

# Zum Bau der Cheops-Pyramide - Herodot hatte doch Recht -

(c) Dipl.-Phys. Hartwig Munt; veröffentlicht in EFODON-SYNESIS Nr. 2/1994

Die Cheops-Pyramide ist das größte Bauwerk der gesamten Menschheitsgeschichte. Es wurden 6.500.000 t, etwa 2.300.000 m<sup>3</sup> Quader im Durchschnitt von 2,5 t Gewicht, also 2.600.000 Stück, in einer Zeitspanne von ca. 20 Jahren, also 600 Stück pro Tag, in Steinbrüchen gebrochen, bearbeitet, transportiert, übereinander gestapelt und vermörtelt.

Als erstes von sieben Weltwundern sind die drei Pyramiden von Gizeh mit den Tempelanlagen für viele Menschen daher das faszinierendste Bauprojekt. Es wurde auch extrem viel darüber geschrieben, spekuliert und Bautheorien entworfen. Das begann bei Herodot und ist mit den Büchern von Goyon und Illig/Löhner noch immer nicht abgeschlossen. Denn keine der gut zwanzig seit 150 Jahren von den Autoren angebotenen Bauvorschläge oder Theorien ist hinreichend plausibel oder berücksichtigt die von den Ägyptern an Herodot mündlich überlieferten kleinen "hölzernen Maschinen", mit denen der Bau der großen Pyramiden entstanden sein soll.

Als Physiker interessiert mich natürlich neben dem mythologischen Rahmen die Frage: Wie haben die Ägypter vor 4.500 Jahren diese Bauleistung fertiggebracht und über 20 Jahre lang in jeder Bauminute einen Stein von 2,5 t Gewicht zu einer Pyramide aufgetürmt? Welche physikalischen Größen wurden im Bauwerk verewigt? Es soll hier jedoch nicht darüber berichtet werden, warum die Höhe der Pyramide mit 146 m gleich dem 1.000.000.000sten Teil des Abstandes Erde-Sonne entspricht, und warum die Höhe von 146 m gleich dem Umfang der Cheops-Pyramide  $4 \times 230$  m dividiert durch  $2 \pi$  ist. Hier soll berichtet werden, wie Transport und Bau des Steinmonuments gemacht wurden. Und dabei gehe ich in für jedermann leicht nachvollziehbaren, kleinen Schritten vor. Die sieben Basiserfindungen des alten Ägyptens, die zum Pyramidenbau der geometrischen Idealform führten, werden dem Leser bis zum Abschluss des "Rohbaus" der Cheops-Pyramide verständlich gemacht.

## 1. Erfindung: Hebel

Will der Mensch einen schweren Gegenstand, den er nicht heben kann, bewegen, so benutzt er einen Hebel. Die erste Erfindung in der Menschheitsgeschichte zum Heben und Verschieben von Massen ist daher der Hebel. Er taucht auf vielen Reliefs auf, z.B. Abb. 41, Seite 60, Illig. Noch heute verrücken wir unsere schweren Schränke nach einem Umzug mit dem Hebel.

## 2. Erfindung: Schlitten

Will der Mensch einen schweren Gegenstand transportieren, so hat er den Schlitten erfunden und ihn selbst gezogen. Auf Abb. 73 Seite 132, Goyon, ist sehr schön zu sehen, wie 172 Mann zur Zeit des Thutotep, Mittleres Reich, eine 60 t schwere Statue auf einem Schlitten ziehen. 60 t dividiert durch 172 Mann macht 350 kg pro Mann.

Die Ägypter hatten ihre jährlichen Überschwemmungen. Und so ist es ganz natürlich, dass sie zunächst auf dem Nilschlick die Gleitreibung des Schlittens so stark reduzieren konnten, dass der Transport von einigen Tonnen Gewicht kein Problem war. Doch bei 60 t oder 350 kg pro Mann musste noch etwas Besseres als Schlick zum Gleiten erfunden werden.

