

Erhart Graefe

Über die Determinanten des Pyramidenbaus bzw.: Wie haben die Alten Ägypter die Pyramiden erbaut ?

Manuskript aus dem Jahre 1998, das in der Festschrift für Burkart Kienast. Versammelt von G. J. Selz (in: Alter Orient und Altes Testament 274, Münster 2003, ISBN 3-927120-91-X) publiziert wurde.

Neuere Überlegungen zur möglichen Bauausführung:

**Bernd Ternes - Erhart Graefe, Neues zum Pyramidenbau - ein logistischer Ansatz:
Göttinger Miszellen 240, 2014, 53-61**

**Bernd Ternes, Stefan Mülstegen, Erhart Graefe, Neues zum Pyramidenbau -
Versuchsergebnisse: Göttinger Miszellen 242, 2014, 119-127**

ablehnend:

**Frank Müller-Römer, Entgegnung zu den Beiträgen Neues zum Pyramidenbau - ein
logistischer Ansatz von B. Ternes und E. Graefe in GM 240 (2014) und 242 (2014):
Göttinger Miszellen 243, 2014, 77-78**

Zurückweisung dieser Kritik:

**Bernd Ternes, Stefan Mülstegen, Erhart Graefe, Klarstellung zur Entgegnung von Müller-
Römer in den GM 243, 2014, S.77-78: Göttinger Miszellen 245, 2015, 107-109**

Die Ausführungen in seinem zweiten Buch (nach dem von 2008) von Friedrich Wilhelm Korff: Das musikalische Aufbauprinzip der ägyptischen Pyramiden mit dem Untertitel Ein Nachruf auf die zeitgenössische deutsche Ägyptologie, Hildesheim 2015 beruhen u.a. auf dem Glauben (S. 144), dass 0,5cm Messdifferenz bei einem Monumentalbauwerk die Theorie des "musikalischen Aufbauprinzips" beweisen können.

Wie die Ägypter das Problem des Pyramidenbaus rein technisch gelöst haben, ist in der Hauptsache eine Frage nach dem Antransport bzw. dem Aufwärtstransport der Steine von 1-3to und mehr an Gewicht. Allseits überzeugend ist keiner der bisher vorgeschlagenen Lösungsvorschläge¹ und so wage ich jetzt einen neuen Versuch. Mit dem Problem habe ich mich seit meiner Zeit als Assistent von Burkhard Kienast in Freiburg beschäftigt und dort zum ersten Mal meine Lösung im Unterricht vorgestellt und ich hoffe, dass der Jubilar sie bedenkenswert wird finden können.

Niemand wird je seine jeweils neue „Auflösung“ dieses „Jahrtausendrätsels“ des Pyramidenbaus beweisen können, aber ich hoffe, dass man wenigstens glaubhaft finden wird, wenn ich behaupte, dass diejenigen Pyramiden des Alten Reiches, die später als die Pyramide von Meidum erbaut wurden², eine gleichartige interne Stufenstruktur aufweisen werden, wodurch sich eine ganz Reihe von früheren Lösungsvorschlägen erledigt.

Auf die Serie der älteren Vorschläge gehe ich kurz und nur summarisch ein. Man stellte sich früher einfach vor³, die Ägypter hätten eine Rampe auf eine Pyramidenseite zugeführt und

¹ Es gibt zahlreiche seriöse und unseriöse. Aus der ersten Kategorie nenne ich nur die Namen Arnold, Lauer, Stadelmann, Lehner, Isler, Hodges, Hampikian. D. Arnold hat zuletzt unter dem Titel „Mit Grips und Muskeln“ in NZZ Folio, der Zeitschrift der Neuen Züricher Zeitung Nr.8. (August 1998),54-55 eine allgemeine Übersicht gegeben (Hinweis von Marianne Eaton-Krauss). --- Die Abkürzung der Zeitschriften- bzw. Reihennamen folgt der des Lexikons der Ägyptologie.

² Die Pyramiden der 3. Dyn. weisen „accretion layers“ plus Stufen auf; siehe M. Isler, in: JARCE 24 (1987),98-99.

³ Zusammenstellung neuerer Thesen bei R. Stadelmann, Die ägyptischen Pyramiden, 3. Aufl., (Mainz 1997),224. Zwei Aufsätze zu diesem Thema werden von N. Hampikian und Z. Hawass für die Festschrift Stadelmann erwartet (bei Abgabe dieses Manuskriptes noch nicht erschienen).

über sie, die, sei es einfach aus Sand oder aus Ziegeln mit oder ohne Verstärkung durch Holz bestanden habe, die Steine auf Schlitten emporgezogen. An das resultierende Volumen bzw. die Frage der Steigung der Rampe verschwendete man zunächst nicht viele Gedanken. Diese Idee ist es immer noch, die man in populären Büchern über Ägypten ausgemalt findet. Sie ist bei genauer Überlegung auszuschließen. Je nach angenommener Steigung würde das Volumen einer derartigen Rampe an das der Pyramide selbst herankommen bzw. einen signifikanten Bruchteil davon darstellen⁴. Niemand hat früher überlegt, wo denn diese Hunderttausende von Kubikmetern Erde und Sand nach Fertigstellung des Baus hingekommen sein sollten. Sie könnten ja nicht spurlos verschwunden sein. Die Rampen, die man auf solchen Abbildungen sieht, sind außerdem oft erheblich zu steil. Selbst Ägyptologen rechneten mit 10° oder 20° Steigung, was viel zu viel ist. Bei einem mäßigen Anstieg von 3 1/5° nach Goyon wäre diese Rampe 3,3km lang⁵. Lauers Vorschlag von 1948⁶ zielte darauf hin ab, die Masse zu verringern. Daher sollte eine 375m lange Rampe auf die Mitte einer Pyramidenseite hin von unten nach oben hin immer schmaler werden. Jedoch beträgt der Anstieg immer noch mehr als 21°. 1989 hat er eine Revision publiziert, in der auch noch weitere Lösungsvorschläge besprochen wurden⁷ (siehe gleich weiter unten). Hölschers Vorschlag ging von der Existenz einer stufigen Rohbau-Kernstruktur einer Pyramide aus. Dann sollten auf den einzelnen Stufen Ziegelmasse parallel zu den Seiten aufgebaut gewesen sein, über die man die Steine heraufgezogen hätte⁸. Goyon will dieses Verfahren nur für Stufenpyramiden gelten lassen, geht also davon aus, die richtigen Pyramiden seien alle horizontal durchgehend gemauert⁹. Im übrigen hält er die Rampen für immer noch zu steil.

⁴ Z.B. in: Ancient Egypt. Discovering its Splendors, published by The National Geographic Society, (Washington 1978), Abb. S.98-99.

⁵ G. Goyon, Le secret des bâtisseurs des grandes pyramides 'Khéops', (Paris 1977),71.

⁶ J.-Ph. Lauer, Observations sur les pyramides (BdE 30), 1960,56; Ders., Das Geheimnis der Pyramiden [Le mystère des pyramides, Paris 1974], München/Berlin 1980,256; zuerst in Le problème des pyramides d'Égypte, (Paris (1948), 1952),177

⁷ In: RdE 40 (1989), 91ff.

⁸Nach Goyon, (Anm.5), 82, Fig.23, aber von diesem mit falschem Zitat belegt.

⁹ Auf dieses Kardinalproblem komme ich unten zurück.

Seine eigene Lösung sieht dann eine allseits die Pyramide umhüllende Rampe aus Ziegeln vor, die außen auf den noch ungeglätteten Steinen der Verkleidung aufsitzen soll mit einer Höhe von außen jeweils 20m und einer Arbeitsbreite von 17m¹⁰. Dagegen ist eingewendet worden, es sei doch wohl sehr fraglich, ob eine solche Rampe auf einer schiefen Ebene von rund 52° hinreichend Halt fände. Abgesehen davon ist im Jahre 1987 eine Modellrechnung zu diesem System publiziert worden, deren Autor Henri Paul¹¹ unter dieser Prämisse auf eine Gesamtbauzeit von 43 Jahren kommt, während man ansonsten nur mit ca. 20 rechnet, was der vermutlichen Regierungszeit des Cheops entspricht, für dessen Pyramide die Goyon'sche Idee entwickelt wurde. Stadelmann hält zwei Varianten für akzeptabel¹². Erstens das System Arnolds¹³ mit einer wie eine Schneise ins Pyramideninnere gelegten Rampe (bis in 35m Höhe, Steigung 8° bis 10°), dann deren Verlängerung nach außen (150m bis 200m Länge, führt bis in 60-65m Höhe), Kehrtwendung seitlich um 180° (für weitere 20m bis 30m). Für die letzten 50 Höhenmeter (ca. 150 000 Blöcke) ist in diesem Modell eine Treppe vorgesehen. Dieses Verfahren käme für die Pyramiden vom Ende der 4. Dyn. an in Betracht, nicht für die von Gizah, weil die Bresche dort läge, wo die Große Galerie und die endgültige Grabkammer eingebaut wurden. Zweitens. Die von Stadelmann offenbar favorisierte Lösung beruht auf einer Revision Lauers seines eigenen Vorschlages von 1948. Diese hatte er zuerst 1982 in Kairo in einem Vortrag bekanntgemacht¹⁴. Das Resultat ist von Stadelmann unterschiedlich resümiert worden; zunächst so¹⁵: „Er geht von einer einzigen Rampe aus, die parallel geführt an eine der Pyramidenseiten gelehnt gewesen sei, wodurch einmal Material gespart und gleichzeitig die freie Messbarkeit gewahrt war. Diese Rampe konnte langsam und im letzten Stück von 7° auf 10-12° Steigung gebracht werden, dann

¹⁰ Goyon, (siehe Anm. 5), 83.

