

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

Pyramidenbau im Alten Reich

Überarbeitete Fassung (Stand 21.08.2009)

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/>

und

Die Technik des Pyramidenbaus im Alten Ägypten¹

¹ Müller-Römer, Pyramidenbau

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 technischen 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 im Alten Reich

Inhaltsverzeichnis		Seite
1.	Einleitung und Zielsetzung	8
2.	Definitionen und Festlegungen	13
2.1	Definition Baustrukturen	13
2.2	Definition Mauerwerk	15
2.3	Längenbezeichnungen	16
2.4	Festlegungen	16
3.	Zeitliche Entwicklung des Pyramidenbaus im Alten und Mittleren Reich	17
4.	Bautechnik im Alten Reich	19
4.1	Baumaterial	21
4.1.1	Steingewinnung und Steinbearbeitung	21
4.1.2	Steinverarbeitung an der Baustelle	24
4.1.3	Ungebrannte Ziegel	25
4.2	Hebeeinrichtungen	26
4.2.1	Balken, Stangen	26
4.2.2	Absenken und Anheben schwerer Lasten	27
4.2.2.1	Das Fallsteinsystem im Korridor zur Grabkammer des Königs in der Cheopspyramide	27
4.2.2.2	Das Fallsteinsystem im Korridor zur Grabkammer der Pyramide des Mykerinos	32
4.2.2.3	Aufrichten von Pfeilern sowie Statuen und Heben von Steinblöcken	35
4.2.2.4	Seile	38
4.2.2.5	Zusammenfassung: Hebeeinrichtungen	40
4.3	Transporteinrichtungen	41
4.3.1	Schiefe Ebene	41
4.3.1.1	Zugkräfte (Gleitreibung)	41
4.3.1.2	Zugkräfte (Rollreibung)	45
4.3.2	Rampen	46
4.3.2.1	Die Pyramide des Sechemchet	46
4.3.2.2	Die kleinen Schichtpyramiden des Alten Reiches	46
4.3.2.3	Die Pyramide des Snofru in Meidum	47
4.3.2.4	Die Rote Pyramide in Dahschur	47
4.3.2.5	Die Cheopspyramide	49
4.3.2.6	Das Sonnenheiligtum des Niuserre	50
4.3.2.7	Die Pyramiden des Mittleren Reiches	50
4.3.2.8	Zusammenfassung: Verwendung von Rampen beim Bau des Pyramidenkörpers	51
4.3.3	Steintransport auf der geraden und schrägen Ebene	52
4.3.4	Transport von Leitern mittels Scheibenrädern	58
4.4	Vermessungstechnik	58
4.5	Mathematische Kenntnisse	65
5.	Archäologische Befunde an Pyramiden	68
5.1	Die Entwicklung der Bauweise von Pyramiden	68
5.1.1	Schichtpyramiden	68

5.1.1.1	Die Pyramide des Djoser	68
5.1.1.2	Die Pyramide des Sechemchet	71
5.1.1.3	Die Pyramide des Chaba	72
5.1.1.4	Die kleinen Schichtpyramiden des Alten Reiches	73
5.1.1.5	Die Pyramiden des Snofru	73
5.1.1.5.1	Meidum	74
5.1.1.5.2	Knickpyramide	76
5.1.2	Stufenpyramiden	81
5.1.2.1	Die Rote Pyramide	81
5.1.2.2	Die Cheopspyramide	83
5.1.2.3	Die Pyramide des Djedefre	91
5.1.2.4	Die Pyramide des Chephren	93
5.1.2.5	Die Pyramide des Bicheris (Nebka)	95
5.1.2.6	Die Pyramide des Mykerinos (Menkaure)	95
5.1.2.7	Die Mastaba el-Faraun des Schepseskaf	100
5.1.2.8	Die Pyramide des Userkaf	100
5.1.2.9	Die Pyramide des Sahure	101
5.1.2.10	Die Pyramide des Neferirkare	103
5.1.2.11	Die unvollendete Pyramide des Schepseskare	104
5.1.2.12	Die unvollendete Pyramide des Neferefre (Raneferef)	105
5.1.2.13	Die Pyramide des Niuserre	106
5.1.2.15	Die Pyramide des Menkauhor	107
5.1.2.15	Die Pyramide des Djedkare Asosi	107
5.1.2.16	Die Pyramide des Unas	108
5.1.2.17	Die Pyramide Lepsius XXIV	108
5.1.2.18	Die Pyramiden der 6. Dynastie	109
5.1.3	Die Pyramiden der Ersten Zwischenzeit und des Mittleren Reiches	
5.1.3.1	Die Pyramide des Ibi	110
5.1.3.2	Die Pyramide des Chui	111
5.1.3.1	Die Pyramide Amenemhets I.	112
5.1.3.2	Die Pyramide Sesostris' I.	112
5.1.3.3	Die Pyramide Amenemhets II.	112
5.1.3.4	Die Pyramide Sesostris' II.	113
5.1.3.5	Die Pyramide Sesostris' III.	113
5.1.3.6	Die Pyramiden Amenemhets III.	113
5.1.3.6.1	Die Pyramide Amenemhets III. in Dahschur	113
5.1.3.6.2	Die Pyramide Amenemhets III. in Hawara	114
5.1.3.7	Pyramiden der 13. Dynastie	114
5.2	Zusammenfassung: Archäologische Befunde und Entwicklung der Bautechniken im Alten Reich	114
5.3	Der Wechsel von der Schicht- zur Stufenbauweise der Pyramide im Alten Reich	119
5.4	Die Weiterentwicklung der Pyramidenbauweise im Mittleren Reich	123
6.	Bauzeiten der Pyramiden	126
7.	Analyse und Bewertung der bisher bekannt gewordenen Bauhypothesen	132
7.1	Historische Beschreibungen des Pyramidenbaus	132
7.1.1	Herodot	132

7.1.2	Diodor	134
7.1.3	Plinius	134
7.2	Grundsätzliche Lösungsansätze für den Pyramidenbau	134
7.3	Bauhypothesen, denen senkrecht auf die Pyramide zuführende Rampen zugrunde liegen	135
7.3.1	Überlegungen zum Problem des Pyramidenbaus nach Arnold	135
7.3.2	Vorschlag von Stadelmann für ein Rampensystem	137
7.3.3	Vorschlag von Lauer für eine Rampenkonstruktion	140
7.3.4	Vorschlag von Borchardt für eine Rampenkonstruktion	141
7.3.5	Vorschlag von Lattermann für eine Rampe	142
7.4	Bauhypothesen, denen entlang der Pyramidenseiten geführte Rampen zugrunde gelegt werden	144
7.4.1	Umlaufende Ziegelrampe nach Goyon	144
7.4.2	Rampensystem nach Lehner	146
7.4.3	Integralrampe nach Klemm und Klemm	148
7.4.4	Vorschlag von Graefe	151
7.4.5	Umlaufende Rampe nach Hampikian	156
7.4.6	Vorschlag von Hölscher	157
7.4.7	Kombination einer senkrecht auf die Pyramide zulaufenden Rampe und einer Integralrampe (Innenrampe) nach Houdin	158
7.5	Hypothesen für den Einsatz von Hebegeräten bzw. Zugeinrichtungen	163
7.5.1	Vorschlag von Isler zum Pyramidenbau mittels Hebeln	163
7.5.2	Vorschlag für eine Hebeeinrichtung nach Croon	165
7.5.3	Vorschlag von Löhner für den Bau der Pyramide mit Seilrollenböcken	168
7.5.4	Vorschlag von dos Santos für den Einsatz eines Spills	171
7.5.5	Vorschlag von Riedl für eine Hebebühne mit Seilwinde und Holmen	172
7.5.6	Der Schrägaufzug nach Abitz	174
7.5.7	Hebezeug-Paternoster nach Munt	178
7.5.8	Schrägaufzug nach Dorka	179
7.5.9	Vorschlag von Pitlik für eine Förderrampe	180
7.5.10	Hebeanlage nach Bormann	182
7.5.11	Vorschlag eines rollenden Steintransportes nach Parry	183
7.5.12	Bauvorschlag von Keyssner mittels Umbauung (Montagemantel) und Zugeinrichtung	187
7.5.13	Bauvorschlag nach Winkler (Hebeleiter)	189
7.6	Zusammenfassung: Bewertung der Bauvorschläge für Pyramiden entsprechend den Kapiteln 7.3 bis 7.5	192
8.	Eine neue Hypothese für den Bau der Pyramiden: „Pyramidenbau mit Rampen und Seilwinden“	195
8.1	Baudaten der Pyramide des Mykerinos	196
8.2	Die einzelnen Bauabschnitte	199
8.2.1	Bau des Kernmauerwerks	200
8.2.2	Anbringen des Verkleidungsmauerwerks	206
8.2.3	Berechnung der Transportleistungen und der Bauzeit der Pyramide	208
8.2.3.1	Berechnung der Bauzeit für das Kernmauerwerk	210

8.2.3.2	Berechnung der Bauzeit für das Verkleidungsmauerwerk sowie für die Außenverkleidung und die Arbeitsplattform	211
8.2.3.3	Berechnung des Zeitaufwandes für die Glättung der Außenverkleidung	212
8.2.3.4	Bauzeit für die Pyramide des Mykerinos	213
8.3	Eine vergleichende Betrachtung mit den Bauzeiten der Roten Pyramide und der Cheopspyramide	213
8.3.1	Berechnung der Bauzeit der Roten Pyramide	213
8.3.2	Berechnung der Bauzeit der Cheopspyramide	218
8.4	Ausblick auf weitere Pyramiden des Alten Reiches	224
9.	Zusammenfassung und Ergebnisse	225
10.	Quellenverzeichnis und Abkürzungen	228
10.1	Quellenverzeichnis Text	228
10.2	Quellenverzeichnis Abbildungen	240
10.3	Verzeichnis der Abkürzungen	243

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.² 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.³ In der Regel wurde der Leichnam des Königs auch in der Pyramide beigesetzt. Im Umfeld der Pyramiden entstanden umfangreiche Elitnekropolen.

Heute versteht die moderne Ägyptologie die Pyramidenbauten des Alten Reiches als mächtige Monumente des im König verkörperten Zentralstaates. In der 4. Dynastie wurden sie an der Grenze zwischen Ober- und Unterägypten als Sinnbild der inneren Standfestigkeit des gesamtägyptischen Staates errichtet. In ihrer Größe sind sie Träger einer Idee und bedürfen keiner praktischen Nutzbarkeit als Rechtfertigung. Gleichzeitig präsentieren sie mit ihren klaren geometrischen Konturen Ordnung und Funktionieren des Staates. Sie stehen somit – wie Otto formuliert⁴ – nicht nur für das Streben einzelner Könige nach der Überwindung der Vergänglichkeit des irdischen Lebens, sondern sind weit darüber hinausgehend Ausdruck des Anspruchs auf Dauerhaftigkeit des pharaonischen Staates.

Am Anfang dieser Epoche fand der Übergang von der Bauweise mit luftgetrockneten Ziegeln zu Steinbauten mit größeren Abmessungen der Steine statt.⁵ 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.

² Antipatros von Sidon, 2.Jhdt. v.Chr. in Ekschmitt, Weltwunder, S.9.

³ LÄ III, S.498ff.

⁴ Otto, Pyramiden.

⁵ Heisel, Baubezeichnungen, S.79.

Der Zugang zur Grabkammer und der meist von der Nord-Südachse in Richtung Osten verschobene Zugangskorridor wurden nach Norden ausgerichtet.⁶ 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.

In der 5. Dynastie begann mit der Grabanlage des Sahure in Abusir eine neue Epoche im Pyramidenbau. Die Totentempel wurden direkt mit den Pyramiden, die in keinem Fall mehr die Größe derjenigen der 4. Dynastie erreichten, verbunden und lagen 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 5. Dynastie traten neben den Pyramiden als Königsgrab die Sonnenheiligtümer hinzu.

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.⁷ 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.⁸

In der Ersten Zwischenzeit führte die Auflösung der staatlichen Einheit Ägyptens zu Königsgräbern in der Form aufwendig gestalteter Privatgräber.⁹ Lediglich die memphitischen Könige setzten 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.¹⁰ Amenemhet I und Sesostri 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., Sesostri III. und Amenemhet III.), in Lahun (Sesostri II.) und in Hawara (Amenemhet III.). Dabei fanden verschiedene Änderungen der früher in der 6. Dynastie noch vorhandenen Elemente des Pyramidenbezirks statt.

⁶ 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.

⁷ Lauer, Geheimnis, S.123.

⁸ Jequier, Deux Pyramides.

⁹ LA III, S.501ff.

¹⁰ Polz, Habilitation, Kapitel 3.5, S.286ff.

Polz führt weiterhin aus, dass mit der Entdeckung der Pyramidenanlage des Nub-Cheper-Re Intef in der Nekropole von DraʿAbu 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 Beschädigung geschützt wird.¹¹ 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.¹² 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.¹³ 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.¹⁴ Befinden sich Friedhöfe auf der Ostseite, ist wenigstens die Scheintür mit Schacht an der Westseite angeordnet.
- Die Pyramidenstandorte mussten einerseits hoch über dem Fruchtländchen 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 Fruchtländchen 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 verbrei-

¹¹ Wolf, Blockierungssysteme.

¹² Hornung, Einführung.

¹³ LÄ I, S.223.

¹⁴ Die einzige Pyramide, die auf der Ostseite des Nils liegt, ist die kleine Stufenpyramide in Sauiet el-Meitin.

tet. 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 welchen Zeitraums 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 weiter.¹⁵ 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. Eine interdisziplinäre Betrachtungsweise ist dafür unabdingbare Voraussetzung.

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 bzw. aufgrund der Belege wahrscheinlichen 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 mehrerer 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 Ausgangsma-

¹⁵ 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.

terial 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.

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 70–80° aufgeführtes Bauwerk aus Ziegeln oder Steinen (Steinquader-Tumulus) verstanden. Die einzelnen Steinlagen sind leicht nach innen geböschet.

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.¹⁶

Schichtpyramide

Der Pyramidenkern besteht aus einzelnen Mauerschichten von ca. 5–30 Ellen (2,6–15,6 m) Dicke, die in einem Winkel von ca. 70° errichtet werden und einen inneren Kern umgeben.¹⁷ 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.

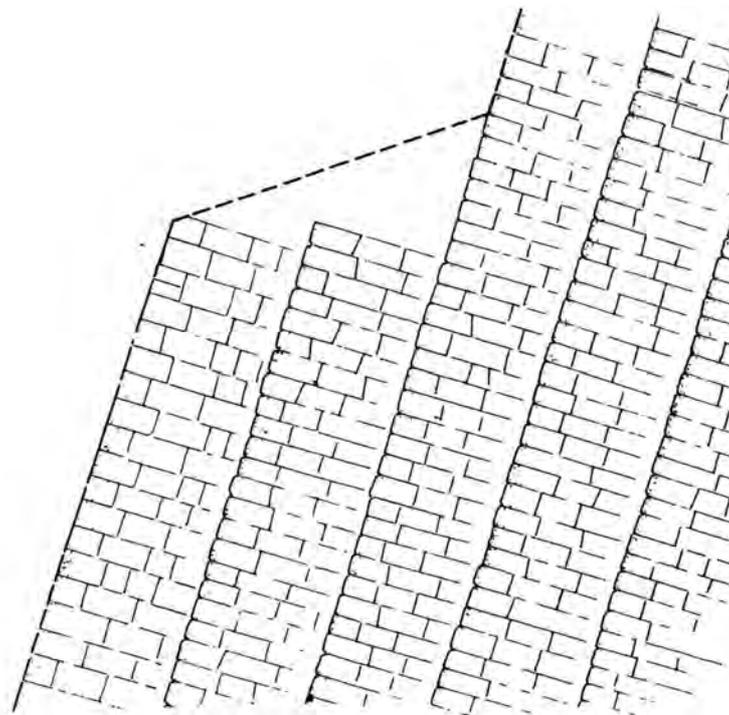


Abb. 2.1.1 Prinzip der Schichtbauweise

¹⁶ Maragioglio VI, Addenda, TAV.16.

¹⁷ 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.¹⁸

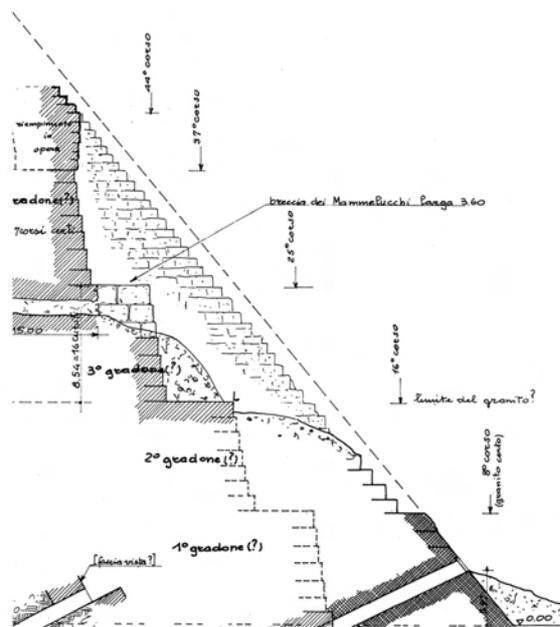


Abb. 2.1.3 Prinzip der Stufenpyramide

¹⁸ 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, Steinsplintern, 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.

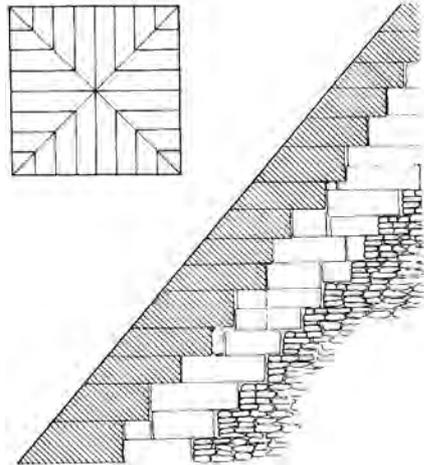


Abb. 2.1.4 Prinzip der Pyramide mit Stützmauern nach Arnold

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 waagrecht geschichteten ungebrannten Ziegeln besteht.

„echte“ Pyramide

Dabei handelt es sich um einen Begriff, der sehr oft in der Fachliteratur verwendet wird.¹⁹ 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 80° gebaut.²⁰ 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

¹⁹ Stadelmann, Pyramiden, S.81, S.86; Lehner, Geheimnis, S.102; Jánosi, Kultpyramiden, S.12.

²⁰ Klemm und Klemm, Steine, S.72.

Mörtel eingebracht. Die unterschiedlichen Steinhöhen hängen mit den unterschiedlich hohen Steinschichten in den Steinbrüchen zusammen.

Verkleidungsmauerwerk

Der Raum zwischen den Schichten bzw. Stufen des Kernmauerwerks und der „klassischen“ Pyramidenform mit einem Neigungswinkel zwischen 50° und 55° wird durch waagrecht 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.²¹ 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.²² Ihre Steine werden auch als „Backing Stones“ (Hintermauerungssteine) zum Einbau der Steinblöcke der Außenverkleidung bezeichnet.²³

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 cm²⁴ mit ganz geringen Abweichungen.²⁵ Die Maße einzelner Pyramiden – angegeben in Ellen, Handbreiten und Fingern²⁶ – können somit zu unterschiedlichen Werten in m und cm führen. Es ist daher notwendig, stets neben den Angaben in Ellen etc. auch eine solche in m bzw. cm vorzunehmen.

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.²⁷ Längen und Winkel werden in auf- oder abgerundeten ganzzahligen Einheiten genannt.

²¹ Maragioglio VI, Addenda, TAV.4, Fig.2 und Abb.5.1.2.6.3.

²² Maragioglio V, Addenda, TAV. 6, Fig.8.

²³ Maragioglio III, S.56 und TAV.18, Fig.3.

²⁴ Lepsius, Elle, S.10ff.; LÄ III, S.1209; Arnold, Baukunst, S.74.

²⁵ Dörner, 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.

²⁶ Eine Elle („Königselle“) wird in 7 Handbreiten; eine Handbreit in vier Finger unterteilt.

²⁷ 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.²⁸ Während dieser Epoche wurde mit dem Bau von 25 großen Pyramiden und 1 königlicher Mastaba, einer Reihe von Königinnenpyramiden und weiterer Grabbauten begonnen, von denen die Mehrzahl auch fertig gestellt wurde.. Im Durchschnitt wurde etwa alle 18 Jahre eine Königspyramide geplant und deren Bau zumindest begonnen. Man kann daher von einem ununterbrochenen Planungs- und Baugeschehen ausgehen.

In die nachfolgende Auflistung wurden nur Könige mit den dazugehörigen Pyramiden bzw. Grabbauten sowie ihren Regentschaftsjahren aufgenommen.²⁹ Vollständige Darstellungen – auch mit den dazugehörigen Kult- und Königinnenpyramiden – sind in neueren Publikationen enthalten.³⁰ 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		Regierungsdauer (Jahre)	
Djoser	2690/2640 – 2670/ 2620	Stufenmastaba / Schichtpyramide Saqqara Nord	20
Sechemchet	2670/2620 – 2663/2613	Schichtpyramide (unfertig) Saqqara Nord	7
Chaba]	2663/2613 – 2639/2589	Schichtpyramide (unfertig) Saujet el-Arjan	
Mesochris]			
Huni]			
4. Dynastie			
Snofru	2639/2589 – 2604/2554	Schichtpyramide Meidum Knickpyramide Dahschur (Bauweise nicht feststellbar) Rote Pyramide Dahschur (Bauweise nicht feststellbar)	35³¹
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 (?)³²	2546/2496 – 2539/2489	(unfertig) Saujet el-Arjan (Bauweise nicht feststellbar)	7

²⁸ Djoser (2690/2640 – 2670/2620) bis Pepi II. (2279/2229 – 2219/2169).

²⁹ 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.

³⁰ Lehner, Geheimnis; Stadelmann, Pyramiden und Verner, Pyramiden.

³¹ Krauss und Warburton sprechen sich nach ihrer neuesten Untersuchung (Hornung, Chronology, S.485) für eine Regierungszeit des Snofru von 33 Jahren aus.

³² Oder Nebka oder Baka (ältester Sohn von Djedefre).

Mykerinos	2539/2489 – 2511/2461	Stufenpyramide Gisa	28 ³³
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

³³ 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 archäologischen 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“.*³⁴

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. Der Pyramidenbau war eine logistische Herausforderung ersten Ranges. Die Auswahl der Standorte geeigneter Steinbrüche sowie des Transporthafens, das Vermessen und die Ausrichtung der Pyramidengrundfläche, die Berechnung der erforderlichen Materialmengen, deren „Bestellung“ und Herstellung sowie der Transport der Baumaterialien und deren Kennzeichnung und Zwischenlagerung erforderten große Erfahrung und eingehende Überlegungen³⁵ sowie eine funktionierende Administration.³⁶

Aus dem MR ist bekannt, dass die Steinblöcke mit genauen Kontrollmitteilungen (Herstellungsdatum, Handwerkerbenennung, Transportwege, Lagerstätte etc.) versehen wurden.³⁷ 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.

Über die Zahl der für den Pyramidenbau benötigten Arbeitskräfte gibt es Schätzungen. Diese liegen für den Bau der Cheopspyramide zwischen 100 000 (Herodot) und 15 000³⁸ Arbeitskräften. Winkler berechnet eine Zahl von 14000 Arbeitern, die zu Beginn des Baus der Che-

³⁴ Borchardt, Zahlenmystik, S.35.

³⁵ Becker, Chephren 3, Hinkel, Königspyramiden.

³⁶ Otto, Pyramiden.

³⁷ Arnold, Controll Notes, S.14ff.

³⁸ Dörnenburg, Pyramidengeheimnisse, S. 130.

opspyramide eingesetzt waren.³⁹ Otto nennt in diesem Zusammenhang die Zahl 20 000.⁴⁰ Dabei ist davon auszugehen, dass weitaus die größte Zahl an Menschen in den Steinbrüchen und für Transportarbeiten eingesetzt werden mussten. So nennt Winkler⁴¹ dafür folgende prozentuale Aufteilung:

Steinbruch	81 %
Transport	11 %
Bauarbeiten (Pyramide)	8%

Hinzu kommen nach Winkler insgesamt weitere 2800 Arbeitskräfte (20 %) für die Erbringung der Versorgungsleistungen, den Betrieb der Werkstätten etc.

Leider liegen aus der 3. und 4. Dynastie keinerlei „Bauberichte“ vor.⁴² Erst gegen Ende der 5. Dynastie ist aus einer Darstellung im Grab des königlichen Baumeisters *šndm-jb / Int* bekannt, dass er u.a. den Plan für den Pyramidenbezirk des Königs Djedkare Asosi erstellt hat.⁴³ Dagegen sind aus verschiedenen Privatgräbern umfangreiche Darstellungen von Bautätigkeiten und Handwerksarbeiten bekannt.

Pläne muss es für alle Bauwerke und Bauplanungen gegeben haben.⁴⁴ 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.⁴⁵ 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.⁴⁶ 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 Gangs⁴⁷ und der drei Blockiersteine aus Granit⁴⁸ am unteren Ende des aufsteigenden Ganges zur Galerie⁴⁹ 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.⁵⁰

In einem Papyrus aus der Ramessidenzeit (pLeiden 344), dessen inhaltliche Quelle vermutlich in die Erste Zwischenzeit datiert,⁵¹ heißt es:⁵²

*„...Wahrhaftig, die *hnrt dsrt*, weggenommen sind die Schriftrollen, entblößt ist die geheime Stätte - -?- -. Wahrhaftig, Zaubersprüche sind enthüllt, *šmw*- und *šnw*-Sprüche sind unwirksam gemacht, weil die Menschen sie kennen.“*

³⁹ Winkler, Pyramidenbau, S.101.

⁴⁰ Otto, Pyramiden.

⁴¹ Winkler, Pyramidenbau, S.59.

⁴² Stadelmann, Pyramiden, S.217.

⁴³ Stadelmann, Große Pyramiden, S.248.

⁴⁴ Ebenda, S.248.

⁴⁵ Heisel, Baubezeichnungen, S.78.

⁴⁶ Petrie, Meidum; Heisel, Baubezeichnungen, S.79–80.

⁴⁷ Haase, Fallsteinsystem, S.32–33 und Fußnote 7.

⁴⁸ Borchardt, Dritte Bauperiode, S.6.

⁴⁹ Maragioglio IV, TAV.1, fig.4.

⁵⁰ Haase, Vermächtnis, S.221; Haase, Cheops, S.118ff.; Haase, Fallsteinsystem, S.32.

⁵¹ Haase, Fallsteinsystem, S.44.

⁵² Burkard, Literaturgeschichte.

Entsprechend einer Veröffentlichung von Das Gupta soll der Durchbruch zu den drei Blockiersteinen am Ende des Grabräubertunnels aber erst im Jahr 832 n. Chr. erfolgt sein.⁵³ Bis dahin sei er ein Blindstollen gewesen. Vielleicht wurde auch nur die Einbruchsstelle antiker Räuber erweitert. Haase verweist auf arabische Quellen, wonach der Tunnel dem Kalifen Abdullah al-Ma'mun zugeschrieben wird.⁵⁴

Haase erwähnt auch auf den Fund eines Grabräubertunnels am unteren Ende des absteigenden Korridors in der Pyramide des Djedefre in Abu Roasch.⁵⁵ 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, die wahrscheinlich auch Auswirkungen auf die Bauverfahren gehabt haben, sodass verschiedene Arbeiten zeitlich parallel ausgeführt werden mussten. Der Faktor Wirtschaftlichkeit beim Bau trat gegenüber einer möglichst kurzen Bauzeit in den Hintergrund.

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.⁵⁶ 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.⁵⁷ Entsprechende Schlagspuren an den Steinoberflächen sind immer wieder zu beobachten.⁵⁸

Im Gegensatz dazu wurde der feinkörnige, weißgraue bis graugelbe Kalkstein für die Außenverkleidung ab der 4. Dynastie in Tura auf dem Ostufer des Nil unterirdisch in Galerien abge-

⁵³ Das Gupta, Einbrüche.

⁵⁴ Haase, Fallsteinsystem, S.32.

⁵⁵ Haase, Djedefre, S.59ff.

⁵⁶ Klemm und Klemm, Steine, S.72; Clarke und Engelbach, Egyptian, S.11–22; Perring, Pyramids II, Pl. VII.

⁵⁷ Klemm und Klemm, Steine, S.320.

⁵⁸ Arnold, Building, S.34.

baut. Die einzelnen Gesteinsschichten zwischen 0,8 und 1,5 m Höhe waren ebenfalls durch tonige Zwischenlagen getrennt und ermöglichten so eine einfache Steingewinnung.⁵⁹ Dabei war es offensichtlich möglich, größere Mengen an Steinen mit derselben Höhe zu gewinnen, wie die im oberen Teil der Pyramide des Chephren noch erhaltene Außenverkleidung zeigt.⁶⁰ Der bei der Gewinnung noch weiche Kalkstein konnte gesägt werden. Eine Aushärtung fand erst nach der Verbauung unter dem Einfluss der Atmosphäre statt.

