.1.1 Prinzip der Schichtbauweise

[14] Maragioglio VI, Addenda, TAV.16.
[15] Arnold, Building, S.160.

Abb. 2.1.2 Schichtpyramide des Sechemchet

Stufenpyramide
Darunter werden Pyramidenbauten verstanden, die im Inneren aus einem stufenförmig angeordneten Kernmauerwerk mit nach oben hin kleiner werdenden Grundflächen bestehen. Beispiel dafür ist die Pyramide des Mykerinos in Gisa (Abb. 2.1.3).

Die Verwendung des Begriffes „Stufenpyramide“ für die Schichtpyramiden ohne eine Verkleidung, der sich am äußeren Erscheinungsbild orientiert, ist mit Blick auf die Baustrukturen der Pyramiden irreführend und sollte in diesem Zusammenhang nicht verwendet werden.[16]

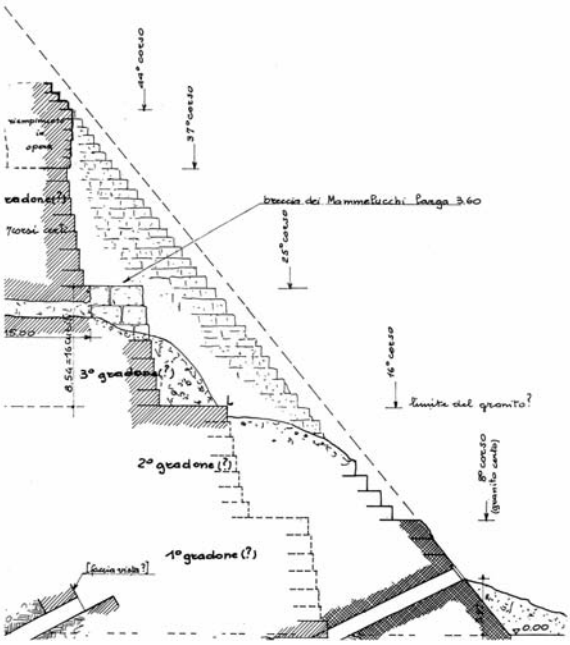


Abb. 2.1.3 Prinzip der Stufenpyramide

[16] Diese Bezeichnung wird u.a. immer wieder von Lehner, Stadelmann und Verner verwendet.

Pyramide mit Stützmauern
Die Pyramiden zu Beginn der 12. Dynastie wurden im Inneren nicht mehr in Stufen gebaut. Stattdessen wurden kreuzförmig angelegte Steinmauern mit dem festgelegten Rücksprung nach oben errichtet. Weitere kleinere Mauern ergänzten die Hauptstützmauern (Abb. 2.1.4). Die Zwischenräume wurden mit Schutt, Steinsplittern, Erde und Sand aufgefüllt. Die Räume zwischen den Stützmauern der Pyramide Sesostris' II., die in Ziegelbauweise ausgeführt waren, wurden mit ungebrannten Ziegeln aus Nilschlamm ausgefüllt.

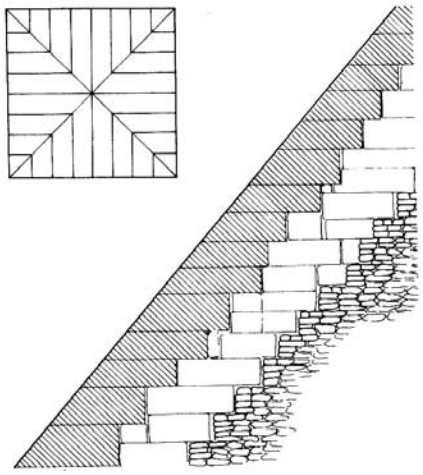


Abb. 2.1.4 Prinzip der Pyramide mit Stützmauern nach Arnold

Ziegelpyramide
Die Pyramiden Sesostris' III. und Amenemhets III. in Dahschur sowie die zweite Pyramide des Amenemhet III. in Hawara haben einen Kern, der ohne ein inneres Mauergerippe nur aus waagerecht geschichteten ungebrannten Ziegeln besteht.

„echte“ Pyramide
Dabei handelt es sich um einen Begriff, der sehr oft in der Fachliteratur verwendet wird.[17] Gemeint ist die klassische Pyramidenform mit gleich bleibender Neigung der Außenverkleidung aus Kalkstein oder Granit. Für eine Beschreibung der inneren Baustruktur der Pyramiden ist dieser Begriff irreführend und wird daher in dieser Arbeit nicht verwendet.

2.2 Definition Mauerwerk

Kernmauerwerk
Darunter wird die Bauweise der inneren Pyramidenstruktur in Form einzelner nach Innen hin geneigter Schichten (Abb. 2.1.2 Pyramide des Sechemchet) bzw. in Stufenform (z.B. Pyramide des Mykerinos) verstanden. Die äußere Schicht der einzelnen Stufen besteht aus relativ gut behauenen Steinen aus Steinbrüchen aus der unmittelbaren Umgebung und ist aus statischen Gründen mit einem Rücksprung von etwa 80º gebaut.[18] Dies ist eine Bauweise, wie sie heute noch bei Stützmauern aus Steinen verwendet wird. Die Zwischenräume zwischen den Außenmauern der Stufen werden mit nur grob behauenen bzw. nicht bearbeiteten Steinen aufgefüllt. In die Zwischenräume zwischen diesen werden Bauschutt, Schotter, Lehm (Tafla) oder Mörtel eingebracht.

[17] Stadelmann, Pyramiden, S.81, S.86; Lehner, Geheimnis, S.102; Jánosi, Kultpyramiden, S.12.
[18] Klemm und Klemm, Steine, S.72.

Verkleidungsmauerwerk
Der Raum zwischen den Schichten bzw. Stufen des Kernmauerwerks und der „klassischen" Pyramidenform mit einem Neigungswinkel zwischen 50º und 55º wird durch waagerecht verlegte Steinlagen mit auch bei unterschiedlicher Höhe der einzelnen Lagen gleich bleibendem Rücksprung ausgefüllt. Das Verkleidungsmauerwerk ist z.B. an der Pyramide des Mykerinos deutlich zu erkennen (siehe auch prinzipielle Darstellung in Abb.2.1.3; mittlere weiß gezeichnete Steinschicht).[19] Dabei handelt es sich um exakter behauenes Steinmaterial im Vergleich zum Kernmauerwerk, welches ebenfalls aus der unmittelbaren Umgebung der Baustelle stammt und in einzelnen Schichten unterschiedlicher Höhe verlegt wurde.

Äußere Verkleidungsschicht
Damit wird das Füllmaterial zwischen dem Verkleidungsmauerwerk und der äußersten, exakt geglätteten Schicht aus feinem Kalkstein bezeichnet. Diese Schicht ist deutlich bei der Chephrenpyramide zu erkennen.[20] Ihre Steine werden auch als „Backing Stones" (Hintermauerungssteine) zum Einbau der Steinblöcke der Außenverkleidung bezeichnet.[21]

Außenverkleidung aus Kalkstein oder Granit
Darunter wird die äußerste Verkleidungsschicht der Pyramiden aus Granit bzw. feinem Kalkstein verstanden. Die einzelnen Steine wurden vor dem Verlegen in ihren horizontalen Auflageflächen zugeschnitten. Die Anschlussflächen zum benachbarten Stein derselben Lage wurden vor Ort hergestellt und die Außenflächen als Bossen belassen. Als abschließende Baumaßnahmen an der Pyramide wurden die Steine von der Pyramidenspitze nach unten geglättet.

2.3 Längenbezeichnungen

Unter dem Begriff Basislänge wird die Basiskante der fertig verkleideten Pyramide verstanden (Fertigmaß). Andere Basislängen werden mit Zusatz wie z.B. „Kernmauerwerk" versehen.
Ab der frühen 4. Dynastie entspricht die Länge einer Elle 52,5 cm[22] mit ganz geringen Abweichungen.[23]

2.4 Festlegungen

Für die Orts- und Pyramidennamen wird die Schreibweise des LÄ übernommen.
Die angegebenen Regierungszeiten und die Reihenfolge der Herrscher beziehen sich, soweit nicht anders vermerkt, auf die Angaben in „Chronologie des pharaonischen Ägypten" von v. Beckerath.[24] Längen und Winkel werden in auf- oder abgerundeten ganzzahligen Einheiten genannt.

[19] Maragioglio VI, Addenda, TAV.4, Fig.2 und Abb.5.1.2.6.3.
[20] Maragioglio V, Addenda, TAV. 6, Fig.8.
[21] Maragioglio III, S.56 und TAV.18, Fig.3.
[22] Lepsius, Elle, S.10ff.; LÄ III, S.1209; Arnold, Baukunst, S.74.
[23] Dorner, Genauigkeit, S.55: Bei der Cheopspyramide beträgt die Ellenlänge 52,36 cm, bei der Chephrenpyramide 52,51 cm und bei der Pyramide des Unas 52,46 cm.
[24] v. Beckerath, Chronologie.

3. Zeitliche Entwicklung des Pyramidenbaus im Alten und Mittleren Reich

Der Bau der Pyramiden in der 3. bis 6. Dynastie umfasst einen Zeitraum von ca. 470 Jahren.[25] Während dieser Epoche entstanden 25 große Pyramiden und 1 königliche Mastaba, eine Reihe von Königinnenpyramiden und weitere Grabbauten. Im Durchschnitt wurde etwa alle 18 Jahre eine Königspyramide errichtet. In die nachfolgende Auflistung wurden nur Könige mit den dazugehörenden Pyramiden bzw. Grabbauten sowie ihren Regentschaftsjahren aufgenommen.[26] Vollständige Darstellungen – auch mit den dazugehörigen Kult- und Königinnenpyramiden – sind in neueren Publikationen enthalten.[27] Aufgeführt wurden weiterhin die Könige der 12. Dynastie, die als Grabstätte ebenfalls wieder Pyramiden errichten ließen.

Die Bezeichnungen Stufenmastaba, Schichtpyramide und Stufenpyramide gemäß vorstehend getroffenen Definitionen werden in der nachfolgenden Aufstellung nur dort aufgeführt, wo die entsprechende Bauweise archäologisch nachgewiesen ist. Ausführliche Angaben dazu sind im Kapitel 5 enthalten.

3. Dynastie

Djoser	2690/2640 – 2670/ 2620	Stufenmastaba / Schichtpyramide Saqqara Nord	**20**
Sechemchet	2670/2620 – 2663/2613	Schichtpyramide (unfertig) Saqqara Nord	**7**
Chaba] **Mesochris**] **Huni**]	2663/2613 – 2639/2589	Schichtpyramide (unfertig) Saujet el-Arjan	

4. Dynastie

Snofru	2639/2589 – 2604/2554	Schichtpyramide Meidum Knickpyramide Dahschur (Bauweise nicht feststellbar) Rote Pyramide Dahschur (Bauweise nicht feststellbar)	**35**[28]
Cheops	2604/2554 – 2581/2531	Stufenpyramide Gisa	**23**
Djedefre	2581/2531 – 2572/2522	Stufenpyramide Abu-Roasch	**9**
Chephren	2572/2522 – 2546/2496	Gisa (Bauweise nicht feststellbar)	**26**
Bicheris (?)[29]	2546/2496 – 2539/2489	(unfertig) Saujet el-Arjan (Bauweise nicht feststellbar)	**7**
Mykerinos	2539/2489 – 2511/2461	Stufenpyramide Gisa	**28**[30]

[25] Djoser (2690/2640 – 2670/2620) bis Pepi II. (2279/2229 – 2219/2169).
[26] Zahl der Regierungsjahre, der Regierungsdaten und der Reihenfolge der Herrscher nach v. Beckerath; auf eine neuere Zeittafel nach Krauss und Warburton (Hornung, Chronology, S.490ff.) wird hingewiesen.
[27] Lehner, Geheimnis; Stadelmann, Pyramiden und Verner, Pyramiden.
[28] Krauss und Warburton sprechen sich nach ihrer neuesten Untersuchung (Hornung, Chronology, S.485) für eine Regierungszeit des Snofru von 33 Jahren aus.
[29] Oder Nebka oder Baka (ältester Sohn von Djedefre).
[30] Krauss und Warburton sprechen sich nach ihrer neuesten Untersuchung (Hornung, Chronology, S.485) für eine Regierungszeit des Mykerinos von nur 6 Jahren aus und verweisen auf die Übereinstimmung mit den ar-

Schepseskaf	2511/2461 – 2506/2456	Stufenmastaba Saqqara Süd	**5**
Thamphthis	2506/2456 – 2504/2454	keine Pyramide bekannt	**2**

5. Dynastie

Userkaf	2504/2454 – 2496/2446	Stufenpyramide Saqqara Nord	**8**
Sahure	2496/2446 – 2483/2433	Stufenpyramide Abusir	**13**
Neferirkare	2483/2433 – 2463/2413	Stufenpyramide Abusir	**20**
Schepseskare	2463/2413 – 2456/2406	unvollendete Stufenpyramide Abusir	**7**
Neferefre	2456/2406 – 2445/2395	unvollendete Stufenpyramide Abusir	**11**
Niuserre	2445/2395 – 2414/2364	Stufenpyramide Abusir	**31**
Menkauhor	2414/2364 – 2405/2355	bisher keine Pyramide zugeordnet	**9**
Djedkare Asosi	2405/2355 – 2367/2317	Stufenpyramide Saqqara Süd	**38**
Unas	2367/2317 – 2347/2297	Stufenpyramide Saqqara Nord	**20**

6. Dynastie

Teti	2347/2297 – 2337/2287	Stufenpyramide Saqqara Nord	**10**
Pepi I.	2335/2285 – 2285/2235	Stufenpyramide Saqqara Süd	**50**
Merenre I.	2285/2235 – 2279/2229	Stufenpyramide Saqqara Süd	**6**
Pepi II.	2279/2229 – 2219/2169	Stufenpyramide Saqqara Süd	**60**
Nemtiemsaf II	2219/2169 – 2218/2168	keine Pyramide bekannt	**1**
Nitokris	2218/2168 – 2216/2166	keine Pyramide bekannt	**2**

12. Dynastie

Amenemhet I.	1976 – 1947	Pyramide mit Stützmauern Lischt	**29**
Sesostris I.	1956 – 1911/1910	Pyramide mit Stützmauern Lischt	**45**
Amenemhet II.	1914 – 1879/1876	Pyramide mit Stützmauern Dahschur	**35**
Sesostris II.	1882 – 1872	Pyramide mit Stützmauern Lahun	**10**
Sesostris III.	1872 – 1853/1852	Ziegelpyramide Dahschur	**19**
Amenemhet III.	1853 – 1806/1805	Ziegelpyramide Dahschur Ziegelpyramide Hawara	**47**
Amenemhet IV.	1807/1806 – 1798/1797	unfertige Pyramide Masghuna (?)	**9**
Kgn. **Nefrusobek**	1798/1797 – 1794/1793	unfertige Ziegelpyramide Masghuna (?)	**4**

---

chäologischen Befunden, wonach der Pyramidenkomplex des Mykerinos (Totentempel, Verkleidung der Pyramide, Aufweg etc.) nicht fertig gestellt wurde.

4. Bautechnik im Alten Reich

Im AR gab es keine exakten und wissenschaftlich fundierten Kenntnisse der Gesetze der Statik und der Mechanik sowie ihrer Anwendung. Statische Berechnungen, wie sie heute üblich sind, existierten offensichtlich nicht. Handwerkliche und bautechnische Fähigkeiten haben sich aufgrund langjähriger Beobachtungen der Natur und daraus gewonnener Erfahrungen ergeben und wurden stetig weiter vervollkommnet. Die Technik der Herstellung von Säulen, Architraven, Obelisken etc. sowie die entsprechenden Bau- und Transporttechniken waren daher von großer Kontinuität und stetiger evolutionärer Weiterentwicklung geprägt. Sie fanden im NR ihren Höhepunkt. Neue bzw. veränderte Arbeits- und Bauverfahren entwickelten sich aufgrund gemachter Erfahrungen, neuer Werkstoffe sowie vor Ort vorhandener Gesteinsformationen. Generell ist jedoch von „einfacher Technik“ und daraus sich ergebenden „einfachen Lösungen“ auszugehen.

Borchardt hat in diesem Zusammenhang einmal formuliert:

> *“Die Pyramiden sind einfache, klare Bauwerke, entworfen mit den einfachen Hilfsmitteln der Ägypter der damaligen Zeit“.*[31]

Dieser Feststellung kann auch aus heutiger Sicht uneingeschränkt zugestimmt werden.

Andererseits ist der Bau der Pyramiden ohne gründliche Planung sowie ohne das Erstellen detaillierter Baupläne, ohne einen exakt ausgearbeiteten Ablaufplan und ohne ein hoch entwickeltes logistisches Transportwegesystem nicht vorstellbar. Die Auswahl der Standorte geeigneter Steinbrüche sowie des Transporthafens, das Vermessen und die Ausrichtung der Pyramidengrundfläche, die Berechnung, Herstellung und der Transport der Baumaterialien sowie deren Kennzeichnung und Zwischenlagerung erforderten große Erfahrung und eingehende Überlegungen.[32] Aus dem MR ist bekannt, dass die Steinblöcke mit genauen Kontrollmitteilungen (Herstellungsdatum, Handwerkerbenennung, Transportwege, Lagerstätte etc.) versehen wurden.[33] Es ist anzunehmen, dass auch bereits im AR ein vergleichbares System existierte.

Die Arbeitsvorbereitung im gesamten Baubezirk musste sehr gut organisiert werden. Das gilt auch für den später beim Bau genau einzuhaltenden Zeitplan, nach dem die Materialien aus dem Steinbruch und vom Hafen anzuliefern sowie die Arbeitskräfte einzusetzen und zu versorgen waren. Mit Blick auf die Anzahl der zu verbauenden Steine und die Bauzeit selbst muss es eine Art „Just-in-time“-Prinzip zwischen Steinbruch, Transporthafen, Zwischenlager und Baustelle selbst gegeben haben.

Leider liegen aus der 3. und 4. Dynastie keinerlei „Bauberichte“ vor.[34] Erst gegen Ende der 5. Dynastie ist aus einer Darstellung im Grab des königlichen Baumeisters *šndm-jb Ỉnt* bekannt, dass er u.a. den Plan für den Pyramidenbezirk des Königs Djedkare Asosi erstellt hat.[35]

---

[31] Borchardt, Zahlenmystik, S.35.
[32] Becker, Chephren 3.
[33] Arnold, Controll Notes, S.14ff.
[34] Stadelmann, Pyramiden, S.217.
[35] Stadelmann, Große Pyramiden, S.248.

Pläne muss es für alle Bauwerke und Bauplanungen gegeben haben.[36] Durch Sammlung der Grundrisse und Beschreibungen in den Archiven verfügten die Baumeister über eine Bibliothek, in der die Informationen über die Ausführung der Bauten im Detail gespeichert waren.[37] Abgesehen von Aufrissen in der Mastaba Nr. 17 in Meidum aus der 3. Dynastie, die Petrie entdeckte, sind keine Planzeichnungen für Bauwerke aus dieser Zeitepoche erhalten.[38] Die Anlage des Schachtes zwischen dem absteigenden und aufsteigenden Korridor und die Ausführung des Grabräubertunnels in der Cheopspyramide mit der Umgehung des vermutlich mit Blockiersteinen aufgefüllten absteigenden Gangs[39] und der drei Blockiersteine aus Granit[40] am unteren Ende des aufsteigenden Ganges zur Galerie[41] zeigen z.B., dass es in Archiven genaue Pläne und Unterlagen über das Gang- und Kammersystem der Pyramide gegeben haben muss, in deren Besitz die Grabräuber in der ersten Zwischenzeit gelangt sein müssen.[42]

In einem Papyrus aus der Ramessidenzeit (pLeiden 344), dessen inhaltliche Quelle vermutlich in die Erste Zwischenzeit datiert,[43] heißt es:[44]

> *„…Die Akten des Hohen Gerichts sind weggeschleppt, die Geheimarchive sind bloßgelegt. Zauberformeln sind dem Volk enthüllt, magische Sprüche richten Geistesverwirrungen an…“*

Entsprechend einer jüngsten Veröffentlichung von Das Gupta soll der Durchbruch zu den drei Blockiersteinen am Ende des Grabräubertunnels aber erst im Jahr 832 n. Chr. erfolgt sein.[45] Bis dahin sei er ein Blindstollen gewesen. Vielleicht wurde auch nur die Einbruchstelle antiker Räuber erweitert. Haase verweist auf arabische Quellen, wonach der Tunnel dem Kalifen Abdullah al-Ma'mun zugeschrieben wird.[46]

Haase erwähnt auch auf den Fund eines Grabräubertunnels am unteren Ende des absteigenden Korridors in der Pyramide des Djedefre in Abu Roasch.[47] Der Verlauf dieses Tunnels zeigt seiner Meinung nach, dass die Grabräuber genaue Kenntnisse des unterirdischen Aufbaus des Kammersystems gehabt haben müssten; die Plünderung der Pyramide erfolgte vermutlich bereits in der Ersten Zwischenzeit.

Aus späterer Zeit sind über den Bau der Tempelanlagen in Edfu und Dendera Archivmaterialien mit einer Fülle einzelner Informationen zum Bau bekannt.

Mit Blick auf die Lebenserwartung der damaligen Herrscher dürfte es zeitlich sehr enge Vorgaben und Zeitpläne für die Errichtung der Pyramidenkomplexe gegeben haben, sodass verschiedene Arbeiten zeitlich parallel ausgeführt werden mussten.

---

[36] Ebenda, S.248.
[37] Heisel, Baubezeichnungen, S.78.
[38] Petrie, Meidum; Heisel, Baubezeichnungen, S.79–80.
[39] Haase, Fallsteinsystem, S.32–33 und Fußnote 7.
[40] Borchardt, Dritte Bauperiode, S.6.
[41] Maragioglio IV, TAV.1, fig.4.
[42] Haase, Vermächtnis, S.221; Haase, Cheops, S.118ff.; Haase, Fallsteinsystem, S.32.
[43] Haase, Fallsteinsystem, S.44.
[44] Spiegel, Reformbewegungen, S.14.
[45] Das Gupta, Einbrüche.
[46] Haase, Fallsteinsystem, S.32.
[47] Haase, Dejdefre, S.59ff.

Eine Fülle von Informationen und Darstellungen über handwerkliche Tätigkeiten ist aus den Gräbern verschiedener Privatleute – oft Vertraute des Königs – überliefert. Aus vielen Reliefdarstellungen kann in Verbindung mit archäologischen Funden der Gebrauch heute vergessener Techniken erkannt und wieder gefunden werden. Die sich daraus ergebenden und im AR genutzten Bautechniken werden nachstehend im Einzelnen unter Bezug auf die entsprechenden archäologischen Befunde und Quellen beschrieben.

4.1 Baumaterial

4.1.1 Steingewinnung und Steinbearbeitung

Die Steingewinnung in den Kalksteinbrüchen auf dem Gisa-Plateau sowie in Saqqara, Abusir und an anderen Orten geschah durch Anbringen senkrechter Trennfugen und anschließendes Aushebeln der Blöcke von der Unterseite her bzw. durch unmittelbares Aufbrechen der in waagerechten Lagen angeordneten Steinformationen. Diese waren meist durch Schichten weniger festen, kalkhaltigen Mergels in unterschiedlichen Höhen getrennt.[48] Eine weitere Bearbeitung (Grobschlichtung) für die Verwendung im Kernmauerwerk war nur selten erforderlich.

Die Trennfugen wurden so breit angelegt, dass in ihnen gerade ein Mann arbeiten konnte. Sie wurden mit Spitzmeißeln geschlagen.[49] Entsprechende Schlagspuren an den Steinoberflächen sind immer wieder zu beobachten.[50]

Die metallurgische Gewinnung und Bearbeitung von Kupfer beherrschten die Ägypter bereits am Ende der prädynastischen Zeit. Sie konnten damit Äxte, Meißel, Sägen etc. herstellen.[51] Eine Härtung des Kupfers durch Hämmern ermöglichte es, Steine zu sägen und Bohrungen herzustellen. Aus der 5. Dynastie ist dazu eine Darstellung auf einem Relief in der Mastaba des Wepemnofret bekannt.[52] Die immer wieder geäußerte Behauptung, es müsse bereits im AR spezielle Härtungsverfahren für Kupfer gegeben haben, wodurch dieses mit der Härte von Eisen vergleichbar sei, ist nicht belegt.[53] Gleiches gilt für Aussagen, dass es bereits zu Cheops' Zeiten Eisenwerkzeuge gegeben habe.[54] Auch Lepsius weist darauf hin, dass es in allen bildlichen Darstellungen aus dem AR mit der Farbe blau dargestellte – also aus Eisen gefertigte – Werkzeuge offensichtlich nicht gab; überall sei das Metall der Waffen und der Arbeitsgeräte in roter oder hellbrauner Farbe (Kupfer) wiedergegeben.[55]

Ab der 4. Dynastie wurde der feinkörnige Kalkstein für die Verkleidung der Pyramiden aus Lagerstätten am Ostufer des Nil gewonnen. Auch dort befanden sich durch tonige Zwischenschichten getrennte Kalksteinfelsen, wodurch sich der Abbau in Galeriesteinbrüchen relativ leicht bewerkstelligen ließ.[56] Der bei der Gewinnung noch weiche Kalkstein konnte gesägt werden. Eine Aushärtung fand erst nach der Verbauung unter dem Einfluss der Atmosphäre statt.

---

[48] Klemm und Klemm, Steine, S.72; Clarke und Engelbach, Egyptian, S.11–22; Perring, Pyramids II, Pl. VII.
[49] Klemm und Klemm, Steine, S.320.
[50] Arnold, Building, S.34.
[51] Lucas, Egyptian, S.200.
[52] Weinstein, Annealing S.23.
[53] Lauer, Geheimnis S.243; Edwards, Pyramids, S.250.
[54] Illig, Cheopspyramide, S.142; Herodot (Quelle: v. Bissing, Diodor, S.15).
[55] Lepsius, Metalle, S.112.
[56] Klemm und Klemm, Steine, S.62.

Im Gegensatz zu Kalk- und Sandsteinen, die aus Gesteinslagen gewonnen und bei einer weiteren Verarbeitung mit Sägen aus Kupfer bzw. Bronze bearbeitet werden konnten, mussten die für den Bau benötigten Hartgesteine wie Granit, Basalt und Granodiorit bei dem Abbau und bei weiteren Verarbeitungsschritten wegen der sehr dichten Kornbindung nach den Methoden der Steingefäßherstellung und bei Glättungsarbeiten mit Dolerithämmern bearbeitet werden.[57] So ergab es sich zwangsläufig, dass in den Gebieten, in denen entsprechende Steinbrüche ausgebeutet wurden, anschließend von den Gesteinsspezialisten auch die Bearbeitung der Rohlinge erfolgte. Damit wurde erreicht, dass auf den Baustellen der Pyramidenkomplexe nicht auch noch die Bearbeitung von Hartgesteinen in größerem Umfang vorgenommen werden musste. So wurde auch das Risiko eines Materialbruchs bei der Bearbeitung auf den Bereich vor der Verschiffung begrenzt. Darüber hinaus verringerte sich natürlich auch das zu transportierende Gewicht durch die Bearbeitung bereits im Steinbruch. Zumindest großformatige Bauteile und Werkstücke wurden so an Ort und Stelle bis hin zu den Dekorationen – z.B. die Palmsäulen im Pyramidenkomplex des Unas – weitgehend fertig gestellt. Dies zeigen Funde (Abschlagsplitter, feiner Granitgruß aus scharfkantigen Partikeln) in den Steinbrüchen.[58] Diese Arbeitsteilung erforderte natürlich eine genaue Planung der Bauten und eine detaillierte Bestellung der Werkstücke in den Steinbruchbetrieben.

Ausführliche Untersuchungen von Stocks am Sarkophag des Cheops, der erstmals in der Geschichte des AR aus Granit bestand[59], ergaben, dass für die äußere Formgebung Kupfersägen unter Beimischung von Sand als Schleifmittel verwendet wurden.[60] Stocks führte darüber hinaus verschiedene eigene Untersuchungen mit Sägen durch.[61] Eine sehr ausführliche und mit vielen Darstellungen sowie Belegen versehene Veröffentlichung seiner Versuche und Beobachtungen beinhaltet umfangreiches Material zur Steinbearbeitung.[62]

Moores zeigt in einer hypothetischen Darstellung die Bedienung einer Steinsäge aus der Zeit der 4. Dynastie.[63] Allerdings dürfte eine derartige Säge aus einem zahnlosen Kupferblatt bestanden haben. Die Weichheit des Kupferblattes, die die Sandkörner in dem Metall sich festsetzen ließ, begünstigte dieses Schneideverfahren.[64] Die Aushöhlung des Sarkophages des Cheops geschah durch den Einsatz von Röhrenbohrern aus Kupfer, wie von Stocks nachgewiesen wurde.[65]

Bohrer sind aus verschiedenen Darstellungen aus der Zeit des AR bekannt. So weist Borchardt auf die Abbildung eines Bohrers aus der 4. Dynastie zum Aushöhlen von Gefäßen hin.[66] Dieser besteht aus einem unten gegabelten Stiel, in den je nach gewünschtem Durchmesser ein Feuerstein unterschiedlicher Länge eingesetzt wird. Am oberen Ende befinden sich eine gebogene Kurbel zum Drehen und zwei mit Stricken befestigte Steine, die gleichzeitig Auflast und Schwungrad bilden. Dabei müssen, wie Nachbauten gezeigt haben, die Drehgeschwindigkeit und der Druck auf das Werkstück gut aufeinander abgestimmt sein, um einerseits mit hoher Drehgeschwindigkeit eine senkrechte Bohrung zu erreichen und andererseits

[57] Klemm und Klemm, Steine, S.321.
[58] Klemm und Klemm, Steine S.328.
[59] Richter, Kupfer.
[60] Stocks, Antiquity.
[61] Richter, Hartgesteinbearbeitung.
[62] Stocks, Experiments.
[63] Moores, Stone-Cutting, S.147.
[64] Goyon, Cheopspyramide S.84.
[65] Stocks, Handwerker, S.7–8.
[66] Borchardt, Bohrer.

ein Zerstören des Steines bei zu geringer Drehgeschwindigkeit zu vermeiden.[67] Bei gleichmäßigem Druck zentrieren die Schwungsteine die Triebstange sehr genau. Die Darstellung eines Handwerkers im Grab des Ti in Saqqara aus der 5. Dynastie zeigt einen derartigen Bohrer (Abb. 4.1.1).[68] Röhrenbohrer hatten anstelle des Bohrkopfes aus Feuerstein einen Zylinder aus Kupfer. Dabei umschlingt ein Seil das Kupferrohr und wird an beiden Enden in einen Bogen eingespannt. Als Schleifmittel wurde trockener Quarzsand verwendet.[69]

Die Konstruktion der Bohrer zeigt, dass bereits im AR das Prinzip der Kurbel sowie der Walze und damit die Kraftübersetzung bekannt waren und eingesetzt wurden.

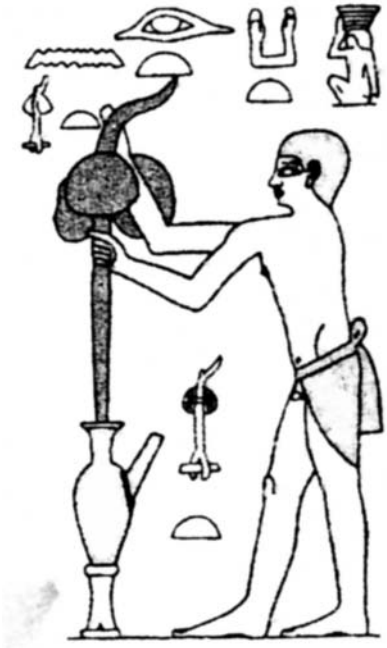


Abb. 4.1.1 Umzeichnung einer Handwerkerdarstellung aus dem Grab des Ti (5. Dynastie) in Saqqara

4.1.2 Steinverarbeitung an der Baustelle

Für die unterschiedlichen Verwendungen und Verbauungen von Steinen gab es ganz verschiedene Bearbeitungsvorgänge. Für viele Fälle (Steine im Inneren des Kernmauerwerks, Steine des Verkleidungsmauerwerks) genügte eine relativ grobe Bearbeitung, da die Steine im Mörtelbett verlegt wurden. Dagegen mussten Steine für die äußere Verkleidungsschicht und die Außenverkleidung aus Kalkstein sehr exakt bearbeitet werden. Sie wurden aus den Steinbrüchen grob rechteckig bearbeitet angeliefert und erst an der Baustelle weiterbearbeitet. Dabei wurden die Unter- und Oberseiten eben bearbeitet. Die vorbereiteten Seitenflächen der Steine der Außenverkleidung wurden dann zusammen mit dem benachbarten Stein bearbeitet, d.h. eine gemeinsame Schnittfläche wurde gesägt. Diese Fugen stehen in ägyptischen Bauwerken bis in die Spätzeit fast nie im rechten Winkel zur Blockunterseite. Meist sind sie etwas schräg ausgeführt, ohne dass dafür eine Regel erkennbar ist. In derselben Lage können unterschiedliche Neigungswinkel der Fugen vorkommen. Für die Bauausführung kam es offensichtlich nur darauf an, immer gut schließende Fugen zu erhalten. Weiterhin ist für den

[67] Sauerbier, Bohrwerkzeuge.
[68] Steindorff, Darstellung Haase in Sokar 5, S.41.
[69] Richter, Hemutiu.

Bau der äußeren Verkleidungsschicht typisch, dass für die einzelnen Lagen Blöcke unterschiedlicher Abmessungen verwendet wurden. An der Verkleidung der Knickpyramide ist dies deutlich zu sehen (Abb. 4.1.2).

So können der Mauerverbund mit schrägen Blockfugen, das Bearbeiten einzelner Stoßflächen unmittelbar am Ort der Verbauung und die Verwendung von Steinen mit stets unterschiedlichen Formaten als dauerhaftes Charakteristikum der ägyptischen Bautechnik und Architektur gelten.[70]

Abb. 4.1.2 Äußere Verkleidungsschicht der Knickpyramide, bestehend aus unterschiedlichen Steinformaten

Rings um die Vorderseiten der Blöcke, die in Bosse stehen gelassen wurden, wurde ein schmaler Rahmen abgearbeitet, dessen Böschung die Neigung der Pyramidenaußenseite aufwies. Dadurch wurde es möglich, bei der Steinverlegung die Neigung der Außenflächen stets einzuhalten und beim späteren Abarbeiten der Bossen (nach Fertigstellung der Pyramide von oben nach unten) die Außenseiten der Steine exakt plan abzuarbeiten.

4.1.3 Ungebrannte Ziegel

Neben Steinen für königliche Bauten war der luftgetrocknete Lehm- bzw. Nilschlammziegel das am weitesten verbreitete Baumaterial in Ägypten. Im Alten Ägypten wurden damit

[70] Goyon, Karnak, S.109.

Mastabas, Festungen, Häuser, Paläste, Umfassungsmauern und teilweise auch Tempel erbaut. Verwendung fanden luftgetrocknete Ziegel auch beim Rampenbau.[71]

Rohmaterial sind feuchte Tonschichten im Nilschlamm.[72] Um ein Reißen der getrockneten Ziegel zu vermeiden bzw. deren Festigkeit zu erhöhen, muss der durchfeuchtete Lehm mit Sand und Häcksel (Schnittstroh) angereichert werden. Ziegel mit diesen Zusatzstoffen erreichen eine hohe Festigkeit.[73] Entscheidend kommt es darauf an, dass der Häcksel einige Tage vor der Ziegelfertigung im Wasser liegt, um die entsprechende, etwas schleimige Konsistenz anzunehmen.[74] Goyon berichtet von bis zu 14 m dicken Wänden aus Ziegeln in Tanis, wobei alle 4–5 Lagen eine Schilfmattenlage als horizontale Verstärkung eingebracht wurde. Außerdem wurden Baumstämme oder Rüststangen quer zur Mauerrichtung als Armierung mit eingebaut.[75] Luftgetrocknete Ziegel widerstanden mit einem Verputz – angereichert mit noch mehr Stroh und länger eingeweicht – auch Wind und Regen.[76]

Für große Bauwerke mussten hunderttausende Lehmziegel in unmittelbarer Umgebung der Baustelle hergestellt werden. Auf einem Wandbild im Grab des Rechmire (TT 100 in Gurna), Wesir unter Thutmosis III.[77], ist die Ziegelherstellung in einzelnen Etappen dargestellt (Abb. 4.1.3.1).[78]

Abb. 4.1.3.1 Herstellung von Lehmziegeln; Grab des Rechmire

In dem Bildausschnitt rechts unten sind das Aufhacken des Nilschlamms und auf der linken Seite das Vermischen mit den Beigaben sowie das Stampfen mit den Füßen dargestellt. Ein

[71] Arnold, Baukunst, S.282ff.; Spencer, Brick Architecture.
[72] Arnold, Baukunst, S.167.
[73] Dieses Prinzip wird heute beim Betonieren mit der Verwendung von Betonstahl (Matten, Stäbe) ebenfalls angewandt. Der beigemischte Sand entspricht der heutigen Beigabe von Kies zur Betonmischung.
[74] Goyon, Cheopspyramide, S.87–88.
[75] Goyon, Cheopspyramide, S.88.
[76] Goyon, Cheopspyramide, S.87.
[77] LÄ V, Spalte 180.
[78] Davies, Rechmire.

weiterer Arbeiter transportiert den Lehm zu dem Arbeiter, der die Holzform auf den Boden setzt und mit Lehm füllt. Es handelt sich dabei um einen rechteckigen Kasten aus Holz ohne Boden, versehen mit einem Griff, also um einen einfachen Holzrahmen. Die Form wurde unmittelbar nach Einfüllen der Ziegelmasse abgenommen. Anschließend trockneten die Ziegel an der Sonne in der Luft. Nach diesem Verfahren ließen sich in kurzer Zeit große Mengen an Lehmziegeln herstellen.[79] Es gab z.T. sehr unterschiedliche Formate und für spezielle Anwendungen auch Formziegel, z.B. für den Bau von Gewölben bereits ab der 4. Dynastie.[80] Ziegellagen wurden in Nilschlamm oder in Sand verlegt. Die Verwendung von Mörtel ist selten zu beobachten.

Größere Ziegelrampen konnten so unter Einsatz vieler Arbeiter in kurzer Zeit vor Ort gebaut werden. Das dadurch mögliche Bauverfahren des Transports auch schwerer Lasten auf Schlitten über Rampen nach oben ist typisch und kennzeichnend für das ägyptische Bauwesen vom AR bis in die Römerzeit. Der Arbeitsaufwand für die Ziegelherstellung und deren Transport ist zwar groß, aber das Transportverfahren selbst ist wegen des geringen Gewichtes des einzelnen Ziegels einfach und bot daher beträchtliche Vorteile.[81]

4.2 Hebeeinrichtungen

4.2.1 Balken, Stangen

Die einfachste Hebeeinrichtung, die seit dem AR archäologisch belegt ist, besteht aus einem Holzbalken. Dabei ist es möglich, mittels des längeren Teiles des Hebels ein am kürzeren Teil anliegendes großes Gewicht mit vergleichbar kleiner Kraftanstrengung zu bewegen. In den Steinbrüchen in Gisa wurden damit die Steine herausgehebelt.[82] Beim Bau der Verkleidung der Pyramiden wurden die vorbereiteten und an den Seitenflächen genau zugeschnittenen Verkleidungsblöcke mittels Hebeln (Balken, Stangen) aneinander geschoben.[83] Als Beispiel dafür seien die Verkleidungssteine in den unteren Reihen der Cheopspyramide genannt. Für die Verlegung und das Einpassen der Steinblöcke des Kernmauerwerks und des Verkleidungsmauerwerks wurde dasselbe Verfahren angewandt.

Das Prinzip der Hebelwirkung und damit das der Kraftverstärkung war im AR bekannt und wurde vielfältig eingesetzt. Das zeigen auch verschiedene Darstellungen von Stand- und Handwaagen aus der 5. Dynastie.[84]

Holzbalken wurden nachweislich auch an anderen Stellen beim Pyramidenbau eingesetzt: Die Baugerüste in der großen Galerie der Cheopspyramide[85] und die in situ in der oberen Grabkammer der Knickpyramide gefundenen Reste der Verschalung der Wände mit Zedernholzbalken, die nach Stadelmann entweder zum Abstützen der Wände der Grabkammer eingebaut wurden oder als Baugerüst zum Glätten des Gewölbes stehen gelassen wurden[86], seien dafür als Beispiele genannt.

---

[79] Arnold gibt an, dass vier Arbeiter in der Lage waren, täglich ca. 3000 Ziegel herzustellen (Arnold, Baukunst, S.282); das spezifische Gewicht von Lehmziegeln liegt bei ca. 1,5 t/m³.
[80] Arnold, Baukunst, S.85 und 92.
[81] Goyon, Karnak, S.104ff.
[82] Klemm und Klemm, Steine, S.56.
[83] Stadelmann, Pyramiden, S.110; Haase, Cheops, S.25, Abb.27.
[84] LÄ VI, S.1082.
[85] Borchardt, Dritte Bauperiode, S.7ff.; Arnold, Building, fig.5.11.
[86] Stadelmann, Pyramiden, S.94.

Während der Herrschaft des Königs Snofru (Jahr x +2) wird auf dem Palermostein vom „Bau von …hundertelligen *dw3*-t*3*wj-Schiffen aus *mr*-Holz…“[87] und vom „Bringen von 40 Schiffen aus (?) Zedernholz...“ berichtet.[88] König Snofru schloss ein Bündnis mit dem König von Byblos im Libanon. Dieser lieferte daraufhin so umfangreich Zedernholz, dass es bis zum Ende der folgenden Generation ausreichte.[89] Die Libanonzedern erreichten Abmessungen von bis zu 40 m Höhe und 4 m Durchmesser.

Auch aus dem „Wald von Koptos“ wurde *mr*-Holz für den Schiffsbau verwendet. Eine weitere Möglichkeit für den Bezug von Bauholz ergab sich aus den Wäldern, die im Bereich des Blauen und Weißen Nils noch vor 200 Jahren bis zum 10./12. Breitengrad reichten.[90] Mittels Flößen konnte das Holz bis nach Oberägypten transportiert werden.

Geeignete Werkzeuge zur Holzbearbeitung waren im AR vorhanden. Malereien im Grab des Hesire aus der 3. Dynastie zeigen umfangreiche Werkzeuge wie Äxte, Sägen, Beitel, Drillbohrer etc. für Zimmerleute, Schreiner und Tischler.[91]

4.2.2 Absenken und Anheben schwerer Lasten

Auch das Absenken und Anheben schwerer Lasten ist im AR vielfach belegt. Anhand einiger Beispiele soll darauf näher eingegangen werden:

4.2.2.1 Das Fallsteinsystem im Korridor zur Grabkammer des Königs in der Cheopspyramide

Borchardt hat sich in seinen Anmerkungen zur Dritten Bauperiode eingehend auch mit dem System der Fallsteine in der Blockiereinrichtung vor der Königskammer in der Cheopspyramide befasst.[92] Maragioglio und Rinaldi haben die Fallsteinkammer ebenfalls vermessen und ihre Funktionsweise analysiert.[93] Mit dem Fallsteinsystem in der Cheopspyramide wurde die Blockierung der Zugänge zur Grabkammer erstmals nach wesentlich sichereren Kriterien als in der vorhergehenden Epoche unter Snofru vorgenommen.[94]

Oberhalb des Ganges zur Grabkammer befindet sich eine kleine Kammer, die ebenso wie der untere Teil des Ganges mit großen Granitplatten verkleidet ist. Aus ihr wurden drei Fallsteine aus Granit an Seilen herunter gelassen. Die Abmessungen dieser Fallsteine betrugen 147 cm in der Höhe, 114 cm in der Breite und 53 cm in der Tiefe. Die Steine waren mit vier Bohrungen mit Durchmessern zwischen 7,1 und 7,6 cm versehen.[95] Die Kammer ist mit ca. 30 cm auf der Ostseite und 30 cm auf der Westseite breiter als der Gang zur Grabkammer. An der Ost- und Westwand des Ganges zur Grabkammer unterhalb der Fallsteinkammer befinden sich von Süden aus gesehen jeweils drei Führungsrinnen mit einer Breite von 55 cm und einer Tiefe von 8 cm zum Herablassen der Fallsteine.[96] Das lichte Maß zwischen Ost- und

[87] Schiffe aus *mr*-Holz, das noch im NR vielfach und zu den gleichen Zwecken wie das Zedernholz verarbeitet wird, kommen auch an anderer Stelle – auf den Täfelchen aus Abydos, wie Petrie berichtet – vor.
[88] Schäfer, Annalen, S.30; Urkunden I, 236,12.
[89] Goyon, Cheopspyramide, S.32.
[90] Meyers Lexikon von 1899.
[91] Quibell, Saqqara, S.21ff. und Tafel 16.
[92] Borchardt, Dritte Bauperiode, S.14ff. und Tafeln 2, 3, 4, 10 und 12.
[93] Maragioglio, IV, S.44–48, S.126–128 und TAV.7, Fig.1–9.
[94] Birell, Portucullis Stones, S.25; Wolf, Snofru; Haase, Fallsteinsystem, S.36ff.
[95] Haase, Blockierstein, Haase, Fallsteinsystem, S.38.
[96] Maragioglio, IV, S.46, TAV.7, Fig.6.

Westwand beträgt ca. 120 cm bei einer Gangbreite von 104 cm. Diese Führungsrinnen reichen etwas in den Gangboden hinein.[97]

Zwei weitere Führungsrinnen – auf beiden Gangseiten je eine – befinden sich auf der Nordseite der Kammer. Ihre Breite beträgt jedoch nur 43 cm. Sie enden 111 cm über dem Gangboden. In diesen beiden Führungsrinnen befinden sich noch heute, wie aus Abb. 4.2.2.2.1 ersichtlich, zwei Granitsteine mit einer Gesamthöhe von 133 cm und einer Dicke zwischen 38 und 42 cm. Am unteren Ende des oberen Steins, 13 cm vom unten, ist eine Nase (2,5 cm hervorstehend, Durchmesser 13 cm) angebracht.[98] Die Oberkante des oberen Steins ist abgerundet.

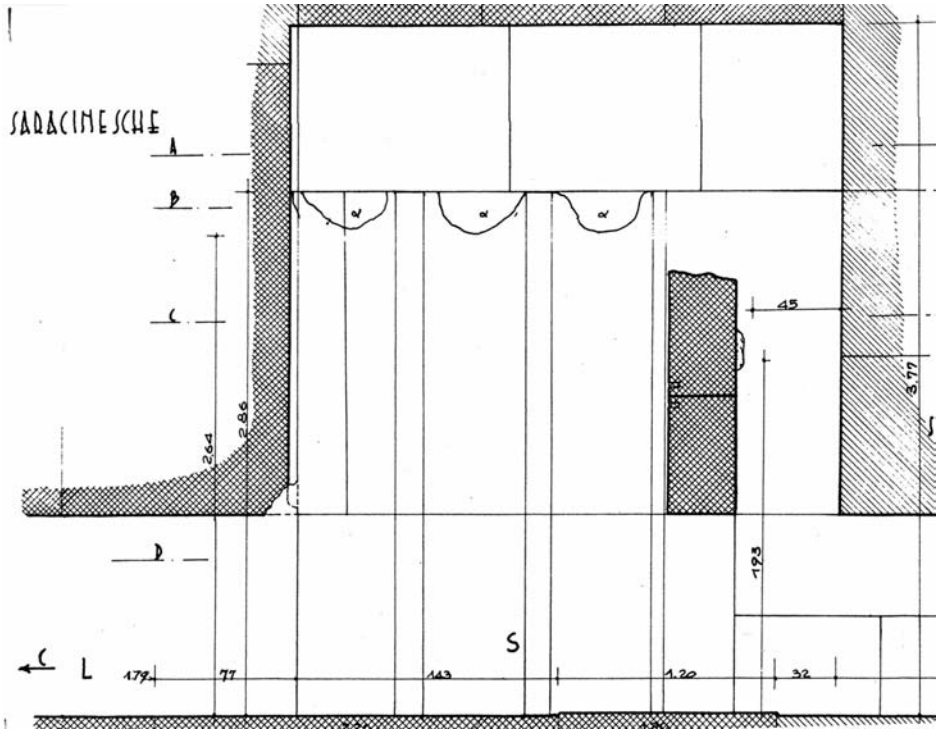


Abb. 4.2.2.1.1 Fallsteinkammer der Cheopspyramide (Schnitt S-N)

An der südlichen Wand der Fallsteinkammer befinden sich oberhalb des Ganges 4 senkrechte, halbkreisförmige Führungsrinnen für eine Seilführung mit einer Tiefe von 10,5 cm.[99] Diese Rinnen enden 12 cm über der Gangdecke abgerundet nach unten.

Die Gesamthöhe der Fallsteine berechnet sich somit zu ca. 147 cm (110 cm Ganghöhe, 12 cm Südwand ohne Vertiefung für die Seile, Bohrung 8 cm, Abstand Bohrung zur Oberkante ca. 17 cm).[100] Haase gibt für die Höhe 149 cm an.[101] In einer neueren Veröffentlichung spricht er von 144 cm.[102] Die von Borchardt angenommene Höhe der Fallsteine von 120 cm[103] ist – wie auch Maragioglio und Rinaldi feststellen[104]– zu gering angesetzt, als dass damit der Gang

[97] Maragioglio, IV, TAV.7, Fig.9.
[98] Siehe Arnold, Building, fig.5.15. und Maragioglio, IV, TAV.7, Fig.2 und 3.
[99] Haase, Blockierstein und Maragioglio, IV, TAV.7, Fig.3 und 6.
[100] Wolf, Blockierungssysteme, S.164.
[101] Haase, Cheops, S.40, Abb.42.
[102] Haase, Fallsteinsystem, S.39 und Fußnote 26.
[103] Borchardt, Dritte Bauperiode, Tafel 10.
[104] Maragioglio, IV, S.126.

sicher zu verschließen gewesen wäre. Das Abmeißeln des Granitblockes an der Gangdecke im südlichen Anschluss an die Fallsteinkammer bis zu einer Tiefe von ca. 18 cm dürfte beim Zerstören des südlichen Fallsteines entstanden sein.[105] Im Gegensatz zu Borchardts Vermutungen des Einbringens der Fallsteine nach Fertigstellung der Fallsteinkammer müssen diese aufgrund oben genannter Abmessungen bereits beim Bau senkrecht von oben mit eingebracht worden sein,[106] falls sie aus einem Stück bestanden. Für das Einbringen während des Baus sprechen auch die weit in den oberen Teil der Fallsteinkammer hinein reichenden und senkrecht verlaufenden Führungsrinnen sowie der geringe Abstand zwischen diesen und den Fallsteinen.[107] Auf der Westseite der Fallsteinkammer befinden sich oberhalb der Führungsrinnen für die Fallsteine drei halbkreisförmige Vertiefungen (siehe Abb. 4.2.2.2.1).

Borchardts Vermessungen der Fallsteinkammer ergaben in Korrektur zu den Angaben von Perring,[108] dass die Unterkanten der drei halbkreisförmigen Vertiefungen mit einem Durchmesser von 45 cm auf der Westseite in genau der gleichen Höhe wie die Unterkante der Kammer auf der Ostseite ohne Vertiefungen liegen.[109] Messungen durch Maragioglio und Rinaldi zeigen jedoch, dass die Unterkante der Kammer auf der Ostseite um 3 cm tiefer als die Unterkante der halbkreisförmigen Vertiefung auf der Westseite liegt.[110]

Die drei Fallsteine waren demnach mit je vier Seilen an Walzen – aller Wahrscheinlichkeit nach aus Holz – aufgehängt und wurden beim Verschließen des Ganges zur Grabkammer um die Ganghöhe von 120 cm abgesenkt. Unklar ist, warum die halbkreisförmigen Vertiefungen nicht auch auf der Ostseite erhalten sind. Dort fand Borchardt Abarbeitungen im Stein vor. Petrie hat die halbkreisförmigen Vertiefungen ebenfalls untersucht.[111] Er hat sie exakt vermessen und deren Verlauf im Abstand von je einem Zoll aufgenommen (Abb. 4.4.4.1.2). Aus dieser Darstellung ist ersichtlich, dass die halbkreisförmigen Vertiefungen nicht gleichmäßig ausgearbeitet waren. Die Walzen mit einem geringeren Durchmesser als 45 cm lagen offensichtlich in den Vertiefungen nur auf. Auf der Ostseite waren sie vermutlich mit Keilen gegen ein Drehen gesichert.[112]

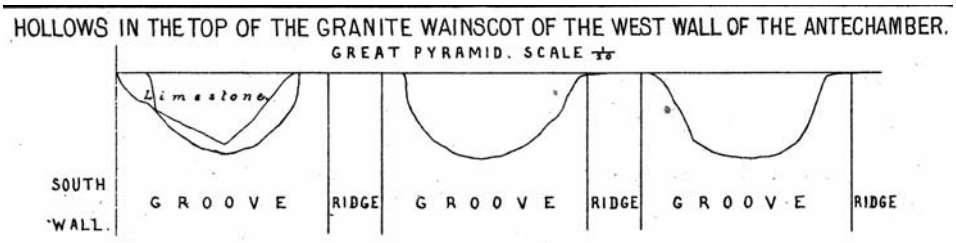


Abb. 4.2.2.1.2 Vermessung der Vertiefungen in der Fallsteinkammer nach Petrie

Die aufgehängten und während der Bauzeit wahrscheinlich auch abgestützten Fallsteine schlossen mit ihrer Unterseite bündig mit der Decke des Ganges ab und reichten mit ihrer Oberseite etwa bis an die darüber liegende Walze. Borchardts Darstellung der Aufhängung

[105] Maragioglio IV, TAV.7, Fig.3.
[106] Borchardt, Dritte Bauperiode, S.15 und Tafel 10.
[107] Der Abstand zwischen Fallstein und der Innenkante der Führungsrinnen beträgt in der Breite jeweils nur 2 x 3 cm; in der Tiefe jeweils nur 2 x 1 cm.
[108] Perring, Pyramids I, S.2 zu Blatt 3 und 4.
[109] Borchardt, Dritte Bauperiode, S.14.
[110] Maragioglio IV, S.126 Observation 28.
[111] Petrie, Pyramids, S.77 und Pl.XII.
[112] Maragioglio, IV, S.126–128.

stimmt somit nicht.[113] Die Abstände zwischen den drei Fallsteinen betrugen je 15 cm, der zu den vorstehend genannten zwei übereinander angeordneten Steinen 8 cm.

Eine Berechnung ergibt, dass das Gewicht jedes der Fallsteine ca. 2,5 t beträgt. Die Bohrungen legen den Schluss nahe, dass durch sie Seile von oben herab und wieder nach oben zurück geführt wurden.[114] Bei 4 Bohrungen muss dann jedes der Seile auf beiden Seiten des Fallsteins eine Last von ca. 0,31 t (⅛ von 2,5 t) tragen. Bei einem angenommenen Durchmesser der Seile von 5 cm ergibt sich eine Belastung von ca. 15 kg/cm². Die seinerzeit gebräuchlichen Palmbaststricke dürften dieser Belastung standgehalten haben.[115] Bei Verwendung von ebenfalls im AR nachgewiesenen Hanfseilen größerer Festigkeit (siehe Kapitel 4.2.2.4 Seile) reicht auch ein kleinerer Seildurchmesser von etwa 3 cm aus.

Der geringe Abstand zwischen der Breite der Führungsrinnen mit 55 cm und der Dicke der Fallsteine mit 53 cm sowie zwischen dem Abstand zwischen den Führungsrinnen mit ca. 120 cm und der Breite der Fallsteine mit 114 cm führt zu einer weiteren Schlussfolgerung: Das Absenken der Fallsteine kann nicht durch einfaches Loslassen der Seile, sondern nur durch ein sehr gleichmäßiges und kontrolliertes Nachlassen aller vier Seile geschehen sein. Nur so sind Verkantungen der Fallsteine beim Herablassen zu vermeiden. Das Herablassen könnte auf folgende Weise erfolgt sein: Die Walzen waren mit einer rauen Oberfläche bzw. mit nicht geglätteten Rillen für die Seilführung versehen, um die Reibung, d.h. die Haftung des Seils auf der Walze, zu erhöhen. Darüber hinaus könnten die Seile mehrfach um die Walze geführt worden sein, um die Seilreibung weiter zu vergrößern[116].

Durch das mehrfache Umwickeln können – wie bei der Winsch bei Segelschiffen bzw. bei einer Seilwinde – auch größere Lasten mit wesentlich geringerer Kraft, als dem Gewicht entspricht, gehalten werden.[117] Für diese Überlegung spricht auch der große Durchmesser der Walzen bei einer Länge der Walze von etwa 150–160 cm, der den für das Gewicht der Fallsteine erforderlichen Durchmesser bei weitem übersteigt.[118] Das jeweils nördliche Seilende der beiden südlichen Fallsteine sowie das Seilende des dritten Fallsteines auf der Nordseite wurde zum Zeitpunkt des Herablassens über die Walze des nächsten Fallsteines bzw. über den oberen nördlichen Stein in der Kammer geführt und zwischen den Steinen fest verankert, wobei die Nase im oberen der beiden Steine zum Anheben desselben gedient haben könnte.

Auf die Seile auf der Südseite jedes Fallsteins wirkt dann eine Kraft, die der Hälfte des Gewichtes des Fallsteins entspricht, also nur noch 1,25 t.[119] Die südlichen Seilenden, die mehrfach über die jeweilige Walze geführt worden waren, wurden nacheinander nach Spannen der Seile und Entfernen der Holzstützen in den Führungsrillen der Fallsteine langsam nachgelassen, um so die Fallsteine abzusenken. Die Seile dürften erst kurz vor dem Herablassen fest angespannt worden sein, um eine jahrelange Belastung zwischen Bau der Fallsteineinrich-

[113] Borchardt, Dritte Bauperiode, Tafel 10.
[114] Die Annahme von Borchardt für die Aufhängung (Borchardt, Dritte Bauperiode, Tafel 10) trifft nicht zu.
[115] Berechnungen zur Festigkeit und Bruchlast sind nicht bekannt; die Annahme wurde aufgrund der Darstellung von Seilen in Reliefs und Grabdarstellungen getroffen. Siehe auch Borchardt, Dritte Bauperiode, S.15.
[116] In diesem Zusammenhang sei auf eine von Lauer publizierte 35 cm breite Holzwalze, die in der Pyramide des Djoser gefunden wurde, mit einer Rille in der Mitte verwiesen. Der Einsatz von Walzen ist damit belegt; Lauer, Pyramide a Degrés, S.52.
[117] Stöcker, S.52–53.
[118] Nachdem an den Wänden der Kammer keine Abarbeitungen für das Einbringen der Walzen vorhanden sind, müssen diese – in Abhängigkeit ihres Durchmessers – eine geringere Länge als die Breite der Kammer (165 cm) gehabt haben.
[119] Stöcker, Physik, S.97: Lose Rolle.

tung und dem Herablassen der Fallsteine zu vermeiden. Das Spannen der Seile zum Entfernen der Holzstützen war durch Bewegen der einzelnen Walze entgegen der Absenkrichtung möglich. Die dafür notwendige Kraft wurde durch Bewegen senkrecht zur Achse der Walzen angeordneter Stäbe (Speichen nach Art einer Seilwinde bzw. eines Spills) erreicht. Im vorliegenden Fall erfolgte so eine Kraftübersetzung mit dem Verhältnis zwischen 5:1 (Länge der Stäbe max. 95 cm, Radius der Walze ca. 20 cm) oder 10:1 (95 cm zu einem Radius von ca. 10 cm). [120] Das bedeutet, dass von dem halben Gewicht eines Fallsteines (1,25 t) wiederum nur zwischen 1/5 - also 0,25 t – und 1/10 – also 125 kg - an Kraft aufgewendet werden musste, um die Seile zu spannen und den Stein leicht anzuheben. Die dann für das Spannen benötigte Kraft von 250/125 kg bei einem Walzendurchmesser von 40/20 cm ist von vier Arbeitern am Spill oberhalb der Walze und von weiteren Arbeitern beim Ziehen am Seilende vom Gang aus ohne weiteres zu bewältigen. Ein derartiger Arbeitsvorgang ist im Übrigen auch die einzige Erklärung, warum es oberhalb der Walzen einen Abstand von ca. 1 m zur Decke der Fallsteinkammer gegeben hat. Maragioglio und Rinaldi vertreten die Auffassung, dass die Seile erst kurz vor dem Herunterlassen der Steine montiert worden seien und dass deshalb die Kammer notwendig gewesen sei.[121] Es ist jedoch schlecht vorstellbar, dass die Seile entlang des südlichen Fallsteins über die nur 12 cm tiefen Rundungen in der Südseite der Kammer nach unten und in die Löcher der Fallsteine (ca. 7 cm) eingeführt sowie im Zwischenraum zwischen den Fallsteinen (15 cm) wieder nach oben geführt werden konnten. Über Befestigung und Spannen der Seile äußern sich Maragioglio und Rinaldi nicht. Hinzu kommt die Überlegung, dass der Raum oberhalb der Walzen außerdem notwendig war, um die bereits beim Bau durch die Bohrungen in den Fallsteinen geführten Seile nach Herablassen jeweils eines Fallsteines (vom Süden her beginnend) mehrfach um die Walze des nächsten Steines zu wickeln. Ansonsten wären auf der letzten Walze zu viele Seilwindungen vorhanden gewesen.

Haase vertritt die Auffassung, dass von Arbeitern (im oberen Teil der Fallsteinkammer und an dem nördlichen Zugang zur Fallsteinkammer) die Fallsteine an Seilen, die um die Holzwalzen geführt waren, bei gleichzeitigem Entfernen der Holzstützen unterhalb der Fallsteine herabgelassen wurden.[122] Ohne ein vorheriges Spannen der Seile zum Entfernen der Holzstützen scheint dies unmöglich zu sein. Ähnliches gilt für die von Goyon[123], Arnold[124] und Lauer[125] gemachten Vorschläge für das Herablassen der Blockiersteine. Die Vermutungen von Stadelmann in diesem Zusammenhang, dass „…das Prinzip des Flaschenzuges den alten Baumeistern durchaus bekannt war…“ treffen nicht zu. Wie im Kapitel 4.2.2.5 näher ausgeführt, ist die Anwendung des Prinzips des Flaschenzuges im AR nicht belegt.[126]
Der Einsatz von Walzen zum kontrollierten Herablassen von Blockiersteinen begegnet uns bei der Cheopspyramide zum ersten Mal. Daneben wird im aufsteigenden Gang der Großen Galerie ein Haltesystem aus einer Holzbalkenkonstruktion für Blockiersteine eingesetzt, wie

[120] Nach Santos, Bautechnik, haben Hartgehölze eine Belastungsobergrenze von ca. 1000 kg/cm²; ein Durchmesser von 10 cm mit einem Querschnitt von ca. 78 cm² wäre also ausreichend gewesen. Berechnungen von Croon, Lastentransport, (S.42ff.) gehen von einer Biegespannung des Holzes der Nilakazie von 750 kg/cm² aus. Im vorliegenden Fall betragen die Last des Fallsteins 2,5 t und die lichte Weite der Rolle von Auflage zu Auflage ca. 120 cm. Das Biegemoment in der Mitte der Walze beträgt dann 1,25 t x 60 cm = 75 tcm. Das erforderliche Widerstandsmoment berechnet sich dann zu 70 000 kg geteilt durch 750 kg/cm² = ca. 95 cm² und ergibt mit Reserve einen Mindestdurchmesser der Walze von 15 cm.
[121] Maragioglio IV, S.126, Observation 28.
[122] Haase, Fallsteinsystem, S.43.
[123] Goyon, Cheopspyramide S.160.
[124] Arnold, Baukunst, S.195.
[125] Lauer, Geheimnis,S.180, Abb.51.
[126] Stadelmann, Große Pyramiden, S.135.

es schon von der Knickpyramide und deren Nebenpyramide bekannt ist. Wie Wolf feststellt, haben sich dort jedoch nach Entfernen der Holzstützen nicht alle Blockiersteine gelöst, sodass die Blockiereinrichtungen nur teilweise funktionierten.[127] Durch ein kontrolliertes und somit langsames Herablassen der Blockiersteine konnte ein Verkanten der Steine verhindert werden.

4.2.2.2 Das Fallsteinsystem im Korridor zur Grabkammer der Pyramide des Mykerinos

Im Zugang zu den Grabkammern der Pyramide des Mykerinos befindet sich nach der Gangkammer mit den 26 Nischen ebenfalls ein Blockiersystem mit Fallsteinen, welches dem der Cheopspyramide sehr ähnlich ist (Abb. 4.2.2.2).[128] Die Fallsteinkammer ist ebenso wie der untere Teil des absteigenden Korridors aus dem Fels herausgeschlagen und weist ab 167 cm über dem Boden des Ganges auf der Westseite und ab 170 cm auf der Ostseite eine Erweiterung nach Westen zwischen 80 und 130 cm und nach Osten mit 23 cm auf[129]. In der Fallsteinkammer befinden sich in die Ost- und Westwand jeweils gegenüber eingearbeitet insgesamt je drei Löcher mit Durchmessern von etwa 30 cm für Walzen, allerdings auf der Westseite mit einem leicht rechteckigen Querschnitt. Die Vertiefungen der Löcher betragen auf der Westwand in den Löchern a und c je 18 cm und im Loch b 24 cm. Die Löcher a und c weisen darüber hinaus Abarbeitungen an der Wand auf, um das Einführen der Walzen zu erleichtern. Auf der Ostseite betragen die Lochtiefen für a 30 cm, b 16 cm und c 27 cm; Eine Abarbeitung ist in der Wand zum Loch b hin zu erkennen. Daraus kann geschlossen werden, dass die Walzen in genau der Länge zugeschnitten wurden, damit sie gerade über die Abarbeitungen in die Wandvertiefungen geschoben werden konnten. Die nicht kreisförmige und völlig unebene Ausführung der Löcher lässt wie beim Fallsteinsystem der Pyramide des Cheops den Schluss zu, dass diese Vertiefungen keine Lager für ein leichtes Bewegen der eingebrachten Walzen waren – es sei denn, der Walzendurchmesser ist deutlich geringer als der Durchmesser der Löcher. Dies hätte jedoch statische Probleme mit zu geringem Walzendurchmesser im Verhältnis zum Gewicht der Steine bedeutet. Die lichte Höhe der oberen Fallsteinkammer beträgt bis zu 180 cm.

In die Längsseiten des unteren, schmalen Kammerteils sind in ungefähr gleichen Abständen direkt unter den Löchern für die Walzen je drei senkrechte, etwa 16 cm bis 18 cm tiefe Führungen mit rechteckigem Querschnitt mit Breiten zwischen 30 und 41 cm eingearbeitet.[130] Die Abmessungen der Innenflächen der Führungen zwischen den beiden Gangseiten wurden mit 143 bzw. 144 cm ermittelt. Am nördlichen Eingang zum Blockiersystem gab es in der Kammerdecke eine Abschrägung über dem Türsturz, um die Seile für das Senken der Fallsteine zu führen.

Bei der aus dem Felsen geschlagenen Fallsteinkammer der Pyramide des Mykerinos können die Fallsteine entweder durch den von außen kommenden Gang mit den kanonischen Abmessungen 105 cm in der Breite und 120 cm in der Höhe oder über den Grabzugang, dessen Eingang später überbaut wurde, in den Gang unter der Fallsteinkammer transportiert worden sein.[131] Die von Borchardt vorgeschlagene Rekonstruktion der Fallsteine kann so nicht zutreffen. Monolithische Blöcke mit den Abmessungen von 137 cm (Breite)[132], ca. 180 cm

[127] Wolf, Blockiersysteme, S.37 und 39.
[128] Borchardt, Dritte Bauperiode, S.18ff. und Tafel 12; Maragioglio, VI, S.40ff., Addenda, TAV.5, Fig.2.
[129] Maragioglio, VI, Addenda, TAV.5, Fig.2; Borchardt, Dritte Bauperiode, Tafel 12.
[130] Maragioglio, VI, Addenda, TAV.7, Fig.2 und 3.
[131] Maragioglio, VI, Addenda, TAV.5, Fig.1 und Fig.3.
[132] Breite 143–144 cm abzüglich 2 x 3 cm Abstand wie bei der Cheopspyramide.

(Höhe) und 24-35 cm (Dicke) kommen als Fallsteine kaum infrage, da Steine mit diesen Abmessungen nicht durch den Zugangskorridor – auch nicht schräg verkantet – zu transportieren gewesen sind. Die Dicke eines Fallsteines hätte für diesen Fall weniger als 20 cm betragen müssen. Den Angaben von Maragioglio und Rinaldi zufolge sind die Grabzugänge und der Zugang von der Grabkammer zur Fallsteinkammer aus dem Fels herausgearbeitet und können so auch während der Bauarbeiten keinen größeren Querschnitt besessen haben.[133]

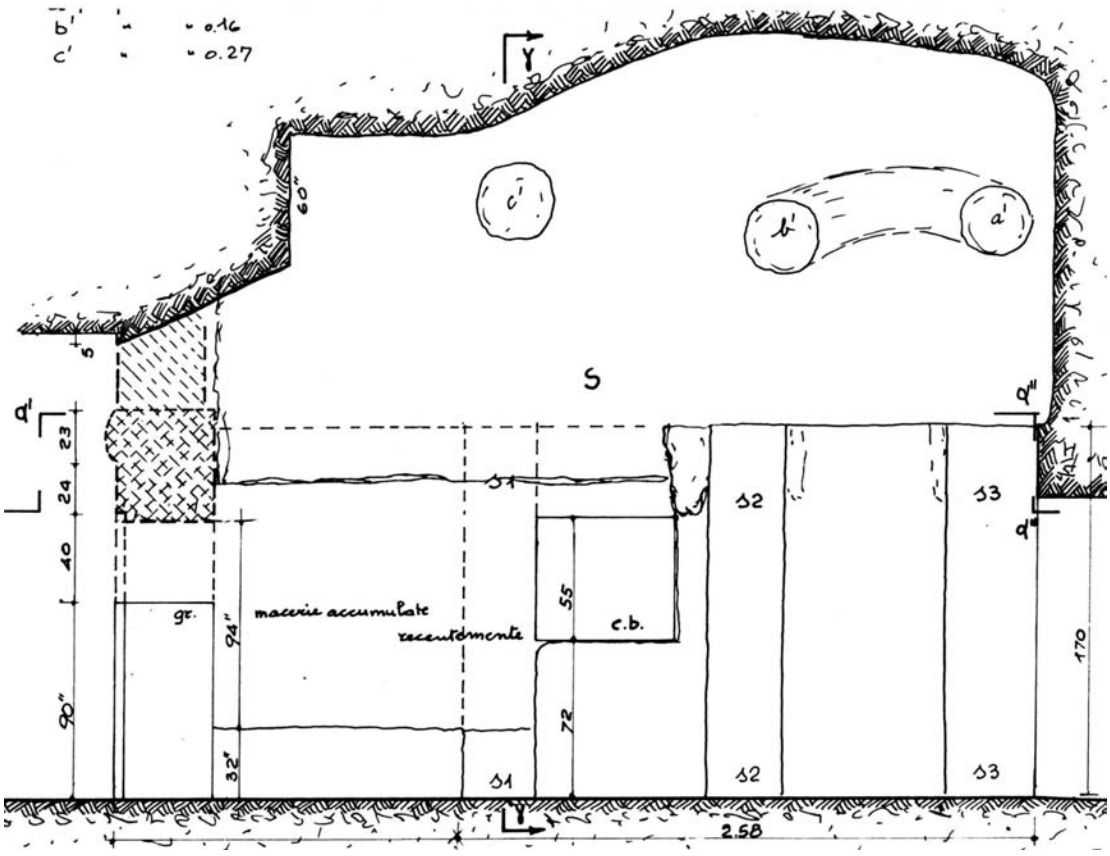


Abb. 4.2.2.2 Ostseite der Fallsteinkammer der Pyramide des Mykerinos (Schnitt S–N)

Die Fallsteine müssen also entweder aus mehreren Teilen bestanden haben oder ihre Dicke betrug max. ca. 20 cm, womit ein Transport durch den Zugangskorridor gerade noch möglich erscheint. Mit Blick auf die Schwierigkeiten des Einbringens eines schräg angeordneten Steines (hohe Reibung an den Wänden, Gefahr eines Verkeilens) bietet sich eine Lösung an, wonach jeder Fallstein aus zwei Teilen von max. 85 cm Höhe bestand – auch wenn sich eine derartige Lösung von den meisten anderen Blockiersystemen in Pyramiden des AR unterscheidet. Das Gewicht eines solchen Steines betrug dann ca. 0,75 t. Bei der Gangbreite von 105 cm ist ein Transport ohne weiteres möglich. Bei einer Höhe der Führungsrinnen von 167 cm passen dann beide Steine übereinander. Steine mit geringeren Abmessungen sind auch leichter von oben aus in die Führungsrinnen einzusetzen, was bei Fallsteinen aus einem Stück nur schwer möglich erscheint – es sei denn, diese haben nur eine geringe Dicke. In jedem Fall mussten die Fallsteine in der Pyramide des Mykerinos – ob nun aus einen Stück oder geteilt – im Gegensatz zu denen in der Cheopspyramide beim Einbringen angehoben werden, um dann von oben in die Führungsrinnen eingesetzt zu werden.

