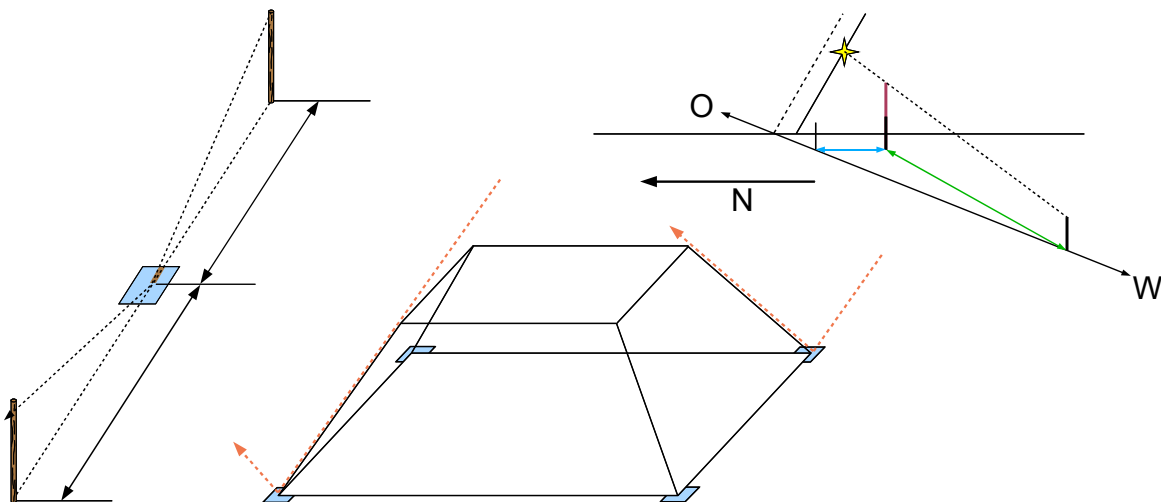


Eckart Unterberger

Die Tricks der Pyramidenbauer

Vermessung und Bau der ägyptischen Pyramiden



Eckart Unterberger

Die Tricks der Pyramidenbauer

Vermessung und Bau der ägyptischen Pyramiden

Herausgegeben im Eigenverlag

Innsbruck 2008



Der stufenförmige Kern wurde noch in der klassischen Läufer-Binder Methode gebaut.



Die Knickpyramide von Dashur: Der obere Teil der Pyramide weist einen geringeren Neigungswinkel auf. Als Ursache dafür wird gemeinhin eine Instabilität des unteren Baukörpers vermutet, die schon während des Baus aufgetreten sein soll. Dennoch erhöhten die ägyptischen Baumeister die Pyramide um weitere 50 m.

Die Knickpyramide

Ihr Bau wurde im 15. Regierungsjahr des Pharaos Snofru begonnen. Die Basis misst 190 m im Quadrat und die Höhe beträgt 105 m. Das Besondere an der Knickpyramide ist eben ihr Knick in etwa 45 m Höhe. Der untere Teil wurde mit einer Neigung von 54° gebaut, während der obere Teil nur mehr 43° aufweist. Im Korridor und im Grabkammersystem der Pyramide sind Risse festzustellen, auch ist der untere Teil leicht nach außen gebogen, also konvex.

Interessant ist die unterschiedliche Verlegung der Verkleidungssteine. Im unteren Teil sind sie mit einer leichten Neigung nach innen verlegt, während sie im oberen Teil annähernd waagrecht liegen. Zwischen dem unteren und oberen Teil wurde also nicht nur der Winkel, sondern auch die Bauweise geändert.

Die Ursachen für den Knick:

Warum änderten die ägyptischen Baumeister plötzlich den Neigungswinkel? In der Literatur wird das im Allgemeinen folgendermaßen interpretiert: Der Bau wurde zunächst mit 60° steilen Außenwänden begonnen. Schon während des Baus kommt es zu Setzungen aufgrund des schlechten Untergrundes, da die Pyramide auf einem instabilen Schiefergrund steht und nicht auf Fels, wie dann die späteren Pyramiden in Gizah. Daher wird ein 13 m dicker Mantel um dieses Gebäude gelegt und der Neigungswinkel auf 54° verringert. Trotzdem bilden sich weiterhin Risse im Kammersystem, daher muss der ursprünglich Plan aufgegeben werden. Die Steine werden waagrecht gelegt, um den Druck von außen in Richtung Zentrum zu verlagern. Außerdem wird der Neigungswinkel verringert. So lautet die gängige Meinung.