¹¹ La Rampe de Khéops, (Paris 1987) (60pp, maschinenschriftlich); ISBN 2-9501872-0-X. Das Heft wurde von seinem Autor an ägyptologische Institute verschickt.

¹² R. Stadelmann, Die ägyptischen Pyramiden, 3. Aufl. (Mainz 1997), 224.

¹³ D. Arnold, in: MDAIK 37 (1981), 15-28.

¹⁴ Publiziert in: BIE 63 (1981-82), Le Caire 1986, 123-57; Ders., in: RdE 40 (1989), 91ff.

¹⁵ R. Stadelmann, Die ägyptischen Pyramiden, (Mainz 1985), 222.

wieder auf die gesamte Länge ausgeglichen und über die Pyramidenkante hinaus verlängert werden. Damit könnte eine Höhe von 100m erreicht werden, dann müsste die Rampe aber wohl in eine Treppe übergehen“. Wenn ich das für 10° nachrechne, komme ich auf eine Gesamtlänge der Rampe bis 100m Höhe von an der Basis 567m. Wenn man davon die Breite der Pyramide an der Basis von 230m abzieht, ragte diese Rampe dann also an einer Seite 337m in die Wüste hinaus. Das Aussehen einer solchen Treppe wie sie Stadelmann erwähnte, hat 1985 Isler skizziert¹⁶, von dem der, wie mir bis vor kurzem schien, praktikabelste Vorschlag von allen stammt, nämlich das Hebeln der Steine über Treppen, und zwar für sämtliche Steine. Praktische und dokumentierte Feldversuche nach einer solchen Methode stammen von Hodges¹⁷. Ich komme auf eine bessere Lösung noch im Detail zurück; bleiben wir zunächst bei den Rampen. In einer späteren Auflage seines Pyramidenbuches hat Stadelmann seine Meinung geändert und den Lauer'schen Vorschlag anders zusammengefasst¹⁸: „Diese [gemeint: Rampe] stelle ich mir nach einem Modell, das der Altmeister der Pyramidenforschung Jean-Philippe Lauer, 1982 in einem Vortrag im Institut d’Egypte vorgelegt hat, als eine angelehnte Rampe vor, die parallel zu und gegen eine der Pyramidenflanken konstruiert ist und diese als feste stützende Seite nutzt und gleichzeitig die dort stehengebliebenen kleinen Rampen als festigenden Unterbau beibehält ...“¹⁹

Wenn ich versuche, eine Tendenz aus diesen vorliegenden Lösungsvorschlägen abzuleiten, dann ist es die, dass man offenbar immer mehr auf Minimierung des Materialaufwandes für Rampen abzielt. Die Möglichkeiten im Gelände selbst, das in sämtlichen bisherigen Vorschlägen souverän vernachlässigt wurde, hat M. Lehner untersucht²⁰. Danach ist für eine Rampe außerhalb des Pyramidenmassivs überhaupt nur auf der Südseite Platz. Lehner

¹⁶ M. Isler, in: JARCE 22 (1985), 129-142; JARCE 24 (1987),95-112.

¹⁷ P. Hodges, How the pyramids were built, (Longmead 1989).

¹⁸ Stadelmann, (Anm.12),225.

¹⁹ Im folgenden sagt Stadelmann nun, man habe ab 20m Höhe nicht mehr in horizontalen Lagen gebaut, sondern über würfelförmige Stufen, wie man an der Mykerinospyramide und anderen Pyramiden deutlich sehen könne. Siehe unten meine weitergehenden Vorschläge.

²⁰ In: MDAIK 41 (1985),109ff. Siehe besonders S.130.

denkt an zwei Rampen bis in die Höhe von 30m. Die eine lehnt sich an die Südseite an, die andere kommt aus dem Steinbruch und zielt etwas schräg auf die SW-Ecke. Die Länge letzterer beträgt 320m bei 6° 36' Anstieg. Das nächste Teilstück lehnt sich an die Westseite an und geht über 250m bei 7° 18' bis auf 62m Höhe. Ich brauche jetzt nicht im einzelnen die Daten zu zitieren, man sieht, wie es weitergeht bis zum letzten Abschnitt mit über 18° Steigung. Die als Unterbau nötigen Massen sind nun aber im Gegensatz zu dem, was ich vorhin sagte, wieder erheblich größer. Lehner ist sich auch dessen bewusst und sagt selbst, er sei nicht überzeugt, dass seine Idee die Probleme besser löse als die Goyons.

Es müsste sich eine Lösung finden lassen, bei der die Ägypter ohne Hunderttausende von weiteren Kubikmetern an Rampenvolumen an der Pyramide selbst hätten auskommen können. 1992 hat F. Abitz eine solche neue Theorie für den Steintransport publiziert²¹. Danach wären die Steine in einem von ihm so benannten „Schrägaufzug“ (über eine durch Gewichte und die zu transportierende Last in Bewegung gesetzte Walze) gehoben worden. Diese Idee ist inkompatibel mit meinen Vorstellungen. Es genügt nämlich nicht, einen Vorschlag für ein praktikables Hebesystem zu machen; es muss auch eine Kongruenz mit den noch heute erkennbaren Anhaltspunkten für das Aussehen des Pyramiden-Rohbaus bestehen (siehe unten).

Rampen konventioneller Art gab es trotzdem noch: solche zum Antransport der Steine von den Steinbrüchen bzw. dem Nilkanal her zur Baustelle und eventuell zum Versatz der untersten Lagen der Pyramide. Im folgenden geht es nur noch um das Hochbringen der Steine auf den Pyramidenstumpf. Den oben erwähnten mir bisher alsleuchtendste Lösung für das Transportproblem erschienen Vorschlag hat M. Isler 1985 vorgeschlagen (und nach ihm 1989 P. Hodges), und zwar das Hochhebeln der Steine über außen an den

²¹ F. Abitz, in: ZÄS 119 (1992), 61-82.

Pyramidenstumpf angelehnte breite Treppen aus Stein²². Diese würden in gewissen Abständen durch aus der Verkleidung herausragende größere Steinblöcke mit der Pyramidenaussenfläche verbunden. Auf diese Weise erklärte sich auch das sogenannte Petrie-Diagramm, von dem noch die Rede sein wird. Das heißt aber auch, daß die Verkleidung simultan mit dem Massiv versetzt worden sein müsste. Dieser Vorschlag hat einen Nachteil, nämlich der Anstieg der Treppen entspricht in der ersten Fassung (siehe Anm.16) dem Verkleidungswinkel von ca. 53°, in der zweiten sogar einem Anstiegswinkel von ca. 84° (s.u.). Das wird jeder Baupraktiker als ungeheuer gefährlich bei dem Transport schwerer Steine bezeichnen.

Nun die versprochene bessere Lösung. Sie stammt von Franz Löhner. Sie ist bereits 1993 in erster Auflage publiziert worden, aber in den Kreisen der Ägyptologen, so auch von mir, unbeachtet geblieben, weil sie mit der abwegigen Idee von Herbert Illig kombiniert war, die Pyramiden als eisenzeitlich zu erklären²³. Der Titel des Buches der beiden Ko-Autoren lautet: H. Illig/F. Löhner, Der Bau der Cheops-Pyramide. Nach der Rampenzeit, inzwischen 5. Aufl. 2001 im Mantis-Verlag von Herrn Illig. Ein Grund für die Nichtbeachtung des Buches dürfte auch der Untertitel sein, bei „Rampenzeit“ denkt man an die philosophische These der „Achsenzeit“ und ich bin nie auf die Idee gekommen, dass der Untertitel besagen soll: „Wir befinden uns in einer Zeit, in der niemand mehr an Rampen als wesentliche Mittel des Pyramidenbaus denkt“. Insofern bin ich mit beiden Autoren einer Meinung. Ich bin über den Umweg, dass mir der Autor Illig eine Rezension meiner Ideen zum Pyramidenbau, wie sie bisher hier auf der Instituts-Homepage zu lesen war, in der ebenfalls von ihm herausgegebenen und von

²² Siehe oben Anm.16. Im zweiten der dort genannten Aufsätze hat Isler seinen ersten Vorschlag modifiziert und den Kernstufen-Rohbau einer ersten Bauphase akzeptiert. Er bleibt aber bei den rechtwinklig auf sie zu führenden Treppen.