[133] Maragioglio, VI, S.38.

Die Walzen müssen also einem doppelten Zweck gedient haben:

- Zum einen wurden sie genutzt, um die Fallsteine zu heben und dann von oben in die Führungsrinnen einzusetzen sowie die Abdeckplatten in die obere Hälfte der Fallsteinkammer zu transportieren, mit denen die Zwischenräume zwischen den Fallsteinen geschlossen wurden. Für das Anheben musste in jedem Fall das Prinzip der Seilwinde (Spill) mit einer Übersetzung von etwa 10:1 (Radius der Walze 10 cm, Stablänge 100 cm) angewendet werden. Dies bedeutet bei einem Steingewicht von 0,75 t, dass für den Hebevorgang ein Kraftaufwand, der einem Gewicht von mindestens 75 kg entspricht, notwendig ist. Bei dem Einsatz von z.B. 4 Stäben ist somit ein (halber) Fallstein von 3-4 Arbeitern in mehreren Arbeitsschritten (Versetzen der Stäbe nach einer gewissen Drehung der Walze) hochzuheben. Gleiches gilt für die Abdeckplatten oberhalb des Gangs in der Fallsteinkammer über den Zwischenräumen der Fallsteine.
- Zum anderen wurden die Walzen für das Absenken der Fallsteine benötigt. Dafür wurde das Reibungsprinzip (Winsch) genutzt. Für das Spannen der Seile vor dem Herausnehmen der Holzstützen gilt in Kapitel 4.2.2.1 Gesagtes.

Vergleicht man beide Blockiersystem, lassen sich folgende Feststellungen treffen:

Bei beiden Fallsteinsystemen wurden Walzen zum Heben (bzw. Spannen) und Senken der einzelnen Fallsteine verwendet. Das Prinzip des Hebels zur Kraftübersetzung (Seilwinde, Spill) und der Reibung (Winsch) war demnach bereits im AR bekannt und wurde bei der Errichtung von Bauwerken eingesetzt. Auch die in Kapitel 4.1 geschilderten Bohrer arbeiteten nach diesem Prinzip.

Leider gibt es für das Prinzip der Seilwinde jedoch keinen archäologischen Befund. Auch Aufzeichnungen und Darstellungen aus Gräbern sind nicht bekannt. Hat es sich dabei um ein „Geheimnis des Königs“ gehandelt? Der Nachweis kann also nur indirekt geführt werden.

Die gelegentlich geäußerte Behauptung, bereits in der 5. Dynastie habe es bei Musikinstrumenten wie Lauten und Harfen Stimmwirbel gegeben,[134] trifft nicht zu.[135] Dieses Prinzip des Haltens eines Seils mit einer großen Last in einem konischen Lager ist archäologisch nicht belegt.

4.2.2.3 Aufrichten von Pfeilern sowie Statuen und Heben von Steinblöcken

Hölscher beschreibt in seinem Werk „Das Grabdenkmal des Königs Chephren“ im Abschnitt IV „Zur Technik der Bauausführung“ seine Überlegungen zum Aufrichten der monolithischen Granitpfeiler, der Statuen des Königs Chephren und der Granitquader in dessen Pyramidenbezirk.[136]

Die Pfeiler im Statuenhof des Totentempels wurden danach aufgrund der archäologischen Befunde in im Untergrund abgearbeitete Vertiefungen eingesetzt, die nach vorn über eine Kante hinweg etwas erweitert wurden (Abb. 4.2.2.3.1).[137] Nach Aufrichten des Pfeilers wurde der vordere Teil der Vertiefung mit einem passenden Stein verschlossen und die Fugen wurden mit Gips vergossen.

[134] Riedl, Pyramidenbau, S.163.
[135] LÄ II, S.967.
[136] Hölscher, Chephren, S.71ff.
[137] Hölscher, Chephren, S.73.

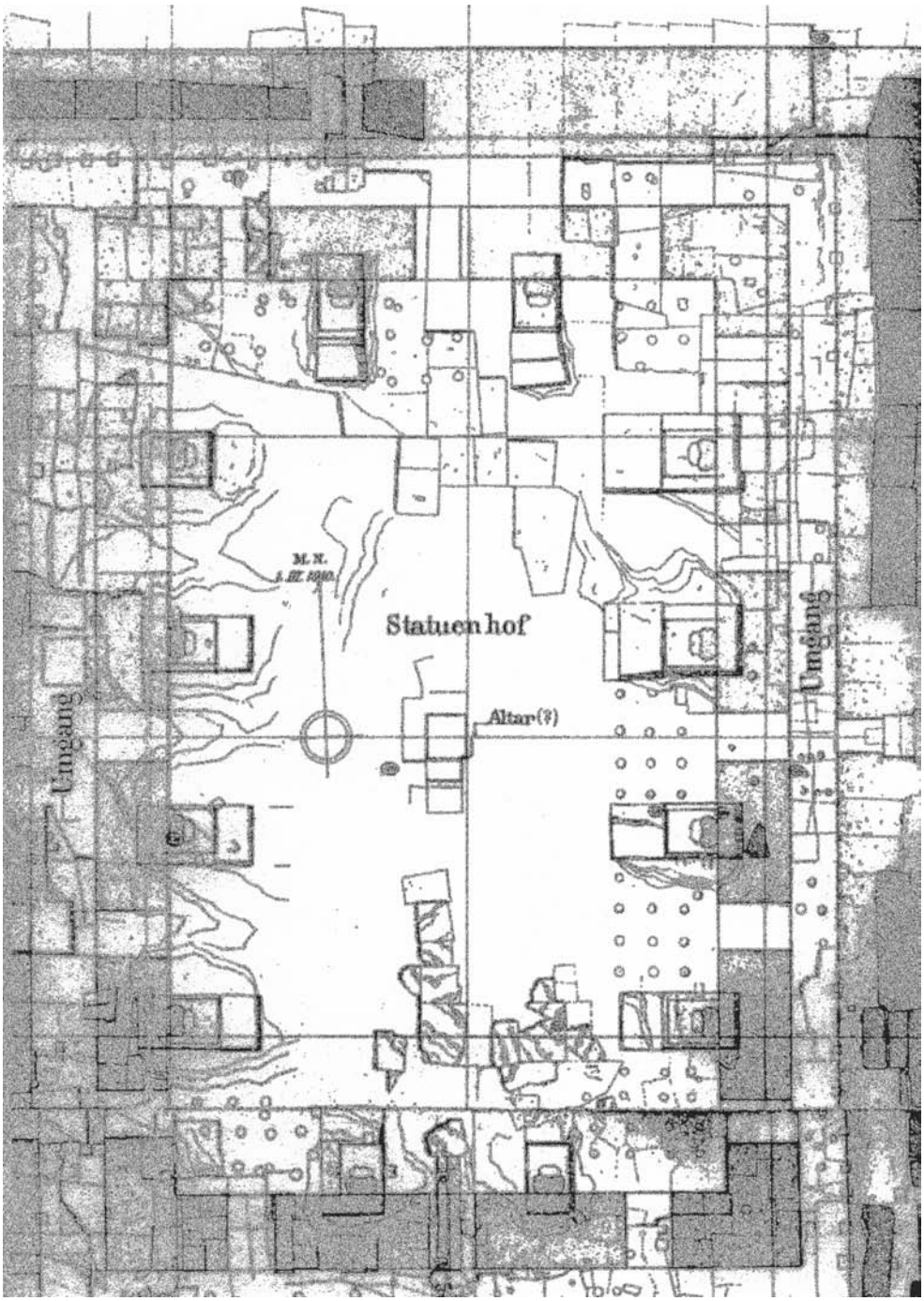


Abb. 4.2.2.3.1 Statuenhof im Totentempel des Chephren mit Löchern im Untergrund

Hölscher rekonstruiert das Aufrichten der Statuen mittels Holzgerüsten aufgrund archäologisch nachgewiesener kreisförmiger Löcher (ca. 25 cm Durchmesser) mit etwa 25 cm Tiefe im Unterpflaster des Hofes.[138] Wie in Abb. 4.2.2.3.2 dargestellt, kann das Aufrichten jedoch nicht vorgenommen worden sein:[139]

[138] Hölscher, Chephren, Blatt XVIII Ausschnitt.
[139] Hölscher, Chephren, S.77.

Die 5–7 t schweren Statuen an einer Umlenkrolle hochzuziehen – und Gleiches würde für das Aufrichten der schweren Granitpfeiler gelten – dürfte technisch kaum möglich sein.[140] Das Aufstellen der Objekte auf diese Weise würde große Kräfte und enormes Geschick erfordern. Denkbar ist eigentlich nur eine Lösung, wonach zuerst die Statue bzw. der Pfeiler durch Hebel in eine gewisse Schräglage gebracht wird, da ansonsten die Zugkraft zu groß wäre, und dann die Zugkraft für das weitere Aufrichten über eine auf einem Holzgestell angeordnete, drehbare Walze mit einer mehrfachen Seilumschlingung erbracht wurde. Die von Hölscher nachgewiesenen Löcher zeigen, dass links und rechts von jeder Statue bei deren Aufrichten Holzgestelle verankert worden sein könnten. Die Zugkraft kann über ein am Boden verankertes Spill bzw. eine Seilwinde aufgebracht worden sein. Durch eine Mehrfachumschlingung des Seils um die Seilwinde kann die Zugkraft ohne Schlupf auch sehr genau geregelt werden. Dies ist erforderlich, da zum Zeitpunkt der senkrechten Stellung des Pfeilers keine Zugkraft mehr einwirken darf, um ein Überkippen des Pfeilers zu vermeiden.

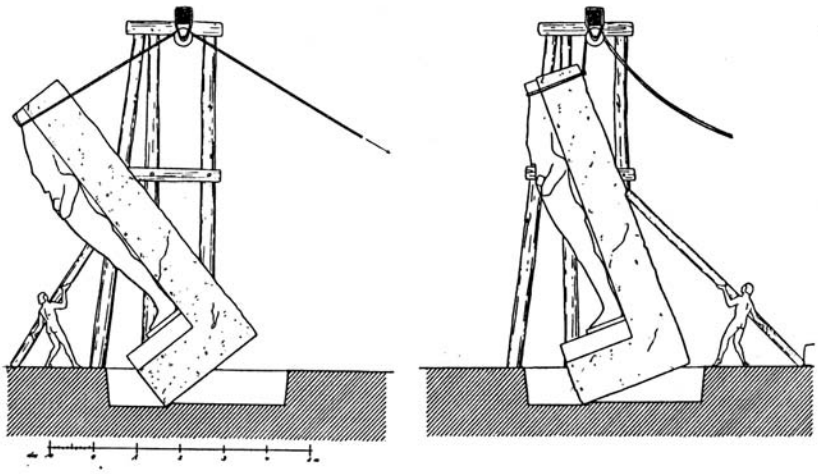


Abb. 4.2.2.3.2 Aufrichten von Statuen nach Hölscher

Reisner hält die Vorschläge von Hölscher für nicht zutreffend. Er bezweifelt den Einsatz der Vertiefungen wegen ihrer angeblichen Unregelmäßigkeit für den Bau von Gerüsten.[141] Maragioglio und Rinaldi vertreten dazu die Auffassung, dass die Löcher im Untergrund des Statuenhofes im Totentempel für das Aufstellen von Gerüsten für Handwerker zum Glätten der Innenwände gedient hätten.[142] Ähnlich äußert sich später Goyon.[143] Dem kann entgegen gehalten werden, dass für das Aufstellen von Arbeitsbühnen (Gerüsten) derartig tief eingelassene Löcher – auch in der gefundenen Anzahl – nicht notwendig waren.

Hölscher weist außerdem darauf hin, dass entlang der Wände im Statuenhof im Unterpflaster in großem Umfang weitere Löcher sowohl vor als auch hinter den Wandsteinen aus Granit zu finden sind, die größtenteils sorgfältig mit Steinstücken und Gips wieder geschlossen wurden und daher aus der Zeit des Baus der Anlagen stammen müssten. An manchen Stellen betrug der Zwischenraum zwischen den Granitsteinen und dem äußeren Mauerwerk aus Kalkstein nur 80 cm, sodass die Löcher nicht zum Versetzen der Granitblöcke mittels Stangen verwendet worden sein konnten. Hölscher schließt daraus, dass Blöcke mit einer Art Zange bzw. Hebeeinrichtung versetzt wurden. Aufgrund unterschiedlicher Anordnungen der Löcher stellt

[140] Reisner, Mycerinos, S.272.
[141] Reisner, Mycerinos, S.272.
[142] Maragioglio, V, S.126.
[143] Goyon, Cheopspyramide, S.48–49.

Hölscher dreierlei Arten, Blöcke zu heben, vor.[144] Reisner lehnt auch diese Darstellung von Hölscher unter Hinweis auf seine Untersuchungen an der Pyramide des Mykerinos ab. Goyon verweist auf vergleichbare Beobachtungen in Tanis, die seiner Meinung nach ein Verklemmen der Seile während der Verlegungsarbeiten verhindern sollten.[145]

In diese Betrachtungen zum Aufrichten von Bauteilen ist auch der Fund einer steinernen Seilumlenkeinrichtung im Areal des Taltempels (Hafenanlage?) des Mykerinos mit einzubeziehen (Abb. 4.2.2.3.3):[146]

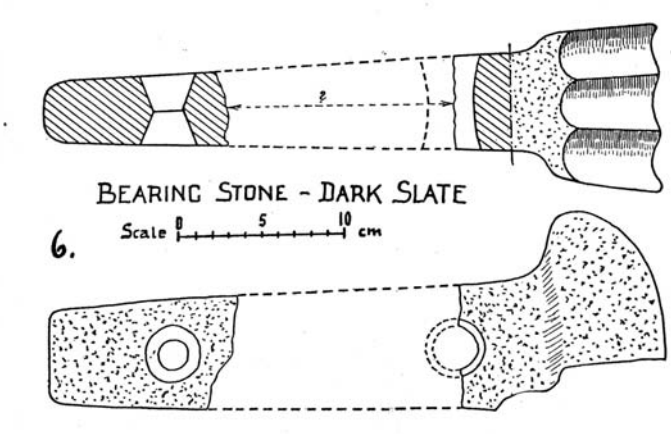


Abb. 4.2.2.3.3 Steinerne Seilumlenkeinrichtung

Eine denkbare Verwendung in einem Holzgestell schlägt Arnold vor.[147] Munt plädiert für eine Abänderung des Vorschlages von Arnold und den Einsatz der Seilumlenkeinrichtung am oberen Ende einer Holzkonstruktion.[148] Diese ist an ihrem unteren Ende in einem Gelenk in Form der Oberfläche einer „negativen" Walze eingesetzt und wirkt auf diese Weise wie ein Kran.[149] Strub-Roessler und Tompkins[150] hatten bereits früher auf eine derartige Konstruktion hingewiesen.

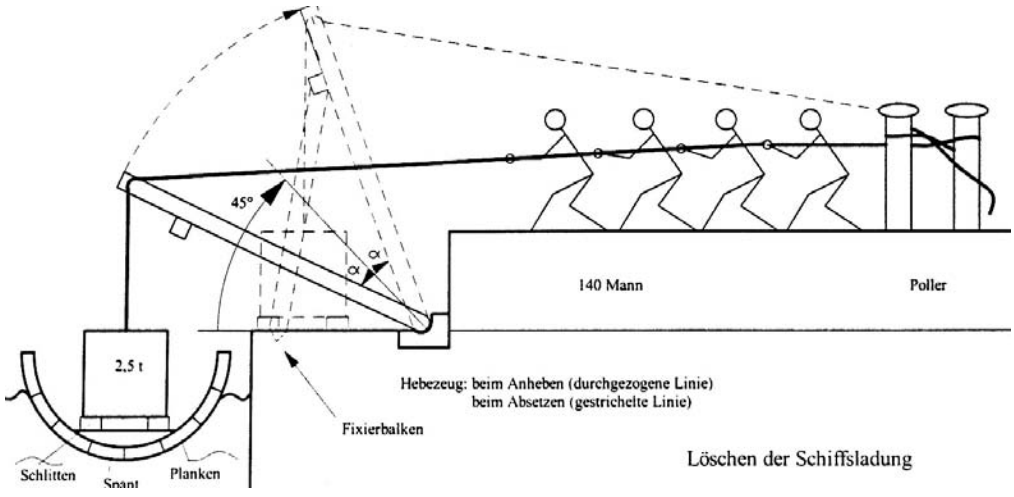


Abb. 4.2.2.3.4 Hebekran nach Munt

[144] Hölscher, Chephren, S.74–75.
[145] Goyon, Cheopspyramide, S.49.
[146] Reisner, Mykerinos, S.276, pl.A.
[147] Arnold, Building, S.283.
[148] Munt, Kemet 4/2002, S.61.
[149] Reisner, Mycerinos, Plate A (6).
[150] Strub-Roessler, Pyramiden; Tompkins, Große Pyramide, S.225.

Diese Vorschläge stellen einen interessanten Vorschlag für eine Hebeeinrichtung dar.

Höhn schlägt für den Steintransport von Stufe zu Stufe einen Winkelheber vor,[151] mittels dessen ein Gewicht von 3 t mit einer nur kurzzeitig aufzubringenden Zugkraft von knapp 1000 kp um etwa 90 cm hochzuheben sei. Abb. 4.2.2.3.5 zeigt eine entsprechende Darstellung. Ein archäologischer Beleg für einen derartigen Winkelheber ist nicht bekannt.

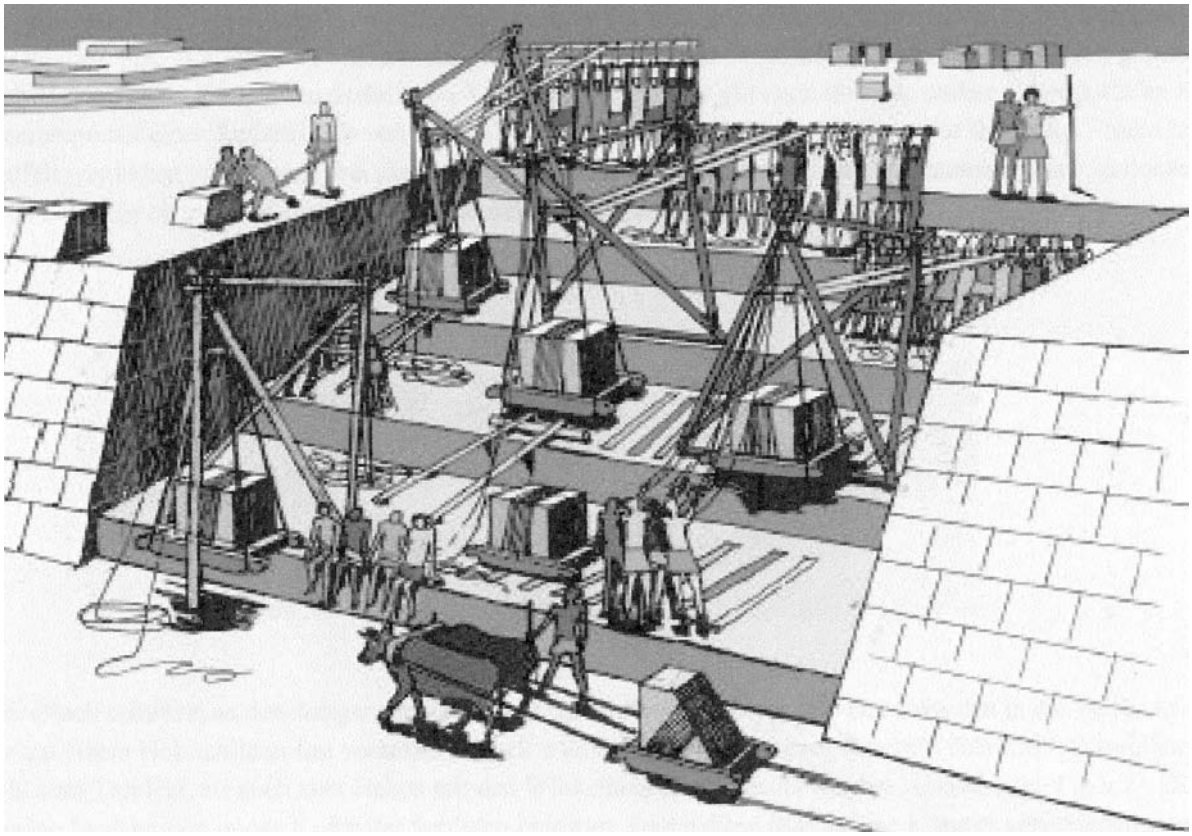


Abb. 4.2.2.3.5 Pyramidenbau mit Winkelhebern nach Höhn

4.2.2.4 Seile

Bereits im AR wurden Seile für vielfältige Anwendungen genutzt. Sie können aus Gras, Palmfiber (Palmbast), Hanfgras (Desmostachya bipinnata), Papyrus oder Leder angefertigt sein. Die Ägypter hatten eine große Fertigkeit in der Herstellung von Seilen entwickelt.[152] Aus einer Reihe von Abbildungen in Gräbern ab dem AR ist die Technik der Seilherstellung gut zu erkennen und nachzuvollziehen:[153] Zuerst werden einzelne Fasern zu einem Garn (Litze) meist links herum (S-twisted) zusammengedreht. Dann werden mehrere – oft drei Garne – wieder miteinander zu einem Seil verdreht („geschlagen“), diesmal jedoch rechts herum (Z-twisted). Je nach gewünschter Seilstärke wird dieser Vorgang mit drei oder vier Seilen wiederholt, sodass ein Seil mit größerem Durchmesser entsteht. Im Prinzip werden Seile auch heute nach ähnlichen Verfahren hergestellt.[154] Mackay hat eine Darstellung über die Seilherstellung aus der Zeit Thutmosis III. publiziert. [155]

[151] Höhn, Pyramidenbau
[152] LÄ V, S.827–828.
[153] Teeter, Rope-Making.
[154] Brockhaus, Seile.
[155] Mackay, Tomb 260.

Eine Vermessung der im Britischen Museum vorhandenen Seile aus dem Alten Ägypten ergab u.a. an einem Seil aus der griechisch-römischen Zeit einen Durchmesser von 7,6 cm.[156] Ein Seil mit einem Durchmesser von 1 cm, bestehend aus drei Garnen (Litzen), wurde auch von Reisner in Naga ed-Der in Unterägypten im Grab 284 (6.–12. Dynastie) gefunden (Abb. 4.2.2.4.1).[157]

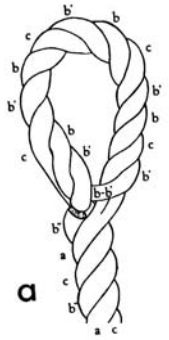


Abb. 4.2.2.4.1 Seilschlinge aus drei Garnen (Litzen)

Perring und Vyse fanden bei ihren Untersuchungen des Grabganges der Knickpyramide ein herabhängendes Seil aus Papyrusfasern.[158] Aus vielen anderen Funden, die von Domning beschrieben wurden, ist die geschickte Art der Verknüpfung und Verbindung von Seilen ersichtlich. Aus Abbildungen von Booten und Schiffen in Reliefdarstellungen und in Gräbern des AR ist zu entnehmen, dass auch Seile größeren Durchmessers verwendet wurden. Jones zeigt dies an mehreren Beispielen (Abb. 4.2.2.4.2).[159]

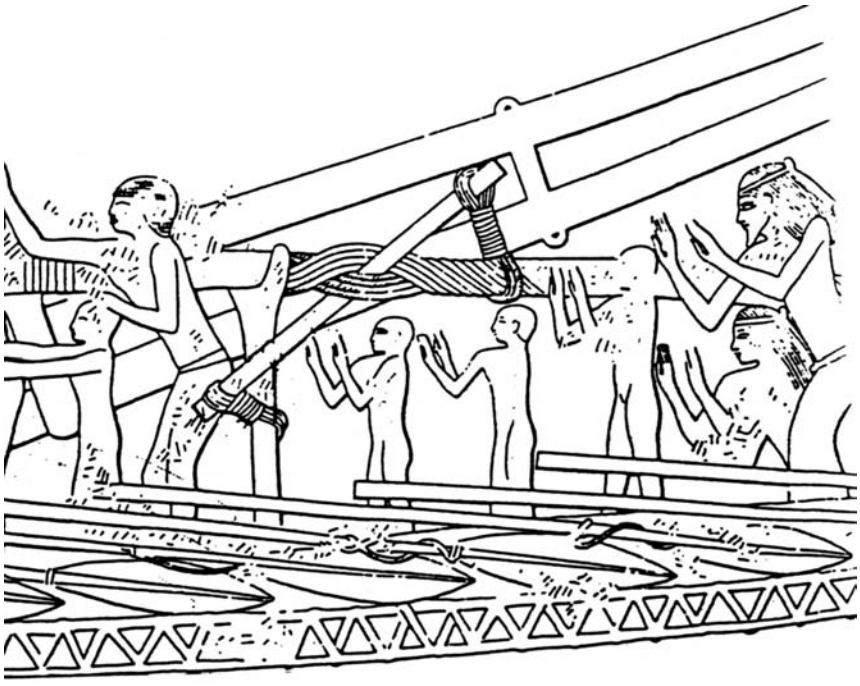


Abb. 4.2.2.4.2 Verwendung eines dicken Seils zum Spannen

[156] Ryan, Old Rope.
[157] Domning, Ropework, S.50.
[158] Quellenangabe nach Wolf, Blockierungssysteme, S.38: Perring & Vyse, Appendix to the Operations carried on at the Pyramids of Gizeh, London 1842, S.68.
[159] Jones, Boats S.36–43.

Ein weiteres Beispiel ist die Darstellung eines Schiffs im Grab des *Jpuj* in Saqqara.[160] Greiss erwähnt in seiner Beschreibung von Museumsexponaten ein „dickes“ Seil aus Papyrusmaterial aus der 1. Dynastie.[161] Eine Schätzung des Seildurchmessers aufgrund der Abbildung ist nur schwer möglich (1–2 cm?).

Beim Bau der Sonnenbarke des Cheops, die nach dem Fund in einer der Bootsgruben der Cheopspyramide wieder zusammengesetzt wurde und sich heute im Museum an der Südseite der Pyramide befindet, wurden auch Hanfseile mit den Durchmessern von 13, 8 und 5 mm verwendet.[162] Hanfseile haben eine höhere Festigkeit als solche aus Palmbast. Nour berichtet von einem Seil, bestehend aus fünf Strängen, welches beim Boot des Cheops verwendet wurde.[163]

4.2.2.5 Zusammenfassung: Hebeeinrichtungen

Die Beobachtungen von Hölscher und seine Schlussfolgerungen für den Einsatz von Hebeeinrichtungen stellen sich in einem ganz anderen Licht dar, wenn die Verwendung von Umlenkeinrichtungen und Walzen mit Speichen (Seilwinde) in die Überlegungen für das Heben und Senken von Lasten mit einbezogen wird. Bisher wurde dieser Zusammenhang zwischen den unterschiedlichen archäologischen Belegen nicht hergestellt. Damit wird sehr deutlich, dass im AR zumindest ab der 4. Dynastie ein gut funktionierendes System von Hebewerkzeugen existierte.

Die Errichtung der Giebeldächer in der Cheopspyramide sowie der in offener Bauweise angelegten Grabkammern der Pyramiden der 5. und 6. Dynastie – vielleicht auch schon des Giebeldachs der Grabkammer in der Pyramide des Djedefre in Abu Roasch[164] – sind ohne den Einsatz von Hebeeinrichtungen in Verbindung mit der schiefen Ebene kaum vorstellbar. Borchardt weist auf Vertiefungen in Steinen für den Einsatz von Hebeeinrichtungen in den Pyramiden in Abusir hin.[165] Entsprechend dem Gewicht der dabei verwendeten Steinblöcke und der Einbauhöhe sind Rampen unterschiedlicher Neigung und ggf. mehrere Seilwinden hintereinander angeordnet vorstellbar.

Die in vielen Veröffentlichungen zum Pyramidenbau vorgeschlagenen Hebeeinrichtungen nach dem Prinzip des Schaduf werden nicht näher in Betracht gezogen, da der Schaduf erstmals in der Amarna-Zeit und dann regelmäßig ab der 19. Dynastie in Abbildungen in Gräbern dargestellt wird und somit erst ab dem NR nachgewiesen ist.[166]

Der von Stadelmann für das Absenken des 3 t schweren Verschlusssteins aus Granit über dem Grab des Djoser vermutete Flaschenzug ist – wie bereits an anderer Stelle erwähnt – in keiner Weise belegt.[167] Auch bei Durchsicht der Veröffentlichung „Ships of the Pharaohs“[168] ergab sich aus keiner der darin enthaltenen Abbildungen ein Hinweis auf den – heute in der Schifffahrt üblichen – Flaschenzug. Es waren im Alten Ägypten offensichtlich nur die Öse bzw.

[160] Clarke und Engelbach, Egyptian, S.41.
[161] Greiss, Plant.
[162] Landström, Ships, S.82–84; Riedl, Pyramidenbau, S.17.
[163] Nour, Cheops Boats, pl.38.
[164] Vallogia, Im Zeichen des Re.
[165] Borchardt, Niuserre, S.150–151.
[166] Croon, Lastentransport; Carpiceci, Kunst und Geschichte; LÄ V, S.520–521: Arnold, Pyramiden, S.103, Fußnote 53.
[167] Lauer, Pyramide à Degrés 2 , Pl.VII; Stadelmann, Pyramiden, S.43 und Tafel 4.
[168] Landström, Ships.

Umlenksteine als Umlenkeinrichtung bekannt.[169] Lehner weist auf einen in situ im Südgrab des Djoser gefundenen Hebebalken aus Holz mit vorhandenen Seilspuren zum Abseilen des Granitpfropfens hin.[170]

4.3 Transporteinrichtungen

Eine der Grundregeln ägyptischer Bautechnik bestand darin, größere und schwere Steinblöcke immer nur zu ziehen und nicht hochzuheben. Dies galt sowohl für den Transport zur Baustelle als auch für das Einbringen in das Bauwerk.[171]

4.3.1 Schiefe Ebene

4.3.1.1 Zugkräfte (Gleitreibung)

Bei dem Transport von Lasten auf der schiefen Ebene treten folgende Kräfte auf:

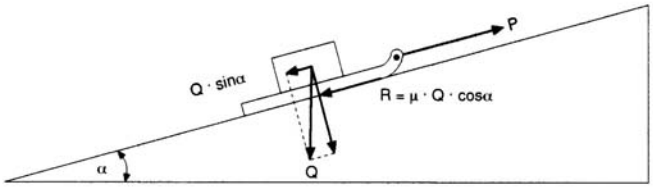


Abb. 4.3.1.1.1 Kräfteverteilung auf der schiefen Ebene

Dabei sind

P die erforderliche Zugkraft
Q die Last (Gewicht) – z.B. Stein, Schlitten und Seile
α der Steigungswinkel der Ebene (Rampe) und
μ die Gleitreibungszahl: (Hartholz auf Hartholz, gefettet 0,04-0,12[172])
(Holz auf Holz 0,3[173])
(Holzschlitten auf nassem Untergrund 0,25[174])
(Holz auf Beton 0,3[175])
(Holzschlitten auf grob poliertem Kalkstein 0,05-0,1)
(Steinblock, behauen, auf grob poliertem Kalkstein 0,25)
(Holzschlitten auf Kugeln aus Dolerit 0,05)
(Holzschlitten auf festem, glattem Untergrund mit nassem Nilschlamm 0,05[176])

[169] Ebenda, S.51, Abb.143; Seile werden durch Ösen geführt (6. Dynastie).
[170] Lehner, Geheimnis, S.92, jedoch ohne weitere Quellenangabe.
[171] Goyon, Karnak, S.100.
[172] Stöcker, Physik, S.227; der niedrigere Wert gilt für die Rollreibung bei Verwendung von quer unter dem Schlitten angeordneten Rundhölzern.
[173] www.chemgapedia.de/vsengine/vlu – Gleitreibung.
[174] Lattermann, Pyramidenbau, S.20; Croon in: Borchardt, Meidum, S.28.
[175] Containerhandbuch, Kapitel 4.4.5.
[176] Nach Goyon, Karnak, S. 100ff. wurden im Jahr 1934 von Henri Chevrier, seinerzeit Projektleiter der Arbeiten im Karnaktempel, Transportversuche mit schweren Lasten durchgeführt. Dabei wurde ein Holzschlitten nach dem Vorbild eines in Gisa gefundenen altägyptischen Originals gebaut und mit einem Steinblock von ca. 2 m³ (5 t) beladen. Insgesamt 6 Arbeiter konnten den Schlitten mit der Last auf einer festgestampften, feuchten Nilschlammfläche ziehen. Bei 6 mal 40 kp Zugkraft ergibt sich eine Gleitreibungszahl von 0,05.

Die erforderliche Zugkraft ergibt sich wie folgt:

$$P = Q \cdot \sin \alpha + \mu \cdot Q \cdot \cos \alpha$$

Die Gleitreibung ist immer unabhängig von der Fläche des zu transportierenden Gegenstandes und von der Zuggeschwindigkeit.

Für verschiedene Steigungswinkel ergeben sich für beladene Schlitten mit Hartholzkufen (einschließlich Seilgewicht) und Gewichten von 4,5 t, 3 t und 1,5 t und einer angenommenen Gleitreibungszahl von 0,05 (glatter Kalkstein mit Sandschüttung[177] oder Kugeln aus Dolerit oder quer liegende Rundhölzer) folgende erforderliche Zugkräfte:

Steigung (Basis zu Höhe)	Steigungswinkel	erforderliche Zugkraft
Gerade Ebene	0º	225 / 150 / 075 kp
10 : 0,5	2,9º	455 / 307 / 153 kp
10 : 1	5,7º	685 / 457 / 228 kp
10: 1,3	10º	1005 / 670 / 335 kp
10 : 2,7	15º	1380 / 921 / 460 kp
10 : 3,7	20º	1750 / 1168 / 579 kp
10 : 5	26,5º	2215 / 1478 / 739 kp
10: 5,4	30º	2445 / 1630 / 815 kp
10: 6,4	35º	2765 / 1844 / 922 kp
10: 7,4	40º	3065 / 2043 / 1022 kp
10: 10	45º	3225 / 2150 / 1075 kp

Für den unmittelbaren Transport roh behauener bzw. aus einer Steinlage herausgebrochener Steinblöcke gleichen Gewichts (einschließlich Seilgewicht) auf einer grob geglätteten Kalksteinoberfläche mit der Gleitreibungszahl von 0,25 ergeben sich folgende Werte:

Steigung (Basis zu Höhe)	Steigungswinkel	erforderliche Zugkraft
Gerade Ebene	0º	1050 / 750 / 375 kp
10 : 0,5	2,9º	1350 / 900 / 450 kp
10 : 1	5,7º	1566/ 1044 / 522 kp
10: 1,3	10º	1889 / 1259 / 630 kp
10 : 2,7	15º	2250 / 1500 / 750 kp
10 : 3,7	20º	2595 / 1730 / 865 kp
10 : 5	26,5º	3015 / 2010 / 1005 kp
10: 5,4	30º	3225 / 2150 / 1075 kp
10: 6,4	35º	3503 / 2335 / 1168 kp
10: 7,4	40º	3755 / 2503 / 1251 kp
10: 10	45º	3978 / 2652 / 1326 kp

Damit ist die Bandbreite, innerhalb deren die Zuggewichte angenommen werden müssen, beschrieben.

[177] Eine Art Rollreibung liegt vor, wenn zwischen einen zu transportierenden Gegenstand und einer glatten Untergrundfläche feinkörniger Sand gestreut wird. Dieser wirkt dann wie viele kleine Kugeln und vermindert die Gleitreibung beträchtlich.

Ein Neigungsverhältnis von 2:1 (26º 33' 54“) wird mit nur geringen Abweichungen von der exakten Gradzahl bei den Pyramiden der 4. Dynastie für abwärts- und aufwärts gerichtete Korridore verwendet und ist somit im AR belegt.[178] Durch diese Korridore wurden Material beim Bau der Grabkammern nach oben und Verkleidungssteine (Granit) nach unten transportiert.

Eine vergleichbare Rampendarstellung – allerdings aus der 18. Dynastie – ist im Grab des Rechmire (TT 100 in Theben West) zu sehen (Abb. 4.3.1.1.2). Dabei werden in der rechten Bildhälfte drei Mauern (oder Säulen) dargestellt, deren Abstände mit Ziegeln aufgefüllt sind. Von links führt eine Rampe auf das im Bau befindliche Gebäude zu, über welche Steinblöcke für die nächste Lage nach oben transportiert werden. Die Neigung der Rampe beträgt 10:5 bzw. 2:1 (26,5º).

Abb. 4.3.1.1.2 Umzeichnung einer Ziegelbaurampe aus dem Grab des Rechmire

Eine Baurampe aus Lehmziegeln ist an der Rückseite des südlichen Turms des I. Pylons des Amun-Tempels von Karnak – allerdings aus der 30. Dynastie - noch vorhanden.[179]

Die Haftreibung des zu transportierenden Gegenstandes, die von der Beschaffenheit der Kontaktflächen und der Normalkraft, die der Gegenstand auf die Unterlage ausübt, abhängt, ist immer etwas größer (ca. 20 %) als die Gleitreibung. Durch eine zusätzliche Schubkraft oder durch ein Anhebeln kann sie jedoch einfach überwunden werden. Die Haftreibung wird daher bei den Modellrechnungen nicht berücksichtigt.

4.3.1.2 Zugkräfte (Rollreibung)

Rollreibung liegt vor, wenn der Körper (z.B. ein Rad) auf einer ebenen Unterlage nicht gleitet, sondern rollt. Die Rollreibung ist abhängig von der Belastung, dem Raddurchmesser sowie dem Material von Rad und Untergrund. Sie wird mit wachsendem Raddurchmesser geringer und hat die Dimension einer Länge. Sie ist darüber hinaus geschwindigkeitsabhängig:

$$Z = (f/R) \cdot G$$

Dabei sind Z die Zugkraft, R der Raddurchmesser, G die Zugkraft und f die Rollreibung.

Die Rollreibung beträgt z. B. für

[178] Becker, Pyramidenkorridore
[179] Goyon, Karnak, S.102.

Holz auf Holz	f /(cm)	= 0,5 …. 0,8
Gummi auf Beton	f/(cm)	= 0,15[180] bzw.
Rundholz bzw. Walze auf Beton	f/(cm)	= 0,02[181].

4.3.2 Rampen

Im Zusammenhang mit dem Pyramidenbau im AR und im MR lassen sich nur wenige Rampen archäologisch nachweisen. Darauf wird im Folgenden einzeln eingegangen:

4.3.2.1 Die Pyramide des Sechemchet

Goneim berichtet von mehreren Dämmen oder Rampen an der Ost-, Süd- und Westseite der Pyramide.[182] An der Westseite seien die Reste der großen zum Steinbruch führenden Hauptrampe gefunden worden.[183]

Maragioglio und Rinaldi befassen sich ausgiebig mit den Aussagen Goneims und stellen dazu fest, dass es sich nicht um Baurampen gehandelt haben kann.[184] Die Reste dieser „Rampen" werden vielmehr als Verstärkung der Südflanke, die auf einem etwa 6–7 m niedrigeren Niveau als die Nordflanke gegründet ist, gedeutet.

4.3.2.2 Die kleinen Schichtpyramiden des AR

An der kleinen Schichtpyramide in Sinki (Abydos Süd) fanden Dreyer und Swelim 1980 auf allen vier Seiten kleine Baurampen (Abb. 4.3.2.2).[185] Diese führen senkrecht auf die Pyramide zu und erreichen das Mauerwerk der zweiten Schale.[186] Sie bestehen aus einer Kiesschüttung, die seitlich mit Ziegelmauern bzw. einer Steinpackung und darüber angeordneten Ziegelmauern befestigt sind. Am besten erhalten ist die Rampe auf der Ostseite. Dort erreicht sie noch eine Höhe von 1,35 m und steht bis zur 6. Steinlage an.

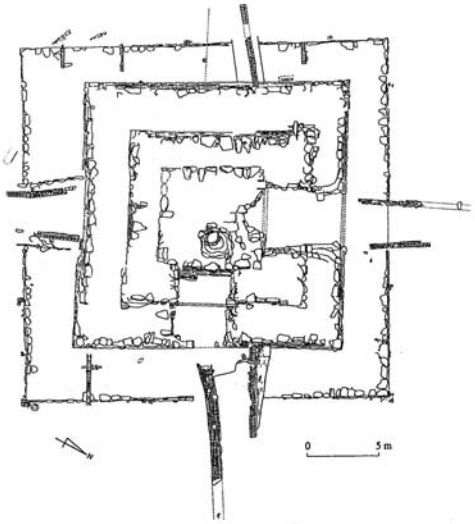


Abb. 4.3.2.2 Baurampen an der kleinen Schichtpyramide in Sinki

[180] Werte nach Stöcker, Physik, S.226. .
[181] Werte nach Neuhaus, www.jdn.de/service_area_windenanwendungen_schiefe-ebenen_reibungsbeiwerte.
[182] Goneim, Pyramiden, S.152–153.
[183] Goneim, Horus Sechemchet, Fig.25, Pl.XV.
[184] Maragioglio II, S.21 und Observation 9.
[185] Dreyer, Sinki, S.90.
[186] Dreyer, Sinki, S.42ff.

4.3.2.3 Die Pyramide des Snofru in Meidum

Borchardt berichtet ausführlich[187] über von Petrie an der östlichen Außenseite der 5. und 6. Stufe der Schicht E 2 gefundenen Vertiefungen[188], die auch von Wainwright[189] als Spuren einer Baurampe gedeutet wurden. Diese Vertiefungen verlaufen fast senkrecht über die glatten Außenflächen und markieren an der 6. Schicht eine Breite von 5,36 m und an der 5. Schicht eine von 4,95 m. Ein Foto davon wurde von Arnold veröffentlicht.[190] Wainwright fand weiterhin eine in 318 m Entfernung von der Pyramidenmitte beginnende ca. 70 cm dicke Bahn aus luftgetrockneten Ziegeln mit einer Gesamtbreite von ca. 4 m.[191] Die Bahn steige genau in Richtung der genannten Vertiefungen mit einem Steigungswinkel zwischen 10 und später 17° an (Abb. 4.3.2.3).

Borchardt selbst glaubt, eine weitere, auf eine Ecke zuführende Rampe gefunden zu haben.[192] Bei dem Bauabschnitt E 2 führe sie nur bis zur Höhe der 4. Stufe. Für die drei höheren Stufen müsste das Material auf diesen Stufen anliegenden Umhüllungsrampen weiter hochgebracht worden sein. Borchardt verweist in diesem Zusammenhang auf seine Untersuchungen am Unterbau des Sonnenobelisken von Abu Gurab, wo ebenfalls Baurampen gefunden wurden (Kapitel 4.3.2.6.).[193]

Die Beobachtungen und archäologischen Befunde lassen die Vermutung zu, dass zumindest in den unteren Bereichen der Pyramide von Meidum senkrecht auf die Pyramide zuführende Rampen benutzt worden sein könnten und im oberen Teil auf den einzelnen Stufen umlaufende Rampen den Materialtransport ermöglichten.

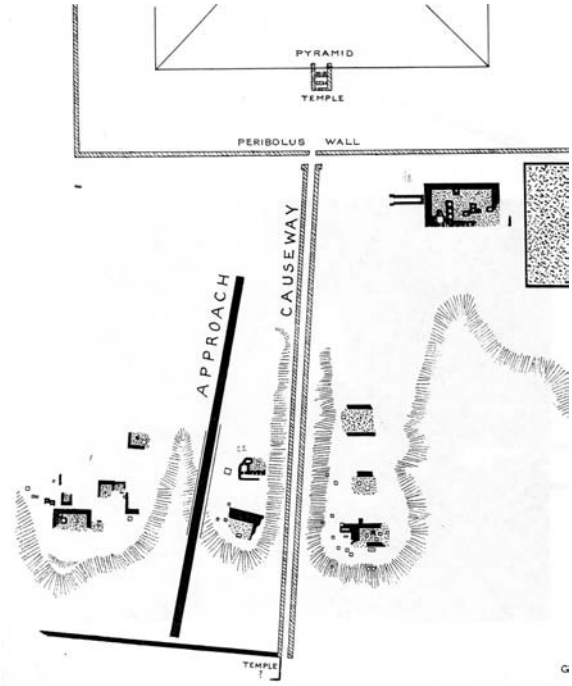


Abb. 4.3.2.3 Baurampen an der Pyramide in Meidum

[187] Borchardt, Meidum, S.20ff.
[188] Petrie, Meidum, S.10 und Bl.2.
[189] Petrie, Meidum III, S.6 ff und Bl.1–3.
[190] Arnold, Building , S.83, fig.33.1.
[191] Petrie, Meidum, Pl.II.
[192] Borchardt, Meidum, S.24
[193] Borchardt, Re-Heiligtum 1, Der Bau, S.61.

Die von Borchardt beschriebenen Vertiefungen könnten dem sicheren Halt der schmalen Rampe gedient haben und bei der später ausgeführten Glättung der Außenschicht infolge einer größeren Tiefe nicht mehr ausgeglichen worden sein. Allerdings wären für eine derartige Rampe – so Borchardt selbst – gewaltige Mengen an Baumaterial erforderlich gewesen. Aus diesem Grund bezweifeln auch Maragioglio und Rinaldi eine Bauweise mittels senkrecht auf die Pyramide zuführender Rampen mit einer Höhe von ca. 65 m.[194] Auch Arnold stellt eine derartige Bauweise infrage.[195]

4.3.2.4 Die Rote Pyramide in Dahschur

Vom Fruchtland bzw. vom Taltempel der Roten Pyramide aus führen zwei Transportbahnen zur Ostseite der Pyramide.[196] Gleiches gilt für zwei Transportwege aus dem Gebiet der nordwestlich gelegenen Steinbrüche. Um eigentliche Baurampen hat es sich dabei nicht gehandelt (Abb. 4.3.2.4).[197]

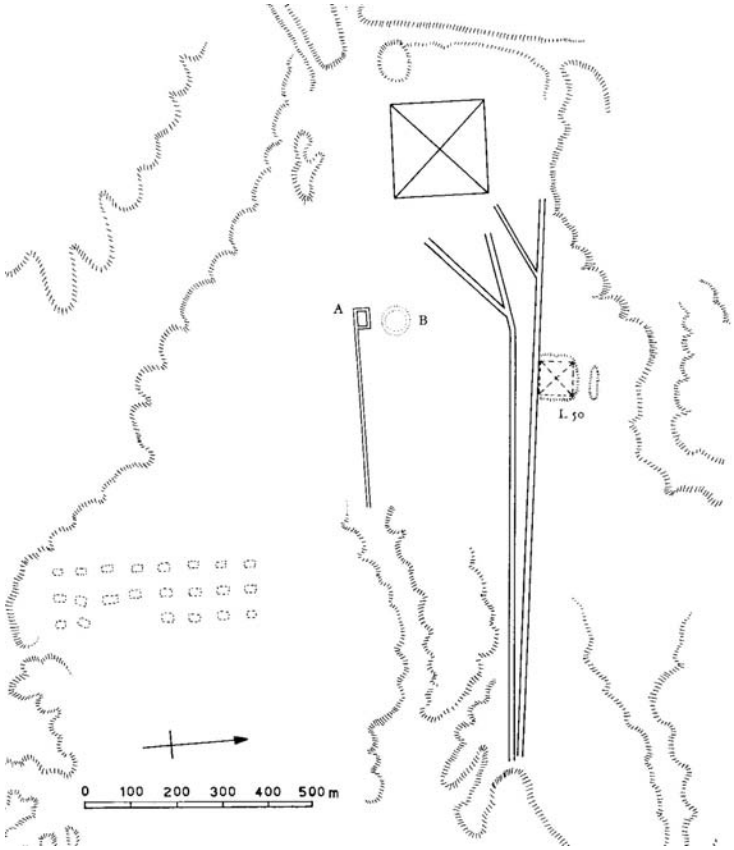


Abb. 4.3.2.4 Baurampen an der Roten Pyramide

4.3.2.5 Cheopspyramide

In Gisa sind verschiedene kleinere Rampen archäologisch nachgewiesen, die jedoch nach Lehner meist dem Materialtransport dienten.[198] Dies gilt wohl auch für die von Lehner beschriebene Transportstraße zwischen der Cheopspyramide und der Sphinx.[199]

[194] Maragioglio, III, S.38.
[195] Arnold, Building, S.82.
[196] Stadelmann, MDAIK 38, S.381.
[197] Arnold, Building, S.81.
[198] Lehner, Schätze, S.40.

Petrie entdeckte 1881 eine 388 m lange und bis zu 9,5 m breite Mauer.[200] Diese aus großen Kalksteinen errichtete Mauer verläuft nördlich der Chephrenpyramide und begrenzt den Westfriedhof in Gisa. Die Orientierung verläuft in west-östlicher Richtung. Die optische Verlängerung dieser Mauer trifft etwa die SW-Ecke der Cheopspyramide. An der Südseite dieser Mauer stellte Petrie kleine Stützmauern fest. Hawass entdeckte 1993 an der Südwestecke der Cheopspyramide das östliche Ende dieser Mauer; Grabungsergebnisse wurden bisher nicht veröffentlicht.

Haase äußerte 2007 die Auffassung, wonach es sich bei den Resten dieser großen Mauer um den Rest einer Baurampe handeln könne, die zur Errichtung der Cheopspyramide gedient habe.[201] Seine Schätzung geht von einer Basisbreite von 30–40 m, einem Transportweg von etwa 20 m Breite[202] mit mehreren Schleppbahnen und einer Länge bis zu 700 m aus. Die Steigung soll 6,3º (Neigungsverhältnis 1:11) betragen haben. Die Basis dieser auf Gelände südlich des Westfriedhofs gelegenen Rampenkonstruktion hätte sich bereits etwa 22 m über dem Basisniveau der Pyramide befunden. Über eine derartige Rampe wäre – so Haase weiter – bis zu einer Höhe von 66 m der Cheopspyramide Steinmaterial – sowohl die schweren Granitquader als auch Kalksteine für den eigentlichen Bau – transportiert worden. Zwischen der Rampe und der Osthälfte der Südflanke der Pyramide sei auf diese Weise eine Arbeitsplattform entstanden. In 66 m Höhe seien darüber hinaus ca. 83 % des Materials der Pyramide verbaut. Nach der Fertigstellung der Pyramide sei diese Rampe – zusammen mit anderen vermuteten Rampen – wieder abgebaut worden; die nördliche Stützmauer sein dann bis zu einer Höhe von 7 m als Begrenzung des Westfriedhofs[203] stehengelassen worden. Die zur Zeit des Cheops auf dem Westfriedhof errichteten Mastabagräber wurden von der nördlichen Mauer bzw. von einer Rampe nicht tangiert. Der Vorschlag von Haase erscheint auf den ersten Blick interessant; er hat jedoch zumindest zwei große Nachteile: Zum einen hätte die Rampe unter Einschränkung ihrer Transportkapazität ständig in ihrer Höhe dem Baufortschritt der Pyramide entsprechend angepasst werden müssen und zum anderen liegt die Baufläche der Pyramide in Höhe von 68 m nicht mehr in der Fluchtlinie der Rampe. In dieser Höhe berührt sie die Pyramide nicht mehr, wie aus Satellitenaufnahmen zu erkennen ist.[204] Die Arbeitsplattform müsste also den Abstand zwischen Rampe und Südflanke der Pyramide ausgefüllt haben. Offen bleibt, wohin später die gewaltigen Steinmassen „entsorgt“ wurden. Keine Aussage wird auch zu der Frage getroffen, von welchem Landeplatz aus und auf welchem Weg die über den Nil antransportierten Granitsteine zum Anfang der Rampe transportiert sein könnten. Ein entsprechender Vorschlag für den Bau der Cheopspyramide unter Nutzung der von Haase beschriebenen Rampe sollte darüber auch eine Berechnung der sich aus dieser Transportmethode ergebenden Bauzeit beinhalten. Wie später im Kapitel 8 gezeigt wird, ist es mit Blick auf die historisch belegte Bauzeit der Cheopspyramide erforderlich, an allen Seiten zeitgleich zu bauen. Irgendwelche Reste einer großen, senkrecht auf die Cheopspyramide zuführenden Baurampe wurden darüber hinaus nicht gefunden.[205]

Saleh berichtete von einer Rampe aus der 4. Dynastie in der Nähe der Cheopspyramide,[206] welche eine Breite von 5.4–5.7 m aufwies und an deren Seiten je ein Steinwall errichtet

---

[199] Lehner, Cheops Projekt, S.121.
[200] Petrie, Pyramids, S.33.
[201] Haase, Rampe für Schwertransporte.
[202] Eine Nachrechnung ergibt bei einer Basisbreite von 40 m und einer im AR üblichen Neigung der Stützmauer von 80º in 66 m Höhe eine Breite von 18 m.
[203] Siehe Abb. 89a in Haase, Cheops.
[204] Bárta, Pyramidenfelder von oben, S.62
[205] Klemm und Klemm, Steinbruch, S.36–37.
[206] Saleh, Mycerinos Pyramid S.137.

war.[207] Die Steine waren mit Mörtel vermauert. Die Rampe hatte durch Quermauern entstandene Abschnitte in den Längen zwischen 10 und 21 m. Damit ist bereits im AR erstmals die Bauweise einer Transportrampe bzw. Transportstraße nachgewiesen, wie sie später im MR (siehe Kapitel 4.3.2.7) und im NR wiederholt angewendet wurde.

4.3.2.6 Das Sonnenheiligtum des Niuserre

Borchardt berichtet über in den Fundamenten des Sonnenheiligtums des Niuserre in Abu Gurab und unter dem Hofpflaster gefundene Baurampen („Gerüstrampen“) in Ziegelbauweise mit einer Breite zwischen 2,5 und 5 m sowie Steigungen bis zum Verhältnis Höhe zu Basis von 1:4 bzw. 10:2,5.[208] Dies entspricht einem Steigungswinkel von 14°. Über Rampen mit dieser relativ großen Steigung wurden Steinlasten größeren Ausmaßes transportiert. Die von Borchardt am Fundament des Totentempels der Pyramide des Niuserre an dessen NO-Ecke beobachteten geringen Reste einer Ziegelrampe[209] werden von Maragioglio und Rinaldi als für Fundamentierungsarbeiten errichtet gedeutet.[210]

4.3.2.7 Pyramiden des Mittleren Reiches

Für den Materialtransport zu den Baustellen der Pyramiden des MR (12. Dynastie, Amenemhet I., Sesostris I. und Sesostris II.) wurden regelmäßig Rampen angelegt und verwendet, die aus zwei Seitenmauern, einem Fundament und quer zur Transportrichtung verlegten Rundhölzern bestanden.[211] Eine typische Ausführung stellt die Rampe zwischen Taltempel und Pyramide des Amenemhet I. in Lischt mit einer Breite von etwa 6,5 m und seitlichen Mauern von 90 cm Dicke dar.[212] Die Vertiefungen für die quer zur Transportrichtung verlegten Holzbohlen sind deutlich zu erkennen. Eine andere Ausführungsart einer Transportrampe befindet sich im Steinbruch der Pyramide des Sesostris II.[213]

Ebenfalls aus der 12. Dynastie ist aus der Zeit der Regentschaft des Sesostris III. eine Transportstraße für Schiffe zur Umgehung des zweiten Katarakts bekannt. Während der UNESCO-Rettungsarbeiten in Nubien entdeckten 1964 französische Archäologen unweit der Festung Mirgissa die Überreste dieser Transporttrasse.[214]

Aus der Veröffentlichung ist ersichtlich, dass dieser Transportweg (Abb. 4.3.2.7) aus zwei seitlich aufgeschütteten Böschungen und quer zur Transportrichtung verlegten runden Holzbohlen sowie einer dicken Schlammschicht über den Bohlen zwischen den beiden Böschungen bestand.[215] Die Gleitreibungszahl μ einer derartigen feuchten Gleitbahn ist außerordentlich gering und liegt nur bei etwa 0,01, sodass auch große Lasten (Schiffe) mit relativ wenig Kraftaufwand gezogen werden konnten. Eine ähnlich geringe Gleitreibungszahl besitzt z.B. ein feuchter Knüppeldamm in einem Moor.

---

[207] Arnold, Building, S.84, Fig.3.33.
[208] Borchardt, Sonnenheiligtum, S.59ff.; Grundriss Blatt 6.
[209] Borchardt, Niuserre, S.149.
[210] Maragioglio, VII, S.40 und 52.
[211] Einzelheiten bei Arnold, Building, S.86–93.
[212] Arnold, Building, S.87, Fig.3.37.
[213] Arnold, Building, S.92, Fig.3.44.
[214] Vercoutter, Mirgissa, S.204ff.
[215] Vogel, Nilschifffahrt, S.267.

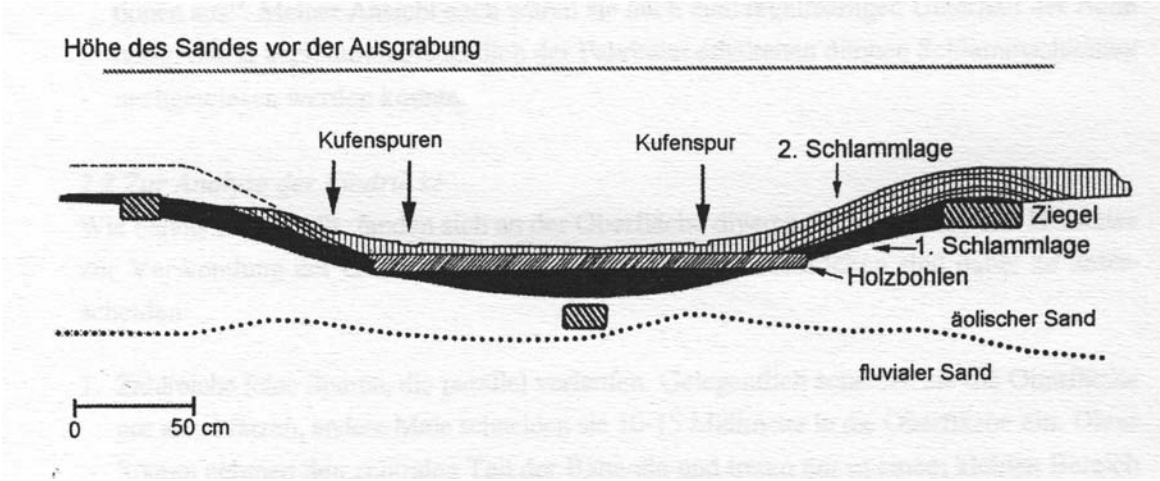


Abb. 4.3.2.7 Schnitt durch den stromabwärts erhaltenen Teil der Gleitbahn von Mirgissa

Der Bau größerer Rampen mit Außenmauern und einer Füllung aus Schotter ist erst in der Mitte der 18. Dynastie unter Amenhotep III. belegt.[216] Im pAnastasi I befindet sich unter den drei technischen Aufgaben, die dem königlichen Schreiber Amenemopet vorgelegt werden, auch eine, die sich auf eine große Baurampe mit der Basislänge 730 und der Höhe 60 Ellen, also einer Steigung von knapp 5º, bezieht.[217]

4.3.2.8 Zusammenfassung: Verwendung von Rampen beim Bau des Pyramidenkörpers

Abgesehen von den senkrecht auf die kleinen Schichtpyramiden in Lischt, Meidum und Sinki zulaufenden Baurampen aus Nilschlammziegeln konnten bisher bei keiner anderen Pyramide Rampen für den direkten Bau des Pyramidenkörpers – abgesehen von Transportrampen zum Bauplatz – archäologisch nachgewiesen werden. Es wurden auch keine entsprechenden Mengen eines Rampenmaterials in den Nekropolen – auch nicht bei den nur begonnenen und nicht zu Ende gebauten Pyramiden – gefunden.[218] Eindeutig identifizierte Schutthalden im Umfeld der Pyramiden in Gisa bestehen im Wesentlichen aus einem Gemisch aus Kalksteinfragmenten, Gips und Tafla ohne sichtbare Nilschlammanteile und werden als Materialabfall, der beim Bau der Pyramiden entstand, gedeutet.[219] Aus diesen archäologischen Gegebenheiten muss der Schluss gezogen werden, dass es eine Bauweise für die Pyramiden im AR gegeben hat, die ohne von außen senkrecht auf den Baukörper zulaufende und ständig zu erhöhende Rampen mit dem entsprechend großem Materialaufwand auskommt.

Haase weist in diesem Zusammenhang auf einen interessanten Aspekt hin:[220] Betrachtet man die Cheopspyramide als größtes Pyramidenbauwerk, so wurden bis zu einer Höhe von 50 m bereits ca. 71 % des gesamten Materials verbaut. Bei 120 m sind es 99,4 % und für die restlichen 27 m Höhe verbleibt eine Baumasse von weniger als einem Prozent. Ähnlich argumentiert Croon:[221] Für die letzten 5 Meter der Pyramide sind noch 106 m³ Steinmaterial erforderlich, zu deren Transport über eine senkrecht zur Pyramide verlaufende Rampe (im Vergleich zu einer um 5 m weniger hohen Rampe) 240 000 m³ Rampenmaterial verbaut werden müssten.

[216] Arnold, Building, S.93–94.
[217] Gardiner, Texts, S.281–282.
[218] Stadelmann, Pyramiden, S.226.
[219] Lehner, Cheops Project, S.124 und 132.
[220] Haase, Vermächtnis, S.99.
[221] Croon, Lastentransport, S.23.

Aufgrund dieser Berechnungen, die mit ihren mathematischen Kenntnissen auch die damaligen Baumeister angestellt haben dürften, wird sofort klar, dass der enorme Materialaufwand für eine senkrecht auf die Pyramide zulaufende Rampe mit einer Höhe von 147 m, der ein Mehrfaches der Masse der eigentlichen Pyramide ausgemacht hätte, in keinem Verhältnis zu der Materialmenge für den oberen Pyramidenbereich steht. Auch aus diesem Grund muss es ein anderes Bauverfahren als senkrecht auf die Pyramide zuführende Rampen gegeben haben.

Verschiedentlich laufen die Transportrampen nicht direkt auf die Pyramidenflanke zu, sondern tangieren diese an der Basis. Diese Beobachtung wurde bei der Roten Pyramide in Dahschur (siehe Abb. 4.3.2.4), bei der Cheopspyramide und bei der Königinnenpyramide G I c in Gisa gemacht. Diese Anordnung lässt den Materialtransport bis zur Basis der Pyramiden bzw. bis zu einer gewissen Höhe parallel zu einer Seite zu. Das Ausmaß einer Rampe zur Überwindung des Höhenunterschiedes von etwa 60 m zwischen einem Wadi im Norden und der Pyramidenbasis zeigt sich im Aufweg zur Pyramide des Djedefre in Abu Roasch.[222]

4.3.3 Steintransport auf der geraden und schrägen Ebene

Die unterschiedlichen Vorschläge und Ideen für den Transport von Steinmaterial zur Baustelle und beim Bau wurden dargestellt, ohne auf die sich daraus ggf. ergebenden Bauhypothesen einzugehen. Letztere werden in Kapitel 7 „Analyse und Bewertung der bisher bekannt gewordenen Bauhypothesen“ behandelt.

Das Gewicht der im AR in den Pyramiden (Kernmauer- und Verkleidungsmauerwerk) verbauten Steine schwankt zwischen einigen 100 kg (Pyramide des Djoser) und 4,5 t (maximales Gewicht der Steine in den Außenmauern der Stufen des Kernmauerwerks bei der Pyramide des Mykerinos).[223] Die Granitbalken oberhalb der Königskammer in der Cheopspyramide (Abmessungen 1,3 x 1,8 x 8 m) haben ein Gewicht von je 50–60 t.[224] Die Pfeiler im Taltempel des Chephren wiegen etwa 14–19 t, die beiden Sphingen je 80 t[225]. Einige der Kalksteinblöcke der Außenwand des Totentempels des Mykerinos haben ein Gewicht von ca. 200 t.[226] Die Kalksteinblöcke der Giebeldächer der Grabkammern in den Pyramiden der 5. Dynastie wiegen bis zu 90 t.[227]

Im Südgrab des Djoser wurde eine Trage aus Holz mit 3 m Länge gefunden (Abb. 4.3.3.1), auf der Gegenstände mit max. Abmessungen von 0,6 bis 1,9 m transportiert werden konnten.[228] Ähnliche Tragen sind für den Transport kleinerer Steine beim Pyramidenbau denkbar.

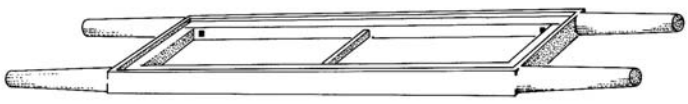


Abb. 4.3.3.1 Holztrage, Südgrab des Djoser

[222] Siehe Abbildung in Sokar 13, S.29.
[223] Maragioglio, VI und Ausführungen im Kapitel 8.1 „Baudaten der Pyramide des Mykerinos“.
[224] Arnold, Building, S.60.
[225] Hölscher, Chephren, S.71ff.
[226] Lehner, Geheimnis, S.136; Maragioglio, V.S.66; Hölscher beziffert das Gewicht des größten Steinblocks mit 425 t (Hölscher, Chephren, S.52).
[227] Borchardt, Niuserre, S.103.
[228] Arnold, Building, S.57–58.

Aus Beamtengräbern des AR sind verschiedene Bilddarstellungen bekannt, auf denen der Transport von Statuen und Gütern auf Schlitten gezeigt wird.[229] Auf einige davon soll beispielhaft hingewiesen werden:

- Darstellung des Transportes einer Sitzstatue aus dem Grab des Ti[230], eines hohen Hofbeamten der 5. Dynastie (Sahure, 2496/2446 – 2483/2433).[231] Die Sitzstatue befindet sich auf einer Unterlage vermutlich aus Holz (Holzschlitten?), und wird von 6 paarweise angeordneten Männern mit einem Seil gezogen, welches unmittelbar an der Statue befestigt zu sein scheint. Die Holzunterlage wird durch ihre Kufe, die sich vor der Statue befindet, geführt. Die Statue ist mit einem Holzgerüst gegen Verschieben auf dem Schlitten während des Transports gesichert. Ein weiterer Mann feuchtet die Zugbahn unmittelbar vor dem Schlitten mit einer Flüssigkeit an, um den Gleitfaktor zu verringern.
- Transport einer Statue aus dem Grab des Hetepherachti[232], eines hohen Offiziers aus Memphis (5. Dynastie).[233] In dieser Darstellung (Abb. 4.3.3.2) ziehen zwei Rinder die auf einer (Holz?)-Unterlage stehende und ebenfalls gegen Umstürzen bzw. Verschieben gesicherte Statue. In weiteren Darstellungen aus dem Grab ziehen wiederum Männer eine auf einer Unterlage befindliche Sitzstatue[234] und eine stehende Statue.[235]

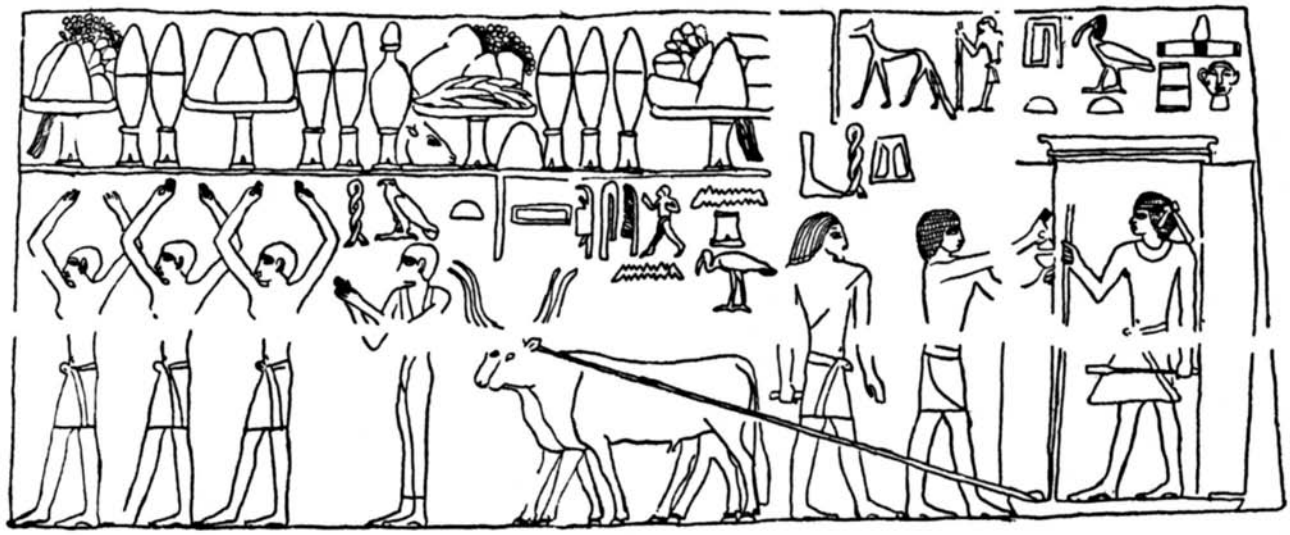


Abb. 4.3.3.2 Transport einer Statue mittels Ochsengespann; Grab des Hetepherachti.

- Darstellung des Transports zweier mit Federn geschmückter Behälter durch drei Männer aus dem Doppelgrab der Königinnen Nebet und Chenut, 5. Dynastie, Saqqara.[236]
- Auf dem Fragment eines Reliefs vom Aufweg der Pyramide des Sahure sind 15 Männer mit Seilen in den Händen zu erkennen, die, wie eine unvollständige Überschrift oberhalb der Darstellung verrät, das Pyramidion der Pyramide ziehen.[237]

[229] Als Holzarten für die Herstellung von Schlitten kommen nach Croon, Lastentransport, (S.41) an heimischen Holzarten die Dattelpalme (phoenix dactylifera), die Sykmore (ficus sycomorus) und die Nilakazie (acacia nilotica) und von importierten Hölzern die Zeder aus dem Libanon infrage.
[230] Steindorff, Grab des Ti, Tafel 64.
[231] LÄ VI, S.551–552.
[232] Mohr, Mastaba, S.39, Fig.3.
[233] Mohr, Mastaba, S.1.
[234] Mohr, Mastaba, S.40, Fig.6.
[235] Mohr, Mastaba, S.41, Fig.7.
[236] Munro, Unas S.66 und Tafel 38.
[237] Hawass/Verner.

– Im Grab des Kagemni, Wesir unter Teti zu Beginn der 6. Dynastie, sind Reliefdarstellungen erhalten, auf denen der Transport schwerer Lasten mittels Schlitten gezeigt wird. Die Fahrbahn vor dem Schlitten wird dabei angefeuchtet.[238]
– Im Ägyptischen Museum in Kairo befindet sich ein 4,21 m langer Schlitten, der ins MR datiert wird (Fundort in der Nähe der Pyramide Sesostris III.) und der verschiedene Aussparungen und Vertiefungen besitzt, die wahrscheinlich zur Befestigung der zu transportierenden Last – nach Reisner u.U. auch von Schiffen – dienten (Abb. 4.3.3.3).[239]

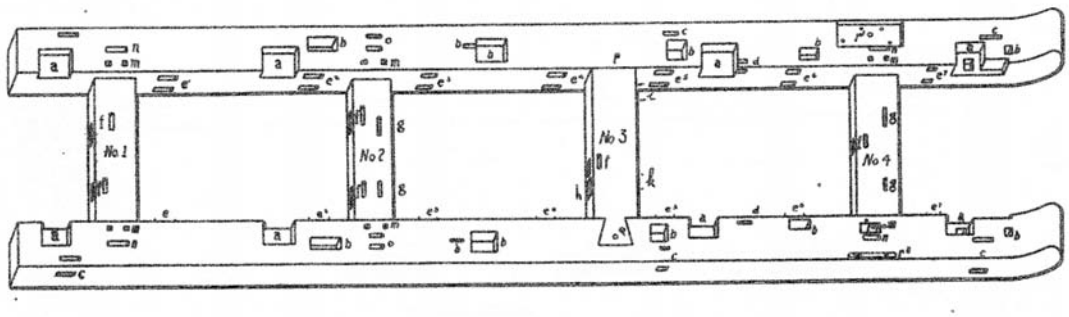


Abb. 4.3.3.3 Schlitten aus dem MR

Schlitten mit größeren Lasten erfordern für ihren Transport einen festen Untergrund, da ansonsten durch das Einsinken der Kufen eine wesentlich größere Reibung entsteht und eine unvergleichlich höhere Zugkraft erforderlich ist.[240] Als Untergrund kommen daher entweder glatte Steinflächen, wie sie von Herodot für die Transportwege beschrieben werden, quer zur Transportrichtung auf den Untergrund verlegte Rundhölzer oder in einem Mörtelbett befestigte Steinkugeln infrage. Befeuchtung vermindert zusätzlich die Reibung. Goyon weist aufgrund seiner Beobachtungen auf die besondere Eignung quer zur Zugrichtung verlegter Stämme aus Palmholz hin.[241] Die poröse Beschaffenheit des Palmholzes führe dazu, dass dieses Wasser der Befeuchtung der Transportbahn aufnehme und so dem Schlamm als Schmiermittel die notwendige Feuchte gebe. Allerdings ist mit einer schnellen Abnutzung derartiger Rundhölzer beim Transport schwerer Lasten zu rechnen, sodass dieses Prinzip auf geraden Flächen nur selten zur Anwendung gekommen sein dürfte.