### 3. Erfindung: Schmierseife

Bei der Mumifizierung von Toten wurde zunächst leicht Verderbliches wie das Gehirn und die inneren Organe und Eingeweide aus dem Toten entfernt und in besondere Krüge gegeben. Sodann wurde der Tote in Alaunlösung getaucht. Diese löste alle Fette heraus und verseifte sie. Die Seife ist hier Abfall. Doch wird man ihre guten Reinigungs- und Gleiteigenschaften sehr rasch entdeckt haben, so dass Seife, auch Schmierseife (mittels des Kalium aus dem Alaun) zur Zeit des Cheops als bekannt vorausgesetzt werden kann. Dann lassen sich auch Schlitten mit den 40 t Deckplatten des Königsgrabs von Cheops mit Schmierseife zwischen Schlittenkufen und Holzbohlenunterlage von 150 Mann ziehen. Die Abb. 73, Seite 132, Goyon, zeigt in der Tat einen Mann vorne auf dem Schlitten, der aus einem Krug Gleitmittel vor den Schlitten gießt. Auf Abb. 41, Seite 60, Illig, liegen die Gleitholzbohlen vor dem Schlitten und werden von vier Mann unter die verrutschenden Schlittenkufen geschoben.

### 4. Erfindung: Stapellauf von Schiffen

Die oben erwähnten 40 t Platten des Königsgrabs stammen aus den 800 km entfernten Rosengranit-Steinbrüchen von Assuan. Die immer schwereren Transportgüter verlangten eine ständige Vergrößerung der Schiffe. Mit Menschenkraft waren diese Schiffe über Sand und Schlick nicht mehr zur Reparatur an Land zu ziehen, bzw. nach Herstellung oder Reparatur zu Wasser zu lassen. Das Gleiten von Schlitten über Holzbohlen mit Schmierseife als Gleitmittel war Basis für die Erfindung des Stapellaufs. Der Stapellauf ist das älteste heute noch angewandte großtechnische Verfahren der Menschheitsgeschichte. Beispielsweise gleiten die Ozeanriesen in Hamburg oder Bremerhaven von den Werften über Holzbohlen und Schmierseife ins Wasser, und am Mittelmeer wird die Technik sogar bei den kleineren Segelschiffen (4 - 10 t) immer noch angewandt, wobei allerdings der Seilzug nicht mehr von Menschenkraft, sondern über eine Winde elektrisch bedient wird.

### 5. Erfindung: Lasthebezeug

Die drei Gizeh-Pyramiden hatten ihre eigenen Häfen. Aber niemand schreibt, wie die 40t-Lasten in die Schiffe hinein- und herauskamen. Abb. 46, Seite 99, Goyon, zeigt ein Transportschiff des Königs Unas, 5. Dynastie, 2320 v.C., beladen mit zwei schweren Säulen, ruhend auf ihren Transportschlitten. Wie waren die Schiffe gebaut und wie konnten sie belastet werden?

Das Staatsschiff des Cheops hat man in einem Bunker vor seiner Pyramide gefunden. Es ist aus dicken Holzplanken zusammengesetzt. Doch kannten die Ägypter keine Nägel. Sie flochten die Planken mit Hanfleinen zusammen. So ein Schiff ist stabil und belastbar, jedoch für das Raufschieben großer Lasten über Bohlenunterlage und Schlitten ungeeignet. Es würde zerbrechen.

Wie Schliemann die Festung Troja fand, durch Auswertung der Ilias des Homer, so wird im folgenden das hölzerne Lasthebezeug des Herodot aus dem Geschichtsschlummer wieder auferstehen. Der dazu notwendige Seilumlenkstein wurde im Taltempel am Hafen des Mykerinos gefunden, (Illig, S. 54, Abb. 34), und Skizze 1. Arnold hat im Jahre 1981 die mögliche Position eines solchen Umlenksteins auf einem Holzrahmen skizziert, (Illig, S. 54, Abb. 35). Skizze 2 zeigt meine Rekonstruktion eines hölzernen Lasthebezugs mit Umlenkstein nach Herodots Andeutungen.

Nun wenden wir das Lasthebezeug beim Entladen eines Schiffes an (Skizze 3), wobei wir zunächst nur ein Seil benutzen, um das Prinzip zu demonstrieren, also die beiden anderen Nutzen des Seilumlenksteins nicht verwenden.

