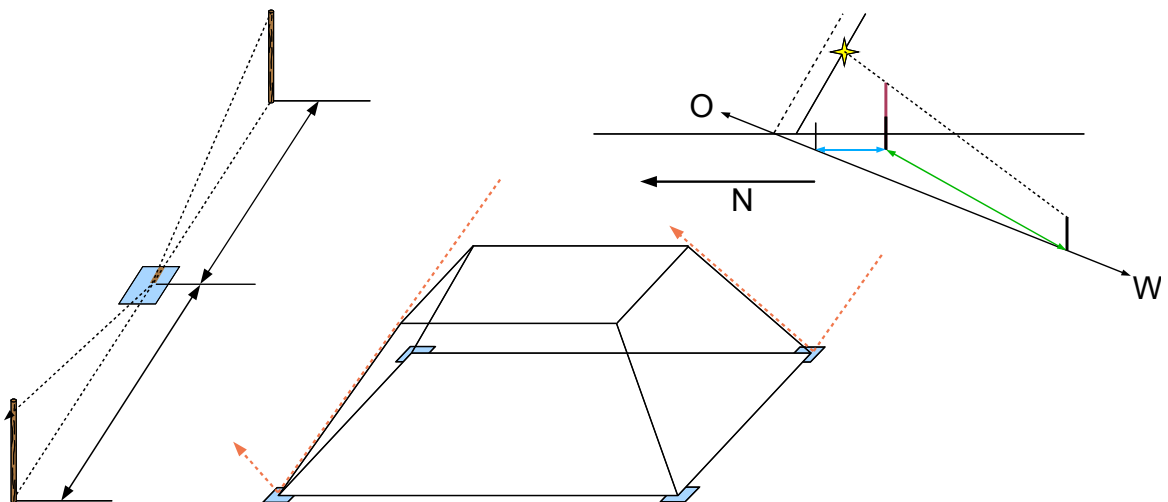


Eckart Unterberger

Die Tricks der Pyramidenbauer

Vermessung und Bau der ägyptischen Pyramiden



Eckart Unterberger

Die Tricks der Pyramidenbauer

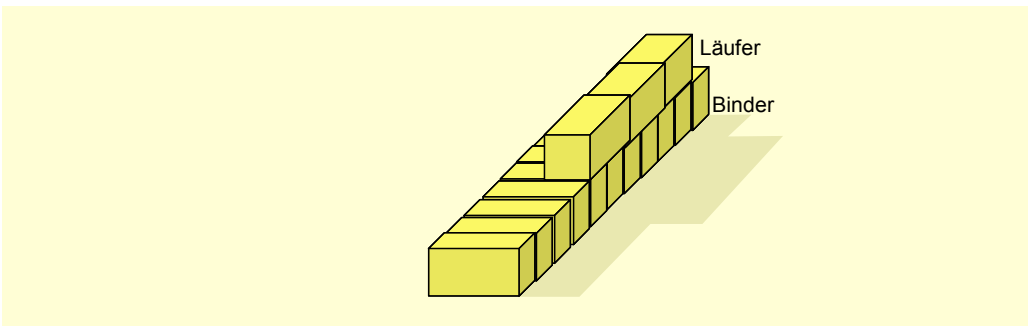
Vermessung und Bau der ägyptischen Pyramiden

Herausgegeben im Eigenverlag

Innsbruck 2008



Auch die Ägypter haben einmal klein angefangen, mit Steinmauern aus unbehauenen Feldsteinen. Noch heute sieht man sie überall im Mittelmeerraum.



Die Läufer- und Binder-Methode: Das wechselweise Verlegen von Mauersteinen erhöht die Stabilität der Mauer.



Auch bei den ersten Pyramiden wurde diese Technik des Mauerbaus verwendet, wie hier bei der Pyramide des Djoser in Sakkara.

Das Bewegen von Steinen

Die Kunst des Trockenmauerns wird bis heute im gesamten Mittelmeerraum mit beeindruckender Geschicklichkeit ausgeübt. Beim Mauern unterscheidet man zwei Richtungen der Verlegung. Der Binder wird quer zur Mauerrichtung, der Läufer längs der Mauerrichtung verlegt. Die Feldsteine der Trockenmauern werden meist als Binder gesetzt. Das ist nicht weiter kompliziert, solange man die Steine alleine oder zu zweit heben kann.

Die Schwierigkeiten beginnen, wenn die Steine zu schwer sind, um sie auf ihren Platz zu tragen. Die Steine müssen dann gezogen werden. Mit einem mehrfach herumgeschlungenen Seil wird der Stein gezogen, bis er bei der Mauer ist.