Croon weist auf eine Mitteilung von Hölscher ihm gegenüber hin, wonach dieser bei Ausgrabungen in Ägypten größere Mengen an Kugeln aus Dolerit[242] mit einem Durchmesser von 15–20 cm – eine davon noch fest im Mörtel verhaftet – gefunden habe.[243] Die Kugeln seien teilweise sehr abgeschliffen gewesen, sodass angenommen werden könne, dass sie unter schweren Lasten bewegt wurden. Es ist einleuchtend, das das Drehen von Schlitten bzw. Steinen und das seitliche Verschieben derselben auf unebenem Untergrund sehr schwer zu bewerkstelligen ist und großer Kraftanstrengungen bedarf. Steinkugeln wurden daher offensichtlich verwendet, um über Rampen angelieferte Steine auf der Arbeitsebene nach Abladen vom Schlitten bzw. einer flächigen Holzunterlage zum Einbau- bzw. Ort der Verlegung

[238] Myśliwiec, K. in: Hawass, Schätze, S.298; Araldo De Luca, Archivio White Star in: Hawass, Schätze.
[239] Reisner, Catalogue General, No.4928, S.88.
[240] Siehe auch Riedl, Pyramidenbau, S.78
[241] Goyon, Cheopspyramide, S.130.
[242] Als Dolerit wird ein grauer bis schwarzgrüner, besonders körniger und harter Basalt mit einem spezifischen Gewicht von 3 bezeichnet (Arnold, Baukunst, S.70). Fundorte sind in den Steinbrüchen von Assuan (Klemm und Klemm, Steine, S.314–315) und im Gebel el-Ahmar in der Nähe von Heliopolis nördlich von Kairo (LÄ II, S.433).
[243] Croon, Lastentransport, S.56.

auch auf unebenem Untergrund mit wenig Kraftaufwand zu verschieben. Mit Kugeln werden Unebenheiten im Untergrund viel leichter als mit Kufen (Schlitten) oder Rollen überwunden.

Auch Arnold berichtet von verschiedenen Funden von Kugeln aus Dolerit aus dem AR und MR.[244] Das Verfahren, derartige Steinkugeln für das waagerechte Verschieben schwerer Lasten zu benutzen, sei bereits im AR bekannt und eingesetzt gewesen. Klemm und Klemm weisen darauf hin, dass in den Granitsteinbrüchen von Assuan eine Fülle rund abgeschliffener Dolerithämmer zu finden sei.[245] Wurden diese nicht mehr nutzbaren Werkzeuge dann als Kugeln für einen waagerechten Transport eingesetzt oder handelt es sich von Beginn an um Doleritkugeln zum Transport schwerer Lasten von den Steinbrüchen in Assuan zu den Verladestellen am Nil bzw. zu den Verladestellen an den zu den Steinbrüchen hingeführten Kanälen?

Hassan berichtet von Abraumfunden im Inneren tiefer gelegener Mastabas vom Ende der 4. Dynastie in Gisa, in denen ebenfalls Steinkugeln enthalten waren.[246] Goyon vermutet dabei die Reste früherer Ziegelrampen.[247]

Junker berichtet von einem Fund in der Mastaba I des südlich der Cheopspyramide gelegenen Friedhofes der 4. Dynastie.[248] Dort befanden sich am Boden der unterirdischen Grabkammer Steinkugeln aus Dolerit von 6 cm Durchmesser, mit denen nach Junker wohl der Sarg mit einem Gewicht von 4,2 t an die geplante Stelle gerollt wurde. Mit Hilfe dieser Steinkugeln gelang es Junker, den Sarg mühelos zu bewegen. Es ist zu vermuten, dass diese Steinkugeln von Grabräubern im AR eingesetzt wurden, um den Sarg zu verschieben. Aus einem Grab wären die Kugeln wahrscheinlich bereits vor der Bestattung des Toten entfernt wurden.

Firth und Quibell berichten vom Fund mehrerer Kugeln aus Kalkstein mit Durchmessern zwischen 10 und 40 cm.[249] Sie nehmen an, dass diese Steinkugeln u.U. zum Versetzen größerer Steine genutzt worden sind.

Anlässlich der Öffnung des nördlichen Luftschachtes der Königinnenkammer in der Cheopspyramide im Jahr 1872 wurden dort mehrere Gegenstände gefunden, die bereits während der Bauzeit dorthin gebracht sein müssen.[250] Darunter befand sich auch eine Steinkugel aus Dolerit mit einem Durchmesser von 6,9 cm.

Steinkugeln aus Diorit wurden im AR demnach in großem Umfang verwendet.[251] Little berichtet vom Fund mehrerer Steinkugeln aus Diorit in den „Chephren-Steinbrüchen“ bei Toshka, die aus dem dortigen Dioritsteinmaterial gefertigt waren und von Kugeln aus Dolerit, die aus der Gegend von Assuan oder aus anderen Lagerstätten der Ostwüste stammten und die

[244] Arnold, Building, S.262.
[245] Klemm und Klemm, Steine, S.313.
[246] Hassan, Gisa.
[247] Goyon, Cheopspyramide, S.174.
[248] Junker, Gisa, Band X, 1951, S.16.
[249] Firth, Step Pyramid.
[250] Haase, Cheops, S.50.
[251] Als Diorit wird ein dunkelgraues, mittel- bis grobkörniges basaltisches Tiefengestein mit einem spezifischen Gewicht von etwa 2,8 bezeichnet (Little, „Chephren Diorite“, S.78). Vorkommen u.a. in der Westwüste 60 km nordwestlich von Toshka in einem nur wenige km² großen Gebiet inmitten des sonst üblichen Sandsteins. Diorit wird auch als Dioritgneis („Chephren-Gneis“) bezeichnet (Klemm und Klemm, Steine, S.423). Diorit wurde dort im AR und im MR abgebaut, wovon verschiedene Stelen etc. zeugen (LÄ, Band VI, S.369), und für Skulpturen verwendet.

alle als Werkzeuge zur Steinbearbeitung in den Steinbrüchen gedient hatten. Die Fertigung und der Einsatz von Steinkugeln aus sehr hartem Material waren im AR demnach üblich.

Das Prinzip der im Vergleich zur Gleitreibung viel geringeren Reibung zwischen zwei Flächen mit dazwischen befindlichen Kugeln (Rollreibung) war offensichtlich bereits im AR bekannt und wird auch heute noch in Kugellagern in vielfältigster Art verwendet.

Im Zusammenhang mit denkbaren Transportmöglichkeiten für große Steine beim Pyramidenbau gibt es vielerlei Untersuchungen und Vorschläge zu den erforderlichen Zugkräften, von denen einige hier erwähnt werden sollen:

- Lehner ermittelte in seinem NOVA-Experiment, dass auch schwere Lasten über eine Rampe mit quer gelegten Rundhölzern mit relativ geringer Kraftanstrengung gezogen werden können.[252]
- Lattermann hat sich ausgiebig – auch in eigenen Versuchen – mit möglichen Zugleistungen von Bauarbeitern beschäftigt.[253] Er kommt im Gegensatz zu den von Borchardt und Croon[254] sowie Mendelsohn[255] genannten 15 kp Zugkraft pro Mann auf einer Rampe zu Zugleistungen von durchschnittlich 45–60 kp pro Mann und sieht damit die von Arnold genannten Werte bestätigt.[256] Mit Blick auf die große Zahl benötigter Arbeiter für den Steintransport auf Rampen hält Lattermann den Einsatz menschlicher Arbeitskraft als Zugkraft für unzweckmäßig und zu aufwendig.[257] Er vertritt die Auffassung, dass für den Transport der Lasten Rinder eingesetzt wurden. Aufgrund verschiedener Untersuchungen nennt er eine Zugleistung von 500 kp pro Rind.[258]
- Fernau stellte eine Berechnung der notwendigen Zugleistungen am Beispiel des Statuentransportes in der Nekropole von el-Berscheh an. Dieser Transport ist als Relief im Grab des Djehuti-hotep (NR) dargestellt.[259] Die Berechnungen ergeben eine Zugleistung (Dauerleistung) von ca. 45 kp pro Mann. Fernau hat damit nachgewiesen, dass die Zahl der auf dem Relief genannten Arbeiter realistisch ist und für den Statuentransport ausreichend bemessen war.
- Illig und Löhner schlagen vor, für den Transport der mit Steinen beladenen Schlitten Schienen aus Holz sowie eine Seilumlenkrolle anzunehmen, um die Zugrichtung umzukehren.[260] So würde das nach unten gerichtete Gewicht der Arbeiter zusätzlich genutzt. Insgesamt sei so mit einer wesentlich geringeren Gesamtzuglast auszukommen.
- Ebenfalls eine Idee der Kraftumlenkung zum Heben von Steinen beschreibt Abitz mit seinem Vorschlag für einen Schrägaufzug; darauf wird im Kapitel 7 näher eingegangen.[261]

[252] Lehner, Geheimnis, S.208ff.
[253] Lattermann, Pyramidenbau, S.20ff.
[254] Borchardt, Pyramide, S.25–31.
[255] Mendelsohn, Rätsel, S.178.
[256] Arnold, Building, S.64.
[257] Seiner Berechnung nach müssten bei einer Rampenneigung von 20º, einer Gleitreibungszahl μ von 0,25 und dem Gewicht eines Steinblocks von 2,3 t mindestens 22 Arbeiter als Zugkräfte tätig sein. Der Bau der Cheopspyramide mit 6 Mio. t Steingewicht (einschließlich der Rampe) hätte demnach den Einssatz vieler Menschen erfordert.
[258] Lattermann, Pyramidenbau, S.24.
[259] Fernau, Statuentransport.
[260] Illig, Cheopspyramide, S.72.
[261] Abitz, Pyramidenbau.

- Munt verwendet für seinen Vorschlag eines Hebezug-Paternosters Umlenkwalzen auf den einzelnen Stufen und der jeweils obersten Bauplattform der Pyramide.[262] Auch dazu wird im Kapitel 7 Stellung bezogen.
- Der immer wieder – so auch von Choisy und Legrain und später von Lauer[263] – zitierte und als Transportmittel genannte Schaukelaufzug (Wippe)[264] wird für den Pyramidenbau und den Transport größerer Steine nicht in Betracht gezogen. Diese Schlittenart taucht das erste Mal als Grabbeigabe im NR (18. Dynastie) auf und ist im AR archäologisch nicht belegt.[265] Eine Photographie im Metropolitan Museum of Art in New York zeigt einen Fund von 36 Wippen aus den Grabbeigaben der Hatschepsut.[266] Croon hat sich ausgiebig mit dieser Art von Hebeeinrichtung befasst und schließt aufgrund detaillierter Berechnungen den Kippschlitten insbesondere wegen seiner geringen Transportkapazität aus.[267]
- Zu dem Vorschlag von Parry, mittels vier dieser (wesentlich vergrößerten) Wippen eine Art Rad zu bilden und damit Steine zu transportieren, wird in Kapitel 7 eine Aussage getroffen.

Es ist also mit Sicherheit davon auszugehen, dass der Transport schwerer Lasten im AR auch auf Schlitten bzw. Holzunterlagen durch Rinder bzw. durch Menschen als Zugkräfte erfolgte, wie aus der Abbildung des Reliefs aus dem Grab des Hetepherachti hervorgeht. Rindergespanne wurden zum Transport von Steinen auf Zubringerrampen geringer Neigung vom Hafen bzw. Steinbruch zur Baustelle an der Pyramide[268] und menschliche Arbeitskraft an der Pyramide selbst eingesetzt.

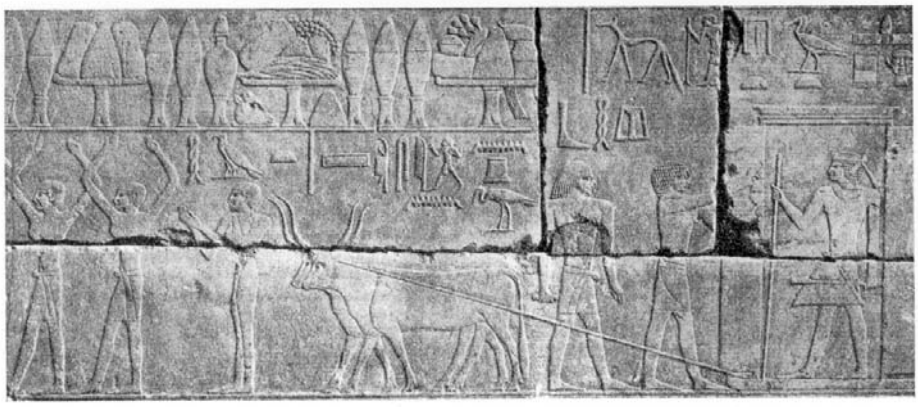


Abb. 4.3.3.4 Statuentransport mit Ochsengespann; Grab des Hetepherachti, 5. Dynastie[269]

Das Drehen und seitliche Verschieben von Lasten auf einer Ebene mittels Steinkugeln stellte ein gängiges Verfahren dar und fand auch beim Bau von Pyramiden Anwendung.

4.3.4 Transport von Leitern mittels Scheibenrädern

[262] Munt, Cheopspyramide.
[263] Lauer, Geheimnis, S.251.
[264] Goyon, Cheopspyramide, S.44–45.
[265] Arnold, Building, S.271.
[266] Arnold, Building, S.288–289.
[267] Croon, Lastentransport, S.48.
[268] Die Breite des Transportweges an der Roten Pyramide soll ca. 15–20 m und an der Mastaba el-Faraun ca. 12–15 m betragen und ist somit für entsprechende Transport ausreichend; Angaben nach Abitz, Pyramidenbau, S.63.
[269] Klebs, Reliefs I, S.40, Abb.26.

Das Wagenrad existierte im AR nicht. Aus der 5. Dynastie ist jedoch eine Darstellung bekannt, in der eine Leiter mit Scheibenrädern zum Erstürmen von Mauern abgebildet ist.[270] Für den Transport schwerer Lasten wurden fahrbare Einrichtungen mit Rädern offensichtlich nicht eingesetzt. Es gibt dafür zumindest keinerlei Hinweise bzw. archäologische Belege.

4.4. Vermessungstechnik

Im AR und MR kam der Messtechnik bei der Bauplanung und Bauausführung der Pyramiden eine besondere Bedeutung zu. Sowohl die exakte Ausrichtung der Achsen nach den vier Himmelsrichtungen als auch die der Grabkammern und Grabkorridore erforderte große vermessungstechnische Kenntnisse. Gleiches gilt für die waagerechte Nivellierung der Fundamente der Basis der Außenverkleidung. So beträgt die Höhenabweichung der Fundamentpflaster der Basiskante der Außenverkleidung bei der Cheopspyramide zwischen der Mitte der Nordseite und der Südwestecke nur 2,1 cm. Die Abweichung der Nord-Süd-Achse von der Nordrichtung beträgt 0°3´6“ (null Grad, drei Bogenminuten und sechs Bogensekunden). Verschiedene Messungen – insbesondere durch Borchardt – ergaben, dass die vier Seiten nur ganz geringfügig von dem Soll der Basiskante von 440 Ellen (230,34 m) abweichen:[271] Auf der Südseite beträgt die Differenz 1,2 cm und auf der Nordseite 3,2 cm. Noch verblüffender ist die Genauigkeit, mit der die vier rechten Winkel an den Ecken ausgeführt wurden: Die Abweichungen betragen an der Nordwestecke 0°00'1", an der Nordostecke 0°00'58", an der Südostecke 0°00'29" und an der Südwestecke 0°00'16". Die Konstruktion der Winkel und ihre Kontrolle musste wegen des Felskerns im Inneren der Cheopspyramide ohne Diagonalmessungen vorgenommen werden.

Der Rücksprung des Verkleidungsmauerwerks beträgt bei der Cheopspyramide 5½ Handbreit auf eine Elle Höhe.[272] Er wurde – wie auch nach Abbau der äußeren Verkleidungsschicht und der Außenverkleidung unschwer zu erkennen ist – sehr genau eingehalten. Dafür wurden Winkellehren aus Holz mit dem entsprechenden Rücksprung verwendet. Der sich aus dem genannten Rücksprung ergebende Böschungswinkel von knapp 52º führte zu einer Gesamthöhe von 280 Ellen (146,6 m). Durch Verwendung derartiger Winkellehren ist es auch möglich, Steinlagen mit unterschiedlichen Höhen zu verbauen und dennoch den vorgegebenen Rücksprung exakt einzuhalten.

Die Bestimmung einer Geraden – z.B. einer Achse – erfolgte durch ein Instrument, bei dem man mit dem Auge durch den senkrechten Schlitz der Palmrippe blickt und mit der Hand den Elfenbeinstab mit dem senkrecht angeordneten Lot hält.[273] Nun kann eine weitere Person in der entsprechenden Entfernung einen Stab auf Zuruf so stellen, dass eine gerade Sichtverbindung entsteht. Derartige Instrumente wurden im AR insbesondere bei dem Abstecken von Gebäudeachsen benutzt.[274]

Zur Bestimmung der exakten Nordrichtung gibt es eine Reihe von Vorschlägen. So führt Edwards, basierend auf einer Idee Borchardts, aus, dass die Bestimmung durch Vergleich der Punkte für Aufgang und Untergang eines Sternes in der Nordrichtung auf einer exakten Geraden erfolgt sei.[275] Der Berliner Ägyptologe Rolf Krauss, der sich intensiv mit astronomischen

[270] Quibell, Teti, inneres farbiges Deckblatt.
[271] Borchardt, Längen, S.7ff.
[272] Stadelmann, Pyramiden, S.108.
[273] Bassermann–Jordan, Zeitmessung, Tafel 16.
[274] Bassermann–Jordan, Zeitmessung, S.53ff.
[275] Edwards, Pyramiden, S.179.

Fragestellungen befasst hat, wies 1996 nach, dass die Methode, die Nordrichtung als Winkelhalbierende von Aufgangs- und Untergangsstelle eines Sterns zu bestimmen, mit den damit verbundenen Ungenauigkeiten unterschiedlicher Horizonthöhen im Niltal nicht mit der bei den Pyramiden in Gisa belegten Genauigkeit übereinstimme und daher nicht infrage kommt.[276] 1981 entwickelte Josef Dorner eine andere Methode zur exakten Bestimmung der Nordrichtung, die von der Beobachtung der Zirkumpolarsterne ausgeht.[277] Die damit erzielten Ergebnisse führten zu einer Genauigkeit von einer Bogenminute und sind um den Faktor 2 besser als jede erreichte Ausrichtung von Pyramiden im AR. Es hat also im AR ein anderes – bis heute unbekanntes – Verfahren für die Nordausrichtung gegeben.

Die jeweiligen Längen der Basis einer Pyramide und die Kantenlängen des Kernmauerwerks einschließlich der Diagonalen wurden mit Messstricken bzw. Messlatten abgesteckt. Die als Knotenstricke bezeichneten 100 Ellen langen Messstricke mit je einem Knoten pro Elle Länge müssen wegen der Abnutzung (Dehnung, Witterung) ständig auf ihre Genauigkeit kontrolliert und mit einer dem Urmeter vergleichbaren Länge der aktuellen Elle (Holz, Kupfer?) verglichen worden sein. Wie Dorner darlegt, kann eine Streckenmessung (z.B. der Basislänge einer Pyramide) auch mittels zweier gleich langer Messstäbe (4 oder 8 Ellen) erfolgt sein, die abwechselnd aneinander gelegt wurden.[278] Der zufällige Fehler, der jeweils beim Anlegen der Latte entstand, kann kaum größer als 3 mm gewesen sein. Damit ergibt sich für eine Strecke von 400 E der zu erwartende Fehler von ±3 cm bzw. 2 cm, je nachdem es sich um einen 4 oder 8 E langen Messstab gehandelt hat.

Im AR – spätestens ab der 4. Dynastie –[279] betrug das Maß für die Elle zwischen 52,3 und 52,5 m[280] und differierte von Pyramide zu Pyramide.[281]

Zur Kontrolle einer geglätteten Fläche bzw. bei deren Herstellung wurde ein Instrument, bestehend aus drei gleich langen Stäben von je 12,6 cm (mit einer Ungenauigkeit von nur ± 0,005 cm)[282], benutzt, von dem Petrie eines fand (Abb. 4.4.1).[283] Die beiden äußeren Stäbe waren durch eine Schnur mit einem Durchmesser von 2 mm, die gespannt wurde, miteinander verbunden. Der dritte, gleich große Stab diente dann zum Messen des Abstandes zwischen der geglätteten Steinoberfläche und der Schnur.[284] Wenn man diese Messmethode in verschiedenen Richtungen immer wieder über die gesamte Blockfläche anwandte, konnte eine völlig ebene Oberfläche erreicht werden.[285]

Stocks konnte nachweisen, dass die auf Zug beanspruchten Seile von 2 mm Durchmesser bei einer Länge von 1,2 und 2 m um 0,25 mm durchhängen.[286] Dies sind Abweichungen, die Petrie an den Verkleidungsblöcken gemessen hat. Stocks stellte im Jahr 2004 ähnliche Genauigkeiten an den Steinblöcken der ersten Lage der Cheopspyramide fest.[287]

---

[276] Quelle nach Haase, Vermächtnis, S.61ff: Krauss, Die Orientierung der Pyramiden, Vortrag am 15.11.1996 im Planetarium Mannheim.
[277] Dorner, Orientierung.
[278] Dorner, Genauigkeit, S.51
[279] Dorner, Genauigkeit, S.55.
[280] Arnold, Baukunst, S.74.
[281] Dorner, Genauigkeit, S.55.
[282] Stocks, Handwerker
[283] Petrie, Kahun, Tafel IX.
[284] Stocks, Handwerker, S.6.
[285] Stocks, Werkzeugkonstrukteure, S.79
[286] Stocks, Great Pyramid, S.575.
[287] Stocks, Handwerker, S.6.

Eine Darstellung der Bearbeitung einer Oberfläche eines Steinblockes mit einem ähnlichen Messstrick ist auch aus dem Grab des Rechmire bekannt (Abb.4.4.2).[288]

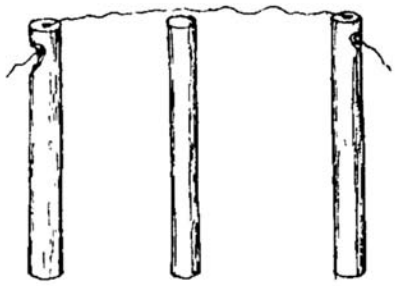


Abb. 4.4.1 Messinstrument für glatte Flächen

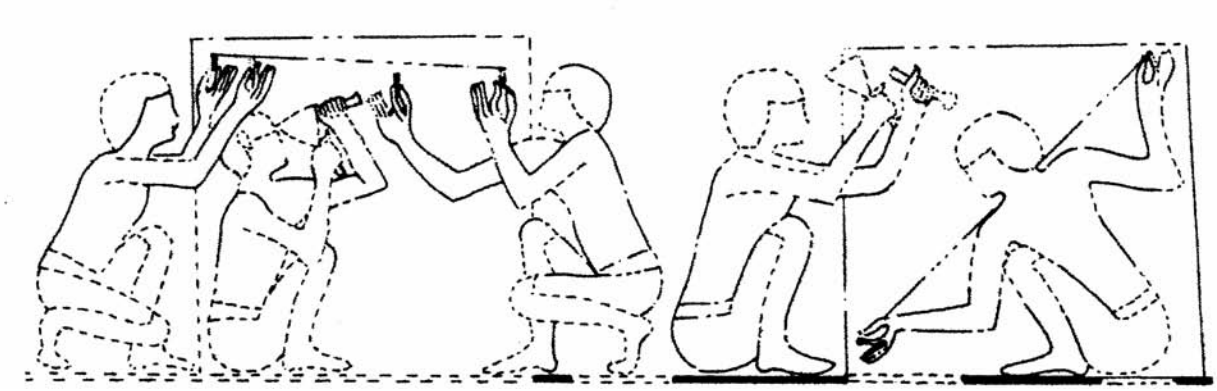


Abb. 4.4.2 Glätten von Steinflächen; Darstellung aus dem Grab des Rechmire

Die Geräte, die es den Steinmetzen ermöglichten, waagerechte und senkrechte Oberflächen herzustellen bzw. auszumessen, enthalten eine Lotschnur und sind allgemein unter den Namen Setzwaage sowie Richtlot bekannt.[289]

Aus Meidum stammende Gewichte für die Lotschnur hat Petrie veröffentlicht.[290] Sie werden in die 3. Dynastie datiert.

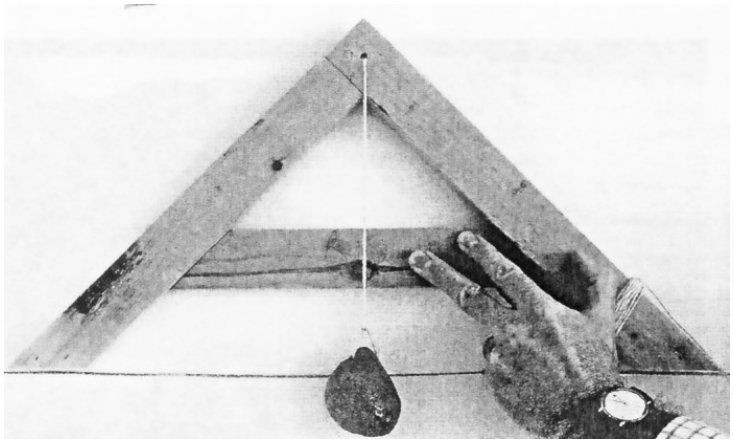


Abb. 4.4.3 Setzwaage, nachgebaut von Stocks

[288] Davies, Rechmire
[289] Stocks, Handwerker.
[290] Petrie, Tools, S.42 und Tafel XLVII, Nr. B 64 und 65.

Bei den unterschiedlichsten Bauwerken im AR sind immer wieder Nivellierlinien am Mauerwerk festzustellen. Diese waren erforderlich, um die gewünschten Böschungen der Wände etc. exakt bauen zu können. So weist Borchardt bei der Pyramide des Niuserre auf die Nivellierlinien auf dem Kernmauerwerk an der Ostseite (SO-Ecke) hin (Abb. 4.4.4).[291] Dabei beginnt die Zählung in Höhe des Pflasters (gestrichelte Linie bei 0). Jede Nivellierlinie ist mit einem nach unten gerichteten Dreieck und der daneben stehenden Höhenangabe bezeichnet. Der horizontale Strich der siebten Elle ist durch ein volles, auch in der Fläche rot gemaltes Dreieck gekennzeichnet. Weitere Beispiel sind u.a. bei Arnold zu finden.[292]

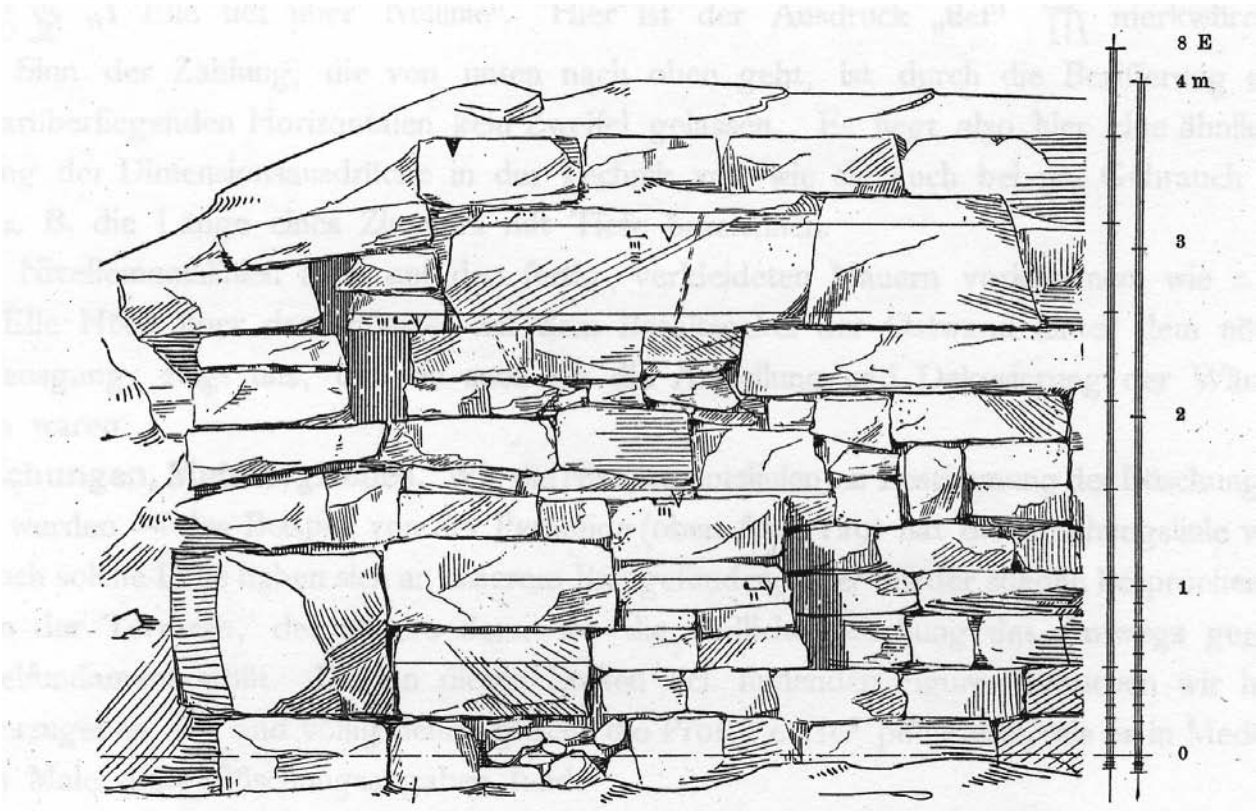


Abb. 4.4.4 Nivellierlinien auf dem Kernmauerwerk an der Ostseite der SO-Ecke der Pyramide des Niuserre

Eine andere Art, Nivellierangaben vorzugeben, haben Maragioglio und Rinaldi an der nördlichen Königinnenpyramide (G I a) der Cheopspyramide gefunden (Abb. 4.4.5).[293] Dabei ist unter der zerstörten Verkleidungsschicht auf der zweitobersten Steinreihe der ersten Stufe des Kernmauerwerks eine Mauer aus kleineren Steinen errichtet, auf die mit roter Farbe der Rücksprung und die Basishöhe der nächsten Stufe bzw. mit 8 Ellen die Höhe der Stufe 1 angezeichnet sind. Damit soll eine genaue Kontrolle ermöglicht werden. Eine ähnliche Mauer wurde an der Nordostecke der Pyramide G I b festgestellt.[294] Jánosi macht dagegen Bedenken geltend.[295] Bei Fertigstellung der ersten Stufe sei die kleine Mauer mit den Messmarken überbaut worden und daher für Prüf- und Korrekturzwecke nicht mehr nutzbar gewesen. Dagegen kann eingewendet werden, dass nach den Angaben dieser Messmauer durchaus die oberste Steinlage der untersten Stufe neben der Messmauer und unter Einbeziehung der dort

[291] Borchardt, Niuserre, S.154.
[292] Arnold, Building, S.16ff.
[293] Maragioglio, IV, Addenda, TAV.12, Fig.10–11; Jánosi, Königinnen, S.80, Abb.28.
[294] Maragioglio, IV, S.178.
[295] Jánosi, Königinnen, S.80–81.

vermerkten Maße hätte errichtet werden können. Für die Kontrolle der Höhe der Stufe (ob die Steine mit den richtigen Abmessungen geliefert wurden) und das Einhalten des Rücksprungs ist eine stabile Einrichtung – eben die kleine Mauer – erforderlich. Nach maßgerechter Versetzung der ersten Steinlage der zweiten Stufe konnte dann die Messmauer überbaut werden. Ein Hinweis auf eine Schalenbauweise – wie Jánosi meint – kann in dieser Bauweise der Messmauer nicht gesehen werden.

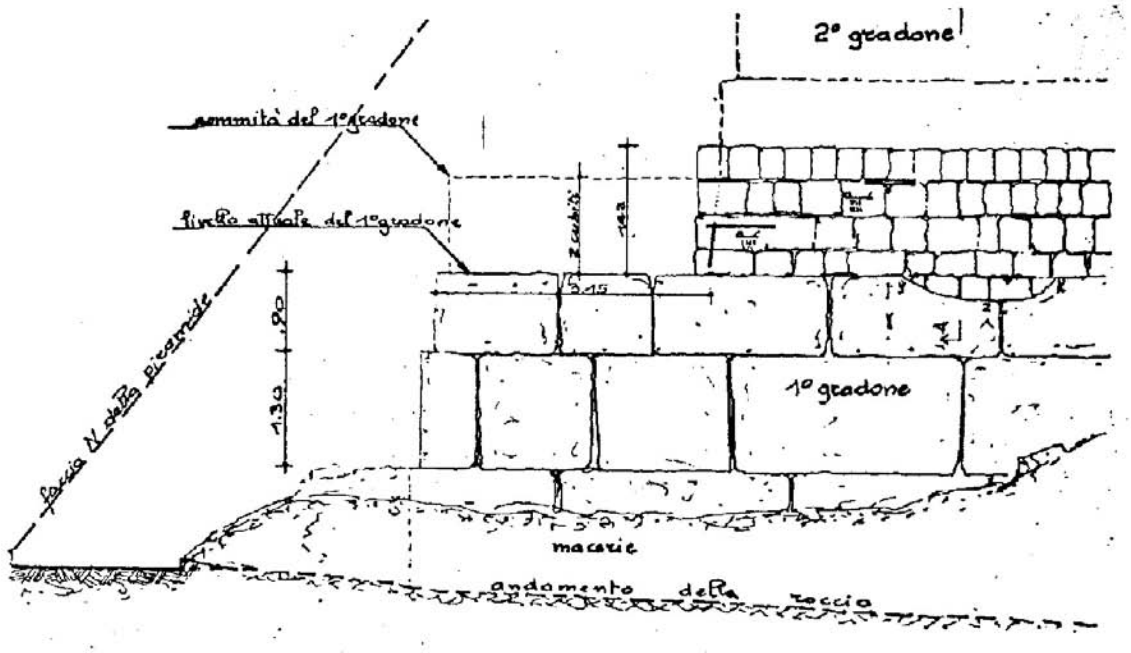


Abb. 4.4.5 Nivellierangaben an der nördlichen Königinnenpyramide (G I a) des Cheops

Die Kennungen an den einzelnen mit den gewünschten Abmessungen im Steinbruch bestellten Blöcken sowie die Nivellierungslinien lassen den Schluss zu, dass nach genau festgelegten Grundrissen und Höhenplänen gearbeitet wurde. Während der Bauausführung erfolgte eine ständige Kontrolle der Vorgehensweise anhand dieser Pläne.

Einen interessanten Beitrag zum Einmessen von Grabkammern, die in Ost-West-Richtung angeordnet sind[296], veröffentlichte Becker.[297] Mit Ausnahme der Roten Pyramide konnte aufgrund der schwierigen Geländeverhältnisse nirgendwo die Lage der Grabkammer durch Vermessung über Diagonalen oder Kanten der abgesteckten Pyramidenbasis bestimmt werden. In diesen Fällen führten exakt nach Norden ausgerichtete Korridore mit einem Neigungswinkel von 26º 33´54“ (mit Abweichungen unter +/- 30 Bogenminuten) und z.T. nach Osten versetzt über längere Strecken hinab. Dieser Winkel entspricht einem Neigungsverhältnis von 2:1 und ist damit messtechnisch leicht umzusetzen. Aus der Summierung der horizontalen Teilstrecken war die Entfernung von der Nordkante der Pyramide und somit die Ost-West-Achse genau zu bestimmen. Wie exakt der Neigungswinkel eingehalten wurde, zeigt die über 70 m lange Felspassage des absteigenden Gangs in der Cheopspyramide mit einer Abweichung von nur 1 cm! Ein weiteres Beispiel für die überaus exakte Nordausrichtung der Grabkammerzu-

[296] Es sind dies die Pyramiden von Cheops, Djedefre, Chephren, Nebka (?) und Mykerinos sowie die Mastaba der Chentkaus.
[297] Becker, Pyramidenkorridore.

gänge ist der nördliche Grabkorridor der Knickpyramide. Er weicht nur eine Bogenminute von der Nordrichtung ab.[298]

Die Abarbeitung der in Bossen stehenden Steine der Außenverkleidung aus Granit oder Kalkstein zu einer exakt glatten Fläche kann – neben der in Abb. 4.4.2 dargestellten Methode – auch mit einer einfachen Böschungslehre (mit Lot oder einfacher Wasserwaage) durchgeführt worden sein. Pitlik macht dafür einen Vorschlag.[299]

4.5 Mathematische Kenntnisse

Im Gegensatz zu Funden derselben Zeitepoche aus Mesopotamien sind aus Ägypten aus dem AR nur wenige mathematische Berechnungen bekannt. So ist in einer Grabinschrift (Grab des Metjen in Saqqara)[300] aus dem Übergang von der 3. zur 4. Dynastie die Berechnung der Fläche eines Rechtecks überliefert.[301] Erst aus dem MR sind in verschiedenen Papyri – insbesondere im pRind – umfangreiche mathematische und geometrische Aufgabenstellungen und deren Lösungen bekannt: Flächenberechnung eines Dreiecks, eines Trapezes und des Kreises. Auch Volumenberechnungen konnten durchgeführt werden. Im pMoskau ist neben anderen Aufgabenstellungen auch die exakte Berechnung des Volumens eines quadratischen Pyramidenstumpfs enthalten.[302]

Das ägyptische Zahlensystem mit der Basis 10 erleichterte zwar das Rechnen, aber das Fehlen des Positionssystems führte zu einer schwerfälligen Rechentechnik – insbesondere mit Brüchen.[303] Dennoch sind die mit der damaligen Rechentechnik gefundenen Lösungen bewundernswert. Pichot weist weiter darauf hin, dass – obwohl der Wissenschaft über die ägyptische Geometrie nur wenig Quellenmaterial zur Verfügung steht – diese im Vergleich zur mesopotamischen Geometrie besser abschneidet, als dies bei der Arithmetik der Fall ist. Die ägyptische Geometrie orientiert sich stets an der Praxis. Es wurden nicht irgendwelche abstrakten Figuren, sondern dreieckige oder quadratische Felder berechnet. Den Ägyptern ging es nicht um mathematische Beweise, sondern immer um Rechenvorschriften, um „Rechenrezepte“ mit mehr oder weniger guten Näherungswerten. Die Entwicklung der Geometrie war eng mit den Bedürfnissen der Praxis verknüpft und an den Erfordernissen der Feldvermessung, der Architektur und des Bauwesens sowie an der Messung von Rauminhalten (Getreide, Bier etc.) orientiert.[304]

Nachdem die Funde der Papyri mit Rechenaufgaben etc. aus dem MR „Zufallsfunde“ sind und sehr viel an Unterlagen in der ersten Zwischenzeit verloren ging, ist es durchaus möglich – wenn nicht sogar wahrscheinlich –, dass vorstehend genannte mathematischen und geometrischen Kenntnisse zumindest teilweise auch schon im AR bekannt waren.

[298] Dorner, Knickpyramide, S.54.
[299] Pitlik, Baustelle, S.8.
[300] LÄ IV, S.118–120.
[301] Pichot, Wissenschaft, S.173.
[302] Pichot, Wissenschaft, S.194 ff.
[303] Pichot, Wissenschaft, S.200.
[304] Wiedemann, Diodor, S.63.

5. Archäologische Befunde an Pyramiden

5.1 Die Entwicklung der Bauweise von Pyramiden

In diesem Kapitel werden aufgrund der einschlägigen archäologischen Befunde an den Pyramiden des AR Bauweise und Baustruktur der Königspyramiden, der Königinnenpyramiden sowie der Mastaba el-Faraun aufgezeigt. Eine Zusammenfassung sowie eine Darstellung des Wechsels vom Prinzip der Bauweise der Schichtpyramiden zu der Bauweise der Stufenpyramiden und ein Ausblick auf die grundsätzlichen Bauweisen der Pyramiden im MR schließen dieses Kapitel ab.

5.1.1 Schichtpyramiden

5.1.1.1 Die Pyramide des Djoser

Saqqara Nord
Höhe: 62,5 m[305]
Länge der Basis: 119 auf 121 m

Mit der Errichtung der Pyramide des Djoser endete die Epoche der Mastaba-Gräber für Könige der 1. und 2. Dynastie und es begann der Bau der Pyramiden als königliche Grabstätte. Zugleich wurde die Jahrhunderte alte Sitte aufgegeben, im oberägyptischen Abydos ebenfalls eine Grabstätte zu errichten.[306] Künftig beinhalten die Pyramidenkomplexe im südlichen Bereich wie bei Djoser und Sechemchet ein Südgrab bzw. ab Snofru Kultpyramiden.

Die Entwicklung des Pyramidenbaus wurde durch die Einführung der Steinbauweise durch Djosers Baumeister Imhotep möglich, der damit die bisherige Bauweise der Mastaba-Bauten mit ungebrannten Lehmziegeln verließ.[307] Die für den Bau benötigten Gesteine – auch die für die Außenverkleidung[308] – wurden mit Ausnahme derjenigen für die Grabkammern und sonstigen Verkleidungen im Pyramideninneren aus den in der nächsten Umgebung vorhandenen Gesteinsformationen abgebaut. Diese haben Schichtdicken zwischen 20 und 60 cm. Die im Vergleich zu Gisa relativ kleinen Abmessungen der verbauten Steine sind darauf zurückzuführen. Der Aussage verschiedener Ägyptologen, die bei der Steinmastaba der Pyramide des Djoser verwendeten kleineren Steinformate entsprächen einer „Weiterentwicklung“ der Lehmziegelformate früherer Mastaba-Bauten,[309] kann der geologische Befund entgegengehalten werden, wonach die Steinbrüche in unmittelbarer Umgebung der Pyramide des Djoser meist nur Steinlagen geringer Dicke enthielten.[310] Ähnliches gilt für das Argument, dass aufgrund der noch geringen bautechnischen Erfahrung mit der neuen Steinbauweise nur kleine Steine verwendet worden sind. Der Pyramidenbezirk des Djoser wurde in direkter Nähe und

[305] Alle Höhen- und Längenangaben beziehen sich auf die ursprünglichen Pyramidenabmessungen und fußen auf Stadelmann, Pyramiden, bzw. Lehner, Geheimnis.
[306] Die Frage nach der Bedeutung der Grabstätten in Abydos und der Grabstätten in Saqqara in der Zeit vor Djoser wird neuerdings wieder – zum Teil sehr kontrovers – diskutiert: Autuori, Mastaba tombs; Wilkinson, Funerary; Siehe auch LÄ III, „Königsgrab“, S.496 ff, Anmerkung 5.
[307] Steine wurden auch bei Ziegelbauten an Stellen, an denen es auf besondere Tragfähigkeit ankam (Bodenpflaster, Türeinfassungen, Fallsteinsysteme) bereits in der 1. und 2. Dynastie verwendet. Lauer, Geheimnis, S.239.
[308] Klemm und Klemm, Steine, S.72; im Gegensatz zu Stadelmann, Pyramiden, S.41 und S.52.
[309] Stadelmann, Pyramiden, S.40; Verner, Pyramiden, S.138; Dereser, Djoser.
[310] Klemm und Klemm, Steine S.72.

unter Berücksichtigung der Oberbauten der Königsgräber der 2. Dynastie mitten auf dem Felsrücken von Saqqara Nord errichtet.[311]

Die Pyramide des Djoser entstand in mehreren Bauabschnitten:[312] Zuerst wurde eine Mastaba mit einem quadratischen Querschnitt (M 1) mit der Basislänge 120 Ellen[313] in Steinbauweise errichtet. Diese wurde später zweimal erweitert (M 2 und M 3) und erhielt damit eine Stufenform und einen rechteckigen Grundriss (Abb.5.3.2). Dieses Bauwerk wurde aus waagerecht abwechselnd als Läufer und Binder verlegten Steinschichten mit nach innen geböschter Außenmauer errichtet.[314] An der Südostecke der Pyramide ist dies noch deutlich zu erkennen. Dort fehlt ein Stück der äußeren, später beim Bau der Pyramide angebrachten Schicht. Die geneigt ausgeführten Steinlagen der Schichten sind ebenfalls gut zu erkennen.

Zu einem späteren Zeitpunkt wurde die Mastaba M 3 in zwei wahrscheinlich sehr kurz aufeinander folgenden Bauphasen zu einer nicht quadratischen, sondern rechteckigen vier- bzw. sechsstufigen Pyramide (P 1 bzw. P 2) umgebaut. Über die Gründe für diese Erweiterung gibt es vielerlei Vermutungen und Thesen.[315] Für die Bautechnik war von entscheidender Bedeutung, dass der Bau der Pyramide in der Weise geschah, dass nach innen geneigte „Schichtmauern“ errichtet wurden, deren Höhe nach oben von außen nach innen hin zunimmt. Diese Bauweise bestimmt das Erscheinungsbild der Pyramide. Geneigte, an einen Kern angelehnte Schichtmauern weisen eine wesentlich höhere Stabilität als waagerecht verlegte Steinlagen aus nicht flächig bearbeiteten Steinen kleineren Formats auf, deren Stabilität gegen Rutschen und Verschieben nur durch die Reibung zwischen den Steinen bedingt ist. Andererseits besteht die Gefahr des Abrutschens ganzer Schichten bei mangelhafter Verbindung (Reibung bzw. Haftung) untereinander, wie es bei der Pyramide des Snofru in Meidum vermutlich als Folge des Steinraubes geschah. Durch Verstrebungen zwischen zwei Schichten kann dem entgegengewirkt werden. An der Ostseite der Pyramide des Djoser sind zwei derartige Verstrebungen aus Holz noch zu erkennen. Die schräge Anordnung der Schichten führt jedoch zu einem erhöhten Druck auf den zentralen Kern und zu einer Gewichtskomponente in Richtung der Schichtlage. Die beiden Pyramiden P 1 und P 2 wurden mit Steinen wesentlich größeren Formats gebaut. Ist dies ein Beispiel für den Zuwachs an bautechnischer Erfahrung oder für die Erschließung neuer Steinbrüche?

Die Pyramide wurde von Lauer eingehend erforscht und in ihrer Baustruktur dargestellt (siehe Abb. 5.3.2).[316] Leider gibt es keine Aussagen über eine Untersuchung der Oberkante des Kernbaus, ob dieser aus weiteren Schichten bestand. Wie Stadelmann ausführt, war die oberste Stufe der Pyramide aufgrund gefundener Verkleidungsblöcke gerundet und bildete mit der Kernschicht dann eine ebene Fläche.[317] Danach hat es offensichtlich keine Pyramidenspitze gegeben.

Die Neigung der einzelnen Schichten beträgt nach Stadelmann 72º,[318] nach Goneim 74º;[319] die Schichtdicke jeweils 5 Ellen.[320] Diese Bauweise prägt den Begriff „Schichtpyramide“. Die

[311] Stadelmann, Pyramide und Sonnenheiligtum.
[312] Verner, Pyramiden, S.138; Lauer, Pyramiden, Pl.10.
[313] Lauer, Geheimnis, S.69.
[314] Mendelsohn, Rätsel, S.121.
[315] Altenmüller, Bauphase; Verner, Pyramiden; Stadelmann, Pyramiden. Vielleicht hängt die zweite Erweiterung auch mit der Forderung nach einer Sichtverbindung über die Umfassungsmauer hinweg ins Fruchtland zusammen.
[316] Lauer, Pyramide à Degrés.
[317] Stadelmann, Pyramiden, S.54 und Zeichnung S.45.
[318] Stadelmann, Pyramiden, S.51.

genaue Zahl der Schichten ist nicht zu ermitteln; lediglich von außen sind auf den Stufen Schichten zu erkennen. Lauer gibt neben den Kernbauten für die vier- bzw. sechsstufige Pyramide 7 bzw. 11 Schichten ohne die äußerste Verkleidungsschicht an.[321] Goneim nennt insgesamt 12 Schichten und zählt dabei vermutlich die äußerste Verkleidungsschicht mit.[322]

Lauer vertritt die Auffassung, dass die Verkleidungsschichten der Baustufen P 1 und P 2 jeweils erst nach Fertigstellung der Schichten bzw. Stufen angelegt wurden.[323] Der „Rohbau" der Pyramide P 1 sei daher vorher vollständig errichtet worden. Die ägyptische Bauforschung sei dieser Auffassung bisher – so Stadelmann – einheitlich gefolgt.[324] Stadelmann stellt allerdings aufgrund seiner Ausgrabungen und Bauuntersuchungen an der Roten Pyramide in Dahschur[325] fest, dass

> *„…Kernbauschichten und die Verkleidung ineinander verzahnt sind, d.h. gleichzeitig gebaut und geglättet wurden…"*

Eine nachträgliche Anbringung der Verkleidung an der Pyramide des Djoser ist nach seiner Auffassung bei einer Breite der Schale von 3–5 Ellen (1,52–2,60 m) bis zu einer Höhe von 60 m auch technisch unmöglich.[326] Stadelmann äußert dazu weiterhin die Auffassung, dass

> *„…der 2. Abschnitt der Erweiterung der Stufenpyramide durch die Annahme einer erst nachträglichen Verkleidung unnötig kompliziert und verunklärt worden ist"…*[327]

Abb. 5.1.1.1 Fundament der äußeren östlichen Verkleidungsschicht der Pyramide des Djoser

---

[319] Goneim, Pyramide, S.65.
[320] Mendelsohn, Rätsel, S.120.
[321] Lauer, Pyramiden Pl. 10 und 11.
[322] Goneim, Pyramide, S.65.
[323] Lauer, Geheimnis, S.17.
[324] Stadelmann, Pyramiden, S.53.
[325] Stadelmann, MDAIK 39, S.234.
[326] Anmerkung: Auf die Fragen der Anbringung der Verkleidung der Pyramiden wird an anderer Stelle im Kapitel 8 „Eine neue Hypothese für den Bau der Pyramiden: Pyramiden mit Rampen und Seilwinden" noch ausführlich eingegangen.
[327] Stadelmann, Pyramiden, S.53.

Am Fuß der ersten, untersten Schicht sind an der Ostseite deutliche Fundamentreste einer geglätteten Verkleidung aus Kalkstein aus einem nicht mehr zu identifizierenden Steinbruch in unmittelbarer Nähe zu erkennen (Abb. 5.1.1.1).[328] Ob es sich dabei nur um eine äußere Verstärkung und Verkleidung lediglich der untersten Stufe oder um einen Teil einer Gesamtverkleidung handelt, muss offen bleiben. Wäre die gesamte Pyramide mit einer geglätteten Außenverkleidung versehen worden, wie es Lauer für die Schichten P 1 und P 2 vorschlägt, müssten davon auf allen Seiten an der untersten Schicht bzw. an den Fundamenten Reste davon vorhanden sein. Wie anlässlich einer Inaugenscheinnahme im Herbst 2007 festgestellt werden konnte, zeigen an der NW-Ecke und an der W-Seite durchgeführte Ausgrabungen jedoch keinerlei Reste einer Kalksteinverkleidung an der Basis der Pyramide.

Schuttablagerungen einer beim Bau senkrecht zu einer Pyramidenseite angeordneten und später wieder abgebrochenen Baurampe sind nicht belegt.

5.1.1.2 Die Pyramide des Sechemchet

Saqqara Nord
Höhe: ca. 70 m
Länge der Basis: ca. 230 E/120 m

Sechemchet begann als Nachfolger von Djoser mit dem Bau seiner Pyramide südwestlich des Pyramidenbezirkes seines Vorgängers. Die Reste dieser Pyramide, deren Bau nie vollendet wurde[329] und deren Stumpf in späteren Zeiten offensichtlich als Steinbruch diente, fand Goneim 1952.[330] Die Basislänge der quadratischen Grundfläche beträgt 230 Ellen bzw. 120 m.[331] Goneim gibt die geplante Höhe mit 70 m an. Die Pyramide wäre somit höher als die des Djoser geworden. Die Fundamentierung der Pyramide erfolgte direkt auf den Felsgrund. Das Mauerwerk besteht aus kleineren, in unmittelbarer Umgebung abgebauten Kalksteinen, deren Abmessungen jedoch größer als diejenigen der Steine der Pyramide des Djoser sind, und wurde wie früher bei der Lehmziegelbauweise der Mastabas lagenweise als Binder und Läufer errichtet.

Goneim gibt die Zahl der Schichten mit 14 und deren Dicke mit 2,60 und 3 m an, die mit einem Neigungswinkel zwischen 71 und 75º errichtet worden sind und sich um einen quadratischen Kern gruppieren (Abb. 5.3.3). Lauer schließt sich dieser Auffassung an und geht entsprechend seiner Beobachtungen bei der Pyramide des Djoser von zwei Schichten je Stufe aus.[332] Diese Annahme erscheint schlüssig.

Maragioglio und Rinaldi untersuchten Anfang der 60er Jahre des vergangenen Jahrhunderts auch den Stumpf der Pyramide des Sechemchet und fertigten exakte Unterlagen an.[333] Dabei fanden sie lediglich zwei Schichten vor und trafen keinerlei Aussagen zu dem eigentlichen Pyramidenkern.[334] Wie bei der Pyramide des Djoser muss auch hier die Frage nach der Bauweise des Kernes, an den sich die Schalen anlehnten – insbesondere nach Art und Weise der

[328] Dieser Kalkstein hat nach Klemm und Klemm, Stones, eine wesentlich höhere Beständigkeit gegen Verwitterung als das Material der Stufen der Pyramide des Djoser.
[329] Maragioglio, II, S.20.
[330] Goneim, Pyramide.
[331] Goneim, Pyramide, S.64.
[332] Lauer, Pyramiden Pl.26.
[333] Maragioglio, II und II, Addenda.
[334] Maragioglio, II, Addenda, Pl.4, Maragioglio, II, S.20.

Steinverlegung (waagerecht oder auch schräg) –, offen bleiben. Reste einer Verkleidung wurden nicht gefunden.

Die von Goneim beschriebenen Baurampen wurden von Maragioglio und Rinaldi eingehend einer kritischen Betrachtung unterzogen. Beide kamen zu dem Ergebnis, dass es sich dabei nicht um eigentliche Baurampen handelt.[335]

5.1.1.3 Die Pyramide des Chaba

Saujet el-Arjan
Höhe: ?
Länge der Basis: 150 E/79 m

Ein weiterer Nachfolger Djosers, wahrscheinlich Chaba, begann in Saujet el-Arjan, südwestlich von Gisa und 10 km nördlich von Saqqara gelegen, während seiner kurzen Regierungszeit mit dem Bau einer Schichtpyramide. Seit der ersten Untersuchung durch Perring im Jahr 1839 wurde die unvollendete[336] Pyramide mehrfach, im vergangenen Jahrhundert u.a. durch Reisner[337] sowie durch Maragioglio und Rinaldi,[338] ausführlich untersucht.

Reisner berichtet von einem quadratischen Kern von 11 m Kantenlänge und von 14 ihn umgebenden, nach innen mit einem Winkel von 68º geneigten Schichten mit Abmessungen von je 2,6 m (5 Ellen). Die Basislänge der Pyramide wird mit 83,8 m angegeben. Verwendet wurden wiederum Kalksteine kleinerer Abmessungen (0,8–1 m Länge, 0,4–0,6 m Breite und 0,15–0,2 m Höhe), die aus einem Steinbruch in unmittelbarer Nähe stammen.[339] Leider gibt es auch für diese Pyramide keine Angaben zu der Verlegungsart der Steinschichten im Kern der Pyramide.

Maragioglio und Rinaldi machen in ihren Untersuchungen folgende Angaben:[340] Die Bauweise mit insgesamt 14 Schichten entspricht weitgehend derjenigen der Pyramide des Sechemchet. Die Schichten sind außen relativ eben; die Steine wurden wohl vor dem Verlegen gut geglättet.[341] Von der äußersten, der 14. Schicht, wurden lediglich an der Ostseite Reste gefunden. Beide glauben daher, dass nur 13 Schichten vorhanden waren und dass die Basislänge somit 150 Ellen bzw. 78,45 m betrug. Sie weisen darüber hinaus nach, dass die Schichten zeitlich parallel und nicht nacheinander gebaut wurden.[342]

Lauer nennt ebenfalls wie Reisner 14 Schichten.[343] Ausgehend von der Bauweise der Pyramide des Djoser berechnet er daraus 5 Stufen mit einer Gesamthöhe der Pyramide von ca. 42–45 m. Aus dem archäologischem Befund der Pyramide des Chaba ergibt sich, dass die inneren Schichten mit zunehmender Höhe „zusammenwachsen“. Ob dies in Form der von Lauer angenommenen mehreren „Kerne“ oder durch direktes Zusammenwachsen der Schichten geschah, ist offen. Die Bauweise mit einem sehr kleinen Kern unterscheidet die Pyramide des Chaba jedoch von denen des Djoser und Sechemchet.

---

[335] Maragioglio, II, S.31ff. und Addenda, TAV.3.
[336] Maragioglio, II, S.47ff.
[337] Reisner, Chaba.
[338] Maragioglio, II, S.41ff.
[339] Klemm und Klemm, Stones.
[340] Maragioglio, II, S. 43ff. und Addenda, TAV.6.
[341] Lehner, Geheimnis, S.95; Maragioglio, II, Addenda, TAV.6.
[342] Maragioglio, II, S.48, Nr.5.
[343] Lauer, Pyramiden, Pl.27.

Schuttablagerungen einer beim Bau senkrecht zu einer Pyramidenseite angeordneten und später wieder abgebrochenen Baurampe sind nicht belegt. Auch für eine äußere Verkleidungsschicht gibt es keinerlei Hinweise bzw. archäologische Belege.

5.1.1.4 Die kleinen Schichtpyramiden des Alten Reiches

Im AR wurden entlang des Nils zwischen Athribis (Delta)[344] und Elephantine (Erster Katarakt) eine Reihe kleinerer Pyramiden ohne irgendwelche Kammersysteme bzw. erkennbare Hinweise auf funeräre oder andere funktionale Aspekte und ohne Nebenanlagen (mit Ausnahme der Pyramide in Seila) gebaut. Alle weisen jedoch gewisse Gemeinsamkeiten in ihrer Bauweise sowie in Dimensionen und Anordnungen auf. Dreyer und Kaiser haben 1979 dazu umfassende Untersuchungen angestellt.[345]

Die sieben kleinen Pyramiden sind alle nach dem Prinzip der Schichtpyramiden (Djoser, Sechemchet, Chaba) mit einem quadratischen Grundriss, einem Kern und zwei Schichten (je 4 Ellen Dicke) gebaut. Außenverkleidungen wurden mit Ausnahme bei der Pyramide in Saujet el-Meitin bei Minja nicht gefunden.[346] Die Basislänge der Pyramiden beträgt 35 bzw. ca. 45 (Seila und Saujet el-Meitin) Ellen. Die Ausrichtung erfolgte fast immer zum Nil hin. Aufgrund archäologischer Funde in Elephantine wird heute die Pyramide in Saujet el-Meitin Huni zugeschrieben; dies dürfte dann auch für die anderen Pyramiden (außer Seila, s.u.) gelten. Nähere Angaben und Grundrisspläne sind in verschiedenen Veröffentlichungen zu finden.[347]

5.1.1.5 Die Pyramiden des Snofru

Unter Snofru als erstem König der vierten Dynastie wurden drei große Pyramiden – z.T. zeitlich auch parallel – in Meidum und Dahschur gebaut.[348] Dabei handelt es sich um sehr unterschiedliche Bauwerke, die nach verschiedenen Bauverfahren errichtet wurden. Während der Regierungszeit des Snofru wurden – wie später noch ausgeführt werden wird – wesentliche Änderungen der Bauverfahren für Pyramiden vorgenommen. Durch den unterschiedlichen Grad ihrer Zerstörung durch Materialabbau bzw. Teileinsturz sowie durch innere Schäden lassen sich interessante Schlüsse auf die Entwicklung des Pyramidenbaus während der mehr als 30-jährigen Herrschaft des Snofru ziehen.

Außerdem wird nach dem derzeitigen Stand der Forschung der Bau der kleinen Pyramide in Seila Snofru zugeordnet[349], deren Bau zeitgleich mit den beiden ersten Bauphasen (E 1 und E 2) der Pyramide in Meidum anzusetzen ist.[350]

---

[344] Die Pyramide von Athribis (Delta) wird in diese Betrachtungen nicht mit einbezogen: Sie war aus Lehmziegeln errichtet und entspricht daher offensichtlich nicht den ansonsten übereinstimmenden Baumerkmalen der anderen bekannten kleinen Pyramiden des frühen AR. Von ihr sind keinerlei Reste mehr erhalten.

[345] Dreyer 1.

[346] Die unterste, außen geglättete Schicht, die Lauer nennt (Lauer, Geheimnis, S.225–227 und Lauer, Pyramiden, Pl. L), stellt Dreyer infrage. Auch Maragioglio und Rinaldi haben wohl Zweifel (Maragioglio, II, S.14–15 und Addenda, TAV.9).

[347] Stadelmann, Pyramiden, Tafel 21b; Bock, Stufenpyramiden; Maragioglio, II, Addenda, Tav.9; Verner, Pyramiden, S.198; Dreyer 2, Abb.1.

[348] Gundacker, Snofru, S.19.

[349] Bock, Stufenpyramiden, S.25: 1987 wurden zwei Stelen an der Ostseite der Pyramide – eine davon mit dem Namen des Königs Snofru – sowie eine Opfertafel und auf der Nordseite ein Altar und Reste einer (mutmaßlich königlichen) Sitzstatue aus Alabaster gefunden; Stadelmann, MDAIK 43, S.231.

[350] Gundacker, Snofru, S.13.

5.1.1.5.1 Meidum

Höhe: ca. 92 m
Länge der Basis: 275 E/144 m
Neigungswinkel: 51° 50' 34“

Die Pyramide in Meidum wurde als erstes der drei großen Pyramidenbauwerke noch als Schichtpyramide mit quadratischem Grundriss in insgesamt mehreren Bauabschnitten (zwei- bzw. dreistufige Mastaba oder Stufenpyramide,[351] Baustufen E 1 und E 2[352]) auf Felsgrund[353] gebaut. Sie erhielt erst später in einem weiteren Bauabschnitt eine Verkleidung (Schicht E 3) mit einem gleich bleibenden Neigungswinkel von 51°50´34“ (Böschungsverhältnis: 14 Handbreiten Höhengewinn zu 11 Handbreiten Länge; Seked 5½)[354] und einer Außenverkleidung aus Mokattam-Kalkstein.[355] Diese Verkleidungsschicht, in der die Steine waagerecht verlegt wurden, reichte nach Berichten aus griechischer Zeit noch bis zur Höhe des heutigen Pyramidenstumpfes.[356] Weiterer Steinraub und Einstürze führten dann zum heutigen Zustand der Ruine.[357]

In der zweiten Baustufe (E 1) bestand die Schichtpyramide aus einem Kernbau (überbaute Mastaba oder Kern aus grob behauenen Steinen)[358] und sechs Schichten mit je 10 Ellen Dicke – also einer Verdopplung der Schichtdicke gegenüber den anderen bisher beschriebenen Schichtpyramiden (Kapitel 5.1.1.1. bis 5.1.1.3). Die äußeren Steine der sichtbaren Außenseiten der einzelnen Schichten bestanden aus einem feinen, weißen Kalkstein aus einem (bezüglich seiner Lage bisher nicht identifizierten) Steinbruch in Gisa.[359] Die Länge der Basis betrug 210 Ellen.[360]

Wie schon bei der Pyramide des Djoser wurde vor Fertigstellung des Bauwerks eine Erweiterung beschlossen – wahrscheinlich als das Königsgrab durch eine genügend große „Baumasse“ ausreichend gesichert schien. Ob dieser Beschluss zur Erweiterung um eine weitere Baustufe (E 2) nach Fertigstellung – oder wie Stadelmann vermutet[361] – bereits während des

---

[351] Auf die Vermutung von Borchardt, ein allererster Bauabschnitt vor Bau der Schichtenpyramide E 1 könne eine zwei- oder dreistufige kleine Mastaba – ähnlich einer Stufen- oder Schichtenpyramide – sein, soll hingewiesen werden. Borchardt, Meidum, S.10 und 39; Obadalek, Meidum, verweist auf große, sichtbare Steinblöcke (1,5 x 2,0 m) an der Ostseite, die zu der Mastaba gehören könnten; Maragioglio III, S.12.

[352] Maragioglio, III, Addenda, Tav.2, Fig.2.

[353] Lehner, Geheimnis, S.98.

[354] Seked 5½ bedeutet einen Rücksprung von 5½ Handbreiten auf eine Elle (= 7 Handbreiten) Höhe.

[355] Aufgrund der erschöpften Lagerstätten des in Saqqara abgebauten hochwertigen Verkleidungsmaterials aus feinem Kalkstein wurde Kalkstein aus Mokattam erstmals beim Pyramidenbau eingesetzt (Klemm und Klemm, Steine, S.72).

[356] Maragioglio, III, und Addenda, TAV.2, Fig.6.

[357] Die Hypothese von Mendelsohn (Mendelsohn, Rätsel), wonach die heutige Pyramidenform von Meidum ihre Gestalt durch eine Baukatastrophe erhalten habe, wurde verschiedentlich widerlegt, so Lauer, J.-P., CdE 51, 1976, S.72–89; Edwards, I.E.S., JAE 60, 1974, S.251–52; Obadalek, J., ZÄS 107 (1982), S.63ff. und andere. Obadalek begründet seine Auffassung mit dem unbeschädigten Eingang auf der Nordseite, der durch alle drei Schichten (E 1, E 2 und E 3) unbeschädigt hindurchführt und der keinerlei Verschiebungen der Außenschichten, die sich bei der Mendelsohn'schen Hypothese hätten ergeben müssen, erkennen lässt. Darüber hinaus zeigt eine Untersuchung der Nordseite der Pyramide, dass einige der höher gelegenen Schichten der Verkleidung besser erhalten sind als die unteren, was offensichtlich auf die ungleiche Qualität des verwendeten Materials oder durch ungleichmäßiges Eindringen von Regenwasser in das Gemäuer zurückzuführen sei.

[358] Maragioglio, III, S.36ff..

[359] Klemm und Klemm, Steine S.72; Klemm und Klemm, Stones, Fig.43.

[360] Maragioglio, III, Addenda, TAV.2, Fig.3.

[361] Stadelmann, Pyramiden, S.84–85.

Baus der Pyramide E 1 getroffen wurde, sei dahin gestellt. Auch die Schichtpyramide E 2 bestand in ihrem Äußeren aus feinem Kalkstein aus Gisa, der geglättet wurde.[362]

Der Bau der Pyramide in Meidum (Baustufen E 1 und E 2) fügt sich also völlig in die bisherige Bauweise der Schichtpyramiden – allerdings mit größerer Schichtdicke und einer Verkleidung mit außen geglättetem Kalkstein – ein. Eine Darstellung der verschiedenen Schichten ist aus Abb. 5.3.4 ersichtlich.

Die Frage, wann mit der Verkleidung der Schichtpyramide E 2 und damit dem Umbau zur äußeren Form einer „klassischen" Pyramide mit einem Neigungswinkel von 51º50´34"[363] begonnen wurde, wird kontrovers diskutiert:

- Wie Gundacker ausführt[364], sei aufgrund von in Meidum auf ungeglätteten Blöcken aus dem Kernmauerwerk (Nordwest-Ecke) gefundenen Graffiti davon auszugehen, dass zeitgleich mit dem Beginn der Bauarbeiten an der Knickpyramide in Dahschur Süd mit der Erweiterung der Pyramide in Meidum um die äußere Verkleidungsschicht (E 3) und damit mit dem Umbau zu einer Pyramide mit einer Verkleidung mit konstanter Neigung begonnen wurde. Er bezieht sich dabei auf Angaben von Petrie.[365]
- Stadelmann dagegen vertritt die Auffassung,[366] dass aufgrund der Inschriften auf den Rückseiten der Steine der Schicht E 3 der Umbau um die Jahre 15-17 der Zählungen begonnen wurde. Dies entspricht in etwa dem Baubeginn der Roten Pyramide.[367] Diese Auffassung Stadelmanns dürfte zutreffen, da Petrie von Verkleidungssteinen mit späteren Jahresangaben berichtet als Gundacker annimmt.

Architektonische Neuerungen gegenüber den Schichtpyramiden der 3. Dynastie sind einmal der hoch in der Nordseite angelegte Eingang und zum anderen die Anordnung der Grabkammer zum Teil im Untergrund und zum Teil im Baukörper der Pyramide. Möglich wurde diese Bauweise durch die Erfindung der Abdeckung von Gewölben durch horizontal angeordnete Kragsteine (Kraggewölbe): Die Wandblöcke eines Raumes (oder einer Galerie) wurden nach innen hin vorstehend übereinander errichtet, bis sie sich in der Mitte trafen und so ein Gewölbe bildeten.

Neben der Pyramide befand sich die älteste bekannte Kultpyramide, die ebenfalls als Schichtpyramide errichtet wurde und zeitlich den Bauabschnitten E 1 bzw. E 2 zugeordnet wird.[368]

5.1.1.5.2 Knickpyramide

Dahschur Süd
Höhe: 105 m (unterer Teil 49 m, oberer Teil 56 m)[369]
Länge der Basis: 360 E/189,43 m
Neigungswinkel: 55º bzw. 43º

[362] Foto von M. Haase in Sokar 11, 2/2005, S.12.
[363] Maragioglio, III, Addenda, TAV.2 Fig. 2.
[364] Gundacker, Snofru, S.13.
[365] Petrie, Meidum, S.9.
[366] Stadelmann, Pyramiden, S.86.
[367] Stadelmann, Pyramiden, S.95.
[368] Jánosi, Kultpyramiden. S.7; Maragioglio III, S.26 und 46 sowie Obs.25 und Addenda, TAV.7.
[369] Abmessungen nach Maragioglio III, Addenda, TAV.8, Fig.3.

Bereits vor Fertigstellung der Baustufe E 2 der Pyramide in Meidum wurde mit der Planung der zweiten großen Pyramide des Snofru, der Knickpyramide in Dahschur Süd, begonnen.[370] Snofru verlegte nach dem 15. Regierungsjahr seine königliche Residenz nach Memphis. Der Bau einer neuen Pyramide in Dahschur dürfte damit in unmittelbarem Zusammenhang stehen.[371] Über die Gründe für diese Entscheidungen sind viele Vermutungen angestellt worden.
Die Knickpyramide ist eine der äußerlich am besten erhaltenen Pyramiden Ägyptens. An den Ecken, in den unteren Bereichen der Seitenflächen und im oberen Bereich wurde sie durch Steinraub beschädigt.[372] Die restlichen Flächen sind im ursprünglichen Zustand erhalten. Aufgrund ihrer äußeren Form mit zwei unterschiedlichen Neigungswinkeln[373] und zwei von einander unabhängigen Grabkammern fand sie ein besonderes Interesse bei Ägyptologen und Archäologen.

Das Material des Kernmauerwerks bzw. des Verkleidungsmauerwerks besteht aus Kalkstein und stammt aus einem in der Nähe gelegenen Steinbruch. Der feine Kalkstein der Außenverkleidung wurde in Tura-Maasara gebrochen.[374]

Untersuchungen und Vermessungen durch Dorner ergaben neuere, exakte Maße gegenüber den Angaben von Perring (1837) und Petrie (1887):[375] Die geringfügigen Unterschiede in den Kantenlängen und Böschungen sollen auf starke Bauwerksetzungen schon während der Bauzeit zurückzuführen sein. Gleiches gilt für die Verformungen (Ausbuchtungen) verschiedener Bereiche der Außenverkleidung,[376] an denen deutlich Reparaturstellen erkennbar sind. Der Grund für die Bauschäden liegt wohl in dem zu weichen Untergrund und in einer Fundamentgründung nur an den Pyramidenecken. Unter einer dünnen Schicht aus gefestigtem Kiesel und Sand befindet sich eine starke, von West nach Ost verlaufende Ablagerung von Tonschiefer.[377] Auch eine mögliche Instabilität durch die tiefe Ausschachtung der unteren Grabkammer bzw. durch eingestürzte Hohlräume im Gestein unterhalb der Pyramide wird als möglicher Grund angeführt.[378] Senkungen des Baugrundes bei der etwa 800 Jahre später östlich der Knickpyramide errichteten Ziegelpyramide des Amenemhet III. haben zu ähnlichen Problemen und zu einer Aufgabe des Grabbaus geführt.