Analysieren wir das genauer. Die Basismaße der Pyramide sind beeindruckend. Bei einem Winkel von 54° und 190 m Seitenlänge wäre die Pyramide 133 m hoch geworden, das sind annähernd die Maße der großen Pyramiden von Gizah mit mehr als 140 m. Es stellt sich die Frage, ob die Pyramide auch so groß geplant war. Die bisher größte Stufenpyramide, jene von Meidum, die damals angeblich noch eine Stufenpyramide war, weist eine Basislänge von 119 m auf. Die Knickpyramide wäre also wesentlich größer geworden.

Unmittelbar damit zusammenhängend ist die Frage zu stellen: War der Knick eine Folge von baulichen Mängeln oder etwa Absicht?

Angenommen, die beschriebenen Setzungen und in weiterer Folge die besagten Risse im Inneren und ‚Ausbeulungen‘ im Pyramidenmantel traten bereits während des Baus



Die Wachmannschaften lassen sich von der angeblichen Instabilität der Pyramide offensichtlich nicht beeindrucken. Schließlich steht das Bauwerk schon seit 4600 Jahren.



Die Verkleidungssteine der Knickpyramide sind mit 15° Neigung nach innen verlegt, wie dies bei den Stufenpyramiden auch der Fall ist. Die Läufer-Binder-Methode wurde aber aufgegeben, die Steine sind nur mehr als Binder verlegt.

des unteren Teils auf. Wären die gesetzten Maßnahmen sinnvoll und vor allem ausreichend gewesen, um ein Auseinanderbrechen der Pyramide zu verhindern?

Eine Verringerung des Neigungswinkels bringt sicher eine Entlastung des Unterbaus. Dennoch muss man sich hier vor Augen halten, dass die Pyramide dort, wo sich der Knick befindet, noch nicht einmal die Hälfte ihrer gegenwärtigen Höhe erreicht hatte. Trotz offensichtlicher Baumängel wurde also scheinbar unbeirrt mehr als noch einmal so weit in die Höhe gebaut. Im oberen Teil wurden dann schließlich noch weitere 300.000 m³ Material aufgeschichtet, mit einem Gewicht von etwa 700.000 Tonnen. In welcher Phase des Baus die beschriebenen Mängel aufgetreten sind, wissen wir ebenfalls nicht. Es ist genauso gut auch vorstellbar, dass sie erst dann auftraten, als der Neigungswinkel der Pyramide bereits verringert worden war.

Die zweite Frage betrifft die Bauweise. Im unteren Teil sind die Verkleidungssteine mit einem Winkel von etwa 15° nach innen verlegt, im oberen Teil annähernd waagrecht. Das ist widersinnig, wenn es zu einem langsamen Auseinanderbrechen des Baus gekommen wäre. Die Steine im oberen Teil hätten dann erst recht nach innen verlegt werden müssen, da sie ja nur so nicht durch den von innen ausgeübten Druck hinausgeschoben werden können.

Und letztlich ist noch festzustellen: Trotz ihrer Baumängel steht die Pyramide jetzt schon seit 4600 Jahren. Auch die Entfernung von Verkleidungssteinen an den Ecken und sogar am Fundament konnten ihre Stabilität in keiner Weise schwächen.

Zusammenfassend lässt sich sagen: Den Knick der Knickpyramide durch auftretende Baumängel zu erklären ist, wenn nicht haltlos, so doch zumindest unbefriedigend.

Suchen wir also nach einer anderen Erklärung. Das ursprüngliche Vorhaben der Pyramidenbauer wird letztendlich wohl verborgen bleiben, existieren doch keine Baupläne. Es bleibt also nichts anderes übrig, als aus den vorhandenen Tatsachen Schlüsse zu ziehen und diese in einem Erklärungsmodell auf ihre Tauglichkeit hin zu überprüfen.

Beginnen wir bei der Bautechnik des unteren Teils. Die Steine wurden mit einer Neigung von 15° nach innen verlegt, dahinter befindet sich wie bei allen bisher gebauten Pyramiden und Mastabas grobes Gestein, das durch Sand und Lehm aufgefüllt und verdichtet wurde. Bereits die backing stones sind nur grob behauen. Der einzige Unterschied zur traditionellen Bauweise, wie wir sie von den Stufenpyramiden in Meidum und Sakkara kennen, besteht also darin, dass die Verkleidungssteine an ihrer Außenseite nicht rechtwinklig behauen waren, sondern schräg. Doch welche Vorteile soll das mit sich bringen?