Die metallurgische Gewinnung und Bearbeitung von Kupfer beherrschten die Ägypter bereits am Ende der prädynastischen Zeit. Sie konnten damit Äxte, Meißel, Sägen etc. herstellen.⁶¹ 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.⁶² 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.⁶³ Gleiches gilt für Aussagen, dass es bereits zu Cheops' Zeiten Eisenwerkzeuge gegeben habe.⁶⁴ 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.⁶⁵

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.⁶⁶ 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. Außerdem wurde so 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.⁶⁷ 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 bestand⁶⁸, ergaben, dass für die äußere Formgebung Kupfersägen unter Beimischung von Sand als Schleifmittel verwendet wurden.⁶⁹ Stocks führte darüber

⁵⁹ Klemm und Klemm, Steine, S.62 und 68.

⁶⁰ Hawass, Schätze, S.45.

⁶¹ Lucas, Egyptian, S.200.

⁶² Weinstein, Annealing S.23.

⁶³ Lauer, Geheimnis S.243; Edwards, Pyramids, S.250.

⁶⁴ Illig, Cheopspyramide, S.142; Herodot (Quelle: v. Bissing, Diodor, S.15).

⁶⁵ Lepsius, Metalle, S.112.

⁶⁶ Klemm und Klemm, Steine, S.321.

⁶⁷ Klemm und Klemm, Steine S.328.

⁶⁸ Richter, Kupfer.

⁶⁹ Stocks, Antiquity.

hinaus verschiedene eigene Untersuchungen mit Sägen durch.⁷⁰ Eine sehr ausführliche und mit vielen Darstellungen sowie Belegen versehene Veröffentlichung seiner Versuche und Beobachtungen beinhaltet umfangreiches Material zur Steinbearbeitung.⁷¹

Moore zeigt in einer hypothetischen Darstellung die Bedienung einer Steinsäge aus der Zeit der 4. Dynastie.⁷² 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.⁷³ Die Aushöhlung des Sarkophages des Cheops geschah durch den Einsatz von Röhrenbohrern aus Kupfer, wie von Stocks nachgewiesen wurde.⁷⁴

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.⁷⁵ 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 ein Zerstören des Steines bei zu geringer Drehgeschwindigkeit zu vermeiden.⁷⁶ 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).⁷⁷

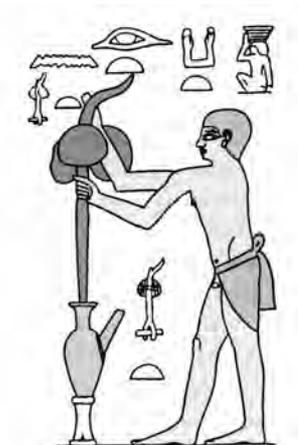


Abb. 4.1.1 Umzeichnung einer Handwerkerdarstellung aus dem Grab des Ti (5. Dynastie) in Saqqara

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.⁷⁸

⁷⁰ Richter, Hartgesteinbearbeitung.

⁷¹ Stocks, Experiments.

⁷² Moores, Stone-Cutting, S.147.

⁷³ Goyon, Cheopspyramide S.84.

⁷⁴ Stocks, Handwerker, S.7–8.

⁷⁵ Borchardt, Bohrer.

⁷⁶ Sauerbier, Bohrwerkzeuge.

⁷⁷ Steindorff, Darstellung Haase in Sokar 5, S.41.

⁷⁸ Richter, Hemutiu.

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.

4.1.2 Steinverarbeitung an der Baustelle

Für die unterschiedlichen Verwendungen und Verbauungen von Steinen gab es ganz verschiedene Bearbeitungsvorgänge. In vielen Fällen (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. Dort wurden die Unter- und Oberseiten sehr genau geglättet. 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 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 gelten 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.⁷⁹



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

Rings um die Außenseiten der Blöcke, die in Bosse stehen gelassen wurden, wurde ein schmaler Rahmen abgearbeitet, dessen Böschung die Neigung der Pyramidenaußenseite auf-

⁷⁹ Goyon, Karnak, S.109.

wies. 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 Alten Ägypten. Damit wurden Mastabas, Festungen, Häuser, Paläste, Umfassungsmauern und teilweise auch Tempel erbaut. Verwendung fanden luftgetrocknete Ziegel auch beim Rampenbau.⁸⁰

Rohmaterial dafür sind feuchte Tonschichten im Nilschlamm.⁸¹ 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.⁸² Entscheidend kommt es darauf an, dass der Häcksel einige Tage vor der Ziegelfertigung im Wasser liegt, um die entsprechende, etwas schleimige Konsistenz anzunehmen.⁸³ 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.⁸⁴ Luftgetrocknete Ziegel widerstanden mit einem Verputz – angereichert mit noch mehr Stroh und länger eingeweicht – auch Wind und Regen.⁸⁵

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.⁸⁶, ist die Ziegelherstellung in einzelnen Etappen dargestellt (Abb. 4.1.3.1).⁸⁷

In dem Bildausschnitt rechts unten sind das Aufhacken des Nilschlammes und auf der linken Seite das Vermischen mit den Beigaben sowie das Stampfen mit den Füßen dargestellt. Ein 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.⁸⁸ 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.⁸⁹ Ziegellagen wurden in Nilschlamm oder in Sand verlegt. Die Verwendung von Mörtel ist selten zu beobachten.

⁸⁰ Arnold, *Baukunst*, S.282ff.; Spencer, *Brick Architecture*.

⁸¹ Arnold, *Baukunst*, S.167.

⁸² 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.

⁸³ Goyon, *Cheopspyramide*, S.87–88.

⁸⁴ Goyon, *Cheopspyramide*, S.88.

⁸⁵ Goyon, *Cheopspyramide*, S.87.

⁸⁶ LÄ V, Spalte 180.

⁸⁷ Davies, *Rechmire*, pl. LVIII.

⁸⁸ 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.

⁸⁹ Arnold, *Baukunst*, S.85 und 92.



Abb. 4.1.3.1 Herstellung von Lehmziegeln; Grab des Rehimire

Größere Ziegelrampen konnten so unter Einsatz vieler Arbeiter in kurzer Zeit vor Ort gebaut werden. Das dadurch mögliche Bauverfahren für den Transport 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.⁹⁰

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 Giza wurden damit die Steine herausgehoben.⁹¹ Beim Bau der Verkleidung der Pyramiden wurden die vorbereiteten und an den Seitenflächen genau zugeschnittenen Verkleidungsblöcke mittels Hebeln (Balken, Stangen) aneinander geschoben.⁹² 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.⁹³

Holzbalken wurden nachweislich auch an anderen Stellen beim Pyramidenbau eingesetzt: Die Baugerüste in der großen Galerie der Cheopspyramide⁹⁴ und die in situ in der oberen

⁹⁰ Goyon, Karnak, S.104ff.

⁹¹ Klemm und Klemm, Steine, S.56.

⁹² Stadelmann, Pyramiden, S.110; Haase, Cheops, S.25, Abb.27.

⁹³ LÄ VI, S.1082.

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 wurden⁹⁵, seien dafür als Beispiele genannt.

Während der Herrschaft des Königs Snofru (Jahr x +2) wird auf dem Palermostein vom „Bau von ...hundertelligen *dw3-t3wj*-Schiffen aus *mr*-Holz...“⁹⁶ und vom „Bringen von 40 Schiffen aus (?) Zedernholz...“ berichtet.⁹⁷ 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.⁹⁸ 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.⁹⁹ 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.¹⁰⁰

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.¹⁰¹ Maragioglio und Rinaldi haben die Fallsteinkammer ebenfalls vermessen und ihre Funktionsweise analysiert.¹⁰² 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.¹⁰³

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 betragen 147 cm in der Höhe, 114 cm in der Breite und 53 cm in der Tiefe. Die Steine waren mit vier Bohrun-

⁹⁴ Borchardt, Dritte Bauperiode, S.7ff.; Arnold, Building, fig.5.11.

⁹⁵ Stadelmann, Pyramiden, S.94.

⁹⁶ 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.

⁹⁷ Schäfer, Annalen, S.30; Urkunden I, 236,12.

⁹⁸ Goyon, Cheopspyramide, S.32.

⁹⁹ Meyers Lexikon von 1899.

¹⁰⁰ Quibell, Saqqara, S.21ff. und Tafel 16.

¹⁰¹ Borchardt, Dritte Bauperiode, S.14ff. und Tafeln 2, 3, 4, 10 und 12.

¹⁰² Maragioglio, IV, S.44–48, S.126–128 und TAV.7, Fig.1–9.

¹⁰³ Birell, Portucullis Stones, S.25; Wolf, Snofru; Haase, Fallsteinsystem, S.36ff.

gen mit Durchmessern zwischen 7,1 und 7,6 cm versehen.¹⁰⁴ 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.¹⁰⁵ Das lichte Maß zwischen Ost- und Westwand beträgt ca. 120 cm bei einer Gangbreite von 104 cm. Diese Führungsrinnen reichen etwas in den Gangboden hinein.¹⁰⁶

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. 4.2.2.1 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.¹⁰⁷ Die Oberkante des oberen Steins ist abgerundet.

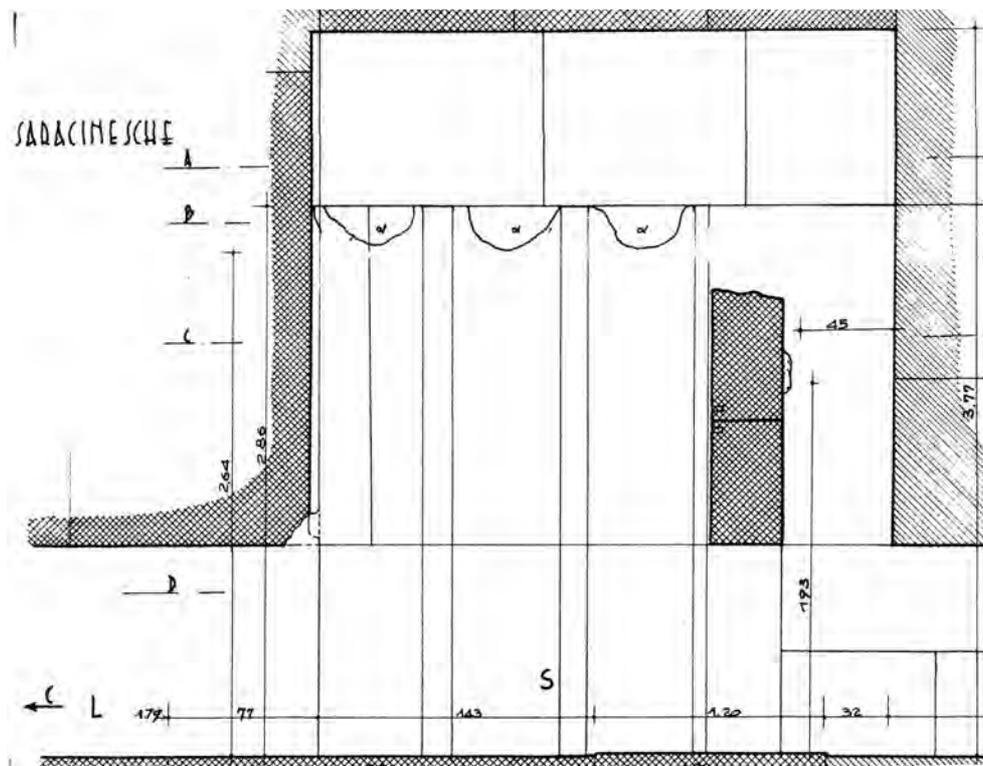


Abb. 4.2.2.1.1 Fallsteinkammer der Cheopspyramide (Schnitt S-N)

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.¹⁰⁸ Diese Rinnen enden 12 cm über der Gangdecke abgerundet nach unten.

¹⁰⁴ Haase, Blockierstein, Haase, Fallsteinsystem, S.38.

¹⁰⁵ Maragioglio, IV, S.46, TAV.7, Fig.6.

¹⁰⁶ Maragioglio, IV, TAV.7, Fig.9.

¹⁰⁷ Siehe Arnold, Building, fig.5.15. und Maragioglio, IV, TAV.7, Fig.2 und 3.

¹⁰⁸ Haase, Blockierstein und Maragioglio, IV, TAV.7, Fig.3 und 6.

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).¹⁰⁹ Haase gibt für die Höhe 149 cm an.¹¹⁰ In einer neueren Veröffentlichung spricht er von 144 cm.¹¹¹ Die von Borchardt angenommene Höhe der Fallsteine von 120 cm¹¹² ist – wie auch Maragioglio und Rinaldi feststellen¹¹³ – zu gering angesetzt, als dass damit der Gang 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.¹¹⁴ 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,¹¹⁵ 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.¹¹⁶ 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,¹¹⁷ 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.¹¹⁸ 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.¹¹⁹

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.¹²⁰ 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.¹²¹

¹⁰⁹ Wolf, Blockierungssysteme, S.164.

¹¹⁰ Haase, Cheops, S.40, Abb.42.

¹¹¹ Haase, Fallsteinsystem, S.39 und Fußnote 26.

¹¹² Borchardt, Dritte Bauperiode, Tafel 10.

¹¹³ Maragioglio, IV, S.126.

¹¹⁴ Maragioglio IV, TAV.7, Fig.3.

¹¹⁵ Borchardt, Dritte Bauperiode, S.15 und Tafel 10.

¹¹⁶ 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.

¹¹⁷ Perring, Pyramids I, S.2 zu Blatt 3 und 4.

¹¹⁸ Borchardt, Dritte Bauperiode, S.14.

¹¹⁹ Maragioglio IV, S.126 Observation 28.

¹²⁰ Petrie, Pyramids, S.77 und Pl.XII.

¹²¹ Maragioglio, IV, S.126–128.

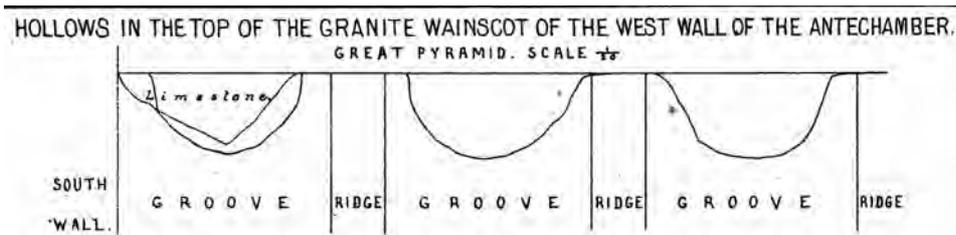


Abb. 4.2.2.1.2 Vermessung der Vertiefungen in der Fallsteinkammer nach Petrie

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 stimmt somit nicht.¹²² Die Abstände zwischen den drei Fallsteinen betragen 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.¹²³ Bei 4 Bohrungen muss dann jedes der Seile auf beiden Seiten des Fallsteins eine Last von ca. 0,31 t ($\frac{1}{8}$ 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.¹²⁴ Bei Verwendung von ebenfalls im AR nachgewiesenen Hanfseilen größerer Festigkeit (siehe Kapitel 4.2.2.4 Seile) reicht auch ein 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 bzw. Beschädigungen der Fallsteine beim Herablassen zu vermeiden. Das Herablassen könnte auf folgende Weise erfolgt sein: Die Walzen mit einer Länge von ca. 150 – 160¹²⁵ cm 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 vergrößern¹²⁶.

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.¹²⁷ Das jeweils nördliche Seilende der beiden südlichen Fallsteine sowie das Seilende des dritten Fallsteines auf der Nordseite wurde zum Zeitpunkt des He-

¹²² Borchardt, Dritte Bauperiode, Tafel 10.

¹²³ Die Annahme von Borchardt für die Aufhängung (Borchardt, Dritte Bauperiode, Tafel 10) trifft nicht zu.

¹²⁴ 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.

¹²⁵ 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.

¹²⁶ 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.

¹²⁷ Stöcker, S.52–53.

rablassens 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.¹²⁸ 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 Fallsteineinrichtung und dem Herablassen der Fallsteine zu vermeiden. Das Spannen der Seile zum Entfernen der Holzstützen könnte durch Bewegen der einzelnen Walze entgegen der Absenkrichtung möglich gewesen sein. 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 könnte so eine Kraftübersetzung mit dem Verhältnis 12:1 (Länge der Stäbe max. 95 cm, Radius der Walze ca. 7,5 cm) erreicht werden.¹²⁹ Das bedeutet, dass von dem halben Gewicht eines Fallsteines (1,25 t) nur 1/12 - also 0,1 t - an Kraft aufgewendet werden musste, um die Seile zu spannen und den Stein leicht anzuheben. Die dann für das Spannen benötigte Kraft von 100 kg bei einem Walzendurchmesser von 15 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.¹³⁰ 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.¹³¹ Ohne ein vorheriges Spannen der Seile zum Entfernen der Holzstützen scheint dies unmöglich zu sein. Ähnliches gilt für die von Goyon¹³², Arnold¹³³ und

¹²⁸ Stöcker, Physik, S.97: Lose Rolle.

¹²⁹ 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.

¹³⁰ Maragioglio IV, S.126, Observation 28.

¹³¹ Haase, Fallsteinsystem, S.43.

¹³² Goyon, Cheopspyramide S.160.

Lauer¹³⁴ 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.¹³⁵

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 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.¹³⁶ 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).¹³⁷ 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 auf¹³⁸. 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.¹³⁹ 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

¹³³ Arnold, Baukunst, S.195.

¹³⁴ Lauer, Geheimnis, S.180, Abb.51.

¹³⁵ Stadelmann, Große Pyramiden, S.135.

¹³⁶ Wolf, Blockiersysteme, S.37 und 39.

¹³⁷ Borchardt, Dritte Bauperiode, S.18ff. und Tafel 12; Maragioglio, VI, S.40ff., Addenda, TAV.5, Fig.2.

¹³⁸ Maragioglio, VI, Addenda, TAV.5, Fig.2; Borchardt, Dritte Bauperiode, Tafel 12.

¹³⁹ Maragioglio, VI, Addenda, TAV.7, Fig.2 und 3.

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.¹⁴⁰ Die von Borchardt vorgeschlagene Rekonstruktion der Fallsteine kann so nicht zu treffen. Monolithische Blöcke mit den Abmessungen von 137 cm (Breite)¹⁴¹, ca. 180 cm (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.¹⁴²

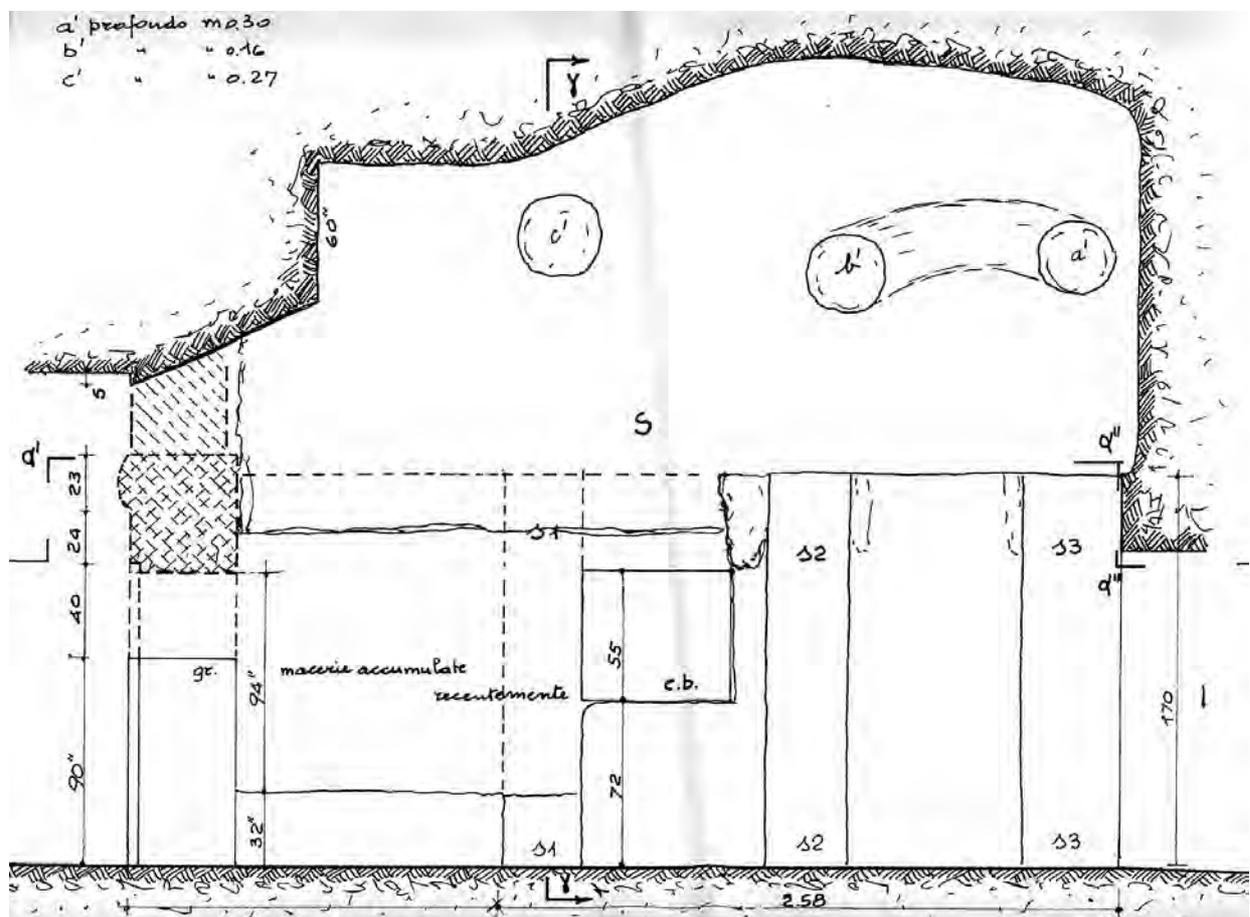


Abb. 4.2.2.2 Ostseite der Fallsteinkammer der Pyramide des Mykerinos (Schnitt S–N)

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 mög-

¹⁴⁰ Maragioglio, VI, Addenda, TAV.5, Fig.1 und Fig.3.

¹⁴¹ Breite 143–144 cm abzüglich 2 x 3 cm Abstand wie bei der Cheopspyramide.

¹⁴² Maragioglio, VI, S.38.

lich 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 einem Stück oder geteilt – im Gegensatz zu denen in der Cheopspyramide beim Einbringen angehoben werden, um dann von oben in die Führungsrinnen eingesetzt zu werden.

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.

Für den Autor ist dies – neben der Anwendung der Kurbel beim Bohrer – der indirekte Beweis für die Verwendung des Prinzips der Seilwinde, auch wenn wir nirgendwo einen direkten Beleg oder eine Abbildung kennen. Insofern muss der Vorschlag der später noch ausführlich erläuterten Bauweise mit Seilwinden als Hypothese bezeichnet werden. Gäbe es für den Einsatz der Seilwinden direkte Belege, könnte der Vorschlag zum Bau der Pyramiden im Alten Reich als Lösung der bisher offenen Frage nach der Bauweise bezeichnet werden

Die gelegentlich geäußerte Behauptung, bereits in der 5. Dynastie habe es bei Musikinstrumenten wie Lauten und Harfen Stimmwirbel gegeben,¹⁴³ trifft nicht zu.¹⁴⁴ 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.¹⁴⁵

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).¹⁴⁶ Nach Aufrichten des Pfeilers wurde der vordere Teil der Vertiefung mit einem passenden Stein verschlossen und die Fugen wurden mit Gips vergossen.

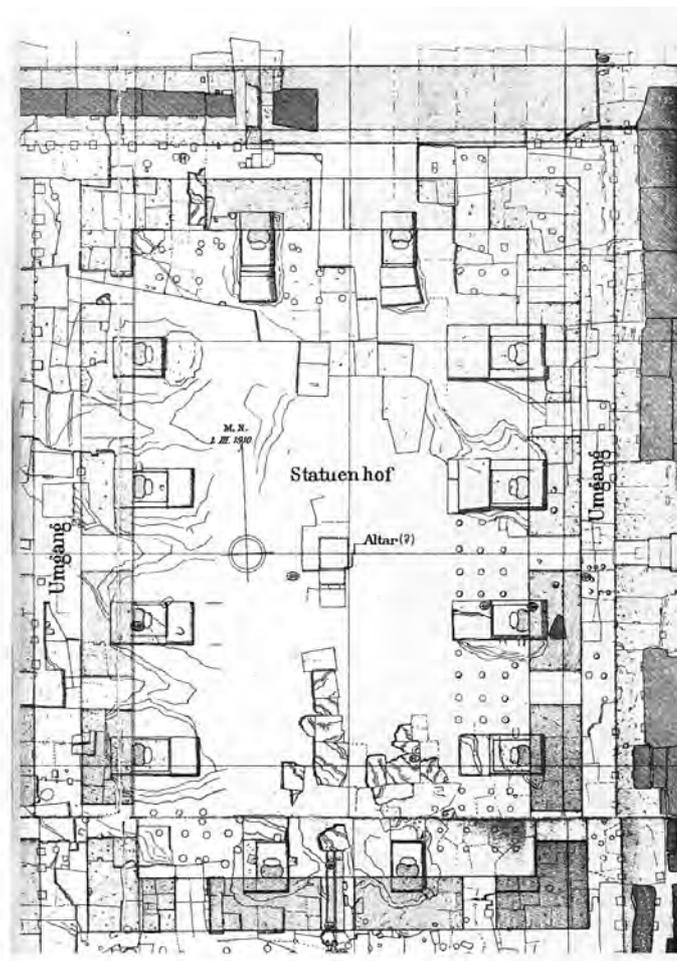


Abb. 4.2.2.3.1 Statuenhof im Totentempel des Chephren mit Löchern im Untergrund

¹⁴³ Riedl, Pyramidenbau, S.163.

¹⁴⁴ LÄ II, S.967.

¹⁴⁵ Hölscher, Chephren, S.71ff.

¹⁴⁶ Hölscher, Chephren, S.73.

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.¹⁴⁷ Wie in Abb. 4.2.2.3.2 dargestellt, kann das Aufrichten jedoch nicht vorgenommen worden sein:¹⁴⁸

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.¹⁴⁹ 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.

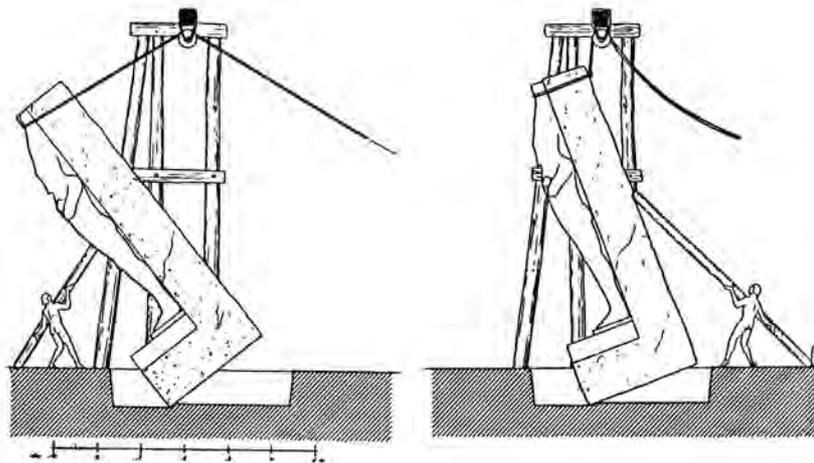


Abb. 4.2.2.3.2 Aufrichten von Statuen nach Hölscher

Reisner hält die Vorschläge von Hölscher für nicht zutreffend. Er bezweifelt den Einsatz der Vertiefungen wegen ihrer angeblichen Unregelmäßigkeit für den Bau von Gerüsten.¹⁵⁰ 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.¹⁵¹ Ähnlich äußert sich später Goyon.¹⁵² 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

¹⁴⁷ Hölscher, Chephren, Blatt XVIII Ausschnitt.

¹⁴⁸ Hölscher, Chephren, S.77.

¹⁴⁹ Reisner, Mycerinos, S.272.

¹⁵⁰ Reisner, Mycerinos, S.272.

¹⁵¹ Maragioglio, V, S.126.