Über die innere Baustruktur der Knickpyramide ist nichts bekannt; zur Bauweise und Verlegungsart der Steine kann daher keine Aussage getroffen werden. Maragioglio und Rinaldi haben aufgrund ihrer Untersuchungen der Verschiebungen der Achsen des nördlichen und des östlichen Zugangskorridors zu den Grabkammern vermutet, dass eine ältere, unvollendet gebliebene Pyramide durch einen äußeren Steinmantel verstärkt wurde.[379] Dieser soll sich nach Fertigstellung – wohl aufgrund unzureichender Fundamente[380] – gesenkt haben.[381] Die Bruchstellen der Verkleidungen der beiden Grabkorridore weisen unterschiedliche Neigungswinkel

[370] Gundacker, Snofru, S.13.
[371] Stadelmann, Pyramiden, S.87.
[372] Foto bei Lehner, Geheimnis, S.103.
[373] Stadelmann, Pyramiden, S.90–91; Maragioglio, III, Addenda, TAV.9, Fig.1.
[374] Klemm und Klemm, Stones, Fig.56–58.
[375] Dorner, Knickpyramide.
[376] Dorner, Form der Knickpyramide.
[377] Stadelmann, Pyramiden, S.89.
[378] Haase, Knickpyramide.
[379] Maragioglio, III, S.98ff. und Addenda, TAV.11, Fig.5.
[380] Dorner berichtet, dass nur die Ecken der äußeren Verkleidungsschicht auf Fundamenten ruhen, während die Seitenkanten auf flach verlegten Steinsockeln aufliegen (Dorner, Knickpyramide, S.45–46).
[381] Haase, Knickpyramide 1: Im nördlichen Grabkorridor, befindet sich ca.12,6 m vom Eingang entfernt die um etwa 30 cm abgesunkene Schnittstelle zwischen dem ursprünglichen Pyramidenbau und dem nachträglich gebauten Steinmantel.

zur Horizontalen auf.[382] Dorner hat die Vermutung von Maragioglio und Rinaldi durch weitere Berechnungen vertieft[383] und geht von einer inneren Pyramide mit Basislänge von 300 Ellen und einer Außenfläche mit gleich bleibender Neigung von 57,3° aus.[384] Er verweist in diesem Zusammenhang auf die völlig „ungeraden" Baumaße der „äußeren" Pyramide und auf Abmessungen des inneren Bauwerkes mit Maßen und Neigungswinkeln, die in ihren „runden" Abmessungen typisch erscheinen.

Die Aussage von Dorner, wonach die innere Pyramide eine geglättete Außenfläche mit gleichmäßiger Neigung besessen hat, ist eine mögliche, jedoch nicht zwingend die einzige Erklärung: Die Verbindungslinien der beiden Bruchstellen der Verkleidungssteine der Grabkorridore lassen allein keine Rückschlüsse auf das dahinter liegende Mauerwerk und dessen Bauform (geglättete Oberfläche oder Schichten unterschiedlicher Höhe) zu. Die unterschiedlichen Winkel der Bruchstellen der Verkleidungssteine[385] in den Zugängen zu den Grabkammern an zwei verschiedenen Seiten der Pyramide zeigen nur, dass es zu einer Setzung des äußeren Steinmantels kam.

Nachdem noch während der Bauphasen der Pyramide in Meidum mit dem Bau der Knickpyramide begonnen wurde und zu diesem Zeitpunkt beim Bau der Pyramide in Meidum offensichtlich keine Schwierigkeiten auftraten, kann davon ausgegangen werden, dass auch der Bau der Knickpyramide nach dem Prinzip der Schichtpyramiden begonnen wurde.

Nachdem erste Risse und Setzungen auftraten, sollte offensichtlich mit einem von außen angebrachten und nach innen mit einem geringen Neigungswinkel vorgebauten Mantel aus grob behauenen Steinen (Abb. 5.1.1.5.2.1) ganz unterschiedlicher Formate (Abb. 5.1.1.5.2.2) und mit viel Kalksteingeröll und gelblichen Mergelton[386] (Tafla) dazwischen sehr schnell eine Verstärkung und Sicherung des Bauwerkes erreicht werden.

Die mit einer Innenneigung zwischen 7–12° verlegten Steinlagen[387] dieses Steinmantels haben dann zu einer zusätzlichen Gewichtsbelastung geführt (siehe Kapitel 5.3), die die Schwierigkeiten mit einem ohnehin instabilen Untergrund und einer eventuell zu geringen Fundamentierung verstärkt haben. Die von Dorner vermessenen Ausbuchtungen in der Verkleidungsschicht und ein „Fließen" der inneren Schichten nach außen könnten davon die Folge gewesen sein. An den noch vorhandenen Stellen der Außenverkleidung sind verschiedene Reparaturen sichtbar. Diese müssen bereits beim abschließenden Glätten von oben nach unten aufgrund der während des Baus im Verkleidungsmauerwerk aufgetretenen Bauschäden vorgenommen worden sein. Es muss darüber hinaus bereits beim inneren Bau der Pyramide Probleme gegeben haben, da frühzeitig die Entscheidung für die obere Grabkammer und einen weiteren, höher gelegenen Zugang vom Westen her getroffen wurde. Bald auch dort auftretende Risse wurden mit Gipsmörtel nachgebessert und der Innenausbau der oberen Grabkammer nicht zu Ende geführt. Aufgrund dieser Schwierigkeiten wurde die Knickpyramide zu einem nicht genau bestimmbaren Zeitpunkt verschlossen. Dabei erfolgte die Ausmauerung der oberen Kammer und des Korridors mit massiven Steinquadern. Gleiches geschah mit der unteren Kammer.[388]

[382] Maragioglio, III, Addenda, Tav.10, Fig.1.
[383] Dorner, Knickpyramide, S.55ff.
[384] Dorner, Knickpyramide, S.56–57.
[385] Maragioglio, III, Addenda, Tav.8, Fig.3.
[386] Arnold, Baukunst, S.167.
[387] Haase, Pyramidenzeitalter.
[388] Fakhry, Snofru, Bd.1, Tafel XX B und Bd.1, S.52ff. sowie Tafeln XI–XIV.

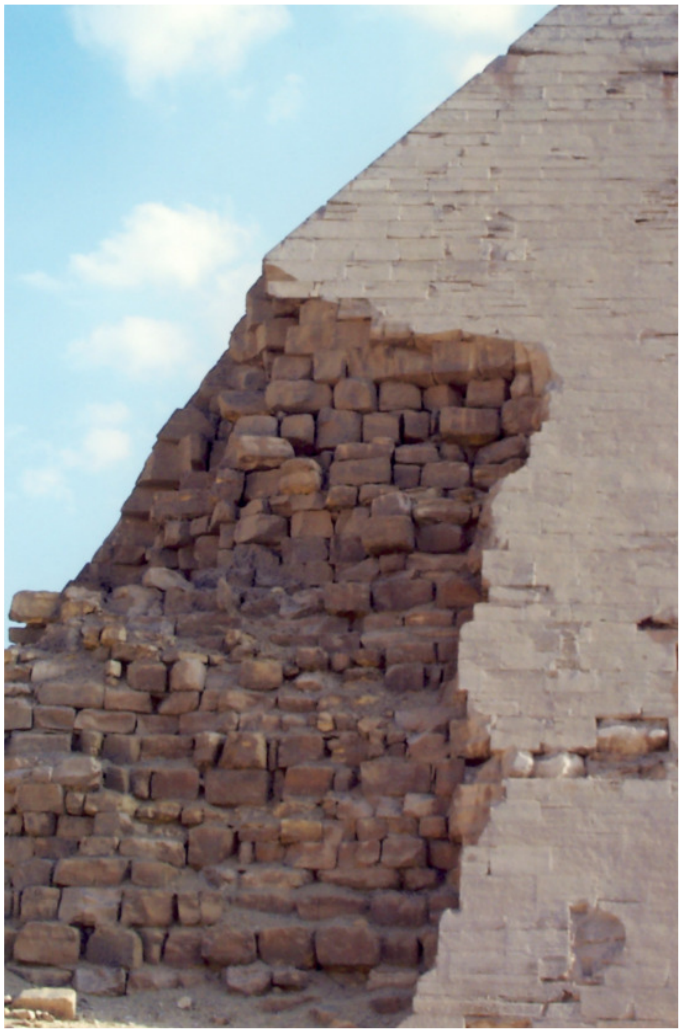


Abb. 5.1.1.5.2.1 NO-Ecke der Knickpyramide

Abb. 5.1.1.5.2.2 Nordseite der Knickpyramide

Die Eckfundamente haben entsprechend des unterschiedlichen Geländeniveaus verschieden tiefe Gründungen. Der äußere Mantel weist an den Ecken unter der z.T. demontierten äußeren Verkleidungsschicht eine Bauweise auf, die darauf schließen lässt, dass er gemeinsam mit der dahinter liegenden Steinschicht ausgeführt wurde. Die Kalksteine sind vor der Verlegung an der Ober- und Unterseite plan bearbeitet worden. Die Tiefe der Steine der Außenverkleidung und ihre Abmessungen sind unterschiedlich groß. Die Steine wurden daher wahrscheinlich nach außen als Bossen stehend ohne eine geglättete Außenseite verbaut.

Die Glättung erfolgte erst zu einem späteren Zeitpunkt. Der Weiterbau der Knickpyramide wurde ab einer Höhe von 47 m mit einem von 55º auf 43º verringerten Neigungswinkel und in einer anderen Bauweise vorgenommen: Es wurden kleinere Steine als beim unteren Außenmantel zuerst mit stufenweise abnehmender Neigung und dann mit horizontal verlegter Schichtung verbaut.[389] Diese Vorgehensweise erfolgte offensichtlich, um das Bauwerk zwar fertig zu stellen, auf der anderen Seite aber dafür weniger Baumaterial mit einem insgesamt verringerten Gewicht einzusetzen. Als Begräbnisstätte kam die Knickpyramide wegen der einsturzgefährdeten Grabkammern ohnehin nicht mehr in Betracht.

Schuttablagerungen einer beim Bau senkrecht zu einer Pyramidenseite angeordneten und später wieder abgebrochenen Baurampe sind nicht belegt.

Über den Zeitpunkt der Vollendung der Knickpyramide gibt es nur Vermutungen. In diesem Zusammenhang muss auf die Größe und Bauart der südlichen Nebenpyramide näher eingegangen werden. Diese für eine Kultpyramide mit einer Basislänge von 100 Ellen[390] sehr groß angelegte Pyramide hat mit 44º30´ fast denselben Neigungswinkel wie der obere, später errichtete Teil der Knickpyramide.[391] Auch die anschließend gebaute Rote Pyramide besitzt mit einen Winkel der Verkleidung von 45º eine ähnliche Neigung. Zum Bau der Kultpyramide wurden ebenfalls Steine kleineren Formats verwendet, die in waagerechten Schichten verlegt wurden.[392] Die Kultpyramide weist also Merkmale des oberen Teils der Knickpyramide auf und dürfte demnach erst nach Beendigung der Arbeiten an deren unterem Teil gebaut worden sein. Aber wozu – so fragt Gundacker zu Recht – sollte noch eine Kultpyramide und dazu noch mit diesen Abmessungen nach Einstellung der Arbeiten an der Knickpyramide errichtet worden sein?[393] Er vermutet daher, dass mit dem Bau der Nebenpyramide einschließlich absteigendem und aufsteigendem Gang im Inneren mit der Möglichkeit, vier Verschlusssteine unterzubringen, sowie anschließender Korridorerweiterung zu einer Galerie und Grabkammer eine neue Baumethode bzw. Anordnung erprobt werden sollte, um die dabei gewonnen bautechnischen Ergebnisse bei der etwa im 25. (?) Regierungsjahr (13. Zählung) des Snofru begonnenen Planung der Roten Pyramide zumindest teilweise einzusetzen zu können. Die Ähnlichkeit der Anordnung der Grabkammer in der Kultpyramide mit der der Roten Pyramide und auch mit derjenigen der Cheopspyramide ist in jedem Fall bemerkenswert. Vielleicht wurde die Nebenpyramide auch errichtet, um im Falle eines plötzlichen Todes des schon betagten Herrschers einen fertigen Grabbau „in Reserve“ zu haben. Die Nebenpyramide trägt als einzige ihrer Art im AR einen Namen, der sich von dem der Hauptpyramide unterscheidet.[394]

[389] Stadelmann, Pyramiden, S.94; Bilder Arthus–Bertrand, S.71 sowie Bertinetti, S.112–113.
[390] Im Vergleich dazu: Die Pyramide des Unas als kleinste Königspyramide des AR hat eine Basislänge von 110 Ellen.
[391] Jánosi, Kultpyramiden.
[392] Maragioglio, III, Addenda, TAV.15, Fig.6.
[393] Gundacker, Snofru, S.16.
[394] Ebenda.

5.1.2 Stufenpyramiden

5.1.2.1 Die Rote Pyramide

Dahschur Nord
Höhe: 110 m[395]
Länge der Basis: 420 E/220 m
Neigungswinkel: 45º

Die Grundsteinlegung der Roten Pyramide in Dahschur Nord erfolgte im 15. Mal der Zählung.[396] Sie weist in ihrer äußeren Bauweise unter der geglätteten Kalksteinverkleidung, deren untere Lagen an der Ostseite bei Ausgrabungsarbeiten gefunden wurden,[397] wie die Nebenpyramide der Knickpyramide eine waagerechte Steinverlegung in Schichten auf.[398] Die Steine des Verkleidungsmauerwerkes, der äußeren Verkleidungsschicht und der Außenverkleidung sind an den Lagerflächen und Stoßfugen sauber bearbeitet. Die Zwischenräume zwischen den verlegten Steinen wurden mit Mörtelschichten aus Lehm und Kalksteinsplittern ausgegossen.[399] Über das Kernmauerwerk und dessen Bauweise (Schichten bzw. Stufen) kann mittels fehlender archäologischer Befunde keine Aussage getroffen werden.[400] Die Höhe der einzelnen Steinlagen des Verkleidungsmauerwerkes nimmt – wie schon bei der oberen Hälfte der Knickpyramide und später bei den Pyramiden in Gisa – nach oben hin ab. Es sind aber auch immer wieder Lagen mit größerer Höhe dazwischen angeordnet.[401] Das Verkleidungsmauerwerk der Seiten ist zum Mittelpunkt der Pyramide hin etwas zurückgesetzt. Die Schichten der Pyramidenseiten sind konkav ausgeführt.

Der Neigungswinkel der Seitenflächen der Pyramide beträgt 45º. Es wurde somit ein Rücksprungverhältnis von 1:1 verwendet. Dieser im Vergleich zu bisher gebauten Pyramiden und auch zu den nachfolgenden Pyramiden in Gisa verkleinerte Neigungswinkel dürfte mit der Absicht gewählt worden sein, die Gewichtsbelastung auf den Baugrund möglichst zu verringern. Die Basislänge der Pyramide beträgt nach Reisner 422 E/221,5 m, die derzeitige Höhe 104 m. Stadelmann gibt aufgrund seiner Ausgrabungen die Basislänge der Verkleidung mit 420 E/220 m an.[402] Maragioglio und Rinaldi haben die Pyramide ebenfalls untersucht.[403]

Zum Bau der Außenverkleidung, der geglätteten Kalksteinverkleidung, deren Material aus Tura-Maasara stammt,[404] stellt Stadelmann fest, dass diese aufgrund der Befunde an den untersten Verkleidungsschichten

„...in einem Zug mit dem Kernmauerwerk[405] verbaut und verlegt worden ist“.[406]

---

[395] Die Höhe berechnet sich aufgrund der Basislänge und des Neigungswinkels.
[396] Gundacker, Snofru, S.16.
[397] Stadelmann, Pyramiden, S.100.
[398] Siehe z.B. Haase, Cheops, S.15, Abb.14c.
[399] Stadelmann, MDAIK 39, S.234; nach Arnold, Baukunst, S.167, wurde in pharaonischer Zeit ausschließlich Mörtel benutzt, der entweder aus Ton mit Kalksteinsplittern und Sand oder aus Ton und Gips sowie Sand bestand.
[400] Maragioglio, III, S.126.
[401] Die Steinblöcke an den Ecken sind bis etwa ⅔ der Höhe der Pyramide 100–130 cm hoch und unterscheiden sich damit von den Abmessungen der übrigen Steine des Verkleidungsmauerwerks (Stadelmann, MDAIK 38, S.382).
[402] Stadelmann, Pyramiden, S.100.
[403] Maragioglio, III, Addenda, Tav.17, Fig.2.
[404] Klemm und Klemm, Stones.
[405] Gemeint sind die horizontal verlegten Steinschichten des Verkleidungsmauerwerkes.
[406] Stadelmann, MDAIK 39, S.234.

Die zwei Vorkammern und die Grabkammer befinden sich über dem gewachsenen Boden ausschließlich im Kernbau; ein Korridor führt auf der Nordseite aus der Höhe von 30 m hinab[407]. Offensichtlich wollte man Instabilitäten und Setzungen durch Ausschachtungsarbeiten vermeiden. Dennoch kam es auch bei der Roten Pyramide zu teilweise größeren Setzungen im Grabkorridor und in den Grabkammern.[408]

Aufgrund des erstmals beim Pyramidenbau im AR sichtbar gewordenen Verkleidungsmauerwerks, welches mit seinen waagerecht verlegten Steinschichten für die zeitlich folgenden Pyramiden der 4. Dynastie typisch ist, erfolgt die Zuordnung der Roten Pyramide zu der Bauweise der Stufenpyramiden. Dieser Wechsel der Bauweise von den Schicht- zu den Stufenpyramiden bei der Roten Pyramide hat mit Sicherheit seinen Grund in den baulichen Schwierigkeiten, welche die Baumeister beim Bau der Knickpyramide erfuhren.

Beachtenswert ist das mit Blick auf das fortgeschrittene Alter des Snofru notwendige hohe Bautempo für die Rote Pyramide: Aufgrund gefundener Inschriften vertritt Stadelmann[409] die Auffassung, dass die Pyramide bereits nach 2–3 Jahren eine Höhe von 10–12 m erreicht hat. Das entspricht etwa 25–27 % der gesamten Baumasse (vergleiche Abb. 6.1). Die Fertigstellung der Pyramide erfolgte ausweislich vorhandener Baugraffiti im 23. oder 24. Jahr der Zählung. Nachdem zwischen einzelnen Zählungen gegen Ende der Herrschaft des Snofru teilweise nur ein Jahr liegt,[410] betrug die Baudauer der Roten Pyramide zwischen „Jahr des 15. Mals“ (Grundsteinlegung) und zuletzt belegter Baumaßnahmen im Jahr des 24. Mals der Zählung[411] mindestens 9 Jahre. Die im Kapitel 8.3.1 durchgeführte Berechnung der Bauzeit ergibt für die fertige Pyramide einen Zeitraum von 16,9 Jahren.[412]

Mit der Auswertung der an der Pyramide in Meidum und an der Roten Pyramide auf Steinen gefundenen Baugraffiti beschäftigt sich Gundacker (siehe Kapitel 6).[413]

Schuttablagerungen einer beim Bau senkrecht zu einer Pyramidenseite angeordneten und später wieder abgebrochenen Baurampe sind nicht belegt.

5.1.2.2 Die Cheopspyramide

Gisa-Plateau
Höhe: 146,6 m
Länge der Basis: 440 E/230,34 m
Neigungswinkel: 51° 50' 40“

Der größten aller Pyramiden galten seit jeher besonderes Interesse und große Aufmerksamkeit der Besucher Ägyptens, der Archäologen, Ägyptologen und auch der Hobby-Archäologen. Die gewaltigen Abmessungen des Bauwerkes und der Steine des Verkleidungsmauerwerkes beeindrucken bei jedem Besuch aufs Neue. So ist es auch nicht verwunderlich, dass über die Cheopspyramide und ihre Errichtung sehr viele Publikationen und Bauhypothesen vorliegen und zur Bauweise vielfältige Vorschläge gemacht wurden.

[407] Stadelmann, Pyramiden, S.102.
[408] Dorner, Rote Pyramide.
[409] Stadelmann, Pyramiden, S.95.
[410] 24 Zählungen bei einer Regentschaftsdauer von 35 Jahren (v. Beckerath) bzw. neuerdings von 33 Jahren (Krauss in: Hornung, Chronology , S.490).
[411] Gundacker, Snofru, S.12.
[412] Ohne Vorbereitungsarbeiten ab Grundsteinlegung einschließlich Glättung der Außenverkleidung.
[413] Gundacker, Baugraffiti S.29.

Vermutlich ließ Cheops bald nach seinem Regierungsantritt die Planungen für sein Grabmal beginnen. Vielleicht auch mit Blick auf den instabilen Untergrund in Dahschur wurde ein stabiles, die Landschaft bestimmendes Felsplateau als Bauplatz ausgewählt, welches auch eine nahe Lage zum Fruchtland hat und den Transport auch schwerster Lasten über Wasser bis nahe an die Baustelle möglich machte. Das Gisa-Plateau, ca. 22 km nördlich von Dahschur und 12 km südwestlich von Kairo gelegen, bot mit seinem fein- bzw. grobfossilen sehr harten Nummulitenkalkstein einen festen Baugrund und in unmittelbarer Nähe liegende Steinbrüche.[414] Die Pyramide selbst wurde auf einem Felssporn errichtet, der einen Teil des Kernbaus bildet und so Material- und Arbeitsaufwand ersparte.[415] Sichtbar ist dies an den Ecken (mit Ausnahme der Südwestecke) und an der Südseite der Pyramide.

Die Cheopspyramide ist die wohl am meisten vermessene Pyramide (Petrie 1880–82,[416] Borchardt, [417] Cole, Dorner,[418] Maragioglio[419] u.a.). Ihre Basislänge (Außenverkleidung) beträgt 440 E/230,3 m. Bei einem Rücksprung des Verkleidungsmauerwerks von geringfügig weniger als 5½ Handbreit auf eine Elle (Böschungswinkel von 51º50´40“) ergab sich eine Höhe von 280 E/146,6 m.[420] Heute ist die Pyramide noch 138,8 m hoch und weist 201 Steinlagen auf. Früher sind es 210 Steinlagen gewesen.[421] Der Böschungswinkel der Cheopspyramide entspricht etwa dem der Pyramide des Snofru in Meidum (Baustufe E 3) mit 51º 50' 34".

Hervorzuheben ist die Genauigkeit der Nivellierung der Pyramidenbasis, d.h. der Fundamentplattform, auf die dann die erste Reihe der Außenverkleidung aus Kalkstein gesetzt wurde. Die größte vertikale Abweichung dieser Basisplattform – gemessen über alle vier Seiten – beträgt 2,1 cm.[422] Ähnlich genau wurden die vier rechten Winkel an den Ecken bestimmt. Hierbei liegen die Abweichungen unterhalb von 0º4´.

Die Höhe der einzelnen Schichten der äußeren Steinreihe des Verkleidungsmauerwerkes ist unterschiedlich; auf den vier Seiten der Pyramide hat sie jedoch stets die gleichen Abmessungen. Die Werte schwanken zwischen 52 cm und 150 cm.[423] Das Steinmaterial mit Ausnahme der Außenverkleidung aus feinem Kalkstein (Tura, Maasara und Mokattam) ist überwiegend lokaler Herkunft und stammt aus der unmittelbaren Umgebung.[424] Der Abbau erfolgte in den Steinbrüchen aus dort vorhandenen Gesteinsschichten unterschiedlicher Dicke und bedingt so die verschiedenen Schichthöhen des Verkleidungsmauerwerks, die im Durchschnitt zur Spitze hin abnehmen.[425] Vermutungen, dass es sich bei den Sprüngen in der Steinhöhe wieder hin zu einer größeren Abmessung um die Deckschichten innerer Stufen handle,[426] kann entgegen

[414] Klemm und Klemm, Steine, S.53ff.
[415] Haase, Cheops, S.17.
[416] Petrie, Pyramids.
[417] Borchardt, Dritte Bauperiode; Borchardt, Längen; Borchardt, Zahlenmystik.
[418] Dorner, Cheopspyramide.
[419] Maragioglio, IV, S.14.
[420] Maragioglio, IV, S.12ff; Borchardt vertritt in diesem Zusammenhang die Auffassung, dass beim Bau der Pyramiden das bestimmende Maß die Grundkante und der Rücksprung waren, woraus sich dann die Höhe automatisch ergab. Borchardt, Zahlenmystik, S.11.
[421] Goyon, Messungen.
[422] Borchardt, Längen, S.7.
[423] Ägyptische Pyramiden 2, S.103; Goyon, Messungen; Petrie, Pyramids, Pl.VIII.
[424] Klemm und Klemm, Stones.
[425] Klemm und Klemm, Steine S.54. Nachdem die benötigte Steinmenge pro Schicht im oberen Drittel der Pyramide wesentlich geringer ist als weiter unten, dürfte die Beschaffung von Steinmaterial geringerer Höhe kein Problem dargestellt haben.
[426] Brinks, Stufenhöhen.

gehalten werden, dass für diesen Fall die Stufenhöhen des Kernmauerwerks völlig unterschiedlich wären. Dafür gibt es jedoch keinerlei archäologische Belege.

Die Zwischenräume zwischen den einzelnen Steinen wurden zum Druckausgleich mit Mörtel ausgegossen, der sich aus einer Mischung von Gips, Kalkmehl, Sand und Granitsplittern zusammensetzt.[427] Damit wurde eine hohe Stabilität erzielt.

Von der Außenverkleidung sind insbesondere an der Nordseite noch Reste vorhanden. Sie zeigen, dass diese mit durchgehend geschlossenen Lagerfugen gebaut wurde. Diese Art der Verlegung fordert für die Bearbeitung der Steine an 4 Flächen eine hohe Genauigkeit.[428] Die Steine sind mit der schmalen Seite nach außen – also als Binder – verlegt und wurden mit ihrer exakt geglätteten Unterflächen mit einer dünnen Gipsschicht auf die vorhergehende Schicht aufgesetzt (geschoben).[429] Die von außen in Richtung Pyramideninneres gesehen zweite Steinreihe (Äußere Verkleidungsschicht bzw. Backing Stones) besteht ebenfalls aus feinem Kalkstein und ist in ihrer Lagerfläche sehr exakt rechtwinklig bearbeitet. Diese Steinschicht schloss unmittelbar an die äußeren Steine des Verkleidungsmauerwerks an.

Interessant ist die Tatsache, dass aufgrund der Messungen von Petrie[430] die heute sichtbaren Außenflächen der Pyramide konkav nach innen vertieft geformt sind. An der Nordseite macht dies bis zu 94 cm aus. Gossart hat am Tag der Sommersonnenwende die Pyramiden des Cheops und des Chephren um 18.00 Uhr (Tag- und Nachtgleiche) fotografiert und dabei diesen Einzug nur bei der Pyramide des Cheops nachgewiesen.[431] Ein vergleichbarer Einzug wurde auch bei der Roten Pyramide beobachtet.[432] Bei den nach der Cheopspyramide errichteten weiteren Stufenpyramiden wurde eine derartige Bauweise nicht mehr festgestellt. Die in diesem Zusammenhang immer wieder geäußerte Vermutung (Mendelsohn,[433] Maragioglio und Rinaldi), dass durch eine derartige Bauweise die Stabilität des Bauwerkes durch Ableitung der Kraftlinien über die Ecken erhöht worden sei, erscheint mit Blick auf die im Verhältnis zur Seitenlänge sehr geringe Einbuchtung kein ausreichender Grund zu sein. Das Gleiche gilt für die Vermutung von Haase, dass durch eine derartige Bauweise den nach außen wirkenden Spannungen und Druckkräften entgegengewirkt werden könne.[434] Andererseits muss – aus welchen Gründen auch immer – hinter diesen Einzügen des Verkleidungsmauerwerks an zwei zeitlich unmittelbar nacheinander gebauten Pyramiden eine Absicht, ein spezielles Bauverfahren, vermutet werden, welches vielleicht mit dem Bau dieser beiden Pyramiden nach dem Wechsel von der Bauweise der Schichtpyramiden zu den Stufenpyramiden zusammenhängt.

Zur Bauweise des Kernmauerwerkes bei der Cheopspyramide können aufgrund verschiedener Beobachtungen folgende Aussagen getroffen werden:

– In die untere Hälfte der Südseite der Pyramide wurde 1837 von Howard Vyse eine 9 m tiefe Bresche zwischen der 18. und 31. Steinlage gesprengt.[435] Dort ist ersichtlich, dass das Mauerwerk weiter innen ebenfalls aus horizontal verlegten, meist nur grob behauenen Steinen besteht, wobei des Öfteren auch zwei Steine übereinander in einer Schicht

[427] Stadelmann, Pyramiden, S.109.
[428] Borchardt, Längen, S.15.
[429] Arnold, Baukunst, S.93.
[430] Petrie, Pyramids, S.43–49.
[431] Gossart, Cheops.
[432] LÄ IV, S.1228.
[433] Mendelsohn, S.151.
[434] Haase, Vermächtnis, S.121.
[435] Vyse, Operations.

mit viel Mörtel bzw. Füllmaterial dazwischen verbaut wurden.[436] In der oberen Hälfte der Bresche ist – wie von der oberen Galerie des Gebäudes der Sonnenbarke des Cheops aus durch in Augenscheinnahme leicht feststellbar ist (Abb. 5.1.2.2.1) – das Verkleidungsmauerwerk der Pyramide sowie wahrscheinlich danach eingebautes Steinmaterial sichtbar. Im unteren Teil scheint es sich bei den großformatigen Steinen um die Oberseite einer Stufe des Kernmauerwerks zu handeln.

Lehner berichtet von dem Verlauf der Steinlagen an der Ostseite der Bresche, wo zwei Stufen von 1 und 1,2 m Höhe eines größeren inneren Baukörpers, die vielleicht den Mantel eines Stufenkerns bilden könnten, zu beobachten seien.[437]

– Eigene Untersuchungen und Messungen im Jahr 2006 ergaben, dass in dem Grabräubertunnel, der – zwischenzeitlich erweitert – heute den Eingang zum Besuch der Großen Galerie und der Grabkammer bildet, von außen nach innen auch eine Veränderung des Mauerwerks festzustellen ist: Abbildung 5.1.2.2.2 lässt in einer Entfernung von ca. 6 m vom Eingang an der rechten Gangseite die Schicht 6 mit 80 cm Steinhöhe und die Schicht 7 mit 100 cm Steinhöhe erkennen. Die Schichthöhen zeigen weitgehende Übereinstimmung mit den von Goyon an der Nordostecke gemessenen Werten[438] (90 bzw. 100 cm) und dürften daher dem Verkleidungsmauerwerk zuzurechnen sein.

Abb. 5.1.2.2.1 Bresche an der Südseite der Cheopspyramide

[436] Stadelmann, Pyramiden, S.109.
[437] Lehner, Schätze, S.39.
[438] Goyon, Messungen.

Abb. 5.1.2.2.2 Rechts die Schichten 6 und 7 ca. 6 m vom Eingang entfernt

Abb. 5.1.2.2.3 Veränderte Höhe der Schicht 7 (obere Bildhälfte) in ca. 15 m Entfernung vom Eingang

Abb. 5.1.2.2.4 Schicht 7, bestehend aus flachen, übereinander angeordneten Steinen ca. 15 m vom Eingang entfernt

Abb. 5.1.2.2.5 Unterschiedlich hohe Steine in Schicht 8 ca. 18 m vom Eingang entfernt

Abb. 5.1.2.2.6 Unterschiedlich hohe Steine in Schicht 7 ca. 18 m vom Eingang entfernt

In einer Entfernung von ca. 15 m vom Eingang ändern sich die Strukturen der Schichten 5 und 7. Wie Abb. 5.1.2.2.3 und 5.1.2.2.4 zeigen, besteht dort die Schicht 7 (obere Bildhälfte) aus wesentlich flacheren Steinen (105 cm breit, 30 cm hoch; darunter 50 cm breit und 30 cm hoch; daneben 95 cm breit und 30 cm hoch). Diese unterschiedlich hohen Steine sind auch in 18 m Entfernung vom Eingang in der Schicht 8 (Abb. 5.1.2.2.5) und in der Schicht 7 (Abb. 5.1.2.2.6) anzutreffen.
In einzelnen Schichten sind, wie bei dem Kernmauerwerk in der Bresche auf der südlichen Seite festgestellt wurde, flachere Steine übereinander liegend verbaut worden. Es handelt sich also ab einer Entfernung von ca. 15 m vom Eingang des Grabräubergangs um das Innere des Kernmauerwerks. Die von Goyon gemessenen Schichtdicken des Verkleidungsmauerwerkes betragen in der Schicht 7 100 cm und in der Schicht 8 97 cm.

– 1987 führte ein französisches Forscherteam vom Gang zur Königinnenkammer aus drei Bohrungen mit einer Tiefe von ca. 2,5 m und einem Durchmesser von 3 cm schräg nach unten aus.[439] Dabei ergab sich, dass zwischen einzelnen Steinen des Kernmauerwerkes unterschiedlich breite Fugen (12, 52 und 83 cm) bestehen, die mit Sand und Schutt gefüllt sind.[440] Die Steine des Kernmauerwerks müssen bei einer derartigen Verlegung nicht so exakt wie beim Verkleidungsmauerwerk bearbeitet sein. Sand und Schutt sorgen darüber hinaus für exakten Druckausgleich zwischen den Blöcken unterschiedlicher Formate innerhalb der einzelnen Schichten mit der Wirkung einer Dehnungsfuge und führen so zu einer kosten- und zeitsparenden Verlegung. Diese Bauweise unterscheidet sich somit auch grundlegend von der des Verkleidungsmauerwerkes. Stadelmann verweist in diesem Zusammenhang darauf,[441] dass es sich bei den mit Sand gefüllten Zwischenräumen auch um den Abstand zwischen den gro-

[439] Vermeulen, Cheopspyramide.
[440] Lattermann, Pyramidenbau, S.38.
[441] Stadelmann, Pyramiden, S.272.

ßen Kalksteinen entlang des Ganges zur Königinnenkammer und dem übrigen Kernmauerwerk handeln könne.

Damit wird an mehreren Stellen der Pyramide archäologisch deutlich sichtbar, dass die Baustruktur des Kernmauerwerkes eine andere als die des Verkleidungsmauerwerkes ist.

Die von Borchardt geäußerte Vermutung, die Cheopspyramide könnte als Schichtpyramide gebaut worden sein,[442] wurde mehrfach, so auch von Maragioglio und Rinaldi widerlegt.[443] Borchardt legte seiner Theorie die von ihm im aufsteigenden Gang zur Großen Galerie im Abstand von je 10 Ellen festgestellten „Gürtelsteine" zugrunde, die er als Begrenzung einzelner Schichten bezeichnete. Dagegen ist den Erläuterungen von Maragioglio und Rinaldi zuzustimmen, wonach diese senkrecht angeordneten Steinplatten der Stabilität der schräg eingebauten schweren Verkleidungssteine des Ganges im ansonsten nicht sehr exakt gemauerten Kernmauerwerk – siehe oben – dienen. Trotz verschiedener Widerlegungen wurde der Vorschlag Borchardts von Brinks erneut aufgegriffen.[444]

An der Spitze der Pyramide haben die Steine einer Lage ebenfalls gleiche Höhe, aber verschiedene Abmessungen in Länge und Breite (rechteckig, quadratisch). Dadurch wird zwischen den einzelnen Schichten mit jeweils unterschiedlich verlegten Steinen durch das Gewicht der darüber liegenden Steine und den dadurch erzeugten Druck ein sicherer Verbund hergestellt. Die mit Sand und Schutt aufgefüllten Zwischenräume liegen in jeder Schicht an anderer Stelle.[445]

Vermutlich hat es trotz einer von Beginn an vorhandener Gesamtplanung verschiedene Bauabschnitte für den Fall gegeben, dass Cheops während der Bauzeit verstorben wäre.[446] Ähnliche Vermutungen wurden auch für den Bau der Pyramide des Snofru in Meidum geäußert.

Charakteristisch für die Bauweise der Cheopspyramide ist, dass in der Großen Galerie das bis dahin in der 4. Dynastie für Gewölbekonstruktionen übliche Kraggewölbe verwendet wurde und daneben auch erstmals Giebeldächer über den beiden Kammern und am Eingang der Pyramide gebaut wurden. Der Einsatz beider Gewölbearten ist nur bei der Cheopspyramide zu beobachten. Mit dem Verzicht auf die Errichtung von Grabkammern weit oberhalb der Basis bei den weiteren Pyramidenbauten im AR endete der Einsatz von Kraggewölben. Diese wurden durch die Giebeldachkonstruktion abgelöst, die ein neues Zeitalter in der physikalischen Beherrschung der Steinlasten oberhalb der Grabkammern einleitete.

Auf eine weitere Besonderheit beim Bau der Cheopspyramide sei nochmals hingewiesen: Absteigender sowie aufsteigender Korridor und Große Galerie haben in ihrer Anordnung eine verblüffende Ähnlichkeit mit dem Grabkammersystem der Nebenpyramide der Knickpyramide. Haben die Baumeister der Cheopspyramide nach Aufgabe der Arbeiten an der Felsenkammer auf das Grabkammerprinzip der Kultpyramide zurückgegriffen? Für eine Erprobung des Übergangs vom absteigenden in den aufsteigenden Korridor und die anschließende große Galerie existiert darüber hinaus östlich der Cheopspyramide ein weiterer archäologischer Be-

[442] Borchardt, Dritte Bauperiode, S.2.
[443] Maragioglio, IV, S.102.
[444] Brinks, Stufenhöhen. Danach sollen die Höhensprünge des Verkleidungsmauerwerks nach Petrie die Existenz einer in der Lage darunter liegenden Kernstufenaußenkante erkennen lassen.
[445] siehe auch Maragioglio, IV, Addenda, TAV.2, Fig.12–13.
[446] Borchardt, Dritte Bauperiode, Tafel 1; Lattermann, S.10; Haase, Vermächtnis, S.115ff.

fund: Die trial passage. Nach Stadelmann sollte damit die Bauweise eines absteigenden und aufsteigenden Ganges mit Übergang zu einer Galerie „getestet“ bzw. erprobt werden.[447]

Schuttmassen als Überreste größerer senkrecht auf die Pyramide zuführender Baurampen wurden in der Umgebung der Pyramide nicht gefunden. Lehner vermutet, dass eingesetzte Rampen aus Kalksteinbruch und Schutt bestanden und so später leicht abgebrochen werden konnten. Andererseits hätte – so Lehner weiter – eine Rampe vom Steinbruch bis zur Pyramidenspitze eine zu große Steigung gehabt.[448]

An den drei Königinnenpyramiden sind deren innere Strukturen als Stufenpyramiden sehr deutlich zu erkennen.[449] Der Baugrund der drei Königinnenpyramiden ist unregelmäßig und sinkt nach Süden hin ab. Jánosi weist darauf hin, dass bei gleichem Neigungswinkel der Pyramiden G I a und G I b die angestrebte gleiche scheinbare Höhe gegenüber dem umliegenden Gelände nur durch unterschiedlich vergrößerte Basen erreicht werden konnte.[450] Die drei Königinnenpyramiden wurden ihrer Außenverkleidung, der äußeren Verkleidungsschicht und teilweise auch des Verkleidungsmauerwerks beraubt. Bei den Pyramiden G I b und G I c sind die Stufen des Kernmauerwerks erkennbar. Die Außenschichten der Stufen bestehen aus großen, rechteckig und gut behauenen Steinen, die an den Ecken abwechselnd als Binder und Läufer verlegt sind. Zumindest die Pyramiden G I b und c bestehen in ihrem Kernmauerwerk aus vier Stufen, wobei die unterste Stufe eine geringere Höhe als die anderen hat. Diese Tatsache ist später auch bei den Pyramiden des Mykerinos und deren Königinnen- bzw. Kultpyramiden zu beobachten.

Zur Bauweise der 1992 an der Südostecke der Pyramide entdeckten Kultpyramide des Cheops[451] kann keine Aussage getroffen werden, da ihr Kernmauerwerk weitgehend abgetragen wurde. Das stark beschädigte Pyramidion aus Kalkstein wurde bei den Ausgrabungsarbeiten gefunden.

5.1.2.3 Die Pyramide des Djedefre

Abu Roasch
Höhe: ca. 67 m[452]
Länge der Basis: 203 E/106,2 m
Neigungswinkel: 52º

Als Nachfolger des Cheops errichtete dessen Sohn Djedefre seine Pyramide etwa 8 km nördlich von Gisa in Abu Roasch auf einem exponierten Hügel. Mit einer Basislänge der Außenverkleidung von 200 E[453] und einem Neigungswinkel von 60º [454] hätte die Pyramide in etwa die Größe der Pyramide des Mykerinos gehabt. Aufgrund neuerer Untersuchungen[455] werden die Basislänge mit 202 E/106,2 m,[456] der Neigungswinkel mit 52º und die berechnete Höhe mit 66 m angegeben.

[447] Stadelmann, Große Pyramiden, S.166ff.
[448] Lehner, Geheimnis, S.216–217.
[449] Lehner, Geheimnis, S.124; Maragioglio IV, Addenda, TAV.14, Fig.8.
[450] Jánosi, Königinnen, S.78.
[451] Hawass, Kultpyramide.
[452] Valloggia, Egyptian Archaeology.
[453] Maragioglio, V, S.32 und Addenda, TAV.2.
[454] Maragioglio, V, S.12.
[455] Valloggia, Egyptian Archaeology.
[456] Ein derart „ungerades“ Maß für die Basis ist jedoch sehr ungewöhnlich.

Offen ist, ob die Pyramide während der nur 8-jährigen Regentschaft des Djedefre fertig gestellt wurde. Stadelmann verneint dies, da keinerlei Reste einer Kalksteinverkleidung – im Gegensatz zu der Granitverkleidung im unteren Bereich – gefunden worden seien[457]. Auch Maragioglio und Rinaldi lehnen eine Fertigstellung mit Hinweis auf ihre Untersuchungen ab[458]. Im Gegensatz dazu vertritt Valloggia aufgrund seiner Ausgrabungen und Untersuchungen an der Pyramide die Auffassung, dass diese fertig gestellt und erst in römischer Zeit demontiert wurde.[459] Auch Kühn schließt sich dieser Auffassung an.[460]

Im Gegensatz zu der Bauweise für die Grabkammern bei der Roten und auch bei der Cheopspyramide (erste Baustufe) wurde die Grabkammer bei der Pyramide des Djedefre – wie bei der Knickpyramide – in offener Bauweise errichtet: Der Schacht und die Kammer wurden aus dem Fels herausgearbeitet sowie später verkleidet und überdeckt. Damit wurde die schwierige Arbeit unter Tage über enge Gänge und bei schlecht zu bewerkstelligender Belüftung vermieden. Die großformatigen Verkleidungssteine des Korridors und der Grabkammer konnten so einfacher eingebaut werden.

Aufgrund des umfangreichen Abbaus der Pyramide beträgt die Höhe des Pyramidenstumpfes heute nur noch 10–12 m. Nur wenige Schichten des Kernmauerwerkes sind neben dem Felsuntergrund in der Pyramidenmitte zu erkennen. Über die Baustruktur wurden bisher keine näheren Angaben gemacht. Aufgrund eigener Beobachtungen wird die Auffassung vertreten, dass auch bei der Pyramide des Djedefre das Kernmauerwerk z.T. aus Stufenmauern mit dahinter kleineren und willkürlich übereinander geschichteten Steinen besteht (Abb. 5.1.2.3, Westseite).

Schuttablagerungen einer beim Bau senkrecht zu einer Pyramidenseite angeordneten und später wieder abgebrochenen Baurampe sind nicht belegt.

Abb. 5.1.2.3 Kernmauerwerk an der Westseite des Pyramide des Djedefre

[457] Stadelmann, Pyramiden, S.128.
[458] Maragioglio, V, S.32.
[459] Valloggia, Djedefre; Valloggia, Abu Roasch..
[460] Kühn, Sternenzelt.

5.1.2.4 Die Pyramide des Chephren

Gisa-Plateau
Höhe: 143,5 m[461]
Länge der Basis: 410 E/215 m
Neigungswinkel: 53º 00' 10'

Chephren, jüngerer Bruder des Djedefre, wurde dessen Nachfolger und kehrte mit seinem Grabbau auf das Plateau nach Gisa zurück, wo er als Prinz schon ein Mastaba-Grab in der ersten Reihe des Ostfriedhofes vor der Cheopspyramide hatte errichten lassen.[462]

Die Basislänge der Pyramide misst 410 E/215 m und das Böschungsverhältnis beträgt 3:4.[463] Dies ergibt einen Neigungswinkel von 53º. Die rechnerische Höhe beträgt dann 273 E/143,5 m.[464] Auch bei dieser Pyramide trifft die Vermutung Borchardts zu, wonach die entscheidenden Maße beim Pyramidenbau die Basislänge und der Böschungswinkel mit geraden Maßeinheiten waren.

Das Kammersystem ist von verblüffend einfacher Struktur; lange wurde ergebnislos nach weiteren Räumlichkeiten gesucht. Offen ist jedoch, warum die Pyramide zwei Eingänge hat und einer davon im (nördlichen) Hof und damit außerhalb der Pyramide liegt. Dafür gibt es verschiedene Hypothesen:

- Die erste Planung habe eine wesentlich kleinere Pyramide vorgesehen, deren Grabkammer (die Felsenkammer) im Mittelpunkt der Pyramide angeordnet war. Die Basislänge hätte dann 200 Ellen betragen.[465] Allerdings stünden die Anordnung der Kammersysteme und der Eingänge dann nicht in Einklang mit den in der 4. Dynastie allgemein geltenden Schemata.
- Edwards vertrat die Auffassung, dass es eine erste Planung mit den Abmessungen der Pyramide, jedoch um ca. 70 m nach Norden verschoben, gegeben habe.[466] Die Felsenkammer hätte dann eine zentrale Lage. Schwachpunkt dieser Überlegungen ist auch hier die östliche Versetzung des Zugangs, die nicht den damals offensichtlich gültigen Vorgaben entsprach.
- Maragioglio und Rinaldi vertreten die Auffassung, dass der ursprüngliche Plan den Bau einer größeren Pyramide mit 470 Ellen Basislänge vorgesehen habe, da östlich der gebauten Pyramide im Bereich der nordöstlichen und südöstlichen Ecke bis zu 44,6 m von der heutigen Basislinie entfernt umfangreiche Fundamentierungen vorhanden sind.[467] Aufgrund heutiger Kenntnisse über Ausschachtungsarbeiten am nördlichen Felsrand, wonach diese erst in ramessidischer Zeit erfolgten, scheint die Hypothese für eine Pyramide mit der Basislänge 470 Ellen nicht mehr haltbar zu sein.[468]

[461] Abmessungen nach Lehner, Geheimnis, S.17.
[462] Stadelmann, Pyramiden, S.130.
[463] Petrie Pyramids, S.97.
[464] Becker, Chephren 1, S.7.
[465] Becker, Chephren 1, S.7.
[466] Edwars, Pyramiden, S.100.
[467] Maragioglio, V, S.118. Eigene Beobachtungen zeigen jedoch deutlich, dass es sich bei den „Fundamentierungen“ an der SO-Ecke um eine Abstützung der Eckfundamente, die auf lockerem Gestein errichtet wurden, handelt. Die gewaltigen Steinplatten sind zum Tal hin in einem Winkel von 15–20º geneigt verlegt und kommen daher für eine Fundamentierung nicht infrage. Darauf errichtete Fundamente würden abrutschen.
[468] Becker, Chephren 1, S.12.

– Die neueste Hypothese von Becker geht von einer ursprünglich größer geplanten Pyramide aus, die eine um jeweils 48 Ellen nach Norden und Osten erweiterte Grundfläche gehabt hätte.[469] Dann hätten sich der Grabgang auch genau in der Nord-Südachse und der heute im (nördlichen) Hof befindliche Eingang in der Nordwand befunden.

Die Pyramide des Chephren ist insgesamt recht gut erhalten; an der Spitze existieren auf allen vier Seiten noch das Verkleidungsmauerwerk, die äußere Verkleidungsschicht und die Außenverkleidung.[470] In mittlerer Höhe ist das sehr exakt verlegte Verkleidungsmauerwerk sichtbar. In den Bereichen darunter und in den ersten Schichten über Grund sind die Schichten der äußeren Verkleidungsschicht (Backing Stones) zu erkennen.[471] Die Außenverkleidung wurde abgebrochen. Die gesamte Pyramidenanlage ist wohl – wie die Fertigstellung des Toten- und Taltempels sowie die weiteren Anlagen des Pyramidenbezirks vermuten lassen – zu Lebzeiten des Chephren vollendet worden.

Über das Kernmauerwerk und seine Struktur sind keine zuverlässigen Aussagen zu treffen. Maragioglio und Rinaldi beschreiben zwar die z.T. lose und ohne Mörtel ausgeführte äußere Verkleidungsschicht,[472] stellen aber fest, dass es weder Anhaltspunkte für eine Schichtbauweise noch für Stufen im Kernmauerwerk gebe.[473] Becker verweist in diesem Zusammenhang auf die unregelmäßige Bauweise im Bereich des oberen Eingangs auf der Nordseite, wo etwas weiter ins Mauerwerk hineinreichende Lücken eine Aussage über eine andere Bauweise des Kernmauerwerks zuließen.[474] Lehner erwähnt eine Schilderung Belzonis aus dem Jahr 1818, wonach bei Freilegung eines Grabräuberganges, der auf der Nordseite angelegt war, immer wieder loses Gestein herabgestürzt sei.[475] Dabei kann es sich um Füllmaterial einer Kernstufe gehandelt haben.

Die Nivellierung der äußeren Verkleidungsschicht wurde anders als bei der Cheopspyramide vorgenommen: Die erste Steinschicht (Granit) der Außenverkleidung liegt nicht auf einer nivellierten Schicht von Steinplatten, sondern direkt auf dem Fels. Nivelliert wurde dann die Oberkante dieser untersten Schicht.[476] Ungeklärt ist auch die Frage, ob es nach Maragioglio und Rinaldi nur eine oder, wie Vyse meint, zwei oder nach Becker[477] sogar drei Schichten aus Granit gab.

Aufgrund der nahezu im ursprünglichen Bauzustand erhaltenen Spitze der Pyramide konnte Lepsius die Anbringung der obersten Steinlage und des Pyramidions rekonstruieren.[478]

Schuttablagerungen einer beim Bau senkrecht zu einer Pyramidenseite angeordneten und später wieder abgebrochenen Baurampe sind nicht belegt.

5.1.2.5. Die Pyramide des Bicheris (Nebka)

[469] Becker, Chephren 1, S.14.
[470] Die Steine der äußeren Verkleidungsschicht schließen teilweise nicht bündig zueinander. Dies dürfte auf spätere Setzungen nach dem Abbau unterer Schichten und/oder auf Erdbeben zurückzuführen sein.
[471] Diese Schicht hat eine Dicke, die z.T. wesentlich über denjenigen der Steinschichten der Cheopspyramide und der Pyramide des Mykerinos liegt.
[472] Maragioglio, V, S.46.
[473] Maragioglio, V, S.48.
[474] Becker Chephren 2, S.34.
[475] Lehner, Schätze, S.38.
[476] Maragioglio, V, S.48 und 50.
[477] Becker, Chephren 2, S.33.
[478] Stadelmann, Pyramiden, S.134; Lepsius, Denkmäler I, S.27.

Saujet el-Arjan
Höhe: ?
Länge der Basis: 410 E/215 m[479]
Neigungswinkel: ?

Wahrscheinlich war einer der weiteren Brüder des Djedefre nach Chephren etwa 5 Jahre lang König. Sein Name wird teilweise als Baka bzw. Nebka und später als Bicheris geführt und findet sich in der großen Ausschachtung eines Pyramidengrabes in Saujet el-Arjan (nördliche Pyramide).

Aufgrund der Abmessungen der quadratischen Pyramidengrundfläche von 204 m (einschließlich einer späteren Außenverkleidung ca. 215 m, also 410 Ellen)[480] und des erst seit Djedefre in diesem Umfang verwendeten Rosengranits zur Ausmauerung der Grabräume ist diese Pyramide der späten 4. Dynastie zuzuordnen.[481] Die große Grabkammer, zu der ein langer offener Schacht hinunter führt, war offensichtlich fertig gestellt. Die Abmessungen lassen den Schluss zu, dass eine ähnlich große Pyramide wie die des Cheops geplant war. Gewaltig ist auch die Fundamentierung der Grabkammer mit 4,5 m dicken Granitplatten.

Maragioglio und Rinaldi fanden von der eigentlichen Pyramide nur wenige Schichten des künftigen Verkleidungsmauerwerkes vor.[482] Für die innere Bauweise lassen sich daraus keine Schlüsse ableiten.

5.1.2.6 Die Pyramide des Mykerinos (Menkaure)

Gisa-Plateau
Höhe: 66 m
Längen der Basis: 196 x 200 E/102,2 x 104,6 m
Neigungswinkel: 51 °

Mykerinos, Sohn des Chephren, errichtete sein Grabmal wiederum in Gisa. Es ist dort die kleinste der drei Königspyramiden mit einer Grundfläche von 196 x 200 Ellen/102,2 x 104,6 m und einem Neigungswinkel von 51°. Die ursprüngliche Höhe betrug 66 m.[483] Maragioglio und Rinaldi vertreten unter Berücksichtigung der früher durchgeführten Messungen (Perring und Vyse, Goyon) die Auffassung, dass die Basislänge 200 Ellen, also 104,6 m betrug.[484]

Ähnlich wie die Pyramide des Chephren weist auch diese Pyramide zwei Gänge zur Grabkammer auf. Ob es eine erste Planung einer Pyramide mit einer Basislänge von 100 Ellen gab, wie Petrie vermutet, ist offen. Wie schon bei den Pyramiden seit Chephren wurden Gänge (teilweise) und Grabkammer mit Granit verkleidet. Das Giebeldach der Grabkammer ist erstmals als Tonnengewölbe ausgearbeitet.

[479] Maragioglio, VI, Addenda, TAV.2, Fig.4.
[480] Maragioglio, VI, Addenda, TAV.2, Fig.4.
[481] Lauer, Saujet el-Arian; Maragioglio IV, S.16–26.
[482] Maragioglio, VI, Addenda, TAV.3 Fig.2.
[483] Stadelmann, Pyramiden, S.142.
[484] Maragioglio, VI, S.96.

Die Außenverkleidung der Pyramide bestand von der Basis aufsteigend aus 16 Schichten weitgehend ungeglätteten Rosengranits unterschiedlicher Qualität aus Assuan.[485] Die darüber liegenden Schichten der Außenverkleidung wurden in Kalkstein ausgeführt.[486] In die Nordseite wurde durch die Mameluken eine bis zu 8 m tiefe Bresche geschlagen, die heute einen Blick in die innere Baustruktur der Pyramide zulässt (Abb. 5.1.2.6.1).

Abb. 5.1.2.6.1 Nordseite der Pyramide des Mykerinos

Maragioglio und Rinaldi haben dazu eingehende Untersuchungen angestellt. [487] Daraus ergibt sich, dass das Kernmauerwerk aus einzelnen Stufen mit einem Neigungswinkel deren Außenmauern von etwa 80º besteht (Abb. 5.1.2.6.2). Die äußere Schicht der einzelnen Stufen ist aus großen, gut behauenen Steinen errichtet worden. Dahinter befindet sich Mauerwerk aus kleinerem und weniger exakt behauenem Steinmaterial ganz unterschiedlicher Formate.

Eigene Beobachtungen und Untersuchungen im Jahr 2006 ergeben folgenden Sachverhalt: Die Abbildung 5.1.2.6.3 zeigt im unteren Bildteil in der Mitte die dritte und vierte Steinlage der 3. Stufe nach Maragioglio (siehe Abb. 5.1.2.6.2) und darüber in der rechten Bildhälfte die nicht herausgeschlagenen Schichten 5 bis 7 derselben Stufe.

[485] Maragioglio, VI, S.34.
[486] Nach Stadelmann, Pyramiden, S.142 „geglättet“; Klemm und Klemm, Stones, verweisen auf im Umfeld der Pyramide lose liegende Kalksteine der Außenverkleidung, deren Herkunft der Bereich Tura ist.
[487] Maragioglio, VI, S.34 ff., S.94ff; und Addenda, TAV.4, Fig.2 Schnitt S-N.

Dahinter in Richtung Pyramideninneres ist das anders gestaltete innere Kernmauerwerk der dritten Stufe zu erkennen. Die sichtbaren Stufen 3 und 4 sind jeweils in 7 Steinlagen ausgeführt. Die Höhen der Stufen 3 und 4 betragen 8,5 m bzw. 8,4 m; der Rücksprung auf der Oberkante der Stufe 2 ist mit 5 m etwas größer als derjenige auf der Oberkante der Stufe 3 mit 4,2 m. Der Zwischenraum zwischen dem stufenförmigen Kernmauerwerk und der äußeren Verkleidungsschicht – das Verkleidungsmauerwerk – ist ebenfalls mit nur grob behauenen Steinen größeren Formats ausgefüllt (Abb. 5.1.2.6.4, rechte Seite der Bresche in Stufe 4). Nach außen hin ist es in leicht nach innen geneigten Schichten verlegt (Abb. 5.1.2.6.5).

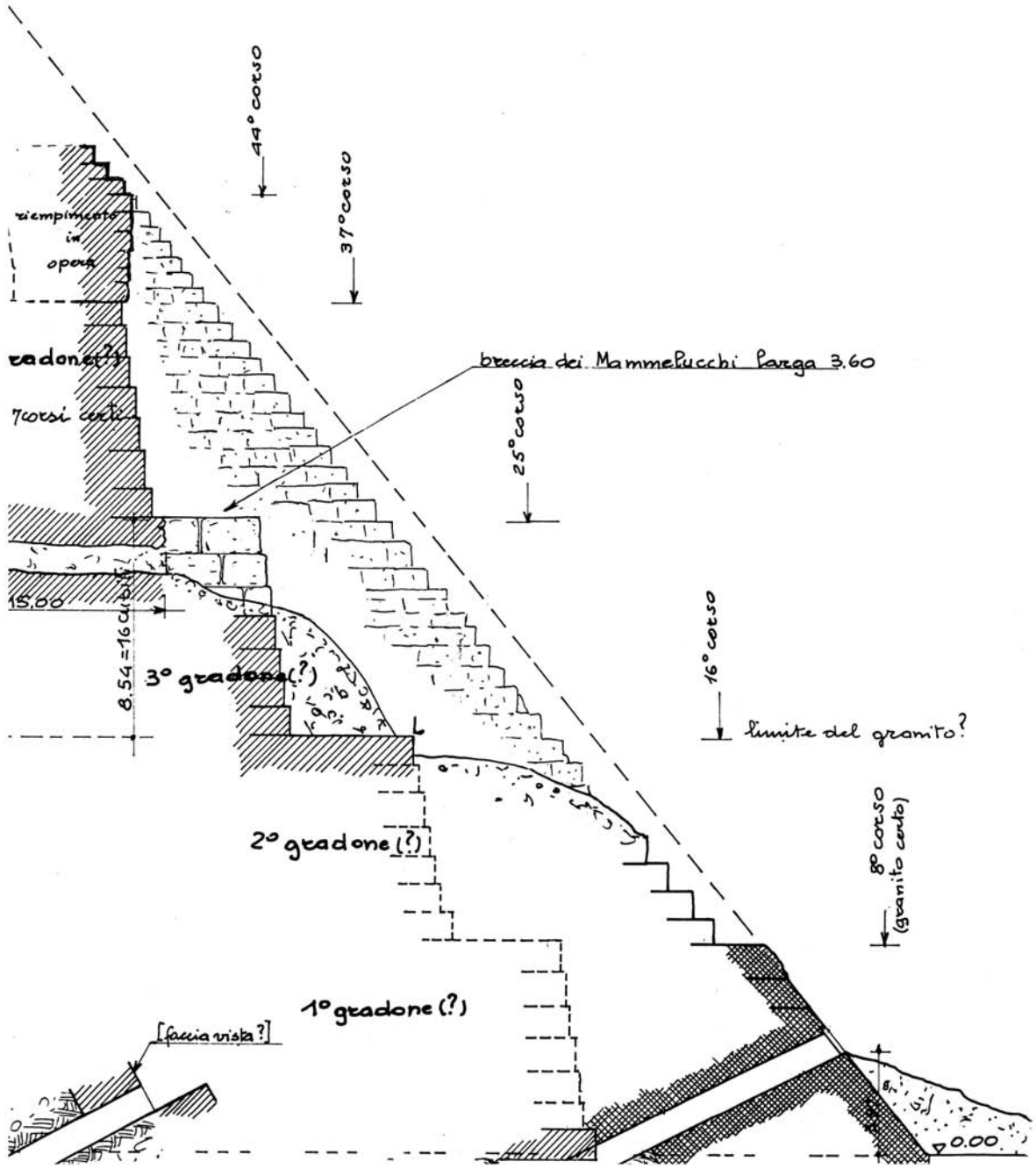


Abb. 5.1.2.6.2 N-S Schnitt durch die Pyramide des Mykerinos nach Maragioglio und Rinaldi

Abb. 5.1.2.6.3 3. Stufe (Vordergrund) und 4. Stufe (Hintergrund) des Kernmauerwerks der Pyramide des Mykerinos

Abb. 5.1.2.6.4 Verkleidungsmauerwerk der Stufe 4

Abb. 5.1.2.6.5 Verlegungsart des Verkleidungsmauerwerks der Stufe 4

Schuttablagerungen einer beim Bau senkrecht zu einer Pyramidenseite angeordneten und später wieder abgebrochenen Baurampe sind nicht belegt.

Südlich der Hauptpyramide befinden sich die Kultpyramide (G III a) sowie zwei Königinnenpyramiden (G III b und c). Auch dort ist – wie bei den Königinnenpyramiden der Cheopspyramide – die Stufenbauweise deutlich zu erkennen.[488] Die Stufenhöhen betragen bei den Pyramiden G III b und c jeweils knapp 6 m; der Rücksprung an der Oberkante der zweiten Stufe misst 3,5 m (G III b) bzw. 3,9 m (G III c).[489] Die Blöcke der Mauern des Kernmauerwerks sind ebenfalls sorgfältig bearbeitet und an den Ecken abwechselnd als Binder und Läufer verlegt.[490] Das Füllmauerwerk der einzelnen Stufen besteht aus kleineren, ungefähr rechteckig behauenen Steinen. Die Zwischenräume sind mit Kalksteinsplittern und Mörtel aufgefüllt.

Nach Auffassung von Jánosi und Lehner ist lediglich die Pyramide G III a als Kultpyramide fertig gestellt und voll verkleidet gewesen, während die Pyramiden G III b und G III c nur in ihrer Kernmauerwerkstruktur errichtet und nicht verkleidet wurden. Jeglicher Hinweis darauf fehle.[491] Jánosi zieht daraus die Schlussfolgerung, dass wegen zu geringen Abstands der Pyramiden untereinander Verkleidungen in Form einer Stufen- bzw. Knickpyramide geplant waren. Der nicht ausreichende Abstand zwischen mit einem Neigungswinkel von ca. 52º verkleideten Pyramiden einschließlich der Tempel an den Ostseiten zwinge dazu. Dieser Auffassung kann entgegen gehalten werden, dass eine derartige gravierende „Fehlplanung“ den Baumeistern der damaligen Zeit kaum unterstellt werden kann. Entweder waren die Pyramiden ohne die „klassische“ Verkleidung mit gleich bleibender Neigung geplant oder es waren ursprünglich zwischen den Königinnen-Pyramiden G III b und G III c keine Totentempel vorgesehen. Die Entscheidung für diese außergewöhnliche Anordnung ist bisher nicht erklärbar.

[488] Maragioglio, VI, Addenda, TAV.12, Fig.1–3.
[489] Reisner, Mycerinos, S.62 und Maragioglio, VI, Addenda, TAV.13, Fig.3 bzw. TAV.14, Fig.2.
[490] Maragioglio, VI, S.88.
[491] Jánosi, Königinnen, S.85; Lehner, Geheimnis, S.134.

Die in der Bresche des Pyramidenmauerwerks auf der Nordseite der Pyramide des Mykerinos deutlich sichtbare Bauweise des Kernmauerwerkes zeigt, dass eine durchgehende Verlegung einzelner Steinschichten über die jeweilige Grundfläche nicht erfolgte, sondern dass der Bau der Pyramide – und das gilt auch für die drei Nebenpyramiden – als Stufenpyramide (siehe Abschnitt 2.1 „Definition Baustrukturen“) vorgenommen wurde.

5.1.2.7 Die Mastaba el-Faraun des Schepseskaf

Saqqara Süd
Höhe: 18 m
Grundfläche: 200 x 150 E/99,6 x 74,4 m
Neigungswinkel: 70º

Schepseskaf als Sohn und Nachfolger des Mykerinos baute sein Königsgrab nicht als Pyramide, sondern als zweistufige Mastaba mit den Abmessungen von 200 x 150 E/99.6 x 74,4 m und einer Höhe von etwa 18 m auf der Hochebene in Saqqara Süd. Die Neigung des Kernmauerwerkes der beiden Stufen beträgt 70º. Die Außenverkleidung bestand in der Sockelschicht aus Rosengranit und weiter oben aus Kalkstein (Tura).[492]

In der Bresche am Eingang an der Nordseite kann man erkennen, dass im Inneren der Stufen des Kernmauerwerkes – ebenfalls wie bei der Pyramide des Mykerinos – weniger gut behauene Steine unterschiedlicher Größe verwendet wurden.[493]

Trotz der völlig unterschiedlichen Form einer Mastaba anstelle einer Pyramide zeigt sich in der Bauweise dennoch eine Ähnlichkeit mit der Bauweise der Stufenpyramiden.

5.1.2.8 Die Pyramide des Userkaf

Saqqara Nord
Höhe: 49 m
Länge der Basis: 140 E/73,3 m
Neigungswinkel: 53º

Userkaf, erster König der 5. Dynastie, kehrte beim Bau seines Grabmals zur Pyramidenform zurück und ließ seine Pyramide unmittelbar nordöstlich des Pyramidenbezirks von Djoser in Saqqara Nord errichten. Die Basislänge betrug 140 E/73,3 m. Bei einem Neigungswinkel von 53º ergab sich eine Höhe von 94 E/49 m.[494]

Mit dieser Pyramide beginnt eine Phase des Pyramidenbaus mit kleineren Abmessungen. Diese Entwicklung setzte sich bis gegen Ende der 6. Dynastie (Pepi II.) fort.

Das Kernmauerwerk der Pyramide des Userkaf besteht aus Steinen größeren und auch unterschiedlichen Formats[495] und ist (wahrscheinlich) in Stufenbauweise errichtet.[496] Die Steine wurden locker und mit viel Mörtel bzw. Schutt dazwischen aufgeschichtet. Nach Abbau der

[492] Stadelmann, Pyramiden, S.152; Klemm und Klemm, Stones.
[493] Maragioglio, VI, Addenda, TAV.16, Fig.1.
[494] Maragioglio, VII, S.12.
[495] Firth, Exvacations, S.68, meint, das noch großformatige Kernmauerwerk ähnle mehr der Bauweise der 4. als derjenigen der 5. und 6. Dynastie.
[496] Maragioglio, VII, S.12.

Außenverkleidung aus Tura-Kalkstein trat eine starke Erosion ein, die zu einem Verfall des Verkleidungs- und des Kernmauerwerkes führte.[497]

Ab dem Bau der Pyramide des Userkaf trat in der 5. Dynastie eine Veränderung beim Bau des Verkleidungsmauerwerkes ein: Dieses wurde im Gegensatz zu den Pyramiden der 4. Dynastie, bei denen es aus Lagen gut bearbeiteter und größerer Steinformate besteht, mit Steinen kleineren und unregelmäßigen Formats ausgeführt. Die dagegen sehr gut verfugte Außenverkleidung aus Kalkstein bildete einen Mantel, der eine Verwitterung bzw. eine Erosion des Kernbaus, wie sie später nach Entfernen der Außenverkleidung eintrat, verhinderte.

Die Kult- und die Königinnenpyramide des Userkaf sind in Stufenbauweise errichtet. Dabei sind von der Kultpyramide nur noch die beiden untersten Stufen erhalten; die Königinnenpyramide hatte ein dreistufiges Kernmauerwerk.[498] Die Abmessungen dieser Pyramide stimmen fast genau mit denen der Königin Chentkaus II. in Abusir überein.[499] Die Stufenbreite bei der Kultpyramide beträgt ca. 1,5 m und die Stufenhöhe 3 m.[500]

5.1.2.9 Die Pyramide des Sahure

Abusir
Höhe: ca. 50m
Länge der Basis: 150 E/78,75 m
Neigungswinkel: 50º45'

Sahure wählte als Standort für seine Pyramide eine Stelle in der Nähe von Abusir, an der später auch weitere Herrscher der 5. Dynastie ihre Pyramiden errichten ließen (Abb. 5.1.2.9.1).[501]

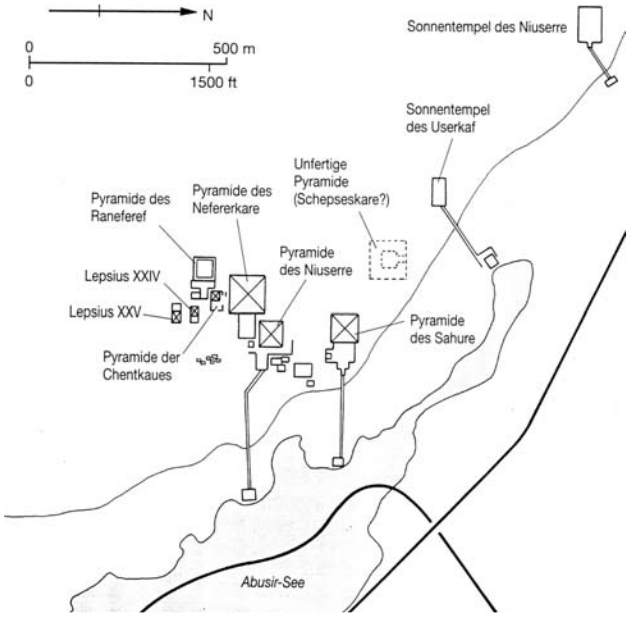


Abb. 5.1.2.9.1 Die Pyramiden von Abusir

[497] siehe Darstellung bei Stadelmann, Pyramiden, Tafel 63 a.
[498] Maragioglio, VII, S.22 und 22.
[499] Verner, Pyramiden, S.311.
[500] Maragioglio, VII, Addenda, TAV.2, Fig.1.
[501] Lehner, Schätze, S.142

Die Basislänge der Pyramide betrug 150 E/78,75 m; der Böschungswinkel lag bei 50º, sodass sich eine Höhe der Pyramide von etwa 93 E/50 m ergab. Die Bauweise in 5 Stufen (oder mit einer weiteren 6. Stufe an der Pyramidenspitze)[502] mit horizontal verlegten Steinschichten (Länge 1,5–2 m, Breite 0,8–1 m und Höhe 0,15–0,4 m) entspricht derjenigen der Pyramide des Userkaf. Zur Breite der einzelnen Stufen liegen keine exakten Angaben vor; Maragioglio und Rinaldi geben in einer Rekonstruktionszeichnung die Stufenhöhe mit 7 m und die Breite mit knapp 5 m an.[503] Das Kernmauerwerk besteht, wie eigene Beobachtungen und Untersuchungen ergaben, aus locker aufgeschichteten Steinen mit viel Schottermaterial und Nilschlamm dazwischen (Abb.5.1.2.9.2).

Abb. 5.1.2.9.2 Pyramide des Sahure in Abusir

Zum Bauverlauf stellte Borchardt fest, dass auf der Nordseite eine T-förmige Lücke gelassen wurde, um – so seine Vermutung – den Bau des Grabkorridors und der Sargkammer zeitlich parallel mit dem Bau des Kernmauerwerkes der Pyramide zu beginnen.[504] Eine derartige Vorgehensweise ist bis dahin nur bei den Pyramiden des Djedefre in Abu Roasch und des Nebka in Saujet el-Arjan vorstellbar, wo die Eingänge zur Grabkammer und die Kammer selbst ebenfalls in „offener Bauweise“ errichtet wurden.