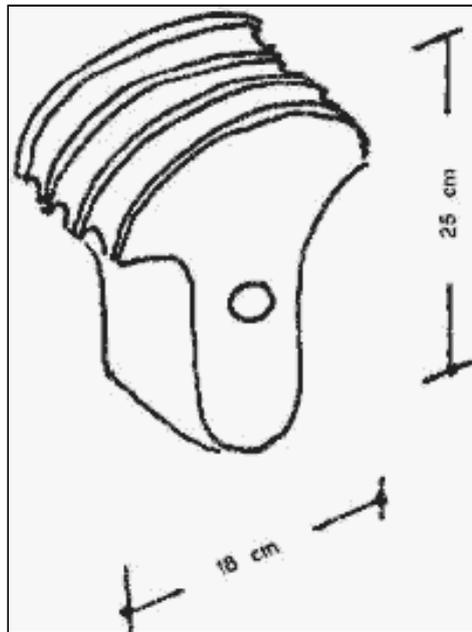


Abb. 1: Seil-Umlenkstein

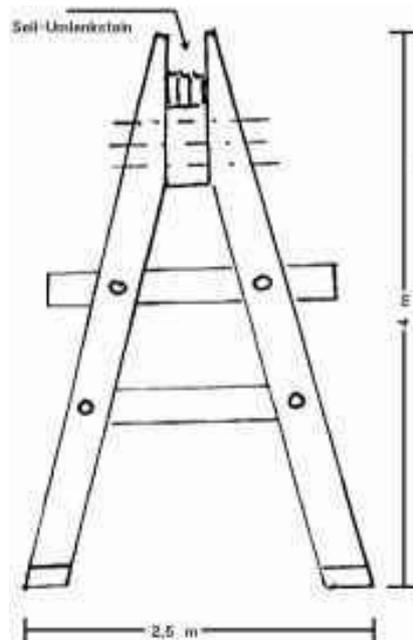


Abb. 2: Lasthebezeug

Anhand der Schiffsentladeskizze sieht jeder, natürlich auch die Ägypter vor 4500 Jahren, dass mit dem primitiven Holzhebezeug eine Höhenstufe überwunden wird. Dader Umlenkstein zum Seileine gewisse Reibung hat, wird das Seil auch nicht über den Umlenkstein gleiten, sofern nicht ein gewisser Winkel um die  $45^\circ$ -Linie überschritten wird. Folglich wird das Hebezeug beim Anheben des Steins automatisch in die bei Skizze 3 gestrichelt dargestellte Stellung mitgenommen. Will man dann nach Herausheben des Steines mit seinem Schlitten diesen an der Kaimauer absetzen, so muss man das Holzhebezeug fixieren, indem man es mit zwei Balken abstützt. Dann kann die Zugmannschaft das Seil etwas nachlassen. Es rutscht über den Umlenkstein, und die Last wird auf der Kaimauer abgesetzt.

Da Schiffe im Hafen an Pollern festgemacht werden, meine ich, dass das lose Ende des Lasthebesails ebenfalls an einem Poller festgelegt war, dies aus Sicherheitsgründen. Zusätzlich

entsteht ein Vorteil dadurch, dass die Zugmannschaft statt längs in Seilrichtung zu ziehen, dies senkrecht zum Seil tun kann. Damit reduziert sich die Zugmannschaft von 60 Mann für einen 2,5-t-Stein auf zwölf Mann, wie man aus Skizze 4 entnehmen kann. Angenommen, das Seil hat zwischen Umlenkstein und Poller eine Länge von 50 Metern und zwölf Mann ziehen nicht in Seilrichtung, sondern senkrecht dazu, dann hebt sich der Stein um einen Meter, während die Seilzugmannschaft fünf Meter senkrecht nach außen gewandert ist. Dieses Wegübersetzungsverhältnis von  $1\text{ m} : 5\text{ m} = 1 : 5$  bedeutet gleichzeitig ein Kraftübersetzungsverhältnis von  $5 : 1$ . Das heißt, statt sechzig Mann können nun zwölf Mann die Last von 2,5 t um einen Meter hochheben.