²³ Es soll unmöglich gewesen, sein Hartgestein mit Kupferwerkzeugen zu bearbeiten. Der Beweis des Gegenteils ist aber durch experimentelle Archäologie erbracht: Denys A. Stocks, Experiments in Egyptian Archaeology. Stoneworking technology in Ancient Egypt, London/New York 2003.

uns als abseitig betrachteten Zeitschrift „Zeitensprünge“ 3,2002 zugeschickt hat. Darin werde ich gelobt wegen meiner Ablehnung der Rampen, aber getadelt wegen der Idee des Hebelns der Steine. Also habe ich das Buch gekauft und – in der Tat – man findet auch in solchen Büchern u.U. Vernünftiges. ([Abb.19](#), [Abb. 20](#)). Franz Löhner wendet gegen die Thesen von kurzgesagt „Schlitten über Rampe“ zu Recht ein, dass die Vertreter solcher Thesen immer die physikalischen Gesetze vernachlässigt haben, die besagen, dass der vom Menschen entwickelbare Kraftaufwand beim Transport über eine ansteigende Ebene viel zu gering ist, um damit die Cheopspyramide in vertretbarer Zeit mit vertretbarer Anzahl von Schleppern zu bewältigen. Die Reibung über Sand ist viel zu groß und Schlammbahnen scheitern am Problem der Wasserversorgung. Löhner rechnet vor, dass ein gutes Mittel, die Reibung zu minimieren, die Bewegung der Steinschlitten über Holzschienen wäre, die durch Fett oder Öl glitschig gehalten werden können. Außerdem kann der Kraftaufwand auf ansteigender Ebene dadurch herabgesetzt werden, dass die Schlitten über zwei Zugseile, die ein Stück bergauf über Umlenkrollen in die Gegenrichtung zurückgelenkt werden von zwei Mannschaften, die selbst bergab laufen, emporgezogen werden. Auf diese Weise geht das Eigengewicht der Schlepper in die Bilanz des notwendigen Kraftaufwands im positiven Sinn mit ein. Löhner stellt sich vor, dass 75m Abstand zwischen zwei Umlenkstationen gerade noch günstig sind in bezug auf Seilbelastung und –gewicht. Also müssen die Steine alle 75m gestoppt und in die nächsthöheren Seilzüge eingeklinkt werden. Die sozusagen technologischen Voraussetzungen für diese Hypothese sind gegeben: Seilrollen besaßen die ägyptischen Segelschiffe, und Fett oder Öl als Gleitmittel zu verwenden, ist nichts Revolutionäres, genauso wenig wie die Idee von Holzschienen als eine Art ortsfester Schlitten. Die Modellrechnung Löhners besagt, daß mit solchen Holzschienen ca. 51 Mann 2,8t sogar über 52° Anstieg bewegen können. ([Abb.21](#)) Damit sind wir bei dem Punkt angelangt, bei dem mein Einverständnis aufhört. Löhner und Illig gehen nämlich

von der von mir bekämpften Idee aus, die großen Pyramiden von Giza seien anders als die kleinen nicht als innere Kernstufenbauten unter späterer Hinzufügung eines Verkleidungsmantels errichtet worden, sondern seien von vornherein mit Verkleidung horizontal über die Fläche gemauert. Infolgedessen ruhen die Holzschienen direkt auf der Verkleidung und sind rund 52° steil. Die beiden Autoren sehen als Weg für die Männer eine Art Beplankung der Verkleidungssteine vor mit horizontalen Trittbalken, um das unkontrollierte Herabstolpern zu verhindern. Mir scheint es ganz unwahrscheinlich zu sein, daß das realistisch ist bei solch einer starken Neigung. Außerdem hätten die Schlepper nach jedem Aufwärtszug eines Steins sich selbst wieder, und dann mit 100% eigenem Kraftaufwand, hinaufbewegen müssen. Wieviel Male pro Tag hält das wohl jemand aus ? Ich möchte nun den Vorteil des „Emporgleitens“ der Steine über eingefettete Schienen mit meinem Vorschlag der schwachen Steigung über Treppen parallel zu den Langseiten der Kernstufen verbinden. Statt Stufen werden Holzschienen verlegt und verankert. Jeweils bei Erreichen der Oberkante eines bereits verlegten Abschnittes jeder Steinlage muss der neue Stein seitlich verschoben werden, bei Löhner-Illig geradeaus. Das Abladen wird dadurch vielleicht etwas schwieriger, aber auch bei Illig-Löhner müssen, auf der aktuellen Oberfläche angekommen, die Steine durch Hebeln seitwärts bewegt werden. Bei Würdigung der Löhner-Illig These ist außerdem ([Abb.22](#)) der Befund bei der Mykerinospyramide zu berücksichtigen, nämlich, daß die Verkleidung gar nicht geglättet versetzt wurde wie die Zeichnung hier und bei vielen anderer Autoren suggeriert, sondern in Bosse, also mit sehr unregelmäßiger Oberfläche. Die Glättung, d.h. das Abschlagen von 20cm oder 30cm Stein in die Tiefe hin erfolgte erst nach der Fertigstellung des Baus. Eine solche Oberfläche war kaum geeignet für eine Bahn à la Löhner.

Dass die großen Giza-Pyramiden eine stufige Innenstruktur besitzen müssen, wird jetzt zunehmend anerkannt²⁴. Auf der anderen Seite hat Isler ein sehr wesentliches Argument gegen die Existenz von Rampen außer dem des übergroßen Rauminhaltes beigebracht: Bei einigen Pyramiden, z.B. der von Meidum und neuerdings auch bei der Knickpyramide sind spätere Vergrößerungen durch Hinzufügung äußerer Mäntel bewiesen oder mit Wahrscheinlichkeit anzunehmen. Wenn sich an den Baukern der ersten Phase nun bereits große Rampen anlehnten, wäre die Vergrößerung mit einem sehr großen zusätzlichen Aufwand an Ab- und Wiederaufbau der Rampen belastet gewesen, der deren Existenz noch mehr in Frage stellt.

([Abb.1](#)) Borchardt hatte sich vor 70 Jahren vorgestellt²⁵, dass die Cheops-Pyramide aus großen steil geböschten Kernstufen aufgebaut sei, deren Dicke von 10 Ellen er an den sogenannten „Gürtelsteinen“ des aufsteigenden Korridors ablesen wollte. Man hätte demnach in gewissen Abständen immer wieder Kernstufen-Außenwände mit dem Böschungsrücksprung 1/10 gebildet, die von der Basis her bis zur jeweilig erreichten Höhe des Pyramidenstumpfes aufgestiegen wären. Die Berechtigung des Rückschlusses von der Existenz der „Gürtelsteine“ auf die solcher Kernstufen ist aber von Maragioglio und Rinaldi überzeugend zurückgewiesen worden²⁶. Ich greife nur zwei der wichtigsten aus einem Katalog von sieben Argumenten heraus: Wenn die Pyramide aus solchen Schichten bestünde, dann müsste man etliche Gürtelsteine (gleich Außenwänden von Kernschichten) in dem Grabräuberstollen des Kalifen al-Mai'mun sehen können, weil dieser nämlich ungefähr waagrecht verläuft und mehrere Außenwände durchbrochen haben müsste. Das ist aber nicht der Fall. Das Mauerwerk ist dort homogen. Zweitens hätten die Gürtelsteine

²⁴ Sogar von Stadelmann (mit einer Einschränkung), siehe oben Anm.19. Ein gutes Argument ist auch die Tatsache, dass die Pyramide des Neferirkare in Abusir deutlich als stufiger Kernbau mit 76 Grad Neigung und sekundär hinzugefügter Verkleidung mit Neigung von 54 1/2 Grad errichtet worden ist. (M. Verner, Die Pyramiden, Reinbek 1998, 325. 508).

²⁵ In: Einiges zur dritten Bauperiode der Großen Pyramide bei Gise (BÄBA 1 (1932)), Kairo 1937, 2ff.

²⁶ V. Maragioglio - C. Rinaldi, La grande piramide di Cheope (L'architettura delle piramidi menfite IV, 1-2), (Rapallo 1965), 114ff.

als präsumptive Außenflächen einer Kernstufe eine sehr merkwürdige geometrische Form. Es wären, nach Borchardts eigener Berechnung, hochkant gestellte Orthostaten von mindestens 2,20m Höhe bei einer Dicke von nur 1,2m²⁷. Derartiges ist bisher bei keiner Stufenpyramide oder sonstigen Bauwerken in Ägypten beobachtet worden. Blöcke dieser Dimensionen werden immer als Binder in die Tiefe des Mauerwerks verlegt, niemals hochkant gestellt. Der Sinn dieser Steine muss ein anderer sein. Nach Maragioglio-Rinaldi ist es der, dass die ägyptischen Bauleute einen Querriegel gegen den abwärtsgeneigten Schub der Wandblöcke des aufsteigenden Korridors für nötig hielten. ([Abb.1](#)) Lediglich Brinks hat 1981 versucht, diese Idee wieder aufzuwärmen²⁸ und sogar die Höhen der Kernstufen-Außenkanten aus dem sogenannten Petrie-Diagramm abzuleiten²⁹ ([Abb.2](#)). Von diesem sind die von unten nach oben variierenden Höhen der Steinschichten festgehalten. Ich habe dieselben Daten nach der neueren Aufnahme von Goyon³⁰ etwas anders umgezeichnet. Man sieht, dass die Steinhöhen nach oben hin zwar tendenziell abnehmen, aber nicht kontinuierlich, sondern in Sprüngen, und dass es immer wieder Lagen mit gegenüber der nächstunteren vergrößerten Höhe gibt. Die Höhensprünge sollen nach Brinks die Existenz einer in der Lage darunter liegenden Kernstufen-Außenkante verraten. Und zwar habe die Regel bestanden, die Distanz zwischen Kernstufen-Außenseite und Verkleidung stets mit ungefähr gleichgroßer Zahl von Steinen aufzufüllen. Das hätte dann dazu führen müssen, bei Erreichen einer Kernstufen-Oberkante (also dort, wo eine Art von „Plattform“ entsteht), längere bzw. damit auch höhere Steine zu verwenden. Warum eine solche Regel bestanden haben sollte, wird nicht erläutert. Man kann allerdings bei den ihrer Verkleidung beraubten Pyramiden sehen, dass das Mauerwerk hinter der Verkleidung keineswegs aus allseits geometrisch glatt behauenen Steinen besteht, sondern aus ziemlich unregelmäßigen

²⁷ L. Borchardt (Anm.24),3.