¹⁵² Goyon, Cheopspyramide, S.48–49.

finden sind, die größtenteils sorgfältig mit Steinstückchen 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 Hölscher dreierlei Arten, Blöcke zu heben, vor.¹⁵³ 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.¹⁵⁴

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).¹⁵⁵

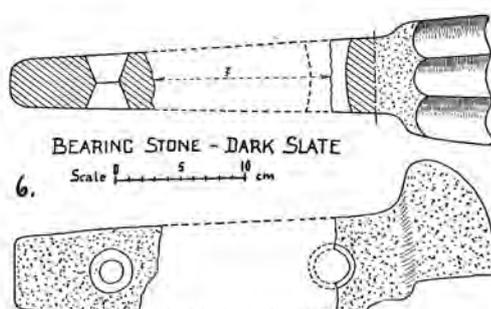


Abb. 4.2.2.3.3 Steinernen Seilumlenkeinrichtung

Eine denkbare Verwendung in einem Holzgestell schlägt Arnold vor.¹⁵⁶ Munt plädiert für eine Abänderung des Vorschlages von Arnold und den Einsatz der Seilumlenkeinrichtung am oberen Ende einer Holzkonstruktion.¹⁵⁷ 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.¹⁵⁸ Strub-Roessler und Tompkins¹⁵⁹ hatten bereits früher auf eine derartige Konstruktion hingewiesen.

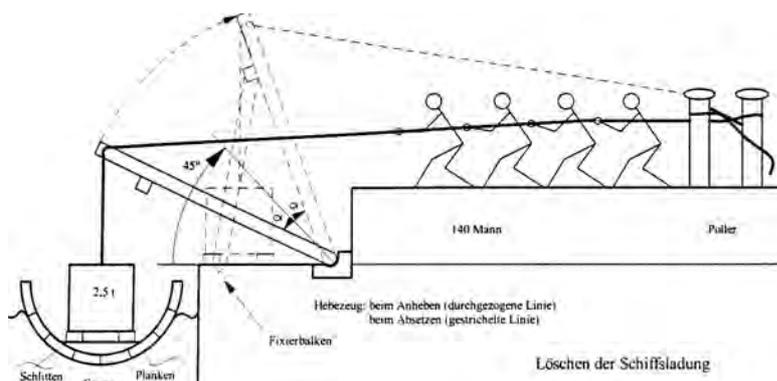


Abb. 4.2.2.3.4 Hebekran nach Munt

¹⁵³ Hölscher, Chephren, S.74–75.

¹⁵⁴ Goyon, Cheopspyramide, S.49.

¹⁵⁵ Reisner, Mykerinos, S.276, pl.A.

¹⁵⁶ Arnold, Building, S.283.

¹⁵⁷ Munt, Kemet 4/2002, S.61.

¹⁵⁸ Reisner, Mycerinos, Plate A (6).

¹⁵⁹ 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,¹⁶⁰ 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.

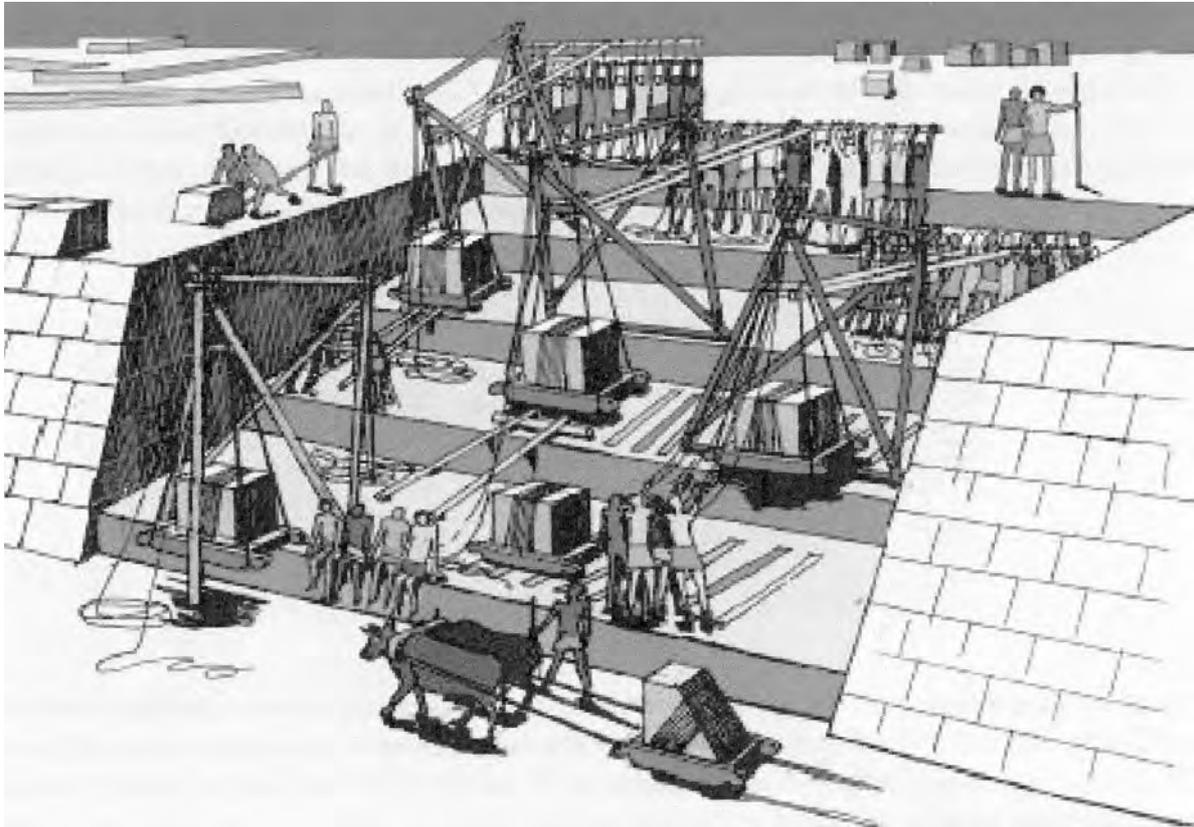


Abb. 4.2.2.3.5 Pyramidenbau mit Winkelhebern nach Höhn

4.2.2.4 Seile

Bereits im AR wurden Seile für vielfältige Anwendungen genutzt. Sie können aus Gras, Palmfaser (Palmbast), Hanfgras (*Desmostachya bipinnata*), Papyrus oder Leder angefertigt sein. Die Ägypter hatten eine große Fertigkeit in der Herstellung von Seilen entwickelt.¹⁶¹ Aus einer Reihe von Abbildungen in Gräbern ab dem AR ist die Technik der Seilherstellung gut zu erkennen und nachzuvollziehen:¹⁶² 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.¹⁶³ Mackay hat eine Darstellung über die Seilherstellung aus der Zeit Thutmosis III. publiziert.¹⁶⁴

¹⁶⁰ Höhn, Pyramidenbau

¹⁶¹ LÄ V, S.827–828.

¹⁶² Teeter, Rope-Making.

¹⁶³ Brockhaus, Seile.

¹⁶⁴ 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.¹⁶⁵ 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).¹⁶⁶

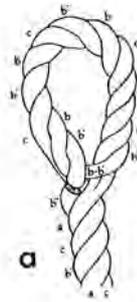


Abb. 4.2.2.4.1 Seilschlinge aus drei Garnen (Litzen)

Perring und Vyse fanden bei ihren Untersuchungen des Grabganges der Knickpyramide ein herabhängendes Seil aus Papyrusfasern.¹⁶⁷ 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).¹⁶⁸

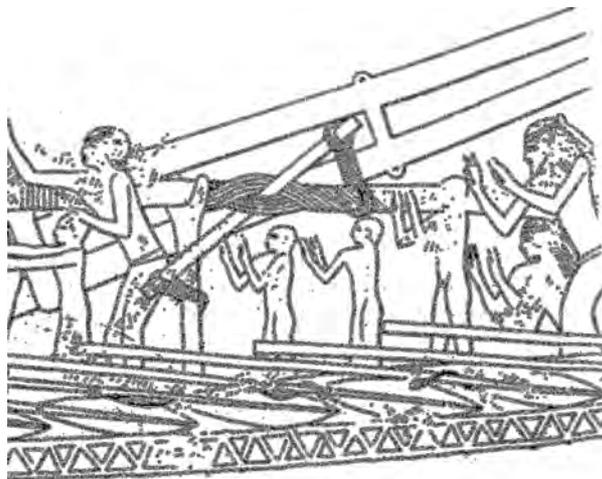


Abb. 4.2.2.4.2 Verwendung eines dicken Seils zum Spannen

Ein weiteres Beispiel ist die Darstellung eines Schiffs im Grab des *Jpuj* in Saqqara.¹⁶⁹ Greiss erwähnt in seiner Beschreibung von Museumsexponaten ein „dickes“ Seil aus Papyrusmaterial aus der 1. Dynastie.¹⁷⁰ Eine Schätzung des Seildurchmessers aufgrund der Abbildung ist nur schwer möglich (1–2 cm?).

¹⁶⁵ Ryan, Old Rope.

¹⁶⁶ Domning, Ropework, S.50.

¹⁶⁷ Quellenangabe nach Wolf, Blockierungssysteme, S.38: Perring & Vyse, Appendix to the Operations carried on at the Pyramids of Gizeh, London 1842, S.68.

¹⁶⁸ Jones, Boats S.36–43.

¹⁶⁹ Clarke und Engelbach, Egyptian, S.41.

¹⁷⁰ Greiss, Plant.

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.¹⁷¹ 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.¹⁷²

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 Roasch¹⁷³ – 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.¹⁷⁴ 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.¹⁷⁵

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.¹⁷⁶ Auch bei Durchsicht der Veröffentlichung „Ships of the Pharaohs“¹⁷⁷ 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. Umlenksteine als Umlenkeinrichtung bekannt.¹⁷⁸ Lehner weist auf einen in situ im Südgrab des Djoser gefundenen Hehebalken aus Holz mit vorhandenen Seilspuren zum Abseilen des Granitpfropfens hin.¹⁷⁹

¹⁷¹ Landström, *Ships*, S.82–84; Riedl, *Pyramidenbau*, S.17.

¹⁷² Nour, *Cheops Boats*, pl.38.

¹⁷³ Valloggia, *Im Zeichen des Re*.

¹⁷⁴ Borchardt, *Niuserre*, S.150–151.

¹⁷⁵ Croon, *Lastentransport*; Carpiceci, *Kunst und Geschichte*; LÄ V, S.520–521; Arnold, *Pyramiden*, S.103, Fußnote 53.

¹⁷⁶ Lauer, *Pyramide à Degrés 2*, Pl.VII; Stadelmann, *Pyramiden*, S.43 und Tafel 4.

¹⁷⁷ Landström, *Ships*.

¹⁷⁸ Ebenda, S.51, Abb.143; Seile werden durch Ösen geführt (6. Dynastie).

¹⁷⁹ Lehner, *Geheimnis*, S.92, jedoch ohne weitere Quellenangabe.

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.¹⁸⁰

4.3.1 Schiefe Ebene

4.3.1.1 Zugkräfte (Gleitreibung)

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

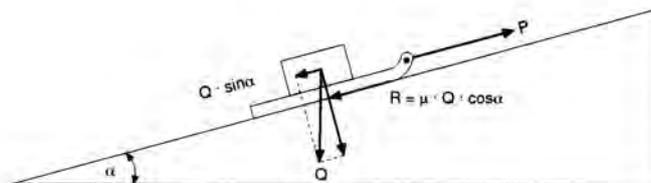


Abb. 4.3.1.1.1 Kräfteverteilung auf der schiefen Ebene

Dabei sind

- P die erforderliche Zugkraft
- Q die Last (Gewichtskraft der Masse) – z.B. Stein, Schlitten und Seile
- R die Reibungskraft
- α der Steigungswinkel der Ebene (Rampe) und
- μ die Gleitreibungszahl: (Hartholz auf Hartholz, gefettet 0,04-0,12)¹⁸¹
(Holz auf Holz 0,3)¹⁸²
(Holzschlitten auf nassem Untergrund aus Erde und Schotter 0,25)¹⁸³
(Holz auf Beton 0,3)¹⁸⁴
(Holzschlitten auf grob poliertem Kalkstein 0,05-0,1)
(Steinblock, behauen, auf grob poliertem Kalkstein 0,25)
(Kalkstein, geglättet, mit nasser Mörtelschicht auf Kalkstein, geglättet 0,14)¹⁸⁵
(Holzschlitten auf Kugeln aus Dolerit 0,05)
(Holzschlitten auf festem, glattem Untergrund mit nassem Nilschlamm 0,05)¹⁸⁶

¹⁸⁰ Goyon, Karnak, S.100.

¹⁸¹ Stöcker, Physik, S.227; der niedrigere Wert gilt für die Rollreibung bei Verwendung von quer unter dem Schlitten angeordneten Rundhölzern.

¹⁸² www.chemgapedia.de/vsengine/vlu – Gleitreibung.

¹⁸³ Lattermann, Pyramidenbau, S.20; Croon in: Borchardt, Meidum, S.28.

¹⁸⁴ Containerhandbuch, Kapitel 4.4.5.

¹⁸⁵ Stocks, Steinobjekte, S.41.

¹⁸⁶ 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:

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

Aus dieser Formel ist ersichtlich, dass Arbeit eine physikalische Größe ist: Kraft mal Weg. Die Rampe teilt die Last Q in die so genannte Normalkraft, die den Körper senkrecht auf die Rampe drückt (siehe Abb. 4.3.1.1.1) und in die so genannte Hangabtriebskraft $Q \cdot \sin \alpha$, welche die Last Q parallel zur Rampe abwärts zieht. Gegen diese Kraftkomponente und gegen die Reibungskraft $\mu \cdot Q \cdot \cos \alpha$ muss die Zugkraft P aufgebracht werden. Die Gleitreibungskraft $Q \cdot \cos \alpha$ ist immer unabhängig von der Fläche des zu transportierenden Gegenstandes und von der Zugeschwindigkeit.

Für den Transport von Lasten über Rampen ist Voraussetzung, dass die Haftreibungskraft μ (Haftreibung)¹⁸⁷ $\cdot Q \cdot \cos \alpha$ größer als die Hangabtriebskraft ist, damit bei einer kurzen Pause der Zugmannschaft oder beim Reißen eines Zugseils der Schlitten automatisch zum Stehen kommt und nicht die Rampe rückwärts rutscht (Abrutschsicherheit). Mit dem Haftreibungsgesetz

$$R < \text{bzw.} = \mu \text{ (Haftreibung)} \cdot Q \cdot \cos \alpha$$

ergibt sich als notwendige Bedingung

$$\mu \text{ (Haftreibung)} > \text{bzw.} = \tan \alpha$$

Damit ergibt sich für den Steintransport auf Rampen mit Sand- bzw. Schotterbelag eine maximale Steigung der Rampe von ca. 15° .¹⁸⁸ Transportrampen mit einer geringeren Gleitreibungszahl, wie sie mit geschmiertem bzw. nassem Untergrund zum Ziehen großer Lasten mit Ochsespannen erforderlich waren, haben mit Blick auf die genannte Abrutschsicherheit Steigungswinkel unterhalb von 8° . So beträgt der Steigungswinkel der Rampe zum Totentempel des Mykerinos etwa 7° . Der Aufweg zwischen Taltempel des Chephren und dessen Pyramide hat einen solchen von 6° .¹⁸⁹ Der Transport der bis zu 200 t schweren Steinblöcke zum Totentempel des Mykerinos erscheint unter dieser Tatsache mit Ochsespannen ohne weiteres möglich: Es konnte jederzeit eine Ruhepause eingelegt werden, ohne dass eine gefährliche Situation entstand.

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 Sandschüttung¹⁹⁰ oder Kugeln aus Dolerit oder quer liegende Rundhölzer) folgende erforderliche Zugkräfte:

¹⁸⁷ Die Haftreibungszahl beträgt für eine glatte Oberfläche bei Holz auf Stein 0,6 und bei Stein auf Sand und Kies 0,3.

¹⁸⁸ Dörnenburg, Pyramidengeheimnisse, S.148.

¹⁸⁹ Stocks, Steinobjekte, S.42

¹⁹⁰ Eine Art Rollreibung liegt vor, wenn zwischen einem zu transportierenden Gegenstand und einer glatten Untergrundfläche feinkörniger Sand gestreut wird. Dieser wirkt dann wie viele kleine Kugeln und vermindert die Gleitreibung beträchtlich.

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

Für den unmittelbaren Transport roh behauener bzw. aus einer Steinlage heraus gebrochener 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 (4,5 t / 3 t / 1,5 t Last)
Gerade Ebene	0°	1050 / 750 / 375 kp
10 : 0,5	2,9°	1350 / 900 / 450 kp
10 : 1	5,7°	1566 / 1044 / 522 kp
10: 1,3	10°	1889 / 1259 / 630 kp
10 : 2,7	15°	2250 / 1500 / 750 kp
10 : 3,7	20°	2595 / 1730 / 865 kp
10 : 5	26,5°	3015 / 2010 / 1005 kp
10: 5,4	30°	3225 / 2150 / 1075 kp
10: 6,4	35°	3503 / 2335 / 1168 kp
10: 7,4	40°	3755 / 2503 / 1251 kp
10: 10	45°	3978 / 2652 / 1326 kp

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

Ein Neigungsverhältnis von 2:1 (26° 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.¹⁹¹

Durch diese Korridore wurden Material beim Bau der Grabkammern nach oben und Verkleidungssteine (Granit) nach unten transportiert. Abb. 4.3.1.1.2 zeigt den Grabkammerkorridor in der Pyramide des Mykerinos:

¹⁹¹ Becker, Pyramidenkorridore

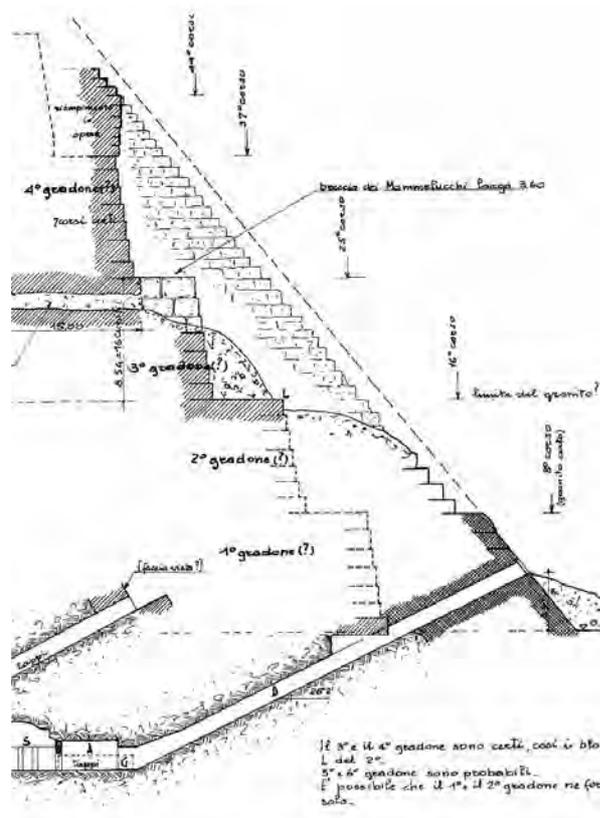


Abb. 4.3.1.1.2 Grabkammereingang in der Pyramide des Mykerinos

Ein weiteres Beispiel für eine Rampe mit dem Steigungsverhältnis von 2:1 aus dem AR zeigt eine Abbildung in der Mastaba Debeheni in Gisa aus der frühen 5. Dynastie (Abb. 4.3.1.1.3).¹⁹²

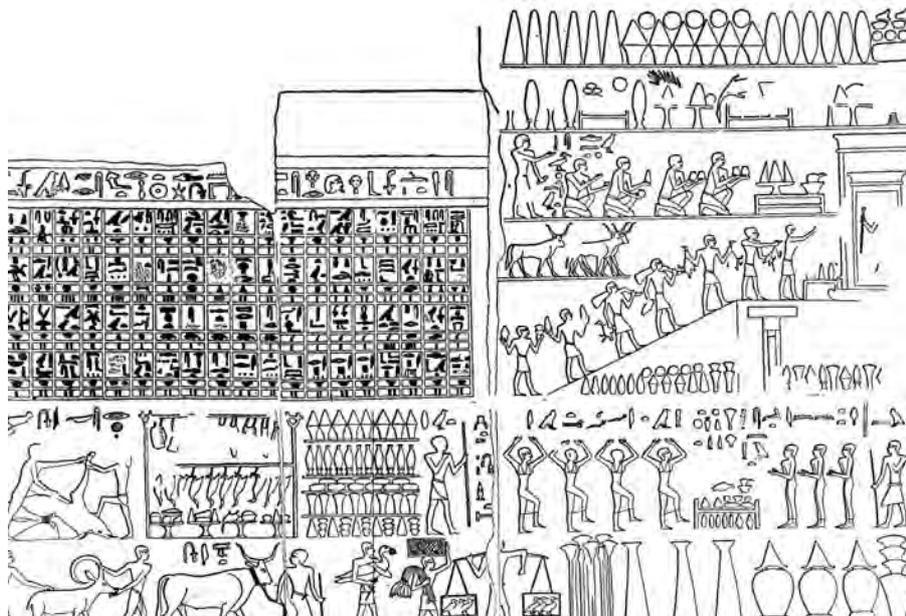


Abb. 4.3.1.1.3 Umzeichnung einer Rampe aus dem Grab des Debeheni

¹⁹² Hassan, Gisa 1.

Ebenfalls eine weitere vergleichbare Rampendarstellung – allerdings aus der 18. Dynastie – ist im Grab des Rehmire (TT 100 in Theben West) zu sehen (Abb. 4.3.1.1.4). 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 (26,5°).

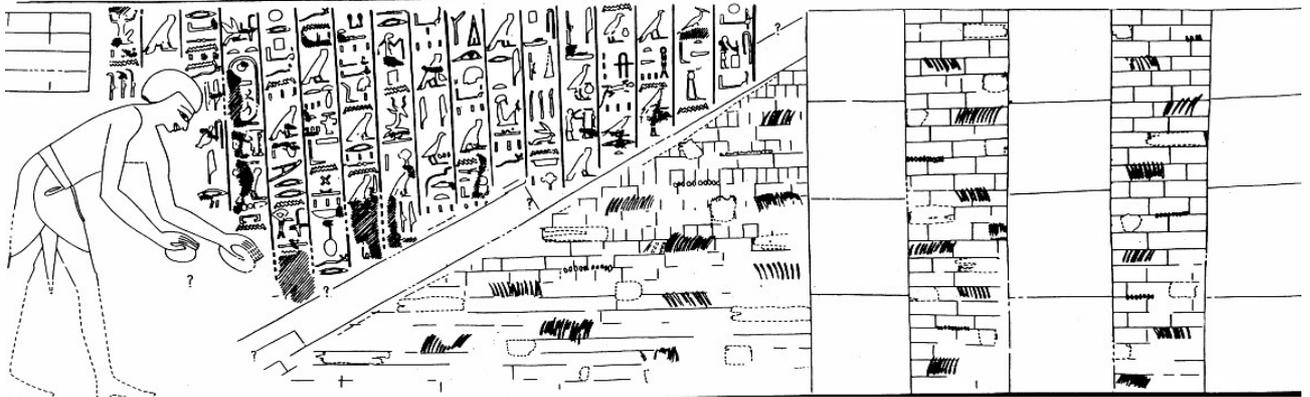


Abb. 4.3.1.1.4 Umzeichnung einer Ziegelbaurampe aus dem Grab des Rehmire¹⁹³

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.¹⁹⁴

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 Gewichtskraft, R der Raddurchmesser, G die Zugkraft und f die Rollreibung.

Die Rollreibung beträgt z. B. für

Holz auf Holz	f/(cm)	= 0,5 ... 0,8
Gummi auf Beton	f/(cm)	= 0,15 ¹⁹⁵ bzw.
Rundholz bzw. Walze auf Beton	f/(cm)	= 0,02 ¹⁹⁶ .

¹⁹³ Davies, Rehmire, pl. LX

¹⁹⁴ Goyon, Karnak, S.102.

¹⁹⁵ Werte nach Stöcker, Physik, S.226. .

¹⁹⁶ Werte nach Neuhaus, www.jdn.de/service_area/windenwendungen_schiefe-ebenen_reibungsbeiwerte.

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.¹⁹⁷ An der Westseite seien die Reste der großen zum Steinbruch führenden Hauptrampe gefunden worden.¹⁹⁸

Maragioglio und Rinaldi befassen sich ausgiebig mit den Aussagen Goneims und stellen dazu fest, dass es sich nicht um Baurampen gehandelt haben kann.¹⁹⁹ 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).²⁰⁰ Diese führen senkrecht auf die Pyramide zu und erreichen das Mauerwerk der zweiten Schale.²⁰¹ 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.

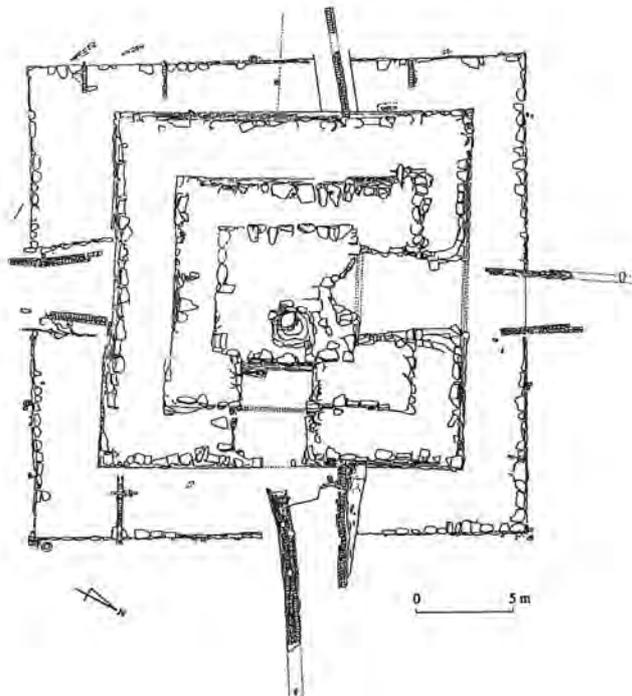


Abb. 4.3.2.2 Baurampen an der kleinen Schichtpyramide in Sinki

¹⁹⁷ Goneim, *Pyramiden*, S.152–153.

¹⁹⁸ Goneim, *Horus Sechemchet*, Fig.25, Pl.XV.

¹⁹⁹ Maragioglio II, S.21 und Observation 9.

²⁰⁰ Dreyer, *Sinki*, S.90.

²⁰¹ Dreyer, *Sinki*, S.42ff.

4.3.2.3 Die Pyramide des Snofru in Meidum

Borchardt berichtet ausführlich²⁰² über von Petrie an der östlichen Außenseite der 5. und 6. Stufe der Schicht E 2 gefundenen Vertiefungen²⁰³, die auch von Wainwright²⁰⁴ 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.²⁰⁵ 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.²⁰⁶ 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.²⁰⁷ 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.).²⁰⁸

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.

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.²⁰⁹ Auch Arnold stellt eine derartige Bauweise infrage.²¹⁰ Die in Abb. 4.3.2.3 als Approach dargestellte Transportrampe dürfte nach Stadelmann zum Materialtransport für die Schicht E 3 (äußere Verkleidung) gedient haben.²¹¹

4.3.2.4 Die Rote Pyramide in Dahschur

Vom Fruchtländchen bzw. vom Taltempel der Roten Pyramide aus führen zwei Transportbahnen zur Ostseite der Pyramide.²¹² 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).²¹³

²⁰² Borchardt, Meidum, S.20ff.

²⁰³ Petrie, Meidum, S.10 und Bl.2.

²⁰⁴ Petrie, Meidum III, S.6 ff und Bl.1–3.

²⁰⁵ Arnold, Building, S.83, fig.33.1.

²⁰⁶ Petrie, Meidum, Pl.II.

²⁰⁷ Borchardt, Meidum, S.24

²⁰⁸ Borchardt, Re-Heiligtum 1, Der Bau, S.61.

²⁰⁹ Maragioglio, III, S.38.

²¹⁰ Arnold, Building, S.82.

²¹¹ Stadelmann, Pyramiden, S.82.

²¹² Stadelmann, MDAIK 38, S.381.

²¹³ Arnold, Building, S.81.