Der Kern der Pyramide besteht aus waagrecht verlegten, unregelmäßigen Steinblöcken.



Im oberen Teil der Pyramide wurde nicht nur der Winkel geändert, sondern auch die Bauweise: Die Verkleidungssteine wurden nicht mehr mit 15° Neigung nach innen verlegt, sondern waagrecht. Diese Methode war offensichtlich erfolgreicher und sollte bei allen späteren Pyramiden zur Anwendung kommen.

Kehren wir zum Mauerbau zurück. Es wurden zwei Methoden beschrieben, die Steine aufzuschichten. Da gibt es jene von den Enden der Mauer, wie sie bisher bei den Stufenpyramiden Verwendung fand. Dann gibt es aber noch die zweite Methode, bei der die Steine seitlich, also quer zur Mauerrichtung hinaufgezogen werden. Dieses Verfahren hat gegenüber dem ersten Verfahren einen wesentlichen Vorteil: Es können mehr Arbeitskräfte eingesetzt werden.

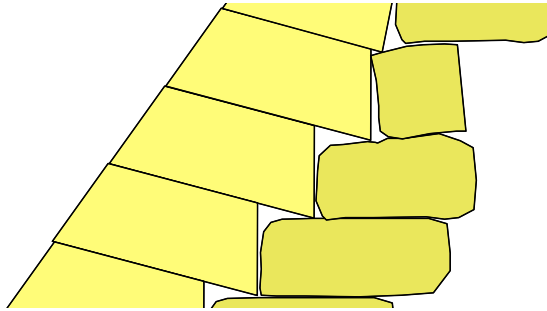
Eine große Zahl von Arbeitskräften war aber genau das, was Snofru nach Beendigung der Arbeiten an der Pyramide von Meidum zur Verfügung stand. Und dieses Heer von Arbeitern musste beschäftigt werden. Was also lag näher, als mit dem Bau einer zweiten, noch größeren Pyramide zu beginnen?

Dazu war es aber notwendig, die Bauweise zu verändern. Und hier, so denke ich, wurde jener geniale Einfall geboren, der den Pyramidenbau erst möglich machte:

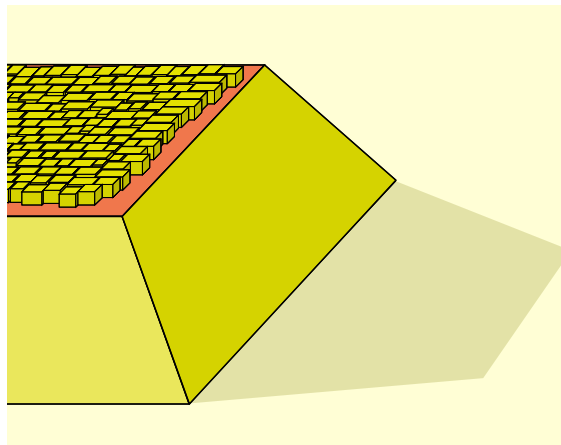
Wenn die Mauern der Stufen in einem etwas flacheren Winkel gebaut werden, so lassen sich die Steine direkt über die Mauerflanken hinaufziehen.

- Es ist dann nicht mehr notwendig, bei jeder Stufe die bestehenden Rampen umzubauen.
- Es können mehr Arbeitskräfte eingesetzt werden, da die Steine parallel und daher gleichzeitig über die gesamte Flanke der Pyramide hinaufgezogen werden.

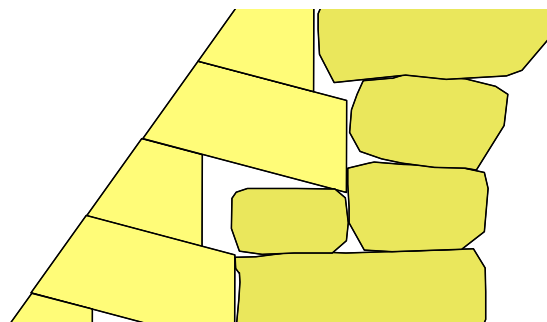
Nur das Problem der letzten Steinreihe, also der Verkleidungssteine musste noch gelöst werden. Zieht man diese hinauf, so ist kaum mehr Platz, sie zu verlegen. Die Pyramide ist bis zum Rand hin bereits eine Stufe, eine Schicht höher. Auf den verbleibenden schmalen Rand müssen dann noch die Verkleidungssteine gesetzt werden. Ist dieser Rand zu schmal, wird das Vorhaben unmöglich. Die Verkleidungssteine haben daher eine gewisse Dimension aufzuweisen, um überhaupt noch verlegt werden zu können. Also muss zunächst auf ein Baudetail verzichtet werden, das bisher Anwendung fand: auf die Verlegung von Läufern. Diese würden in Längsrichtung der Mauer verlegt, der verbleibende Saum für den letzten Stein wäre nur sehr schmal. Werden hingegen nur Binder eingebaut, so bleibt der Arbeitsbereich noch einigermaßen groß. Genau dieses Verfahren wurde bei der Knickpyramide zum ersten Mal angewandt, man verzichtete auf den Einbau von Läufern. Das bedeutet dann auch, dass die Steine direkt von der Seite heraufgezogen wurden. Die Außenflächen der Pyramiden waren also ein Kompromiss aus Mauer und Rampe - Mauer, weil die Steine immer noch nach innen geneigt verlegt wurden und Rampe, weil sie außen abgeflacht wurden, um den Transport der Steine zu ermöglichen. Wie wir im ‚Problem der Kante‘ gesehen