²⁸ In: GM 48 (1981), 17-24.

²⁹ W.M.F. Petrie, The Pyramids and Temples of Gizeh, (London 1883), Taf.VIII.

³⁰ In: BIFAO 78 (1978),405-413. Bei den in Abb.1 fett angezeigten Kernschichten hat sich Brinks bei der Ermittlung der Maxima jeweils um eine Position geirrt.

Blöcken, oftmals „Bruch“. Wenn man auch eine Schicht immer gleich hoch gemacht hat, so sind doch die Steine einer Schicht nicht auch gleich lang oder breit. Die Erklärung überzeugt daher nicht, zumal es im Petrie-Diagramm auch Nebenmaxima gibt, z.B. bei Schicht 48. Es gibt keinen Grund gegen die Annahme, die Cheopspyramide sei im Prinzip in einer jeden Schicht horizontal über die aktuelle Fläche gemauert worden. Trotzdem wird es dabei einen abgestuften Kernbau gegeben haben, aber einen solchen anderer Struktur. Kernstufen müssen sich dadurch ergeben haben, dass ja wegen der beabsichtigten Pyramidenform die Seitenlängen nach oben hin abnehmen mussten. Ich will zeigen, dass, wenn man in regelmäßigen Höhenabständen nach Erreichen der Lage n die Lage n+1 um einige Meter weiter innen beginnen ließ, über die Lage n, also über bereits verlegtes Kernmauerwerk, innere schwach ansteigende Steintreppen parallel zu einer Pyramidenseite verlegt werden konnten, und zwar entweder nur auf einer Pyramidenseite im Zickzack oder auf allen vier Seiten umlaufend ([Abb.3](#), [Abb.4](#), [Abb.5](#), [Abb.6](#)). Ich nehme für die Cheopspyramide hypothetisch Kernstufen von 25 Ellen³¹ Höhe und eine Arbeitsbreite der Treppen von 14 Ellen an, wieso, wird noch erläutert werden. Ein akzeptabler Neigungswinkel ergibt sich dabei bis zur Höhe von 225 der 280 Ellen der Pyramidenhöhe, und zwar beträgt dort die Seitenlänge unter Abzug von zweimal einer Arbeitsbreite der umlaufenden Plattform von je 14 Ellen noch 56,8 Ellen. Auf diese Strecke hin müssen die Steine um 25 Ellen gehoben werden können, macht rund eine halbe (0,44) Elle pro Elle. Durch den Anstieg einer solchen Treppe parallel zu einer Pyramidenseite gegen eines ihrer beiden Enden hin ragt diese von einem gewissen Punkt ab jeweils über die Fluchtlinie der späteren Verkleidung hinaus. Diese überflüssigen Steine müssen später abgebaut werden, wenn die Kernstufen zugesetzt werden und die Verkleidung hinzukommt. Für die letzten 55 Ellen oder ca. 29m muss dann eine Außentreppe à la Isler vorgesehen werden. Dieser Rest wird erst zusammen mit der

³¹ Ellen zu je 52,3cm. Ich halte die Revision von E. Roik, Das Längenmaßsystem im Alten Ägypten, (Hamburg 1993) für unzutreffend. Das kann hier nicht näher begründet werden.

Verkleidung hinzugefügt, und zwar über eine solche Isler-Treppe von unten nach oben. Die von mir gerade genannten Werte gelten für eine Treppenführung nur auf einer Seite. Erweitert man sie über alle vier Seiten umlaufend, braucht man die Steine pro Seite nur um eine Viertel-Kernstufenhöhe anheben; dafür ist aber der Weg wesentlich länger. Da der Anstieg im unteren Bereich der Pyramide sehr mäßig ist, wird man umlaufende Treppen allenfalls weiter oben vorgesehen haben. Der Anstieg von 25 Ellen in 225 Ellen Höhe wäre damit nicht mehr über 56,8 sondern 227,2 Ellen zu verteilen (0,11 E pro E). In 275 Ellen Höhe angekommen, ist nun die resultierende Fläche zu klein für eine Fortsetzung des Verfahrens. Hier muß spätestens auf die Methode der äußeren Treppen über die fertigen Pyramidenseiten nach Füllung der Stufen und Versetzen der Verkleidung zurückgegriffen werden. Stadelmann hat anders argumentiert: Verkleidung und Kernmauerwerk seien wegen gegenseitiger Verzahnung gleichzeitig verlegt worden³². Das stellt aber in Wirklichkeit meiner Lösung keine Hindernisse in den Weg. Denn meine Kernstufen liegen jeweils einige Meter tief hinter der Linie der Verkleidung (außer in Höhe der Kernstufen-Außenkanten). Die spätere Auffüllung von den Außenkanten der Kernstufen bis zur Außenlinie der Verkleidung erfolgte selbstverständlich in gegenseitigem Verbund³³. Wir können heute nirgends so weit in den Kern einer Pyramide hineinblicken, um die von mir postulierten Kernstufen erkennen zu können. Was Stadelmann bereits als Kernmauerwerk anspricht, kann ohne weiteres Auffüllung zwischen Kernstufe und Verkleidung sein. Es ist nicht zu erwarten, dass sich Stufenrohbau und Auffüllung von der Maurertechnik her unterscheiden.

([Abb.7](#), [Abb.8](#), [Abb.9](#), [Abb.10](#), [Abb.11](#)). Nachdem ich meine Lösung summarisch vorgestellt habe, komme ich nun zu den Details, die sie begründen und fange sozusagen von vorne

³² Siehe oben Anm.12,223.

³³ Nach Maragioglio-Rinaldi akzeptiert von M. Isler, in: JARCE 24 (1987),98, 100, Fig.3-4.

wieder an in einem zweiten Durchgang. Brinks hat in einem zweiten Artikel³⁴ dargelegt, welche bautechnischen Größen seiner Meinung nach den Arbeitsablauf bzw. das spätere Aussehen einer Pyramide bestimmt haben. Dieser Aufsatz hat bisher keine Beachtung gefunden. Ich denke aber, dass Brinks im Kern etwas Richtiges gefunden hat, auch wenn ich seine Theorie nur zum Teil akzeptieren kann. Er postuliert 5 Determinanten für den Bau einer Pyramide; ich werde sie jetzt der Reihe nach vorstellen:

1. 1. Die Basislänge des Kernschichten-Rohbaus (in seiner Originalzeichnung mit $2b^*$, hier mit $2(b-a)$ bezeichnet). Wenn man die Fertigbaumaße der AR-Pyramiden tabelliert (Anhang 1), kommt man zu folgendem Ergebnis. (Wegen des unterschiedlichen Forschungs- bzw. Erhaltungsstandes sind die Werte nicht alle gleich gut abgesichert, aber wahrscheinlich richtig). Die Frage drängt sich auf, warum die Ägypter auf solch „krumme“ Werte wie 120, 210, 140, 155, 362 Ellen als Fertigbaumaß für eine Pyramide gekommen sein sollten. Man kann vermuten, dass vielleicht die Länge mit Verkleidung gar nicht die eigentliche Plangröße war, sondern sich eben am Ende gerade so ergab, in gewissen, durch den Rohbau vorgegebenen Minimalabmessungen natürlich. Was kann es sonst gewesen sein? Die gesuchte Größe könnte nach Brinks die Rohbaulänge hinter der Verkleidung gewesen sein. Sie nachzuweisen, ist die Schwierigkeit, weil viele Pyramiden nicht tief genug zerstört, also „einsehbar“ sind. In seiner Tabelle (nicht in Anhang 1 reproduziert) bleiben rein hypothetisch die Werte für Snofru-Nord, Cheops, Pepi I, Merenre, Pepi II; die anderen sind auf Grund von Indizien in den publizierten Plänen erschlossen. Es ergeben sich nun aber ohne Rücksicht auf den späteren Endzustand glattere Rohbaulängen von 50er- und 100er- Vielfachen von Ellen.

³⁴ In: GM 78 (1984),33-48.