Auf diese Idee kommt man auch, wenn man nach einer Erklärung sucht, warum der Seilumlenkstein des Mykerinos nicht eine, sondern drei Seilnuten hat (Skizze 1). Daher waren wohl drei Seile am Hebevorgang beteiligt. An zwei Seilen wurde von je sechs Mann senkrecht nach außen gezogen, und das dritte Seil wurde - wie bei der Schifffahrt üblich - von einer Person in einer Acht um den dritten Poller gelegt und nachgeführt. Das ergibt zusätzliche Sicherheit und erlaubt es, jederzeit den Hebevorgang zu unterbrechen. Sollten die Zugmannschaft einmal ausrutschen, so saust der Stein nicht wieder ins Schiff zurück und schlägt durch den Boden, sondern der Beleger am mittleren Poller holt das Seilende dicht, und die Reibung des Seils um den Poller verhindert, dass die Last zurück ins Schiff fällt. (Der Mann am 3. Poller ist heute noch bei jedem Schiffsfestmachen am Kai vorhanden. Er holt auch bei Wind und Wellengang ein Schiff von 100 t Gewicht dicht.)

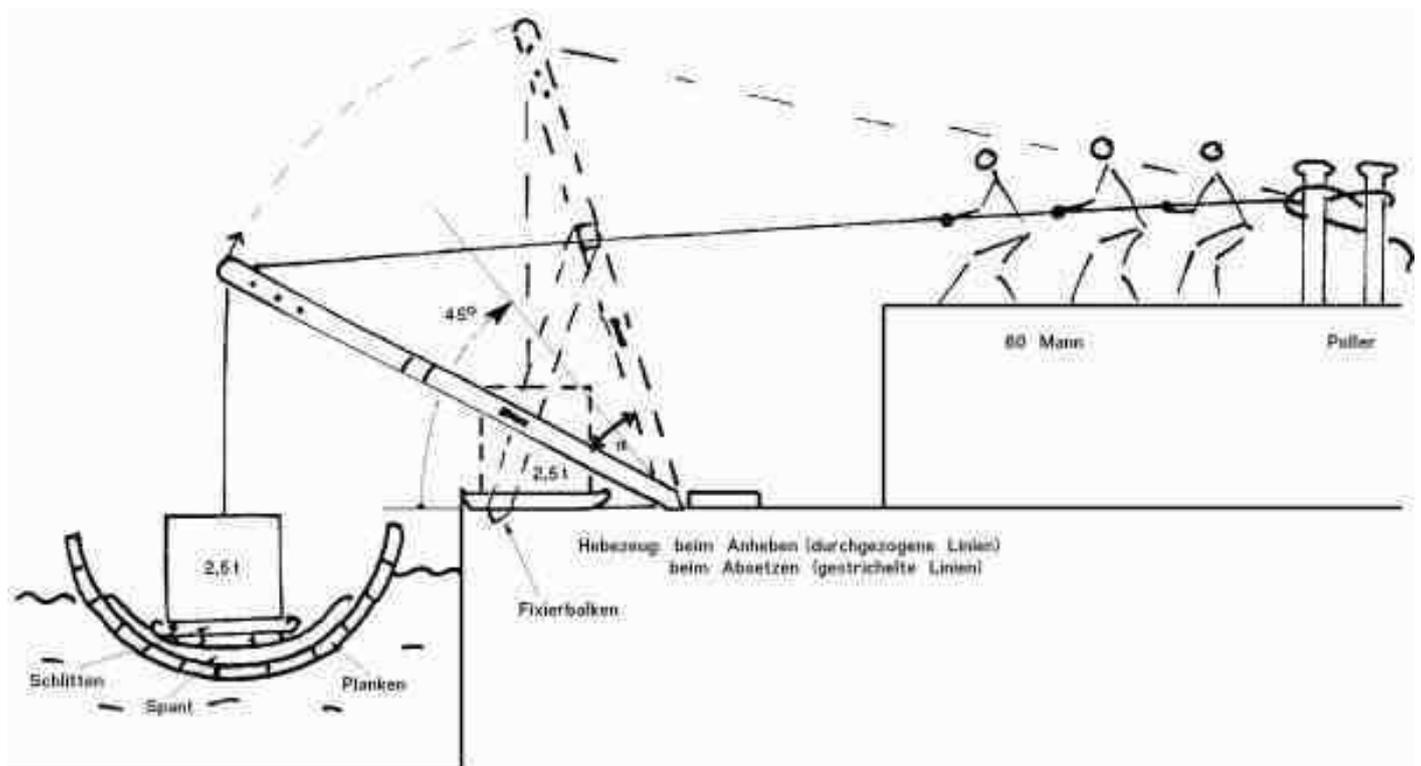


Abb. 3: Löschen der Schiffsladung

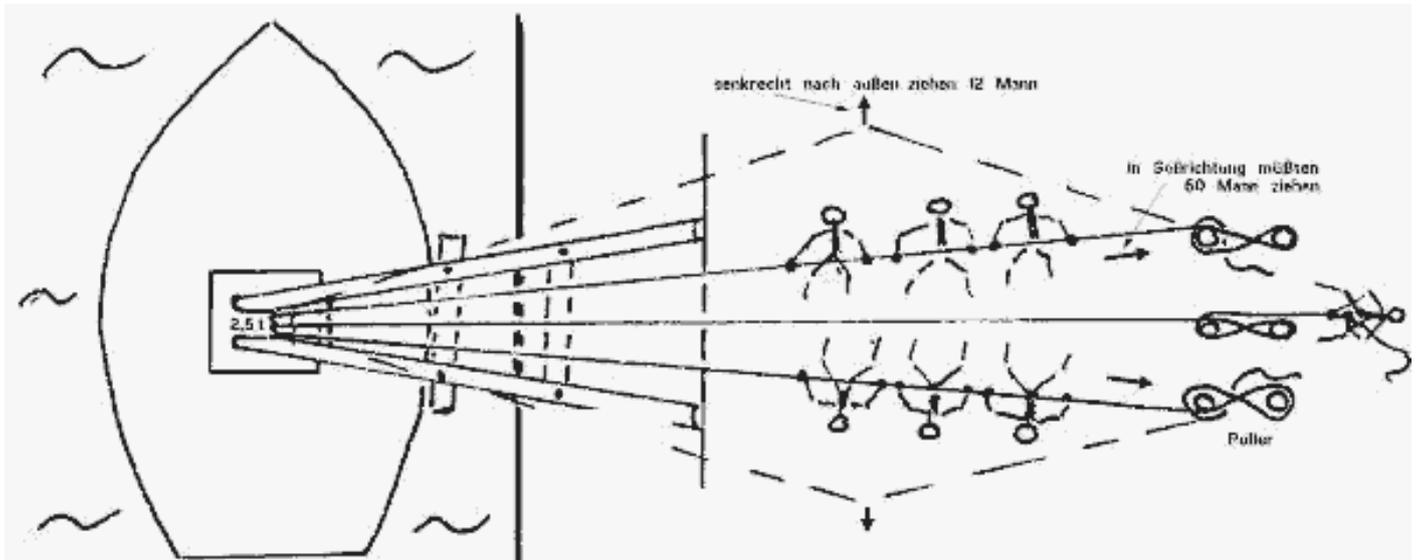


Abb. 4: Löschen der Schiffsladung, Draufsicht