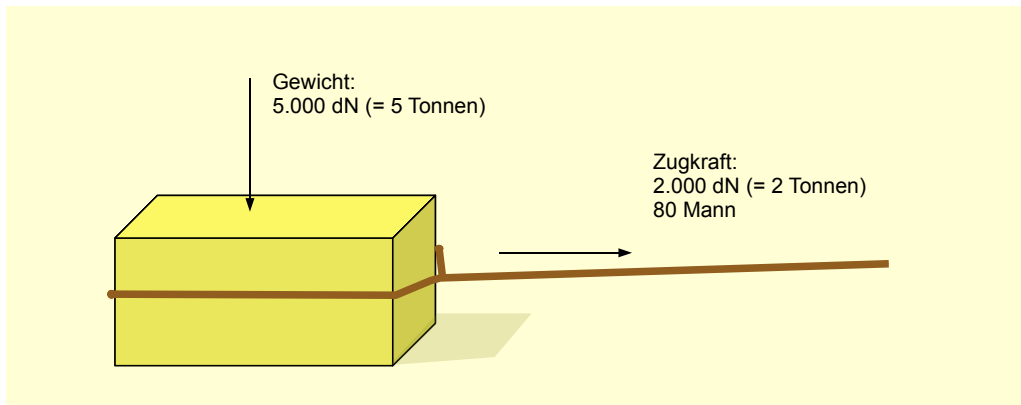
Die erste Lage lässt sich recht einfach bewerkstelligen. Der Untergrund muss so gestaltet werden, dass sich der Stein nicht eingräbt oder an anderen Steinen hängen bleibt, wenn er entlang der Mauer gezogen wird. Hindernisse werden soweit wie möglich aus dem Weg geräumt, sandige Stellen mit grobem Kies befestigt. So lassen sich die Steine recht leicht bewegen. Entlang der Mauer entsteht schließlich eine gut begehbare, gepflasterte Fläche.

Die leidige Sache mit dem Reibungskoeffizienten

Spätestens jetzt stellt sich die Frage, wie sehr schwere Steine gezogen werden können. Dass die Ägypter über Seile verfügten, steht außer Frage. Seile wurden in den Bootsgruben nahe der Pyramiden gefunden und sind auch auf allen Darstellungen ägyptischer Boote zu sehen. Auch die Herstellung langer Seile dürfte keine Schwierigkeiten bereitet haben, denn wer ein 10 m langes Seil drehen kann, der kann auch ein 100 m oder noch längeres Seil drehen.

Beim Ziehen von Steinen ist nun in der Literatur meist von Schmiermitteln die Rede, die das Bewegen erleichtern sollen. In Ägypten ist es der Nilschlamm, auf dem die Steine besser gleiten sollen und die Rampen sollen deshalb mit Nilschlamm bedeckt gewesen sein. Das hat aber den Nachteil, dass nicht nur der Stein besser gleitet, sondern auch die Zugmannschaft. Aber sind Schmiermittel denn notwendig?

Ein kräftiger Mann entwickelt, ohne sich sonderlich anzustrengen, eine Zugkraft von 250 N. Das bedeutet, er kann ein Gewicht von 25 daN (entspricht einer Masse von 25 kg) über eine reibungsfreie Umlenkrolle senkrecht nach oben ziehen.



Die großen Verkleidungssteine der Cheopspyramide wiegen etwa 5 Tonnen, die kleineren backing stones die Hälfte, in den höheren Schichten der Pyramide wurden dann nur mehr wesentlich kleinere Steine verbaut, mit einem Gewicht von etwa 0,5 Tonnen. Reibungskoeffizient 0,4 bedeutet, dass das 0,4 fache der Gewichtskraft aufgebracht werden muss, um den Stein auf seiner Unterlage zu bewegen. Dieser Koeffizient entspricht jenem von Stein auf Stein ohne irgendwelche Schmiermittel. Ein Mann kann eine Zugkraft von 25 daN relativ mühelos aufbringen. Die Zugkraft sinkt aber dramatisch, wenn in einer Steigung von auch nur 10 % gezogen wird.



Die Steine der Cheopspyramide: Sie sind unterschiedlich groß. Wurden in den unteren Schichten noch Blöcke mit 1,2 m Höhe verbaut, so werden sie mit zunehmender Pyramidenhöhe immer kleiner. Die Steine an der Spitze sind nur mehr 50 - 60 cm hoch.

Diese Zugleistung nimmt jedoch dramatisch ab, wenn

- der Untergrund keine Haftung bietet, wie in besagtem Schlamm,
- die Zugkraft nicht waagrecht, sondern in der Steigung ausgeübt wird.