[\(Abb.7, Abb.8, Abb.9, Abb.10, Abb.11\)](#)³⁵. Genauso, wie Brinks dies darstellt, kann es aber nicht richtig sein. Der Fluchtwinkel über die Außenkanten des Kernstufen-Rohbaus muss die spätere Pyramidenspitze treffen, d.h., die sich aus ihm ergebende Pyramidenhöhe muß dieselbe sein wie die tatsächlich erzielte, die wir nach der Rekonstruktion oder der Messung des Verkleidungswinkels kennen. Bei dem von Brinks vorgeschlagenen Winkel von $54^{\circ} 30'$ für die Rohbau-Fluchtachse trifft das für die Cheopspyramide zu, wenn dieser Winkel 20 Ellen hinter der Verkleidung ansetzt. An dieser Stelle ist eine Pyramidenseite 400 Ellen lang. Das ist auch so dargestellt im ersten der Aufsätze von Brinks. Der Rohbau beginnt demnach ein Stück weit eingerückt und misst weniger als 400 Ellen im Quadrat. Im zweiten Artikel ist von der Rohbaulänge von 400 Ellen die Rede. Dann stimmt die Definition nicht mehr. Nur auf der Basis von 400 E ergibt der Winkel $54^{\circ} 30'$ die gewünschte Höhe, d.h., da der Winkel um den Versatz der Kernstufen vor der Basis der ersten Stufe ansetzt, ist der Rohbau tatsächlich kleiner als 400 E. Als Planungsgröße kann eine frei wählbare fiktive Seitenlänge (von z.B. 400 E) gelten. Die tatsächliche Rohbaulänge ist wegen des quadratischen Grundrisses um zweimal den Versatz kürzer, der sich aus der Höhe der ersten Kernstufe und dem Fluchtwinkel über die Kernbaustufen ergibt. Aus dieser Wahl folgt die Pyramidenhöhe. Die tatsächliche Fertighaulänge kann noch variiert werden und hängt von der Stärke der Verkleidung an der Basis ab.

2. Die zweite Determinante Brinks' ist die Stärke seiner für die Cheopspyramide erschlossenen Kernschichten. Diese Annahme in bezug auf die Struktur dieser Pyramide lehnte ich bereits ab.

3. Der Böschungsrücksprung der Kernschichten h^*/f . ([Abb.10](#), [Abb.13](#)). Daß hinter der Verkleidung der Pyramide im Kernmauerwerk eine Rohbaustruktur in großen Stufen

³⁵In: Die erste Stufe ist in Abb.10 nur wegen des Brink'schen Vorbildes ebenso hoch gezeichnet. Weiter unten nehme ich gleich hohe Kernstufen à 25 Ellen an.

steckt, kann man außer bei den Stufenpyramiden bei den geometrisch vollen großen Pyramiden nur bei der Mykerinospyramide sehen³⁶, weil bei ihr auf der Nordseite eine tiefe Bresche gesprengt worden ist. Das heißt, hier gibt es tatsächlich einen abgestuften Rohbaukern; erst in einer zweiten Phase wurden die Stufen aufgefüllt und die Verkleidung mit dieser verzahnt. Die Rohbaustufen sind geböschet, und zwar nach dem groben Plan von Maragioglio-Rinaldi im Verhältnis 16:2 ½ d. h., auf 16 Ellen Höhengewinn kommt ein Einrücken um 2 ½ Ellen. Das entspricht einem Winkel von 81° 12'. Von anderen Pyramiden gibt es auch andere Werte. Aus den einsehbaren Partien der Mykerinos-Pyramide lässt sich auf 4 plus x Stufen schließen. Am einleuchtendsten wäre es, wenn sie alle gleich hoch gewesen wären; Maragioglio-Rinaldi nehmen das an, lassen allerdings offen, ob ihre so rekonstruierten Stufen 1 und 2 nicht nur eine einzige gebildet hätten. Die Stufenhöhen betragen im ersten Fall 16 Ellen, der Versatz dabei ca. 9 ½ E. Der Fluchtwinkel über die Außenkanten des Rohbaus beträgt bei der Annahme gleich hoher Stufen am Plan gemessen 54° 30'. Damit ergibt sich auch die Höhe der Pyramide im Rohbau, wobei die Spitze zunächst nur Theorie bleibt und aus rein praktischen Gründen erst am Schluss gemauert wird. Der Fluchtwinkel $\tan \alpha$ (siehe auch [Abb.11a](#), [Abb.14](#), [Abb.15](#)) ist das Verhältnis von h/b^* . Aus der Skizze ist zu entnehmen, dass die erzielte Höhe der Pyramide nur von der Determinante 1 (fiktives Quadrat aus dem Versatz des Fluchtwinkels vor den Kernstufen) und diesem selbst abhängt.

4. 4. Böschungsrücksprung der Fluchtachse durch die Kernstufenecken h/d^* . ([Abb.11](#), [Abb.8](#)). Wir konnten an der Mykerinospyramide den Fluchtwinkel des Rohbaus über die Seiten gemessen mit 54° 30' als wahrscheinlich richtig bestimmen. Daraus lässt sich der entsprechende Winkel über die Diagonale berechnen.

³⁶ V. Maragioglio-C. Rinaldi, L'architettura delle piramidi menfite VI,1-2, (Rapallo 1967),34 und Taf. 4, Fig.2.

[\(Abb.7, Abb.8, Abb.9, Abb.10, Abb.11\)](#).

Seiten $\tan \alpha = h / b^*$; $h = \tan \alpha \cdot b^*$

Diagonale $\tan \beta = h / d^*$; $h = \tan \beta \cdot d^*$

Substitution: $\tan \alpha \cdot b^* = \tan \beta \cdot d^*$

$\tan \alpha \cdot b^* = \tan \beta \cdot d^*$ $d^* = b^* \cdot 2$ (Diagonale im Quadrat)

$\tan \beta = \tan \alpha \cdot b^* / b^* \cdot \sqrt{2}$

$\tan \alpha 54^\circ 30' = 1,4$ $\tan \beta = 1$ (d. h. 45°)

5. Das Ergebnis ist frappant. Der Fluchtwinkel über die Diagonale hat das einfachstmögliche Verhältnis von 1:1, d.h., 10 Ellen Höhengewinn bedeuten 10 Ellen Einrücken nach innen. Dieser Wert ist nach Brinks bei allen überprüfbaren Pyramiden vorhanden: Snofru (Meidum), Mykerinos, Sahure, Neferirkare. Allerdings hat er nur die großen Pyramiden berücksichtigt, nicht die kleinen Satellitenpyramiden, die sämtlich wegen der Entfernung ihres äußeren Mantels ihre Kernstruktur zeigen. Ein gleich zu besprechendes Beispiel beweist, dass man nicht voreilig annehmen darf, die Ägypter hätten immer einen Diagonalwinkel des Rohbaus von 45° angestrebt, d.h., die Platzierung der Rohbaustufenkanten mithilfe des einfachen Rücksprungs 1:1 über die Ecken durch Fluchten kontrolliert.

5. Die letzte Determinante Brinks' ist die Basisstärke der Verkleidung.

Man hat bisher vor Brinks nirgends deutlich darauf hingewiesen, dass der Verkleidungsmantel in seiner Stärke von unten nach oben beträchtlich abnimmt. Die AR-Pyramiden weisen an der Basis Werte zwischen 5 und 30 Ellen auf. Diese sind es, die am Ende die Fertigbaulänge der Pyramide bestimmen.

Die Messung der Neigungswinkel an Pyramiden ist keine leichte Sache, erstens, weil die Verkleidungen fast nirgends über hinreichend lange Strecken erhalten sind, zweitens, weil die einzelnen Seiten einer Pyramide auch kleinere Abweichungen voneinander aufweisen. Das Pyramidion der nördlichen Pyramide des Snofru in Dahschur z.B., das 1982 ganz zertrümmert gefunden wurde³⁷, weist anscheinend (vorbehaltlich genauerer Messungen nach Restaurierung) leicht unterschiedliche Seiten-Neigungswinkel und einen etwas steileren Kantenwinkel über die Diagonale als 45° auf. In der Tat lässt sich leicht sehen, dass alle Seitenwinkel, sei es der fertigen Verkleidung, sei es des Rohbaus, die im Bereich zwischen 51° und 57° liegen, auf Diagonalwinkel in der Nähe von 45° führen, genauer gesagt, zwischen $41^\circ 24'$ und $47^\circ 42'$. Gerade beim Pyramidion musste man am Ende der Bauarbeiten natürlich etwas „tricksen“, um Ungenauigkeiten der Bauausführung auszugleichen. ([Abb.13](#)) Wenn die Rekonstruktion der Folge der Kernstufen-Außenkanten bei der Mykerinospyramide im Plan von Maragioglio-Rinaldi richtig ist, woran ich nicht zweifle, lässt sich ein Fluchtwinkel über diese von $54^\circ 30'$ ablesen; ([Abb.12](#)) bei der an einer Stelle ca. 7m hoch erhaltenen Verkleidung der Basis der Chefrenpyramide stecken hinter der Verkleidung zwei abgearbeitete Felsstufen, deren Außenkanten ebenfalls durch einen Fluchtwinkel von $54^\circ 30'$ aufeinander bezogen sind³⁸. Man wird dahinter ein Prinzip vermuten, das mit dem Rohbau in Stufenform zu tun hat. Dass auch die großen Pyramiden von Gizah einen solchen Rohbau aufweisen, ist wahrscheinlich; jedenfalls besitzen ihn alle anderen kleineren Pyramiden, die viel stärker zerstört und daher einsehbar sind. Es gibt keinen Grund für die Annahme mancher Autoren, die großen Pyramiden sollten etwa im Gegensatz dazu durchgehend horizontal gemauert sein. Daß im Falle der großen Pyramiden von Gizah die Kernstufen tiefer im Kernmassiv verborgen sein könnten, wird auch von

³⁷ R. Stadelmann, in: MDAIK 39 (1983),235, Taf.75.