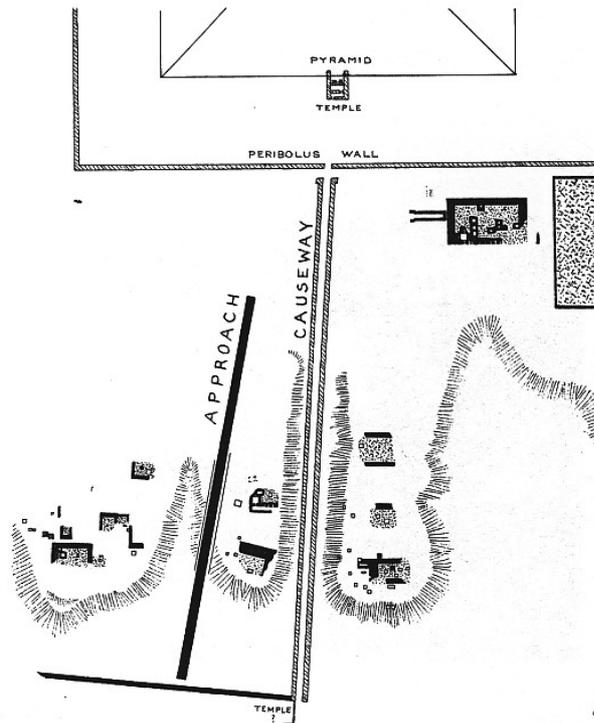


Abb. 4.3.2.3 Baurampe an der Pyramide in Meidum

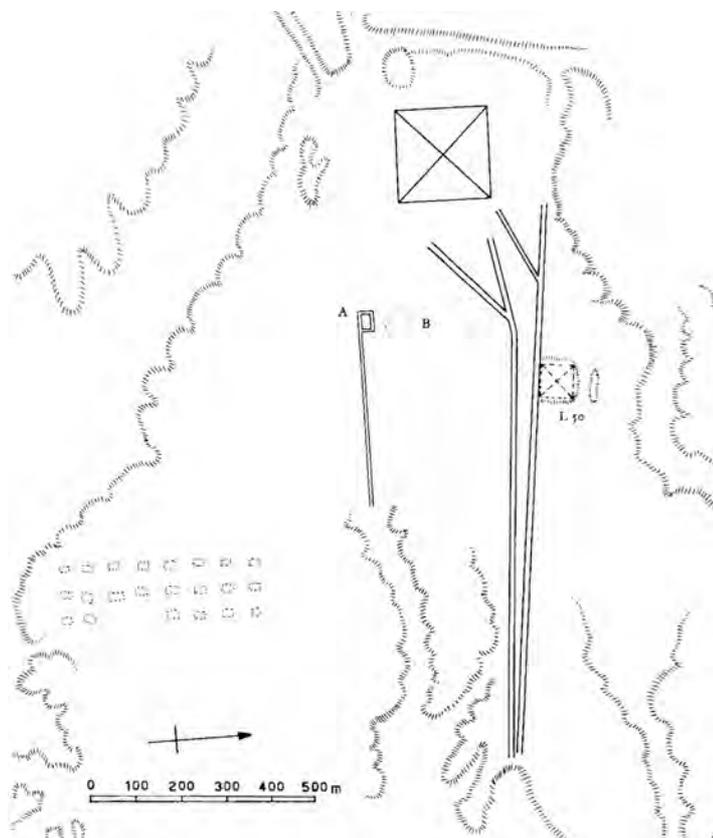


Abb. 4.3.2.4 Transportrampen an der Roten Pyramide

4.3.2.5 Cheopspyramide

In Gisa sind verschiedene kleinere Rampen archäologisch nachgewiesen, die jedoch nach Lehner meist dem Materialtransport dienten.²¹⁴ 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 der Pyramide (Neigung ca. 7°) 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.²¹⁵ Dies gilt wohl auch für die von Lehner beschriebene Transportstraße zwischen der Cheopspyramide und der Sphinx.²¹⁶

Petrie entdeckte 1881 eine 388 m lange und bis zu 9,5 m breite Mauer.²¹⁷ 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.²¹⁸ Seine Schätzung geht von einer Basisbreite von 30–40 m, einem Transportweg von etwa 20 m Breite²¹⁹ mit mehreren Schlepfbahnen und einer Länge bis zu 700 m aus. Die Steigung soll 6,3° (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 wären – so Haase weiter – bis zu einer Höhe von 66 m der Cheopspyramide 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 Westfriedhofs²²⁰ stengelassen 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.²²¹ Die Arbeitsplattform müsste also den Abstand zwischen Rampe und Südflanke der Pyramide ausgefüllt haben. Offen bleibt, wohin

²¹⁴ Lehner, Schätze, S.40.

²¹⁵ Lehner, Cheops Project, S.127.

²¹⁶ Lehner, Cheops Projekt, S.121.

²¹⁷ Petrie, Pyramids, S.33.

²¹⁸ Haase, Rampe für Schwertransporte.

²¹⁹ Eine Nachrechnung ergibt bei einer Basisbreite von 40 m und einer im AR üblichen Neigung der Stützmauer von 80° in 66 m Höhe eine Breite von 18 m.

²²⁰ Siehe Abb. 89a in Haase, Cheops.

²²¹ Bárta, Pyramidenfelder von oben, S.62

später die gewaltigen Steinmassen „entsorgt“ wurden. Keine Aussage wird auch zu der Frage getroffen, von welchem Hafen 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.²²²

Saleh berichtete von einer Rampe aus der 4. Dynastie in der Nähe der Cheopspyramide,²²³ welche eine Breite von 5.4–5.7 m aufwies und an deren Seiten je ein Steinwall errichtet war.²²⁴ 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 Guraab und unter dem Hopfplaster 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. 10:2,5.²²⁵ 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 Ziegelrampe²²⁶ werden von Maragioglio und Rinaldi als für Fundamentierungsarbeiten errichtet gedeutet.²²⁷

4.3.2.7 Pyramiden des Mittleren Reiches

Für den Materialtransport zu den Baustellen der Pyramiden des MR (12. Dynastie, Amenemhet I., Sesostri I. und Sesostri II.) wurden regelmäßig Rampen angelegt und verwendet, die aus zwei Seitenmauern, einem Fundament und quer zur Transportrichtung verlegten Rundhölzern bestanden.²²⁸ 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.²²⁹ 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 Sesostri II.²³⁰

Ebenfalls aus der 12. Dynastie ist aus der Zeit der Regentschaft des Sesostri III. eine Transportstraße für Schiffe zur Umgehung des zweiten Katarakts bekannt. Während der UNESCO-Rettungsarbeiten in Nubien entdeckten 1964 französische Archäologen unweit der Festung

²²² Klemm und Klemm, Steinbruch, S.36–37.

²²³ Saleh, Mycerinos Pyramid S.137.

²²⁴ Arnold, Building, S.84, Fig.3.33.

²²⁵ Borchardt, Sonnenheiligtum, S.59ff.; Grundriss Blatt 6.

²²⁶ Borchardt, Niuserre, S.149.

²²⁷ Maragioglio, VII, S.40 und 52.

²²⁸ Einzelheiten bei Arnold, Building, S.86–93.

²²⁹ Arnold, Building, S.87, Fig.3.37.

²³⁰ Arnold, Building, S.92, Fig.3.44.

Mirgissa die Überreste dieser Transporttrasse.²³¹ Aus der Veröffentlichung darüber 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.²³² 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.

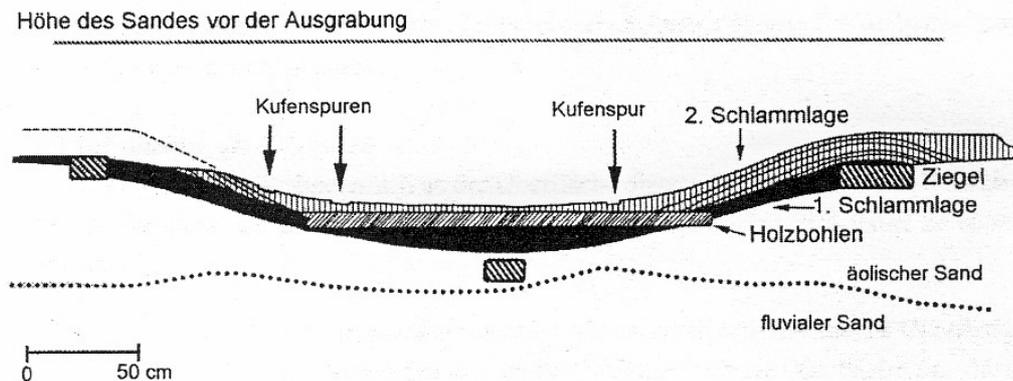


Abb. 4.3.2.7 Schnitt durch den stromabwärts erhaltenen Teil der Gleitbahn von Mirgissa

Der Bau größerer Rampen mit Außenmauern und einer Füllung aus Schotter ist erst in der Mitte der 18. Dynastie unter Amenhotep III. belegt.²³³ 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 5°, bezieht.²³⁴

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.²³⁵ Eindeutig identifizierte Schutthalde 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.²³⁶ 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.

²³¹ Vercoutter, Mirgissa, S.204ff.

²³² Vogel, Nilschiffahrt, S.267.

²³³ Arnold, Building, S.93–94.

²³⁴ Gardiner, Texts, S.281–282.

²³⁵ Stadelmann, Pyramiden, S.226.

²³⁶ Lehner, Cheops Project, S.124 und 132.

Haase weist in diesem Zusammenhang auf einen interessanten Aspekt hin:²³⁷ 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:²³⁸ 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.

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.²³⁹

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).²⁴⁰ 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.²⁴¹ Die Pfeiler im Taltempel des Chephren wiegen etwa 14–19 t, die beiden Sphingen je 80 t.²⁴² Einige der Kalksteinblöcke der Außenwand des Totentempels des Mykerinos haben ein Gewicht von ca. 200 t.²⁴³ Die Kalksteinblöcke der Giebeldächer der Grabkammern in den Pyramiden der 5. Dynastie wiegen bis zu 90 t.²⁴⁴

²³⁷ Haase, Vermächtnis, S.99.

²³⁸ Croon, Lastentransport, S.23.

²³⁹ Siehe Abbildung in Sokar 13, S.29.

²⁴⁰ Maragioglio, VI und Ausführungen im Kapitel 8.1 „Baudaten der Pyramide des Mykerinos“.

²⁴¹ Arnold, Building, S.60.

²⁴² Hölscher, Chephren, S.71ff.

²⁴³ Lehner, Geheimnis, S.136; Maragioglio, V.S.66; Hölscher beziffert das Gewicht des größten Steinblocks mit 425 t (Hölscher, Chephren, S.52).

²⁴⁴ Borchardt, Niuserre, S.103.

Um derartig schwere Lasten zu transportieren, muss es befestigte Wege bzw. Straßen gegeben haben. Für die Art des Transportes gibt es - wie an verschiedenen Stellen dieser Veröffentlichung dargestellt - unterschiedlichste Vorschläge. Die älteste bisher gekannt gewordene befestigte Straße führt von dem aus der fünften bzw. sechsten Dynastie datierenden Widan el-Faras Steinbruchgebiet zum Moeris-See. Auf ca. 12 km Länge ist sie zu verfolgen. Der Höhenunterschied beträgt 140 m bei Steigungen bis zu 4°. ²⁴⁵ Die Pflasterung der ca. 2 m breiten Straße besteht aus eng aneinander gelegten Platten anstehenden Gesteins bzw. aus versteinertem Holz ohne Fundamentierung. An den Resten der Straße wurden keine Spuraushöhlungen – hervorgerufen durch Schlittenkufen – gefunden.

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. ²⁴⁶ Ähnliche Tragen sind für den Transport kleinerer Steine beim Pyramidenbau denkbar.

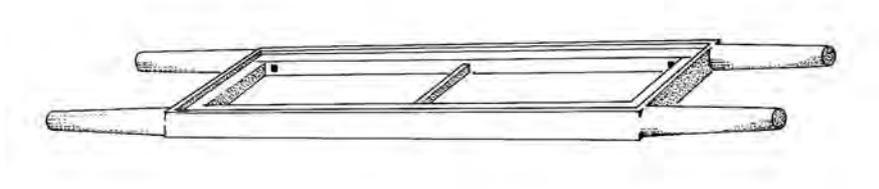


Abb. 4.3.3.1 Holztrage, Südgrab des Djoser

Aus Beamengräbern des AR sind verschiedene Bilddarstellungen bekannt, auf denen der Transport von Statuen und Gütern auf Schlitten gezeigt wird. ²⁴⁷ Auf einige davon soll beispielhaft hingewiesen werden:

- Darstellung des Transportes einer Sitzstatue aus dem Grab des Ti ²⁴⁸, eines hohen Hofbeamten der 5. Dynastie (Sahure, 2496/2446 – 2483/2433). ²⁴⁹ 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 Hetepheracht ²⁵⁰, eines hohen Offiziers aus Memphis (5. Dynastie). ²⁵¹ 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 ²⁵² und eine stehende Statue. ²⁵³

²⁴⁵ Köpp, Straßen der Pharaonen

²⁴⁶ Arnold, Building, S.57–58.

²⁴⁷ 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.

²⁴⁸ Steindorff, Grab des Ti, Tafel 64.

²⁴⁹ LÄ VI, S.551–552.

²⁵⁰ Mohr, Mastaba, S.39, Fig.3.

²⁵¹ Mohr, Mastaba, S.1.

²⁵² Mohr, Mastaba, S.40, Fig.6.

²⁵³ Mohr, Mastaba, S.41, Fig.7.

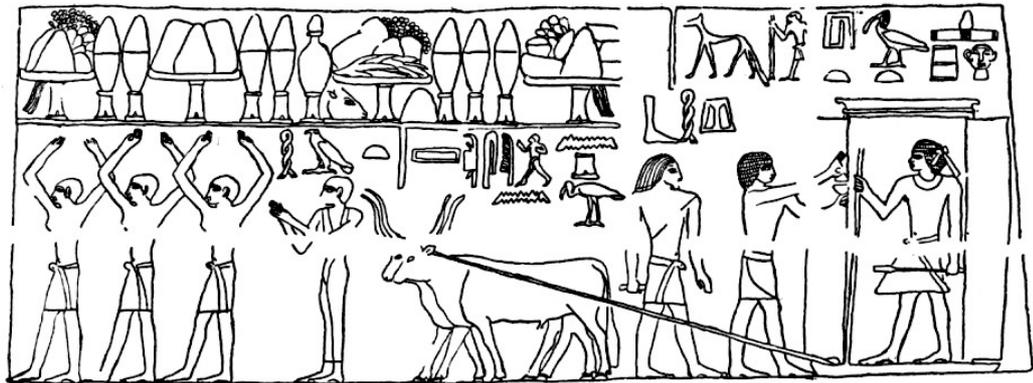


Fig. 3

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

- Darstellung des Transports zweier mit Federn geschmückter Behälter durch drei Männer aus dem Doppelgrab der Königinnen Nebet und Chenut, 5. Dynastie, Saqqara.²⁵⁴
- 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.²⁵⁵
- 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.²⁵⁶
- 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 Ausparungen und Vertiefungen besitzt, die wahrscheinlich zur Befestigung der zu transportierenden Last – nach Reisner u.U. auch von Schiffen – dienten (Abb. 4.3.3.3).²⁵⁷

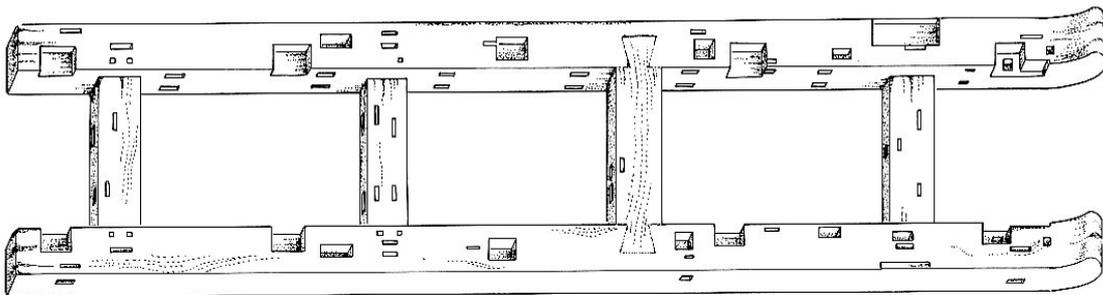


Abb. 4.3.3.3 Schlitten aus dem MR

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.²⁵⁸ Als Untergrund kommen daher entweder

²⁵⁴ Munro, Unas S.66 und Tafel 38.

²⁵⁵ Hawass/Verner.

²⁵⁶ Myśliwiec, K. in: Hawass, Schätze, S.298; Araldo De Luca, Archivio White Star in: Hawass, Schätze.

²⁵⁷ Reisner, Catalogue General, No.4928, S.88.

²⁵⁸ Siehe auch Riedl, Pyramidenbau, S.78

glatte Steinflächen, wie sie von Herodot für die Transportwege beschrieben werden, quer zur Transportrichtung auf den Untergrund verlegte Rundhölzer oder in Halbkugelförmigen Vertiefungen drehbar angeordnete Steinkugeln (Dolerit) infrage. Befeuchtung vermindert zusätzlich die Reibung.

Bei einer angenommenen und mit Funden in etwa übereinstimmenden Größe eines Schlittens von 3 m mit 30 cm breiten Kufen (siehe Abb. 4.3.3.3) ergibt sich eine maximale Auflagefläche (auf einem glatten Untergrund) von ca. 18 000 cm². Bei einem Gewicht des größten Steinblocks beim Bau der Pyramide des Mykerinos (siehe Kapitel 8.1) von 4,5 t und einem Eigengewicht des Schlittens von 200 kg ergibt sich pro Quadratzentimeter ein Druck von 261 Gramm. Dieser ist jedoch wesentlich größer beim Einsatz von Holzrollen bzw. Kugeln und würde ggf. zu einer starken Abnutzung der Holzkufen führen. Es ist daher anzunehmen, dass schwere Steine ohne Schlitten über Holzrollen bzw. Steinkugeln transportiert wurden.

Goyon weist aufgrund seiner Beobachtungen auf die besondere Eignung quer zur Zugrichtung verlegter Stämme aus Palmholz hin.²⁵⁹ 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 Dolerit²⁶⁰ mit einem Durchmesser von 15–20 cm – eine davon noch fest im Mörtel verhaftet – gefunden habe.²⁶¹ Die Kugeln seien teilweise sehr abgeschliffen gewesen, sodass angenommen werden könne, dass sie unter schweren Lasten bewegt wurden. Es ist einleuchtend, dass 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 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.²⁶² 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.²⁶³ 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?

²⁵⁹ Goyon, Cheopspyramide, S.130.

²⁶⁰ 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).

²⁶¹ Croon, Lastentransport, S.56.

²⁶² Arnold, Building, S.262.

²⁶³ Klemm und Klemm, Steine, S.313.

Hassan berichtet von Abraumfunden im Inneren tiefer gelegener Mastabas vom Ende der 4. Dynastie in Gisa, in denen ebenfalls Steinkugeln enthalten waren.²⁶⁴ Goyon vermutet dabei die Reste früherer Ziegelrampen.²⁶⁵

Junker berichtet von einem Fund in der Mastaba I des südlich der Cheopspyramide gelegenen Friedhofes der 4. Dynastie.²⁶⁶ 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.²⁶⁷ 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.²⁶⁸ 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.²⁶⁹ 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 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 oder auch feinkörnigem Sand (Rollreibung) war offensichtlich bereits im AR bekannt und wird auch heute noch in Kugellagern in vielfältigster Art verwendet.

Dagegen erscheint der Vorschlag von Dörnenburg, auf gemauerte Rampen Schotter zu streuen, aus verschiedenen Gründen heraus nicht ziel führend zu sein.²⁷⁰

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:

²⁶⁴ Hassan, Gisa.

²⁶⁵ Goyon, Cheopspyramide, S.174.

²⁶⁶ Junker, Gisa, Band X, 1951, S.16.

²⁶⁷ Firth, Step Pyramid.

²⁶⁸ Haase, Cheops, S.50.

²⁶⁹ 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.

²⁷⁰ Dörnenburg, Pyramidengeheimnisse, S.150.

- Lehner ermittelte in seinem NOVA-Experiment, dass auch schwere Lasten über eine Rampe mit quer gelegten Rundhölzern mit relativ geringer Kraftanstrengung gezogen werden können.²⁷¹
- Lattermann hat sich ausgiebig – auch in eigenen Versuchen – mit möglichen Zugleistungen von Bauarbeitern beschäftigt.²⁷² Er kommt im Gegensatz zu den von Borchardt und Croon²⁷³ sowie Mendelsohn²⁷⁴ 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.²⁷⁵ 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.²⁷⁶ 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.²⁷⁷
- 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.²⁷⁸ 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.²⁷⁹ 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.²⁸⁰
- Munt verwendet für seinen Vorschlag eines Hebezug-Paternosters Umlenkwalzen auf den einzelnen Stufen und der jeweils obersten Bauplattform der Pyramide.²⁸¹ Auch dazu wird im Kapitel 7 Stellung bezogen.
- Der immer wieder – so auch von Choisy und Legrain und später von Lauer²⁸² – zitierte und als Transportmittel genannte Schaukelaufzug (Wippe)²⁸³ 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.²⁸⁴ Eine Photographie im Metropolitan Museum of Art in New York zeigt einen Fund von 36 Wippen aus den Grabbeigaben der Hatschepsut.²⁸⁵ Croon hat sich

²⁷¹ Lehner, Geheimnis, S.208ff.

²⁷² Lattermann, Pyramidenbau, S.20ff.

²⁷³ Borchardt, Pyramide, S.25–31.

²⁷⁴ Mendelsohn, Rätsel, S.178.

²⁷⁵ Arnold, Building, S.64.

²⁷⁶ Seiner Berechnung nach müssten bei einer Rampenneigung von 20°, 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 Einsatz vieler Menschen erfordert.

²⁷⁷ Lattermann, Pyramidenbau, S.24.

²⁷⁸ Fernau, Statuentransport.

²⁷⁹ Illig, Cheopspyramide, S.72.

²⁸⁰ Abitz, Pyramidenbau.

²⁸¹ Munt, Cheopspyramide.

²⁸² Lauer, Geheimnis, S.251.

²⁸³ Goyon, Cheopspyramide, S.44–45.

²⁸⁴ Arnold, Building, S.271.

²⁸⁵ Arnold, Building, S.288–289.

ausgiebig mit dieser Art von Hebeeinrichtung befasst und schließt aufgrund detaillierter Berechnungen den Kippschlitten insbesondere wegen seiner geringen Transportkapazität aus.²⁸⁶

- Zu dem Vorschlag von Parry sowie neuerdings von Winkler,²⁸⁷ mittels zwei bzw. vier dieser (wesentlich vergrößerten) Wippen eine Art Rad zu bilden und damit Steine zu transportieren, wird in Kapitel 7 eine Aussage getroffen.



Abb. 4.3.3.4 Statuentransport mit Ochsespann; Grab des Hetepherachtis, 5. Dynastie²⁸⁸

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 Hetepherachtis hervorgeht (Abb. 4.3.3.4). Rindergespanne wurden zum Transport von Steinen auf Zubringerrampen geringer Neigung vom Hafen bzw. Steinbruch zur Baustelle an der Pyramide²⁸⁹ und menschliche Arbeitskraft an der Pyramide selbst eingesetzt.

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

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.²⁹⁰ 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

²⁸⁶ Croon, Lastentransport, S.48.

²⁸⁷ Winkler, Pyramidenbau.

²⁸⁸ Klebs, Reliefs I, S.40, Abb.26.

²⁸⁹ 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.

²⁹⁰ Quibell, Teti, inneres farbiges Deckblatt.

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:²⁹¹ 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 (22 Finger) auf eine Elle Höhe.²⁹² 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 52° 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.

Weiterhin wurden nach Verlegen jeder Steinschicht (Außenmauer des Kernmauerwerks und äußere Verkleidungsschicht) die vier Seiten des Bauwerks vermessen. Haben diese gleiche Abmessungen und stimmen der Fluchtwinkel der vier Eckkanten überein, treffen sich beim Abschluss der Bauarbeiten die vier Fluchtlinien exakt in einem Punkt und das Pyramidion „passt“. Die Zuverlässigkeit der Messungen war für den erfolgreichen Abschluss des über viele Jahre dauernden Bauvorhabens von entscheidender Bedeutung.

Im Alten Ägypten wurden die Baumaße stets in Ellen, Handbreit und Finger angegeben. Davon abweichende Maße von Bauten sind nicht bekannt. Wie Winkler anhand der Pyramiden spitzen Pyramidion) der Roten Pyramide und der von Amenemhet III. in Hawara zeigt,²⁹³ stehen die Werte der Basislänge des Pyramidion in einem glatten Verhältnis zur Basislänge der Pyramide selbst, Die Maße des Pyramidion werden in ganzzahligen Handbreiten oder Fingern ausgedrückt:

Rote Pyramide:	21 Handbreit zu 420 Ellen und damit	1 H Pyramidion zu 20 E Pyramide
bzw.	3 Ellen zu 420 Ellen und damit	1 E Pyramidion zu 140 E Pyramide
Amenemhet III:	25 Handbreit zu 200 Ellen und damit	1 H Pyramidion zu 8 E Pyramide
pP Rhind (aus dem Papyrus heraus gemessen)		1 H Pyramidion zu 1 E Pyramide
Südpyramide ²⁹⁴	3 Ellen zu 150 Ellen und damit	1 E Pyramidion zu 50 E Pyramide

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.²⁹⁵ Nun kann eine weitere Person in

²⁹¹ Borchardt, Längen, S.7ff.

²⁹² Stadelmann, Pyramiden, S.108.

²⁹³ Winkler, Pyramidenbau, S.16ff.

²⁹⁴ Südwestlich der Chendjer-Pyramide in Saqqara Süd gelegener Unterbau einer unfertigen Pyramide; Jéquier, Deux Pyramides, S.58ff.; Lehner, Geheimnis, S.187..

²⁹⁵ Bassermann-Jordan, Zeitmessung, Tafel 16.

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.²⁹⁶

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.²⁹⁷ Der Berliner Ägyptologe Rolf Krauss, der sich intensiv mit astronomischen 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.²⁹⁸ 1981 entwickelte Josef Dorner eine andere Methode zur exakten Bestimmung der Nordrichtung, die von der Beobachtung der Zirkumpolarsterne ausgeht.²⁹⁹ 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.³⁰⁰ 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 –³⁰¹ betrug das Maß für die Elle zwischen 52,3 und 52,5 m³⁰² und differierte von Pyramide zu Pyramide.³⁰³

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 $\pm 0,005$ cm)³⁰⁴, benutzt, von dem Petrie eines fand (Abb. 4.4.1).³⁰⁵ 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.³⁰⁶ Wenn man diese Messmethode in verschiede-

²⁹⁶ Bassermann–Jordan, *Zeitmessung*, S.53ff.

²⁹⁷ Edwards, *Pyramiden*, S.179.

²⁹⁸ Quelle nach Haase, *Vermächtnis*, S.61ff: Krauss, *Die Orientierung der Pyramiden*, Vortrag am 15.11.1996 im Planetarium Mannheim.

²⁹⁹ Dorner, *Orientierung*.

³⁰⁰ Dorner, *Genauigkeit*, S.51

³⁰¹ Dorner, *Genauigkeit*, S.55.

³⁰² Arnold, *Baukunst*, S.74.

³⁰³ Dorner, *Genauigkeit*, S.55.

³⁰⁴ Stocks, *Handwerker*

³⁰⁵ Petrie, *Kahun*, Tafel IX.

³⁰⁶ Stocks, *Handwerker*, S.6.

nen Richtungen immer wieder über die gesamte Blockfläche anwandte, konnte eine völlig ebene Oberfläche erreicht werden.³⁰⁷

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.³⁰⁸ 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.³⁰⁹

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

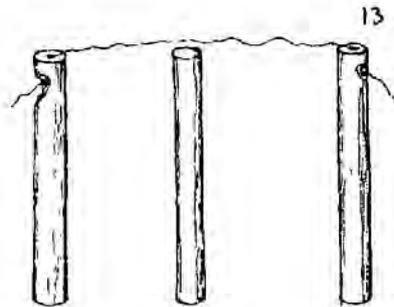


Abb. 4.4.1 Messinstrument für glatte Flächen

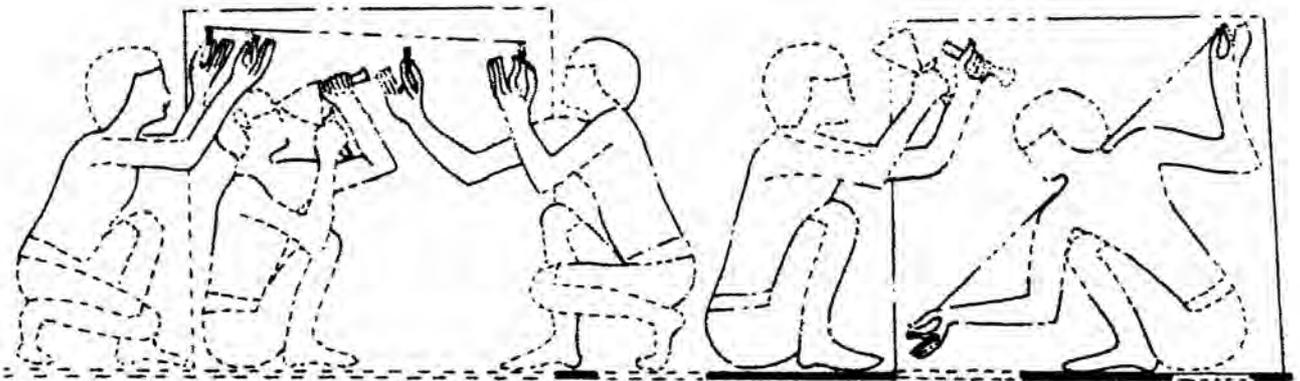


Abb. 4.4.2 Glätten von Steinflächen; Darstellung aus dem Grab des Rehmire³¹⁰

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.³¹¹

Aus Meidum stammende Gewichte für die Lotschnur hat Petrie veröffentlicht.³¹² Sie werden in die 3. Dynastie datiert.