In jenen Pyramidenbautheorien, die zum Steintransport auf die Pyramide Rampen vorschlagen, weisen diese meistens eine Steigung von 10 % und mehr auf. Wer aber je versucht hat, eine größere Last über eine Steigung von 10 % hinaufzuziehen, weiß, dass dies äußerst mühsam ist. Steigungen von 20 % lassen sich mit einer Last praktisch nicht mehr bewältigen, weil der Ziehende beginnt, selbst wegzurutschen.

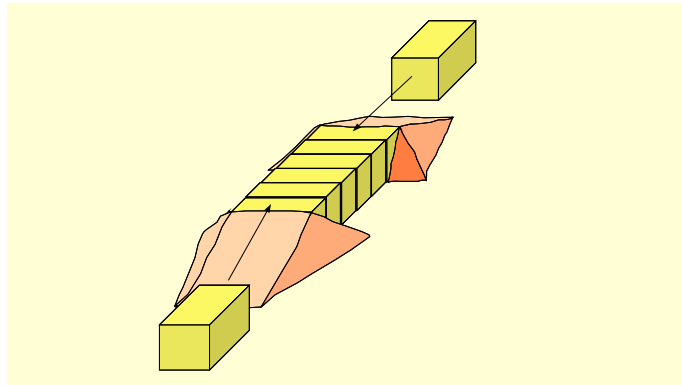
Der Reibungskoeffizient: Wird eine Last auf ebener Unterlage gezogen, das heißt geschliffen, so muss dazu eine Kraft aufgewendet werden. Die Größe der Kraft hängt vom Gewicht der Last und von besagtem Reibungskoeffizienten ab. Wiegt die Last 1 Tonne und ist der Reibungskoeffizient 1, so muss mit 1 Tonne (10.000 N) gezogen werden. Beträgt der Reibungskoeffizient 0,5, muss die Kraft von 5.000 N (500 kg) aufgewendet werden. Wie groß dieser Faktor ist, hängt vom Material der Last und der Unterlage ab. Gummi auf Asphalt etwa hat den Faktor 1, gleitet also schlecht, Stahl auf Eis den Faktor 0,1, gleitet also sehr gut.

Wir haben es bei den Pyramiden mit der Reibung Stein auf Stein oder Holz auf Stein zu tun. Hier wird in der Literatur ein Reibungskoeffizient von 0,4 angegeben. Eigene Versuche mit einem 60 kg schweren Stein brachten ähnliche Ergebnisse. Die Reibung kann durch Schmiermittel verringert werden. Auf einer mit Sand bestreuten Fläche betrug der Faktor bei obigen Versuchen dann auch nur mehr 0,3.

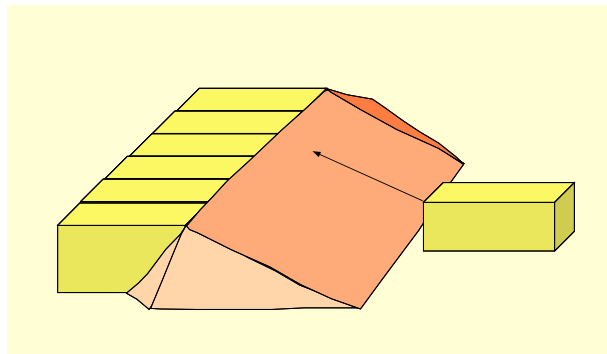
Will man also einen Stein von einer Tonne auf einer Steinunterlage ziehen, so benötigt man die Kraft von 4.000 N (soviel, als wollte man eine Last von 400 kg senkrecht nach oben ziehen). Die an der Cheopspyramide verbauten Steine wiegen in etwa 2,5 Tonnen. Man benötigt daher eine Kraft von 6.250 N (625 kg senkrecht), um so einen Stein zu ziehen. Bei einer Zugleistung von 250 N ziehen 25 Männer diesen Stein recht mühelos. Selbst größere Lasten wie 40 Tonnen können von einer genügend großen Zugmannschaft bewegt werden. Bei 40 Tonnen wären das 640 Männer.

Letztlich bedeutet das aber: Der Reibungskoeffizient ist für unsere Überlegungen eigentlich unbedeutend, denn ob 640 oder 800 oder 1000 Männer den 40 Tonnen Stein bewegten, spielte beim Pyramidenbau keine Rolle, da die Pharaonen jederzeit Arbeiter rekrutieren konnten.