³⁸(Hinweis Brinks), abgemessen am Plan V. Maragioglio-C. Rinaldi, La grande piramide di Cheope (L'architettura delle piramidi menfite IV,1-2), (Rapallo 1965), Taf.6.3. Der dort angegebene Winkel von $53^\circ 10'$ bezieht sich dagegen auf die fertige Verkleidung.

Arnold angenommen bzw. zugegeben³⁹. Dass der Vorschlag von Borchardt und Brinks hinsichtlich der von einander unabhängigen durchgehenden „Kernschichten“ falsch ist, wurde bereits gesagt, dasselbe gilt auch aus anderen Gründen für die Borchardt'sche Rekonstruktion der Pyramide des Sahure von Abusir, die angeblich nach dem gleichen Schema eines zentralen Kerns mit darum gelegten Mänteln errichtet worden sein soll. Maragioglio-Rinaldi haben zu Recht darauf hingewiesen, dass der bei dieser Pyramide vorhandene zentrale Schacht eine solche Konstruktion ausschließt⁴⁰, weil der sozusagen hauchdünne Kern den Schub der später eingebauten riesigen Deckblöcke der Grabkammer nicht ausgehalten hätte.

[\(Abb.16,](#)

[Abb.17\)](#)

Durch einen glücklichen Fund der beiden Italiener Maragioglio und Rinaldi können wir Einblick nehmen in die Art und Weise, wie die Ägypter die für den Pyramidenbau wichtigen Größen, nämlich Höhen und Fluchtwinkel der Rohbaustufen kontrolliert haben⁴¹. Soviel ich sehe, sind ihre Beobachtungen merkwürdigerweise nicht weiter beachtet worden⁴². Es handelt sich um die nördliche Satellitenpyramide der Cheopsyramide. Ihre Verkleidung und ein großer Teil der Auffüllung der Rohbaustufen ist durch Tätigkeit von Steinräubern, die hier seit dem 12.Jhdt. aktiv waren, verschwunden, die Stufenstruktur sichtbar. Auf der Westseite erkennt man auf der vorletzten Lage der ersten Stufe um 6 Ellen eingerückt eine Mauer aus viel kleineren Blöcken als die darüber und darunter verwendeten, sie besteht aus vier Lagen. Über und hinter ihr liegt der unterste Block der zweiten Stufe. Diese Wand ist also nicht etwa der Unterbau für einen darüberliegenden Block, sondern eine Art steinerne Messlatte. Sie besitzt Aufschriften in roter Tinte. Eine erste Niveaumarkierung befindet sich

³⁹ D. Arnold, *Building in Egypt. Pharaonic Stone Masonry*, (New York/Oxford 1991),159-61. Siehe auch Stadelmann in der 3. Aufl. seines *Pyramidenbuches* (oben Anm.12).

⁴⁰ V. Maragioglio-C. Rinaldi, *L'architettura delle piramidi menfite VI*, (Rapallo 1970),86.

⁴¹ V. Maragioglio-C. Rinaldi, (Anm.39), IV,1-2, (Rapallo 1965), 78, Taf.12, Fig. 10-11.

⁴² Siehe aber Parallelbeispiele von D. Arnold, (Anm.38),12 und Borchardt, *Das Grabdenkmal des Königs Neuser-re*, (WVDOG 7), Leipzig 1907,154, Abb.129.

an der Unterkante der Mauer in Höhe der heutigen obersten Lage der ersten Stufe. Sie hat die Gestalt einer waagerechten Linie, unter der ein auf der Spitze stehendes Dreieck gemalt ist. In ähnlicher Weise markiert man noch heute Niveaus, nur setzt man die Marke darüber. Auf dem ersten Block der ersten und zweiten Lage ist ein Winkel aufgerissen, er bestimmt offensichtlich den Fußpunkt der zweiten Stufe. Der waagerechte Arm gibt gleichzeitig ein Niveau an, und zwar nach der Beischrift mit „sieben Ellen“. Seitlich etwas versetzt darüber ist die Oberkante der dritten Lage durch zwei parallele Striche und eine Dreiecksmarke darunter gekennzeichnet. Dieses Mal ist „acht Ellen“ beigeschrieben. Die Höhendifferenz beider Niveaus beträgt auch richtig eine Elle. Durch die zugrunde liegenden Messungen wurde die Oberkante der ersten Stufe des Rohbaus bestimmt; der Winkel ist ein Maß für das Einrücken der nächst höheren Lage, in diesem Falle der zweiten Stufe. Soweit die Folgerungen von Maragioglio und Rinaldi. Ich denke, man kann und muss die Überlegungen fortsetzen. Der Winkelanriss zeigt, dass die Plattform, die durch das Einrücken der zweiten Stufe entsteht, genau 6 Ellen lang sein sollte. Da wir auch die Stufenhöhe kennen, nämlich acht Ellen, ergibt sich daraus der Fluchtwinkel $\tan \alpha$ von $8/6 = 53^\circ 6'$. Dem entspricht über die Diagonale ein Winkel von $43^\circ 30'$. Ich schließe daraus, wie bereits oben erwähnt, dass eine Kontrolle der Kernstufenecken über die Diagonale nicht durchgeführt wurde. Dies wäre als wahrscheinlich anzunehmen, wenn der Winkel 45° groß wäre, weil das ein einfaches Verhältnis von einer Elle Einrücken bei einer Elle Höhengewinn bedeutete. Um auf 45° übereck zu kommen, hätte die Stufenhöhe des Kernbaus nicht 8 Ellen, sondern 8,4 Ellen betragen müssen oder $8E \ 2H \ 3 \ 1/5F$. Übrigens lässt sich an dem groben Gesamtplan dieser Pyramide bei Maragioglio-Rinaldi der Wert von $55^\circ 24'$ ablesen also ein Unterschied zu obigen $53^\circ 6'$ von $2^\circ 18'$. Bei der Sahure-Pyramide liegt dieser Fluchtwinkel nach der gleichen Quelle bei $55^\circ 36'$. Die von den Ägyptern bevorzugten Fluchtwinkel über die Kernstufen scheinen also innerhalb eines bestimmten Bereiches um 53° bis 55° zu liegen. Dass die Pyramiden nicht über die Diagonale, sondern die Seiten gefluchtet wurden, hat

übrigens schon Borchardt 1893 ausgeführt⁴³. Die Ecken wurden sekundär als Überschneidung der Fluchten der Seiten bestimmt. Wie haben die Ägypter aber die Messungen ausgeführt? Für die Niveaubestimmung kommt als Einfachstes die Addition der Höhen der einzelnen Steinlagen infrage, ein vielleicht ungenaues Verfahren. Das war insofern leicht zu bewerkstelligen, als der Böschungswinkel der Rohbaustufen nicht etwa durch Abschrägen der Vorderkanten der äußeren Steinblöcke erreicht wurde, sondern durch Einrücken der nächsthöheren Steinlage nach innen bei Blöcken mit rechteckigem Zuschnitt. Ungenauigkeiten waren durch größte Sorgfalt der Messung möglichst herabzusetzen. Eine geradlinige Flucht der Stufen-Außenkanten lässt sich nur dann erreichen, wenn auch das Einrücken alle Lagen, die ungleich hoch sind, im richtigen Verhältnis zwischen Böschungswinkel und Steinhöhe erfolgt. ([Abb.15](#)) Das kann man mit einer hölzernen Lehre erreichen. Sie muss ein Stück länger sein als der höchste vorkommende Steinblock und hat die Form eines rechtwinkligen Dreiecks, bei dem Kathete und Ankathete dem Böschungswinkel $\tan \gamma$ entsprechen. Der äußere Schenkel des Dreiecks ist über die Dreiecksspitze hinaus verlängert, damit es über die Bezugskante an die nächst-untere Steinlage angelegt werden kann. Der zu positionierende Stein der nächsten Lage muss nun gegen die Hypotenuse des Dreiecks angeschoben werden. Damit ist automatisch, d.h., ohne Messung, das richtige Maß des Rücksprungs gegeben, vorausgesetzt natürlich, dass diese maßgebenden Steine gut behauen sind. Eine andere Methode der Höhenbestimmung ist die folgende: ([Abb.17](#), [Abb.18](#)) Wenn man den Böschungswinkel bzw. das Verhältnis zwischen Höhengewinn h und Einrücken b kennt, kann man durch die Summe der Einrückungen die Höhe errechnen. Wie aber bestimmt man b ? Man kann z.B. auf dem Fundament die gewünschte Höhe einer Kernstufe auf dem Boden abtragen und von einem Ende das Einrücken der ersten Lage bestimmen. Der Endpunkt muss auf jede höhere Steinlage genau

⁴³ In: ZÄS 31 (1893),9-17. Genauer gesagt, ging es ihm um die falsche Interpretation einer Aufgabe aus dem mathematischen Papyrus Rhind durch Eisenlohr. Siehe im Sinne Borchardts T.E. Peet, The Rhind Mathematical Papyrus British Museum 10057 and 10058, (London 1923),97ff.

senkrecht rapportiert werden. Die Differenz zwischen der Basislänge und der jeweiligen Vorderkante einer Steinlage stellt nun die Summe aller b 's dar und erlaubt es bei konstantem und bekanntem Böschungswinkel die Höhe auszurechnen, z.B. bei einem Verhältnis zwischen $H:b$ von 4:3 ist bei $b=2$ die Höhe $H=2,66$. Außerdem muss man die Position der Eckpunkte jeder nächsthöheren Stufe des Kernbaus kennen. Das ist auch mit einfachen Mitteln zu bewerkstelligen. Wenn man sich vorher überlegt hat, um wieviel Ellen jeder höhere Kernstufe gegenüber ihrer Vorgängerin eingerückt sein soll, braucht man diese Distanz nur einmal auf der ersten fertigen Steinlage der Pyramide als Quadrat aufzureissen (man bekommt also die Grundfläche der nächsten Kernstufe) und diese Linien auf jede weitere Steinlage zu rapportieren.