Die Lücke über dem Grabkorridor ist mit kleinformatigem Mauerwerk ausgefüllt.[505] Die Außenverkleidung bestand aus Kalkstein aus der Gegend Tura-Maasara; Granit wurde nicht verwendet.[506] Auf eine bauliche Besonderheit sei noch hingewiesen: Die Ostseite der Pyramide steht südlich vom Totentempel etwa 1,6 m weiter vor als an der nördlichen Seite. Eine Erklärung dafür gibt es nicht. Andererseits ist ein derart grober Messfehler kaum vorstellbar.

[502] Maragioglio VII, S.46.
[503] Maragioglio VII, Addenda TAV.8, Fig.4.
[504] Borchardt, Sahure S.70–71.
[505] Borchardt, Sahure, S.70.
[506] Borchardt, Sahure, S.68.

5.1.2.10 Die Pyramide des Neferirkare

Abusir
Höhe: ca. 73 m
Länge der Basis: 200 E bzw. 179 E/105 m bzw. 94 m
Neigungswinkel: 54º

Neferirkare – ein Bruder des Sahure – ließ weiter südlich in Abusir auf einem Hügel seine Pyramide errichten, die in ihren Abmessungen derjenigen des Mykerinos ähnelt. Borchardt nennt als Basislänge 200 E/105 m;[507] Maragioglio und Rinaldi haben dagegen die Basislänge mit nur 179 E/94 m ermittelt.[508] Borchardt stellte anhand eines in situ in der untersten Reihe gefundenen Verkleidungsblocks aus Granit einen Steigungswinkel von 54º fest, der einem 5-Handbreiten-Rücksprung auf eine Elle Steigung recht nahe kommt.[509] Die Höhe der fertigen Pyramide hat ca. 73 m betragen. Die heutige Höhe wurde mit 49 m vermessen. Es handelt sich wiederum um eine Stufenpyramide mit 6 – bzw. nach Verner (siehe weiter unten) – mit 8 Stufen. Die äußeren Schichten der Stufen des Kernmauerwerks sind aus gut bearbeiteten Steinen unterschiedlichen Formats (Höhe zwischen 50 und 70 cm) mit einem Rücksprung von ca. 10–15 cm (Neigungswinkel 77º) errichtet (Abb. 5.1.2.10).

Abb. 5.1.2.10 Obere Stufen des Kernmauerwerks der Pyramide des Neferirkare

[507] Borchardt, Neferirkare, S.39.
[508] Maragioglio, VII, S.116.
[509] Borchardt, Neferirkare, S.39.

Die Stufenbreite beträgt etwa 8 E/4 m;[510] die Stufenhöhe nimmt von unten nach oben ab (8–6 m). Das Verkleidungsmauerwerk besteht aus kleineren, nur lose aufgeschichteten Steinen;[511] Mörtel ist kaum zu finden. Nach Verner waren an der untersten Stufe bereits Stellen mit der Außenverkleidung aus Kalkstein angebracht worden, die an der Nordseite noch zu erkennen waren.[512] Andererseits berichtet Stadelmann, dass – nachdem kein Kalkstein aus Tura, sondern nur Granit zur Verkleidung der untersten Lagen gefunden wurde – angenommen werden kann, dass die Pyramide nicht fertig gestellt wurde.[513]

Die sehr gut sichtbare Struktur des Kernmauerwerks der Pyramide beschäftigte bereits Lepsius, der daran seine Theorie der geböschten Schalen als Bauweise der Pyramiden entwickelte,[514] die später Borchardt übernahm. Maragioglio und Rinaldi führten in den sechziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts ebenfalls eingehende Untersuchung durch und berichteten von einer sichtbar doppelten Kernmauerstruktur am Eingangsbereich.[515]

Später begannen die Forschungen des tschechischen Archäologenteams unter Führung von Verner in Abusir und die Untersuchungen zur Baustruktur der Pyramide des Neferirkare. Sie führten zu einem überraschenden Ergebnis: Die Pyramide wurde in verschiedenen Abschnitten gebaut. Verner hat dazu eine Rekonstruktionsskizze veröffentlicht.[516] Der ursprüngliche Entwurf sah danach 6 Stufen vor; die unterste Stufe war doppelt so hoch als die oberen und teilweise schon mit einer Verkleidung aus feinem, weißem Kalkstein versehen. Sollte mit dem Bau wieder von der klassischen Pyramidenform abgewichen werden? Anschließend müsste wohl die Entscheidung für den Umbau zu einem 8-stufigen Kern mit Verkleidungsmauerwerk für eine gleich bleibende Neigung der Außenfläche der Pyramide erfolgt sein. Nach Verner wurde die Außenverkleidung der zweiten Bauphase nicht fertig gestellt und die Pyramide nie vollendet.[517] Leider hat Verner seine wissenschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsergebnisse bisher nicht veröffentlicht.

Es wäre ja auch denkbar, dass die sowohl von Maragioglio und Rinaldi als auch von Verner beobachtete doppelte Kernmauerstruktur der untersten Schicht mit einem gleichzeitigen Bau der Kernmauern und des Grabes sowie des Schachtes, wie bei der Pyramide des Sahure zu beobachten ist, in Zusammenhang gebracht werden könnte. Die Auffassungen von Perring[518] und Stadelmann,[519] wonach die Pyramide in der selben Art und Weise wie die Pyramide des Snofru in Meidum gebaut und später verkleidet wurde, lassen sich aufgrund von eingehenden Beobachtungen vor Ort nicht bestätigen. Zur Bauweise berichtet Borchardt, dass die Eckkonstruktion des Kernmauerwerkes, die an einigen Stellen gut sichtbar ist, derjenigen im Unterbau des Obelisken von Abu Gurob gleicht. Er hat dazu eine Konstruktionszeichnung erstellt.[520]

5.1.2.11 Die unvollendete Pyramide des Schepseskare

[510] Maragioglio, VII, Addenda, TAV.9.
[511] Borchardt, Neferirkare, S.41 oben.
[512] Verner, Pyramiden, S.326.
[513] Stadelmann, Pyramiden, S.171.
[514] Lepsius, Bau.
[515] Maragioglio VII, S.144.
[516] Verner, Pyramiden, S.325.
[517] Verner, Pyramiden, S.326ff.
[518] Perring, Pyramids III, Appendix 19.
[519] Stadelmann, Pyramiden, S.171.
[520] Borchardt, Neferirkare, S.41 unten..

Zwischen die Regentschaft des Neferirkare und seines Sohnes Neferefre ist die wahrscheinlich nur 7 Jahre währende Herrschaft des Schepseskare einzuschieben. Verner schreibt ihm den Aushub für eine Pyramide am nördlichen Rand der Nekropole von Abusir etwa in der Hälfte der Entfernung zwischen der Pyramide des Sahure und des Sonnentempels des Userkaf zu.[521] Über Planierarbeiten und den Beginn der Ausschachtung für die Grabkammer kamen die Bauarbeiten nicht hinaus. Die Flächenausmaße lassen den Schluss zu, dass diese Pyramide nach der des Neferirkare die zweitgrößte in Abusir hätte werden sollen.

5.1.2.12 Die unvollendete Pyramide des Neferefre (Raneferef)

Abusir
Höhe: ?
Länge der Basis: 150 E/79 m
Neigungswinkel: ?

Neferefre ließ den Bau seines Grabmals südwestlich der Pyramide des Neferirkare beginnen. Die Bauarbeiten wurden aber offensichtlich bereits vor Vollendung der ersten Stufe der Pyramide eingestellt.[522] Heute beträgt die Höhe nach Angaben von Maragioglio und Rinaldi etwa 4,5 m, nach Angaben von Verner 7 m.[523] Durch den Abbruch der Bauarbeiten ist es möglich, über die Gründung, Baustruktur und Baumethode der Pyramide durch Ausgrabungen Detailkenntnisse zu gewinnen. Die erste Stufe steht nicht auf Felsgestein, sondern nach Verner auf Lagen mächtiger Kalksteinblöcke, die nach Ausschachten der Grabkammer und des nördlichen Grabschachtes auf das planierte Gelände verlegt wurden. Maragioglio und Rinaldi berichten von einer sichtbaren Lage. Darauf wurden dann unter Verwendung von Mörtel die Außenmauern des Kernmauerwerks der ersten Stufe in den ersten 3–4 Lagen in etwa 1 m hohen Schichten mit Kalksteinblöcken bis zu 5 m Länge errichtet. Sie waren an den Ecken – wie bei der Pyramide des Neferirkare – gut zusammengefügt. In den nachfolgenden Schichten wurden kleinere Steine verwendet. Die einzelnen Lagen hatten jeweils einen geringen Rücksprung. Die Mauern des Kernmauerwerkes entlang des Korridors und der Grabkammer wurden ähnlich – jedoch auch mit kleineren Steinformaten – gebaut. An der Pyramide des Neferefre werden wiederum zeitsparend gleichzeitig die Grabkammer und der Korridor mit dem Kernmauerwerk errichtet. Diese Bauweise ist seit Sahure als „Abusir-Bauweise“ typisch für den Pyramidenbau. Grabkammer und Korridor der Pyramide des Raneferef wurden jedoch nicht fertig gestellt.

Aufgrund der Messungen der Länge des Kernmauerwerkes und unter Berücksichtigung des Platzes für die Verkleidung nehmen Maragioglio und Rinaldi eine Basislänge der fertigen Pyramide von 150 E/79 m an.[524] Steine der Außenverkleidung, aufgrund deren Beschaffenheit Rückschlüsse über den Neigungswinkel möglich gewesen wären, wurden nicht gefunden. Nach Verner war der Raum zwischen den beschriebenen Mauern des Kernmauerwerkes mit Bruchsteinen, Sand, feinem Schotter und Lehm gefüllt.[525] Auf die Veröffentlichung des endgültigen Grabungsberichtes durch Verner mit einer genauen Beschreibung der Bauweise sei hingewiesen.[526]

[521] Verner, unvollendete Pyramide;
[522] Stadelmann, Pyramiden, Tafel 66.
[523] Maragioglio, VII, S.176ff.; Verner, Pyramiden, S.338ff.
[524] Maragioglio, VII Addenda, TAV.15, Fig.1.
[525] Verner, S.339; Verner, Raneferef.
[526] Verner, Raneferef, S.12ff.

Verner vermutet, dass die anderen Pyramiden der 5. Dynastie in Abusir bzw. Saqqara nach der gleichen Methode gebaut wurden.[527] Die archäologischen Befunde über die innere Baustruktur der einzelnen Stufen des Kernmauerwerks der Pyramiden des Userkaf, des Sahure und des Niuserre sollen dies bereits früher deutlich gemacht haben. Verner berichtet weiterhin, dass die erste Stufe des Pyramidenkerns von allen Seiten mit feinem Kalkstein verkleidet worden war.[528] Aus der geplanten Pyramide soll nach dem Tod des Neferefre eine Mastaba geworden sein, deren Oberfläche als Kiesterrasse ausgebildet wurde.[529]

5.1.2.13 Die Pyramide des Niuserre

Abusir
Höhe: ca. 50 m
Länge der Basis: 150 E/78,90 m
Neigungswinkel: 52º

Niuserre baute seine Pyramide aus Platzmangel auf dem Plateau von Abusir sehr nahe an die des Neferirkare. Borchardt untersuchte auch diese Pyramide eingehend und stellte aufgrund vorhandener Blöcke der untersten Verkleidungsschicht und noch vorhandener Standspuren an den Ecken die Länge der Pyramidenbasis mit 150 E/79 m und die Böschung mit knapp 52º fest.[530] Die Höhe der Pyramide betrug danach ca. 50 m. Damit besaß diese Pyramide dieselben Abmessungen wie die des Sahure und des Neferefre.

Die Ergrabung des Pyramidenfundaments an der Nordost-Ecke durch Borchardt ergab eine 1,2 m starke Fundamentschicht aus Kalksteinblöcken. Darauf lag eine weiße Pflasterschicht, auf der die unterste Schicht der Außenverkleidung (Kalkstein) aufsetzte. Es handelt sich also um eine Bauweise, wie sie bereits bei der Cheopspyramide zu beobachten ist.[531] Borchardt vermutet eine wesentlich stärkere Fundamentierung unterhalb des Pyramidenkerns.

Die Hypothese von Borchardt, wonach der Kern aus einer Reihe von Schalen bestehen soll, wurde aufgrund späterer Untersuchungen widerlegt: Maragioglio und Rinaldi führten aus, dass sie die betreffenden Beobachtungen Borchardts nicht nachvollziehen können, und gingen daher – wie bei den anderen Pyramiden in Abusir – von einer Stufenbauweise aus.[532] Dieser Auffassung ist zuzustimmen. Es handelt es sich mit Blick auf die gleichen Abmessungen wie bei den Pyramiden des Sahure und des Neferefre ebenfalls um einen fünf- bzw. sechsstufigen Bau. Verner geht dagegen von sieben Stufen aus.[533] Ein ausführlicher Bericht bzw. veröffentlichte Grabungsunterlagen liegen nicht vor.

Der Bau der einzelnen Stufen wurde in derselben Weise wie bei den anderen Pyramiden in Abusir vorgenommen: Die äußeren Mauern jeder Stufe waren sorgfältig gebaut (größere Steine, mit Mörtel verbunden). Im Inneren der Stufen bestand das Mauerwerk aus Steinen unterschiedlichen Formats, die völlig ungeordnet übereinander geschichtet wurden. Das Verkleidungsmauerwerk bestand ebenso aus ungeordnet aufgeschichteten Steinen verschiedener Abmessungen[534].

[527] Verner, Pyramiden, S.339.
[528] Verner, Verlorene Pyramiden, S.138.
[529] Verner, Kongress: Ausführungen von Verner anlässlich des Kongresses am 24.5.2006 in Turin.
[530] Borchardt, Niuserre.
[531] Lehner, Geheimnis, S.213.
[532] Maragioglio, VIII, S.10/12.
[533] Verner, Pyramiden, S.347.
[534] Borchardt, Niuserre, Blatt 17.

Der Bau des Korridors und der Grabkammer erfolgten nach Maragioglio und Rinaldi – ebenfalls wie bei den anderen Pyramiden in Abusir – in offener Bauweise parallel zu den Bauarbeiten am Pyramidenkern, wie sich aus der Baustruktur der Bresche auf der Nordseite ergibt. Das Giebeldach der Grabkammer besteht aus großformatigen Tura-Kalksteinplatten mit bis zu 1,75 m Breite, 9 m Länge und 2,5 m Höhe und einem Gewicht von ca. 90 t.[535]

5.1.2.15 Die Pyramide des Menkauhor

Nach dem Bau der Pyramide des Niuserre war auf dem Plateau von Abusir kein Platz mehr für eine weitere Pyramide mit der Größe der dort schon errichteten. So baute der Nachfolger von Niuserre, Menkauhor, seine Pyramide an einem anderen Ort. Ob es sich dabei um die Pyramide Lepsius XXIX in Saqqara handelt, wie Maragioglio und Rinaldi[536] sowie Berlandini[537] meinen, ist nicht zweifelsfrei geklärt. Art und Weise der Struktur (Abknicken des Grabkorridors nach Osten, wie dies für alle Pyramiden der 5. Dynastie zwischen Neferirkare und Djedkare Asosi typisch ist) sowie das Fehlen von Pyramidentexten lassen allerdings eine zeitliche Einordnung in die 5. Dynastie mit großer Wahrscheinlichkeit zu.

Die Pyramide Lepsius XXIX in Saqqara ist völlig zerstört, sodass auch eine Bestimmung der Basislänge nahezu unmöglich ist. Maragioglio und Rinaldi vertreten aufgrund ihrer Untersuchungen die Meinung, dass die Basislänge 125–130 E/65–68 m betragen habe.[538]

5.1.2.15 Die Pyramide des Djedkare Asosi

Saqqara Süd
Höhe: ca. 50 m
Länge der Basis: 150 E/79 m
Neigungswinkel: 52º

Djedkare Asosi ließ seine Pyramide auf einem Hügel in Saqqara Süd errichten. Baustruktur und Bauweise entsprechen denen der Pyramiden von Abusir.[539] Die Abmessungen sind die gleichen wie bei den Pyramiden des Sahure, Neferefre und Niuserre: Basislänge 150 E/79 m; Böschungswinkel der Verkleidung 52º. Das Kernmauerwerk besteht wiederum aus Stufen (vermutlich 6; heute ist der Pyramidenstumpf nur noch 24 m hoch).[540] Die Außenmauern der Stufen sind aus gut behauenen Steinen errichtet, die mit Mörtel verbunden sind. Das Innere der Stufen ist mit Steinen unterschiedlichen Formats angefüllt. Im Nordbereich der Pyramide wurden Steine der untersten Schicht der äußeren Verkleidung in situ gefunden.[541]

Wie es für die anderen Pyramiden der 5. Dynastie typisch ist, hat der Grabkorridor einen Knick nach Osten und das Giebeldach der Grabkammern besteht aus drei Lagen gewaltiger Kalksteinplatten.[542] Die Errichtung der Grabkammer geschah in offener Bauweise.

[535] Borchardt, Niuserre, S.103; Verner, Pyramiden, S.348.
[536] Maragioglio, VIII, S.58/60.
[537] Berlandini, Menkauhor.
[538] Maragioglio, VIII, S.62.
[539] Maragioglio, VIII, S.66.
[540] Stadelmann, Pyramiden, Tafel 72a.
[541] Ägyptische Pyramiden 1, S.150.
[542] Stadelmann, Pyramiden, S.180.

5.1.2.16 Die Pyramide des Unas

Saqqara Nord
Höhe: 43 m
Länge der Basis: 110 E/57,75 m
Neigungswinkel: 56º

Unas ließ seine Pyramide in Saqqara Nord errichten. Er wählte dafür einen Platz unmittelbar südlich der Pyramide des Djoser neben der Pyramide des Sechemchet.

Die Pyramide ist mit einer Basislänge von 110 E/57,75 m die kleinste des AR. Der Böschungswinkel beträgt 56º, womit sich eine Höhe von 43 m ergibt.[543] Der Kernbau besteht wiederum aus Stufen mit innerem Steinmaterial unterschiedlichen Formats.[544] Für die Außenverkleidung wurde Tura-Kalkstein gewählt. An der Südseite ist ein größeres Stück der Außenverkleidung vorhanden, welches von der Restaurierung durch Chaemwaset, Sohn Ramses II., berichtet. Über Stufenhöhe und -breite liegen keine Angaben vor.

Bei der Pyramide des Unas sind zwei Veränderungen gegenüber den anderen Pyramiden der 5. Dynastie festzustellen: Der Grabkorridor hat keinen Knick in Richtung Osten und die Wände der Grabkammern sind erstmals mit Pyramidentexten versehen.

5.1.2.17 Die **Pyramide Lepsius XXIV**

Abusir
Höhe: ?
Länge der Basis: 60 E/31,5 m
Neigungswinkel: 58º–61º

Bei dieser Pyramide handelt es sich um ein kleines Bauwerk südlich der Pyramide des Neferefre in Abusir, welches von Lepsius mit der Nummer XXIV aufgenommen wurde. An dieser Stelle wird auf die neueren Ausgrabungen des tschechischen Teams unter Verner und seine daraufhin veröffentlichte Auffassung zur Bauweise der Pyramiden des AR kurz eingegangen.[545] Aufgrund der völlig zerstörten Pyramide konnten dabei interessante Beobachtungen über die Bauweise und das Innere des Kernmauerwerks gemacht werden.[546] Die unterste Stufe ist in ähnlicher Bauweise wie die der Pyramide des Neferefre und der Pyramide Lepsius XXV gebaut;[547] die Wände des Grabkorridors und der Grabkammer sind dort mit gut behauenen Steinen ausgeführt; das Mauerwerk dahinter besteht aus kleinen Steinen, Bruchsteinen und Schotter.

Verner gibt die Abmessungen der Basislänge der Pyramide Lepsius XXIV mit 60 E an. Der Neigungswinkel liegt aufgrund von in situ gefundenen Verkleidungssteinen zwischen 58º und 61º. Das Mauerwerk des Pyramidenstumpfes hat noch eine Höhe von ca. 5 m und umfasst die erste Stufe des Kernmauerwerks sowie die unterste Schicht der zweiten Kernstufe.

[543] Stadelmann, Pyramiden, S.185.
[544] Tietze, Pyramide, S.59.
[545] Verner, Lepsius XXIV 1997; Verner, Lepsius XXIV 1998.
[546] Verner, Lepsius XXIV, 2004.
[547] Verner, Lepsius XXIV, 1998, S.146–147.

Die zweite Stufe besitzt ebenso eine äußere Mauer aus gut behauenen Steinen und im Inneren an drei Ecken zum Zentrum hin verlaufende schmale Mauern. Verner zieht daraus den Schluss, dass die Bauweise der zweiten Stufe sich grundlegend von der der ersten unterscheidet. Er weist daraufhin, dass beim Bau des Sockels für das Sonnenheiligtum des Niuserre in Abu Gurob ebenfalls diagonal ausgeführte Mauern innerhalb des Sockels nachgewiesen wurden.[548] Diese Bauweise ist dann auch wieder im MR bei den Pyramiden des Sesostris I. in Lischt,[549] des Amenemhet II. in Dahschur[550] und des Sesostris II. in el-Lahun[551] zu beobachten. Verner stellt die Frage, ob diese Bauweise nicht auch schon bei den Pyramiden des AR angewandt worden sei.

Bei den Grabungsarbeiten wurde in der Grabkammer neben Trümmern des Sarkophags und Fragmenten der Grabausstattung auch die beschädigte Mumie einer Frau entdeckt. Die archäologischen Gegebenheiten sollen nicht ausschließen, dass es sich um die Inhaberin der Pyramide gehandelt hat.[552] Allerdings ist bei der Mumie das Gehirn durch die durchbrochene Nasenscheidewand entnommen worden. Diese Vorgehensweise ist aber erst seit Anfang des MR belegt. Es ist daher sehr gut möglich, dass die Pyramide Lepsius XXIV erst in dieser Zeit bzw. am Ende der ersten Zwischenzeit errichtet wurde. Dies würde dann auch die Bauweise mit diagonal angelegten Kernmauern erklären. Die von Verner aufgestellte Hypothese, wonach die Bauweise mit diagonal ausgeführten Verstrebungsmauern schon im AR angewandt wurde, kann daher in Zweifel gezogen werden.

5.1.2.18 Die Pyramiden der 6. Dynastie

Saqqara
Höhe: 53 m/100 Ellen
Länge der Basis: 150 E/79 m
Neigungswinkel: 53º

Die 6. Dynastie erstreckte sich über ca. 130 Jahre, in der u.a. die Könige Teti, Userkare,[553] Pepi I., Merenre (Nemtiemsaf I.), und Pepi II., herrschten.[554] Beim Bau ihrer Pyramiden in Saqqara setzten sie die Tradition der Bauweise der 5. Dynastie weitgehend fort.

Die Pyramiden hatten alle die gleichen Abmessungen (150 E/79 m Basislänge, 53º Neigung und somit 100 E/53 m Höhe) und waren als Stufenpyramiden (5 Stufen) errichtet. Die Steinfüllung der Stufen sowie zwischen den Stufen und der Verkleidung entsprach ebenfalls der in der 5. Dynastie entwickelten Bauweise. Die Grabkammern lagen alle mit ihrem Niveau 8 m unterhalb des Baugrundes und wurden in offener Bauweise errichtet. Gewaltige Giebeldächer bildeten die Abdeckung.

Bei den Ausgrabungsarbeiten von Leclant und Labrousse im Pyramidenbezirk Pepi I.,[555] die seit 1988 regelmäßig stattfinden und in deren Verlauf insbesondere 7 Königinnenpyramiden entdeckt und teilweise rekonstruiert wurden, fanden auch umfangreiche Grabungsarbeiten an

[548] Borchardt, Re-Heiligtum, S.33 und Fig.20.
[549] Arnold, Sesostris, S.66.
[550] Morgan, Dahschur, S.29 und Fig.63.
[551] Perrot, Ägypten, S.204 und Fig.131.
[552] Verner, Pyramiden, S.357.
[553] Von ihm ist keine Pyramide bekannt; seine Regentschaft dauerte nur zwei Jahre.
[554] Nemtiemsaf II. und Königin Nitokris mit insgesamt 3 Regierungsjahren werden hierbei nicht berücksichtigt. Ihre Gräber wurden bisher nicht gefunden (Verner, Pyramiden, S.415).
[555] Leclant, Pepi I.

der Pyramide Pepi I. statt. Dabei konnte die Bauweise mit Kernmauerwerk, Verkleidungsmauerwerk und äußerer Verkleidungsschicht sowie Bruchsteinmaterial innerhalb des Kernmauerwerks einwandfrei nachgewiesen werden.[556]

5.1.3 Die Pyramiden der Ersten Zwischenzeit und des Mittleren Reiches

Die 8. bis 10. Dynastie umfasst einen Zeitraum von ca. 100 Jahren;[557] in diesem Zeitraum herrschte eine Vielzahl von Königen, der einzelne jeweils nur für einige Jahre und meist nur in regional abgegrenzten Gebieten und teilweise zeitlich parallel.

Nachdem Pepi II. seine Pyramide vermutlich in der ersten Hälfte seiner 60-jährigen Herrscherzeit errichten ließ, sind über einen Zeitraum von ca. 130 Jahren mit Ausnahme je einer kleinen Pyramide des memphitischen Königs Ibi und des regionalen Herrschers Chui – beide aus der 8. Dynastie[558] – keine Pyramidenbauten bekannt.

Die Pyramide des Ibi

Diese kleine Pyramide wurde nahe dem Aufweg zur Pyramide Pepis II. errichtet und entspricht in ihren Abmessungen (Basislänge ca. 31,5 m) den Königinnen-Pyramiden Pepis II. Der Pyramidenkern bestand aus zwei Stufen. Mit der Verkleidung ist nicht begonnen worden.[559]

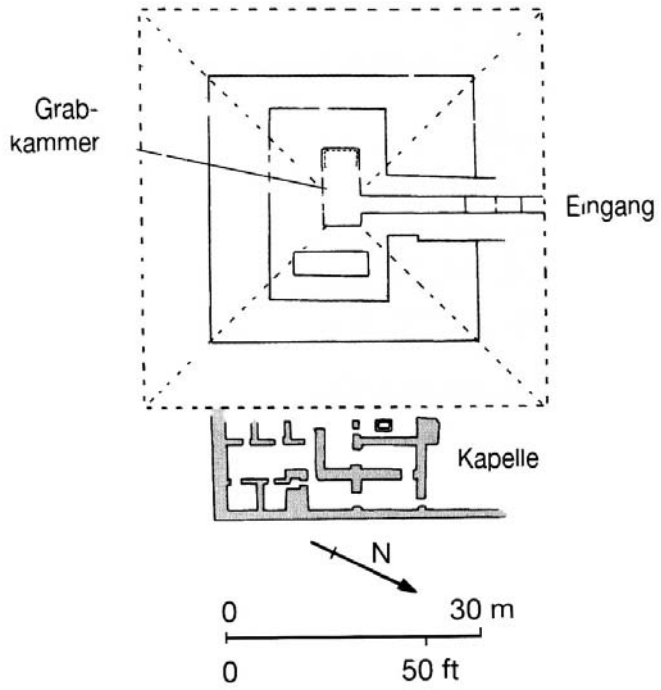


Abb. 5.1.3.1 Grundriss der Pyramide des Ibi

[556] Anlässlich eines Besuches der Grabungsstätte am 20.03.2006 konnte darüber ein Meinungsaustausch geführt werden.
[557] Beckerath, Chronologie, S.188; die 7.Dynastie dauerte nach Manetho nur 70 Tage (Quelle Beckerath, Chronologie, S.151).
[558] Sie befand sich in der Nähe des Aufweges zur Pyramide Pepis II.
[559] Lehner, Schätze, S.164.

Die Pyramide des Chui

Ebenfalls aus der 8. Dynastie ist ein König Chui belegt,[560] dem eine in Kom Dara gebaute Pyramide zugeschrieben wird[561]. Der Ausgräber, Kamal, hielt sie ursprünglich für eine Mastaba.[562] Der Ziegeloberbau mit abgerundeten Ecken fiel schräg zu einer quadratischen Grundfläche mit ca. 130 m Basislänge ab.[563] Diese Abmessung gleicht etwa derjenigen der Pyramide des Djoser. Die Bauweise entspricht nicht mehr der klassischen Bauweise im AR. Für eine Zuordnung zu den Pyramidenbauwerken spricht die Anlage einer unter dem Bodenniveau angelegten Grabkammer mit einem absteigenden Korridor (Abb. 5.1.3.2). Andererseits lassen die Ziegelbauweise und der Bau nur einer Stufe wohl auch den Schluss zu, dass das Grabmal als Mastaba angelegt wurde.

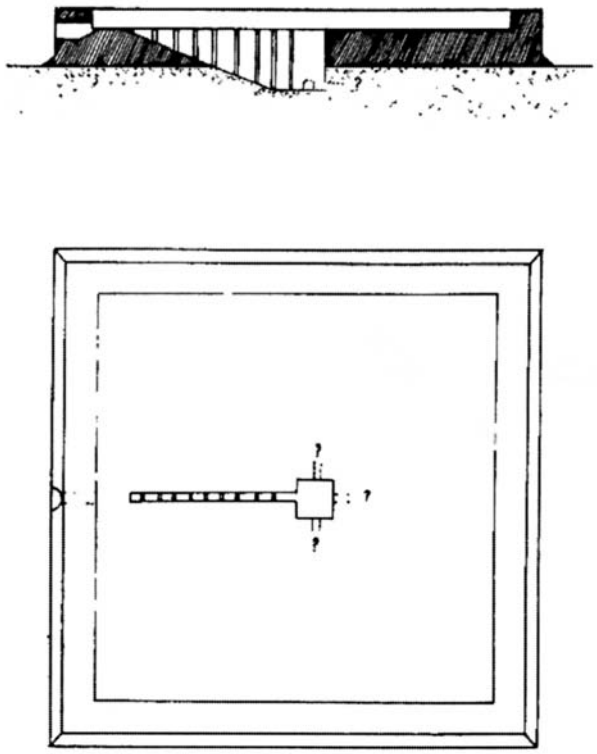


Abb. 5.1.3.2 Grundriss und Schnitt der Pyramide des Chui

Wie bereits erwähnt, führt Polz in seiner Habilitationsschrift aus, dass nach dem pAbbott davon ausgegangen werden kann, dass in der thebanischen Nekropole die Grabanlage des Mentuhotep II. von einer kleineren Pyramide bekrönt war.[564] Dennoch ist anzunehmen, dass über diesen langen Zeitraum hinweg die Kenntnisse über Planung und Bau großer Pyramiden – wenn überhaupt – nur theoretisch weitergegeben werden konnten.

Erst zu Beginn der 12. Dynastie im MR, als die Residenz wieder nach Norden verlegt wurde, kehrte Amenemhet I. zur Tradition des Königsgrabes in Form eines Pyramidenkomplexes zurück und errichtete in Lischt seine Pyramide.

[560] Beckerath, Chronologie S.151, FN 665.
[561] Aufrère, temples.
[562] Fakhry, Pyramids, S.202ff.
[563] Lehner, Geheimnis, S.164.
[564] Polz, Habilitation, Kapitel 3.5, S.286ff.; Lehner, Geheimnis, S.166ff.

5.1.3.1 Die Pyramide Amenemhets I.

Lischt
Höhe: ca. 59 m
Länge der Basis: 84 m
Neigungswinkel: 54,5º

Bis auf die Position des Eingangskorridors, der weiterhin nach Norden ausgerichtet ist, gingen die Baumeister des MR offenbar neue Wege bei der Konstruktion und Anlage der Grabanlage.[565] So führt von der in Granit errichteten kleinen Grabkammer im Zentrum der Pyramide ein Schacht senkrecht nach unten, der wegen des anstehenden Grundwassers noch nicht erforscht werden konnte.[566] Beim Bau der Pyramide wurde neben kleinen lokalen Kalksteinblöcken in größerem Umfang Steinmaterial aus den Taltempeln und von den Aufwegen der Pyramidenkomplexe in Gisa und Saqqara verwendet.[567] Dieses Material wurde im inneren Mauerwerk der Pyramide des Amenemhet I. verbaut.[568] Die Zwischenräume wurden mit Sand, Schutt und Ziegeln aufgefüllt.[569] Die Außenverkleidung bestand aus einer Steinschicht.

5.1.3.2 Die Pyramide Sesostris' I.

Lischt
Höhe: ca. 61 m
Länge der Basis: 105 m
Neigungswinkel: 49º 24'

Bei Errichtung der Pyramide Sesostris' I. – ebenfalls in Lischt – ist eine weitere, neuartige Pyramidenbauweise zu beobachten:[570] Das Kernmauerwerk besteht aus kreuzförmig angelegten Steinmauern (Rippen) mit weiteren Verzweigungen; die Zwischenräume sind mit Kalksteinsplittern, Erde und Sand aufgefüllt.

Vom Norden her führte der steil abfallende Eingangskorridor zu den Grabkammern. Am Ende der 1882 von Maspero zerstörten Blockiereinrichtung verhinderte bisher Grundwasser eine weitere Erforschung. Allerdings erreichten Grabräuber die Kammern des Königs durch einen Grabräubertunnel.[571] Offensichtlich lag der Grundwasserspiegel in früherer Zeit tiefer.

5.1.3.3 Die Pyramide Amenemhets II.

Dahschur
Höhe: ?
Länge der Basis: ca. 50 m (?)
Neigungswinkel: ?

Die Pyramide Amenemhets II. ist weitgehend zerstört und wenig erforscht. Sie wurde als Steinbruch benutzt, um den Tura-Kalkstein, aus dem die Außenverkleidung und das Innen-

[565] Jánosi, Amenemhet I.
[566] Arnold, Pyramiden, S.329.
[567] Goedicke, Amenemhet I.
[568] Ägyptische Pyramiden 1, S.192.
[569] Stadelmann, Pyramiden, S.234.
[570] Arnold, Sesostris, S.66.
[571] Arnold, Pyramiden, S.331.

skelett wohl bestanden, für andere Bauten zu gewinnen. Das Dach der Grabkammer bildeten riesige Giebelbalken.

5.1.3.4 Die Pyramide Sesostris' II.

El-Lahun
Höhe: 48,6 m
Länge der Basis: 107 m
Neigungswinkel: 42,5º

Das Fundament der Pyramide bildet ein Felshügel aus Kalkstein. Davon geht ein strahlenförmig angelegtes Mauerskelett aus Kalksteinblöcken aus, dessen Zwischenräume mit ungebrannten Nilschlammziegeln aufgefüllt wurden. Der darauf aufsetzende obere Teil der Pyramide besteht ebenfalls aus ungebrannten Nilschlammziegeln. Für die Außenverkleidung wurde Kalkstein verwendet.

5.1.3.5 Die Pyramide Sesostris' III.

Dahschur
Höhe: 78 m
Länge der Basis: 105 m
Neigungswinkel: 56º

Sesostris III. baute seine Pyramide etwas nordöstlich der Roten Pyramide in Dahschur direkt am Rand der Hangkante zum Fruchtland. Der Ziegelkern ist in horizontaler Bauweise errichtet. Erstmals wurde auf ein Mauergerippe aus Kalkstein völlig verzichtet. Die Ziegel wurden ohne Mörtel verlegt; die Zwischenräume sind mit Sand verfüllt. Einer exakt verlegten Außenverkleidung mit Kalksteinen, die auf Dauer für den Schutz der doch sehr verwitterungsabhängigen inneren Struktur der Pyramide zu sorgen hatte, kam große Bedeutung zu. Die Blöcke der Außenverkleidung waren mit Bronzekrampen gegen Verrutschen miteinander verbunden.[572]

5.1.3.6 Die Pyramiden Amenemhets III.

5.1.3.6.1 Die Pyramide Amenemhets III. in Dahschur

Höhe: 75 m
Länge der Basis: 105 m
Neigungswinkel: 57º

Bereits zu Lebzeiten seines Vaters Sesostris III. begann Amenemhet III. mit dem Bau einer Ziegelpyramide in Dahschur östlich der Knickpyramide, die mit Kalkstein verkleidet wurde.[573] Ebenfalls aufgrund des unsicheren Untergrunds traten bereits in der Bauphase statische Probleme auf. Die Giebeldächer der Kammern und Korridore bekamen gewaltige Risse und mussten abgestützt werden. Als Grab kam die Pyramide daher nicht mehr in Betracht.

[572] Arnold, Building, S.126, Fig.4.27 und S.178, Fig.4.109.
[573] Arnold, Amenemhet III.; Lehner, Geheimnis, S.179ff.

5.1.3.6.2 Die Pyramide Amenemhets III. in Hawara

Höhe: 58 m
Länge der Basis: 105 m
Neigungswinkel: 48º45'

Als Ersatz für die nicht nutzbare Pyramide in Dahschur wurde dann eine weitere Ziegelpyramide – diesmal in Hawara – errichtet.[574] Der Pyramidenkern aus Ziegeln war mit einer Außenverkleidung aus Kalkstein versehen. Wie auch Snofru bei der Roten Pyramide verringerte Amenemhet III. in Hawara bei seiner zweiten Pyramide den Neigungswinkel.

5.1.3.7 Pyramiden der 13. Dynastie

Den etwa fünfzig Herrschern der ausgehenden MR (13. Dynastie) konnten bisher nur den Königen Chendjer und des Ameni-Qemau Pyramiden zugeordnet werden.[575] Darüber hinaus sind zahlreiche Pyramidenanlagen aus Dahschur und Saqqara bekannt, die wahrscheinlich ebenfalls in diesen Zeitraum einzuordnen sind, deren Zuordnung zu einzelnen Herrschern bisher jedoch nicht möglich ist.

Die Bauweise dieser Pyramiden unterscheidet sich nicht wesentlich von denen der 12. Dynastie; allerdings waren die Abmessungen geringer. Die Pyramiden wurden ebenfalls aus Lehmziegeln mit einem äußeren Mantel aus Kalksteinen errichtet. Die kostengünstige und auch weniger Zeit erfordernde Bauweise – gegenüber der Bauweise der Pyramiden im AR – fand hier ihren Abschluss.

Deutliche Unterschiede sind in den Kammersystemen zu erkennen. Diese sind weitaus umfangreicher und individueller als in der 12. Dynastie üblich gestaltet.

5.2 Zusammenfassung: Archäologische Befunde und Entwicklung der Bautechniken im Alten Reich

Die Pyramide des Djoser wurde – ausgehend von einer zuerst errichteten Mastaba – in mehreren Schritten als Schichtpyramide mit zwei Schichten je Stufe gebaut. Die grundlegenden Bauverfahren der Schichtpyramiden wurden während dieser Zeit entwickelt: Um einen Kern wurden Steinschichten mit nach innen geneigten Steinlagen angefügt.

Die Pyramidenstümpfe der von den Königen Sechemchet und Chaba (?) begonnenen Bauwerke sowie die kleinen Pyramiden (Huni?) folgten diesem Bauprinzip. Geglättete Außenverkleidungen wurden nicht nachgewiesen.[576]

Auch die erste Pyramide des Snofru in Meidum wurde als Schichtpyramide in mehreren Bauphasen errichtet. Dabei wurden die sichtbaren Außenflächen der Stufen der Bauphasen E 1 und E 2 in Kalkstein ausgeführt und geglättet. In der letzten Bauphase wurden die Stufen der Bauphase E 2 mit einer weiteren Schicht (E 3) mit gleich bleibender Steigung ausgefüllt, die mit feinkörnigem Kalkstein verblendet war. Der Wechsel von der äußerlich sichtbaren stufenförmigen Schichtpyramide zur Pyramide mit einer von außen gesehen gleich bleibenden Nei-

[574] Arnold, Hawara; Lehner, Geheimnis, S.181ff.
[575] Theis, Pyramiden
[576] Eine Ausnahme bildet die Verkleidung der untersten Stufe der kleinen Pyramide in Saujet el-Meitin.

gung fand in Meidum – parallel zum Bau der Knickpyramide in Dahschur Süd – statt. Auch die Kultpyramide in Meidum wurde als Schichtpyramide errichtet.

Über die Bauweise der Knickpyramide und ihre innere Struktur kann keine archäologisch belegte Aussage getroffen werden. Nachdem der Bau nur etwa 12–15 Jahre nach Baubeginn der Pyramide in Meidum begonnen wurde und zu diesem Zeitpunkt dort offensichtlich keine grundsätzlichen Schwierigkeiten mit dem Bauprinzip der Schichtpyramiden aufgetreten waren, spricht viel dafür, dass auch der Bau der Knickpyramide nach diesem Prinzip begonnen wurde. Dass die Knickpyramide im Inneren aus einer einschließlich der geglätteten Verkleidung fertig gestellten kleineren Pyramide (Basislänge 300 E, Neigung 57,3º) bestand und später eine weitere Außenverkleidung mit gleich bleibender Steigung in der unteren Hälfte erhielt, wie Maragioglio und Rinaldi sowie Dorner vermuten, ist – wie an anderer Stelle (Kapitel 5.1.1.5.2) bereits ausgeführt – nicht schlüssig.

Nach Anbringen dieser zusätzlichen äußeren Schale mit gleich bleibender Neigung erfolgte der Weiterbau der Pyramide ab einer Höhe von 90 Ellen/47 m mit einem geringerem Neigungswinkel. Dabei ist auch eine Änderung der Bauweise festzustellen: Die Steinlagen unter der Verkleidungsschicht wurden nach oben zunehmend weniger schräg nach innen und mehr und mehr horizontal verlegt. Die verwendeten Steine hatten ein wesentlich kleineres Format als die bei der nachträglich angebrachten äußeren Schale im unteren Bereich.

Der Bau der Nebenpyramide der Knickpyramide erfolgte nach eben diesem „neuartigen“ bzw. geänderten Bauprinzip horizontal verlegter Steinschichten und kann durchaus als „Test“ für die Bauweise nachfolgender Pyramiden mit horizontal verlegten Steinen angesehen werden.

Der Wechsel vom Prinzip der schräg nach innen geneigten Steinlagen, wie es für die Schichtpyramiden typisch ist, hin zur Bauweise mit horizontal verlegten Schichten, die wiederum für die weiteren Pyramiden der 4. Dynastie typisch ist, fand demnach während der Regierungszeit des Snofru beim Bau der oberen Hälfte der Knickpyramide, deren Kultpyramide und der Roten Pyramide statt. Die Ursachen dafür sind in den bautechnischen Schwierigkeiten bei der Errichtung der Knickpyramide zu suchen. Im Einzelnen wird auf Gründe des Wechsels der Bauweise von der Schicht- zur Stufenpyramide im Kapitel 5.3 eingegangen.

Die Rote Pyramide weist erstmals horizontal verlegte Steinschichten des Verkleidungsmauerwerkes auf. Wegen dessen guten Erhaltungszustandes ist wie bei der Knickpyramide wiederum keine archäologisch belegbare Aussage über die Struktur des dahinterliegenden Kernmauerwerkes möglich.[577] Es ist jedoch aufgrund der negativen bautechnischen Erfahrungen und Änderungen beim Bau der Knickpyramide unwahrscheinlich, dass das Kernmauerwerk aus geneigten Schichten besteht.

Clarke und Engelbach weisen darauf hin, dass insbesondere bei der Roten Pyramide ein signifikanter Wechsel zu dem großformatigen Mauerwerk, wie es bei den Pyramiden in Gisa seinen Höhepunkt erreicht, stattgefunden habe. Parallel dazu müssten auch neu entwickelte Verfahren für den Materialtransport eingeführt worden sein.[578]

Der – bezogen auf die bisherigen Regierungsjahre des Snofru – späte Beginn des Baus der Roten Pyramide und die daraus sicherlich an die Baumeister ergangene Vorgabe, mit einer möglichst kurzen Bauzeit auszukommen, könnte auch mit zur Verwendung größerer Steine

[577] Maragioglio, III, S.126.
[578] Clarke und Engelbach, S.122.

und damit zu neuen Bauverfahren geführt haben. Bei der Errichtung der Pyramide mit einem Kernstufenmauerwerk und Verkleidungsmauerwerk kann – wie in Kapitel 8 gezeigt werden wird – durch gleichzeitiges Bauen an allen vier Pyramidenseiten die Bauzeit auf ein Minimum reduziert werden. In dieser Epoche einer intensiven Pyramidenbautätigkeit wurden mit Sicherheit auch weitere bautechnische Erfahrungen gemacht, die beim Bau der folgenden großen Pyramiden Anwendung fanden.

Es bietet sich daher die Schlussfolgerung an, dass das Kernmauerwerk der Roten Pyramide aus Stufen mit horizontaler Steinverlegung besteht und damit die Bauweise der Stufenpyramiden ihren Anfang nimmt.

In der Fachwelt wird meist nur vom Wechsel von der „Stufenpyramide“ (fälschlicherweise gebrauchter Ausdruck für Schichtpyramide) hin zur „echten“ Pyramide während der Herrschaft des Snofru gesprochen, ohne dass man sich jedoch über die bautechnischen Gegebenheiten im Klaren zu sein scheint.

Etwa 80 Jahre nach dem Bau der ersten Pyramide des Djoser entwickelte sich die „klassische“ Pyramidenform als königliches Grabmal, die in den kommenden Jahrhunderten weitgehend das Aussehen der Nekropolen bestimmen sollte. Eine Entwicklung im ägyptischen Königsgrabbau von der ersten Ziegelmastaba über die Schichtpyramide hin zur Stufenpyramide mit ihrer Verkleidung mit konstanter Neigung fand damit ihren Abschluss.

Die Beobachtungen an der Bresche in der Südseite und im Grabräubergang der Nordseite der Cheopspyramide sowie an der Bresche auf der Nordseite der Pyramide des Mykerinos zeigen, dass die horizontal mit Steinen gleicher Höhe verlegten Schichten des Verkleidungsmauerwerks nicht mit der inneren Struktur des Kernmauerwerkes übereinstimmen. Dieses besteht bei beiden Pyramiden innerhalb der äußeren Mauer der einzelnen Stufen aus unregelmäßig behauenen Steinen ganz unterschiedlicher Formate, die unsystematisch übereinander angeordnet und mit Mörtel verbunden sind. Zum Teil handelt es sich um Bruchsteine. Herstellung, Transport und Verlegung des Steinmaterials des Kernmauerwerkes erforderten so einen geringeren Aufwand als beim Verkleidungsmauerwerk. Die Stabilität des Bauwerkes – auch gegen äußere Erschütterungen – wurde durch die stufenförmige Kernmauerstruktur erhöht. Über die innere Baustruktur der Pyramide des Chephren kann mangels archäologischer Befunde keine zuverlässige Aussage getroffen werden.

Die Fundamente der Außenverkleidung der Pyramiden wurden stets sehr genau nivelliert und vermessen. Gleiches gilt für die weiteren Steinlagen der äußeren Verkleidungsschicht und deren jeweiligen Rücksprung. Für die Realisierung eines stets gleich großen Rücksprungs war die Einhaltung einer gleich bleibenden Höhe der einzelnen Stufen entscheidend. Entsprechend dem Abbau in den Steinbrüchen entstanden Steinlagen unterschiedlicher Höhe. Nur durch die exakte Einhaltung des vorgegebenen Rücksprungs war es möglich, den angestrebten Neigungswinkel – und damit auch die Höhe der Pyramide – auch bei unterschiedlichen Stufenhöhen exakt einzuhalten. Die leicht unterschiedlichen Neigungswinkel verschiedener Pyramiden können in einer unterschiedlichen Bauvorgabe liegen und sind vielleicht auch auf kleinere Messungenauigkeiten beim Bau der Verkleidungsmauerwerks zurückzuführen. Andererseits lassen sich in vielen Fällen aufgrund der schlechten Erhaltungszustände der Bauwerke die Neigungswinkel nur ungenau bestimmen. Die tatsächliche Pyramidenhöhe war keine exakte Planungsvorgabe; sie ergab sich durch den realisierten Rücksprung über alle Stufen aufaddiert dann von selbst.

Bei der Mastaba des Schepseskaf zeigt sich in der Bauweise trotz der völlig unterschiedlichen Form einer Mastaba anstelle einer Pyramide dennoch eine Ähnlichkeit beim Bau der zwei Stufen mit derjenigen der Stufenpyramiden.

Spuren senkrecht auf die Pyramidenseiten zuführender Baurampen sind an den Pyramiden der 4. Dynastie nirgendwo nachweisbar.

Auch in der 5. und 6. Dynastie wurde an der Stufenbauweise des Kernmauerwerkes der Pyramiden festgehalten. Bei allen Pyramiden dieser Zeitepoche ist dies archäologisch belegt. Dies gilt auch für die Bauweise der einzelnen Kult- und Königinnenpyramiden. Mit dem Bau der Pyramiden des Mykerinos und des Userkaf beginnt eine Reihe von Pyramidenbauten kleinerer Abmessungen im Vergleich zu denen der 4. Dynastie. Diese Entwicklung setzte sich bis gegen Ende der 6. Dynastie (Pepi II.) fort.

Die Art und Weise, in der die Stufen errichtet wurden, änderte sich in der 5. und 6. Dynastie jedoch: Das Kernmauerwerk der einzelnen Stufen besteht aus einer mit gut bearbeiteten Steinen ausgeführten Außenmauer mit leichtem Rücksprung und im Inneren aus Blöcken unterschiedlichen Formats, die meist nicht exakt bearbeitet und mit größeren Mengen Gerölls und Mörtels verbunden sind. Diese Bauweise mit kleineren Steinformaten führte – im Vergleich zu derjenigen für die Pyramiden der 4. Dynastie – zu geringerem Aufwand bei der Steingewinnung und beim Transport des Materials.

Das Verkleidungsmauerwerk, wie es bei den Pyramiden der 4. Dynastie zu beobachten ist und dort aus Lagen gut bearbeiteter und größerer Steinformate besteht, existiert in dieser Form nicht mehr. Der Zwischenraum zwischen den Stufen und der Außenverkleidung aus Kalkstein wird mit Steinen kleineren und unregelmäßigen Formats ausgeführt bzw. damit einfach aufgefüllt. Dies hatte dann nach Abtragen der Außenverkleidung eine starke Verwitterung des Mörtels und ein Einstürzen von Teilen des Kernmauerwerkes zur Folge. Stadelmann,[579] Lehner[580] u.a. sprechen in diesem Zusammenhang von „schlampiger“ Bauweise und Maragioglio von schlechter Qualität des Mauerwerkes.[581] Wahrscheinlicher ist jedoch, dass diese Art der Bauweise vielmehr die Erfahrung im Pyramidenbau widerspiegelt, wonach bei kleineren Pyramiden eine stabile Außenverkleidungsschicht statisch durchaus ausgereicht hat, um den Kern vor wetterbedingter Erosion zu schützen. Es lag sicherlich auch ein Zuwachs an bautechnischer Erfahrung vor. Darüber hinaus wurde auch aus Zeit- und Kostengründen bei dem Bau dieser kleineren Pyramiden absichtlich nicht mehr ein so exakt gebautes Verkleidungsmauerwerk als bei den Pyramiden der 4. Dynastie verwendet, welches dort auch nach Abbau der Außenverkleidung bis heute einer starken Erodierung und Verwitterung standhält.

Senkrecht auf die Pyramiden der 5. und 6. Dynastie zulaufende Baurampen sind archäologisch nicht belegt.

Weiterhin typisch für die Errichtung der Pyramiden dieser Epoche ist die offene Bauweise des Grabkorridors und der Grabkammer selbst.[582] Die Grabkammern wurden ebenerdig angelegt bzw. reichten nur gering in den Untergrund hinein. Der Einbau der bis zu 90 t schweren Kalksteinplatten der Giebeldächer der Grabkammern konnte so einfacher vorgenommen werden.

[579] Stadelmann, Pyramiden, S.160–161.
[580] Lehner, Geheimnis, S.140–141.
[581] Maragioglio, VII, S.86.
[582] Diese offene Bauweise ist allerdings auch schon in der 4. Dynastie bei den Pyramiden des Djedefre und des Nebka zu beobachten.

Borchardt berichtet über Beobachtungen in der Grabkammer des Neferirkare[583] und bei der Pyramide des Niuserre,[584] wonach die Steinplatten der Giebeldächer mit Vertiefungen – vielleicht zum Ansetzen von Hebezangen – versehen waren (Siehe auch Kapitel 4 „Bautechnik im Alten Reich“). Ein weiterer Grund für die offene Bauweise mit den stabilen Wänden links und rechts des Einschnittes könnte also auch die Verwendung von Hebeeinrichtungen zum Transport und Anbringen der gewaltigen Kalksteinplatten sein. Darüber hinaus erlaubte diese Bauweise ein zeitlich paralleles Bauen an dem Grabkorridor und der Grabkammer einerseits sowie an den anderen Seiten der Pyramide am Baukörper selbst.

Die Bauweise der Pyramiden der 12. Dynastie unterscheidet sich wiederum grundsätzlich von derjenigen des AR: Anstelle eines stufenförmig errichteten Kernmauerwerks tritt anfangs ein kreuzförmiges Mauerwerk zur Versteifung, welches später bei der Verwendung von luftgetrockneten Ziegeln auch gänzlich entfällt. Als Baumaterial werden keine hochwertigen Steine, sondern Füllmaterial bzw. später Nilschlammziegel verwendet. Für eine dauerhafte Stabilität der Pyramide war daher eine exakt ausgeführte Außenverkleidung aus Kalkstein besonders wichtig. Die Bauweise der Pyramiden der 12. Dynastie spiegelt den weiteren Fortschritt in der Bautechnik wieder: Auch mit einfacheren Mitteln konnten große Bauwerke preisgünstig und wahrscheinlich auch in kürzerer Zeit als früher errichtet werden. Der Materialtransport war ebenfalls einfacher zu bewerkstelligen. Im Einzelnen wird auf die Entwicklung der Pyramidenbauweise im MR und die Veränderungen gegenüber der des AR im Kapitel 5.4 „Die Weiterentwicklung der Pyramidenbauweise im Mittleren Reich“ eingegangen.

Betrachtet man noch einmal die grundsätzliche Bauweise der Pyramiden des AR, so ist als übereinstimmendes Merkmal festzustellen, dass alle Pyramiden im Kernmauerwerk aus Stufen (Schicht- bzw. Stufenbauweise) bestehen.[585]

Im unmittelbaren Umfeld der Pyramiden vorhandene bzw. senkrecht auf diese zulaufende Baurampen, die nicht dem Transport von Steinen zur Baustelle sondern zum eigentlichen Pyramidenbau verwendet wurden, sind – mit Ausnahme bei der Pyramide des Snofru in Meidum – archäologisch nicht fassbar.

Die Pyramiden des AR wurden in einem Zeitraum von insgesamt ca. 470 Jahren geplant und gebaut. Dabei wurden unterschiedliche Bauweisen erdacht und ausgeführt. Die Bautechnik entwickelte sich in dieser Zeit stetig weiter.

5.3 Der Wechsel von der Schicht- zur Stufenbauweise der Pyramide

Wie bei der Beschreibung der Pyramiden des Djoser, Sechemchet, Chaba, der kleinen Schichtpyramiden am Ende der 3. Dynastie und der Pyramide des Snofru in Meidum im Kapitel 5.1.1 „Schichtpyramiden“ erläutert wurde, bestehen die Bauwerke nach der dort verwendeten Bauweise aus aneinander gefügten Steinschichten, die in einem Winkel von ca. 70º geneigt errichtet wurden.

Die schräge Anordnung der Schichten führt jedoch, wie aus Abb. 5.3.1 „Zugkräfte auf der schiefen Ebene“ hervorgeht, zu einem erhöhten Druck auf den zentralen Kern (Druck- bzw. Zugkraft Z) und zu einer Gewichtskomponente N in Richtung der Schichtlage. Bei dem von

[583] Borchardt, Neferirkare, S.44–45.
[584] Borchardt, Niuserre, S.150.
[585] Bei der Knickpyramide, der Roten Pyramide und der Pyramide des Chephren konnte dies bisher archäologisch noch nicht nachgewiesen werden.

Stadelmann für die Pyramide des Djoser ermittelten Neigungswinkel von 72°[586] betragen die Kräfte Z = G x sin 18° und N = G x cos 18°.

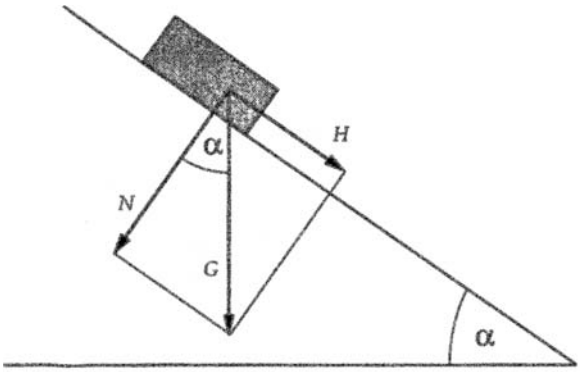


Abb. 5.3.1 Zugkräfte auf der schiefen Ebene

dabei sind
- G Gewicht des Steins
- N = G · cos α
- Z = G · sin α
- α Der Neigungswinkel der Rampe

Daraus ergeben sich die Werte für Z mit 0,31 G und N mit 0,95 G. Das bedeutet, dass das Gewicht der Steine mit 95% schräg nach unten und in Richtung Pyramidenkern mit 31% wirkt.

Die Dicke der einzelnen Schichten beträgt bei der Pyramide des Djoser jeweils 5 Ellen; die Anordnung zeigt Abb. 5.3.2.

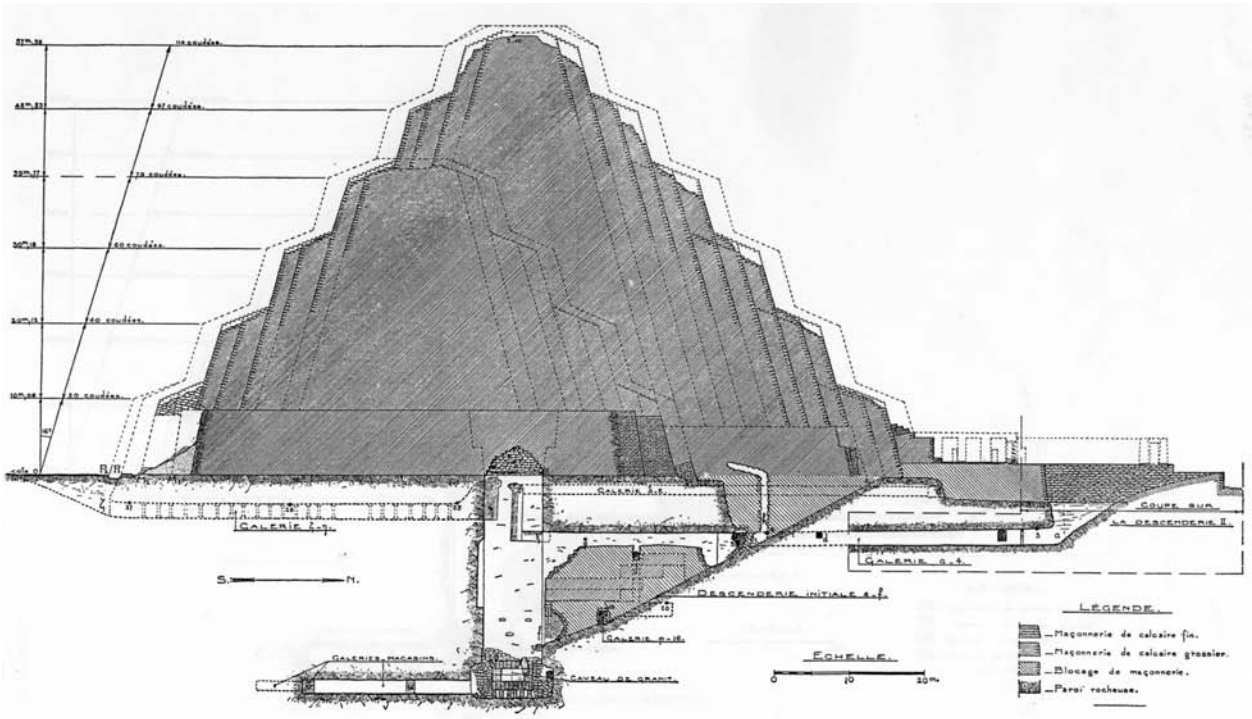


Abb. 5.3.2 Schichtpyramide des Djoser nach Lauer

[586] Stadelmann, Pyramiden, S.51.

Die Steinschichten der Pyramide des Chaba sind aus Abb. 5.3.3 ersichtlich

Abb. 5.3.3 Schichtmauerwerk der Pyramide des Chaba

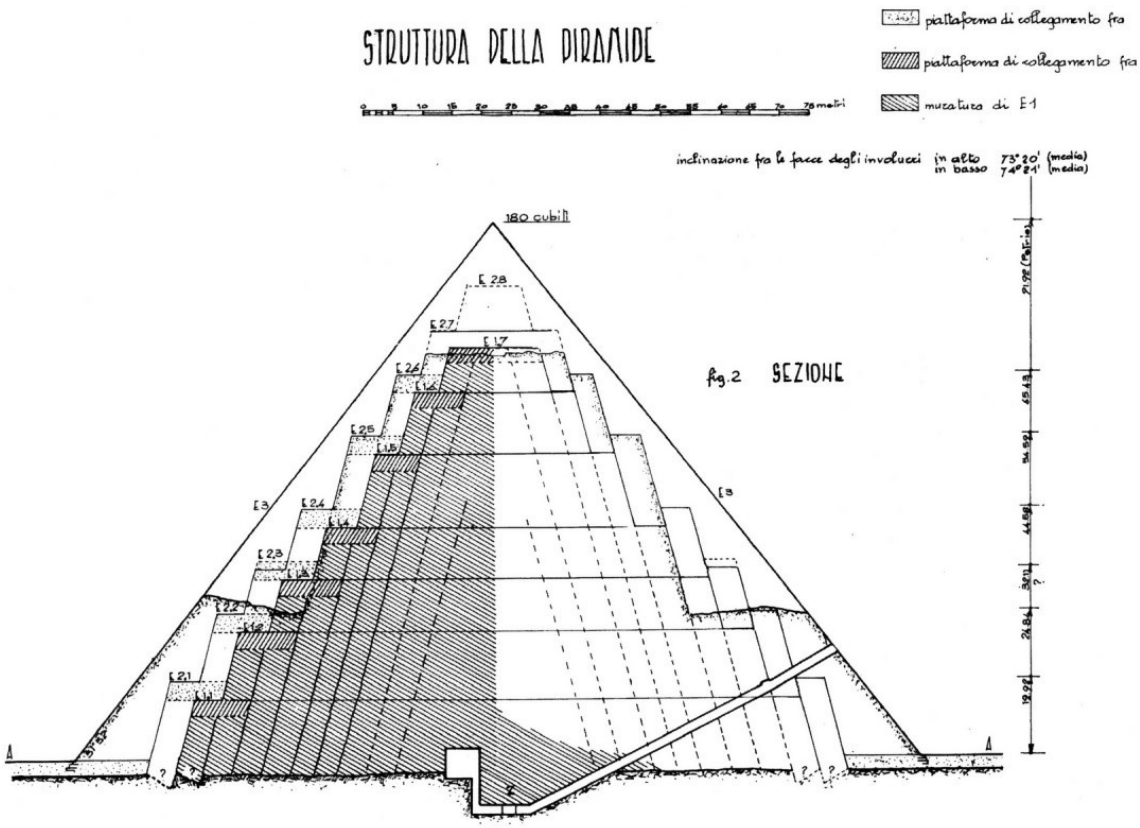


Abb. 5.3.4 Schichtpyramide des Snofru in Meidum

Bei der Schichtpyramide des Snofru in Meidum (Abb. 5.3.4) wurde die Schichtdicke verdoppelt. Wie beim Bau der Pyramide des Djoser fand noch während der Baumaßnahmen eine Erweiterung der Zahl der Schichten (Baustufe E 2) statt.

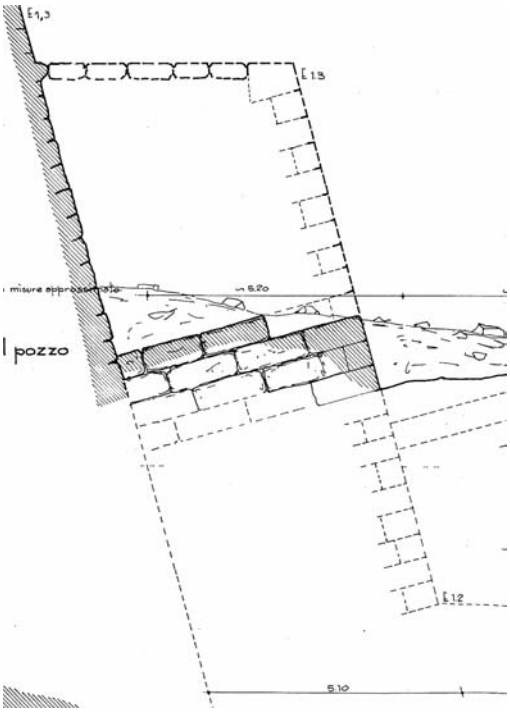


Abb. 5.3.5 Steinlagen innerhalb der Schicht E 1.3 der Pyramide in Meidum

Bei Senkungen des Erdreiches und durch Erdbeben oder sonstige Erschütterungen (Abbau der äußeren Verkleidungsschicht) kommt es bei der Schichtbauweise leicht zu Verschiebungen der einzelnen Schichten untereinander und damit zu statischen Unregelmäßigkeiten innerhalb des Baukörpers. Die einzelnen Schichten haben untereinander keinerlei Verzahnung und kaum eine haftende Verbindung. Die Steine der Schichten sind – z.B. bei der Pyramide in Meidum – sauber und exakt bearbeitet und innerhalb der Schichten mit wenig Mörtel dazwischen übereinander geschichtet (Abb. 5.3.5). Das bedeutet, dass Stöße bei Senkungen oder Erschütterungen des Baugrundes innerhalb des Bauwerkes nicht abgefangen, d.h. nicht gedämpft werden, sondern zu Verschiebungen der Steine bzw. ganzer Schichten führen können.

Die bereits während des Baus bei der Knickpyramide aufgetretenen Senkungen des Baugrundes (siehe Kapitel 5.1.1.5.2 „Knickpyramide“) – vielleicht auch durch ein Erdbeben hervorgerufen – führten daher zu Verwerfungen und Verschiebungen einzelner Schichten, die in den Grabkammern und Gängen sehr deutlich zu beobachten sind.[587] Auch der später um die untere Hälfte der Pyramide gelegte Steinmantel konnte diese Senkungen des Baukörpers nicht aufhalten, um das Bauwerk zu retten.

Spätestens zu diesem Zeitpunkt muss den damaligen Baumeistern klar geworden sein, dass aus Stabilitätsgründen ein anderes Bauverfahren für Pyramiden eingesetzt werden musste, um derartige Schäden am Bauwerk von vornherein auszuschließen. Vielleicht hat dazu auch ein Vergleich mit der Bauform der Mastaba beigetragen, bei der die Steinquader waagerecht in einer nahezu senkrecht mit einer Neigung von 70–80º gebauten Mauer verlegt wurden. Eine Änderung der Verlegung von Steinen begann bereits mit dem Bau der oberen Hälfte der Knickpyramide und deren Kultpyramide. Die Steine wurden nicht mehr nach innen geneigt, sondern in waagerechten Steinlagen verbaut. Bei der Roten Pyramide ist letztere Verlegungsart ausschließlich zu beobachten.

[587] Haase, Knickpyramide 1.

Die neue Stufenbauweise der Pyramiden der 4. Dynastie ist archäologisch bei den Pyramiden des Cheops, des Djedefre und des Mykerinos nachgewiesen (siehe Kapitel 5.1.2.2 „Die Cheopspyramide“, 5.1.2.3 „Die Pyramide des Djedefre“ und 5.1.2.6 „Die Pyramide des Mykerinos“ und die dort gemachten umfänglichen Ausführungen sowie Kapitel 8 „Eine neue Hypothese für den Bau der Pyramiden: Pyramidenbau mit Rampen und Seilwinden“).

In der Bresche an der Nordseite der Pyramide des Mykerinos sind die Mauern der Stufen 3 und 4 sehr deutlich zu erkennen (siehe prinzipielle Anordnung, Abb.5.3.6). Sie bestehen aus sehr gut behauenen und exakt mit einer Neigung von 82º verlegten großen Steinquadern mit Abmessungen bis zu 1,4 m Höhe, 2,3 m Breite und 0,5 m Tiefe (Foto Abb. 8.1.1). Die Oberflächen der einzelnen Stufen sind ebenfalls mit großen gut bearbeiteten Steinquadern ausgeführt. Innerhalb der Außenmauern der Stufen sind Steine, die nur grob behauen sind, mit sehr unterschiedlichen Formaten, oft auch wesentlich kleiner, verbaut. Der Zwischenraum nach allen Seiten ist mit Sand, Tafla oder Mörtel sowie Steinsplittern ausgefüllt. Die Steine liegen zwar direkt aufeinander; die Zwischenräume zwischen den Unebenheiten der Steinblöcke sind aber aufgefüllt. Auf diese Weise wird ein Druckausgleich über die gesamte Lagerfläche herbeigeführt.

Die neuartige Bauweise der Pyramiden der 4. Dynastie besteht also aus einem Kernmauerwerk, welches aus übereinander angeordneten mastabaähnlichen Einzelbauwerken mit jeweils kleinerer Grundfläche besteht. Bei Erschütterungen (Erdbeben) oder Senkungen des Untergrundes sind dann die verbauten Steine in den einzelnen Stufenbauwerken in viel geringerer Weise als bei der geschilderten Schichtbauweise Setzungen oder Verwerfungen ausgesetzt. Durch den Verbund Steine und Füllstoffe kommt es höchstens zu einer Art Rütteleffekt, der keine nennenswerten Setzungen oder Verwerfungen zur Folge hat. Die Steine des Verkleidungsmauerwerks und der Außenverkleidung sind an die stabilen Stufen des Kernmauerwerks angelehnt und nehmen somit ebenfalls keinen merkbaren Schaden.

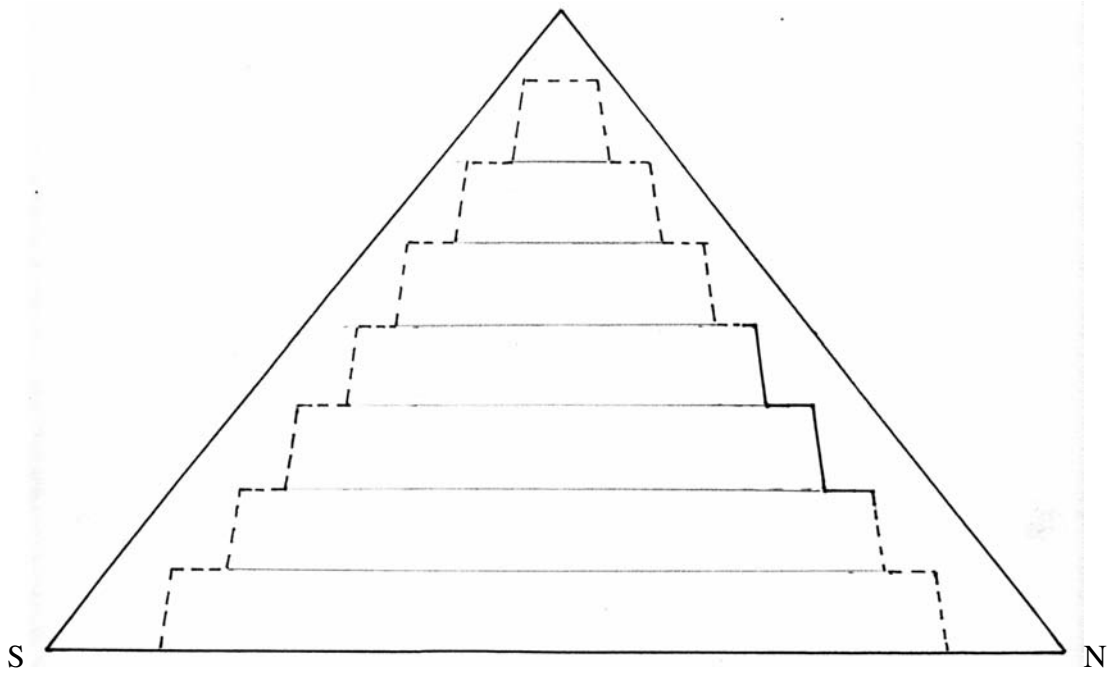


Abb. 5.3.6 Schnitt S–N der Pyramide des Mykerinos mit den archäologisch belegten Stufen in der Bresche der N-Seite (durchgezogene Linien) und den weiteren, rekonstruierten Stufen des Kernmauerwerks in gestrichelter Darstellung.

Auf die sich durch die Einführung des stufenförmigen Kernmauerwerks ergebenden Änderungen für den Bau der Pyramiden wird in Kapitel 8 „Eine neue Hypothese für den Bau der Pyramiden: Pyramidenbau mit Rampen und Seilwinden“ ausführlich eingegangen.