Die aufwändige Bearbeitung und Verlegung der Verkleidungssteine im unteren Teil der Knickpyramide: Die Steine passen ‚vorne und hinten‘ nicht. Durch die starke Neigung nach innen ist ein Nivellieren der Schicht nur schwer möglich.



Das Problem des letzten Steines: Das Setzen der Verkleidungssteine ist bei der konzentrischen Verlegung schwierig, da nur mehr sehr wenig Platz zur Verfügung steht.



Die Verkleidung der Knickpyramide: Hätte man auch noch die bisher übliche Läufer-Binder-Methode angewandt, so wäre die Verlegung noch schwieriger geworden, der Platz, der zur Verlegung des Läufers zur Verfügung gestanden hätte, wäre noch schmaler. Man verzichtete daher auf die Läufer und verlegte die Verkleidungssteine nur noch als Binder.

haben, ist es nicht einfach, einen Stein über die Kante der Rampe zu ziehen. Die Grenze, wo das noch möglich ist, liegt bei etwa 60° , wird die Rampe steiler, so bleibt man mit dem Stein an der Kante hängen.

Der obere Teil der Pyramide:

Nicht nur der Neigungswinkel ändert sich, sondern auch die Bauweise. Die Verkleidungssteine sind dort nicht mehr wie im unteren Teil mit einer Neigung von 15° nach innen verlegt, sondern liegen waagrecht. Das hat einige Vorteile:

- Das Nivellieren: Eine nach innen hängende Mauerkrone ist wesentlich schwieriger zu nivellieren als eine annähernd waagrechte.
- Der Aufbau: Im unteren Teil sind nur die Verkleidungssteine schräg verlegt. Die unmittelbar dahinter liegenden backing stones liegen waagrecht. Dadurch wird aber die Bearbeitung und das Einpassen der Verkleidungssteine wesentlich schwieriger, weil die backing stones nicht einfach senkrecht behauen werden können, sondern eben auch diesen Winkel von 15° aufweisen müssen. Bei einer waagrechten Verlegung muss das Bett, in dem die Verkleidungssteine zu liegen kommen, nur rechtwinklig bearbeitet werden.
- Die Verzahnung: Aus diesem Grund können die Verkleidungssteine mit den dahinter liegenden backing stones nicht so gut verzahnt werden als bei einer durchgehend waagrechten Verlegung. Die Verkleidungssteine können dann weiter in das Innere der Pyramide reichen.

Warum aber der Knick?

Was könnten die Pläne des Pharaos gewesen sein? Sicher ist, er wollte ein Gebäude errichten, das mit verschiedenen Gängen und Kammern ausgestattet ist. Was man auch mit einiger Sicherheit annehmen kann, ist, dass das Gebäude höher sein sollte, als das vorher gebaute, die Pyramide von Meidum, die damals noch eine Stufenpyramide war. Es ist sehr unwahrscheinlich, dass das zweite Gebäude niedriger gebaut wird als das erste. Sicher ist auch, dass der Bau schnell fertig gestellt werden sollte, da Snofru bereits im 15. Jahr seiner Regierung war.

Was wir definitiv nicht wissen, aber Pharaos Snofru unterstellen, ist, dass er eine Pyramide bauen wollte. Der Bau einer schönen, geometrischen Pyramide hätte zu diesem Zeitpunkt der Bautradition widersprochen, da es noch keine Pyramiden gab. Vorbild für den Bau war immer noch die Stufenpyramide.