³⁰⁷ Stocks, Werkzeugkonstrukteure, S.79

³⁰⁸ Stocks, Great Pyramid, S.575.

³⁰⁹ Stocks, Handwerker, S.6.

³¹⁰ Davies, Rehmire, pl. LXII.

³¹¹ Stocks, Handwerker.

³¹² Petrie, Tools, S.42 und Tafel XLVII, Nr. B 64 und 65.

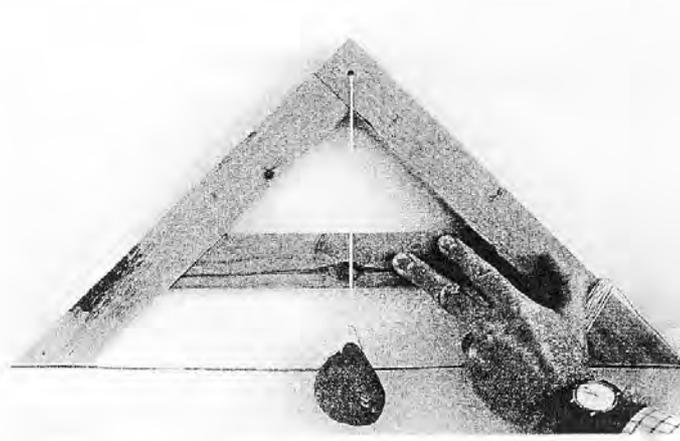


Abb. 4.4.3 Setzwaage, nachgebaut von Stocks

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).³¹³ 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 Beispiele sind u.a. bei Arnold zu finden.³¹⁴

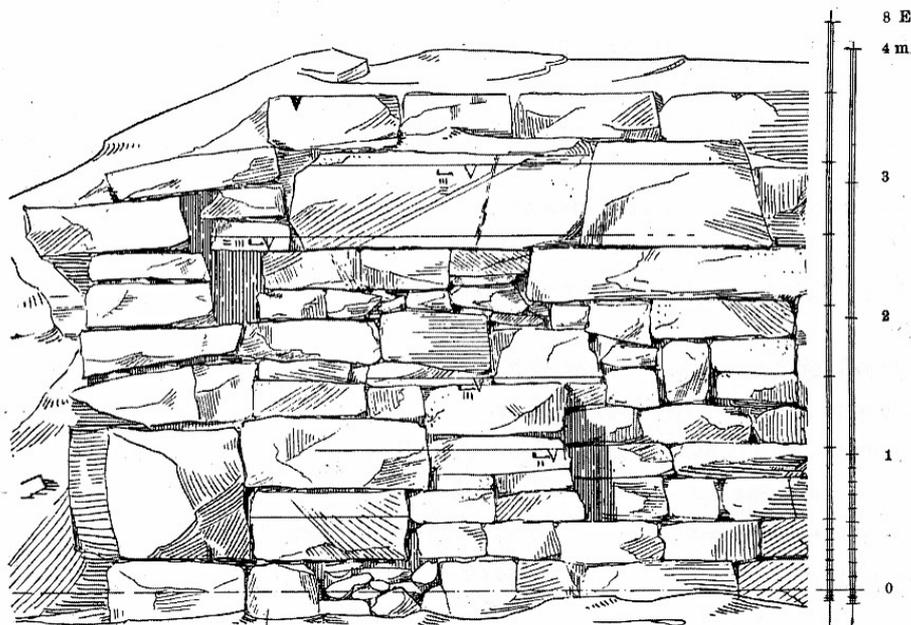


Abb. 4.4.4 Nivellierlinien auf dem Kernmauerwerk an der Ostseite der SO-Ecke der Pyramide des Niuserre

³¹³ Borchardt, Niuserre, S.154.

³¹⁴ Arnold, Building, S.16ff.

Eine andere Art, Nivellierangaben vorzugeben, haben Maragioglio und Rinaldi an der nördlichen Königinnenpyramide (G I a) der Cheopspyramide gefunden (Abb. 4.4.5).³¹⁵

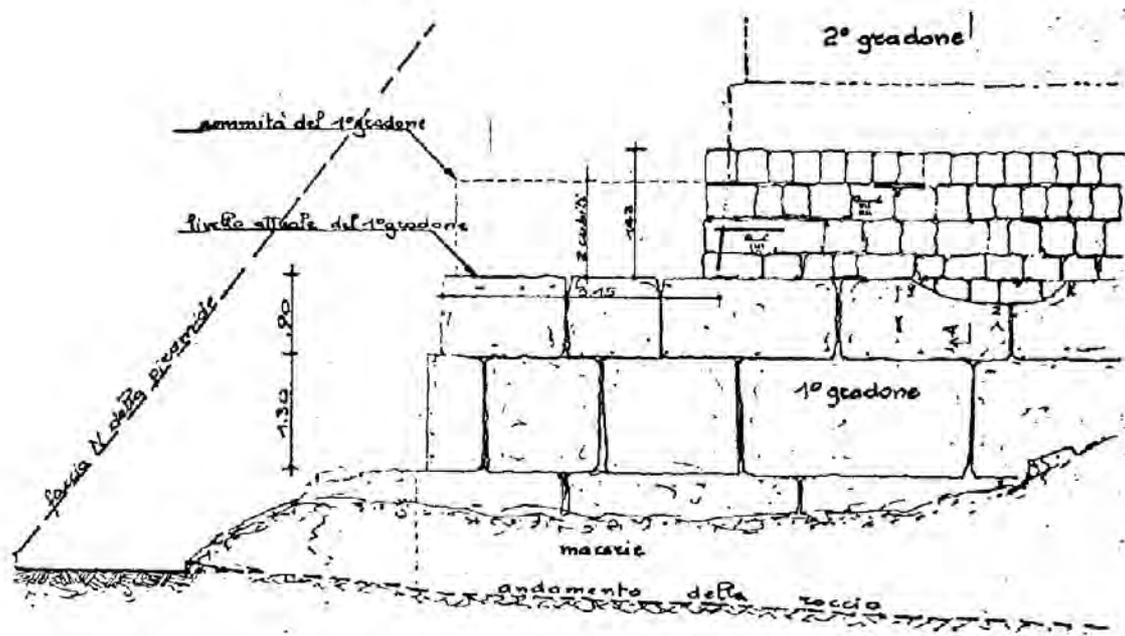


Abb. 4.4.5 Nivellierangaben an der nördlichen Königinnenpyramide (G I a) des Cheops

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.³¹⁶ Jánosi macht dagegen Bedenken geltend.³¹⁷ 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 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.

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.

³¹⁵ Maragioglio, IV, Addenda, TAV.12, Fig.10–11; Jánosi, Königinnen, S.80, Abb.28.

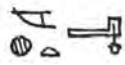
³¹⁶ Maragioglio, IV, S.178.

³¹⁷ Jánosi, Königinnen, S.80–81.

Einen interessanten Beitrag zum Einmessen von Grabkammern, die in Ost-West-Richtung angeordnet sind³¹⁸, veröffentlichte Becker.³¹⁹ Mit Ausnahme der Roten Pyramide konnte aufgrund der schwierigen Geländebeziehungen 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 26° 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 Grabkammerzüge ist der nördliche Grabkorridor der Knickpyramide. Er weicht nur eine Bogenminute von der Nordrichtung ab.³²⁰

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.³²¹

Für die exakte Vermessung vorgegebener Rücksprünge schlägt Winkler einen anderen Einsatz des „Merchet“ genannten Messgerätes vor als Stadelmann und Goyon, die es für astronomische Beobachtungen verwendet wissen wollen.³²² Er verweist in diesem Zusammenhang auf die Hieroglyphe zum Wort *mrh.t*:



Die Bezeichnung „astronomisches Gerät“, die Ermann und Grapow im Ägyptischen Handwörterbuch dafür verwenden, sei irreführend.³²³ Die Hieroglyphe stelle vielmehr ein Gerät zum Vermessen von Rücksprüngen dar:

Das Gerät besteht aus einer Holzleiste mit einem angeleimten Holzklötzchen an einem Ende, in dessen Mittelbohrung eine Schnur mit herunterhängendem Lot angebracht ist. Winkler schlägt nun vor, dieses Gerät als „Seket“-Meter anzusehen (Abb.4.4.6 mit einem Rücksprung von 3 H auf eine E bzw. Dem Verhältnis 3 zu 7). Eine auf der waagerechten Leiste angebrachte Setzwaage ermöglicht dann die exakte Vermessung eines Rücksprungs.

³¹⁸ Es sind dies die Pyramiden von Cheops, Djedefre, Chephren, Nebka (?) und Mykerinos sowie die Mastaba der Chentkaus.

³¹⁹ Becker, Pyramidenkorridore.

³²⁰ Dorner, Knickpyramide, S.54.

³²¹ Pitlik, Baustelle, S.8.

³²² Winkler, Pyramidenbau, S.37ff.

³²³ Ermann, Wörterbuch, S.68

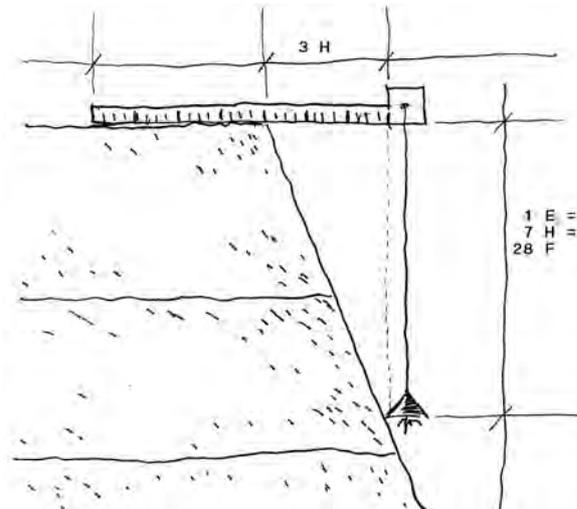


Abb. 4.4.6 Seket Meter nach Winkler

4.5 Mathematische Kenntnisse

Bereits im ausgehenden vierten Jahrtausend v. Chr. besaßen die Ägypter mathematische Kenntnisse und Methoden zur Bewältigung tagtäglicher Anforderungen, welche die quantitativen Verhältnisse und räumlichen Beziehungen in der objektiven Realität betrafen.³²⁴ So sind zugleich mit den ersten Belegen für die Benutzung der Hieroglyphenschrift auch die ersten Zahlenzeichen nachweisbar, die das ägyptische Zahlensystem als voll ausgebildetes Dezimalsystem³²⁵ – allerdings ohne eine Positionswertbeschreibung und ohne den Wert 0 – kennzeichnen.³²⁶ Nach der Reichseinigung wurden etwa bis zur dritten Dynastie aufgrund der Anforderungen seitens der Staatsverwaltung die für die ägyptische Mathematik erforderlichen Entdeckungen gemacht und die entsprechenden Rechenverfahren bildeten sich heraus. Später erfolgten nur noch Verfeinerungen.

Die ägyptische Geometrie orientiert sich stets an der Praxis. Die mathematischen Kenntnisse beruhten ausschließlich auf Erfahrungswerten. 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.³²⁷ Die Entwicklung der Geometrie war eng mit den Bedürfnissen der Praxis verknüpft und an den Erfordernissen der Feldeinteilung und -vermessung, der Architektur und des Bauwesens sowie an der Messung von Rauminhalten orientiert.

Das ägyptische Zahlensystem mit der Basis 10 erleichterte zwar das Rechnen, aber das Fehlen des Positionssystems führte zu einer schwerfälligen Rechentechnik – insbesondere mit Brüchen. Es wurde mit Brüchen mit dem Zähler 1, wie z.B. $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, die auch zusammengesetzt werden konnten ($\frac{1}{4} + \frac{1}{2} = \frac{3}{4}$), aber auch mit einzelnen weiteren Brüchen wie $\frac{3}{4}$, d.h. $1 - \frac{1}{4}$ gerechnet. Es konnten also viele Teilungsmöglichkeiten verwendet werden, um auch kleine Winkelunterschiede zu realisieren. Die mit der damaligen Rechentechnik gefundenen Lösun-

³²⁴ Helck, W. und Otto, E., Lexikon der Ägyptologie, Wiesbaden 1975 – 1986, Band III, S.1237ff.

³²⁵ ebenda, Band II, S.1072ff. ; Reineke, W.F., Gedanken zum vermutlichen Alter der mathematischen Kenntnisse im alten Ägypten, in: Zeitschrift für Ägyptische Sprache und Altertumskunde (ZÄS) Band 105, 1978, S.70.

³²⁶ Reineke, W.F., Gedanken zum vermutlichen Alter der mathematischen Kenntnisse im alten Ägypten, in: Zeitschrift für Ägyptische Sprache und Altertumskunde (ZÄS) Band 105, 1978, S.70 und 74.

³²⁷ Morenz, S. Die Begegnung Europas mit Ägypten, Berlin 1968, S.74ff.

gen sind bewundernswert. Obwohl der Wissenschaft über die ägyptische Geometrie nur wenig Quellenmaterial zur Verfügung steht, schneidet diese im Vergleich zur mesopotamischen Geometrie besser ab, als dies bei der Arithmetik der Fall ist.

Im Gegensatz zu Funden derselben Zeitepoche aus Mesopotamien sind aus Ägypten aus dem Alten Reich nur wenige mathematische Berechnungen belegt. So ist in einer Grabinschrift (Grab des Metjen in Saqqara)³²⁸ aus dem Übergang von der Dritten zur Vierten Dynastie die Berechnung der Fläche eines Rechtecks überliefert.³²⁹

Erst aus der Zeit der zweiten Hälfte des Mittleren Reiches sind aus verschiedenen Papyri – insbesondere aus dem pRhind – umfangreiche mathematische und geometrische Aufgabenstellungen und deren Lösungen wie Flächenberechnung eines Dreiecks, eines Trapezes und des Kreises bekannt, die größtenteils praxisorientiert waren. Flächeninhalte von Feldern wurden spätestens seit dem Mittleren Reich nach einer Formel berechnet, die nur bei Annahme einer Rechtwinklichkeit stimmt (pKahun, 12. Dynastie).³³⁰ Auch Volumenberechnungen konnten durchgeführt werden. Am bekanntesten aus dem pRhind sind wohl die Aufgaben 56 und 57,³³¹ welche die Berechnung des Rücksprungs einer Pyramide³³² bzw. die Berechnung der Höhe einer Pyramide³³³ zum Inhalt haben.

Zu der oft behandelten Frage, ob der Lehrsatz des Pythagoras bereits im alten bzw. Mittleren Reich bekannt war und angewandt wurde, ist anzumerken, dass es keinen eindeutigen Beweis dafür gibt. Der pKahun enthält eine Tabelle, die aus vier Quadratzahlen besteht, die jeweils als Summe zweier anderer Quadratzahlen dargestellt sind, und deren erste lautet:

$$6^2 + 8^2 = 10^2 \quad (36 + 64 = 100)$$

Der für die Feldvermessung benutzte Strick, der durch Markierungen (Knoten ?) in Maßeinheiten unterteilt war, hatte wahrscheinlich eine Länge von 100 Ellen.³³⁴ Mittels mehrerer Messstricke war so die Konstruktion rechtwinkliger Dreiecke möglich.

Nachdem die Funde der Papyri aus dem späten Mittleren Reich Rechenaufgaben beinhalten, die auch Aufgabenstellungen des Alten Reiches betreffen, und sehr viel an Unterlagen in der ersten Zwischenzeit verloren ging, ist davon auszugehen, dass die genannten mathematischen und geometrischen Kenntnisse schon im AR bekannt waren. Die regelmäßig wiederkehrenden Überschwemmungen des Fruchtlandes im Niltal erforderten ausgedehnte Landvermessungen und großartige Wasserbauten. Dazu sind mathematische Kenntnisse unerlässlich, auch wenn uns heute darüber keine urkundlichen Nachweise vorliegen.

Die ägyptische Mathematik und Rechentechnik haben offensichtlich einen beachtlichen Einfluss auf die Herausbildung einer mathematischen Wissenschaft in der griechischen Welt ausgeübt. Sie wurden von den griechischen Historikern hoch gerühmt und als Quelle ihrer

³²⁸ Helck, W. und Otto, E., Lexikon der Ägyptologie, Band IV, S.118ff.

³²⁹ Pichot, A., Die Geburt der Wissenschaft, Frankfurt 1995, S.173.

³³⁰ ebenda, S.197.

³³¹ ebenda, S.196-197.

³³² Abmessungen 360 Ellen (E) Basisseite und 250 E Höhe (Ergebnis ist $5 \frac{1}{25}$ Handbreiten bei 7 Handbreiten gleich einer E).

³³³ 140 E Basisbreite und einem Rücksprung von 5 Handbreiten und 1 Finger (eine Handbreit entspricht vier Fingerbreiten) (Ergebnis $93 \frac{1}{3}$ E).

³³⁴ LÄ, Band IV, S.115.

eigenen Kenntnisse betrachtet.³³⁵ Bereits Herodot berichtete im fünften Jahrhundert v. Chr., dass die Griechen die Geometrie von den Ägyptern und die Astronomie von den Babyloniern erlernten.³³⁶

Platon, griechischer Philosoph im vierten Jahrhundert v. Chr., befasste sich eingehend mit dem Zusammenhang zwischen Mathematik und Musiktheorie, den er δεσμός – das Band – nannte. In seinen „Nomoi“³³⁷ führte er dazu aus, dass die drei Wissensgebiete Arithmetik, Geometrie und Musiktheorie miteinander als eine Einheit verbunden seien.³³⁸ Platon hielt sich einige Monate zu Studien in Heliopolis auf und sprach von den mathematischen Kenntnissen im damaligen Ägypten voller Hochachtung.

Der Goldene Schnitt³³⁹ stellt eine für die menschliche Wahrnehmung sehr angenehme und wohltuende Proportion dar. Streckenverhältnisse im Goldenen Schnitt werden in der Kunst und Architektur oft als ideale Proportion und als Inbegriff von Ästhetik und Harmonie angesehen. Darüber hinaus tritt das Verhältnis auch in der Natur in Erscheinung und zeichnet sich durch eine Reihe interessanter mathematischer Eigenschaften aus.³⁴⁰

Wie Reinecke feststellt, ermöglichte das im Alten Reich bekannte Knotenseil die Konstruktion rechter Winkel und das Vermessen des Goldenen Schnitts.³⁴¹ Dass im Alten Ägypten derartige Zahlenverhältnisse bekannt waren und bewusst für die Konstruktion der Bauwerke eingesetzt wurden, darf als gesichert gelten.

Kleppisch erwähnt in diesem Zusammenhang, dass bereits im alten Indien der pythagoreische Lehrsatz lange vor Pythagoras bekannt war.³⁴² Wie an anderer Stelle erwähnt, wurde auch im Alten Ägypten mit rechtwinkligen Dreiecken gerechnet. In einer Betrachtung weist Kleppisch darauf hin, dass die Gesamtoberfläche der Cheopspyramide nach dem Goldenen Schnitt derart geteilt erscheint, dass sich die Grundfläche zur Mantelfläche wie die Mantelfläche zur Gesamtoberfläche (3:4:5) verhält.³⁴³

Dörnenburg zeigt auf, dass bei verschiedenen Pyramiden im AR³⁴⁴ mit einem Rücksprung von 21 Fingern auf eine Elle Höhe (28 Finger) – also einem Seket von $5\frac{1}{4}$ – der Satz des Pythagoras aufscheint: Die Basis des Rücksprungs beträgt 3, die Höhe 4. Nachdem es sich um einen rechten Winkel handelt, hat die Außenfläche nach dem Satz des Pythagoras den Wert 5 ($3^2 + 4^2 = 5^2$). Zufall oder Absicht? Warum wurde dann bei anderen Pyramiden (z.B. Meidum, Cheops) ein Seket von $5\frac{1}{2}$ gewählt?

Fest steht jedoch, dass die für das menschliche Auge angenehmsten Neigungswinkel von Pyramiden zwischen 23 F zu einer E und 19 F zu einer E liegen.³⁴⁵

³³⁵ Reinecke, W.F., Gedanken zum vermutlichen Alter der mathematischen Kenntnisse im alten Ägypten, in: Zeitschrift für Ägyptische Sprache und Altertumskunde (ZÄS) Band 105, 1978, S.67.

³³⁶ Horneffer, Herodot, II, Ziff. 109; Kleppisch, Willkür, S.3.

³³⁷ <http://www.textlog.de/platon-nomoi-gesetze.html>.

³³⁸ ebenda, Bd. VII, Kapitel 27.

³³⁹ Zwei Strecken stehen im Verhältnis des Goldenen Schnitts, wenn sich die größere zur kleineren Strecke verhält wie die Summe aus beiden zur größeren. Der Wert beträgt etwas 1,618.

³⁴⁰ Wikipedia, Goldener Schnitt.

³⁴¹ Reinecke, Mathematik.

³⁴² Kleppisch, Willkür.

³⁴³ ebenda, S.8.

³⁴⁴ Pyramiden des Chephren, Usekaf, Djedkare, Teti, Pepi I. und Pepi II.

³⁴⁵ Dörnenburg, Pyramidengeheimnisse, S.84.

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.

Entsprechend dem altägyptischen Maßsystem (Elle, Handbreite und Finger) werden die Abmessungen der beschriebenen Pyramiden in Ellen und Metern angegeben.

5.1.1 Schichtpyramiden

5.1.1.1 Die Pyramide des Djoser

Saqqara Nord

Höhe: 114 E zuzüglich 5 E für den gerundeten Abschluss/62,5 m³⁴⁶

Länge der Basis: 208 auf 231 E/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.³⁴⁷ 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.³⁴⁸ Die für den Bau benötigten Gesteine – auch die für die Außenverkleidung³⁴⁹ – 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 Giza 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,³⁵⁰ kann der geologische Befund entgegengehalten werden, wonach die Steinbrüche in unmittelbarer Umgebung der Pyramide des Djoser meist nur Steinlagen geringer Dicke enthielten.³⁵¹ Ähnliches gilt für das Argument, dass auf-

³⁴⁶ Alle Höhen- und Längenangaben beziehen sich auf die ursprünglichen Pyramidenabmessungen und fußen – soweit nicht anders angegeben – auf Stadelmann, Pyramiden, Lehner, Geheimnis bzw. Winkler, Pyramidenbau, S.95.

³⁴⁷ 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.

³⁴⁸ Steine wurden auch bei Ziegelbauten an Stellen, an denen es auf besondere Tragfähigkeit ankam (Bodenpflaster, Türefassungen, Fallsteinsysteme) bereits in der 1. und 2. Dynastie verwendet. Lauer, Geheimnis, S.239.

³⁴⁹ Klemm und Klemm, Steine, S.72; im Gegensatz zu Stadelmann, Pyramiden, S.41 und S.52.

³⁵⁰ Stadelmann, Pyramiden, S.40; Verner, Pyramiden, S.138; Dereser, Djoser.

³⁵¹ Klemm und Klemm, Steine S.72.

grund der noch geringen bautechnischen Erfahrung mit der neuen Steinbauweise nur kleine Steine verwendet worden sind. Der Pyramidenbezirk des Djoser wurde in direkter Nähe und unter Berücksichtigung der Oberbauten der Königsgräber der 2. Dynastie mitten auf dem Felsrücken von Saqqara Nord errichtet.³⁵²

Die Pyramide des Djoser entstand in mehreren Bauabschnitten:³⁵³ Zuerst wurde eine Mastaba mit einem quadratischen Querschnitt (M 1) mit der Basislänge 120 Ellen³⁵⁴ 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 waagrecht abwechselnd als Läufer und Binder verlegten Steinschichten mit nach innen geböschter Außenmauer errichtet.³⁵⁵ 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.³⁵⁶ 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 waagrecht 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. 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).³⁵⁷ 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.³⁵⁸ Danach hat es offensichtlich keine Pyramidenspitze gegeben.

³⁵² Stadelmann, Pyramide und Sonnenheiligtum.

³⁵³ Verner, Pyramiden, S.138; Lauer, Pyramiden, Pl.10.

³⁵⁴ Lauer, Geheimnis, S.69.

³⁵⁵ Mendelsohn, Rätsel, S.121.

³⁵⁶ Altenmüller, Bauphase; Verner, Pyramiden; Stadelmann, Pyramiden. Vielleicht hängt die zweite Erweiterung auch mit der Forderung nach einer Sichtverbindung über die Umfassungsmauer hinweg ins Fruchmland zusammen.

³⁵⁷ Lauer, Pyramide à Degrés.

³⁵⁸ Stadelmann, Pyramiden, S.54 und Zeichnung S.45.

Die Neigung der einzelnen Schichten beträgt nach Stadelmann 72°,³⁵⁹ nach Goneim 74°;³⁶⁰ die Schichtdicke jeweils 5 Ellen.³⁶¹ Diese Bauweise prägt den Begriff „Schichtpyramide“. Die 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.³⁶² Goneim nennt insgesamt 12 Schichten und zählt dabei vermutlich die äußerste Verkleidungsschicht mit.³⁶³

Lauer vertritt die Auffassung, dass die Verkleidungsschichten der Baustufen P 1 und P 2 jeweils erst nach Fertigstellung der Schichten bzw. Stufen angelegt wurden.³⁶⁴ Der „Rohbau“ der Pyramide P 1 sei daher vorher vollständig errichtet worden. Die ägyptische Bauforschung sei dieser Auffassung bisher – so Stadelmann – einheitlich gefolgt.³⁶⁵ Stadelmann stellt allerdings aufgrund seiner Ausgrabungen und Bauuntersuchungen an der Roten Pyramide in Dahschur³⁶⁶ 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.³⁶⁷ 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“...³⁶⁸



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

³⁵⁹ Stadelmann, Pyramiden, S.51.

³⁶⁰ Goneim, Pyramide, S.65.

³⁶¹ Mendelsohn, Rätsel, S.120.

³⁶² Lauer, Pyramiden Pl. 10 und 11.

³⁶³ Goneim, Pyramide, S.65.

³⁶⁴ Lauer, Geheimnis, S.17.

³⁶⁵ Stadelmann, Pyramiden, S.53.

³⁶⁶ Stadelmann, MDAIK 39, S.234.

³⁶⁷ 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.

³⁶⁸ 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).³⁶⁹ 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

Geplante Höhe: ca. 70 m

Länge der Basis: 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 wurde³⁷⁰ und deren Stumpf in späteren Zeiten offensichtlich als Steinbruch diente, fand Goneim 1952.³⁷¹ Die Basislänge der quadratischen Grundfläche beträgt 230 Ellen bzw. 120 m.³⁷² 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 m (5 Ellen) und 3 m an, die mit einem Neigungswinkel zwischen 71 und 75° 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.³⁷³ 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.³⁷⁴ Dabei fanden sie lediglich zwei Schichten vor und trafen keinerlei Aussagen zu dem eigentlichen Pyramidenkern.³⁷⁵ 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

³⁶⁹ Dieser Kalkstein hat nach Klemm und Klemm, Stones, eine wesentlich höhere Beständigkeit gegen Verwitterung als das Material der Stufen der Pyramide des Djoser.

³⁷⁰ Maragioglio, II, S.20.

³⁷¹ Goneim, Pyramide.

³⁷² Goneim, Pyramide, S.64.

³⁷³ Lauer, Pyramiden Pl.26.

³⁷⁴ Maragioglio, II und II, Addenda.

³⁷⁵ Maragioglio, II, Addenda, Pl.4, Maragioglio, II, S.20.

Steinverlegung (waagrecht 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.³⁷⁶

5.1.1.3 Die Pyramide des Chaba

Saujet el-Arjan

Geplante Höhe: ?

Länge der Basis: 150 E/ca. 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 unvollendete³⁷⁷ Pyramide mehrfach, im vergangenen Jahrhundert u.a. durch Reisner³⁷⁸ sowie durch Maragioglio und Rinaldi,³⁷⁹ ausführlich untersucht.

Reisner berichtet von einem quadratischen Kern von 11 m Kantenlänge und von 14 ihn umgebenden, nach innen mit einem Winkel von 68° 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.³⁸⁰ 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:³⁸¹ 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.³⁸² 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.³⁸³

Lauer nennt ebenfalls wie Reisner 14 Schichten.³⁸⁴ 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 archäologischen 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.

³⁷⁶ Maragioglio, II, S.31ff. und Addenda, TAV.3.

³⁷⁷ Maragioglio, II, S.47ff.

³⁷⁸ Reisner, Chaba.

³⁷⁹ Maragioglio, II, S.41ff.

³⁸⁰ Klemm und Klemm, Stones.