Die Stufenbauweise der Pyramiden setzt sich auch in der 5. und 6. Dynastie fort.

5.4 Die Weiterentwicklung der Pyramidenbauweise im Mittleren Reich

Die massive Bauweise mit z.T. sehr großformatigen Steinen in der 4. und die Steinbauweise in der 5. und 6. Dynastie wurden durch eine Ziegelbauweise beim Bau der Pyramiden im MR abgelöst. Die alte Tradition des Ziegelbaus wurde technisch verbessert. Nach und nach wichen die Steinmauern weitgehend den Ziegelmauern. Die Pyramidenarchitektur des MR veranschaulicht den Fortschritt der Bautechnik beim Einsatz von Ziegeln und Steinen. Durch die Kombination beider Materialien konnten Bauten kostengünstiger, wahrscheinlich schneller und mit einer vereinfachten Logistik errichtet werden. Luftgetrocknete Ziegel waren in kurzer Zeit und in beliebiger Menge unmittelbar an der Baustelle herzustellen und auch leicht zu transportieren.

Wurde bei der Pyramide des Amenemhet I. in Lischt noch von verschiedenen früheren Bauwerken herbeigeschafftes Steinmaterial als Kern der Pyramide verbaut, so änderte sich bereits beim nächsten Pyramidenbau bei Sesostris I. die Bauweise grundsätzlich (Abb. 5.4.1):
Anstelle eines Pyramidenkerns wurde ein Gerippe aus Kalkstein (Mauerskelett) errichtet. Die Zwischenräume wurden mit kleinen Steinen und Geröll aufgefüllt. Die Außenverkleidung bestand aus Kalkstein.

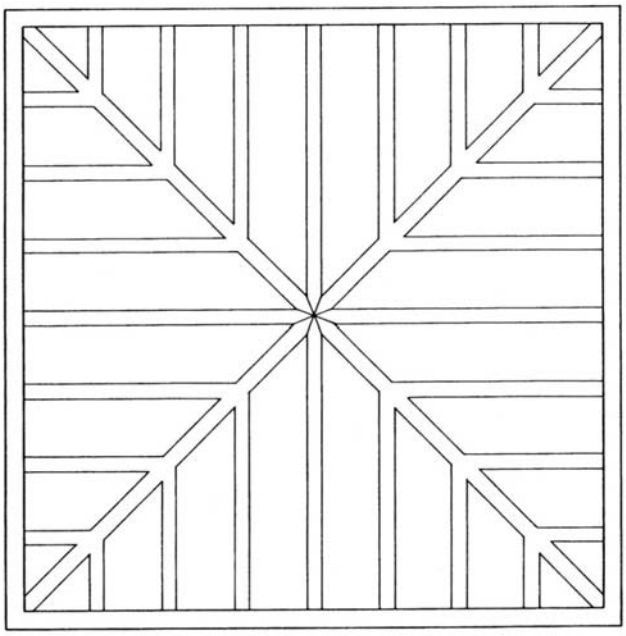


Abb. 5.4.1 Inneres gitterartiges Mauergerüst der Pyramide Sesostris' I.

Die enge Verfugung der Steine untereinander und deren sehr saubere Verarbeitung verhinderten einen Verfall des Bauwerks. Die Steine der Außenverkleidung wurden mit Krampen aus Holz verbunden, um eine hohe Festigkeit gegen Verschiebungen zu erzielen (Abb. 5.4.2).

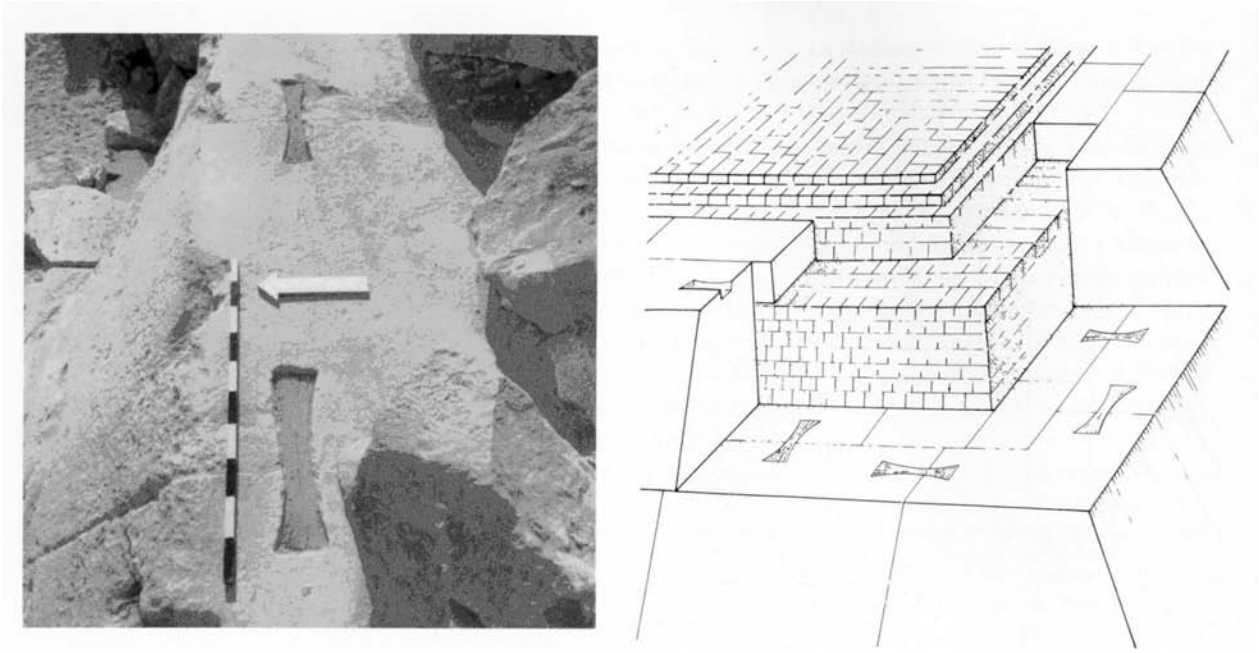


Abb. 5.4.2 Krampen in der Außenverkleidung der Pyramide des Sesostris III. in Dahschur

Bei der Pyramide Sesostris' III. in Dahschur und den beiden Pyramiden Amenemhets III. (Dahschur und Hawara) wurde auf ein Mauergerippe gänzlich verzichtet; der Kern besteht nur noch aus ungebrannten Ziegeln, die in horizontalen Lagen aufgeschichtet wurden. Die Fugen zwischen den Ziegeln und der Außenverkleidung aus Stein wurden mit Sand verfugt; nasser Mörtel wie bei den Steinpyramiden war nicht besonders geeignet. Aus Gründen der Stabilität wurden die Lehmziegel mit der Schmalseite nach außen verlegt.

Erstmals wurden bei den genannten Pyramiden auch komplizierte Bögen und Gewölbe aus Ziegeln erbaut.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass im MR die Bauarchitektur entscheidend weiterentwickelt wurde. Anstelle der massiven Steinbauweise trat die Bauweise mit Ziegeln, die neben bautechnischen Vorteilen auch neue gestalterische Möglichkeiten bot. Die Massivbauweise wurde eine „intelligentere“ Art zu bauen ersetzt: Unter einer dicht verfugten Kalksteinschicht als äußerer Verkleidung wurden leichter herzustellendes Baumaterial (Ziegel) und an der Baustelle vorhandenes Material (Schutt) eingesetzt. Die Pyramiden besaßen kein stufenförmiges Kernmauerwerk mehr. Diese veränderte Bauweise führte dann auch zu geänderten Bauverfahren. Entsprechende Betrachtungen dazu sind nicht Aufgabenstellung dieser Arbeit.

6. Bauzeiten der Pyramiden

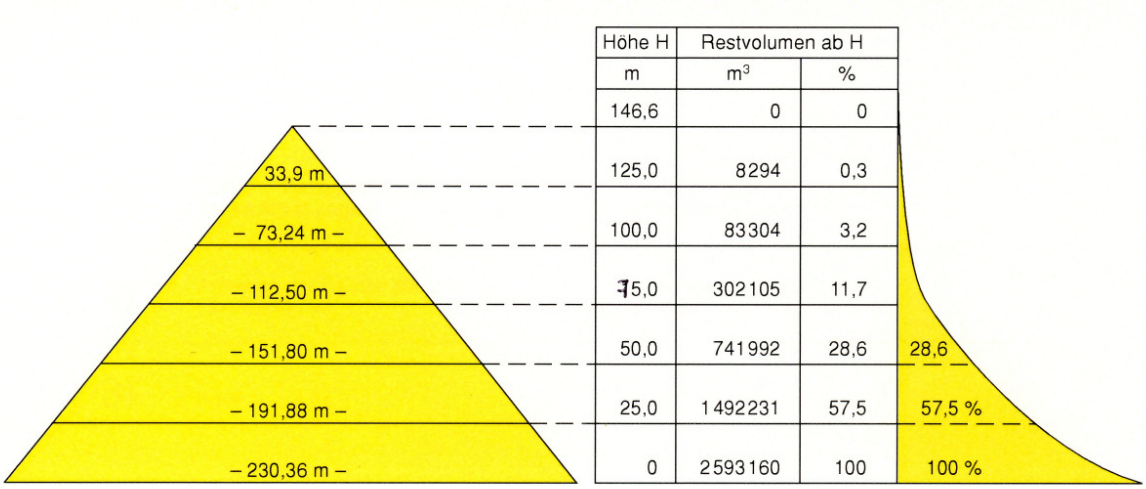
Über die Bauzeiten der Pyramiden im AR liegen keine konkreten Angaben und Berichte vor. Der für die Errichtung einer Pyramide benötigte Zeitraum ist allenfalls aus der jeweiligen Regierungszeit, falls die Pyramide zu Lebzeiten des Königs fertig gestellt wurde, wie dies z.B. bei Snofru, Cheops, Chephren 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).[588]

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.[589]

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 ¼ der Höhe nur noch (¾)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:[590]



Höhe H	Restvolumen ab H		
m	m³	%	
146,6	0	0	
125,0	8294	0,3	
100,0	83304	3,2	
75,0	302105	11,7	
50,0	741992	28,6	28,6
25,0	1492231	57,5	57,5 %
0	2593160	100	100 %

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

[588] Es ist nicht sicher, ob die zwei Pyramiden in Masghuna dem König Amenemhet IV. und der Königin Nefrusobek zugeordnet werden können.
[589] Schäfer; Urkunden I, 236, 12: „Planung, Stricke spannen (Einmessen), Eröffnung (Beginn der Erdarbeiten).
[590] 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 scheiden 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,[591] 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 Grundsteinlegung[592] 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.[593] Ein Bruchstück eines sehr beschädigten Backing Stone weist die Beschriftung „Jahr des 24. Mals ... Jahreszeit“ auf.

[591] Krauss, Bauzeit.
[592] Stadelmann, Pyramiden, S.100.
[593] 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) durchgeführt[594] und dafür 3 Jahre angesetzt.[595] Die gesamte Bauzeit berechnet er mit mindesten 15 Jahren für das Kernmaterial und maximal 22–23 Jahren für die gesamte Pyramide.[596]

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.[597] Er entwickelt unter Einbeziehung der genannten Datumsangaben einen mathematischen Zusammenhang zwischen der Bauzeit der einzelnen Schichten t(x) und einem Verzögerungsfaktor ∂ für den erhöhten vertikalen Transportaufwand. Dieser wird mit Hilfe der o.g. Einbaudaten des Ecksteins und der beiden Backing Stones ermittelt. Aufgrund komplizierter Berechnungen[598] 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 ∂ = 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 ∂ 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“)[599] 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 ausfiel[600] und dass auffallend sei, dass die Datumsangaben auf den Backing Stones der Roten Pyramide nie eine Angabe „… nach der x-ten Zählung …“ überlieferten[601]. Es wird nur eine „… x-te Zählung“ genannt. Gundacker vermutet daher aufgrund seiner Untersuchungen von Baugraffitis an Steinen der Pyramide von Meidum und der Roten Pyramide,[602] dass

[594] Stadelmann, Pyramiden, S.223.
[595] Stadelmann, MDAIK 43, S.234
[596] Stadelmann, MDAIK 43, S.236, 238 und 240.
[597] Auf die Berücksichtigung der horizontalen Transportleistung wird dabei verzichtet.
[598] Formel siehe Krauss, Bauzeit, S.34, Gleichung 3.
[599] Lepsius, Denkmäler I, S.207.
[600] Beckerath, Chronologie S.157.
[601] Lepsius, Denkmäler Abteilung II, Tafel Nr.1f: „16. Jahr, 1. Monat der ersten Jahreszeit“.
[602] Gundacker, Baugraffiti, S.29.

alle Graffitis, 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.[603] Der Bau der Roten Pyramide habe daher mindestens 11 Jahre gedauert.[604]

- 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 Kraus[605] 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.[606] 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.[607] Ähnliches gilt etwa auch für die Bauzeit der Cheopspyramide mit 20 Jahren.

[603] Krauss, Bauzeit, S.30.
[604] Krauss, Bauzeit, S.30; Siehe auch Gundacker, Snofru, S.19.
[605] Krauss, Chronologie, Tabelle 2.
[606] Krauss, Bauzeit, S.37.
[607] 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 konnten[608]. 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.[609]

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.[610] 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 Zeitangaben 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.[611]

[608] 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.
[609] Romer, Pyramid, S.67ff. und Appendix 5, ermittelt aufgrund des Krauss'schen Modells für die Cheopspyramide eine Bauzeit von 14 Jahren.
[610] Stadelmann, MDAIK 36.
[611] 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.[612] 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[613]
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

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[614]
Parry	(Kapitel 7.5.11)	55	Jahre für den Bau der Cheopspyramide[615]

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

Lehner/Haase	(Kapitel 7.4.2)[616]	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

[612] Es handelt sich dabei jeweils um reine Bauzeiten ohne planerische und sonstige Vorbereitungsarbeiten.
[613] 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.
[614] Siehe Abschnitt 7.4.3.
[615] Siehe Abschnitt 7.5.11.
[616] Berechnung durch Keyssner, Baustelle Giza, S.21.

7. Analyse und Bewertung der bisher bekannt gewordenen Bauhypothesen

Im Rahmen dieser Arbeit werden die so genannten mystischen und pseudowissenschaftlichen Ideen und Vorschläge für den Pyramidenbau, mit denen sich Lauer ausgiebig auseinander setzt,[617] nicht berücksichtigt. Auch die „Zuwachstheorie" von Lepsius,[618] 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 Gisa nicht aus Steinbrüchen stammen, sondern vor Ort als eine Art Beton gegossen worden sein sollen.[619]

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.[620]

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:[621]

- (124)[622] … „So wurde das Volk bedrückt, und es dauerte 10 Jahre, ehe nur die Straße gebaut war, auf der die Steine einhergeschleift wurden … Denn die Straße ist … aus geglätteten Steinen hergestellt, in die Tiergestalten[623] eingemeißelt waren …"[624]
- (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, treppenförmig[625] oder wie man es nennen will, gebaut worden; die zur Ausfüllung des Treppendreiecks bestimmten Steine wurden mittels eines kurzen Holzgerüstes hinaufgewunden. So hoben sie sie von der Erde auf den ers-

[617] Lauer, Geheimnis.
[618] Lepsius, Bau.
[619] Barsoum, Große Pyramide.
[620] Herodot, zweites Buch, Kapitel 124–126 Bau der Cheopspyramide; 127 Pyramide des Chephren; 134 Pyramide des Mykerinos.
[621] Übersetzung nach Horneffer, Herodot, S.153–154.
[622] In den Ziffern 124–126 wird der Bau der Cheopspyramide beschrieben.
[623] 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).
[624] 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).
[625] Nach Stein, Herodot: „…stufenförmig, in Absätzen…"

ten Treppenabsatz; dort legten sie sie auf ein anderes Gerüst, durch das sie auf den zweiten Treppenabsatz hinaufgewunden wurden. 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 herabgenommen hatte.[626] Mir ist nämlich beides erzählt worden, weshalb ich beides anführe.[627]
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 Stein[628] …"
- (134) „Er[629] 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 Baurampen 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 Holzgerüstes hochgewunden wurden.
  Auf Grund der archäologischen Befunde (siehe Kapitel 4 „Bautechnik im Alten Reich") kann darunter eine Zugeinrichtung mit Walze (Spill, Seilwinde) verstanden werden, 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.
- 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 sehr ü-

[626] 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.
[627] 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.
[628] Schwarzer Granit aus Assuan (Lloyd, Herodot, S.75).
[629] Gemeint ist Mykerinos.

bereinstimmend mit den archäologischen Befunden dar – wenn man von den Ungenauigkeiten seiner Maßangaben absieht.

7.1.2 Diodor

Diodor[630] schildert in seinen Reisebeschreibungen, Buch I, Kapitel 63, 2 ff.,[631] dass den Ägyptern im AR keine Maschinen (Hebegeräte) zur Verfügung gestanden hätten. Die Steine habe man mittels schräger Erddämme transportiert.[632] 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.[633]

7.1.3 Plinius

Plinius spricht ebenfalls von Terrassen, die mit Hilfe eines sich auflösenden Materials hergestellt worden seien:[634]

> *„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 Umfassungsmantel (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. 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 gibt.

---

[630] 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.
[631] Bissing, Diodor, S.17.
[632] Damit sind vermutlich Rampen gemeint.
[633] Bissing, Diodor, S.22.
[634] Plinius, 36, 17 (12), Übersetzung Littré (Quelle nach Goyon, Cheopspyramide, S.173).

- 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.[635] 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 8º bis 10º

[635] Arnold, Pyramidenbau.

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".*

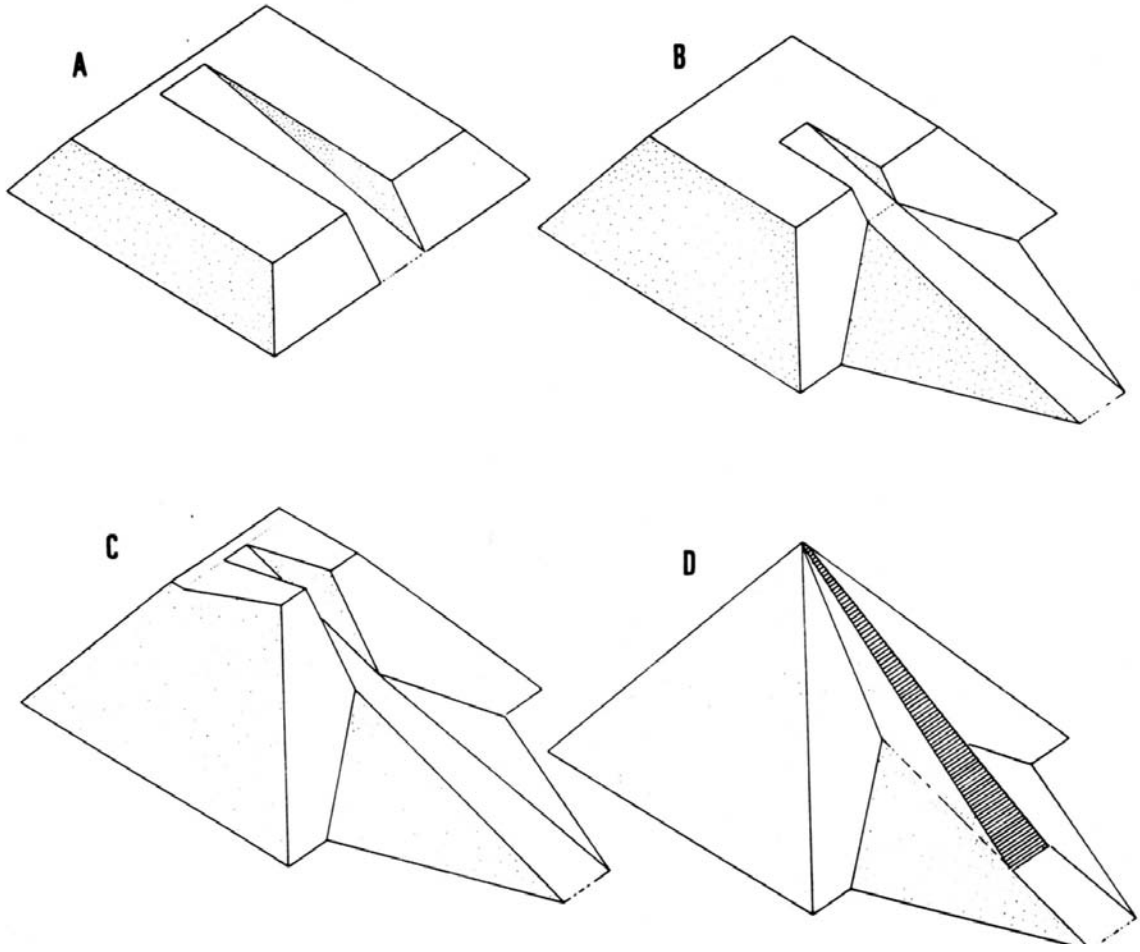


Abb. 7.3.1 Vorschlag von Arnold für den Bau der Cheopspyramide

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,[636] 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.[637] 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). Dies 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 Ochsengespannen. 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 Zusammenhang auf den Vorschlag von Arnold (Kapitel 7.3.1 „Überlegungen zum Problem des Pyrami-

[636] Arnold, Pyramiden, S.347.
[637] Stadelmann, Große Pyramiden, S.266ff.

denbaus nach Arnold“) und (in einer späteren Veröffentlichung) auf den von Hampikian[638] (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 führen würde. Ein Wechsel der Bauweise waagerecht verlegter Steinlagen zu einer Stufenform erscheint inkonsequent und sehr unwahrscheinlich.

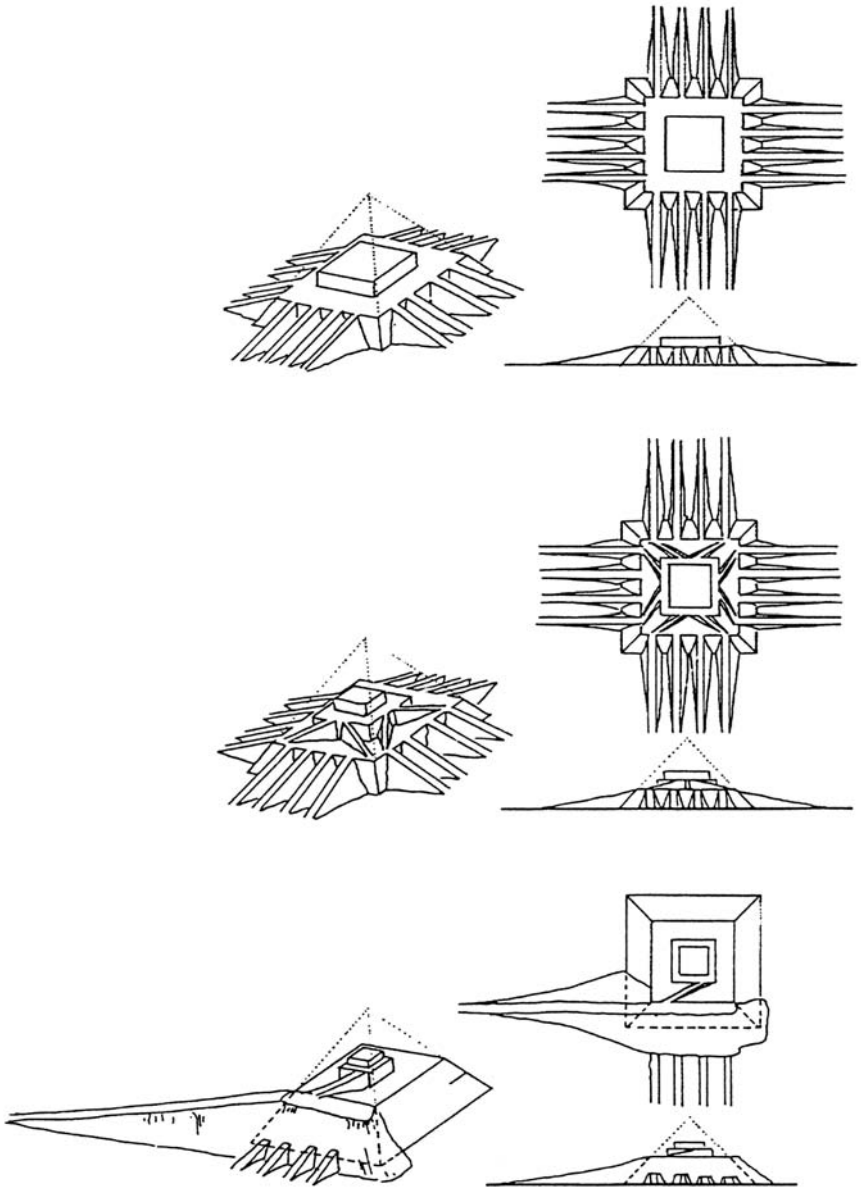


Abb. 7.3.2.1 Vorschlag Stadelmann für den Bau des unteren Teils der Pyramide

[638] Stadelmann, Pyramiden, S.224ff.

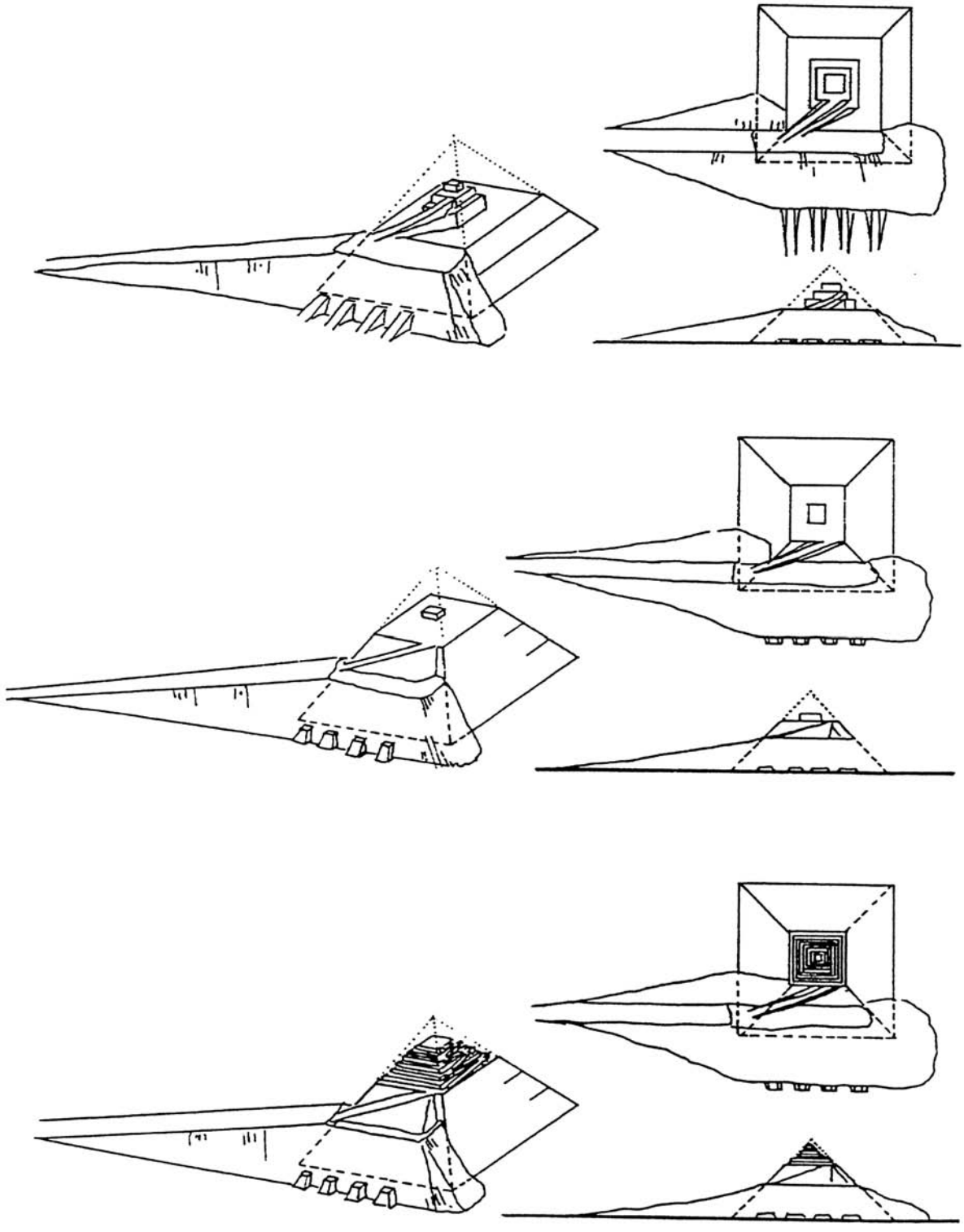


Abb. 7.3.2.2 Vorschlag Stadelmann für den oberen Teil der Pyramide

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:[639] 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.[640] Die Steigung bis zur Höher der obersten Entlastungskammer beträgt etwa 10º. Für den Bau der letzten 7 m der Pyramidenspitze wird die Errichtung einer Plattform aus Lehmziegeln vorgeschlagen.

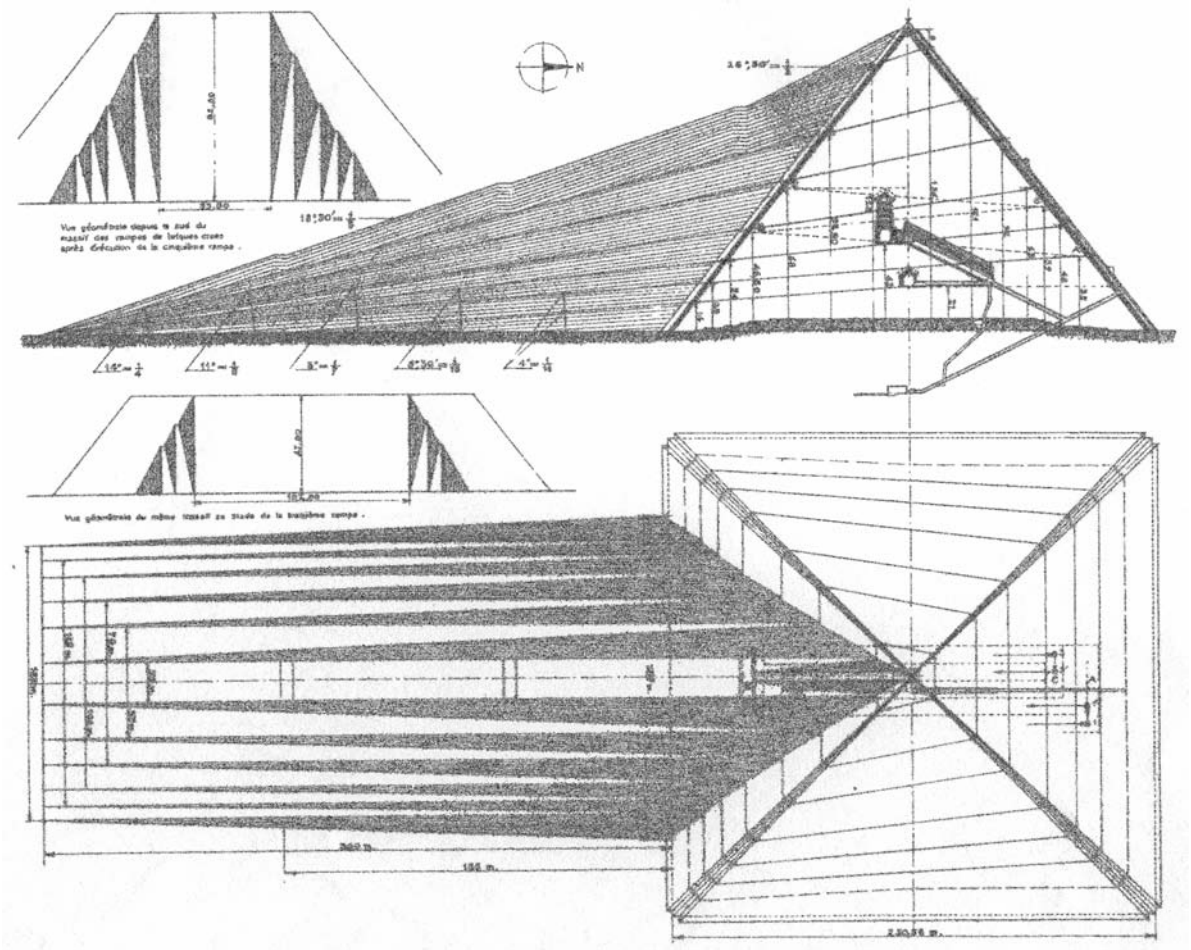


Abb. 7.3.3.1 Lauers Vorschlag für eine Rampenkonstruktion

[639] Lauer, Pyramidenbau.
[640] 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.[641] 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 Goyons 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.[642] 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.[643]

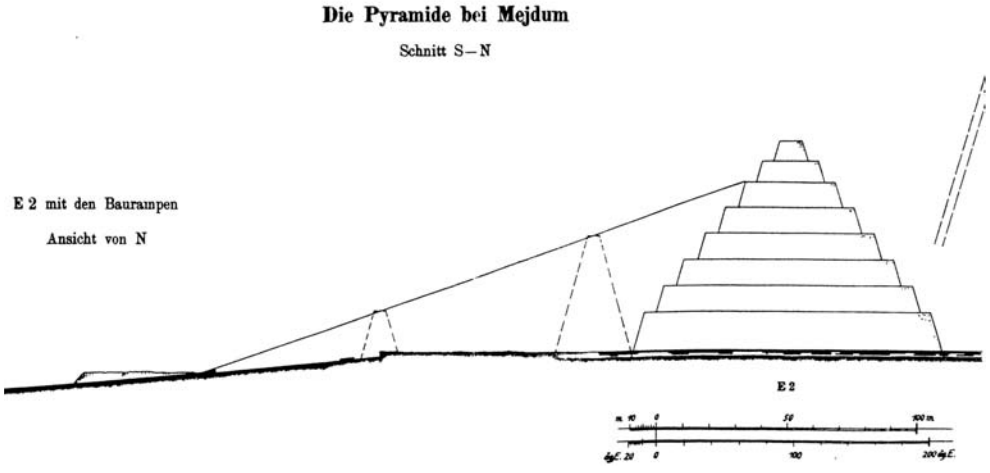


Abb. 7.3.4 Vorschlag einer Rampe nach Borchardt

[641] 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.
[642] Borchardt, Pyramide.
[643] 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.[644]

Einige der in Kapitel 7.2 „Grundsätzliche Lösungsansätze für den Pyramidenbau“ gennnten 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 beschäftigt[645] und dazu einen Beitrag veröffentlicht[646]. 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 10º (Steigungsverhältnis 1:6) an (Abb. 7.3.5.1).

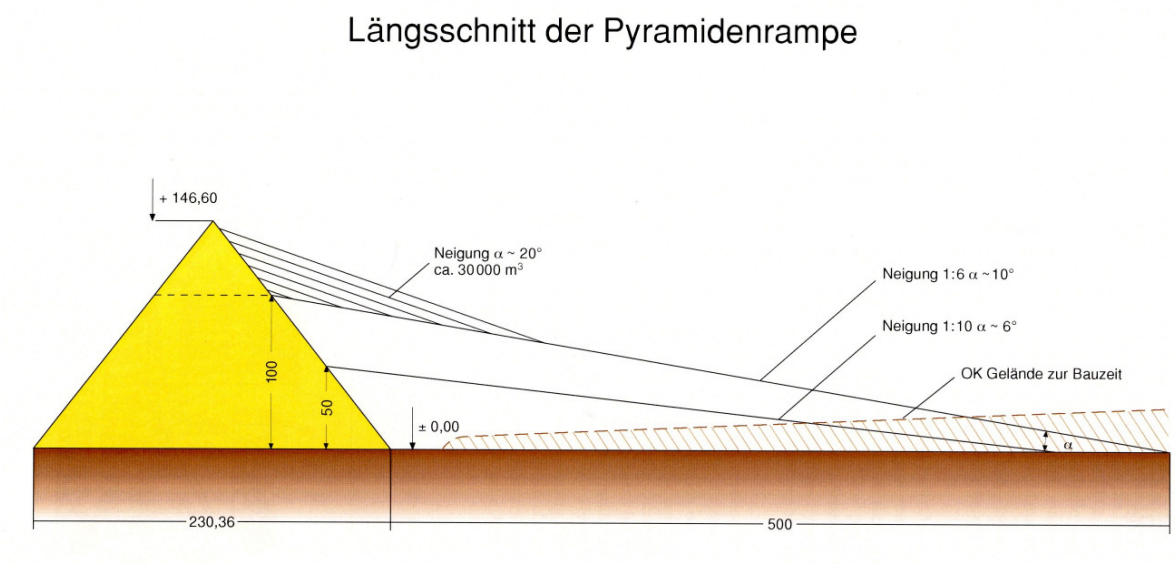


Abb. 7.3.5.1 Rampenbau nach Lattermann am Beispiel der Cheopspyramide

[644] Borchardt, Pyramide, S.26–31.
[645] Lattermann, Pyramidenbau.
[646] Lattermann, Cheopspyramide.

Nach Lattermann ist der entscheidende Vorteil seiner Rampenhypothese 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 kontinuierlich 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.

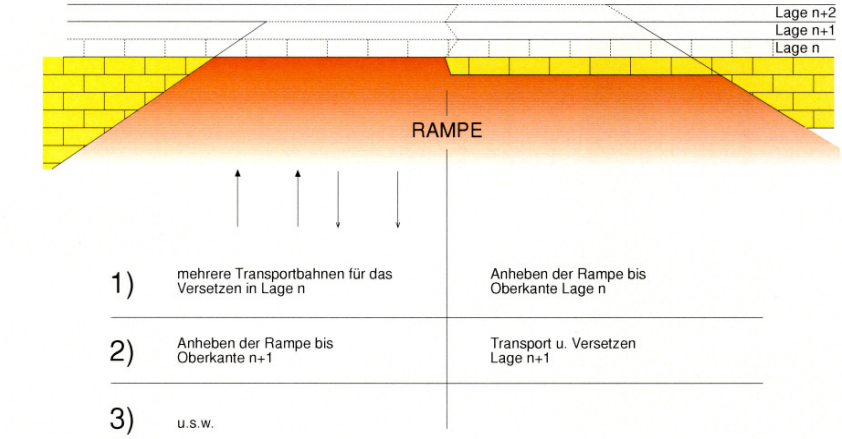


Abb. 7.3.5.2 Vorschlag von Lattermann für eine kontinuierliche Erhöhung der Rampe ohne Bauunterbrechung

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 Gisa derart große Stein- oder Schuttmengen gefunden wurden, wie sie dem Volumen der von Lattermann vorgeschlagenen Rampe entsprechen.[647] 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.[648] 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.[649] Aus diesen Gründen und mit Blick auf die Nichteinhaltung einiger der im Kapitel 7.2 „Grundsätzliche Lösungsansätze für den

[647] Klemm und Klemm, Steinbruch.
[648] 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.
[649] 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.[650] Nach seinen Stabilitätsberechnungen geht er von einer Breite der Ziegelrampe von durchschnittlich 17 m aus (Abb. 7.4.1.1).

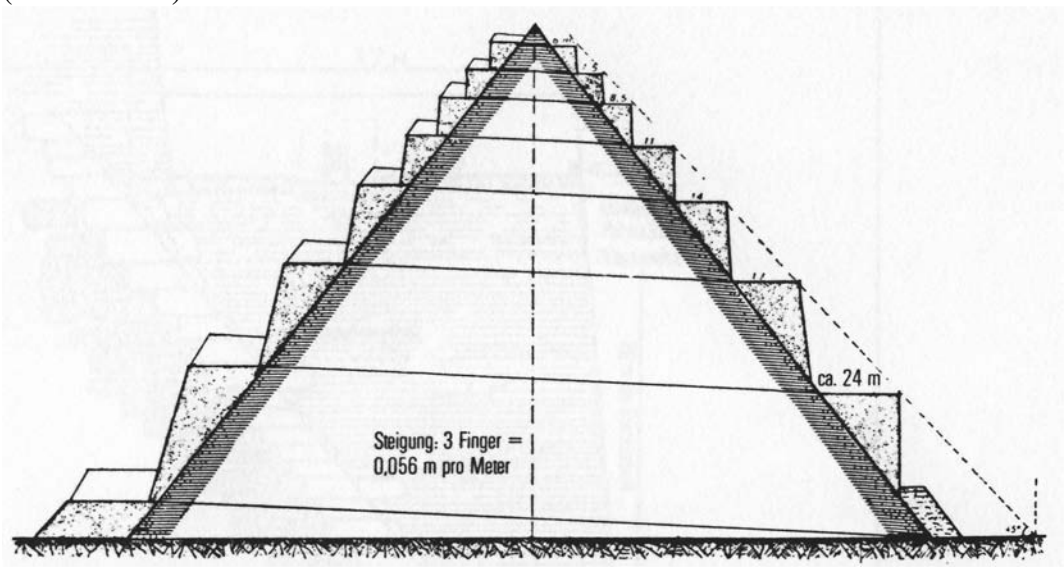


Abb. 7.4.1.1 Vorschlag Goyon für eine umlaufende Rampe

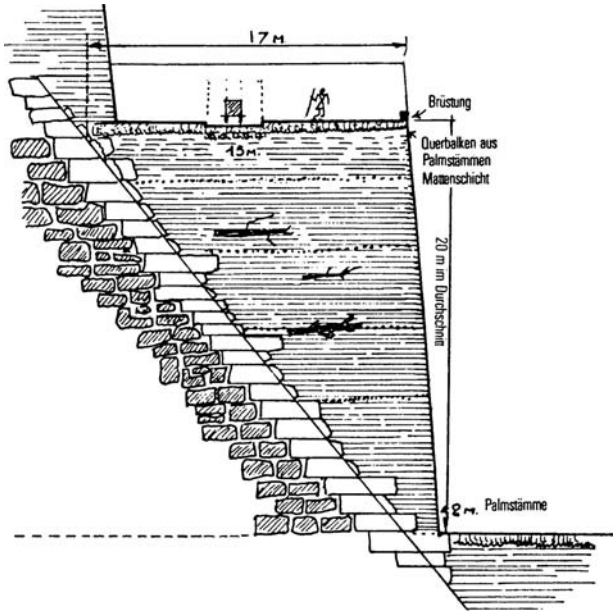


Abb. 7.4.1.2 Prinzip einer umlaufenden Rampe nach Goyon (Schnitt)

[650] 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, das die exakte Vermessung der Basis der Cheopspyramide trotz des bis zu 8–10 m hohen Felskerns mit einer Messungenauigkeit von wenigen cm (weniger als ein Hundertstel % der Länge) erfolgte – wahrscheinlich mit 4 bzw. 8 E langen Messstäben.

Arnold merkt an,[651] 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.[652] 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,[653] 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.

---

[651] Arnold, Pyramidenbau.
[652] Graefe, Pyramidenbau [11].
[653] 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.[654] Dabei bezieht er aufgrund umfangreicher Untersuchungen die topographische Situation um die Cheopspyramide mit ein und schließt 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.[655]

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. 6º (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.

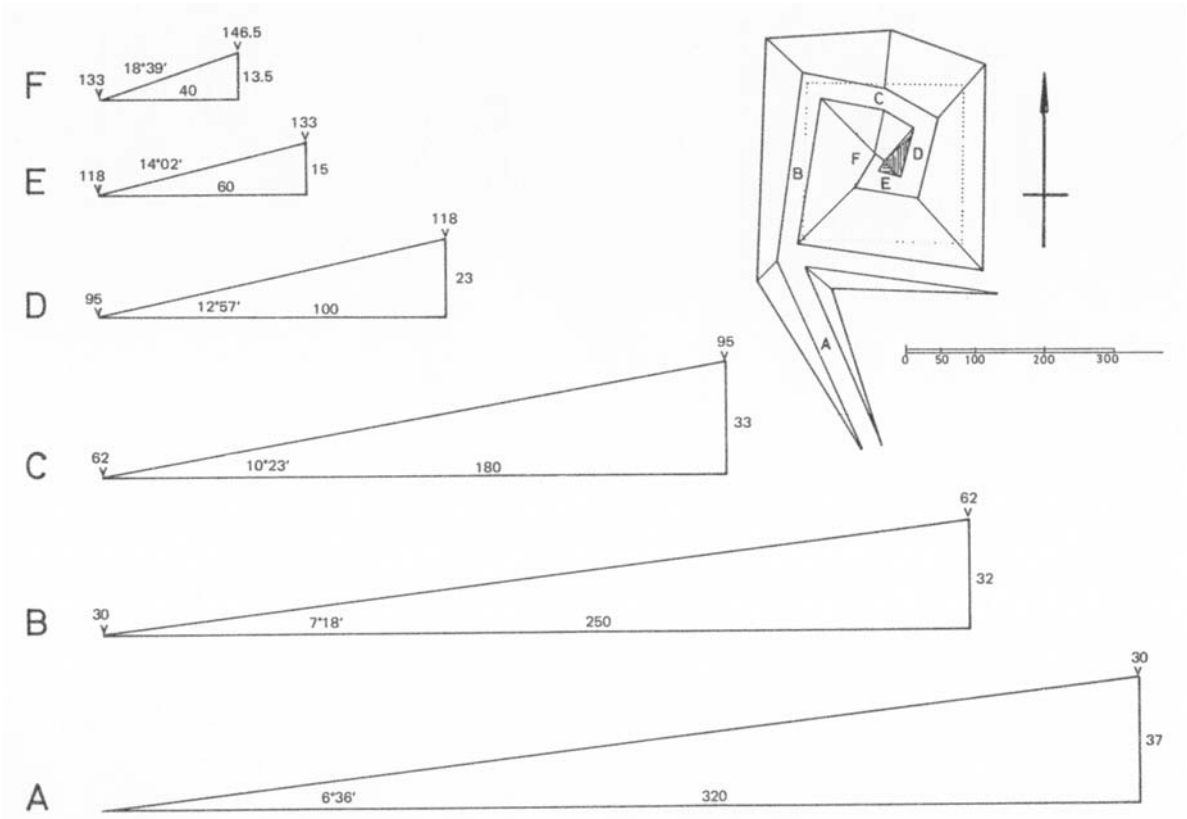


Abb. 7.4.2.1 Rampenmodell für den Bau der Cheopspyramide nach Lehner

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.).

[654] Lehner, Cheops Project.
[655] Lehner, Cheops Project, S.127.

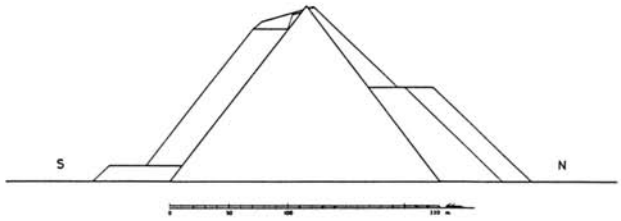


Fig. 6A. Pyramid and accretion construction ramp in cross-section on the N-S axis of the pyramid.

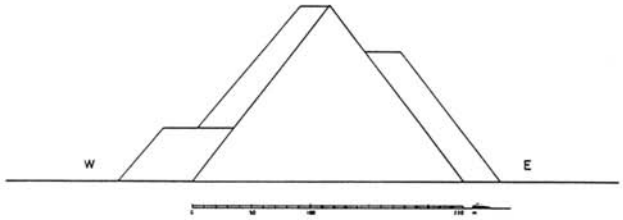


Fig 6B. Pyramid and accretion construction ramp in cross-section on the E-W axis of the pyramid

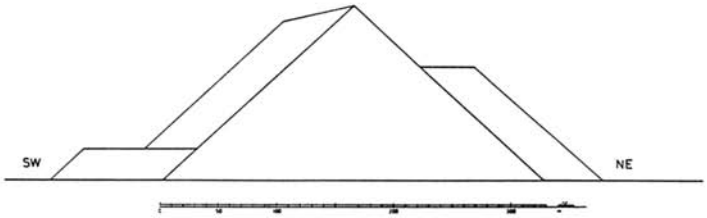


Fig. 7A. Pyramid and accretion construction ramp in cross-section of the NE-SW diagonal of the pyramid.

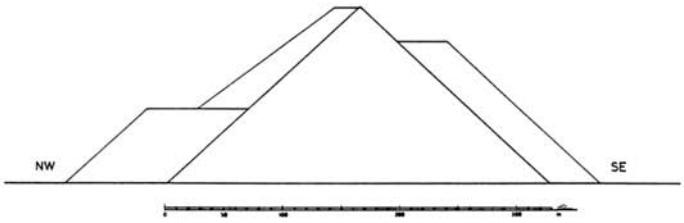


Fig. 7B. Pyramid and accretion construction ramp in cross-section on the NW-SE diagonal of the pyramid.

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 Bosse 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.[656] Aufgrund der dabei getroffenen Festlegungen berechnet Keyssner eine reine Bauzeit zwischen 47 und 59 Jahren.[657]

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.[658] 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).

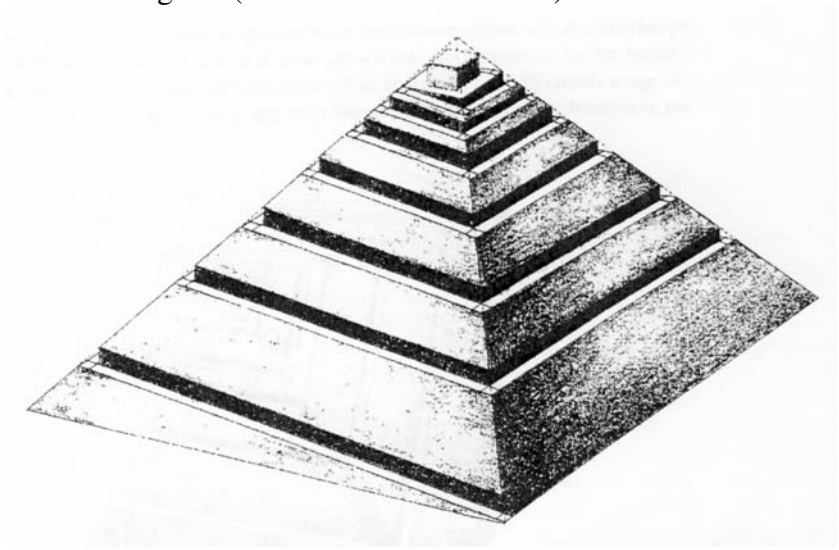


Abb. 7.4.3.1 Rampenmodell nach Klemm und Klemm

[656] Haase, Cheops, S.28–29.
[657] Keyssner, Baustelle Gisa, S.21.
[658] Klemm und Klemm, Integralrampe.

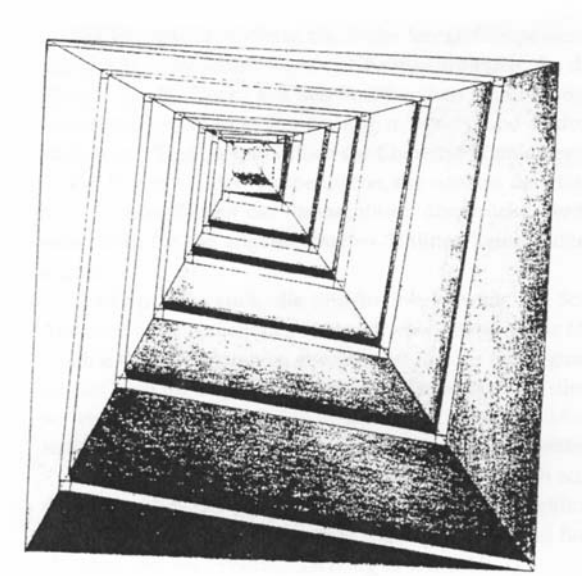


Abb. 7.4.3.2 Rampenmodell nach Klemm und Klemm (Draufsicht)

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 Anstiegwinkel von 6º, der einer Rampenneigung von ca. 10 % entspricht. Die Breite der Rampen wird mit 4 m – in einem späteren Beitrag[659] 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 Ochsengespannen und Zugmannschaften erfolgen (Abb. 7.4.3.3).

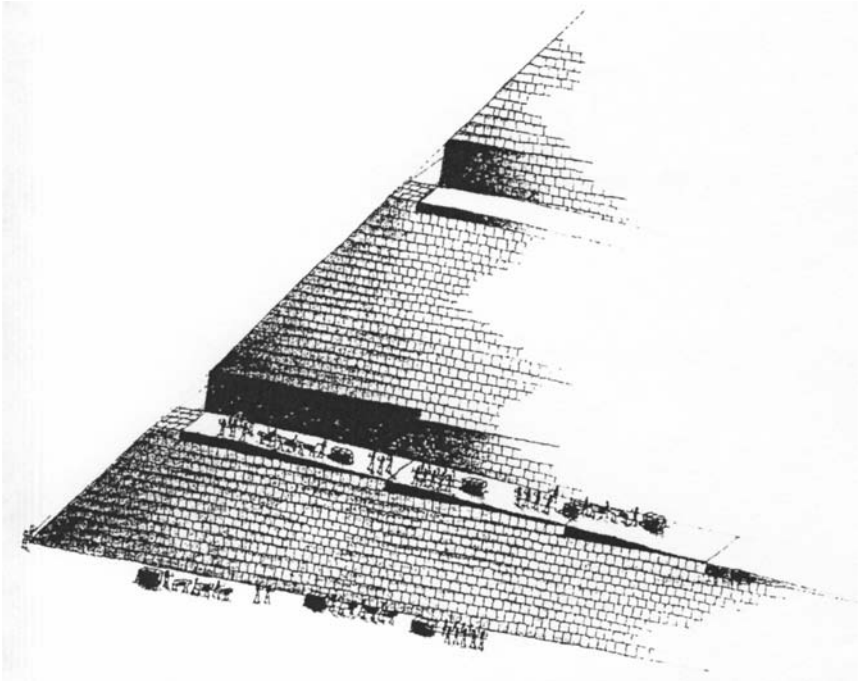


Abb. 7.4.3.3 Transport der Steine nach dem Vorschlag einer Integralrampe

[659] 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 t [660] mit Schlitten und Seilen (ca. 0,5 t) bei einer Gleitreibungszahl von 0,25 μ[661] 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.[662] 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.[663]

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.[664] 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-

[660] Entsprechend Kapitel 4.3.1 „Schiefe Ebene"
[661] Holzschlitten auf nassem Untergrund entsprechend Kapitel 4.3.1 „Schiefe Ebene".
[662] Lattermann, Pyramidenbau S.24ff.
[663] Sokar 5, S.40; Interview Haase mit Klemm und Klemm.
[664] 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 Minuten[665] ergibt, dass nach dieser Hypothese für den reinen Bau der Cheopspyramide ca. 54 Jahre erforderlich waren.[666]

Unklar ist auch, wie die Lücken der Intergralrampen 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,[667] erscheint mit Blick auf die genannten Bedenken und die Nichteinhaltung verschiedener Prämissen (Kapitel 7.2 „Grundsätzliche Lösungsansätze für den Pyramidenbau") in sich nicht schlüssig.

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. [668]

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).

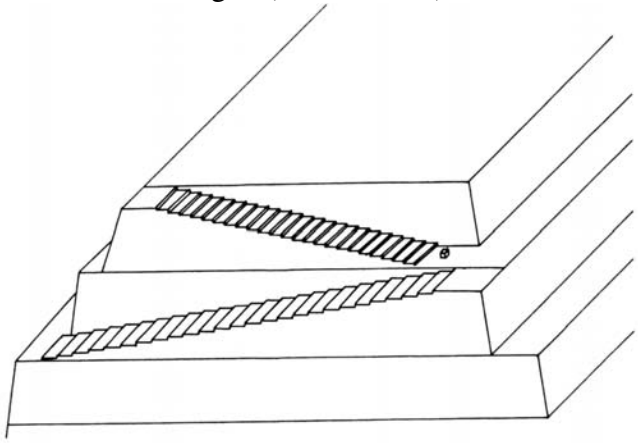


Abb. 7.4.4.1 Rampen mit Stufen nach Graefe

[665] Überlegungen anlässlich eines Gesprächs mit Prof. Dr. Klemm am 17.07.2007.
[666] 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.
[667] Klemm und Klemm, Stones.
[668] Graefe (www.uni-muenster.de/Philologie/Iaek/PYR) und Graefe, Pyramidenbau.

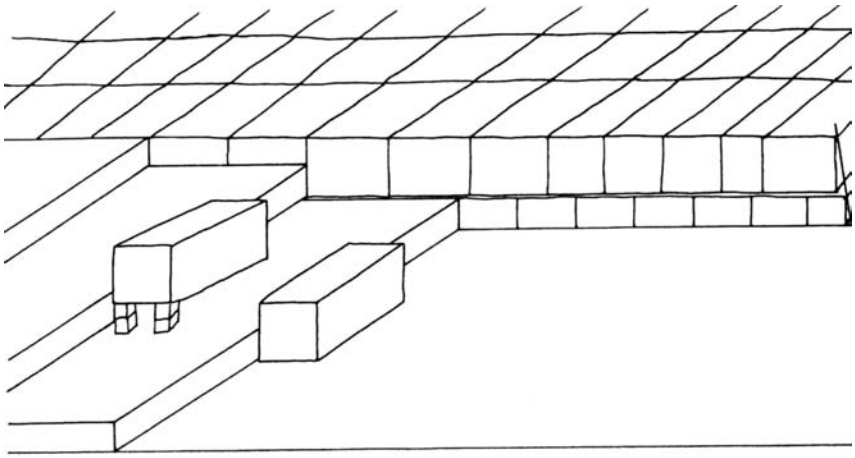


Abb. 7.4.4.2 Hochhebeln der Steine nach Graefe

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 Stecke werden die Steine um 25 Ellen (Kernmauerwerkstufenhöhe) gehoben. Dies entspricht einem Neigungswinkel von ca. 24º. 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).

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).

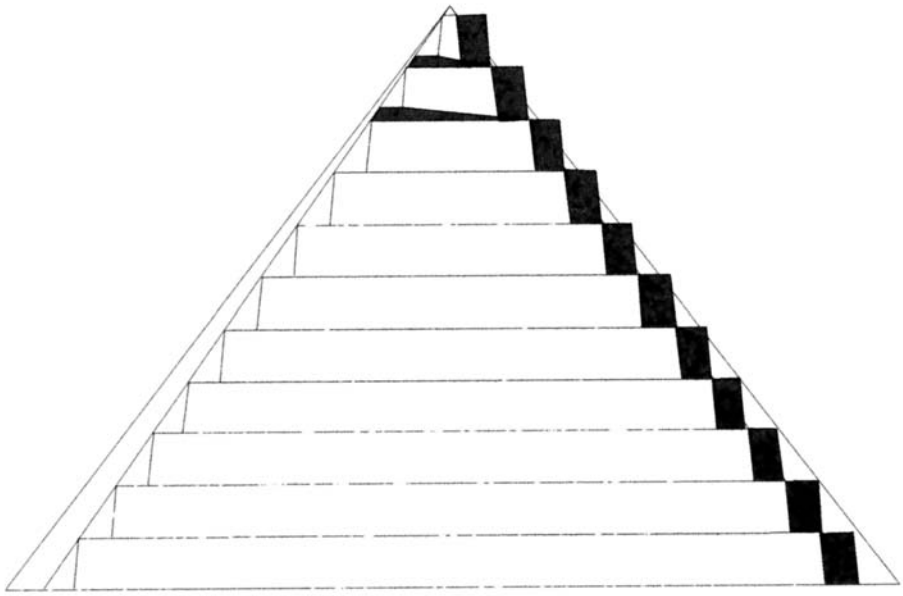


Abb. 7.4.4.3 Überbauung der oberen Stufen nach Graefe

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. 24º

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.[669] 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[670]
Sahure	100 Ellen[671]
Unas	100 Ellen[672]

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

„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:

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.[673]

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 54º30´. Der sich daraus für den Fluchtwinkel der Ecken der Stufen des Kernmauerwerks ergebende Winkel beträgt dann genau 45º. Dieser Wert gilt nach Brinks auch für

[669] Brinks, Pyramidenbau.
[670] Dorner, Knickpyramide: Dorner berechnet die Basislänge der „inneren" Pyramide mit 300 Ellen.
[671] Basis des Kernmauerwerks im Abstand von 25 Ellen; Maragioglio VII, TAV.8, Fig.4.
[672] Labrousse, Unas: Die Lägen wurden aus den Zeichnungen der Bauaufnahme (Fig.38 und 42) ermittelt.
[673] Maragioglio, VI, Addenda, TAV.4, Fig.2 Schnitt S-N.

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. 80º zu berücksichtigen.

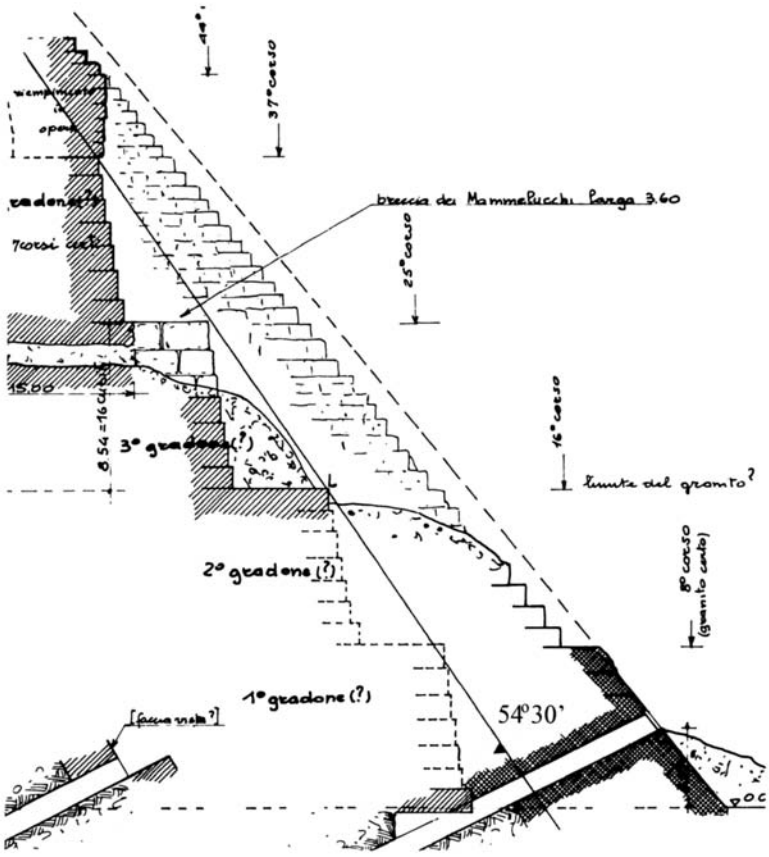


Abb. 7.4.4.4 Fluchtlinie der Kanten des Kernmauerwerks bei der Pyramide des Mykerinos

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 54º30´ 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.

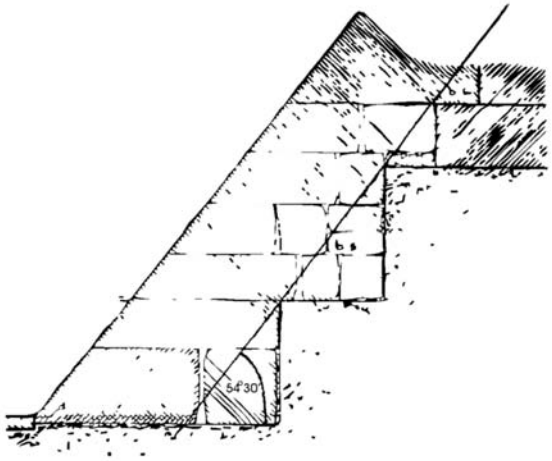


Abb. 7.4.4.5 Fluchtwinkel des Kernmauerwerks der Pyramide des Chephren

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.[674]

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

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.[675] 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 gehebelt 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.

[674] Auf eine Anfrage des Autors teilte Prof. Dr. Graefe am 18.07.2007 mit, dass ihm keine Berechnungen nach seinem Vorschlag bekannt sind.
[675] Hampikian, Cheopspyramide.

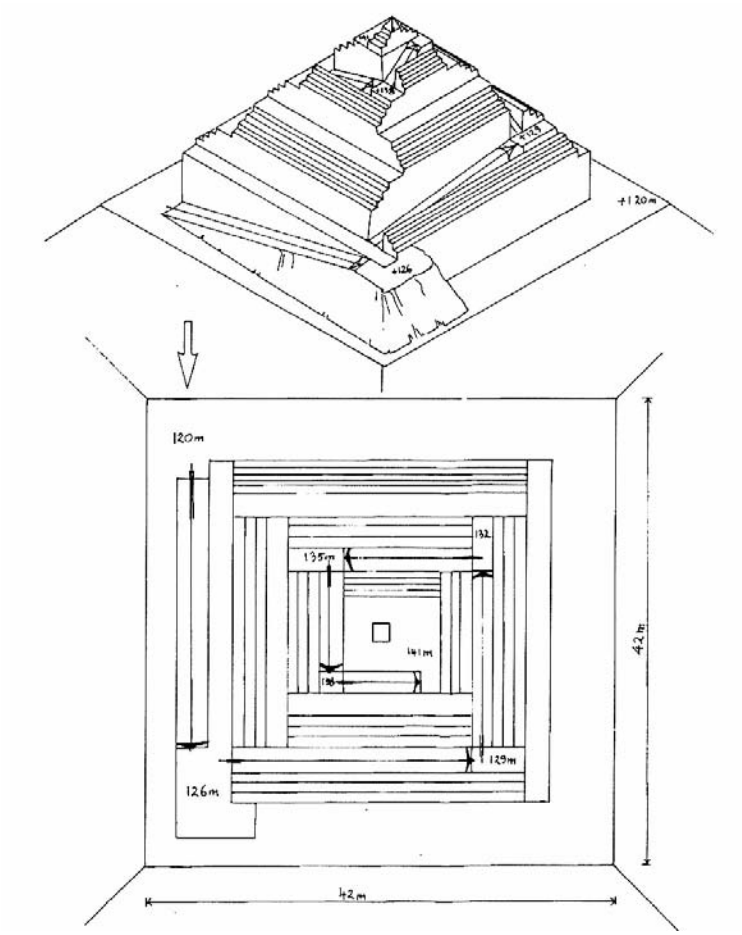


Abb. 7.4.5.1 Vorschlag 1 von Hampikian für den Bau der Pyramidenspitze

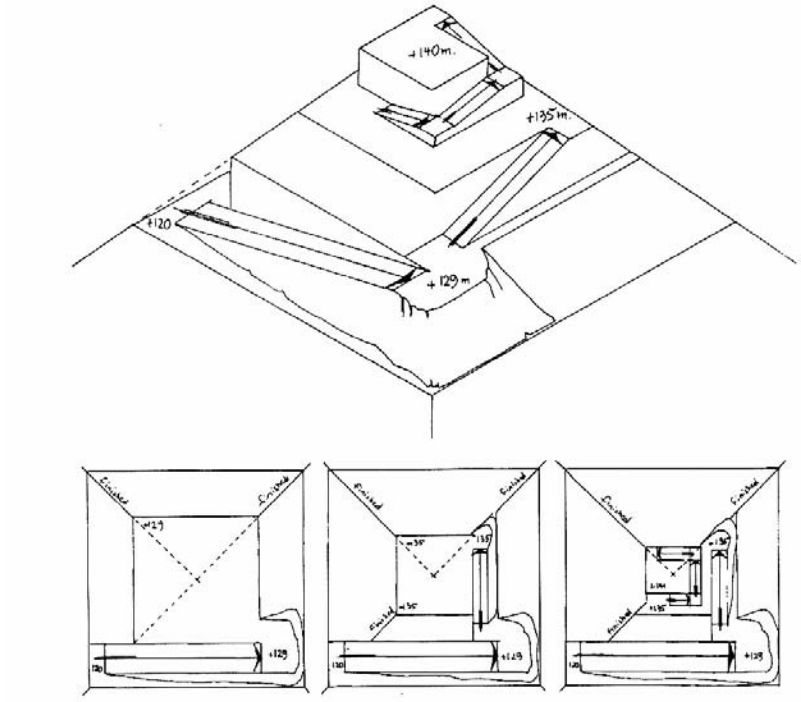


Abb. 7.4.5.2 Vorschlag 2 von Hampikian für den Bau der Pyramidenspitze

7.4.6 Vorschlag von Hölscher

Hölscher geht ebenfalls von einer stufenförmigen Struktur des Kernmauerwerks aus (Abb. 7.4.6).[676] 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.

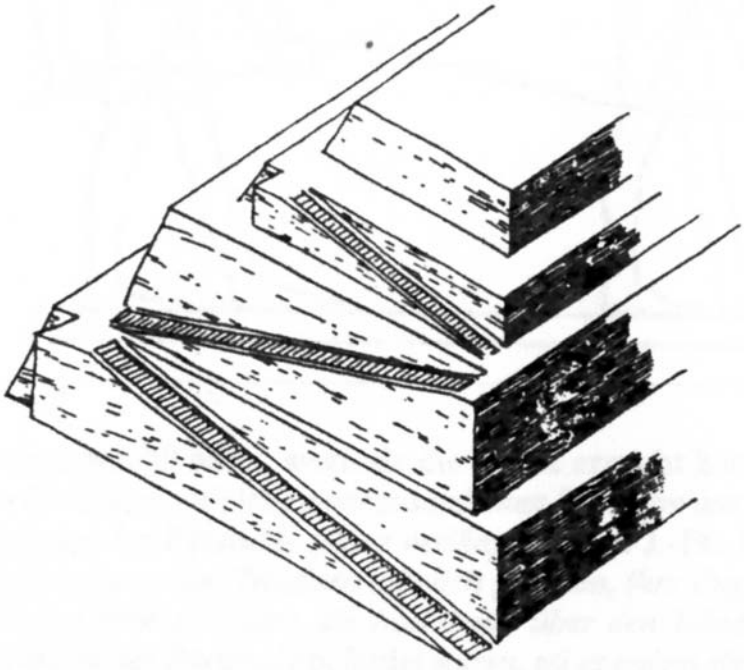


Abb. 7.4.6 Rampenvorschlag nach Hölscher

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 abzubauende 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.

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 Cheopspyramide vor,[677] die zum Teil auf Studien von Dormion aufbaut.[678]

---

[676] Goyon, Cheopspyramide, S.62–63; die Quellenangabe für die Äußerungen Hölschers und dessen Vorschlag stimmt jedoch nicht.
[677] Dassault, Cheops.
[678] Welt online; Boeing, Heise.

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.[679]

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).[680] 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.[681]

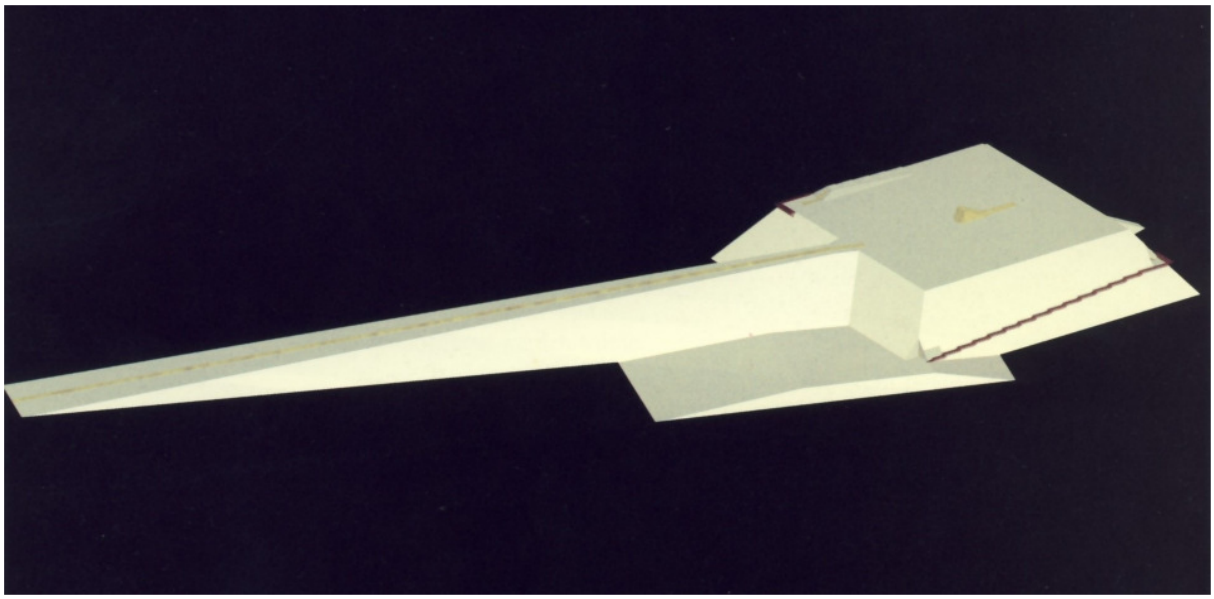


Abb. 7.4.7.1 Südrampe bis zur Höhe 43 m

– 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.[682] Bis zu einer Höhe von 130 m würde die Steigung dann bis auf 20% erhöht.