## 6. Erfindung: Stapeln von Megalithen

Bei Megalithen spricht man von großen Steinblöcken, deren Bewegung und Transport bereits in der Jungsteinzeit erfunden wurde, was uns heute noch Rätsel aufgibt. - Die Erfindung des Lasthebezeugs zum Laden und Löschen großer Lasten beim Schiffstransport haben die Ägypter nun veranlasst, dasselbe Gerät zum Anheben der Steine auf die erste Pyramidenstufe anzuwenden. Der Erfolg ließ nicht auf sich warten. Auch die dritte Steinlage ließ sich ohne weitere Hilfsmittel setzen. Bei der vierten stellte sich heraus, dass das Seil durch ein weiteres Lasthebezeug oben an der Plattform umgelenkt werden musste (Skizze 5).

Dieses Lasthebezeug zum Umlenken des Seils bleibt nun bei allen weiteren Steinlagen an der oberen Pyramidenplattform, während das untere Lasthebezeug zusammen mit dem Stein nach jedem Hub auf die nächste Stufe um eine Stufe weiter nach oben versetzt wird. Ist der Stein oben auf der Pyramidenplattform angekommen, so wird Lasthebezeug und Schlitten nach Entladen des Steins miteinander verbunden und am Seil wieder nach unten zur Pyramidenbasis heruntergelassen.