³⁸¹ Maragioglio, II, S. 43ff. und Addenda, TAV.6.

³⁸² Lehner, Geheimnis, S.95; Maragioglio, II, Addenda, TAV.6.

³⁸³ Maragioglio, II, S.48, Nr.5.

³⁸⁴ 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)³⁸⁵ 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.³⁸⁶

Die sieben kleinen Pyramiden sind alle nach dem Prinzip der Schichtpyramiden (Djoser, Schemchet, 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.³⁸⁷ 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.³⁸⁸

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.³⁸⁹ 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 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 zugeordnet³⁹⁰, deren Bau zeitgleich mit den beiden ersten Bauphasen (E 1 und E 2) der Pyramide in Meidum anzusetzen ist.³⁹¹

³⁸⁵ 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.

³⁸⁶ Dreyer 1.

³⁸⁷ 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).

³⁸⁸ Stadelmann, Pyramiden, Tafel 21b; Bock, Stufenpyramiden; Maragioglio, II, Addenda, Tav.9; Verner, Pyramiden, S.198; Dreyer 2, Abb.1.

³⁸⁹ Gundacker, Snofru, S.19.

³⁹⁰ 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.

³⁹¹ Gundacker, Snofru, S.13.

5.1.1.5.1 Meidum

Höhe: 175 E/ca. 92 m

Länge der Basis: 275 E/144,32 m

Rücksprung/Neigungswinkel: 22 Finger auf eine Elle/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,³⁹² Baustufen E 1 und E 2³⁹³) auf Felsgrund³⁹⁴ gebaut. Sie erhielt erst später in einem weiteren Bauabschnitt eine Verkleidung (Schicht E 3) mit einem gleich bleibenden Neigungswinkel von 51°50'34" (Seked 5½ bzw. 22 Finger auf eine Elle)³⁹⁵ und einer Außenverkleidung aus Mokattam-Kalkstein.³⁹⁶ Diese Verkleidungsschicht, in der die Steine waagrecht verlegt wurden und deren Fundamente durch in Sand übereinander gelegte Kalksteinplatten gebildet wurden,³⁹⁷ reichte nach Berichten aus griechischer Zeit noch bis zur Höhe des heutigen Pyramidenstumpfes.³⁹⁸

In der zweiten Baustufe (E 1) bestand die Schichtpyramide aus einem Kernbau (überbaute Mastaba oder Kern aus grob behauenen Steinen)³⁹⁹ 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 (siehe Abb. 5.1.5.1 – NO Ecke der Pyramide) aus einem (bezüglich seiner Lage bisher nicht identifizierten) Steinbruch in Gisa.⁴⁰⁰ Die Länge der Basis betrug 210 Ellen.⁴⁰¹

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 vermutet⁴⁰² – bereits während des 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.⁴⁰³

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.

³⁹² 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.

³⁹³ Maragioglio, III, Addenda, Tav.2, Fig.2.

³⁹⁴ Lehner, Geheimnis, S.98.

³⁹⁵ Seked 5½ bedeutet einen Rücksprung von 5½ Handbreiten oder 22 Finger auf eine Elle Höhe.

³⁹⁶ 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).

³⁹⁷ Mendelssohn, Rätsel, S.124.

³⁹⁸ Maragioglio, III, und Addenda, TAV.2, Fig.6.

³⁹⁹ Maragioglio, III, S.36ff..

⁴⁰⁰ Klemm und Klemm, Steine S.72; Klemm und Klemm, Stones, Fig.43.

⁴⁰¹ Maragioglio, III, Addenda, TAV.2, Fig.3.

⁴⁰² Stadelmann, Pyramiden, S.84–85.

⁴⁰³ Foto von M. Haase in Sokar 11, 2/2005, S.12.



Abb. 5.1.1.5.1 Außenverkleidung der Schicht E 2 an der NO Ecke

Die Frage, wann mit der Verkleidung der Schichtpyramide E 2 und damit dem Umbau zur äußeren Form einer „klassischen“ Pyramide mit einem Neigungswinkel von 22 Finger auf eine Elle ($51^{\circ}50'34''$)⁴⁰⁴ begonnen wurde, wird kontrovers diskutiert:

- Wie Gundacker ausführt⁴⁰⁵, 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.⁴⁰⁶
- Stadelmann dagegen vertritt die Auffassung,⁴⁰⁷ 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.⁴⁰⁸ Diese Auffassung Stadelmanns dürfte zutreffen, da Petrie von Verkleidungssteinen mit späteren Jahresangaben berichtet als Gundacker annimmt.

Die Hypothese von Mendelsohn,⁴⁰⁹ wonach die Pyramide von Meidum ihre heutige äußere Gestalt durch eine Baukatastrophe erhalten habe, wurde verschiedentlich – so eingehend von Lauer – widerlegt.⁴¹⁰ Obadalek begründet seine ablehnende Auffassung mit dem unbeschä-

⁴⁰⁴ Maragioglio, III, Addenda, TAV.2 Fig. 2.

⁴⁰⁵ Gundacker, Snofru, S.13.

⁴⁰⁶ Petrie, Meidum, S.9.

⁴⁰⁷ Stadelmann, Pyramiden, S.86.

⁴⁰⁸ Stadelmann, Pyramiden, S.95.

⁴⁰⁹ Mendelsohn, Rätsel.

⁴¹⁰ Lauer, J.-P., CdE 51, 1976, S.72–89; Edwards, I.E.S., JAE 60, 1974, S.251–52; Obadalek, Meidum.

digten 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.⁴¹¹ 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.

Winkler führt den Einsturz auf eine zu große Belastung des Untergrunds (Bodenpressung) zurück.⁴¹² Danach sei der innere Kern der Pyramide durch sein hohes Gewicht, welches zu einer Bodenpressung geführt habe, die weit über dem für den dortigen Untergrund zulässigen Wert liege, langsam nach unten abgesunken und habe die Steinschichten des Untergrundes im Außenbereich der Pyramide – insbesondere unter der nachträglich an die geglätteten Außenflächen der Baustufe E 2 angebrachten Verkleidung E 3 – nach oben gedrückt. Diese sich dadurch immer mehr aufgebaute Spannung innerhalb der Pyramide habe dann – vielleicht ausgelöst durch einen Erdstoß – zu einer Zerstörung der Pyramide innerhalb weniger Sekunden geführt. Auch dieser Einsturzhypothese muss entgegengehalten werden, dass es ebenfalls zu einer Verschiebung im Grabkorridor zwischen den Baustufen E 3 und E 2 hätte kommen müssen, was jedoch nicht der Fall ist. Gleiches gilt für die nicht beschädigte Grabkammer und deren Vorräume.

Weiterer Steinraub, Gesteinsverwitterungen und Einstürze führten dann zum heutigen Zustand der Ruine.

Architektonische Neuerungen gegenüber den Schichtpyramiden der 3. Dynastie sind einmal der hoch in der Nordseite symmetrisch zur Mitte hin 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.⁴¹³

5.1.1.5.2 Knickpyramide

Dahschur Süd

Höhe: 200 E/105 m (unterer Teil 49 m, oberer Teil 56 m)⁴¹⁴

Länge der Basis: 360 E/188 m

Neigungswinkel: 55° bzw. 45°

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.⁴¹⁵ Snofru verlegte nach dem 15. Regierungsjahr seine königliche Residenz nach Memphis. Der

⁴¹¹ Maragioglio, III und Addenda, TVA 3, Fig.5.

⁴¹² Winkler, Pyramidenbau, S.69ff.

⁴¹³ Jánosi, Kultpyramiden. S.7; Maragioglio III, S.26 und 46 sowie Obs.25 und Addenda, TAV.7.

⁴¹⁴ Abmessungen nach Maragioglio III, Addenda, TAV.8, Fig.3.

⁴¹⁵ Gundacker, Snofru, S.13.

Bau einer neuen Pyramide in Dahschur dürfte damit in unmittelbarem Zusammenhang stehen.⁴¹⁶ 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 ist sie beschädigt.⁴¹⁷ Die restlichen Flächen sind im ursprünglichen Zustand erhalten. Aufgrund ihrer äußeren Form mit zwei unterschiedlichen Neigungswinkeln⁴¹⁸ 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 der Nähe der Pyramide. Wie generell in Sakkara und Abusir sind im Gegensatz zu Gise keine Spuren größerer Steinbrüche auffindbar, obwohl das Steinmaterial nachweislich in unmittelbarer Nähe abgebaut wurde.⁴¹⁹ Der Grund liegt in der plattenförmigen Struktur des Untergrundes, der aus Sandsteinbänken von 20 – 60 cm mächtigen Kalksteinbänken besteht, die von Mergelschichten getrennt sind. Größere Steinmengen konnten so – ohne Steinbrüche zu erschließen – abgebaut werden. Der feine Kalkstein der Außenverkleidung wurde in Tura-Maasara gebrochen.⁴²⁰

Untersuchungen und Vermessungen durch Dorner ergaben neuere, exakte Maße gegenüber den Angaben von Perring (1837) und Petrie (1887):⁴²¹ 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,⁴²² an denen deutlich Reparaturstellen erkennbar sind.

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.⁴²³ Dieser soll sich nach Fertigstellung – wohl aufgrund unzureichender Fundamente⁴²⁴ – gesenkt haben.⁴²⁵ Die Bruchstellen der Verkleidungen der beiden Grabkorridore weisen unterschiedliche Neigungswinkel zur Horizontalen auf.⁴²⁶ Dorner hat die Vermutung von Maragioglio und Rinaldi durch weitere Berechnungen vertieft⁴²⁷ und geht von einer inneren Pyramide mit Basislänge von 300 Ellen und einer Außenfläche mit gleich bleibender Neigung von 57,3° aus.⁴²⁸ Er verweist in diesem Zusammenhang auf die völlig „ungeraden“ Baumaße der „äußeren“ Pyramide und auf

⁴¹⁶ Stadelmann, Pyramiden, S.87.

⁴¹⁷ Foto bei Lehner, Geheimnis, S.103.

⁴¹⁸ Stadelmann, Pyramiden, S.90–91; Maragioglio, III, Addenda, TAV.9, Fig.1.

⁴¹⁹ Klemm und Klemm, Steine, S.72.

⁴²⁰ Klemm und Klemm, Stones, Fig.56–58.

⁴²¹ Dorner, Knickpyramide.

⁴²² Dorner, Form der Knickpyramide.

⁴²³ Maragioglio, III, S.98ff. und Addenda, TAV.11, Fig.5.

⁴²⁴ 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).

⁴²⁵ 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.

⁴²⁶ Maragioglio, III, Addenda, Tav.10, Fig.1.

⁴²⁷ Dorner, Knickpyramide, S.55ff.

⁴²⁸ Dorner, Knickpyramide, S.56–57.

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 Verkleidungssteine⁴²⁹ in den Zugängen zu den Grabkammern an zwei verschiedenen Seiten der Pyramide zeigen nur, dass es zu einer Setzung des äußeren Steinmantels kam.

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 Mergelton⁴³⁰ (Tafla) dazwischen sehr schnell eine Verstärkung und Sicherung des Bauwerkes erreicht werden. Diese mit einer Innenneigung zwischen 7–12° verlegten Steinlagen⁴³¹ 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 bestimmbar Zeitpunkt verschlossen. Dabei erfolgte die Ausmauerung der oberen Kammer und des Korridors mit massiven Steinquadern. Gleiches geschah mit der unteren Kammer.⁴³²

Der Grund für die genannten Bauschäden liegt nach Winkler⁴³³ in Absenkungen des Untergrundes infolge einer zu hohen Bodenpressung durch das Gewicht der inneren Pyramide und des äußeren Steinmantels für den zu weichen Untergrund und in einer Fundamentgründung nur an den Pyramidenecken. Seit längerem ist bekannt, dass unter einer dünnen Schicht aus gefestigtem Kiesel und Sand sich eine starke, von West nach Ost verlaufende Ablagerung von Tonschiefer befindet.⁴³⁴ Durch die Absenkung des äußeren Steinmantels kommt es nach Winkler in dessen Ecken zu Spannungen, die eines Tages zu deren Beschädigung im unteren Bereich führen: Die Ecken seien regelrecht abgesprengt worden (Abb. 5.1.1.5.2.1). Der Hypothese Winklers zur Entstehung der Bauschäden durch eine zu hohe Bodenpressung ist auch bei der Knickpyramide zu widersprechen: Das Gewicht des Baukörpers war wohl für die Stabilität des Untergrunds generell zu hoch; eine Absenkung nur unter dem Pyramidenkern und

⁴²⁹ Maragioglio, III, Addenda, Tav.8, Fig.3.

⁴³⁰ Arnold, Baukunst, S.167.

⁴³¹ Haase, Pyramidenzeitalter.

⁴³² Fakhry, Snofru, Bd.1, Tafel XX B und Bd.1, S.52ff. sowie Tafeln XI–XIV.

⁴³³ Winkler, Pyramidenbau, S.75ff.

⁴³⁴ Stadelmann, Pyramiden, S.89.

ein Anheben im Außenbereich der Pyramide erscheint daher unwahrscheinlich. Auch eine mögliche Instabilität durch die tiefe Ausschachtung der unteren Grabkammer bzw. durch eingestürzte Hohlräume im Gestein unterhalb der Pyramide werden als möglicher Grund angeführt.⁴³⁵ 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.



Abb. 5.1.1.5.2.1 NO-Ecke der Knickpyramide



Abb. 5.1.1.5.2.2 Nordseite der Knickpyramide

⁴³⁵ Haase, Knickpyramide.

Nachdem das Steinmaterial an den beschädigten Ecken der Pyramide kaum Verwitterungsspuren aufweist, ist eher vom Steinraub als von einem Einsturz nach der Winklerschen Hypothese auszugehen.

Die Eckfundamente haben entsprechend des unterschiedlichen Geländeniveaus verschieden tiefe Gründungen. Der äußere Mantel weist an den Ecken unter der z.T. durch Setzung eingestürzten 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 55° auf 45° 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.⁴³⁶ 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.

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.

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 Ellen⁴³⁷ sehr groß angelegte Pyramide hat mit 44°30' fast denselben Neigungswinkel wie der obere, später errichtete Teil der Knickpyramide.⁴³⁸ Auch die anschließend gebaute Rote Pyramide besitzt mit einem Winkel der Verkleidung von 45° eine ähnliche Neigung. Zum Bau der Kultpyramide wurden ebenfalls Steine kleineren Formats verwendet, die in waagerechten Schichten verlegt wurden.⁴³⁹ 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?⁴⁴⁰ Er vermutet daher, dass mit dem Bau der Nebenpyramide einschließlich absteigendem und aufsteigendem Gang im Inneren mit der Möglichkeit, vier Verschlusssteine unterzubringen, sowie anschließender Korridorweiterung zu einer Galerie und Grabkammer eine neue Baumethode bzw. Anordnung erprobt werden sollte, um die dabei gewonnen bau-

⁴³⁶ Stadelmann, *Pyramiden*, S.94; Bilder Arthus-Bertrand, S.71 sowie Bertinetti, S.112–113.

⁴³⁷ Im Vergleich dazu: Die Pyramide des Unas als kleinste Königspyramide des AR hat eine Basislänge von 110 Ellen.

⁴³⁸ Jánosi, *Kultpyramiden*.

⁴³⁹ Maragioglio, III, *Addenda*, TAV.15, Fig.6.

⁴⁴⁰ Gundacker, *Snofru*, S.16.

technischen 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 verblüffend. 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.⁴⁴¹

5.1.2 Stufenpyramiden

5.1.2.1 Die Rote Pyramide

Dahschur Nord

Höhe: 210 E/110 m⁴⁴²

Länge der Basis: 420 E/220 m

Rücksprung 28 Finger auf eine Elle/Neigungswinkel: 45°⁴⁴³

Die Grundsteinlegung der Roten Pyramide in Dahschur Nord erfolgte im 15. Mal der Zählung.⁴⁴⁴ Sie weist in ihrer äußeren Bauweise unter der geglätteten Kalksteinverkleidung, deren untere Lagen an der Ostseite bei Ausgrabungsarbeiten gefunden wurden,⁴⁴⁵ wie die Nebenpyramide der Knickpyramide eine waagerechte Steinverlegung in Schichten auf.⁴⁴⁶ 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.⁴⁴⁷ Über das Kernmauerwerk und dessen Bauweise (Schichten bzw. Stufen) kann mittels fehlender archäologischer Befunde keine Aussage getroffen werden.⁴⁴⁸ 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.⁴⁴⁹ Das Verkleidungsmauerwerk der Seiten ist zum Mittelpunkt der Pyramide hin etwas zurückgesetzt. Die Schichten der Pyramidenseiten sind konkav ausgeführt. Die Verwendung großformatiger Steine im Vergleich zu den bis dahin gebauten Pyramiden lässt auf einen Erfahrungszuwachs schließen und führt zu einer kürzeren Bauzeit.

Der Neigungswinkel der Seitenflächen der Pyramide beträgt 45°. 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

⁴⁴¹ Ebenda.

⁴⁴² Die Höhe berechnet sich aufgrund der Basislänge und des Neigungswinkels.

⁴⁴³ Trotz des sich rechnerisch aufgrund der Basislänge und Höhe ergebenden Neigungswinkels von 45° nennen Perring 43°36'11" und Petrie 34°20' (Maragioglio, Addenda III, Tav.18, Fig.2); Lauer ermittelte einen Winkel von 43°20' (Maragioglio, Addenda III, Tav.18, Fig.2).

⁴⁴⁴ Gundacker, Snofru, S.16.

⁴⁴⁵ Stadelmann, Pyramiden, S.100.

⁴⁴⁶ Siehe z.B. Haase, Cheops, S.15, Abb.14c.

⁴⁴⁷ 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.

⁴⁴⁸ Maragioglio, III, S.126.

⁴⁴⁹ Die Steinblöcke an den Ecken sind bis etwa $\frac{2}{3}$ 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).

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.⁴⁵⁰ Maragioglio und Rinaldi haben die Pyramide ebenfalls untersucht.⁴⁵¹

Zum Bau der Außenverkleidung, der geglätteten Kalksteinverkleidung, deren Material aus Tura-Maasara stammt,⁴⁵² stellt Stadelmann fest, dass diese aufgrund der Befunde an den untersten Verkleidungsschichten

*„...in einem Zug mit dem Kernmauerwerk⁴⁵³ verbaut und verlegt worden ist“.*⁴⁵⁴

Stadelmann fand bei seinen Ausgrabungsarbeiten an der Roten Pyramide die Bruchstücke eines Pyramidion,⁴⁵⁵ dessen Ecklinien nach einer Rekonstruktion eine leicht unterschiedliche Neigung haben. Die Basislänge beträgt 3 Ellen. Winkler stellt nun einen bemerkenswerten Zusammenhang zwischen Basislänge des Pyramidion und Basislänge der Pyramide:⁴⁵⁶ 3 Ellen entsprechen 21 Handbreit. Somit beträgt das Verhältnis der beiden Basislängen (420 E Basislänge der Pyramide zu 3 E bzw. 21 H Basislänge des Pyramidion)

$$1 \text{ H Pyramidion} = 20 \text{ E Pyramide.}$$

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 leicht in östliche Richtung versetzt hinab⁴⁵⁷. 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,⁴⁵⁸ die wiederum auf eine zu große Bodenpressung zurückzuführen sind.

Aufgrund des erstmals beim Pyramidenbau im AR sichtbar gewordenen Verkleidungsmauerwerks, welches mit seinen waagrecht 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 bautechnischen Schwierigkeiten (Bodenpressung), 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 Stadelmann⁴⁵⁹ die Auffassung, dass die Pyramide bereits nach 2–3 Jahren eine Höhe von 10–12 m erreicht hatte. 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

⁴⁵⁰ Stadelmann, Pyramiden, S.100.

⁴⁵¹ Maragioglio, III, Addenda, Tav.17, Fig.2.

⁴⁵² Klemm und Klemm, Stones.

⁴⁵³ Gemeint sind die horizontal verlegten Steinschichten des Verkleidungsmauerwerkes.

⁴⁵⁴ Stadelmann, MDAIK 39, S.234.

⁴⁵⁵ Stadelmann, Pyramiden, Taf.29.

⁴⁵⁶ Winkler, Pyramidenbau, S.7ff.

⁴⁵⁷ Stadelmann, Pyramiden, S.102.

⁴⁵⁸ Dorner, Rote Pyramide.

⁴⁵⁹ Stadelmann, Pyramiden, S.95.

teilweise nur ein Jahr liegt,⁴⁶⁰ betrug die Baudauer der Roten Pyramide zwischen „Jahr des 15. Mals“ (Grundsteinlegung) und zuletzt belegter Baumaßnahmen im Jahr des 24. Mals der Zählung⁴⁶¹ mindestens 9 Jahre. Die im Kapitel 8.3.1 durchgeführte Berechnung der Bauzeit ergibt für die fertige Pyramide einen Zeitraum von 16,9 Jahren.⁴⁶²

Mit der Auswertung der an der Pyramide in Meidum und an der Roten Pyramide auf Steinen gefundenen Baugraffiti beschäftigt sich Gundacker (siehe Kapitel 6).⁴⁶³

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: 280 E/146,6 m

Länge der Basis: 440 E/230,34 m

Rücksprung 22 Finger auf eine Elle/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.

Wie üblich 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 Fruchtländ 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.⁴⁶⁴ Die Pyramide selbst wurde auf einem Felssporn errichtet, der einen Teil des Kernbaus bildet und so Material- und Arbeitsaufwand ersparte.⁴⁶⁵ Sichtbar ist dies an den Ecken (mit Ausnahme der Südwestecke) und an der Südseite der Pyramide.

Reste des Taltempels wurden 1990 in der Siedlung Nazlet el-Samman etwa 750 m nordöstlich der Pyramide entdeckt.⁴⁶⁶ Der Aufweg verlief von dort mit einem leichten Knick zum Totentempel. Die Länge betrug ca. 650 m⁴⁶⁷ bei einer Steigung von ca. 5,7%. Die Höhendifferenz zwischen Taltempel und Totentempel beträgt ca. 40 m.⁴⁶⁸

⁴⁶⁰ 24 Zählungen bei einer Regentschaftsdauer von 35 Jahren (v. Beckerath) bzw. neuerdings von 33 Jahren (Krauss in: Hornung, Chronology, S.490).

⁴⁶¹ Gundacker, Snofru, S.12.

⁴⁶² Ohne Vorbereitungsarbeiten ab Grundsteinlegung einschließlich Glättung der Außenverkleidung.

⁴⁶³ Gundacker, Baugraffiti S.29.

⁴⁶⁴ Klemm und Klemm, Steine, S.53ff.

⁴⁶⁵ Haase, Cheops, S.17.

⁴⁶⁶ Hawass, Cheopspyramide.

⁴⁶⁷ Lehner Cheps Projekt, S.120.

⁴⁶⁸ ebenda, S.111, Fig.2.

Die Cheopspyramide ist die wohl am meisten vermessene Pyramide (Petrie 1880–82,⁴⁶⁹ Borchardt,⁴⁷⁰ Cole, Dorner,⁴⁷¹ Maragioglio⁴⁷² u.a.). Ihre Basislänge (Außenverkleidung) beträgt 440 E/230,3 m. Bei einem Rücksprung des Verkleidungsmauerwerks von 22 Fingern auf eine Elle (Böschungswinkel von 51°50'40") ergab sich eine Höhe von 280 E/146,6 m.⁴⁷³ Heute ist die Pyramide noch 138,8 m hoch und weist 201 Steinlagen auf. Früher sind es 210 Steinlagen gewesen.⁴⁷⁴ Winkler äußert in diesem Zusammenhang die Vermutung,⁴⁷⁵ dass die 9 heute fehlenden Steinlagen ausschließlich aus Tura Kalkstein bestanden und daher ebenfalls als Baumaterial abgebaut wurden.

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.⁴⁷⁶ Ähnlich genau wurden die vier rechten Winkel an den Ecken bestimmt. Hierbei liegen die Abweichungen unterhalb von 0°4'.

Die Höhe der einzelnen Schichten der äußeren Steinreihe des Verkleidungsmauerwerks ist unterschiedlich; auf den vier Seiten der Pyramide hat jede Schicht jedoch stets dieselben Abmessungen. Die Werte schwanken zwischen 52 cm und 150 cm,⁴⁷⁷ sieht man von der Schicht 73 ab, die lediglich eine Höhe von 11 cm aufweist. Winkler vermutet, dass es sich dabei um eine Isolierschicht gegen Feuchtigkeit handeln könne, da diese Schicht das Bauwerk in der Höhe der obersten Entlastungskammer abdeckt.⁴⁷⁸ Dies würde aber bedeuten, dass in dieser Höhe die Oberkante einer Stufe des Kernmauerwerks verläuft. Das Steinmaterial mit Ausnahme der Außenverkleidung aus feinem Kalkstein (Tura, Maasara und Mokattam) ist überwiegend lokaler Herkunft und stammt aus der unmittelbaren Umgebung.⁴⁷⁹ 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.⁴⁸⁰ Vermutungen, dass es sich bei den Sprüngen in der Steinhöhe wieder hin zu einer größeren Abmessung um die Deckschichten innerer Stufen handle,⁴⁸¹ kann entgegen 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.⁴⁸² Damit wurde eine hohe Stabilität erzielt.

⁴⁶⁹ Petrie, Pyramids.

⁴⁷⁰ Borchardt, Dritte Bauperiode; Borchardt, Längen; Borchardt, Zahlenmystik.

⁴⁷¹ Dorner, Cheopspyramide.

⁴⁷² Maragioglio, IV, S.14.

⁴⁷³ 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.

⁴⁷⁴ Goyon, Messungen.

⁴⁷⁵ Winkler, Pyramidenbau, S.102.

⁴⁷⁶ Borchardt, Längen, S.7.

⁴⁷⁷ Ägyptische Pyramiden 2, S.103; Goyon, Messungen; Petrie, Pyramids, Pl.VIII.

⁴⁷⁸ Winkler, Pyramidenbau, S.104.

⁴⁷⁹ Klemm und Klemm, Stones.

⁴⁸⁰ 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.

⁴⁸¹ Brinks, Stufenhöhen.

⁴⁸² Stadelmann, Pyramiden, S.109.

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.⁴⁸³ 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).⁴⁸⁴ 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 Stein-schicht schloss unmittelbar an die äußeren Steine des Verkleidungsmauerwerks an.

Interessant ist die Tatsache, dass aufgrund der Messungen von Petrie⁴⁸⁵ die heute sichtbaren Außenflächen der Pyramide konkav nach innen vertieft geformt sind. An der Nordseite macht dies bis zu 94 cm aus.⁴⁸⁶ 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.⁴⁸⁷ Ein vergleichbarer Einzug wurde auch bei der Roten Pyramide beobachtet.⁴⁸⁸ Bei den nach der Cheopspyramide errichteten weiteren Stufenpyramiden wurde eine derartige Bauweise nicht mehr festgestellt. Die in diesem Zusammenhang immer wieder geäußerte Vermutung (Mendelsohn,⁴⁸⁹ 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.⁴⁹⁰ 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.

Auch bei der Cheopspyramide verläuft der Eingangskorridor von der Nordseite aus leicht nach Osten versetzt asymmetrisch und erreicht über die Große Galerie die Königskammer.

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.⁴⁹¹ 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 mit viel Mörtel bzw. Füllmaterial dazwischen verbaut wurden.⁴⁹² In der oberen Hälfte der Bresche ist – wie von der oberen Galerie des Gebäudes der Sonnenbarke des Cheops

⁴⁸³ Borchardt, Längen, S.15.

⁴⁸⁴ Arnold, Baukunst, S.93.

⁴⁸⁵ Petrie, Pyramids, S.43–49.

⁴⁸⁶ Maragioglio, IV, S.16.

⁴⁸⁷ Gossart, Cheops.

⁴⁸⁸ LÄ IV, S.1228.

⁴⁸⁹ Mendelsohn, S.151.

⁴⁹⁰ Haase, Vermächtnis, S.121.

⁴⁹¹ Vyse, Operations.

⁴⁹² Stadelmann, Pyramiden, S.109.

aus durch in Augenscheinnahe 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.⁴⁹³



Abb. 5.1.2.2.1 Bresche an der Südseite der Cheopspyramide

- 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 Werten⁴⁹⁴ (90 bzw. 100 cm) und dürften daher dem Verkleidungsmauerwerk zuzurechnen sein. 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.

⁴⁹³ Lehner, Schätze, S.39.

⁴⁹⁴ Goyon, Messungen.

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.⁴⁹⁵ Dabei ergab sich, dass zwischen einzelnen Steinen des Kernmauerwerks unterschiedlich breite Fugen (12, 52 und 83 cm) bestehen, die mit Sand und Schutt gefüllt sind.⁴⁹⁶ 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,⁴⁹⁷ dass es sich bei den mit Sand gefüllten Zwischenräumen auch um den Abstand zwischen den großen Kalksteinen entlang des Ganges zur Königinnenkammer und dem übrigen Kernmauerwerk handeln könne.