[679] Houdin, Cheops, S.41.
[680] Houdin, Cheops, S.42; Bis zu dieser Höhe sind entspr. Abb. 6.1 etwa 65% der Steine verbaut.
[681] Dessault, Cheops, Appendix 2.
[682] Houdin, Cheops, S.48ff.

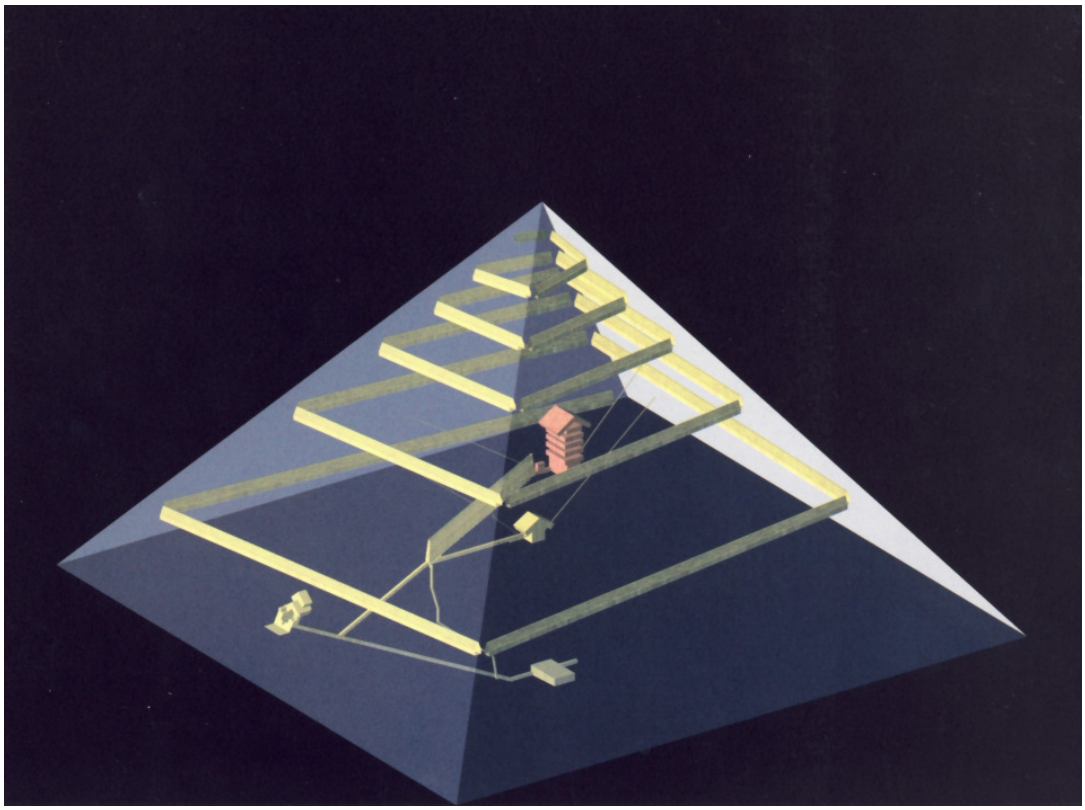


Abb. 7.4.7.2 Vorschlag einer Integralrampe (Tunnelrampe) nach Houdin

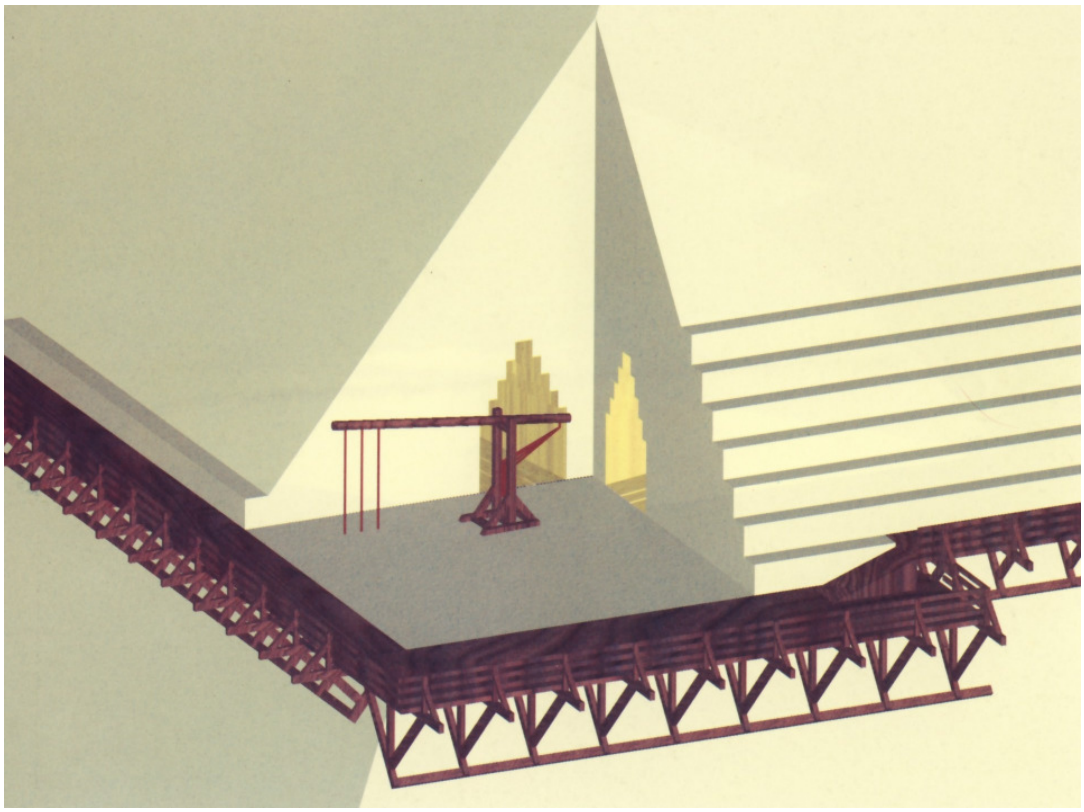


Abb. 7.4.7.3 Absatzkerbe mit einer Hebevorrichtung, ihre Einfassung, der äußere Gang und die „Regal–Fassadenblöcke“

An den Ecken, an denen die Innenrampe um 90º 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 Schleppmannschaften, 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 0berhalb von 130 m sollen durch einen Hebeturm vorgenommen werden (Abb. 7.4.7.4)

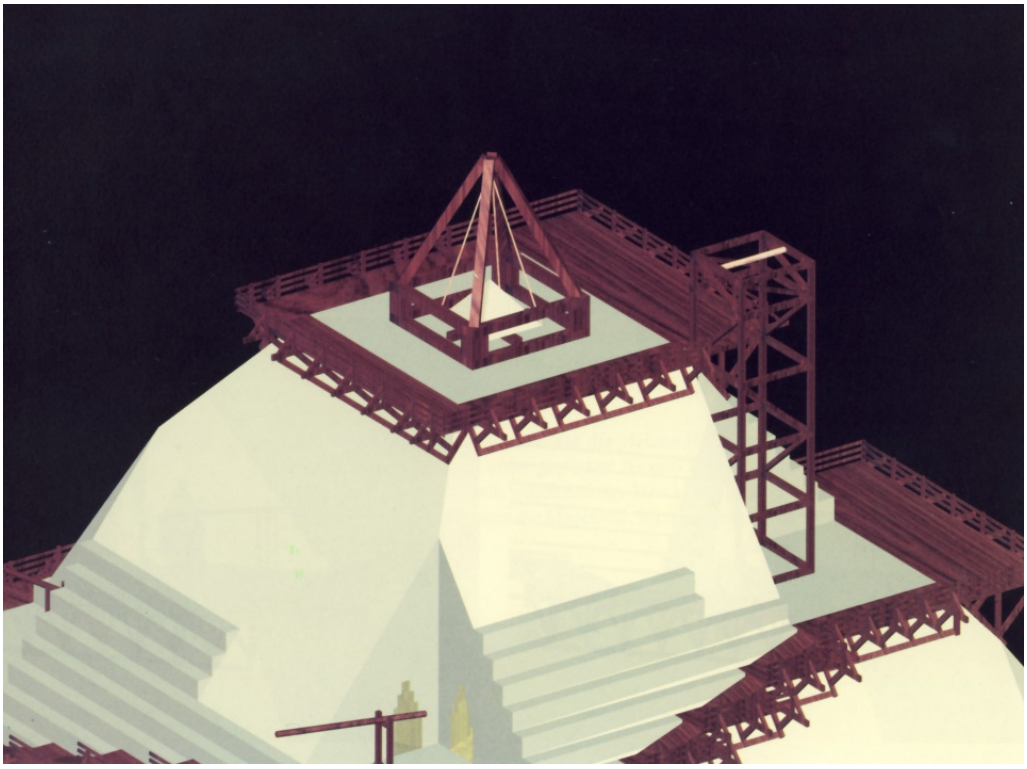


Abb. 7.4.7.4 Die Maschine (Hebeturm) auf dem Niveau 140 m

– 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.[683] Dieser Aufzug verläuft in der nach oben noch offenen Großen Galerie mit einer Steigung von 26,5º (Neigungsverhältnis 2:1).

[683] 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.

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 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.

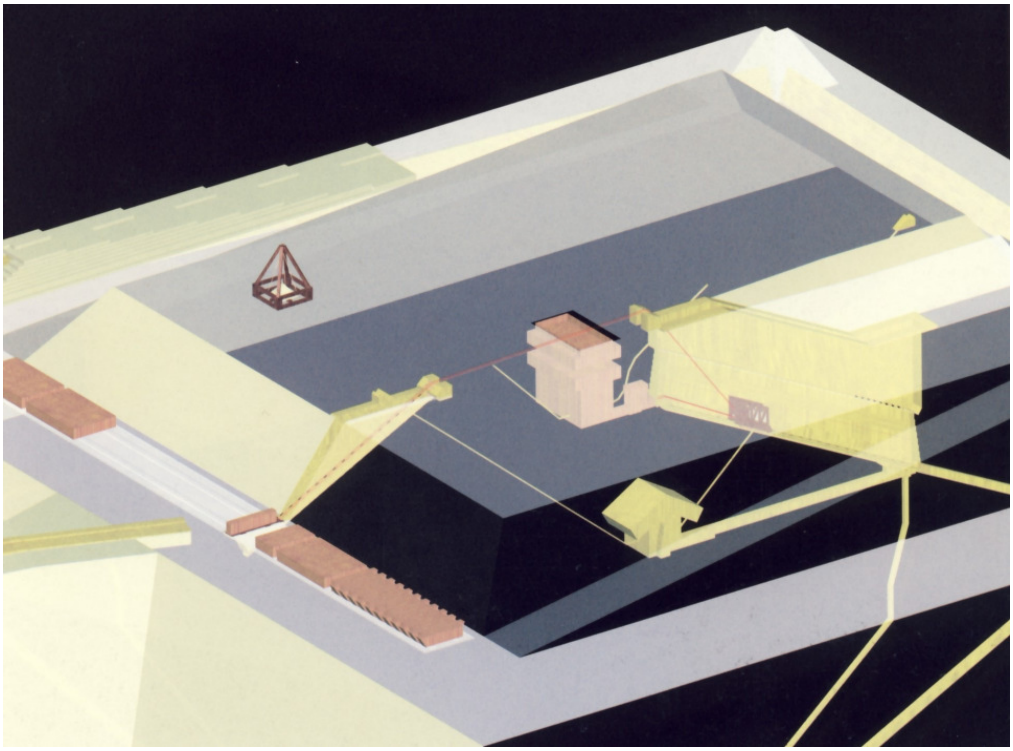


Abb. 7.4.7.5 Aufzugmodell zum Transport der Deckenbalken

Von Houdin gibt es Beschreibungen seiner Hypothese in einer Veröffentlichung aus dem Jahr 2003[684] und in seinem 2007 erschienen Buch „Cheops“[685] . 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.[686]
- 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

[684] Houdin, La Pyramide.
[685] Houdin, Cheops
[686] Houdin, Cheops, S.36/37

der gesamten Außenfläche aus arbeits- und sicherheitstechnischen Gründen nicht erfolgen. Der von Houdin vorgesehene äußere Holztunnel ist 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.

Am Ende seines Buches weist Houdin noch auch Untersuchungen der Cheopspyramide nach dem Verfahren der Mikrogravimetrie in den Jahren 1986–87 hin:[687] Unter der Schirmherrschaft der EDF Stiftung seien tausende mikrogravimetrische Messungen innerhalb und außerhalb der Cheopspyramide vorgenommen worden.[688] 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."*

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.[689] 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 nennt[690]. Nicht verständlich bleibt jedoch die Äußerung Stadelmanns, der – wenn das Pressezitat stimmt – Houdins Theorie als „…mehr als interessant, revolutionär und in sich schlüssig…" bezeichnet [691].

---

[687] Houdin, Cheops, S.147ff.
[688] Eine Quellenangabe lässt Houdin vermissen.
[689] Brier, Pyramide.
[690] 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…."
[691] Mysteria3000.

7.5. Hypothesen für den Einsatz von Hebegeräten 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.[692] Die erste Hypothese sagte aus, dass über an den Pyramidenbaukörper einschließlich der fertig gestellten Verkleidung von außen angelegte breite Treppen aus Stein das Baumaterial hochgehebelt werden konnte (Abb. 7.5.1.1).

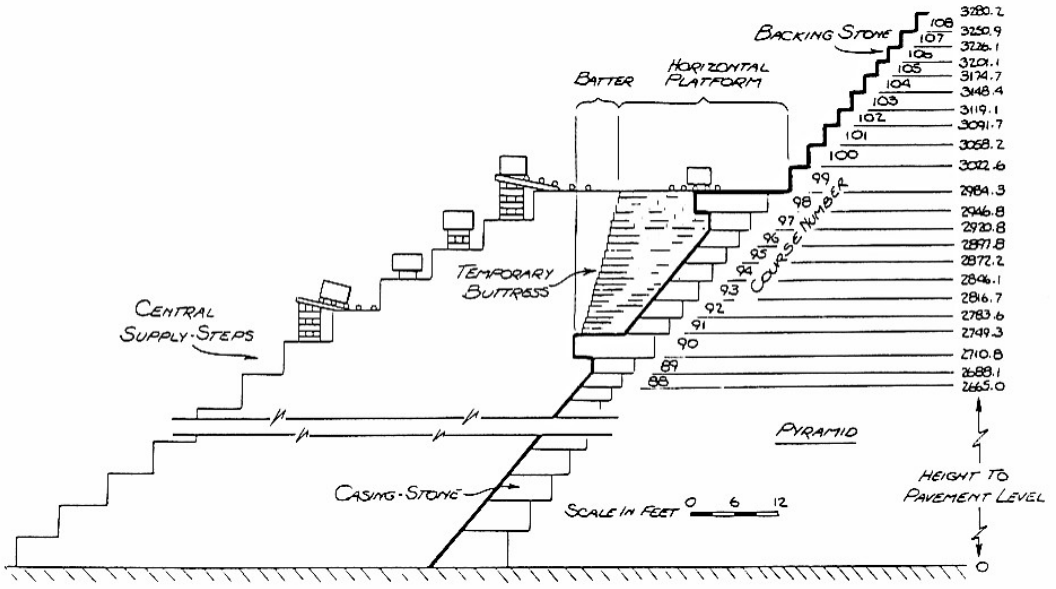


Abb. 7.5.1.1. Treppe nach Isler

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.[693] Dieses zeigt 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 muss[694].

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.

[692] Isler I und Isler II.
[693] 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 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.
[694] Isler I, Fig.8 und 10.

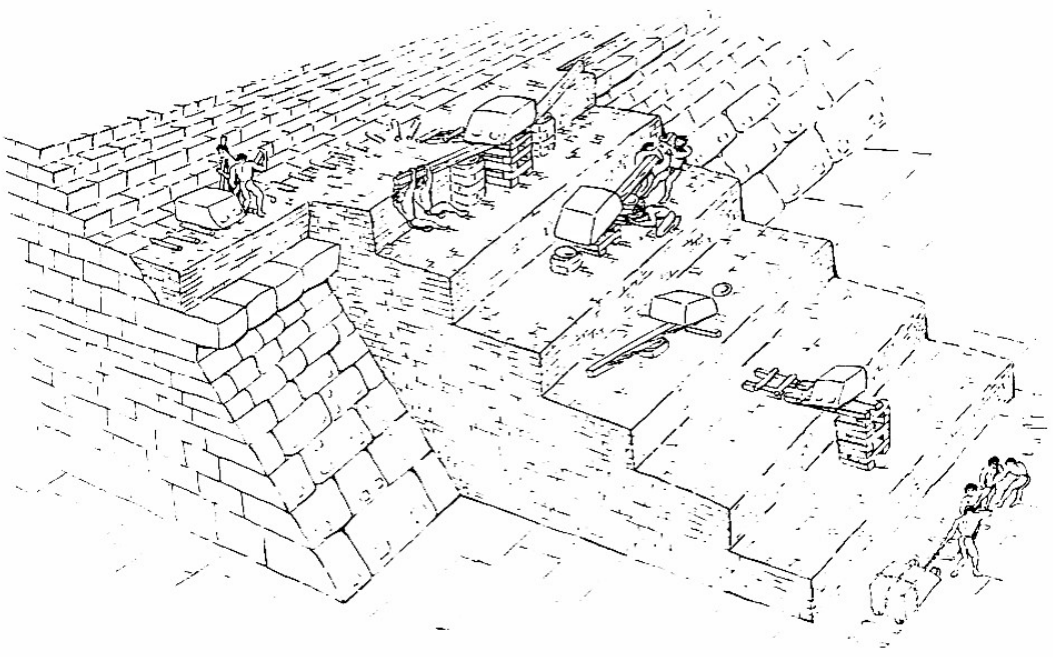


Abb. 7.5.1.2 Hochhebeln der Steine nach Isler

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 Splittern, 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 Feldversuche[695] 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.[696] 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 20º berechnet er die

[695] Hodges, Pyramides.
[696] Croon, Lastentransport.

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 Landt[697] – 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 20º angeordnet.

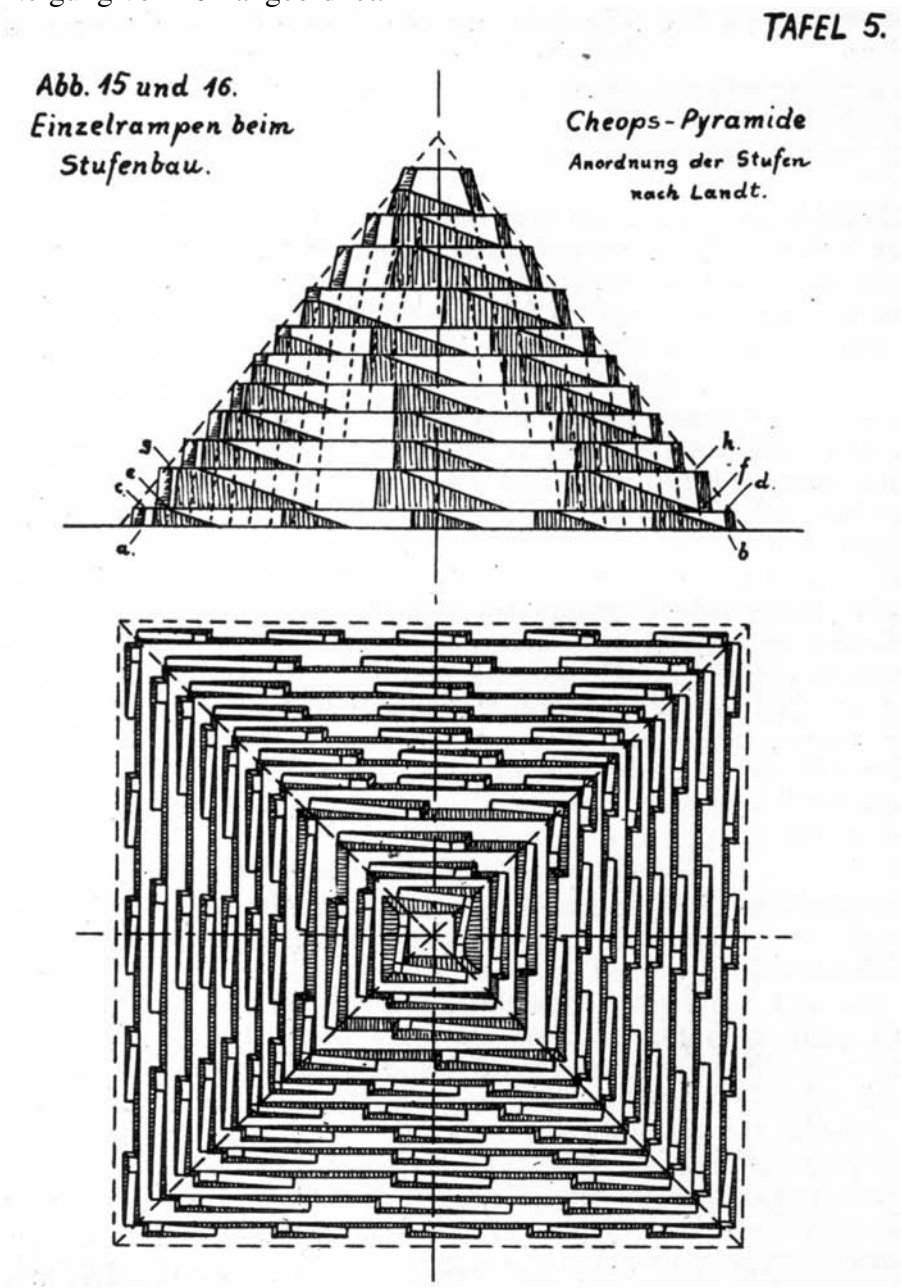


Abb. 7.5.2.1 Vorschlag von Landt für Rampenanordnung parallel zu den Pyramidenseiten

[697] Landt, Cheopspyramide, S.70.

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 eintreffen 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 gearbeitet[698], 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.

Croon untersucht dann das Prinzip des Hochhebelns von Steinen und mittels eines Kippschlittens nach dem Vorschlag von Choisy[699] und kommt nach Kapazitätsberechnungen zu dem Schluss, dass auch dieses Verfahren für den Bau der Cheopspyramide nicht infrage kommt. Nicht zuletzt spricht auch das erstmalige Auftauchen von Kippschlittenmodellen im NR gegen eine Verwendung beim Bau der Pyramiden im AR.

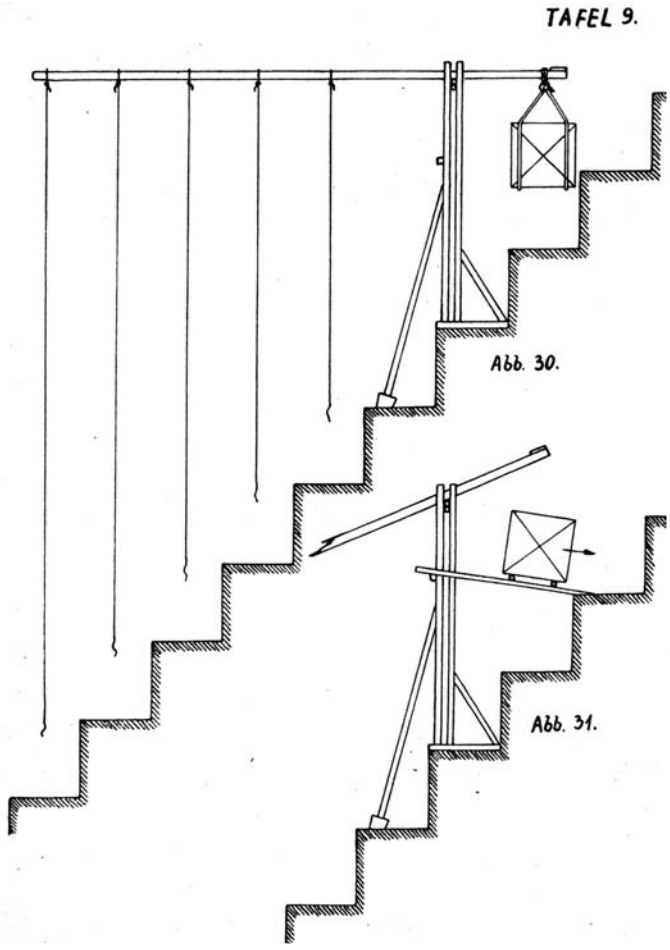


Abb. 7.5.2.2 Vorschlag von Croon für eine Hebeeinrichtung

[698] Stadelmann, MDAIK 36.
[699] Choisy, Kippschlitten.

Aufgrund der Untersuchungen und Darstellungen von Hölscher im Totentempel des Chephren[700] 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 Pyramidions 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

„…glaubt annehmen zu müssen, dass sie[701] 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.[702] Zusammen mit Illig hat er einen Teil dieser Vorschläge auch als Buch veröffentlicht.[703]

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).

---

[700] Hölscher, Chephren.
[701] Gemeint sind entsprechende bildliche Darstellungen des Schaduf.
[702] Löhner, Pyramidenbau.
[703] Illig, Cheopspyramide.

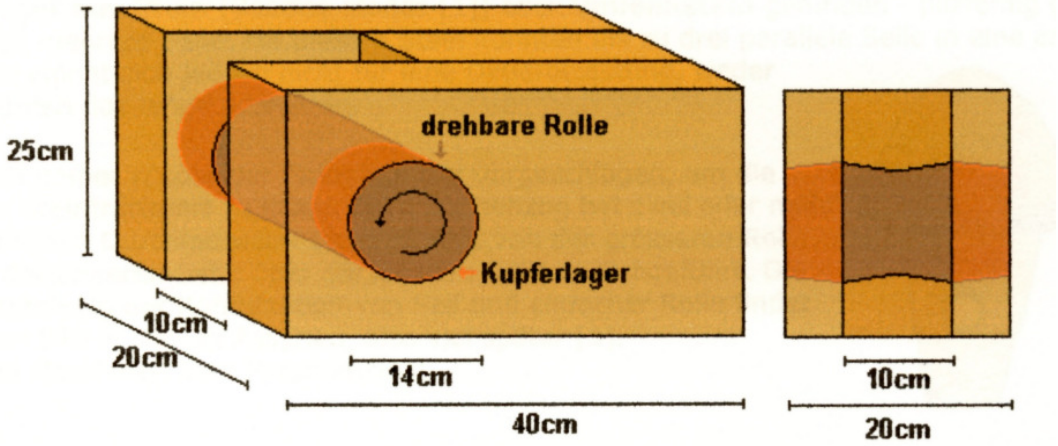


Abb. 7.5.3.1 Seilrollenbock nach Löhner

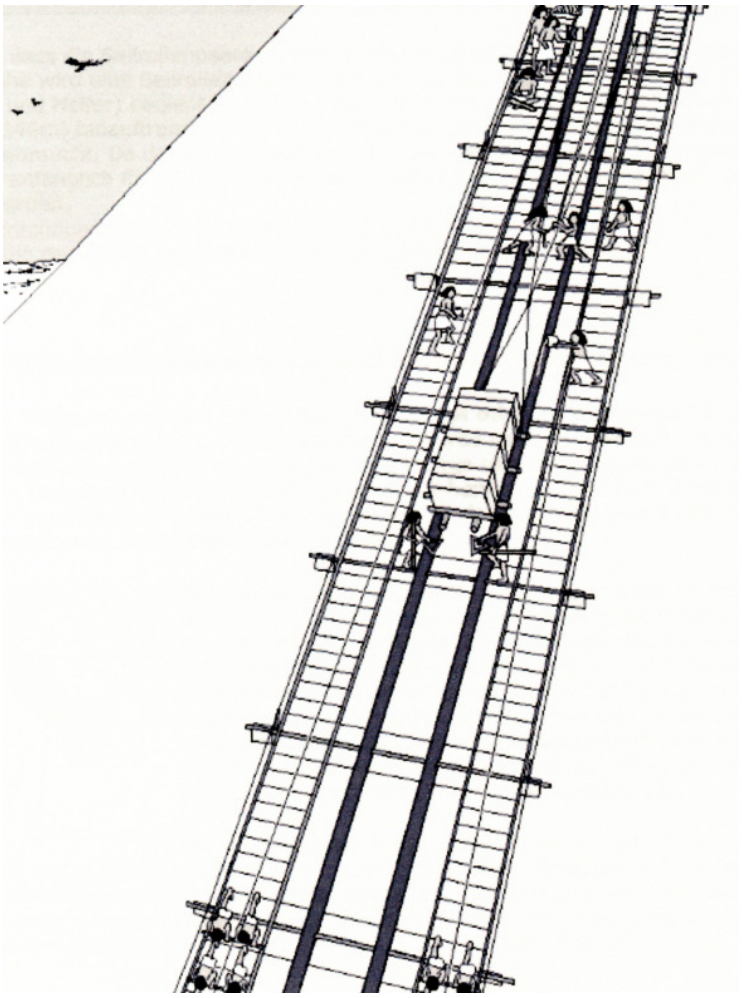


Abb. 7.5.3.2 Gleisanlage mit Seilrollenstation nach Löhner

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

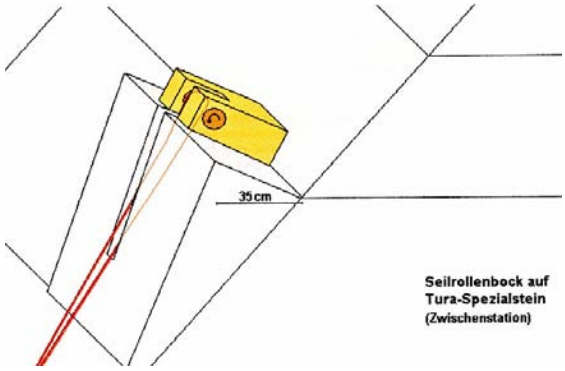


Abb. 7.5.3.3 Befestigung einer Seilrolle an der Außenverkleidung

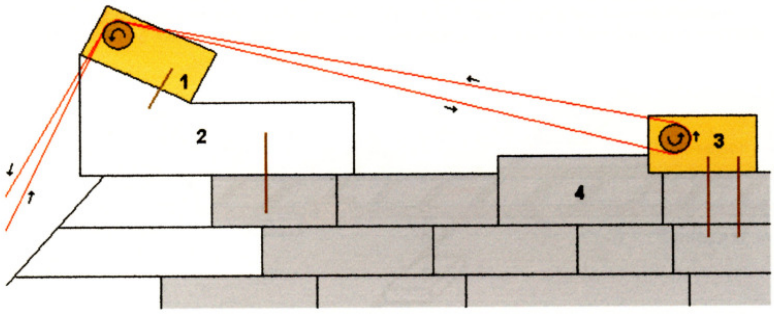


Abb. 7.5.3.4 Befestigung der Seilrollenböcke

Die Schleppmannschaften 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).

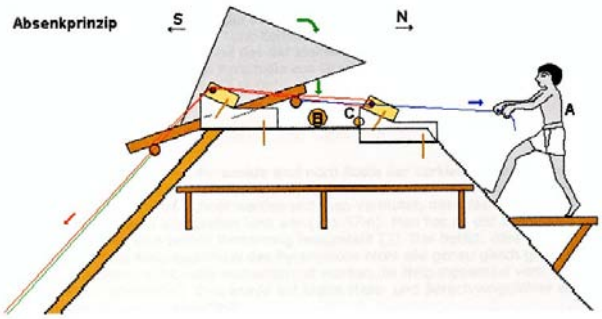


Abb. 7.5.3.5 Aufsetzen des Pyramidions

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 waagerecht auf der jeweiligen Bauebene der Pyramide angeordneten Drehsystems vor.[704] 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.

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. 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.

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 Ochsengespanne 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“).

[704] Santos, Bautechnik.

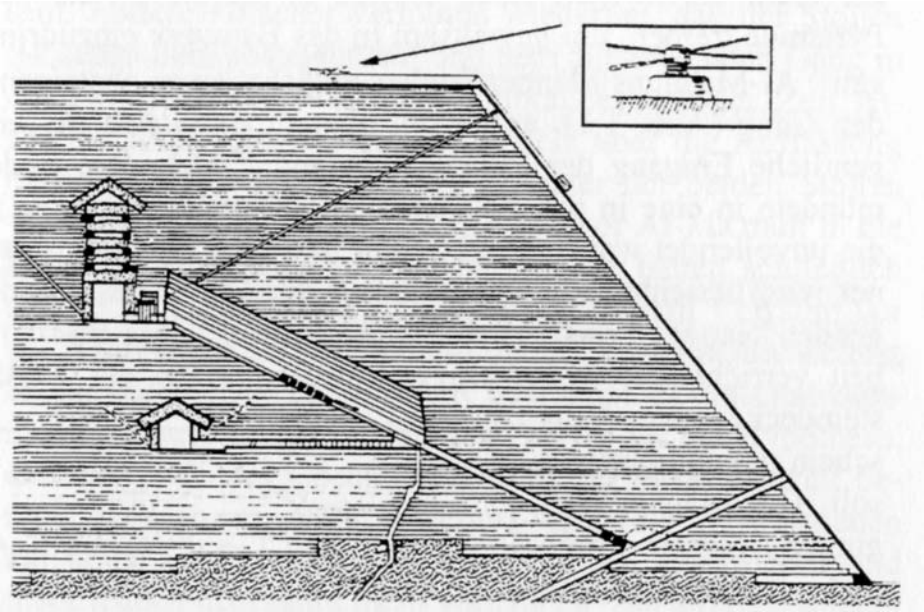


Abb. 7.5.4.1 Bauvorschlag für die Cheopspyramide nach dos Santos

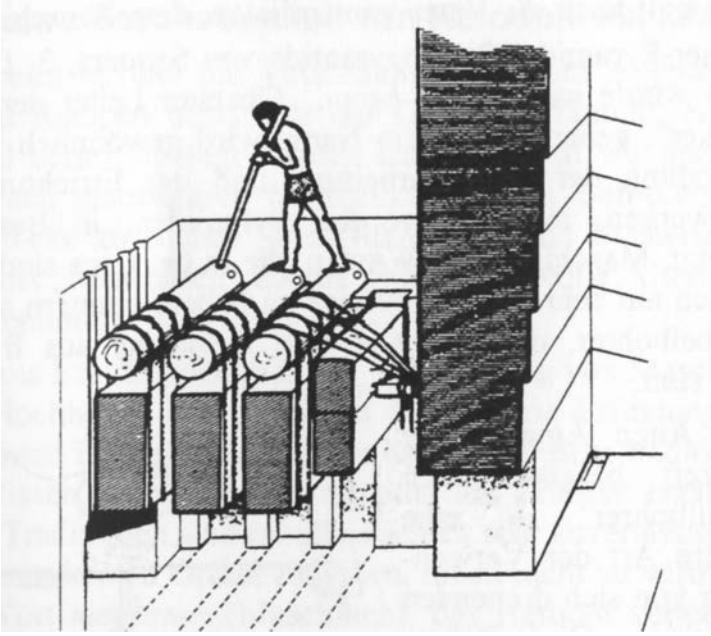


Abb. 7.5.4.2 Mögliche Handhabung der Fallsteine der Cheopspyramide nach dos Santos

7.5.5 Vorschlag von Riedl für eine Hebebühne mit Seilwinde und Holmen

Riedl hat 1980 in seinem Buch „Der Pyramidenbau und seine Transportprobleme“[705] und in zwei Beiträgen Vorschläge für den Pyramidenbau veröffentlicht.[706] 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

[705] Riedl, Pyramidenbau.
[706] Riedl, 1981 und Riedl, 1982.

Verkleidung zum Absetzen der Plattform freigehalten, die auch als Aufstiegsmöglichkeit für die Arbeiter dienten (Abb. 7.5.5.1).

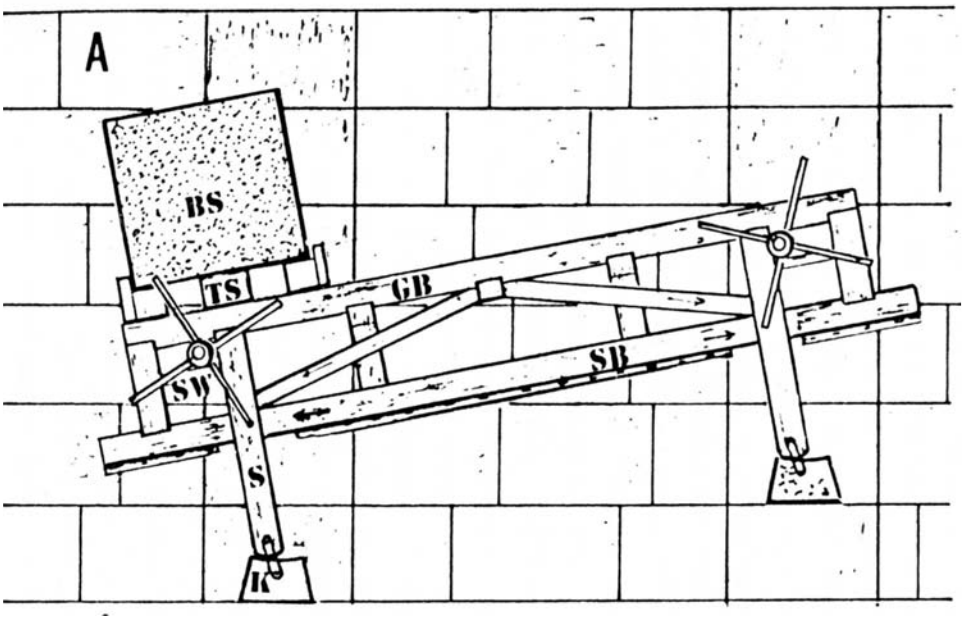


Abb. 7.5.5.1 Transporteinrichtung nach Riedl

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.

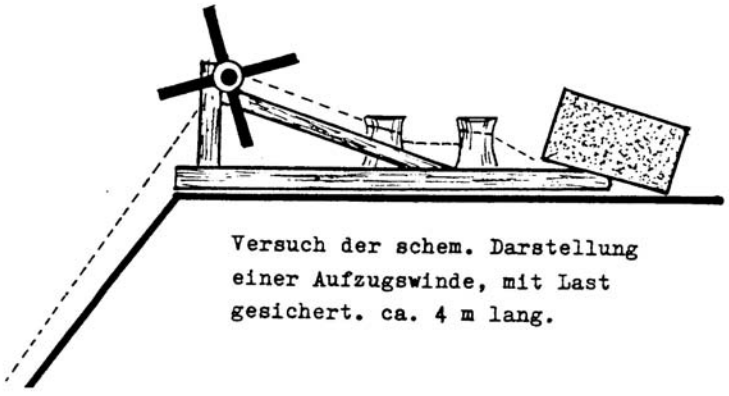


Abb. 7.5.5.2 Aufzugwinde nach Riedl

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 selbst 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 für den Pyramidenbau dar.

7.5.6 Der Schrägaufzug nach Abitz

Abitz hat 1992 seinen Vorschlag „Der Bau der großen Pyramide mit einem Schrägaufzug" veröffentlicht.[707] Er geht wie viele andere auch von der Annahme aus, dass es Schleppbahnen 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).

[707] Abitz, Pyramidenbau.

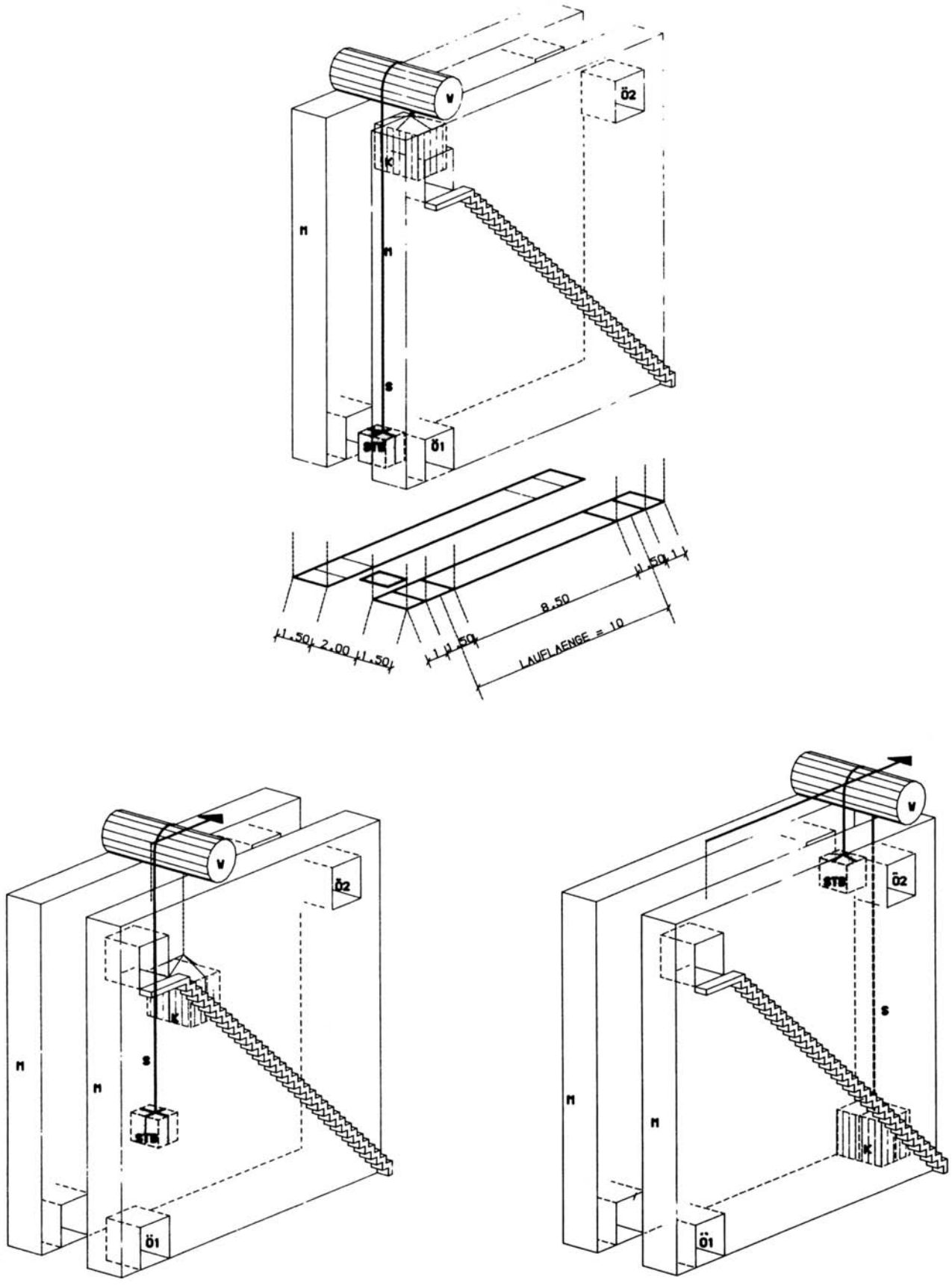


Abb. 7.5.6.1 Bauart und Funktion des Schrägaufzuges nach Abitz

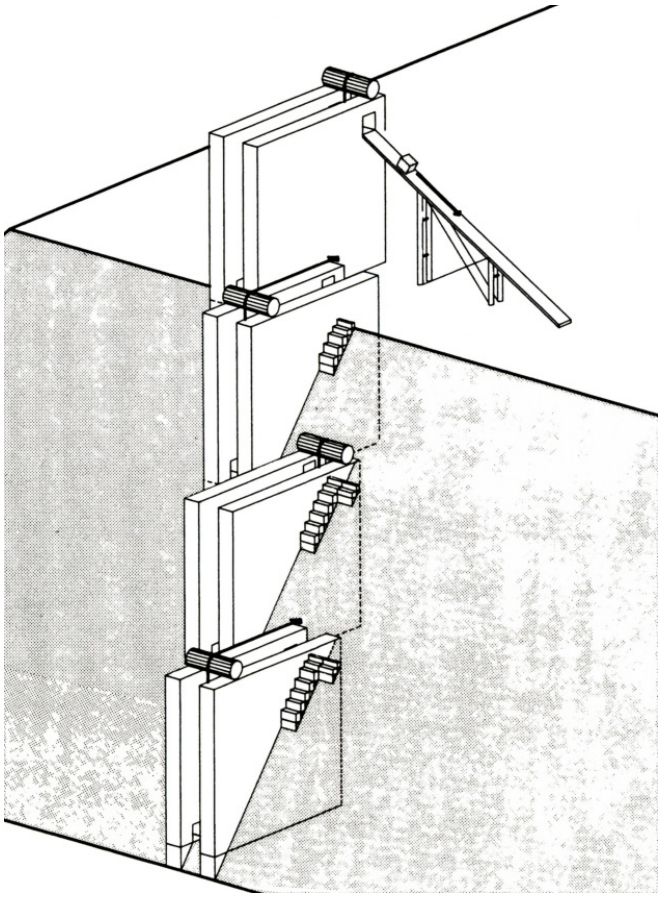


Abb. 7.5.6.2 Die Kette von Schrägaufzügen nach Abitz

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.

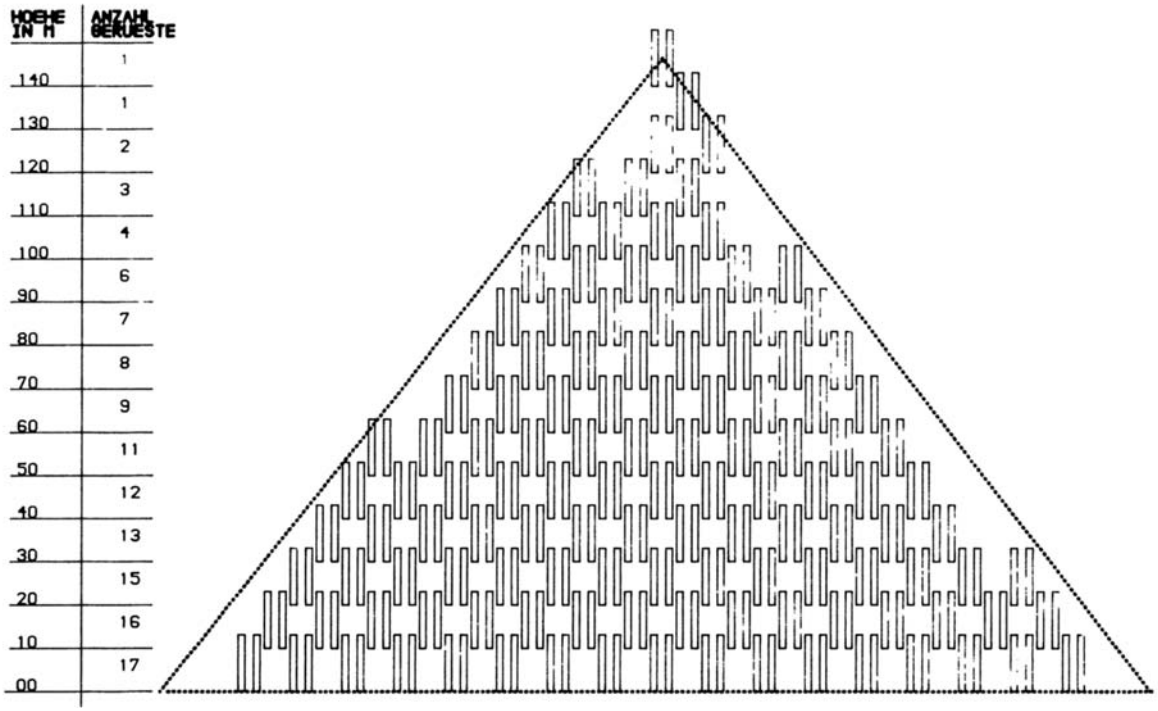


Abb. 7.5.6.3 Das System nebeneinander arbeitender Aufzugsketten nach Abitz

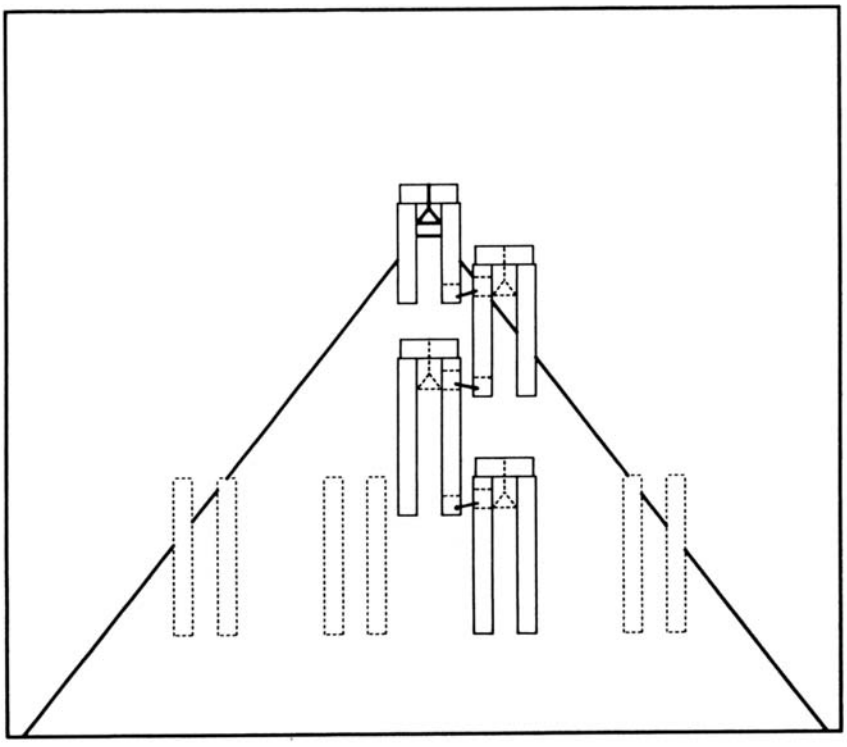


Abb. 7.5.6.4 Das Aufsetzen des Pyramidion nach Abitz

7.5.7 Hebezeug-Paternoster nach Munt

Munt veröffentlichte 1999[708] und in weiteren Berichten 2002[709] 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 Hafenbereich der Pyramiden des Chephren und Mykerinos gefundenen Seilumlenkrolle[710] 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.

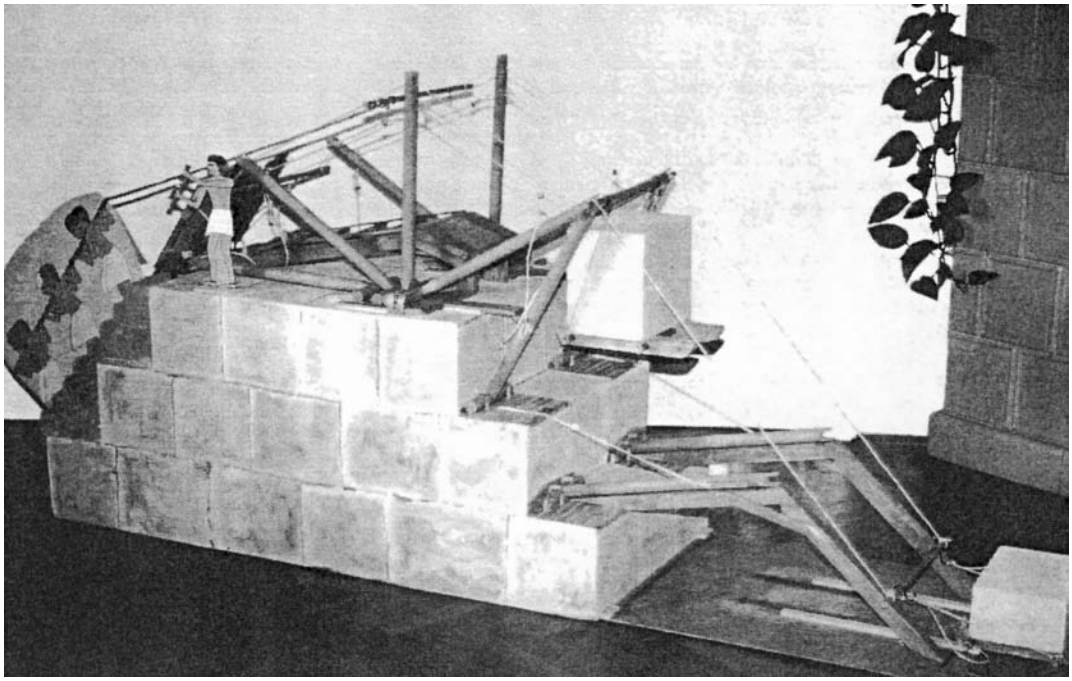


Abb. 7.5.7.1 Modell mit Hebezugkette nach Munt

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 52º (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 kontinu-

[708] Munt, Cheopspyramide.
[709] Munt 2002.
[710] Arnold, Building, S.283.

ierlichen 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.[711] Er beschreibt darin – unter Bezug auf die senkrechten Spuren (Vertiefungen) der an der östlichen Außenseite der 5. und 6. Stufe der Schicht E 2 der Pyramide des Snofru in Meidum gefundenen Vertiefungen[712] – 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.

[711] Dorka, Pyramid Building, S.11.
[712] Petrie, Meidum, S.10 und Bl.2.

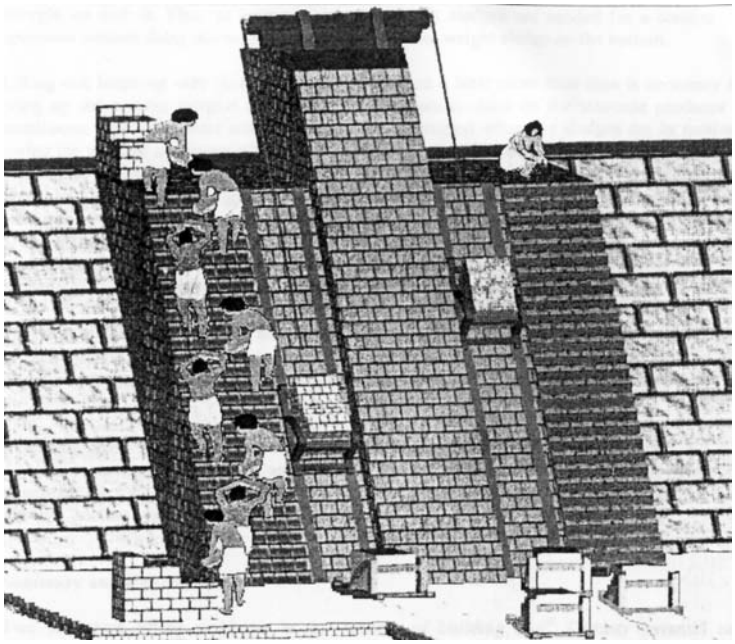


Abb. 7.5.8 Prinzipielle Darstellung des Schrägaufzuges nach Dorka

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).[713] 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 Sicherungspflock gelenkt.

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

[713] Pitlik, Cheopspyramide.

3 t Bedenken zur Anwendung für einen Dauereinsatz anzubringen. Pitlik berechnet den notwendigen Kraftaufwand an der Gangspill-Winde wie folgt:[714] 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.

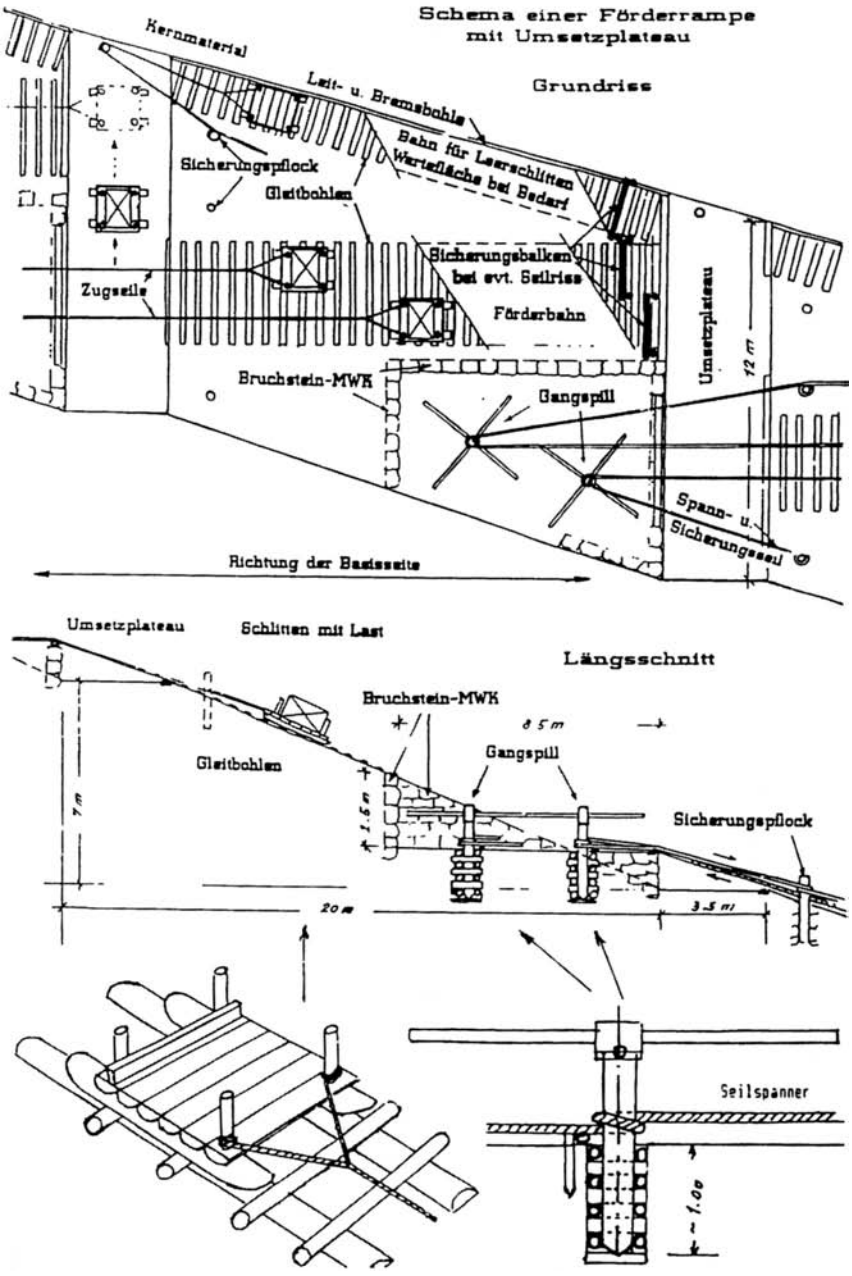


Abb. 7.5.9 Schema einer Förderrampe mit Umsetzplateau nach Pitlik

[714] 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.[715] 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 ⅔ 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.

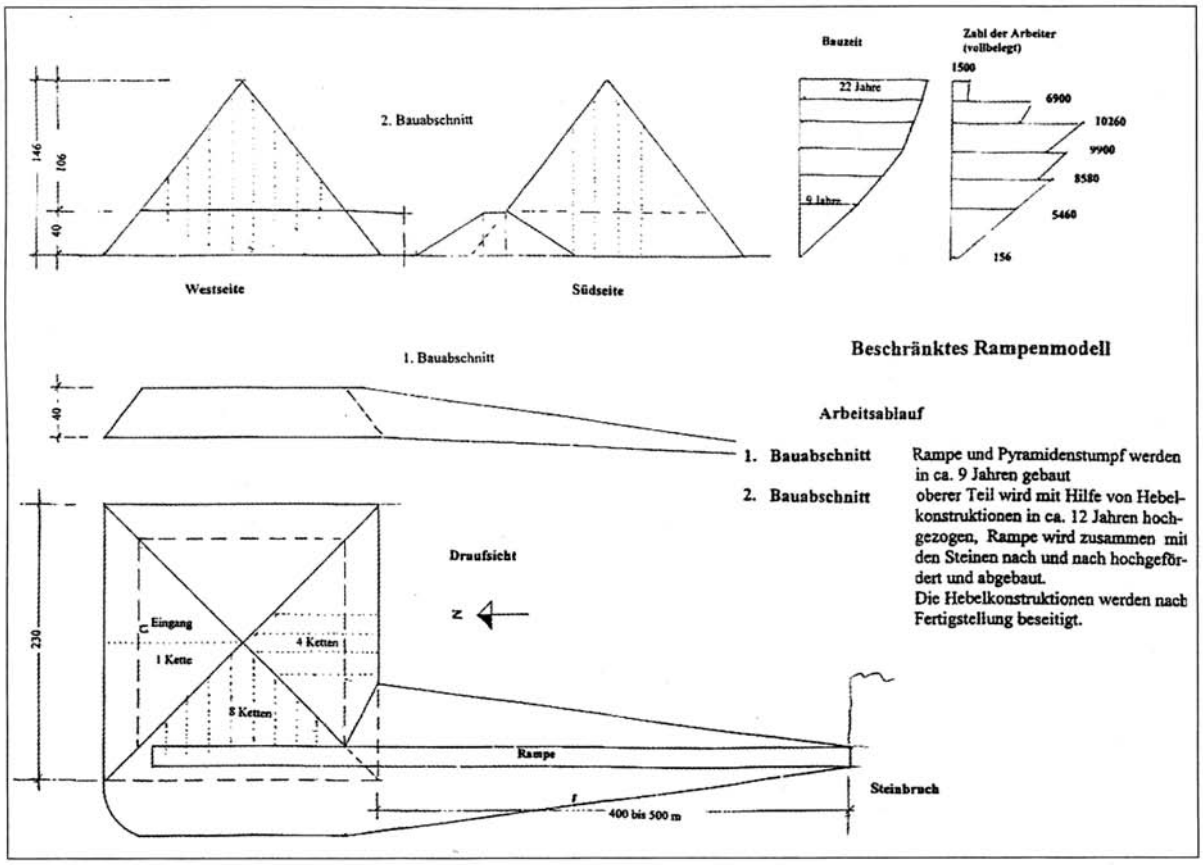


Abb. 7.5.10.1 Beschränktes Baurampenmodell nach Bormann

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.

[715] Bormann, Pyramidenbau.

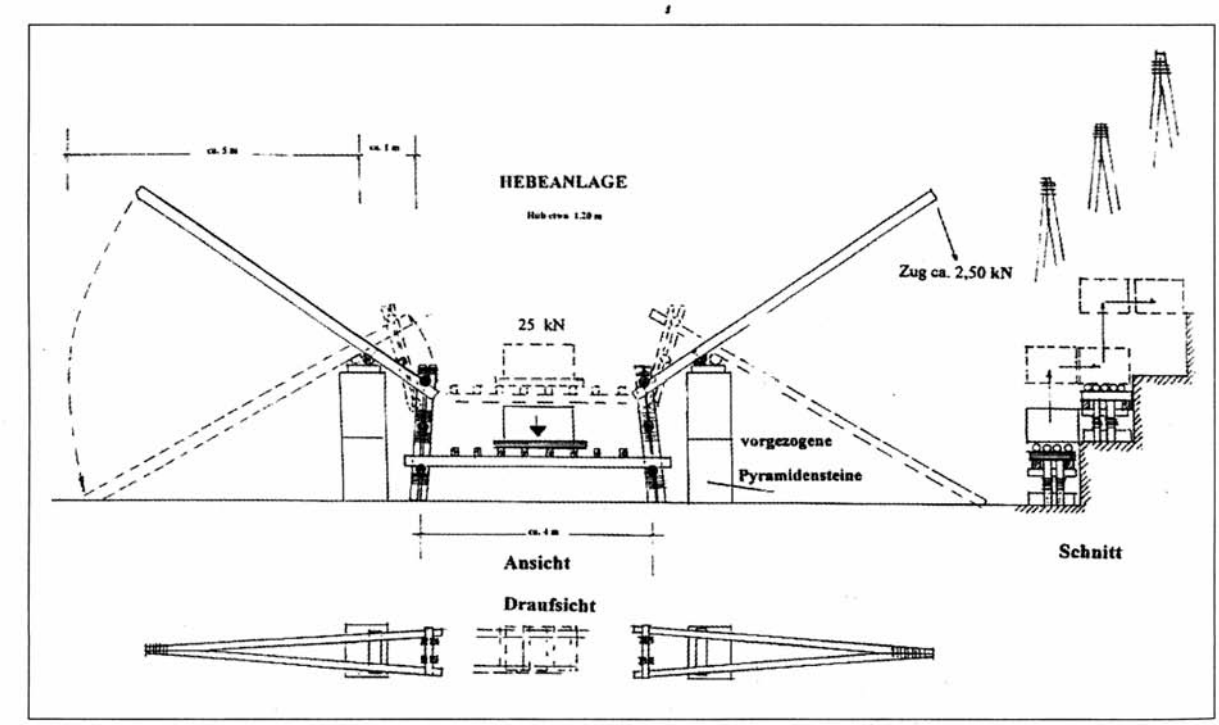


Abb. 7.5.10.2 Skizze der Hebelanlage nach Bormann

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)[716] seine Idee des rollenden Steintransports (Abb. 7.5.11.2.), die er in Japan in einem Feldversuch testete.[717]

Abb. 7.5.11.1 Kippschlitten

[716] Siehe auch Brugsch, Thesaurus.
[717] Parry, Engineering.

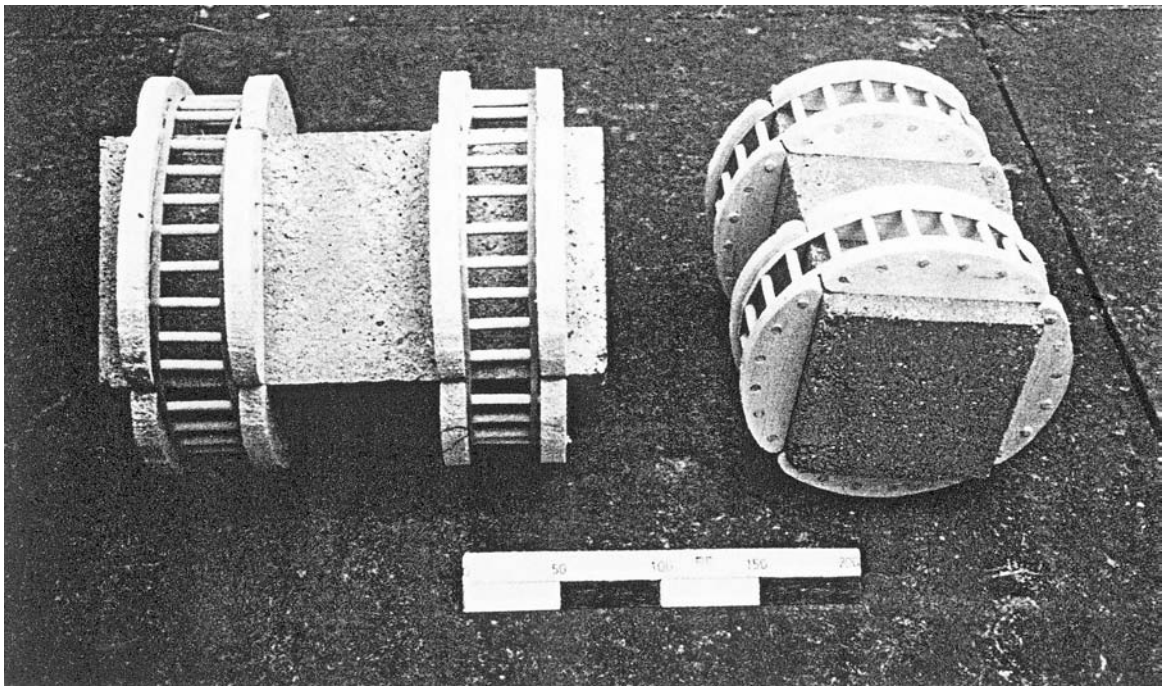


Abb. 7.5.11.2 Steinblock, eingeschlossen in vier Kippschlitten

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 auszuscheiden 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.[718]

[718]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-

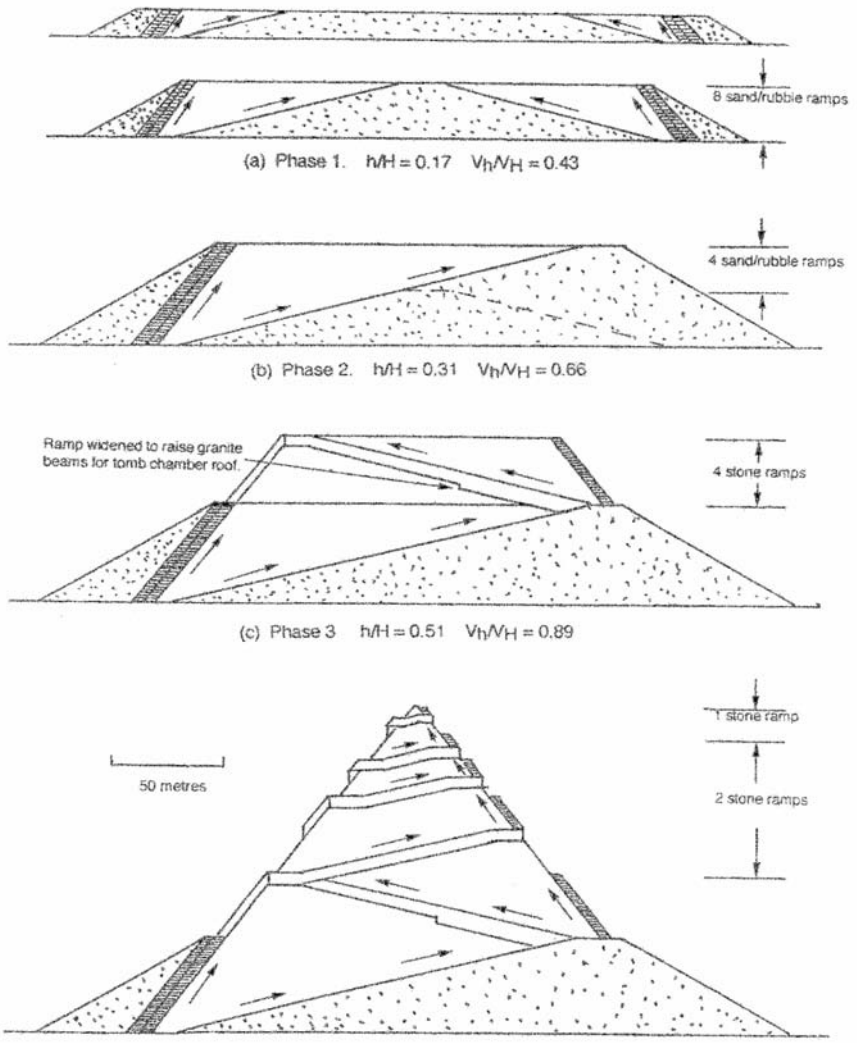


Abb. 7.5.11.5 Mögliches Rampensystem nach Parry

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 m³	855 626	106 953	8,1 Jahre
Stufe 2	638 460 m³	532 050	133 012	20,15 Jahre
Stufe 3	597 700 m³	498 083	124 520	12,6 Jahre
Restl. Stufen	337 000 m³	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.[719] 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.

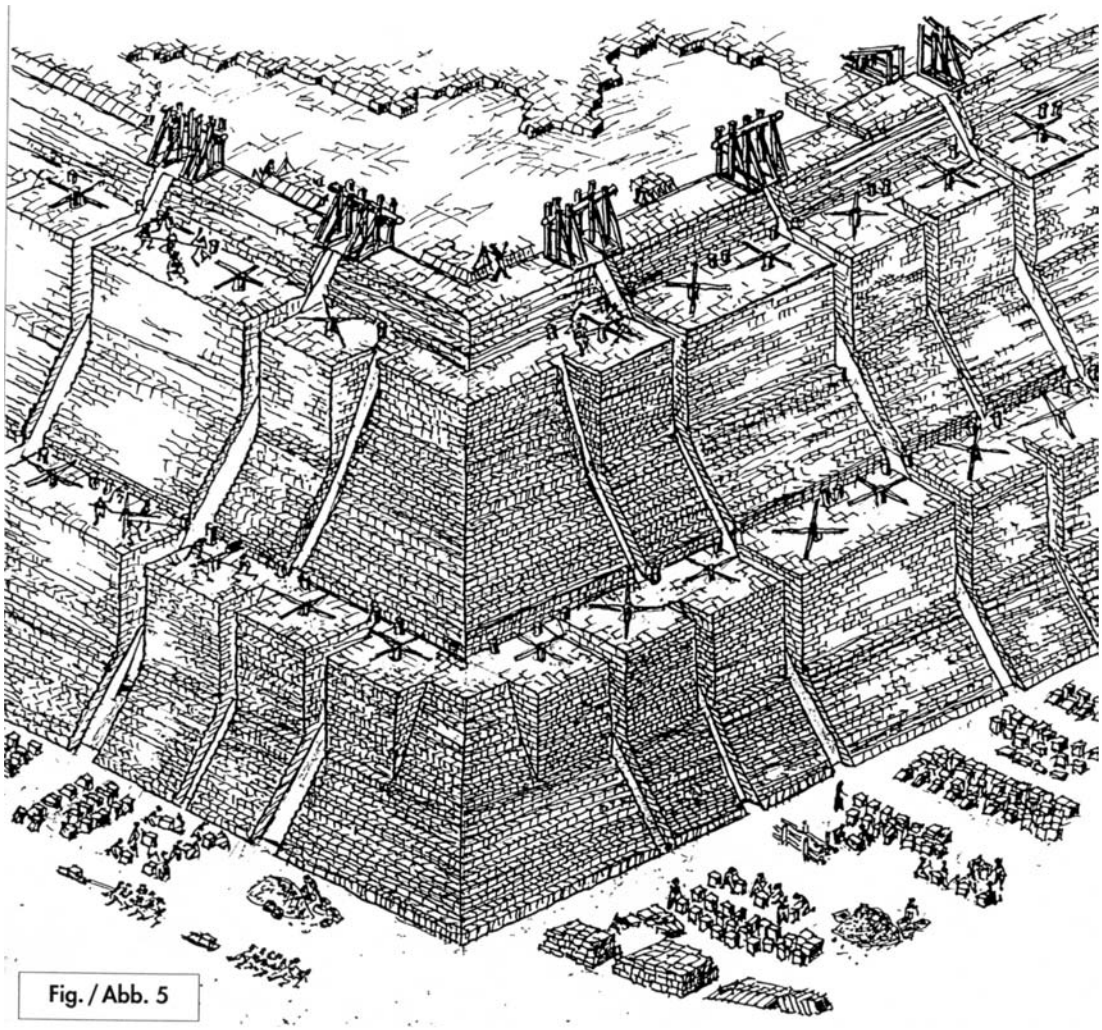


Abb. 7.5.12.1 Montagemantel mit Transportbahnen nach Keyssner

[719] Keyssner, Baustelle Gisa.