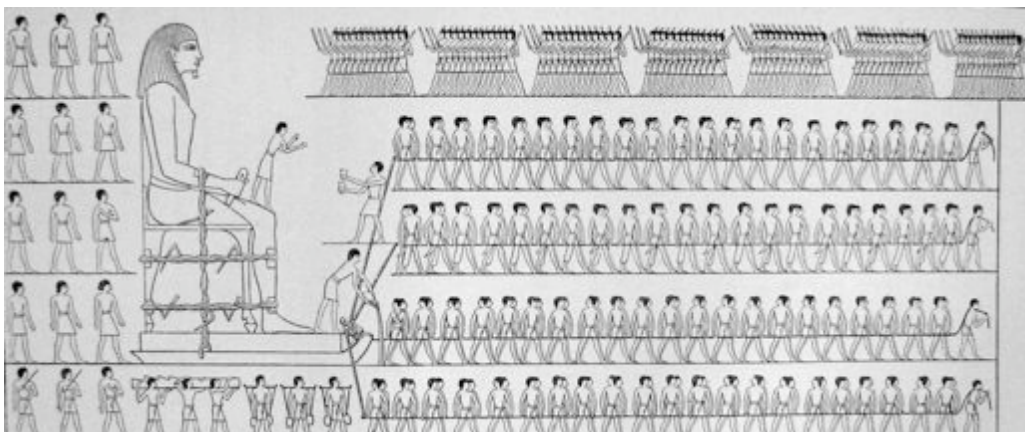
Die zwei Möglichkeiten des Rampenbaus



Die Rampe an den Enden der Mauer: Sie benötigt wenig Material, hat jedoch den Nachteil, dass die Steine über die ganze Mauerkrone gezogen werden müssen und dass dadurch weniger Arbeitskräfte eingesetzt werden können.



Die Rampe an der Stirnseite der Mauer: Sie benötigt zwar mehr Material, es können aber wesentlich mehr Arbeitskräfte eingesetzt werden.



Transport einer Monumentalstatue: Das Gewicht der Statue wird auf 50 Tonnen geschätzt. Den ägyptischen Baumeistern standen Arbeitskräfte praktisch unbegrenzt zur Verfügung. Das Problem war, möglichst viele gleichzeitig einzusetzen.

Unsere weiteren Überlegungen müssen daher nicht in die Richtung gehen, wie mit möglichst wenigen Arbeitern gebaut werden oder wie die Arbeitskraft des Einzelnen vergrößert werden kann, wie zum Beispiel durch die Verwendung von Schmiermitteln. Das entspricht unserem westlichen Denkschema, mit möglichst wenigen Arbeitskräften auskommen zu wollen. Vor 4500 Jahren stellte sich die Situation anders dar. Arbeitskräfte standen praktisch unbegrenzt zur Verfügung.

Die Überlegungen müssen in eine ganz andere Richtung gehen. Wie konnten möglichst viele Arbeiter gleichzeitig eingesetzt werden? Das einzige Limit, das den Pharaonen vorgegeben war, war die Zeit. Sie wussten nicht, wie alt sie werden und die durchschnittliche Lebenserwartung war damals nicht gerade sehr hoch. Die schönste Pyramidenbaumethode nützt also nichts, wenn sie sich nicht schnell realisieren lässt.

Die zweite Lage

Die Steine werden also über einen gepflasterten Weg zur Mauer gezogen und dort verlegt. Nachdem die erste Lage, die erste Schicht, liegt, steht man vor einem weiteren Problem. Die verwendeten Steine sind zu groß, um sie auch mit mehreren Arbeitern hinaufzuheben und eine Rampe muss gebaut werden.

Hier bieten sich 2 Möglichkeiten:

Die erste Möglichkeit: An beiden Enden der Mauer steht jeweils eine kleine Rampe. Bei dieser Methode werden die Steine über die Rampe auf die Mauer und anschließend über die Mauer hinweg zu ihrem Platz gezogen.

Der Vorteil ist, dass man nur zwei kleine Rampen benötigt.

Die Nachteile wären, dass die Mauersteine der ersten Lage an ihrer Oberseite glatt sein müssen, um die Steine der zweiten Lage darüber hinwegziehen zu können und dass nur eine begrenzte Zahl von Arbeitskräften eingesetzt werden kann. Die Arbeiter müssen solange warten, bis die Gruppe vor ihnen ihre Arbeit beendet hat.

Die zweite Möglichkeit: Eine Rampe an der Stirnseite über die ganze Länge der Mauer.

Vorteil: Es kann überall gleichzeitig gebaut und eine größere Anzahl von Arbeitern eingesetzt werden. Man erreicht auch alle Stellen hinter der Mauer auf geradem Weg, wenn dahinter etwa eine zweite Stützmauer gebaut werden soll.

Nachteil: Es wird sehr viel Material für den Bau der Rampe benötigt.