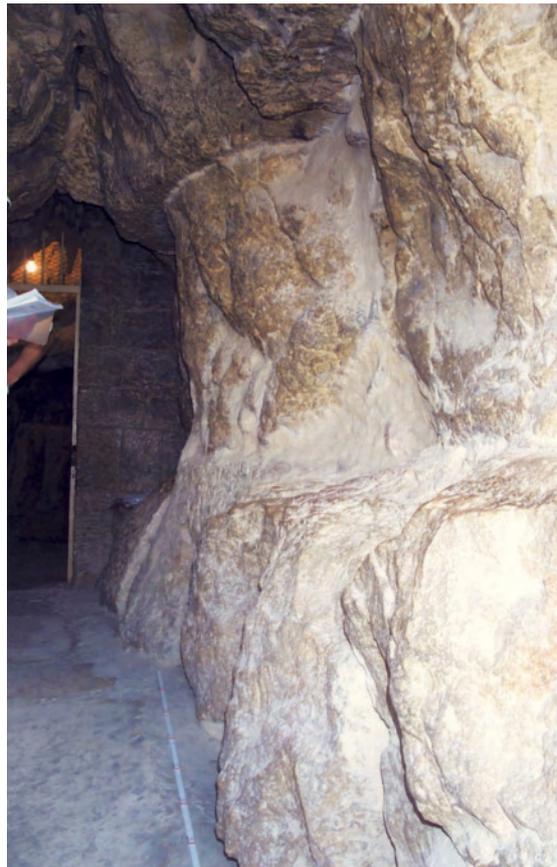


Abb. 5.1.2.2.2 Rechts die Schichten 6 und 7 ca. 6 m vom Eingang entfernt

⁴⁹⁵ Vermeulen, Cheopspyramide.

⁴⁹⁶ Lattermann, Pyramidenbau, S.38.

⁴⁹⁷ Stadelmann, Pyramiden, S.272.



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

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,⁴⁹⁸ wurde mehrfach, so auch von Maragioglio und Rinaldi widerlegt.⁴⁹⁹ 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.⁵⁰⁰

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 (Siehe Abb. 8.1.4).⁵⁰¹

Vermutlich hat es trotz einer von Beginn an vorhandener Gesamtplanung verschiedene Bauabschnitte für den Fall gegeben, dass Cheops während der Bauzeit verstorben wäre.⁵⁰² 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 Befund: Die trial passage. Nach Stadelmann sollte damit die Bauweise eines absteigenden und aufsteigenden Ganges mit Übergang zu einer Galerie „getestet“ bzw. erprobt werden.⁵⁰³

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

⁴⁹⁸ Borchardt, Dritte Bauperiode, S.2.

⁴⁹⁹ Maragioglio, IV, S.102.

⁵⁰⁰ Brinks, Stufenhöhen. Danach sollen die Höhensprünge des Verkleidungsmauerwerks nach Petrie die Existenz einer in der Lage darunter liegenden Kernstufenaußenkante erkennen lassen.

⁵⁰¹ siehe auch Maragioglio, IV, Addenda, TAV.2, Fig.12–13.

⁵⁰² Borchardt, Dritte Bauperiode, Tafel 1; Lattermann, S.10; Haase, Vermächtnis, S.115ff; Winkler, Pyramidenbau, S.104.

⁵⁰³ Stadelmann, Große Pyramiden, S.166ff.

konnten. Andererseits hätte – so Lehner weiter – eine Rampe vom Steinbruch bis zur Pyramidenspitze eine zu große Steigung gehabt.⁵⁰⁴

An den drei Königinnenpyramiden sind deren innere Strukturen als Stufenpyramiden sehr deutlich zu erkennen.⁵⁰⁵ 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.⁵⁰⁶ 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 Cheops⁵⁰⁷ 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: 66 m⁵⁰⁸

Länge der Basis: 203 E/106,2 m

Neigungswinkel: 52°

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 E⁵⁰⁹ und einem Neigungswinkel von 60°⁵¹⁰ hätte die Pyramide in etwa die Größe der Pyramide des Mykerinos gehabt. Aufgrund neuerer Untersuchungen⁵¹¹ werden die Basislänge mit 202 E/106,2 m,⁵¹² der Neigungswinkel mit 52° und die berechnete Höhe mit 66 m angegeben.

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 seien⁵¹³. Auch Maragioglio und Rinaldi lehnen eine Fertigstellung mit Hinweis auf ihre Untersuchungen

⁵⁰⁴ Lehner, Geheimnis, S.216–217.

⁵⁰⁵ Lehner, Geheimnis, S.124; Maragioglio IV, Addenda, TAV.14, Fig.8.

⁵⁰⁶ Jánosi, Königinnen, S.78.

⁵⁰⁷ Hawass, Kultpyramide.

⁵⁰⁸ Valloggia, Egyptian Archaeology.

⁵⁰⁹ Maragioglio, V, S.32 und Addenda, TAV.2.

⁵¹⁰ Maragioglio, V, S.12.

⁵¹¹ Valloggia, Egyptian Archaeology.

⁵¹² Ein derart „ungerades“ Maß für die Basis ist jedoch sehr ungewöhnlich.

⁵¹³ Stadelmann, Pyramiden, S.128.

ab⁵¹⁴. 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.⁵¹⁵ Auch Kühn schließt sich dieser Auffassung an.⁵¹⁶

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 bewerkstelliger Belüftung vermieden. Die großformatigen Verkleidungssteine des Korridors und der Grabkammer konnten so einfacher eingebaut werden. Der Grabkorridor verläuft genau in der Nord-Süd Achse (symmetrisch).

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

⁵¹⁴ Maragioglio, V, S.32.

⁵¹⁵ Valloggia, Djedefre; Valloggia, Abu Roasch..

⁵¹⁶ Kühn, Sternenzelt.

5.1.2.4 Die Pyramide des Chephren

Gisa-Plateau

Höhe: 273 E/143,5 m⁵¹⁷

Länge der Basis: 410 E/215,25 m

Rücksprung 21 Finger auf eine Elle/Neigungswinkel: 53° 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.⁵¹⁸

Die Basislänge der Pyramide misst 410 E/215,25 m und das Böschungsverhältnis beträgt 3:4,⁵¹⁹ welches im ägyptischen Messsystem im Verhältnis 21 F zu 28 F bzw. eine Elle ausgedrückt wird. Dies ergibt einen Neigungswinkel von 53°. Die rechnerische Höhe beträgt dann 273 E/143,5 m.⁵²⁰ 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.⁵²¹ 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.⁵²² Die Felsenkammer hätte dann eine zentrale Lage. Zu bemerken ist auch hier die östliche (asymmetrische) Versetzung des Zugangs zur Grabkammer.
- 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.⁵²³ 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.⁵²⁴

⁵¹⁷ Abmessungen nach Lehner, Geheimnis, S.17.

⁵¹⁸ Stadelmann, Pyramiden, S.130.

⁵¹⁹ Petrie Pyramids, S.97.

⁵²⁰ Becker, Chephren 1, S.7.

⁵²¹ Becker, Chephren 1, S.7.

⁵²² Edwards, Pyramiden, S.100.

⁵²³ 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 15–20° geneigt verlegt und kommen daher für eine Fundamentierung nicht infrage. Darauf errichtete Fundamente würden abrutschen.

⁵²⁴ 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.⁵²⁵ Dann hätten sich der Grabgang auch genau in der Nord-Südachse und der heute im (nördlichen) Hof befindliche Eingang in der Nordwand befunden.
- Winkler schlägt als Erklärung eine Verschiebung der Grundfläche der Pyramide um 135 E in Richtung Süden nach Beginn der Arbeiten zur unterirdischen Grabkammer, um einen rechtwinklig, mittig und breiten auf die Pyramide zuführenden Ost-West Aufweg mit daran anschließendem Totentempel anlegen zu können, ohne den Sphinx zu tangieren.⁵²⁶

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.⁵²⁷ 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.⁵²⁸ 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,⁵²⁹ stellen aber fest, dass es weder Anhaltspunkte für eine Schichtbauweise noch für Stufen im Kernmauerwerk gebe.⁵³⁰ Becker verweist in diesem Zusammenhang auf die unregelmäßige Bauweise im Bereich des oberen Eingangs auf der Nordseite, bei dem etwas weiter ins Mauerwerk hineinreichende Lücken eine Aussage über eine andere Bauweise des Kernmauerwerks zuließen.⁵³¹ Lehner erwähnt eine Schilderung Belzonis aus dem Jahr 1818, wonach bei Freilegung eines Grabrüberganges, der auf der Nordseite angelegt war, immer wieder loses Gestein herabgestürzt sei.⁵³² 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.⁵³³ Ungeklärt ist auch die Frage, ob es nach Maragioglio und Rinaldi nur eine oder, wie Vyse meint, zwei oder nach Becker⁵³⁴ 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.⁵³⁵

⁵²⁵ Becker, Chephren 1, S.14.

⁵²⁶ Winkler, Pyramidenbau, S.119ff.

⁵²⁷ 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.

⁵²⁸ Diese Schicht hat eine Dicke, die z.T. wesentlich über den vergleichbare Steinschichten der Cheopspyramide und der Pyramide des Mykerinos liegt.

⁵²⁹ Maragioglio, V, S.46.

⁵³⁰ Maragioglio, V, S.48.

⁵³¹ Becker Chephren 2, S.34.

⁵³² Lehner, Schätze, S.38.

⁵³³ Maragioglio, V, S.48 und 50.

⁵³⁴ Becker, Chephren 2, S.33.

⁵³⁵ Stadelmann, Pyramiden, S.134; Lepsius, Denkmäler I, S.27.

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)

Saujet el-Arjan

Höhe: ?

Länge der Basis: 410 E/215 m⁵³⁶

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)⁵³⁷ und des erst seit Djedefre in diesem Umfang verwendeten Rosengranits zur Ausmauerung der Grabräume ist diese Pyramide der späten 4. Dynastie zuzuordnen.⁵³⁸ 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.⁵³⁹ Für die innere Bauweise lassen sich daraus keine Schlüsse ableiten.

5.1.2.6 Die Pyramide des Mykerinos (Menkaure)

Gisa-Plateau

Höhe: 126 E/66 m

Längen der Basis: 200 E/104,6 m

Rücksprung 22 Finger auf eine Elle/Neigungswinkel: 51 °

Mykerinos, Sohn des Chephren, errichtete sein Grabmal wiederum in Gisa. Es ist dort die kleinste der drei Königspyramiden mit einer Basislänge von 200 Ellen/ 104,6 m und einem Neigungswinkel von 51°. Die ursprüngliche Höhe betrug 66 m.⁵⁴⁰ 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.⁵⁴¹

Ähnlich wie die Pyramide des Chephren weist auch diese Pyramide zwei wiederum leicht nach Osten hin verschobene 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

⁵³⁶ Maragioglio, VI, Addenda, TAV.2, Fig.4.

⁵³⁷ Maragioglio, VI, Addenda, TAV.2, Fig.4.

⁵³⁸ Lauer, Saujet el-Arian; Maragioglio IV, S.16–26.

⁵³⁹ Maragioglio, VI, Addenda, TAV.3 Fig.2.

⁵⁴⁰ Stadelmann, Pyramiden, S.142.

⁵⁴¹ Maragioglio, VI, S.96.

den Pyramiden seit Chephren wurden Gänge (teilweise) und Grabkammer mit Granit verkleidet. Das Giebeldach der Grabkammer ist erstmals als Tonnengewölbe ausgearbeitet.

Die Außenverkleidung der Pyramide bestand von der Basis aufsteigend aus 16 Schichten weitgehend ungeglätteten Rosengranits unterschiedlicher Qualität aus Assuan.⁵⁴² Die darüber liegenden Schichten der Außenverkleidung wurden in Kalkstein ausgeführt.⁵⁴³ 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.⁵⁴⁴ Daraus ergibt sich, dass das Kernmauerwerk aus einzelnen Stufen mit einem Neigungswinkel deren Außenmauern von etwa 80° 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 behauenen Steinmaterial ganz unterschiedlicher Formate.

⁵⁴² Maragioglio, VI, S.34.

⁵⁴³ 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.

⁵⁴⁴ Maragioglio, VI, S.34 ff., S.94ff; und Addenda, TAV.4, Fig.2 Schnitt S-N.

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.

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).

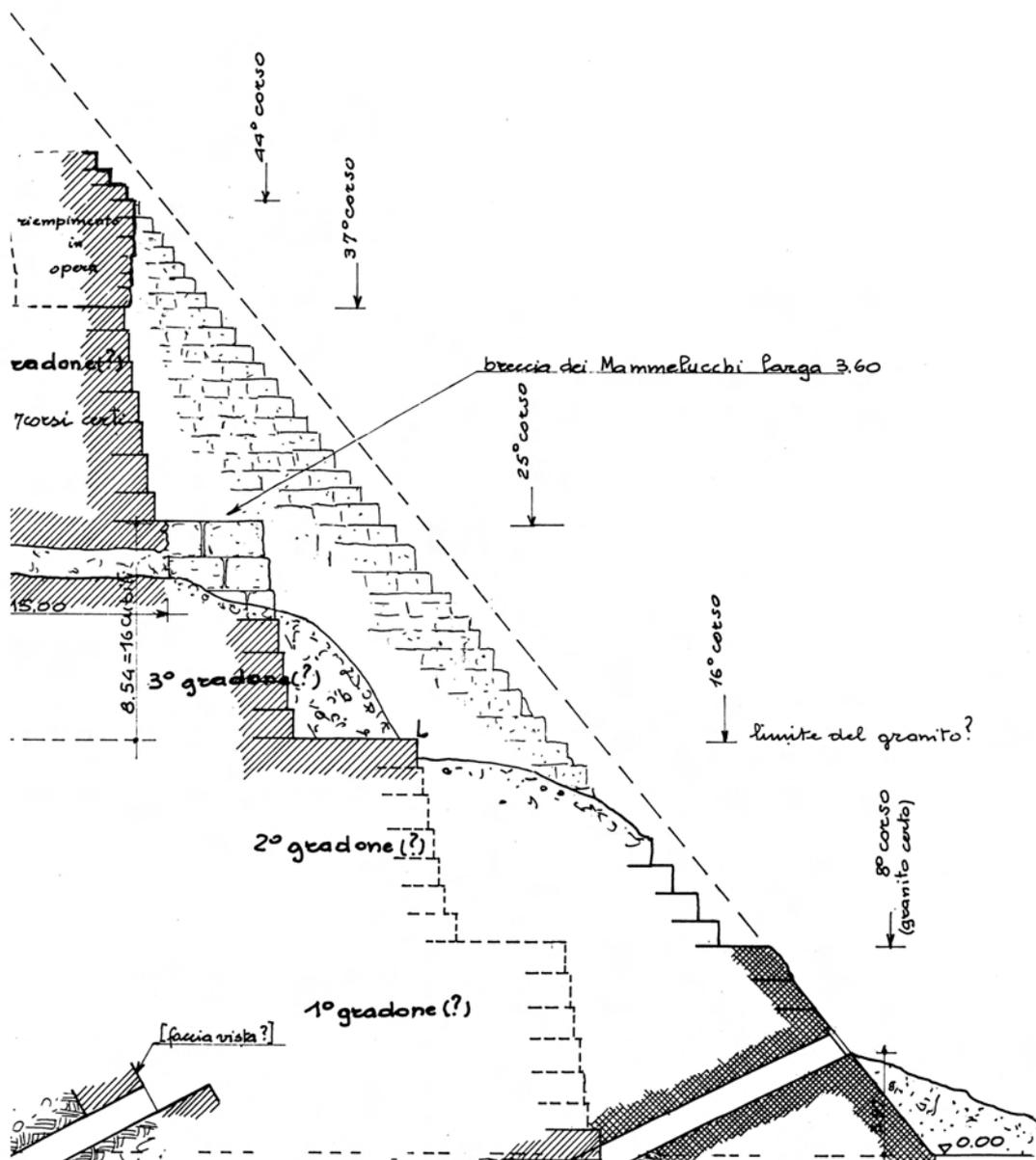


Abb. 5.1.2.6.2 N-S Schnitt durch die Pyramide des Mykerinos nach Maragioglio und Rinaldi



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.⁵⁴⁵ 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).⁵⁴⁶ Die Blöcke der Mauern des Kernmauerwerks sind ebenfalls sorgfältig bearbeitet und an den Ecken abwechselnd als Binder und Läufer verlegt.⁵⁴⁷ 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.⁵⁴⁸ 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. 52° verkleideten Pyramiden einschließlich der Tempel an den Ostseiten zwinge dazu. Auch Stadelmann vertrat mir gegenüber die Auffassung, dass die Pyramiden G III b und G III c wahrscheinlich nur in Form der Kernstufenstruktur geplant worden seien. Dieser Auffassung kann entgegen gehalten werden, dass eine derartig gravierende Abweichung von der Form der „klassischen“ Pyramide 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

⁵⁴⁵ Maragioglio, VI, Addenda, TAV.12, Fig.1–3.

⁵⁴⁶ Reisner, Mycerinos, S.62 und Maragioglio, VI, Addenda, TAV.13, Fig.3 bzw. TAV.14, Fig.2.

⁵⁴⁷ Maragioglio, VI, S.88.

⁵⁴⁸ Jánosi, Königinnen, S.85; Lehner, Geheimnis, S.134.

III c keine Totentempel vorgesehen. Die Entscheidung für diese außergewöhnliche Anordnung ist bisher nicht erklärbar.

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: 70°

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 70°. Die Außenverkleidung bestand in der Sockelschicht aus Rosengranit und weiter oben aus Kalkstein (Tura).⁵⁴⁹

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.⁵⁵⁰

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: 94 E/49 m

Länge der Basis: 140 E/73,3 m

Rücksprung 21 Finger auf eine Elle/Neigungswinkel: 53°

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 53° ergab sich eine Höhe von 94 E/49 m.⁵⁵¹ 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 Formats⁵⁵² und ist (wahrscheinlich) in Stufenbauweise errichtet.⁵⁵³ Die Steine wurden locker und mit viel Mörtel bzw. Schutt dazwischen aufge-

⁵⁴⁹ Stadelmann, Pyramiden, S.152; Klemm und Klemm, Stones.

⁵⁵⁰ Maragioglio, VI, Addenda, TAV.16, Fig.1.

⁵⁵¹ Maragioglio, VII, S.12.

⁵⁵² Firth, Excavations, S.68, meint, das noch großformatige Kernmauerwerk ähnele mehr der Bauweise der 4. als derjenigen der 5. und 6. Dynastie.

⁵⁵³ Maragioglio, VII, S.12.

schichtet. Nach Abbau der Außenverkleidung aus Tura-Kalkstein trat eine starke Erosion ein, die zu einem Verfall des Verkleidungs- und des Kernmauerwerkes führte.⁵⁵⁴

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.⁵⁵⁵ Die Abmessungen dieser Pyramide stimmen fast genau mit denen der Königin Chentkaus II. in Abusir überein.⁵⁵⁶ Die Stufenbreite bei der Kultpyramide beträgt ca. 1,5 m und die Stufenhöhe 3 m.⁵⁵⁷

5.1.2.9 Die Pyramide des Sahure

Abusir

Höhe: ca. 90E/47m

Länge der Basis: 150 E/78,75 m

Neigungswinkel: ca. 50°

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).⁵⁵⁸

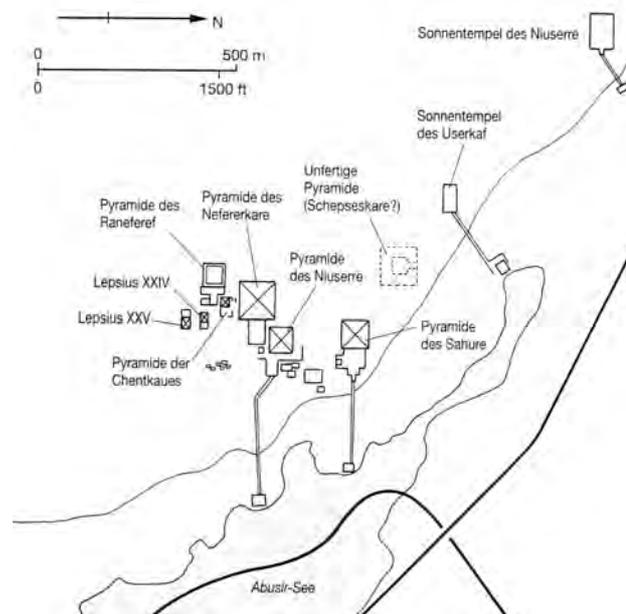


Abb. 5.1.2.9.1 Die Pyramiden von Abusir

⁵⁵⁴ siehe Darstellung bei Stadelmann, Pyramiden, Tafel 63 a.

⁵⁵⁵ Maragioglio, VII, S.22 und 22.

⁵⁵⁶ Verner, Pyramiden, S.311.

⁵⁵⁷ Maragioglio, VII, Addenda, TAV.2, Fig.1.

⁵⁵⁸ Lehner, Schätze, S.142

Die Basislänge der Pyramide betrug 150 E/78,75 m; der Böschungswinkel lag bei ca. 50°, sodass sich eine Höhe der Pyramide von etwa 90 E/47 m ergab. Die Bauweise in 5 Stufen (oder mit einer weiteren 6. Stufe an der Pyramidenspitze)⁵⁵⁹ 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.⁵⁶⁰ 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 Sarkkammer zeitlich parallel mit dem Bau des Kernmauerwerkes der Pyramide zu beginnen.⁵⁶¹ 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.⁵⁶² Die Außenverkleidung bestand aus Kalkstein aus der Gegend Tura-Maasara; Granit wurde nicht verwendet.⁵⁶³ 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.

⁵⁵⁹ Maragioglio VII, S.46.

⁵⁶⁰ Maragioglio VII, Addenda TAV.8, Fig.4.

⁵⁶¹ Borchardt, Sahure S.70–71.

⁵⁶² Borchardt, Sahure, S.70.

⁵⁶³ 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: 54°

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;⁵⁶⁴ Maragioglio und Rinaldi haben dagegen die Basislänge mit nur 179 E/94 m ermittelt.⁵⁶⁵ Borchardt stellte anhand eines in situ in der untersten Reihe gefundenen Verkleidungsblocks aus Granit einen Steigungswinkel von 54° fest, der einem 5-Handbreiten-Rücksprung auf eine Elle Steigung recht nahe kommt.⁵⁶⁶ 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 77°) errichtet (Abb. 5.1.2.10).



Abb. 5.1.2.10 Obere Stufen des Kernmauerwerks der Pyramide des Neferirkare

Die Stufenbreite beträgt etwa 8 E/4 m;⁵⁶⁷ die Stufenhöhe nimmt von unten nach oben ab (8–6 m). Das Verkleidungsmauerwerk besteht aus kleineren, nur lose aufgeschichteten Steinen;⁵⁶⁸

⁵⁶⁴ Borchardt, Neferirkare, S.39.

⁵⁶⁵ Maragioglio, VII, S.116.

⁵⁶⁶ Borchardt, Neferirkare, S.39.

⁵⁶⁷ Maragioglio, VII, Addenda, TAV.9.

⁵⁶⁸ Borchardt, Neferirkare, S.41 oben.

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.⁵⁶⁹ 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.⁵⁷⁰

Die sehr gut sichtbare Struktur des Kernmauerwerks der Pyramide beschäftigte bereits Lepsius, der daran seine Theorie der geböschten Schalen als Bauweise der Pyramiden entwickelte,⁵⁷¹ die später Borchardt übernahm. Maragioglio und Rinaldi führten in den sechziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts ebenfalls eingehende Untersuchungen durch und berichteten von einer sichtbar doppelten Kernmauerstruktur am Eingangsbereich.⁵⁷²

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.⁵⁷³ 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.⁵⁷⁴ 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 Perring⁵⁷⁵ und Stadelmann,⁵⁷⁶ 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.⁵⁷⁷

5.1.2.11 Die unvollendete Pyramide des Schepseskare

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

⁵⁶⁹ Verner, Pyramiden, S.326.

⁵⁷⁰ Stadelmann, Pyramiden, S.171.

⁵⁷¹ Lepsius, Bau.

⁵⁷² Maragioglio VII, S.144.

⁵⁷³ Verner, Pyramiden, S.325.

⁵⁷⁴ Verner, Pyramiden, S.326ff.

⁵⁷⁵ Perring, Pyramids III, Appendix 19.

⁵⁷⁶ Stadelmann, Pyramiden, S.171.

⁵⁷⁷ Borchardt, Neferirkare, S.41 unten..

zu.⁵⁷⁸ 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.⁵⁷⁹ Heute beträgt die Höhe nach Angaben von Maragioglio und Rinaldi etwa 4,5 m, nach Angaben von Verner 7 m.⁵⁸⁰ 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.⁵⁸¹ 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.⁵⁸² Auf die Veröffentlichung des endgültigen Grabungsberichtes durch Verner mit einer genauen Beschreibung der Bauweise sei hingewiesen.⁵⁸³

Verner vermutet, dass die anderen Pyramiden der 5. Dynastie in Abusir bzw. Saqqara nach der gleichen Methode gebaut wurden.⁵⁸⁴ Die archäologischen Befunde über die innere Baustruktur der einzelnen Stufen des Kernmauerwerkes der Pyramiden des Userkaf, des Sahure

⁵⁷⁸ Verner, unvollendete Pyramide;

⁵⁷⁹ Stadelmann, Pyramiden, Tafel 66.

⁵⁸⁰ Maragioglio, VII, S.176ff.; Verner, Pyramiden, S.338ff.

⁵⁸¹ Maragioglio, VII Addenda, TAV.15, Fig.1.

⁵⁸² Verner, S.339; Verner, Raneferef.

⁵⁸³ Verner, Raneferef, S.12ff.

⁵⁸⁴ Verner, Pyramiden, S.339.

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.⁵⁸⁵ Aus der geplanten Pyramide soll nach dem Tod des Neferefre eine Mastaba geworden sein, deren Oberfläche als Kiesterrasse ausgebildet wurde.⁵⁸⁶

5.1.2.13 Die Pyramide des Niuserre

Abusir

Höhe: ca. 98 E/50 m

Länge der Basis: 150 E/78,90 m

Rücksprung 22 F auf eine E/Neigungswinkel: 52°

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 52° fest.⁵⁸⁷ Die Höhe der Pyramide betrug danach ca. 50 m. Damit besaß diese Pyramide nahezu 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.⁵⁸⁸ 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.⁵⁸⁹ 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.⁵⁹⁰ 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 Abmessungen⁵⁹¹.

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 Bauar-

⁵⁸⁵ Verner, Verlorene Pyramiden, S.138.

⁵⁸⁶ Verner, Kongress: Ausführungen von Verner anlässlich des Kongresses am 24.5.2006 in Turin.

⁵⁸⁷ Borchardt, Niuserre.

⁵⁸⁸ Lehner, Geheimnis, S.213.

⁵⁸⁹ Maragioglio, VIII, S.10/12.

⁵⁹⁰ Verner, Pyramiden, S.347.

⁵⁹¹ Borchardt, Niuserre, Blatt 17.

beiten am Pyramidenkern, wie sich aus der Baustruktur der Bresche auf der Nordseite ergibt. Das Giebeldach der Grabkammer besteht aus großformatigen Kalksteinplatten aus den Steinbrüchen in Tura mit bis zu 1,75 m Breite, 9 m Länge und 2,5 m Höhe und einem Gewicht von ca. 90 t.⁵⁹²

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-Nord handelt, wie Maragioglio und Rinaldi⁵⁹³ sowie Berlandini⁵⁹⁴ 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 nach Hawass allerdings eine zeitliche Einordnung in die 5. Dynastie mit großer Wahrscheinlichkeit zu.⁵⁹⁵

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.⁵⁹⁶

5.1.2.15 Die Pyramide des Djedkare Asosi

Saqqara Süd

Höhe: ca. 50 m

Länge der Basis: 150 E/79 m

Rücksprung 21 Finger auf eine Elle/Neigungswinkel: 52°

Djedkare Asosi ließ seine Pyramide auf einem Hügel in Saqqara Süd errichten. Baustruktur und Bauweise entsprechen denen der Pyramiden von Abusir.⁵⁹⁷ Die Abmessungen sind die gleichen wie bei den Pyramiden des Sahure, Neferefre und Niuserre: Basislänge 150 E/79 m; Böschungswinkel der Verkleidung 52°. Das Kernmauerwerk besteht wiederum aus Stufen (vermutlich 6; heute ist der Pyramidenstumpf nur noch 24 m hoch).⁵⁹⁸ 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.⁵⁹⁹

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.⁶⁰⁰ Die Errichtung der Grabkammer geschah in offener Bauweise.

⁵⁹² Borchardt, Niuserre, S.103; Verner, Pyramiden, S.348.

⁵⁹³ Maragioglio, VIII, S.58/60.

⁵⁹⁴ Berlandini, Menkauhor.