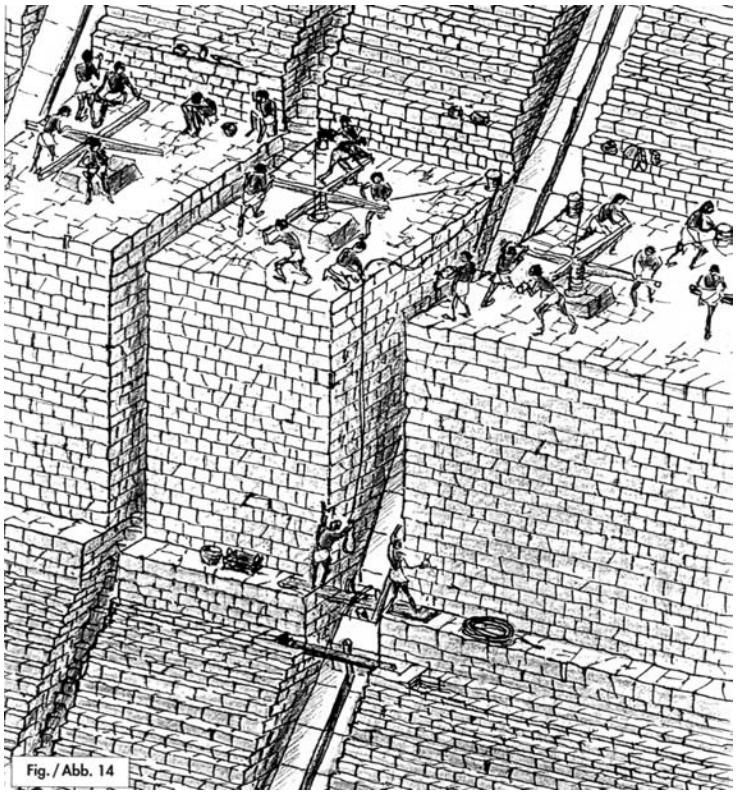


Abb. 7.5.12.2 Prinzip des Seilwechsels nach Keyssner

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-Modus[720] 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.[721]

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.[722] Seine Bauhypothese entspricht darüber hinaus in einigen Punkten auch nicht den in

[720] Keyssner, Baustelle Gisa, Abb.9.
[721] Keyssner, Baustelle Gisa, S.35.
[722] 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.

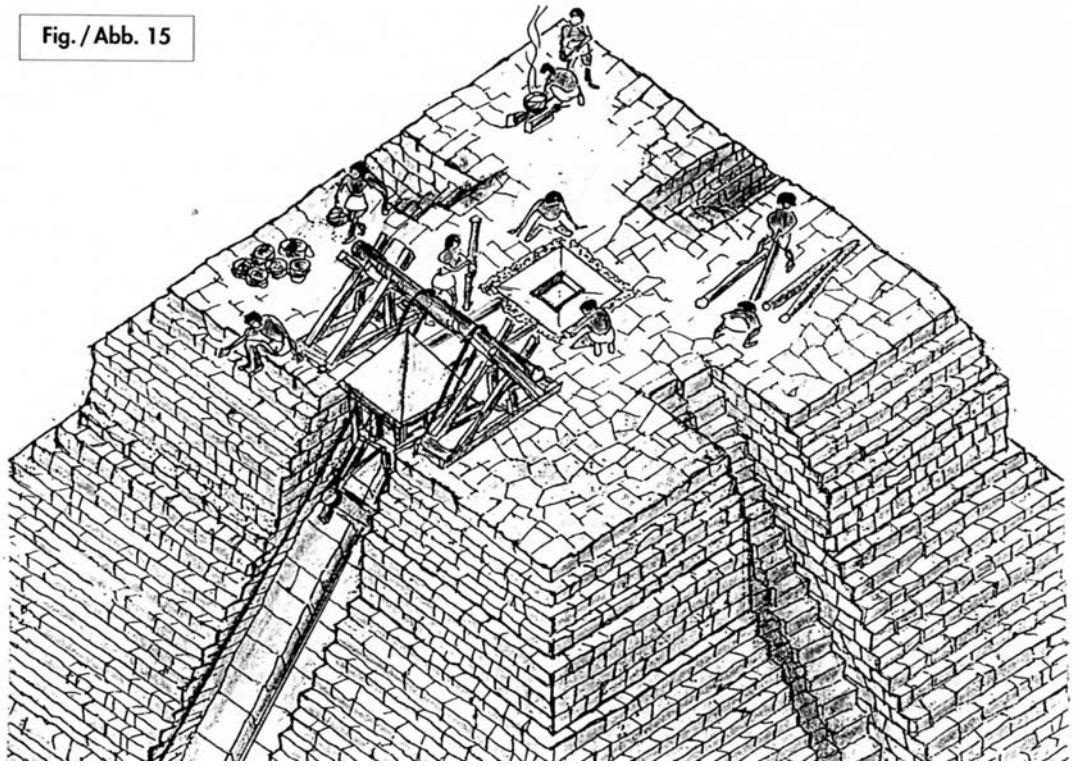


Abb. 7.5.12.3 Aufsetzen des Pyramidion

7.6 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 den 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.[723]
- 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 90º an den Ecken der Pyramide – auch wenn diese abgeschrägt ausgeführt werden – erscheint nur schwer möglich und würde einen großen Zeitaufwand erfordern. Zur Frage der Kraftumlenkung der Zugkräfte fehlen Aussagen bzw. praktikable Vorschläge.
- Eine schichtweise Verlegung der Steine im Kernmauerwerk der Pyramide entspricht nicht den archäologischen Befunden.
- Die Transportkapazität ist im Verhältnis zu den belegten Bauzeiten zu gering.
- Die Verlegung der äußeren Verkleidungsschicht und deren Glättung 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 bisher veröffentlichten Hypothesen für den Pyramidenbau, denen die vorstehend genannten Rampen zugrunde liegen, gehen davon aus, dass die Steine mittels Ochsengespannen 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.

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

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.[724] 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

[724] 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.

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 Ochsengespannen 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.

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

Ausgehend von den archäologisch nachgewiesenen 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**[725] 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**[726] errichtet, über

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

[726] 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.[727] 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 der 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 große Zugmannschaften benötigt werden. 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 dargelegt – 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 Rinaldi[728] sind die Stufen 2, 3 und 4 des Kernmauerwerks[729] – aus jeweils 7 Steinschichten bestehend – archäo-

---

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

[727] 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).

[728] Maragioglio VI, Addenda, TAV.4, Fig.2.

[729] Siehe auch Abb.5.3.6.

logisch nachgewiesen.[730] 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

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/l[731] 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 Pyramide[732] berechnet sich zu ca. 1,8 t.[733] Wie von den Königinnenpyramiden des Mykerinos – ebenfalls Stufenpyramiden – bekannt ist,[734] haben die Höhen deren einzelner Stufen etwa gleiche Abmessungen, wobei die untere Stufenhöhe geringfügig niedriger ist. Es werden daher bei der Pyramide des Mykerinos

[730] Maragioglio, VI, S.34.
[731] Arnold, Baukunst, S.119; bei den Berechnungen werden 2,4 t/m³ angesetzt.
[732] Stadelmann, Pyramiden, S.101: Basislänge 3 E (1,57 m); Winkel 45°.
[733] Volumen 0,645 m³, Gewicht 1,8 t.
[734] Maragioglio, VI, Addenda, TAV.11, Fig.2.

Abb. 8.1.2 Verkleidungsmauerwerk der Nordseite der Pyramide des Mykerinos

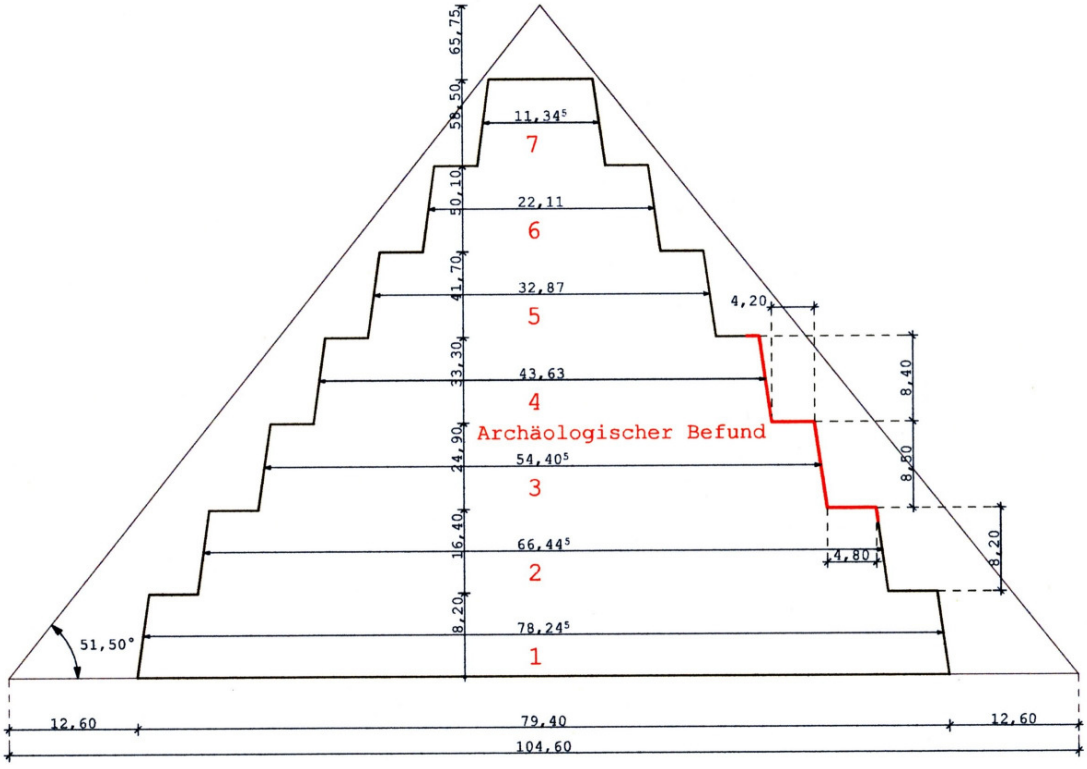


Abb. 8.1.3 Stufen des Kernmauerwerks der Pyramide des Mykerinos (Maßangaben in m)

– 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).

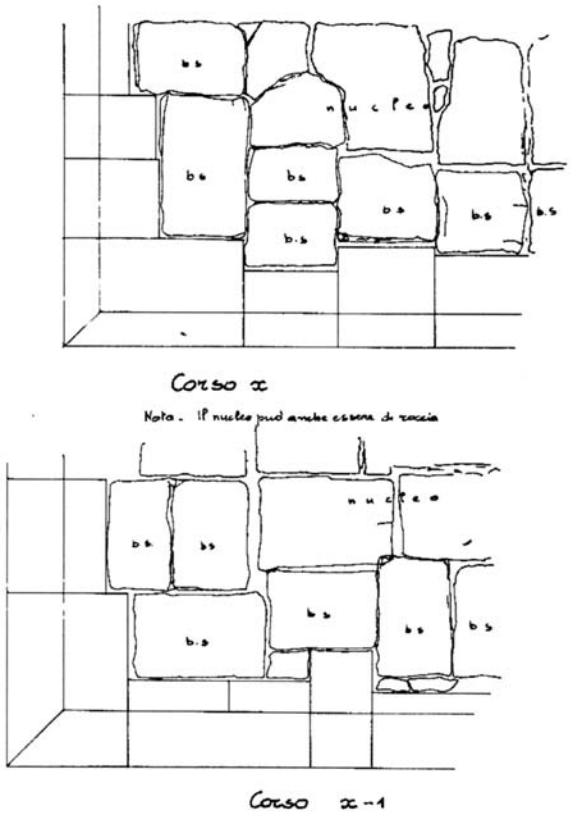


Abb. 8.1.4 Schichtweise wechselseitig verlegte Steine des Kernmauerwerks bzw. des Verkleidungsmauerwerks an der Spitze der Cheopspyramide nach Maragioglio

Der Neigungswinkel der geglätteten Außenverkleidung beträgt nach Maragioglio und Rinaldi 51°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?).[735] Ebenfalls vermessen wurden die Basiskanten der untersten Schicht der Außenverkleidung mit den Abmessungen 196 x 200 Ellen (102,2 x 104,6 m).[736] Parallel zu diesen Arbeiten erfolgten Festlegung und Baubeginn des Grabschachtes und der Grabkammern.[737]

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°30´ nur grob feststellen; nicht alle Kanten werden davon erfasst.[738] So liegt die Kante der dritten Stufe etwas innerhalb dieser Fluchtlinie.[739] Auch bei den Königinnenpyramiden G III c und G III b sind derartige Unterschiede der Stufenhöhen und -breiten festzustellen.[740] 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 (51º30´) stets etwas geringer ist als derjenige, der die Kanten der Stufen des Kernmauerwerks verbindet (54º30´) 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 26,5º – 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 (26º 33' 54") findet mit nur geringen Abweichungen bei den Grabkammerkorridoren in fast allen Pyramiden der 4.Dynastie Anwendung. Für den

[735] Maragioglio, VI, Addenda, TAV.4, Fig.2.
[736] Stadelmann, Pyramiden, S.142.
[737] 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.
[738] Diese Feststellung deckt sich nicht ganz mit den Aussagen von Graefe. Siehe Kapitel 7.4.4 „Vorschlag von Graefe".
[739] Dabei wird die genaue messtechnische Erfassung dieser Kante durch Maragioglio und Rinaldi vorausgesetzt.
[740] Maragioglio, VI, Addenda, TAV.11, Fig.2.

Materialtransport nach oben an die Oberfläche (herausgeschlagenes Felsgestein) scheiden Zugmannschaften oder Ochsengespanne bei einem Querschnitt des Korridors in der Pyramide 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 Rechmire (Kapitel 4.3.1.1 „Zugkräfte [Gleitreibung]“, Abb. 4.3.1.1.2) dargestellte Ziegelrampe der 18. Dynastie zeigt ebenfalls ein Verhältnis Basis zu Höhe von 2:1. Die 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.

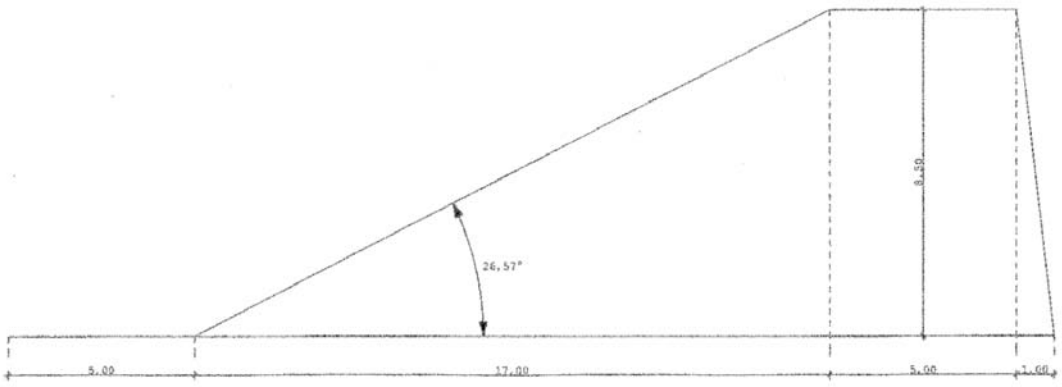


Abb. 8.2.1.1 Vorschlag für die Transportrampen Maßangaben in m)

Die Außenseiten der Rampen werden aus exakt behauenen Steinen hergestellt angenommen, 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 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.

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.

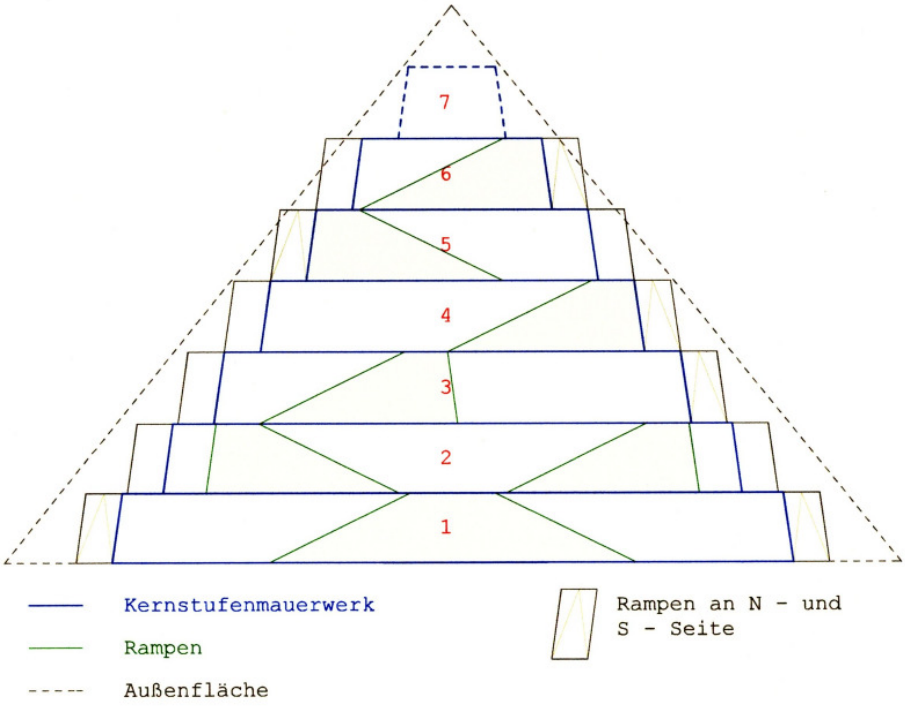


Abb. 8.2.1.2 Anordnung der Rampen auf den Stufen 1–6 des Kernmauerwerks

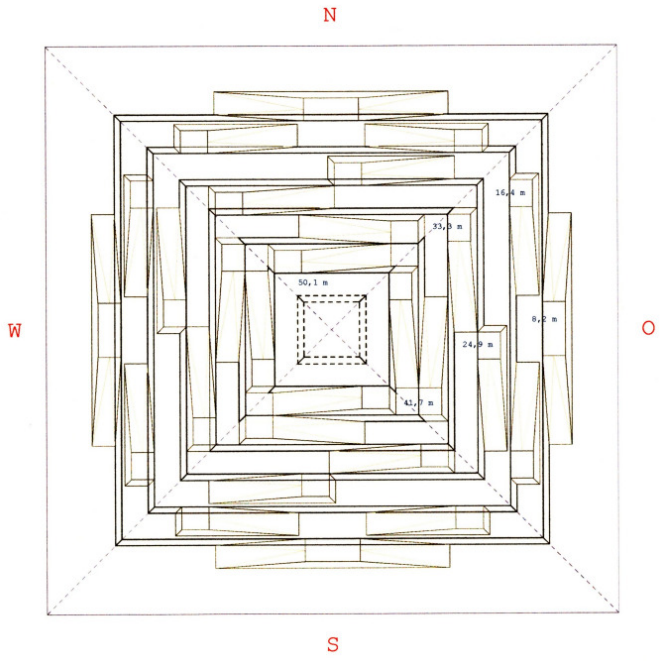


Abb. 8.2.1.3 Aufsicht auf alle Rampen des Kernmauerwerks[741]

[741] Aus Gründen der Vereinfachung 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:

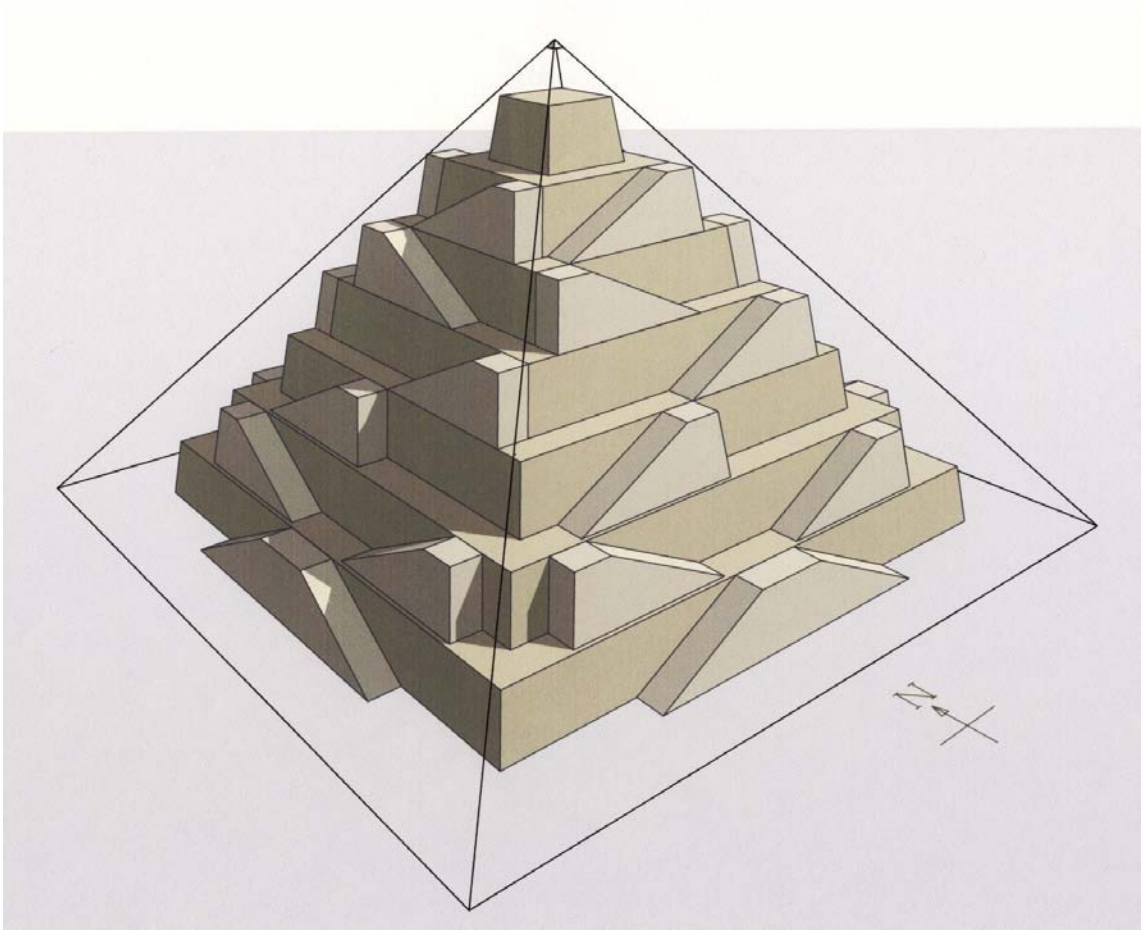


Abb. 8.2.1.4 Perspektive der Rampen zur Errichtung des Kernmauerwerks

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 nicht durch praktische Versuche 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.

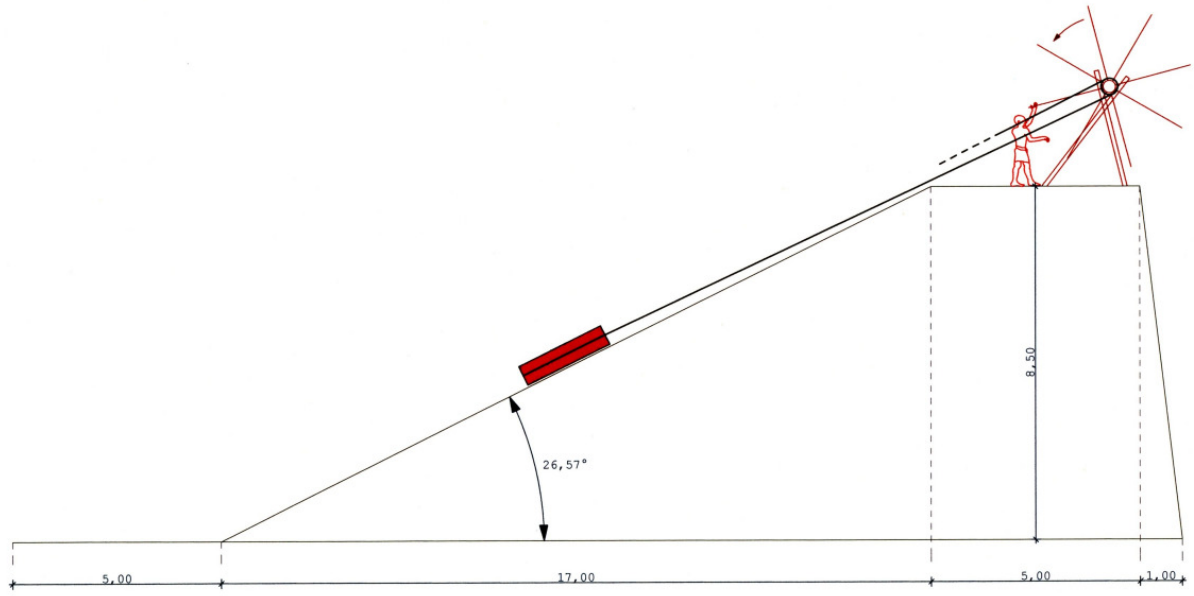


Abb. 8.2.1.5 Anordnung der Seilwinde am oberen Ende der Rampe

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 waagerecht 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 kp x 13 = 1560 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° 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 geleg-

te Holzbohlen,[742] eine mit feinem Sand[743] bestreute glatte Oberfläche oder eine Unterlage mit Kugeln aus Dolerit benutzt, ergibt sich eine Zuglast von ca. 2200 kp.[744] Diese verringert sich bei kleineren Steinblöcken noch weiter.

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 Holzpflöcke), 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 nächsthöher 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 im Mörtel befestigten Steinkugeln aus Dolerit versehen ist, damit die Schlitten bzw. die Steinblöcke ggf. gedreht werden können, um anschließend ebenfalls auf Steinkugeln zum Weitertransport bereit zu stehen.

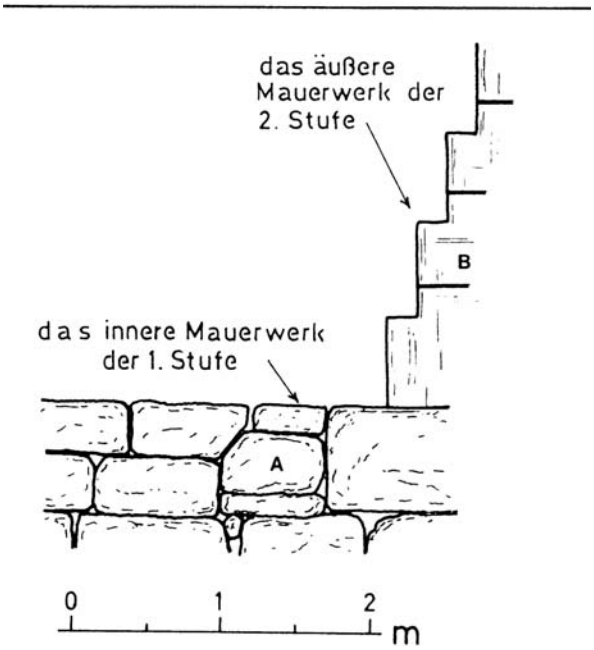


Abb. 8.2.1.6 Steinlagen innerhalb der Stufe des Kernmauerwerks bei der Königinnenpyramide G III c

[742] Archäologisch erst ab dem MR belegt. Andererseits ist das Prinzip der Walze schon im AR bekannt.
[743] Feiner Sand hat eine mit Steinkugeln vergleichbare günstige Rollreibung zur Folge.
[744] 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 Vermessung[745] 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.[746]

Bei einigen Pyramiden, z.B. den Königinnenpyramiden des Mykerinos G III b und G III c wurde nur das Kernmauerwerk errichtet.[747] 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.

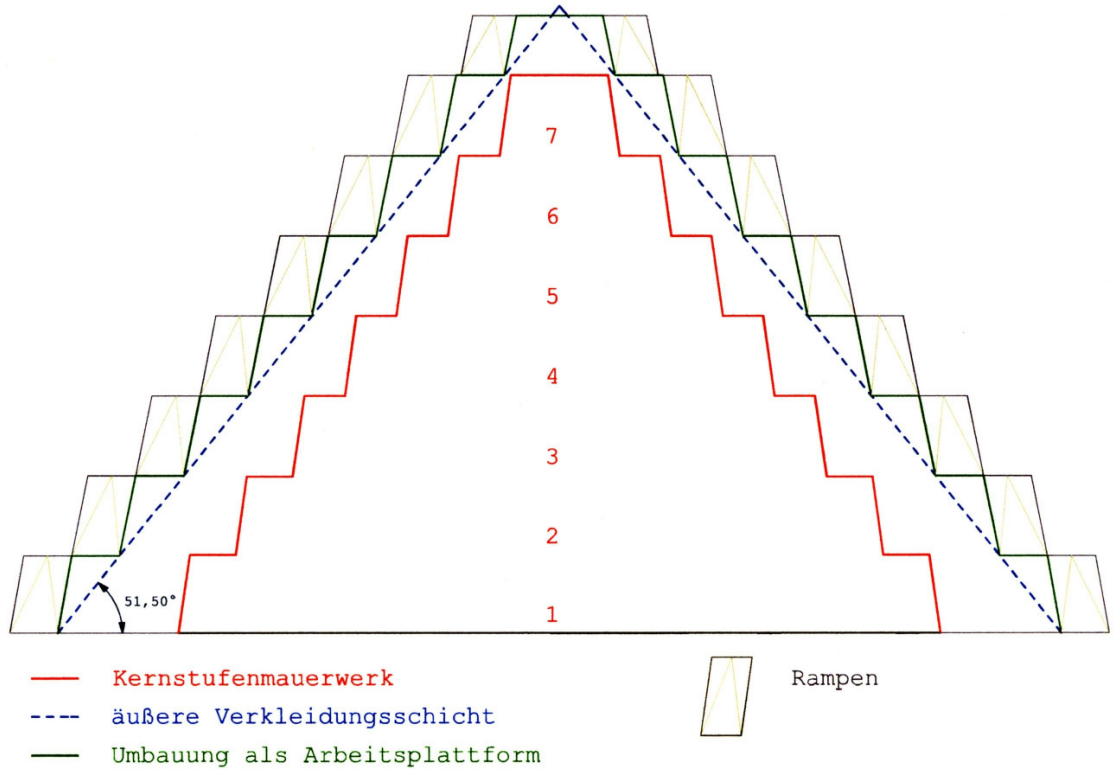


Abb. 8.2.2.1 Arbeitsplattform an den Außenflächen der Pyramide

[745] Siehe Kapitel 4.4 „Vermessungstechnik“; die maximale Abweichung der Basislänge der Cheopspyramide beträgt 3,2 cm bei einer Gesamtlänge von 230,34 m.
[746] Stadelmann weist darauf hin (Stadelmann, Pyramiden, S.226), dass aufgrund seiner Beobachtungen an der Knickpyramide die äußere Verkleidungsschicht/Außenverkleidung von Anfang an zusammen mit dem Kernmauerwerk – also von unten nach oben – verlegt worden ist. Siehe auch Abb. 5.1.1.5.2.2.
[747] 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.[748] 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.[749] 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.[750] 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.[751] 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 abschließende Baumaßnahme zeitgleich mit dem Rückbau der Bauplattform selbst.[752] Abb. 8.2.2.2 zeigt das Verfahren

[748] Zum waagerechten Verschieben der Blöcke der Außenverkleidung siehe Stadelmann, Pyramiden, S.110.
[749] Arnold Baukunst, S.43, Goyon, Cheopspyramide, S.137.
[750] Lehner, Schätze, S.42.
[751] 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.
[752] 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)

zur Glättung von Steinoberflächen, wie es einer Darstellung aus dem Grab des Rechmire (TT 100 Theben West) entnommen werden kann.

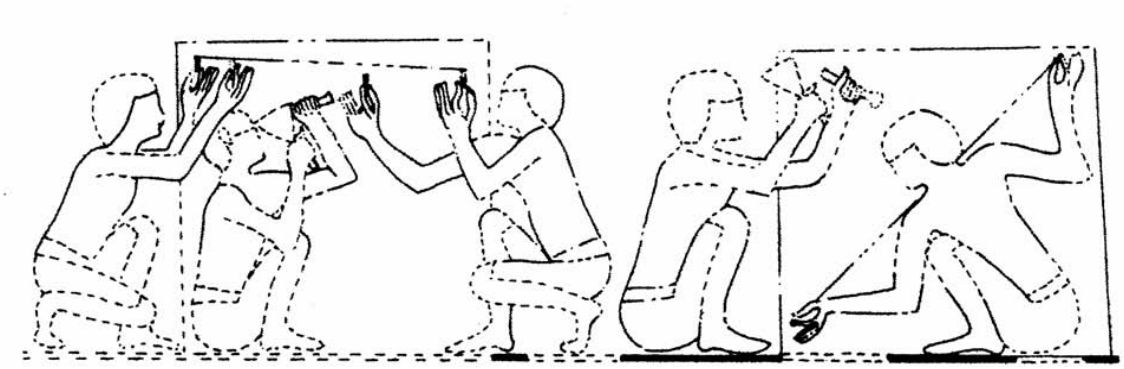


Abb. 8.2.2.2 Glätten von Steinflächen; Darstellung aus dem Grab des Rechmire

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 Felssporns – also ohne Diagonalmessung –, dass diese Art der Vermessung offensichtlich kein Problem darstellte.

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.[753] Das Gewicht beträgt dann ca. 3 t.[754] Dabei ist berücksichtigt, dass die Füllsteine des Kernmauerwerks geringere und die Außenmauern des Kernmauerwerks größere Abmessungen haben. Die hier angenommenen Größen dienen der 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

entlang der Außenseiten vorgenommen wurden (siehe Kapitel 7.1.2 „Diodor“). Plinius erwähnt in diesem Zusammenhang ein Terrassensystem (siehe Kapitel 7.1.3 „Plinius“).

[753] 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).

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

Gewicht von 1,5 t angenommen.[755] Jeweils zwei dieser Steinblöcke ergeben eine Schlittenladung bzw. einen Schleppvorgang.

- Die Transportleistungen beziehen sich auf die Bauleistungen für die außen angeordnete Bauplattform 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 waagerecht 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 Schlittenladung[756] 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 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.

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

[755] 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.

[756] 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.

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 m³	41830 Steinblöcke bzw. Schlittenladungen
Stufe 2	36197 m³	30164
Stufe 3	25155 m³	20962
Stufe 4	15990 m³	13325
Stufe 5	9092 m³	7577
Stufe 6	4106 m³	3422
	140736 m³	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	20962	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
		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:[757]

Stufe 1	36888 m³ bzw. 33740 Schlittenladungen bei	12 Rampen[758]	2812 Arbeitstakte
Stufe 2	31338 m³ bzw. 26115	8 Rampen	3264
Stufe 3	25573 m³ bzw. 21311	8 Rampen	2664
Stufe 4	18422 m³ bzw. 15325	8 Rampen	1919
Stufe 5	12126 m³ bzw. 10105	8 Rampen	1263
Stufe 6	7553 m³ bzw. 6294	4 Rampen	1574
Stufe 7[759]	5444 m³ bzw. 4534	4 Rampen	1134
Stufe 8	728 m³ bzw. 608[760]	1 Rampe	808

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

19656 m³ bzw. 16380 Schlittenladungen bei 7,5 Rampen[761]		2184 Arbeitstakte
157728 m³	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:

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

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**.

---

[757] Das geringere Volumen wird mit Blick auf die unterschiedlichen Steingrößen angesetzt.
[758] Die Anzahl der Rampen vergrößert sich durch die breitere Basis der Bauplattformen.
[759] Einschließlich Volumen des Kernmauerwerks der Stufe 7.
[760] Einschließlich Pyramidion.
[761] Im Durchschnitt können auf allen vier Seiten der Pyramide insgesamt etwa 7,5 Rampen zeitgleich gebaut werden (52 Rampen geteilt durch 7 Stufen).

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 gelagert[762].

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 (Turakalkstein ab der 17. Verkleidungssteinlage) von 1,0 m mal 1,0 m geglättet werden kann. Für die Granitverkleidung (8 bzw. 16 Steinlagen)[763] wird dieser Wert auf 0,5 m mal 0,5 m reduziert.[764] 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 m²	396 m	12920	197	66
2	2767 m²	332 m	11069	168	66
3	2448 m²	288 m	2448	144	17
4	1967 m²	234 m	1967	116	17
5	1533 m²	182 m	1532	91	17
6	1044 m²	124 m	1044	62	17
7	635 m²	76 m	635	38	17
Spitze	80 m²	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.

[762] Näheres siehe bei Haase, Steinbruch.

[763] 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.

[764] 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.

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.[765] 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.

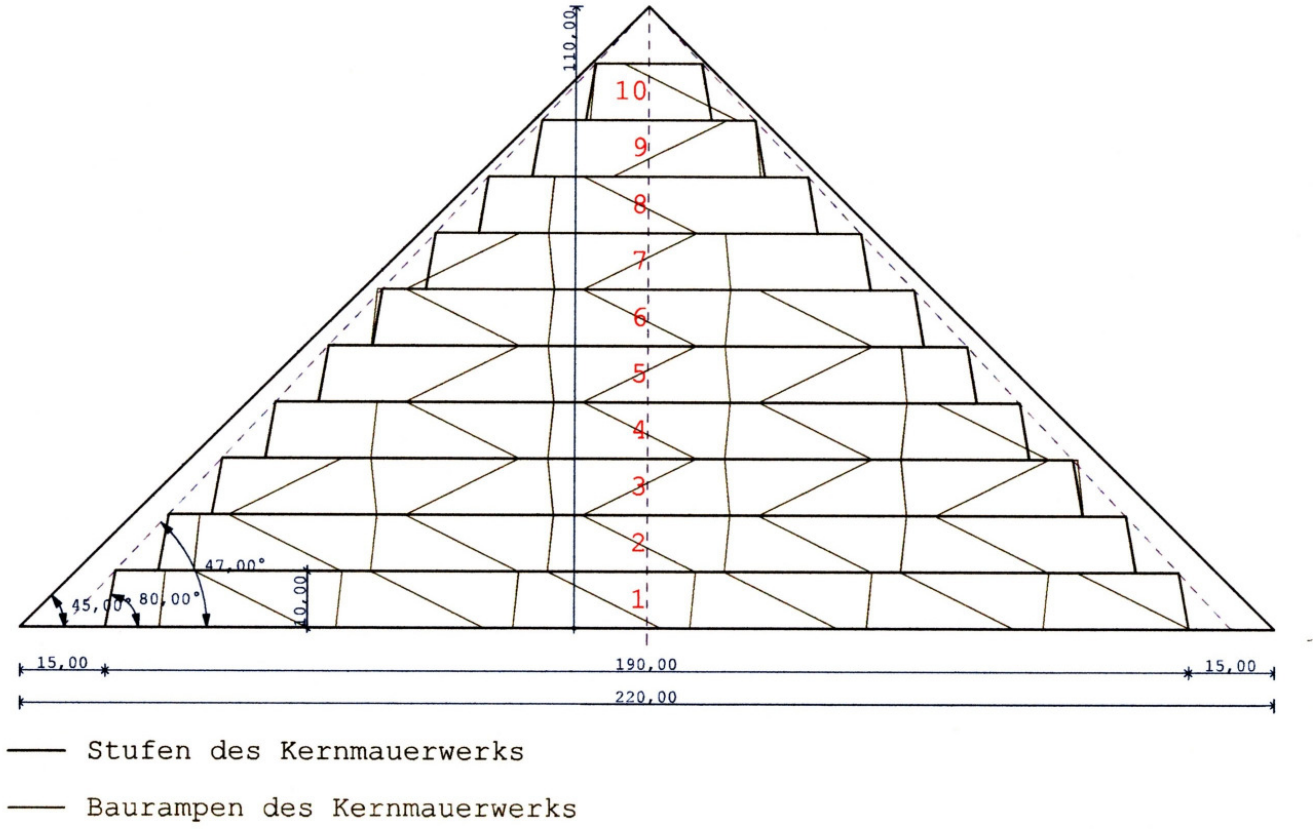


Abb. 8.3.1.1 Anordnung der Rampen für den Bau des Kernmauerwerks der Roten Pyramide (Maßangaben in m)

[765] 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 ⅔ der Pyramide Abmessungen von 1–1,3 m Höhe; Lepsius beschreibt die Blöcke des Kernmauerwerks als im Ganzem „…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 m³	460136 Steinblöcke
Stufe 2	287642 m³	373561
Stufe 3	227828 m³	295882
Stufe 4	175033 m³	227315
Stufe 5	129140 m³	167715
Stufe 6	90250 m³	117208
Stufe 7	58293 m³	75705
Stufe 8	33290 m³	43238
Stufe 9	15257 m³	19814
Stufe 10	4166 m³	5410
	1375204 m³	1785984 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 Steinblöcke	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	10810
Stufe 9	19814	4 Rampen	4954
Stufe 10	5410	2 Rampen	2705
		Gesamtzahl Arbeitstakte	118526

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:

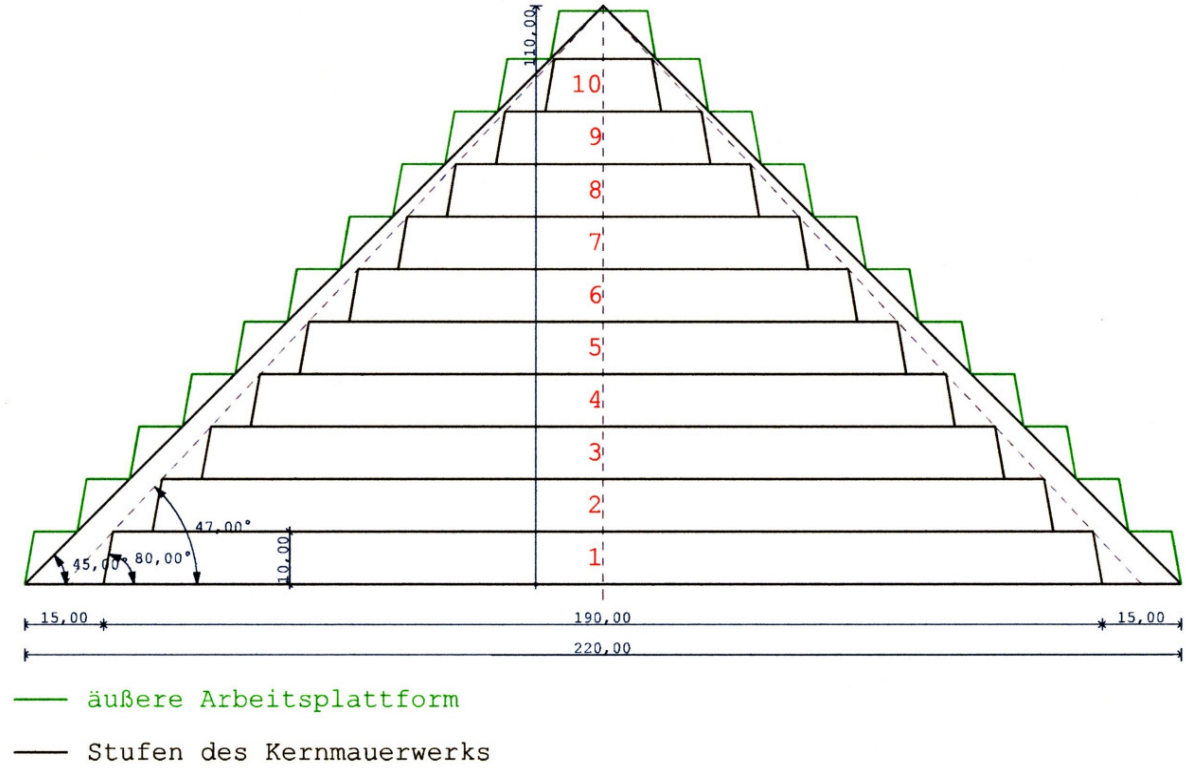


Abb. 8.3.1.2 Arbeitsplattformen bei der Roten Pyramide (äußere Stufen; Maßangaben in m); die Stufen im Inneren der Pyramide stellen das Kernmauerwerk dar.

Stufe 1	116585 m³	bzw.	151409 Schlittenladungen bei	28 Rampen[766]	5407 Arbeitstakte
Stufe 2	96518 m³	bzw.	125348	20 Rampen	6267
Stufe 3	85462 m³	bzw.	110990	20 Rampen	5550
Stufe 4	71457 m³	bzw.	92801	16 Rampen	5800
Stufe 5	58550 m³	bzw.	76039	16 Rampen	4752
Stufe 6	46640 m³	bzw.	60571	12 Rampen	5048
Stufe 7	35797 m³	bzw.	46490	12 Rampen	3874
Stufe 8	26000 m³	bzw.	33766	8 Rampen	4221
Stufe 9	18383 m³	bzw.	23874	4 Rampen	5969
Stufe 10	10274 m³	bzw.	13343	4 Rampen	3336
Stufe 11[767]	3610 m³	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 Rampen[768]	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**.

[766] Die Anzahl der Rampen vergrößert sich durch die breitere Basis der Bauplattformen.
[767] Einschließlich Pyramidion.
[768] 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 m³
Gesamtvolumen der äußeren Baurampen		52920 m³
abzüglich Volumen der Pyramide	./.	1774667 m³
restliches, zu entsorgendes Baumaterial		222733 m³

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 m²	840 m	8415	410	21
2	7612 m²	760 m	7612	380	20
3	6809 m²	680 m	6809	340	20
4	6038 m²	604 m	6038	302	20
5	5267 m²	528 m	5267	264	20
6	4464 m²	448 m	4464	224	20
7	3661 m²	368 m	3661	184	20
8	2858 m²	286 m	2858	143	20
9	2088 m²	208 m	2858	104	20
10	1253 m²	124 m	1253	60	21
Spitze	514 m²	52 m	514	24	21
			Gesamtdauer der Glättung		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 hinzugerechnet 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.[769] 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.[770]

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).[771]

[769] Stadelmann, Pyramiden, S.100.
[770] 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).
[771] 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.[772]
- 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 %[773] bzw. neuerdings mit 7,7 %, also ca. 200000 m³,[774] der gesamten Baumasse berechnet. Goyon nennt ein Volumen zwischen 127000 und 160000 m³.[775] 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.[776]

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[777]	G III a – G III c[778]	Mykerinos	Cheops
Basislänge	47 m	44 m	104 m[779]	230 m[780]
Höhe	30 m	30 m	66 m[781]	150 m[782]
Anzahl der Stufen	4	4	7[783]	12[784]
Stufenhöhe	6	5 m	8,4 m[785]	11 m[786]
Stufenbreite	3,5 m	3,5 m	4,4 m[787]	5,75 m[788]
Basislänge der Stufe 1	32 m	31 m	80 m[789]	197 m[790]

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

[772] 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“).
[773] Haase, Felskern.
[774] Haase, Cheops, S.17.
[775] Goyon, Cheopspyramide, S.117.
[776] 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.
[777] Durchschnittswerte nach Jánosi, S.77ff.
[778] Durchschnittswerte, ermittelt aus Maragioglio IV, Addenda, TAV.12, Fig.1, TAV.13, Fig.2, TAV.14, Fig.3.
[779] Faktor 2,36 gegenüber G III a – G III c.
[780] Faktor 2,1 gegenüber Mykerinos.
[781] Faktor 2,36 gegenüber G III a – G III c.
[782] Faktor 2,27 gegenüber Mykerinos.
[783] Faktor 1,75 gegenüber G III a – G III c.
[784] Faktor 1,71 gegenüber Mykerinos; Graefe nimmt 11 Stufen an.
[785] Faktor 1,31 gegenüber G III a – G III c.
[786] Faktor 1,43 gegenüber Mykerinos.
[787] Faktor 1,26 gegenüber G III a – G III c.
[788] Faktor 1,31 gegenüber Mykerinos.
[789] Faktor 2,58 gegenüber G III a – G III c.
[790] Faktor 2,46 gegenüber Mykerinos.

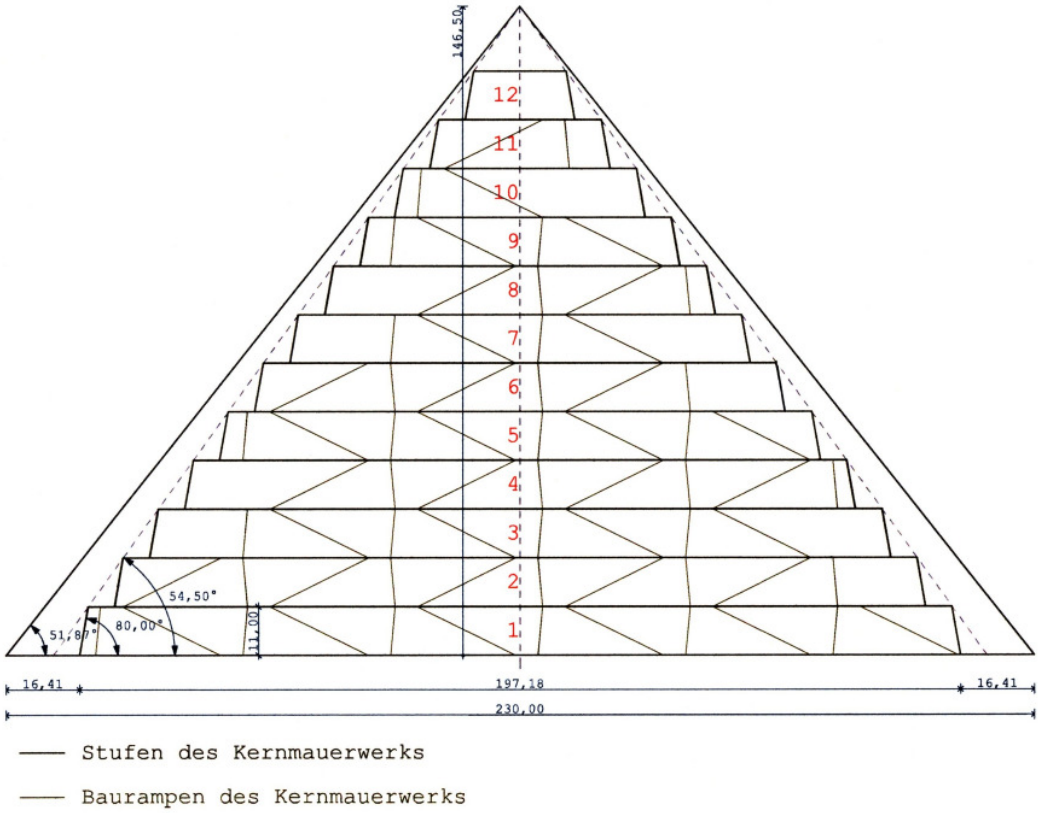


Abb. 8.3.2.1 Anordnung der Rampen beim Bau des Kernmauerwerks der Cheopspyramide (Maßangabe in m)

Die 12 Pyramidenstümpfe des **Kernmauerwerks** haben nachstehend genannte Volumina bzw. bestehen aus folgender Anzahl der Steinblöcke durchschnittlich je 1,2 m³:[791]

Stufe 1	482275 m³	348563 Steinblöcke
Stufe 2	354620 m³	295517
Stufe 3	295315 m³	246096
Stufe 4	241465 m³	201221
Stufe 5	193031 m³	160859
Stufe 6	150013 m³	125011
Stufe 7	112389 m³	93657
Stufe 8	80206 m³	66838
Stufe 9	53439 m³	44532
Stufe 10	32076 m³	26730
Stufe 11	16153 m³	13461 Steinblöcke
Stufe 12	5628 m³	4690
	1952610 m³ [792]	1627175 Steinblöcke

[791] 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).

[792] 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	348563 Steinblöcke	bei 24 Rampen	15523 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		118097

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 13,1 Jahre benötigt. Dieser Wert verringert sich um ¾ Jahr auf **insgesamt 12,4 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 m³ bzw. 119634 Schlittenladungen	bei 28 Rampen	4273 Arbeitstakte
Stufe 2	125871 m³ bzw. 104893	24 Rampen	4187
Stufe 3	110189 m³ bzw. 91824	20 Rampen	4591
Stufe 4	99271 m³ bzw. 82726	20 Rampen	4136
Stufe 5	85060 m³ bzw. 70883	16 Rampen	4430
Stufe 6	68678 m³ bzw. 57232 Schlittenladungen	bei 16 Rampen	3577 Arbeitstakte
Stufe 7	56747 m³ bzw. 47289	12 Rampen	3941
Stufe 8	45733 m³ bzw. 38111	12 Rampen	3176
Stufe 9	37652 m³ bzw. 31377	8 Rampen	4672
Stufe 10	28160 m³ bzw. 23467	8 Rampen	2933
Stufe 11	18343 m³ bzw. 15286	4 Rampen	3822
Stufe 12	11103 m³ bzw. 9253	2 Rampen	4627
Stufe 13[793]	4400 m³ bzw. 3667	2 Rampen	1834

[793] Einschließlich Pyramidion.

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

65016 m³ bzw. 54180 Schlittenladungen bei 14 Rampen[794] 3225 Arbeitstakte

899784 m³ Gesamtzahl der Arbeitstakte 53433

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

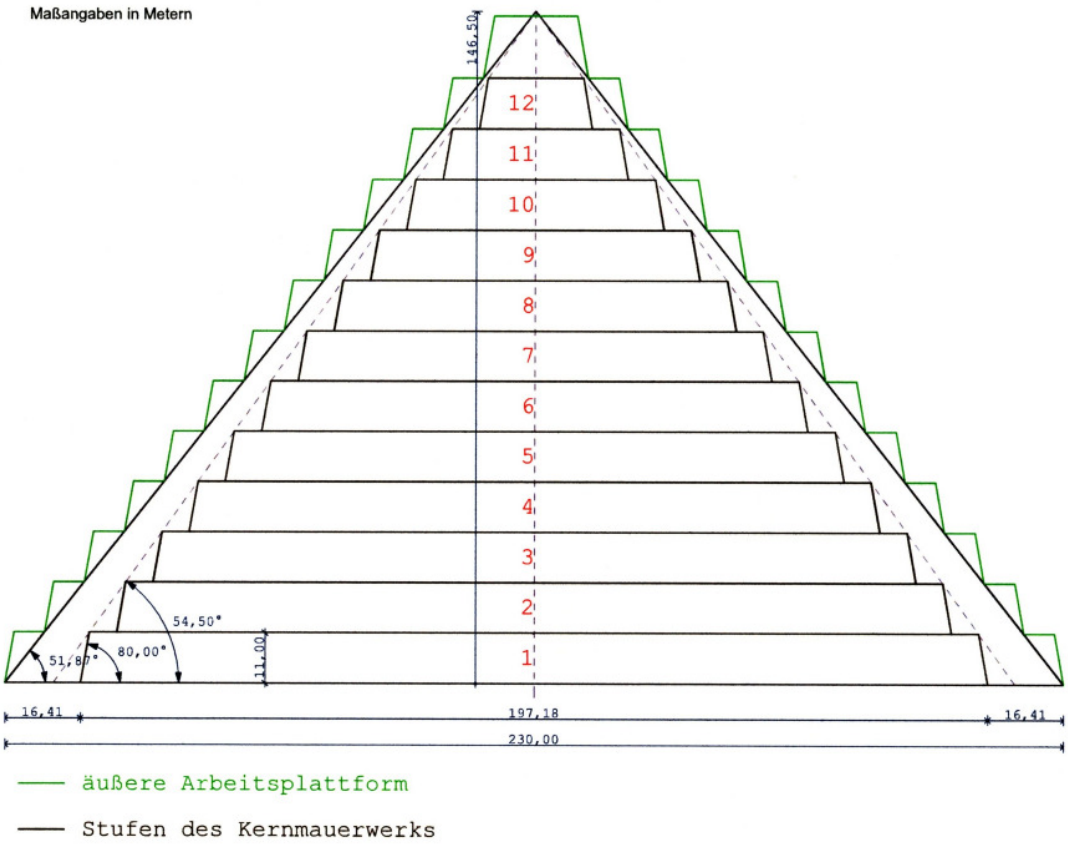


Abb. 8.3.2.2 äußere Bauplattformen bei der Cheopspyramide; die Stufen im Inneren der Pyramide stellen das Kernmauerwerk dar.

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 Arbeitplattform	2787378 m³
Gesamtvolumen der äußeren Baurampen	65016 m³
abzüglich Volumen der Pyramide	./. 2583280 m³
restliches, zu entsorgendes Baumaterial	269114 m³

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

[794] 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 Bauplattform 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 m²	882 m	9748	440	22
2	9004 m²	819 m	9004	408	22
3	8260 m²	751 m	8260	374	22
4	7478 m²	680 m	7478	340	22
5	6734 m²	612 m	6734	306	22
6	5990 m²	544 m	5990	272	22
7	5209 m²	474 m	5209	236	22
8	4465 m²	406 m	4465	202	22
9	3721 m²	338 m	3721	168	22
10	2939 m²	267 m	2939	132	22
11	2158 m²	196 m	2158	98	22
12	1451 m²	132 m	1451	66	22
Spitze	670 m²	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).[795]

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 sind jedoch nicht Bestandteil dieser Betrachtungen.

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.[796]

Auf die kürzlich von Haase vorlegte Hypothese für eine Rampe für die Schwertransporte bei Bau der Cheopspyramide[797] 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 wer-

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

[796] Lehner, Cheops Project.
[797] Haase, Rampe für Schwertransporte.

den, ohne Modifizierung kaum vorstellbar. Vielleicht wurden die Schichtpyramiden mittels einer stetig mitwachsenden Arbeitsplattform gebaut.[798]

[798] 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 Pyramide. 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.

9. Zusammenfassung und Ergebnisse

Ziel dieser Arbeit 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). 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.

Erstmals wird hiermit 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; [799]
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 angenommen Dauer der Herrschaft der Könige Snofru mit 35 Jahren,[800] Cheops mit 23 Jahren[801] und Mykerinos mit 28[802] bzw. 6[803] 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 Untersuchungen, bei denen verschiedene Wissenschaftsbereiche beteiligt sind, eine zunehmend größere Bedeutung zu. Am Beispiel 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.

---

[799] Die Glättung der Außenverkleidung wurde nicht vollständig durchgeführt.
[800] Nach Krauss und Warburton (Hornung Chronology, S.490) neuerdings 33 Jahre.
[801] Nach Krauss und Warburton (Hornung Chronology, S.491) neuerdings 26 Jahre.
[802] Beckerath, Chronologie, S.188.
[803] Nach Krauss und Warburton (Hornung, Chronology, S.485) neuerdings 6 Jahre.

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, Sesostris	Arnold, D., The Pyramid Complex of Senwrosnet 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 Restitutée, 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., Egypological Essays on State and Society, Universitata Napili, 2002
Barsoum,Große Pyramide	Barsoum, M., Microstructural Evedence 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 Pyramiden-Felder von oben, in: Sokar 15 (2/2007), S.62
Bassermann–Jordan, Zeitmessung	Basserrmann–Jordan, E. v., Die Geschichte der Zeitmessung und der Uhren, Band I, de Gruyter, Berlin, 1920
Becker, Chephren 1	Becker, J., Die Chephren Pyramide, in: Sokar 8 (1/2004), S.6ff.
Becker, Chephren 2	Becker, J., Der Bau der Chephrenpyramide in: Sokar 10 (1/2005), S.24ff.

Becker, Chefren 3	Becker, J., Der Bau der Chephrenpyramide in: Sokar 9(2/2004), S.18ff.
Becker, Pyramidenkorridore	Becker, J., Die Funktion der Pyramidenkorridore als vermessungstechnische Einrichtungen, in: Sokar 6 (1/2003), S.14ff.
Beckerath, Chronologie	Beckerath, v. J., Chronologie des pharaonischen Ägypten, Philipp von Zabern, Mainz, 1997
Berlandini, Menkauhor	Berlandini, J., La Pyramide ´Ruinée´de Sekkare-Nord et le Roi Ikaouhor-Menkaouhor, RdE 31, S.3–28
Bertinetti, Ägypten	Bertinetti, Marcello, Ägypten von oben, GEO Verlag, München 2003
Birell, Portucullis Stones	Birell, M., Portucullis Stones: Tomb security during The early Dynastic Period, in: BACE, Volume 11 (2000)
Bissing, Diodor	Bissing, F. W. Frhr. von Der Bericht des Diodor über die Pyramiden, Verlag Dunker, Berlin, 1901
Bock, Stufenpyramiden	Bock, J. Die kleinen Stufenpyramiden des frühen Alten Reiches in: Sokar 12 (1/2006), S.20ff.
Boeing, Heise	Boeing, N. Systemmanagement im alten Ägypten, in: Technology Review, 2.4.2007, unter www.heise.de
Borchardt, Bohrer	Borchardt, L., Beiträge zu Griffith´ Benihassan III. in: ZÄS, Band XXXV (1897), S.107
Borchardt, Dritte Bauperiode	Borchardt, L., Einiges zur dritten Bauperiode der Großen Pyramide bei Gise, Julius Springer Verlag Berlin, 1932
Borchardt, Längen	Borchardt, L., Längen und Richtungen der vier Grundkanten der großen Pyramide bei Gise, Julius Springer Verlag Berlin, 1926
Borchardt, Meidum	Borchardt, L., Die Entstehung der Pyramide, Springer Verlag, Berlin, 1928,
Borchardt, Neferirkare	Borchardt, L. Das Grabdenkmal des Königs Nefer-ir-ka-re, in Ausgrabungen der Deutschen Orient-Gesellschaft in Abusir, Hinrichs'sche Buchhandlung, Leipzig, 1909
Borchardt, Niuserre	Borchardt, L., Das Grabdenkmal des Ne-User-Re, in Wissenschaftliche Veröffentlichung der Deutschen Orient-Gesellschaft 7, Leipzig, 1097
Borchardt, Pyramide	Borchardt, L., Die Entstehung der Pyramide, Verlag von Julius Springer, Berlin, 1928
Borchardt, Re – Heiligtum	Borchardt, L., Das Re-Heiligtum des Niuserre, Band 1 – Der Bau -, Verlag von Alexander Duncker, Berlin, 1905
Borchardt, Sahure	Borchardt, L., Das Grabdenkmal des Königs Sahure, in: Wissenschaftliche Veröffentlichungen der Deutschen Orient-Gesellschaft 14, Band 1 Der Bau, Leipzig, 1910,
Borchardt, Zahlenmystik	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: Archaelogy May / June 2007, S.23ff.

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
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 Ronveyre, Paris, 1904
Clarke und Engelbach, Egyptian	Clarke, S. und Engelbach, R Anchient 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., Rekh-mi-Re, in MMA, Egyptian Expedition, Vol. X, Pl.17
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
Domning, Ropework	Domning, D. P., Some Examples of Anchient 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
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
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 dÁrcheologie 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/Iaek/PYR
Greiss, Plant	Greiss, E.A.M., Anatomical Indentification of Plant Material from Anchient 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, Band VII, Goverment Press, Cairo 1953
Hawass, Schätze	Hawass, Z., Die Schätze der Pyramiden, Hrsg., Weltbildverlag, Augsburg, 2004
Hawass, Kultpyramide	Hawass, Z., The Discovery of the Satellite Pyramid of Khufu (G I d), in: Studies in Honor of William Kelly Sipmson ,1996, S.385ff.
Hawass/Verner	Hawass, Z. und Verner, M., Newly Discovered Blocks from the Causeway of Sahure in: MDAIK 51, (1995) S.181–183 und Tafel 54
Heisel, Baubezeichnungen	Heisel, J.P., Antike Bauzeichnungen, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 1993
Hodges, Pyramides	Hodges, P., How the Pyramides were built, Longmead, 1989
Höhn, Pyramidenbau	Höhn, A. Die Verwendung von Winkelhebern beim Bau der Großen Pyramiden, www.pyramidenbau.ch
Hölscher, Chephren	Hölscher, U., Das Grabdenkmal des Königs Chephren, Hinrichs'sche Buchhandlung, Leipzig, 1912
Horneffer, Herodot	Horneffer, A., Herodot Historien – Deutsche Gesamtausgabe, Kröner Verlag Stuttgart, Historien II, 125
Hornung, Chronology	Hornung, E., Krauss, R., Warburton, D.A., Hrsg. Ancient Eygyptian Chronology, HdO, Section 1, Band 83, Brill, Leiden, 2006

Hornung, Einführung	Hornung, E. Einführung in die Ägyptologie, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 1993, S.60ff.
Houdin, La Pyramide	Houdin, J.-P. und H., La Pyramide de Kheops, Paris, 2003
Houdin, Cheops	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, Cheopspyramide	Illig, H., Der Bau der Cheopspyramide, Mantis Verlag, August 1994
Isler I	Isler, M., On Pyramid Building, in: JARCE 22 (1985), S.129–142
Isler II	Isler, M., On Pyramid Building II, in: JARCE 24 (1987), S.95–112
Jánosi, Amenemhet I.	Jánosi, P., Der Pyramidenkomplex Amenemhets I. in Lischt in: Sokar 14, (1/2007), S.51ff.
Jánosi, Königinnen	Jánosi, P., Die Pyramidenanlagen der Königinnen, Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien 1996
Jánosi, Kultpyramiden	Jánosi, Peter, Die Kultpyramiden des Alten und Mittleren Reiches in: Sokar Nr. 7, (2/2003). S.4–25
Jequier, Deux Pyramides	Jequier, G., Deux Pyramides du Moyen Empire, Institut Francais d´ Archologie Orientale, Kairo, 1933 pl.XVII – XVIII, p.64-65
Jones, Boats	Jones, D., Boats, British Museum Press, London 1995, S.36–43
Junker, Gisa	Junker, H., Giza, Wien und Leipzig, 1929–1955, 12 Bände, Verlag Rohrer
Keyssner, Baustelle Gisa	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.
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 Cheops-pyramide, 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 Pyrami-des 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 Contruction 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 I, Hinrichs'sche Buchhandlung, Leipzig, 1897
Lepsius, Denkmäler II	Lepsius, R., Denkmäler Aegypten und Aethiopien, Text II, Hinrichs'sche Buchhandlung, Leipzig, 1897
Lepsius, Elle	Lepsius, R., Die Alt-Ägyptische Elle und ihre Entstehung, Königliche Akademie der Wissen-schaften, Berlin 1865
Lepsius, Metalle	Lepsius, R., Die Metalle in den Ägyptischen Innschriften, Königliche Akademie der Wissen-schaften, 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., Anchient Egyptian Materials and Industries, Arnold LTD, London, 1962
Mackay, Tomb 260	Mackay, E., Note on a new Tomb (No. 260) at Drah 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,
Moores, Stone-Cutting	Moores, 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,
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 Goverment Printing Offices, Cairo, 1960
Obadalek, Meidum	Obadalek, J., Einige Erkenntnisse über die Pyramide von Meidum in: ZÄS 107 (1980), S.63ff.
Parry, Engineering	Parry, D., Engineering the Pyramids, Sutton Publishing Linited, 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, Pyramids II	Perring, J.E., Pyramids II, reprint of the edition London 1893, LTR Verlag Wiesbaden, 1982
Perring, Pyramids III	Perring, J.E., Pyramids III,
Perrot, Ägypten	Perrot, G. und Chipiez, C. Ägypten, Leipzig, Brockhaus Verlag, 1884
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
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 Hinrichs'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 Archaelogy Stoneworking technology in Anchient Egypt, Routlege, London, 2003
Stocks, Great Pyramid	Stocks, D., Immutable laws of friction; prepaering 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´ Handwerkern, in: Sokar 10 (1/2005), S.4–9
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 anchient Egypt, in: JAE 73 (1987), S.71ff.
Theis, Pyramiden	Theis, Ch., Die Pyramiden des Chendjer, des Ameni-Qemau und das Grabmal eines unebekannten 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, Knaur, 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	Vallogia, M., Im Zeichen des Re, in: Sokar 13 (2/2006), S.19
Vercoutter, Mirgissa	Vercoutter,J., Hrsg., Vila, A. in: Mirgissa I., Chapitre II, Les Vistiges de la Plaine, S.193ff., Paris, 1970
Vermeulen, Cheopspyramide	Vermeulen, J. Das Geheimnis der Cheops-Pyramide, in: Bild der Wissenschaft, Februar 1989, S.43
Verner, Abusir	Preliminary Report 1997/8, Excavations at Abusir in: ZÄS 126 (1999), S.70-76
Verner, Kongress	Verner, M., www.archeogate.org/egittologia/article/657/1/nuove-
Verner, Lepsius XXIV 1997	Verner, M., Excavations at Abusir in: ZÄS 124 (1997), S.71–76
Verner, Lepsius XXIV 1998	Verner, M., Pyramid Lepsius XXIV Beiträge zur Kulturgeschichte Ägyptens, in: Hrsg. Guksch, H. und Polz, D., Stationen – Beiträge zur Kulturgeschichte Ägyptens, v. Zabern, Mainz, 1998, S.145–150
Verner, Lepsius XXIV, 2004	Verner, M. und Krejci, J. Die Zwillingspyramide L 25 in Abusir , in: Sokar 8 (1/2004), S. 20–22
Verner, Pyramiden	Verner, M., Die Pyramiden, Rowohlt Verlag GmbH, 1998
Verner, Ranefereff	Verner, M. et al. The Pyramid Complex of Ranefereff, Abusir IX – The Archaeolgy, Tschechisches Institut für Archäologie, Prag 2006
Verner, unvollendete Pyramide	Verner, M., Eine zweite unvollendete Pyramide in Abusir, in: ZÄS 109 (1982), S.75–78
Verner, verlorene Pyramiden	Verner, M. Verlorene Pyramiden, vergessene Pharaonen, Akademia Skodaexport, Prag, 1994
Vogel, Nilschifffahrt	Vogel, C. Nilschifffahrt im Bereich des Zweiten Katarakts in: SAK 26 (1998), S.265ff.
Vyse, Operations	Vyse, H. Operations carried out on the Pyramids of Gizeh, Vol. I - III, London 1840–42
Weinstein, Annealing	Weinstein, J. ; A Fifth Dynasty Reference to Annealing, in: JARCE 11 (1974), S.23–25
Welt online	Welt online, 2.4.2007, www.welt.de/wissenschft
Wessel	Wessel, P., Physik, Hirzel Verlag Leipzig, 1950
Wiedemann, Diodor	Wiedemann, A., Handbücher der Alten Geschichte, Band I, Ägyptische Geschichte, S.179 Verlag Gotha, 1884
Wildung	Wildung, D., Ägypten, Taschen Verlag Köln, 1997
Wilkinson, Funerary	Wilkinson, T.,: Before the Pyramids: Early Developments in Egyptians Royal funerary Ideology in: Hrsg. Hendrickx. S. u.a. Egypt at its Origins, Orientalia Lovaniensia Analecta, 138 (2004)

Wolf , Snofru — Wolf, N., Die Blockiersysteme in Snofrus Pyramiden, in: Sokar, 11 (2/2005), S.24-30

Wolf, Blockierungssysteme — 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.17
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	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, Nilschifffahrt, 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
5.1.1.1	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, Senwrosnet, 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
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, Pl.17
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'Ėgypte, 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´Archélogie 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´Egypte
GM	Göttinger Miszellen
G.R.A.L.	Zeitschrift für Archäologie und archäologische Grenz-wissenschaften, 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 Anchient 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´Egyptologie, 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