(Abb.16)

Jetzt kommen wir zurück zu der oben beschriebenen Messmauer. Wozu kann sie gedient haben, wenn doch die Ecken der Grundfläche der neuen Kernstufe durch das von unten nach oben rapportierte Liniennetz schon festlagen? Ich nehme an, daß mit ihrer Hilfe die Exaktheit der Waagerechten der Oberkante einer jeden Kernschicht kontrolliert werden sollte. Maragioglio-Rinaldi haben bereits vermutet, dass die Messmauer sich auch überdeck weiter fortsetzte. Wenn man auf allen vier Seiten die Höhenmessung vornahm und die Höhe von acht Ellen jeweils markierte, konnte man eine Schnur spannen und danach die Oberkante der ersten Kernstufe ausrichten⁴⁴. Der angerissene Winkel auf der Messmauer ermöglichte die Kontrolle des Fußpunktes der zweiten Stufe auf der ersten. Ich muss nun daran erinnern, dass alle stark zerstörten Pyramiden die beschriebene Kernstruktur aufweisen. Es liegt überhaupt kein Grund für die Annahme vor, die besser erhaltenen

⁴⁴ Holzgerüste zum Ausgleich der Seilspannung vermutet D. Arnold, Building in Egypt, (New York/Oxford 1991), 12 bei der Besprechung einer solchen Meßmauer an der Mastaba 17 von Meidum. Seine daran anschließende Bemerkung, diese Art Meßmauer habe für den Pyramidenbau nur ganz unten benutzt werden können, weil weiter oben kein Platz für ihre Errichtung bestanden habe, ist nur verständlich, weil er von simultaner Verlegung von Kern- und Verkleidungsmauerwerk ausgeht. Der hier besprochene Beleg widerlegt dies genauso wie der oben in Anm.41 zitierte von Borchardt.

großen Pyramiden von Gizah und die beiden Pyramiden des Snofru von Dahschur seien nach einem gänzlich anderen System errichtet worden, sprich in einem Zug horizontal durchgehend. Wer diese Meinung aufrechterhalten oder behaupten wollte, müsste Anhaltspunkte oder gar Beweise dafür vorführen. Bis dahin kann der an und für sich plausibelste Vorschlag von Isler (und der von Hodges) nicht ohne Modifizierung bleiben. Wieso sollten die Ägypter zunächst einen stufigen Kernbau errichtet haben, wenn das bautechnisch ohne Nutzen war bzw. dem Treppensystem eher hinderlich? Denn infolge der zwischen 70° und 85° steilen Kernstufen hätten sich nach der ersten Stufe viel zu steile Treppenanstiege ergeben. ([Abb.3](#), [Abb.4](#), [Abb.5](#), [Abb.6](#)) Ich denke daher, dass die Kernstufenplattformen als schwach ansteigende Treppen ausgelegt werden konnten, d.h., dass man über sie parallel und nicht senkrecht zur Pyramidenseite die Steine von Stufe zu Stufe emporhebelte. Die Breite einer solchen Arbeitsfläche war freilich nicht sehr groß, zwischen 3m bei den kleinen Satellitenpyramiden von Gizah und ca. 5m bei der Pyramide des Sahure von Abusir, allerdings allesamt kleinen Pyramiden zwischen 30m und 48m Höhe. Das könnte aber knapp ausgereicht haben, zumal die Höhe der Stufen nicht sehr gross war, sie schwankt bei diesen Pyramiden zwischen 4m und 6,5m. Bei den um ein Vielfaches größeren Pyramiden von Gizah und Dahschur kann man eventuell eine gewisse, aber wohl nicht proportionale Vergrößerung annehmen. Bei der ca. 66m hohen Mykerinospyramide sind die Stufen 8,4m hoch, die Arbeitsflächen 5m breit. Ich nehme für die Cheopspyramide rein hypothetisch einmal 25 Ellen (etwa 12,5m) Höhe bei einem Einrücken pro Stufe auf beiden Seiten von 14 Ellen (etwa 7m) an. Bei den Vorschlägen von Rampensystemen musste auch deswegen eine wesentlich größere Arbeitsbreite angenommen werden, weil Marschwege für das Herunterbringen der leeren Steinschlitten und die Wasserträger, die die Rampen feucht zuhalten hätten etc. vorgesehen werden mussten. Übrigens ist von keinem Autor je erklärt worden, wo denn auf dem Wüstenplateau von Gizah das benötigte Wasser in ausreichender Menge hätte herkommen sollen. Im besten Fall schlüge hier nochmals eine erhebliche

Transportleistung zu Buche. Abgesehen davon ist auch sehr fraglich, wie lange eine Nilschlammrampe die immerwährende Spannung zwischen Bewässern und Austrocknung ausgehalten hätte. Der Abstieg von Arbeitspersonal war bei den relativ niedrigen tatsächlich nachgewiesenen Kernstufen - ich betone das ausdrücklich - unproblematisch. Dafür brauchte kein eigener Weg über die Kernstufenplattformen reserviert werden, die Leute stiegen viel schneller über Leitern ab. Benötigtes Arbeitsmaterial konnte man ohne weiteres über Seile von Stufe zu Stufe heraufziehen. Dafür sind nicht einmal Flaschenzüge erforderlich. Es ist der Einwand bzw. die Frage zu erwarten, wie bei der Cheopspyramide nachträglich die Große Galerie hätte eingebaut werden können bzw. wie man die riesigen Decksteine für Eingang und Grabkammerdecke heraufgebracht haben könnte. Diese wären nicht übereck zu transportieren gewesen. In diesem Fall muss man eine breite Frontal auf die Nordseite der Pyramide zulaufende Treppe à la Isler annehmen. Sobald die Entlastungskammern über der Grabkammer fertig waren, konnte man umlaufend um die vier Seiten Steine emporhebeln.

Es ist dies nun der rechte Augenblick, zu den Brinks'schen Determinanten zurückzukehren. Ich schlage vor, davon folgendes festzuhalten: Erstens, die fiktive (weil nicht in Stein ausgeführte) Seitenlänge, die sich aus dem Fluchtwinkel über die Kanten der zu errichtenden Kernstufen und die gewünschte „Größenordnung“ der Pyramide ergibt, ist die wichtigste Planungsgröße. Die Fertigbaulänge ergibt sich erst am Ende nach der Wahl der Basisstärke der Verkleidung, die im übrigen in ihrer Stärke von unten nach oben abnimmt. Zweitens, die Höhe einer Pyramide ergibt sich im Rohbau aus dem gewählten Fluchtwinkel über die Kernstufen-Außenkanten. Dies ist höchst bedeutsam und will besagen, dass nicht etwa der Neigungswinkel der fertigen Verkleidung eine Plangröße war (Brinks' Determinante 3). Drittens. Der Neigungswinkel über die verkleideten Seiten ergab

sich automatisch am Ende aus der Wahl der Basisstärke der Verkleidung (Brinks' Determinante 5). Deswegen sind die Versuche Lauers und anderer, die krummen Werte, ausgedrückt in Bruchzahlen für den Rücksprung, etwas hinzutrimmen, sinnlos. Brinks hat, ich erwähnte das, bei einigen Pyramiden einen Wert dieses Winkels von $54^{\circ} 30'$ erschlossen. Dieser muss mit dem Böschungswinkel des Kernbaus mit Werten von etwas weniger als $1/10$ übereinstimmen, d.h., es ist anzunehmen, dass die Kernstufen-Außenkanten bei glatten absoluten Höhen in Ellen lagen. Wenn man das nachrechnet, ergibt sich eine optimale Übereinstimmung bei genau einem Böschungswinkel von $1/10$ oder $84^{\circ} 18'$ bzw. einem Fluchtwinkel über die Kanten von 55° . In diesem Falle wäre auch der Fluchtwinkel über die Diagonale genau 45° (Brinks' Determinante 4). Die tatsächlichen Werte für letzteren weichen davon ab liegen aber doch so nahe dabei, dass man glauben kann, die Ägypter hätten ihn rein pragmatisch als besonders günstig erkannt und angestrebt. Weitere Folgen aber hatte das im Falle des Winkels von 45° nicht. Er war im Gegensatz zur Meinung von Brinks keine die Bauausführung bestimmende Determinante⁴⁵. Dagegen nehme ich an, dass die Böschung von ungefähr einem Zehntel und der Fluchtwinkel über die Kernstufen von ca. 55° solche Determinanten waren. Die Kontrolle des Fluchtwinkels erfolgte auch nicht einmal unbedingt über die Kernstufen-Außenkanten, da die Transporttreppen über die Kernstufen diese teilweise verdeckten⁴⁶. Die Kontrolle über das oben dargestellte Rapportierungs-Verfahren dürfte ausgereicht haben. Die Möglichkeit des Fluchtens wird wahrscheinlich in der Literatur überschätzt; allein wegen der Größe der Baustelle ist es unpraktikabel, man denke an die Verständigungsmöglichkeiten zwischen einem Vermesser am Boden und einem „Polier“ in 100m Höhe. Aus [Abb.11b](#) ergibt sich, daß nach Abstecken der fiktiven Seitenlänge im Gelände der tatsächliche Versatz bis zur Basiskante der ersten

⁴⁵ G. Robins und C.C.D. Shute (in: GM 57 (1982),49-54) glaubten, ein photographisches Meßverfahren für die Winkel gefunden zu haben, dessen prinzipielle Untauglichkeit jedoch kurz darauf J. Dorner (in: GM 94 (1986),31-37) aufzeigte.