⁵⁹⁵ Vymazolová, König Menkauhor

⁵⁹⁶ Maragioglio, VIII, S.62.

⁵⁹⁷ Maragioglio, VIII, S.66.

⁵⁹⁸ Stadelmann, Pyramiden, Tafel 72a.

⁵⁹⁹ Ägyptische Pyramiden 1, S.150.

⁶⁰⁰ Stadelmann, Pyramiden, S.180.

5.1.2.16 Die Pyramide des Unas

Saqqara Nord

Höhe: 82E/43 m

Länge der Basis: 110 E/57,75 m

Neigungswinkel: 56°

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 56°, womit sich eine Höhe von 43 m ergibt.⁶⁰¹ Der Kernbau besteht wiederum aus Stufen mit innerem Steinmaterial unterschiedlichen Formats.⁶⁰² 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: 58°–61°

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. Die neueren Ausgrabungen des tschechischen Teams unter Verner erbrachten folgende Ergebnisse:⁶⁰³ Aufgrund der völlig zerstörten Pyramide konnten interessante Beobachtungen über die Bauweise und das Innere des Kernmauerwerks gemacht werden.⁶⁰⁴ Die unterste Stufe ist in ähnlicher Bauweise wie die der Pyramide des Neferefre und der Pyramide Lepsius XXV gebaut;⁶⁰⁵ 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 58° und 61°. 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. 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

⁶⁰¹ Stadelmann, Pyramiden, S.185.

⁶⁰² Tietze, Pyramide, S.59.

⁶⁰³ Verner, Lepsius XXIV 1997; Verner, Lepsius XXIV 1998.

⁶⁰⁴ Verner, Lepsius XXIV, 2004.

⁶⁰⁵ Verner, Lepsius XXIV, 1998, S.146–147.

ebenfalls diagonal ausgeführte Mauern innerhalb des Sockels nachgewiesen wurden.⁶⁰⁶ Diese Bauweise ist dann auch wieder im MR bei den Pyramiden des Sesostris I. in Lischt,⁶⁰⁷ des Amenemhet II. in Dahschur⁶⁰⁸ und des Sesostris II. in el-Lahun⁶⁰⁹ 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.⁶¹⁰ 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, muss daher in Zweifel gezogen werden.

5.1.2.18 Die Pyramiden der 6. Dynastie

Saqqara

Höhe: 100 E/52,40 m

Länge der Basis: 150 E/78,60 m

Rücksprung 21 Finger auf eine Elle/Neigungswinkel: 53°

Die 6. Dynastie erstreckte sich über ca. 130 Jahre, in der u.a. die Könige Teti, Userkare,⁶¹¹ Pepi I., Merenre (Nemtiemsaf I.), und Pepi II., herrschten.⁶¹² 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/78,60 m Basislänge, 53° Neigung und somit 100 E/52,40 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.,⁶¹³ die seit 1988 regelmäßig stattfinden und in deren Verlauf insbesondere 7 Königinnenpyramiden entdeckt und teilweise rekonstruiert wurden, fanden auch umfangreiche Grabungsarbeiten an der Pyramide Pepi I. statt. Dabei konnte die Bauweise mit Kernmauerwerk, Verkleidungs-

⁶⁰⁶ Borchardt, Re-Heiligtum, S.33 und Fig.20.

⁶⁰⁷ Arnold, Sesostris, S.66.

⁶⁰⁸ Morgan, Dahschur, S.29 und Fig.63.

⁶⁰⁹ Perrot, Ägypten, S.204 und Fig.131.

⁶¹⁰ Verner, Pyramiden, S.357.

⁶¹¹ Von ihm ist keine Pyramide bekannt; seine Regentschaft dauerte nur zwei Jahre.

⁶¹² Nemtiemsaf II. und Königin Nitokris mit insgesamt 3 Regierungsjahren werden hierbei nicht berücksichtigt. Ihre Gräber wurden bisher nicht gefunden (Verner, Pyramiden, S.415).

⁶¹³ Leclant, Pepi I.

mauerwerk und äußerer Verkleidungsschicht sowie Bruchsteinmaterial innerhalb des Kernmauerwerks einwandfrei nachgewiesen werden.⁶¹⁴

5.1.3 Die Pyramiden der Ersten Zwischenzeit und des Mittleren Reiches

Die 8. bis 10. Dynastie umfasst einen Zeitraum von ca. 100 Jahren;⁶¹⁵ 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. Dynastie⁶¹⁶ – keine Pyramidenbauten bekannt.

5.1.3.1 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.⁶¹⁷

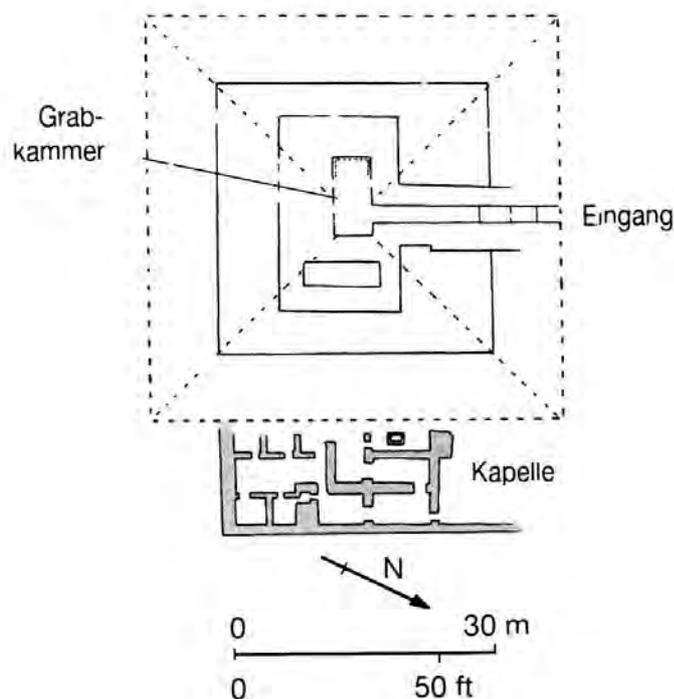


Abb. 5.1.3.1 Grundriss der Pyramide des Ibi

⁶¹⁴ Anlässlich eines Besuches der Grabungsstätte am 20.03.2006 konnte darüber ein Meinungs austausch geführt werden.

⁶¹⁵ Beckerath, Chronologie, S.188; die 7.Dynastie dauerte nach Manetho nur 70 Tage (Quelle Beckerath, Chronologie, S.151).

⁶¹⁶ Sie befand sich in der Nähe des Aufweges zur Pyramide Pepis II.

⁶¹⁷ Lehner, Schätze, S.164.

5.1.3.2 Die Pyramide des Chui

Ebenfalls aus der 8. Dynastie ist ein König Chui belegt,⁶¹⁸ dem eine in Kom Dara gebaute Pyramide zugeschrieben wird⁶¹⁹. Der Ausgräber, Kamal, hielt sie ursprünglich für eine Mastaba.⁶²⁰ Der Ziegeloberbau mit abgerundeten Ecken fiel schräg zu einer quadratischen Grundfläche mit ca. 130 m Basislänge ab.⁶²¹ 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.

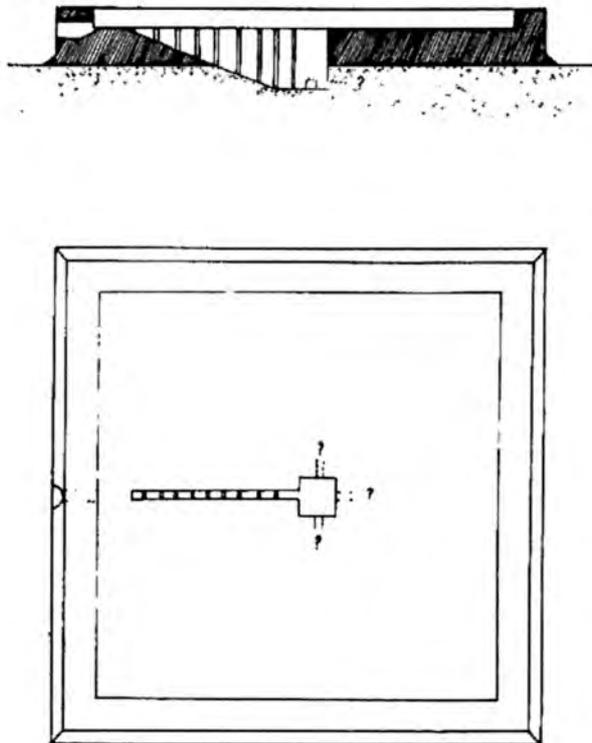


Abb. 5.1.3.2 Grundriss und Schnitt der Pyramide des Chui

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.⁶²² 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.

⁶¹⁸ Beckerath, Chronologie S.151, FN 665.

⁶¹⁹ Aufrère, temples.

⁶²⁰ Fakhry, Pyramids, S.202ff.

⁶²¹ Lehner, Geheimnis, S.164.

⁶²² Polz, Habilitation, Kapitel 3.5, S.286ff.; Lehner, Geheimnis, S.166ff.

5.1.3.1 Die Pyramide Amenemhets I.

Lischt

Höhe: ca. 105 E/ca. 55 m

Länge der Basis: 160 E/84 m

Neigungswinkel: 54,5°

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.⁶²³ 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.⁶²⁴ 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.⁶²⁵ Dieses Material wurde im inneren Mauerwerk der Pyramide des Amenemhet I. verbaut.⁶²⁶ Die Zwischenräume wurden mit Sand, Schutt und Ziegeln aufgefüllt.⁶²⁷ Die Außenverkleidung bestand aus einer Steinschicht.

5.1.3.2 Die Pyramide Sesostris' I.

Lischt

Höhe: ca. 116 E/ca. 61 m

Länge der Basis: 200 E/ca. 105 m

Neigungswinkel: 49° 24'

Bei Errichtung der Pyramide Sesostris' I. – ebenfalls in Lischt – ist eine weitere, neuartige Pyramidenbauweise zu beobachten:⁶²⁸ 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.⁶²⁹ Offensichtlich lag der Grundwasserspiegel in früherer Zeit tiefer.

5.1.3.3 Die Pyramide Amenemhets II.

Dahschur

Höhe: ?

Länge der Basis: 160 E/ca. 84 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-

⁶²³ Jánosi, Amenemhet I.

⁶²⁴ Arnold, Pyramiden, S.329.

⁶²⁵ Goedicke, Amenemhet I.

⁶²⁶ Ägyptische Pyramiden 1, S.192.

⁶²⁷ Stadelmann, Pyramiden, S.234.

⁶²⁸ Arnold, Sesostris, S.66.

⁶²⁹ 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: ca. 93 E/48,65 m

Länge der Basis: 200 E/ca. 105 m

Neigungswinkel: 42,35°

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: 116 E/ca. 61 m

Länge der Basis: 200E/ca. 105 m

Neigungswinkel: 56°

Sesostris III. baute seine Pyramide etwas nordöstlich der Roten Pyramide in Dahschur direkt am Rand der Hangkante zum Fruchtländ. 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.⁶³⁰

5.1.3.6 Die Pyramiden Amenemhets III.

5.1.3.6.1 Die Pyramide Amenemhets III. in Dahschur

Höhe: 140 E/73,5 m

Länge der Basis: 200 E/ca. 105 m

Neigungswinkel: 57°

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.⁶³¹ 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. Im Ägyptischen Museum in Kairo wird das seinerzeit bereits fertig gestellte Pyramidion ausgestellt. Seine Abmessungen betragen: 3 Ellen und 4 Handbreit (100 Finger) an der Basis und 2

⁶³⁰ Arnold, Building, S.126, Fig.4.27 und S.178, Fig.4.109.

⁶³¹ Arnold, Amenemhet III.; Lehner, Geheimnis, S.179ff.

Ellen und 3 Handbreit (70 Finger) in der Höhe.⁶³² Aus dem Verhältnis der Basen des Pyramidion und der Pyramide (100 Finger : 200 Ellen oder 1 Finger : 2 Ellen) lässt sich auch die bisher unter Ägyptologen umstrittene Höhe der Pyramide ausrechnen: 70 F Höhe des Pyramidion bedeuten 140 Ellen Höhe der Pyramide.⁶³³

5.1.3.6.2 Die Pyramide Amenemhets III. in Hawara

Höhe: 58 m

Länge der Basis: 200 E/ca. 105 m

Neigungswinkel: 48°45'

Als Ersatz für die nicht nutzbare Pyramide in Dahschur wurde dann eine weitere Ziegelpyramide – diesmal in Hawara – errichtet.⁶³⁴ 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.⁶³⁵ 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.⁶³⁶

⁶³² Arnold, Pyramidenbezirk, S.15.

⁶³³ Winkler, Pyramidenbau, S.11.

⁶³⁴ Arnold, Hawara; Lehner, Geheimnis, S.181ff.

⁶³⁵ Theis, Pyramiden; Lehner, Geheimnis, S.184ff.

⁶³⁶ Eine Ausnahme bildet die Verkleidung der untersten Stufe der kleinen Pyramide in Saujet el-Meitin.

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 Neigung 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 57,3°) 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 geringeren 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 dahinter liegenden Kernmauerwerkes möglich.⁶³⁷ 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 sei-

⁶³⁷ Maragioglio, III, S.126.

nen Höhepunkt erreicht, stattgefunden habe. Parallel dazu müssten auch neu entwickelte Verfahren für den Materialtransport eingeführt worden sein.⁶³⁸

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 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 Grabrübergang 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 Stufen-

⁶³⁸ Clarke und Engelbach, S.122.

höhen 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,⁶³⁹ Lehner⁶⁴⁰ u.a. sprechen in diesem Zusammenhang von „schlampiger“ Bauweise und Maragioglio von schlechter Qualität des Mauerwerkes.⁶⁴¹ 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.

⁶³⁹ Stadelmann, Pyramiden, S.160–161.

⁶⁴⁰ Lehner, Geheimnis, S.140–141.

⁶⁴¹ Maragioglio, VII, S.86.

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.⁶⁴² 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. Borchardt berichtet über Beobachtungen in der Grabkammer des Neferirkare⁶⁴³ und bei der Pyramide des Niuserre,⁶⁴⁴ 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.

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.

Die Fragestellung, warum die Pyramiden im AR und im MR mit wechselnden Neigungswinkeln zwischen 28 Finger auf eine Elle bei der Roten Pyramide und 21 bzw. 22 Finger auf eine Elle bei vielen Pyramiden des AR hin bis zu 18 Fingern auf eine Elle bei den Pyramiden des MR gebaut wurden, hat bisher keine einleuchtende und zufrieden stellende Erklärung gefunden. Gleiches gilt für die asymmetrische Anordnung der Grabkorridore in vielen Pyramiden der 4. Dynastie.

⁶⁴² Diese offene Bauweise ist allerdings auch schon in der 4. Dynastie bei den Pyramiden des Djedefre und des Nebka zu beobachten.

⁶⁴³ Borchardt, Neferirkare, S.44–45.

⁶⁴⁴ Borchardt, Niuserre, S.150.

Der Philosoph und Schriftsteller Korff⁶⁴⁵ stellt in seinem Buch „Der Klang der Pyramiden“⁶⁴⁶ die Behauptung auf, dass im Alten Ägypten die mathematischen und musiktheoretischen Kenntnisse und Erfahrungen des alten Griechenland zur Zeit Platons bekannt waren und dem Pyramidenbau zugrunde lagen. So seien die Rücksprünge (Neigungswinkel) der Pyramiden auf altägyptische Tonabstände zurückzuführen.

Dieser Hypothese kann mit Blick auf die archäologischen Belege aus der Zeit des AR und des MR nicht zugestimmt werden. Näheres kann aus einem Beitrag des Autors anlässlich der 41. SÄK 2009 „Ist das Rätsel um die äußere Form der Pyramiden gelöst? oder Der Klang der Pyramiden – Wirklichkeit oder Wunschdenken?“⁶⁴⁷ entnommen werden.⁶⁴⁷

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. 70° 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 Stadelmann für die Pyramide des Djoser ermittelten Neigungswinkel von 72°⁶⁴⁸ betragen die Kräfte $Z = G \times \sin 18^\circ$ und $N = G \times \cos 18^\circ$.

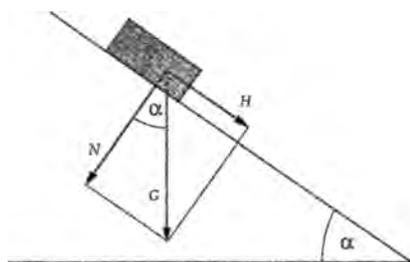


Abb. 5.3.1 Zugkräfte auf der schiefen Ebene dabei sind

G Gewicht des Steins

$$N = G \cdot \cos \alpha$$

$$H = G \cdot \sin \alpha \quad (\text{Hangabtriebskraft})$$

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.

⁶⁴⁵ Wikipedia, Friedrich Wilhelm Korff (Stand 02.05.2009).

⁶⁴⁶ Korff, Klang der Pyramiden

⁶⁴⁷ <http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/propylaeumdok/volltexte/2009/307>

⁶⁴⁸ Stadelmann, Pyramiden, S.51.

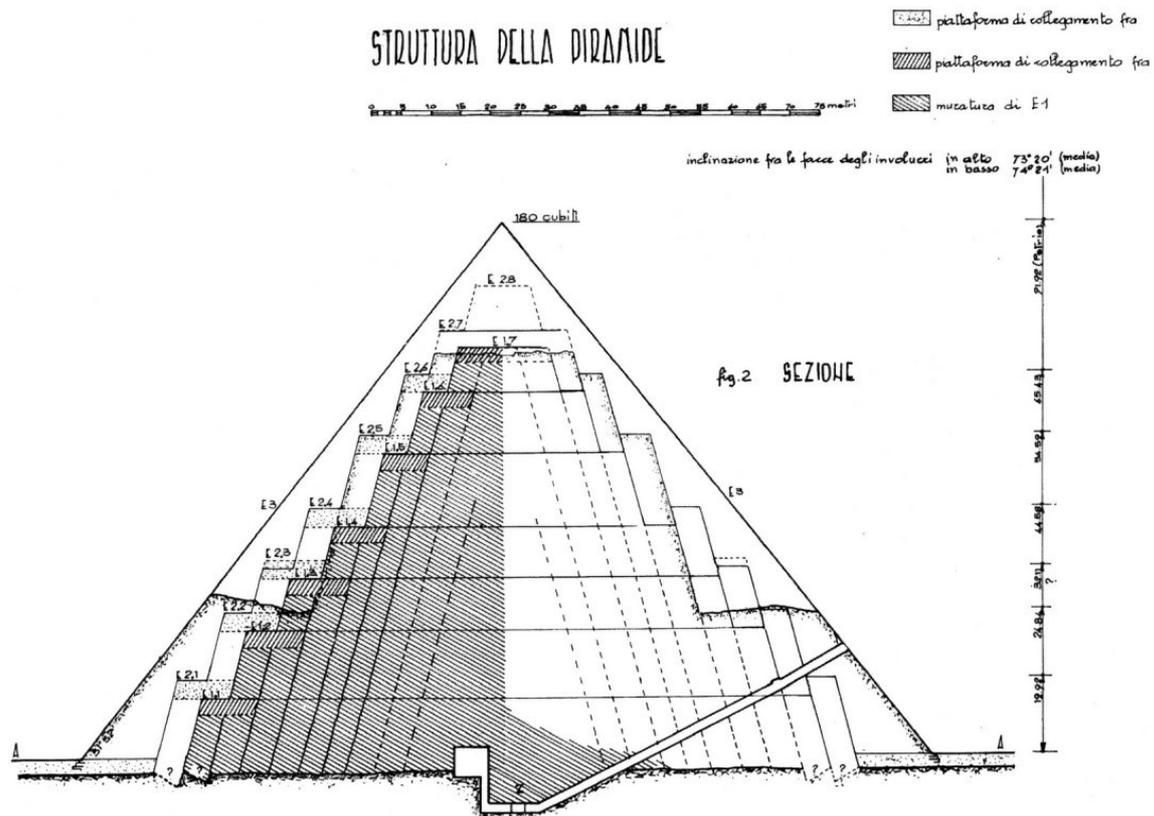


Abb. 5.3.4 Schichtpyramide des Snofru in Meidum

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.

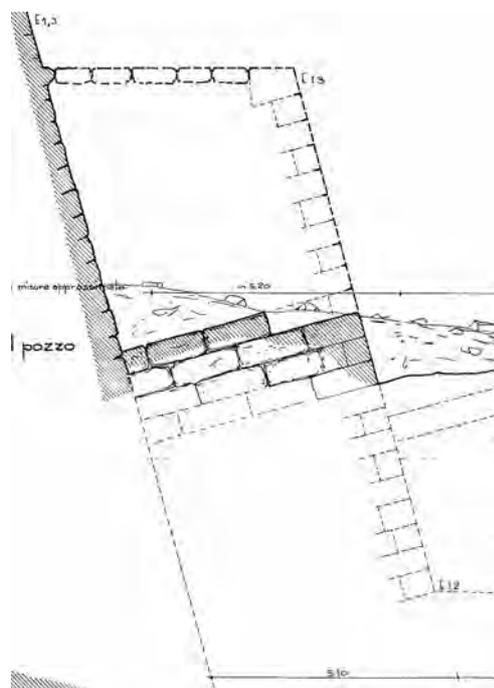


Abb. 5.3.5 Steinlagen innerhalb der Schicht E 1.3 der Pyramide in Meidum

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.⁶⁴⁹ 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 waagrecht in einer nahezu senkrecht mit einer Neigung von 70–80° 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.

Auch die schnellere Verlegung waagrecht angeordneter Steinschichten für das Kernmauerwerk im Vergleich zur Schräganordnung bei den Schichtpyramiden könnte ein weiterer Grund für die Änderung der Bauweise gewesen sein.⁶⁵⁰

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 82° 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 Steinsplintern 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.

⁶⁴⁹ Haase, Knickpyramide 1.

⁶⁵⁰ Winkler, Pyramidenbau, S.68.

Die neuartige Bauweise der Pyramiden der 4. Dynastie besteht also aus einem Kernmauerwerk, welches aus übereinander angeordneten Mastaba ähnlichen 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.

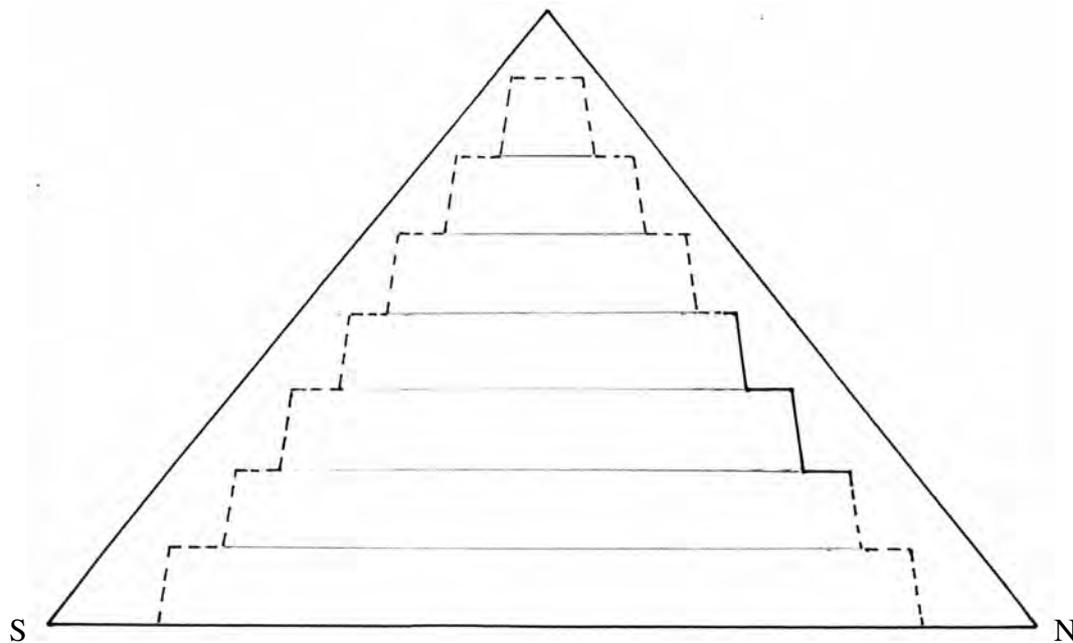


Abb. 5.3.6 Schnitt S–N der Pyramide des Mykerinos mit den archäologisch belegten Stufen in der Bresche der N-Seite (durchgezogene Linien) und den weiteren, rekonstruierten Stufen des Kernmauerwerks in gestrichelter Darstellung.

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 setzte 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.

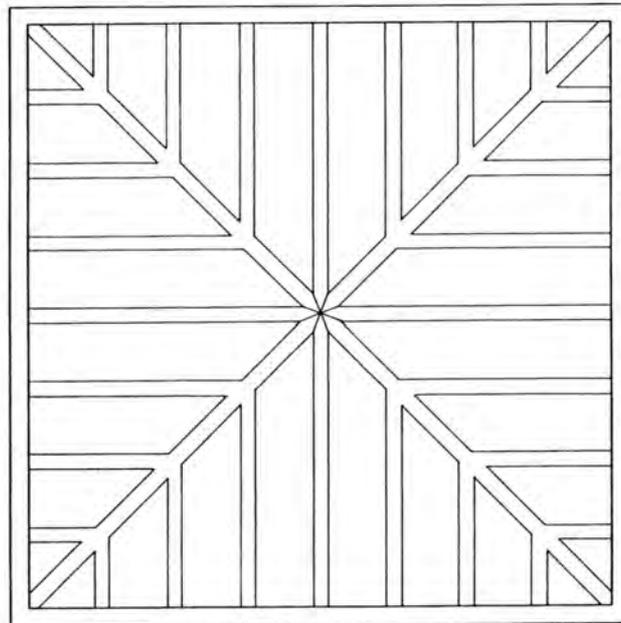


Abb. 5.4.1 Inneres gitterartiges Mauergerüst der Pyramide Sesostris' I.

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).

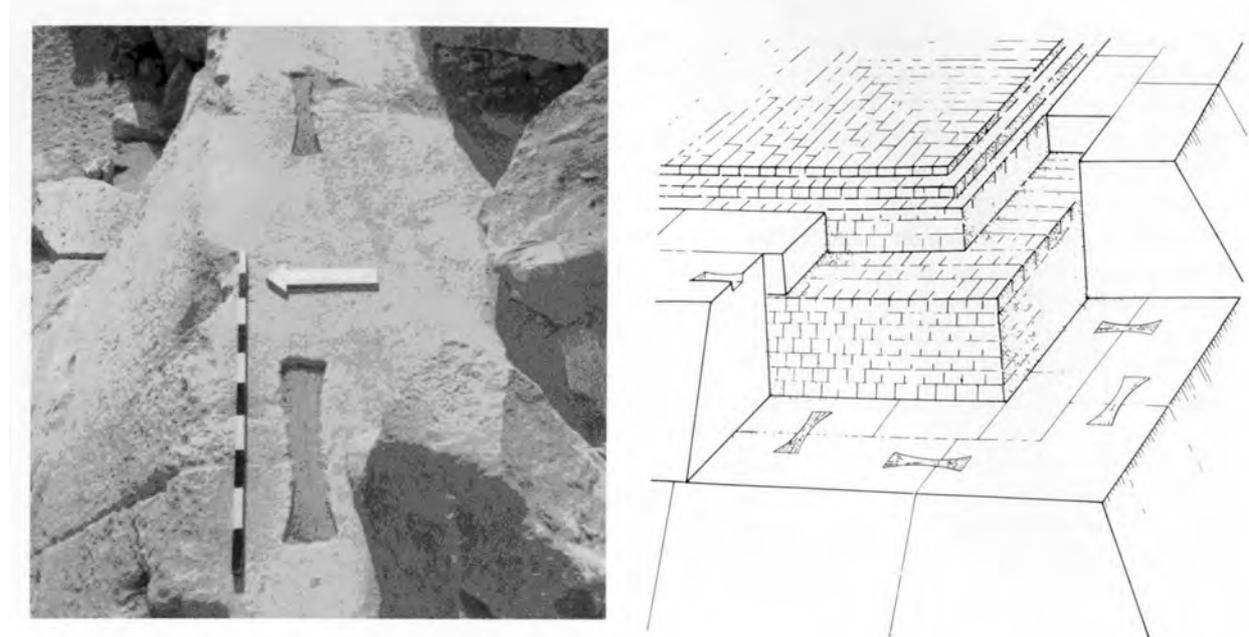


Abb. 5.4.2 Krampen in der Außenverkleidung der Pyramide des Sesostris III. in Dahschur

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 luftgetrockneten Ziegeln, die in horizontalen Lagen aufgeschichtet wurden. Die Fugen zwischen den Ziegeln und der Außenverkleidung aus Stein wurden mit Sand verfügt; 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 verfügt Kalksteinschicht als äußerer Verkleidung wurden vor Ort leicht 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.