Herodot hat Recht gehabt! Mehr als 2.000 Jahre haben die Ägypter die Bautechnik bis zu Herodots Reisemündlich korrekt überliefert. Herodot schreibt: "Man zog die Ergänzungssteine mit Hilfe aus kurzen Holzstücken hergestellter Maschinen hinauf. Man brachte den Stein vom Boden bis zur ersten Plattform, dort legte man ihn auf eine andere Maschine, die auf der ersten Stufe stand, und man zog ihn bis zur 2. Stufe, wo ihn eine dritte Maschine übernahm. Es gab ebenso viele Maschinen, wie es Stufen gab, sofern es nicht nur eine einzige gegeben hat, die leicht zu bewegen war, und die man, sobald sie entladen war, von einer Stufe zur anderen versetzte (dies, um die zwei Verfahren anzuzeigen, welche die Überlieferung berichtet)." Seite 172, Goyon.

Es ist meiner Meinung nach das zweite von Herodot beschriebene Verfahren angewendet worden. Die "hölzerne Maschine" wurde von Stufe zu Stufe mit dem Steinblock bis zur Pyramidenplattform mitgenommen.

## 7. Erfindung: Geometrische Idealform einer Pyramide

Über den Einsatz der Holzhebezeuge zum Bau der Pyramiden wurde erstens die Megalithbauweise möglich, und zweitens entstand dabei die neue Idealform der Pyramide. Denn die kleinen "hölzernen

Maschinen" des Herodot bedingen eine gleichmäßige Steigung der Pyramide von Stufe zu Stufe. Während die Lasthebezeuge zum Bau der großen in Meidum stehenden Stufenpyramide des Snofru wenig geeignet gewesen wären, so sind sie für die zweite Snofru-Pyramide, die sogenannte Knickpyramide, sowie für seine dritte Pyramide (beide in Dahschur), Abb. 5, Seite 14, Illig, eine ideale Voraussetzung für die Bautechnik der geometrischen Idealform einer Pyramide (Snofrus Pyramide 2 ist der Übergang von alter zu neuer Technik). Der Stararchitekt der Idealform der Pyramide hat somit zur Zeit des Snofru gelebt und war wahrscheinlich auch der Erfinder des Lasthebezeugs der "Herodot-Maschine".

Dass sich unter seinem Sohn Cheops die Bauingenieure bereits ein 146 m hohes Werk zutrauten, ist eine absolute Meisterleistung. So ein Risiko würde heute kaum mehr eine Großbaufirma eingehen, denn im Baukörper herrschen Gesteinsdrücke bis zu  $350.000 \text{ kg/m}^2$ .

#### Experiment: Bau einer kleinen Pyramide

Schon beim Lesen des Buches von Goyon war ich mir sicher, dass der Bau einer Pyramide mit den kleinen "Herodot-Maschinen" möglich ist. Aus Mauersteinen entstand nun in unserem Wohnzimmer ein fünfstufiger Teil einer Pyramide. Ein Tisch stellte die obere Pyramidenplattform dar. Zwei Hebezeuge gemäß Skizze 2 wurden gebaut und der Test des Steinhebeverfahrens durchgeführt. Statt Menschenkraft wurde eine auf dem Tisch montierte elektrische Seilwinde benutzt. Dabei stellten sich noch einige technisch interessante Kniffe heraus:

Die Länge der Holzhebezeuge ist ideal  $2,3 \times$  Stufenhöhe der Pyramide, also Länge =  $2,7 \text{ m}$  für eine Stufenhöhe von  $1,20 \text{ m}$  (im Experiment  $27 \text{ cm}$ ).

Da viele Steinlagen der Cheops-Pyramide nur  $60 \text{ cm}$  Stufenhöhe haben, kann bei jedem Hub eine Stufe übersprungen werden. Das bedingt allerdings, dass die Stufe, auf der der Stein abgelegt wird, durch Holzklötze verbreitert wird.