⁴⁶ Aus der Bezeichnung „Fluchtwinkel“ folgt nicht, daß seine Einhaltung wirklich durch „Fluchten“ kontrolliert werden mußte. Er ist eine Planungsgröße.

Stufe des Kernbaus leicht berechnet werden konnte, wenn Fluchtwinkel, Böschungswinkel und Höhe der ersten Stufe festgelegt waren.

Anhang 1

Basislängen des Fertigbaus von Pyramiden des Alten Reiches nach Brinks und anderen Quellen

Pyramide	König	Fertigbaumaß in Ellen	Quelle/Kommentar
Saqqara	Djoser	120	Lauer, BdE 39,69
Meidum E1	Snofru	207 ⁴⁷	M-R III, Taf.3,5
Meidum E2	Snofru	230	Stadelmann, Pyramiden,84
Meidum E3	Snofru	275	Stadelmann, Pyramiden,86 mit A.277
Dahschur-Süd 2	Snofru	362	J. Dorner, in: MDAIK 42,1986,51
Dahschur-Süd 1	Snofru	300	J. Dorner, in: MDAIK 42,1986,55
Dahschur-Nord	Snofru	420/417/423	Reisner; vgl. M-R III, Taf.18,3
Giza	Cheops	440	Borchardt, BABA 1, (1926), 1937,7f
Abu Roasch	Djedfre	210	erschlossen; vgl. M-R V, Taf.3,1
Giza	Chefren	410	M-R V, Taf.5,1
Giza	Mykerinos	200	Petrie; vgl. M-R VI, Taf.4,1-2
Saqqara	Userkaf	140	M-R VII, Taf.2,12
Abusir	Sahure	150	M-R VII, Taf.8,4
Abusir	Neferirkare	210	M-R VII, Taf.11,3
Abusir	Niuserre	155	Borchardt, Ne-user-re',99
Saqqara	Djedkare-Isesi	150	M-R VIII, Taf.12,1
Saqqara	Unas	110	Labrousse et al. , BdE 73,60, Fig.38
Saqqara	Teti	150	Lauer-Leclant, BdE 51,1
Saqqara	Pepi I	150	Lauer, Geheimnis,[330]
Saqqara	Merenre	150	Lauer, Geheimnis,[330]
Saqqara	Pepi II	150	Lauer, Geheimnis,[330]

Belege:

Borchardt, Ne-user-re':	L. Borchardt, Das Grabdenkmal des Königs Ne-user-re', (WVDOG 7), Leipzig 1907
Borchardt, BABA 1:	L. Borchardt, Längen und Richtungen der vier Grundkanten der großen Pyramide bei Gise (BABA 1,1926), Kairo 1937
Labrousse et al., BdE 73:	A. Labrousse, J.-Ph. Lauer, J. Leclant, Le temple haut du complexe funéraire du roi Ounas (BdE 73), Le Caire 1977
Lauer, Geheimnis:	J.-Ph. Lauer, Das Geheimnis der Pyramiden, München/Berlin 1980
Lauer, BdE 39:	J.-Ph. Lauer, Histoire monumentale des Pyramides d'Egypte I (BdE 39), Le Caire 1962
Lauer-Leclant, BdE 51:	J.-Ph. Lauer, J. Leclant, Le temple haut du complexe funéraire du roi Têti (BdE 51); Le Caire 1972
M-R:	L'architettura delle pyramide menfite, Rapallo 1965ff
Stadelmann, Pyramiden	R. Stadelmann, Die ägyptischen Pyramiden, 3.Aufl. Mainz 1997

Die Tabelle der Basislängen des Rohbaus von Pyramiden des Alten Reiches nach Brinks reproduziere ich hier nicht, weil unsere Ansichten über die Feststellung der Rohbaulänge differieren (s.o.). Es ist aber durchaus möglich, dass die Länge der von mir angenommene

⁴⁷ Brinks gibt in: GM 78 (1984),35 220 Ellen an. In einer früheren, mir überlassenen Version des Manuskriptes standen 206 E. Aus dem Plan von Maragioglio-Rinaldi ergeben sich: 2*54,20m = 108,4m, was bei einer Elle von 0,523m auf ca. 207 E führt.

im Gelände abgesteckte Basislinie, von der aus der Fluchtwinkel über die Kanten der Kernstufen gerechnet wurde, ganzzahlige Vielfache von 50 Ellen bzw. 100 Ellen betrug.

Anhang 2

Anhangsweise erwähne ich eine Außenseiter-Lösung, und zwar tue ich das, weil sich ihr Autor damit brüstet, sie sei wohl richtig, weil kein Ägyptologe dagegen Einwände publiziert habe. Sie ist aber, wie man sehr leicht zeigen kann, falsch. Ich meine Oskar Riedl, einen Musikwissenschaftler, der 1985 im Selbstverlag in Wien das folgende Buch herausgebracht hat: „Die Maschinen des Herodot. Der Pyramidenbau und seine Transportprobleme. Die Lösung des Jahrtausendrätsels ohne Wunder und Zauberei“⁴⁸. Es handelt sich um hölzerne Kipp-Hebebühnen, die von oben an Seilen bzw. Winden hängend in einem Kipp-Vorgang die Steine auf ihnen von Schicht zu Schicht empor transportieren sollten. Nach der Beladung soll der Stein auf dem Kippschlitten mithilfe einer kleinen Winde etwas aus dem Gleichgewicht gebracht werden, dann das eine Ende der Bühne von oben soweit angehoben, dass das eine Bein eine Stufe höher gesetzt werden kann. Dann würde der Stein auf das andere Ende der Bühne bewegt und das gegenüberliegende Bein angehoben und so fort. Die Existenz solcher Maschinen würde sich niemals nachweisen lassen. Das müsste kein Grund für eine sofortige Ablehnung des Vorschlages sein. Jedoch gibt es folgende Voraussetzungen:

- 1. Die Pyramide dürfte keinen stufigen Rohbau mit steilem Böschungswinkel aufweisen.**
- 2. Die Verkleidung müsste von vornherein fertig geglättet versetzt worden sein.**
- 3. Wenigstens in der Schlußphase müsste es möglich gewesen sein, Verkleidungsblöcke in den offen gelassenen Bahnen für das Aufsetzen der Beine der Hebebühnen von oben nach unten einzusetzen. Mit Punkt drei wird man schnell fertig und damit ist eigentlich schon die ganze Hypothese erledigt. Ihr Autor hat sich nicht genügend mit den verschiedenen**

⁴⁸ Er hatte vorher schon in zwei kleinen Test-Artikeln seine Ideen in GM 52 (1981),67-73 und 53 (1982),47-49 publiziert, was aber, wie gesagt, ohne Reaktion blieb.

publizierten Schnittzeichnungen der erhaltenen Partien von Pyramidenverkleidungen beschäftigt. Sonst hätte er sehen müssen, dass häufig der obere Verkleidungsblock in zwei übereinander liegenden Lagen gleich lang oder wesentlich länger ist als der untere⁴⁹. Dieser kann also unmöglich unter einen sozusagen freischwebenden unteren eingeschoben worden sein wie Riedl das annehmen muss. Dass die Kalksteinverkleidung der Pyramiden im Gegensatz zu der Granitverkleidung der Mykerinospyramide bereits geglättet versetzt worden sei, wird neuerdings von einigen Autoren erwogen, bewiesen ist es nicht. Die Frage hängt auch mit Punkt 1 zusammen, nämlich der nach der Kernstruktur der Pyramiden der 4. Dyn. Entweder waren sie durchgehend horizontal gemauert, dann wäre ein Versetzen der Verkleidung quasi gleichzeitig denkbar. Oder aber es gab einen stufigen Rohbau wie bei der Mykerinospyramide. Dann ist es wahrscheinlicher, dass die Füllung der Stufen und die Verkleidung erst in einer zweiten Phase erfolgte. Bei einem steil geböschten Kernbau können solche Bühnen mangels Auflagerfläche nicht eingesetzt worden sein.

⁴⁹ Abb. z.B. bei Maragioglio-Rinaldi, L'architettura delle pyramide menfite V, (Rapallo 1966), Taf.6, Fig.2.8.