Das Hebezeug, das mit dem Stein nach oben auf die Pyramideplattform wandert, muss aus Zug- und Druckvektor-Parallelogramm-Gründen wie auch aus Sicherheitsgründen fest mit dem Zugseil verbunden sein (Erklärung wäre hier zu umfangreich, Physik).

Der Fuß des Hebezeugs wird vorteilhafterweise nicht in die Kehle zwischen erster und zweiter Steinlage, sondern in die Kehle zwischen zweiter und dritter gestellt, wenn der Stein von der Pyramidenbasis auf die erste Stufe gehoben werden soll, (Skizze 5).

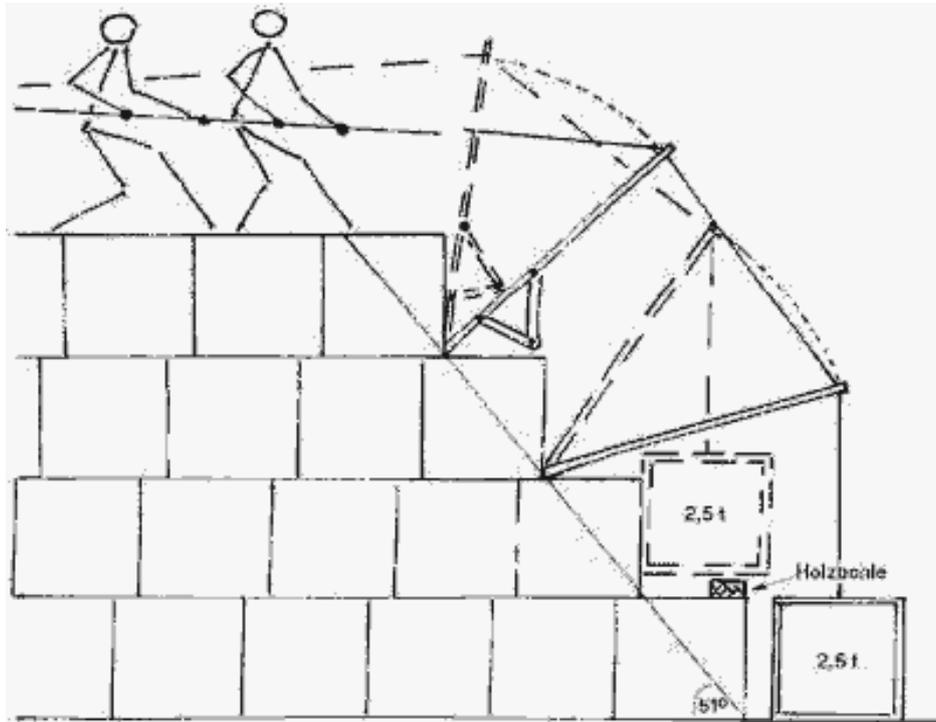


Abb. 5: Stapeln von Steinen

Zwei Bauarbeiter begleiten das Hebezeug und den Stein mit nach oben. Sie sorgen dafür, dass das Holzhebezeug von ihnen von Stufe zu Stufe versetzt wird und dass der Stein nicht gegen die Pyramidenstufen schlägt, sowie sauber auf der Stufe abgesetzt wird.

Das Hebezeug an der oberen Pyramidenplattform ist nicht wie das untere mit den Seilen fest verbunden. Da der "Mykerinos-Stein" eine hohe Gleitreibung zum Seil hat, wird bei Zug das Hebezeug mitgenommen (Skizze 3), bei Entlastung durch Aufsetzen des Steins auf die nächste Pyramidenstufe rutscht das Hebezeug längs der Seile wieder in die Ausgangsposition zurück, wobei die Seile auf dem Umlenkstein gleiten. Das bedeutet: Das Bauverfahren ist physikalisch fast reibungslos. Es würde nicht funktionieren, wenn man den Umlenkstein durch Steinrollen ersetzen würde. Die Ägypter brauchten keine modernen Seilrollen und hatte damit auch keine Kräne.

Die Erfindungen 5 (Lasthebezeug) und 6 (Stapeln von Megalithen) revolutionierten den Pyramidenbau und ebenfalls die Pyramidenform. Wenn wie beim Löschen der Schiffsladung statt einem Seil deren drei eingesetzt werden, dann kann der zu hebende Steinquader stets gesichert und das Unfallrisiko beim Heben von 2.600.000 Blöcken auf nahe Null gesenkt werden. Kein Stein wird die Pyramidenstufen hinuntersausen und nicht wiedergutzumachenden Schaden an Bauwerk und Menschen anrichten. Darüberhinaus senkt sich die Zahl der Mannschaft des Hebe- und Zugpersonals von 63 (30+30+1+2) auf 15 (6+6+1+2) Bauarbeiter.

Das ist in großen Höhen von unschätzbarem Wert. Denn mit zunehmender Höhe des Bauwerks müssen immer mehr Hebemannschaften mit je zwei Hebezeugen eingesetzt werden. Während eine Stufe in der kurzen Zeit von einer Minute überwunden wird, dauert es bei 30 Stufen bereits 30 Minuten. Ab einer gewissen Höhe wird die Plattform so klein, dass die Zugmannschaft über ein zweites auf der Plattform befindliches Lasthebezeug auf der Rückseite der Pyramide an den Seilen gehangen haben wird. Wahrscheinlich waren die Menschen wie Bergsteiger am Zugseil gesichert. Nur das dritte Seil mit dem dritten Mann wird über die beschriebenen Poller auf der Plattform die Sicherungsfunktionen wahrgenommen haben (Skizze 6).

Und trotzdem muss über Transport und Bauorganisation in großer Höhe noch intensiv nachgedacht werden. Denn die Pyramide muss mit Mannschaften, Seilen und Hebezeugen übersät gewesen sein (Der Teufel steckt im Detail).

Die beschriebene Bautechnik jedoch ist simpel, aber sehr wirkungsvoll und physikalisch fast reibungslos. Mut müssen die Bauarbeiter gehabt haben, in schwindelnder Höhe bei 51° Steigung ihre Arbeit verrichten zu haben, waren sie doch Fellachen und damit Flachlandarbeiter, jedoch keine Bergsteiger oder Dachdecker. Wenn man aber an den Bau unserer gotischen Kathedralen denkt, liegt die Vermutung nahe, dass sie wie die damaligen internationalen Bautrupps ebenfalls Profis waren, vom Baueiner Pyramide zur nächsten zogen und vom König versorgt, ernährt und "bezahlt" wurden. Denn immerhin gibt es etwa 96 Pyramiden an der Wüstenzone des Nilwestufers.

Dieser Bericht endet beim Abschluss des Rohbaus der großen Pyramiden von Gizeh. Mit über sieben Basiserfindungen hat der Leser ohne gewagte Hypothese einen Teil der Bautechnik des erst der sieben Weltwunder nachvollziehen können. Er kann das Prinzip des Stapelns von großen Steinblöcken zu einer Pyramide als Anregung zum Weiterdenken nutzen. Da sind insbesondere diejenigen angesprochen, die wie ich selbst anfangen zu experimentieren.

Beispielsweise würde ein Bergsteiger sich fragen, ob nicht vielleicht doch das erste von Herodot geschilderte Verfahren angewandt worden ist, dass auf jeder Pyramidenstufe ein Lasthebezeug gestanden hat und die beiden Lastseile jedes Hebezeugs mittels dicker Haken links und rechts in der Pyramidenwand verankert gewesen sind. Dann können zwölf Mann (je sechs links und rechts) sich in diese Seile hängen (vergleiche Skizze 4) und den Block eine Stufe weiterbefördern. Auf diese Weise wäre auf jeder Stufe ein Block. Und wenn nun die ganze Mannschaft startklar ist, erschallt von oben über einen Gong das Kommando. Die höchste Gruppe hängt sich in die Seile und versetzt den obersten Stein auf die Pyramidenplattform, dann die zweite Gruppe, die ihren Stein auf die frei gewordene Stelle absetzt und so weiter bis unten zur Pyramidenbasis. Die Bewegung läuft durch die ganze Reihe von oben nach unten und "im Nu" sind alle Steine eine Stufe höher. Zwei Mann sorgen je Stufe ständig für das Aus- und Einhängen von Blöcken. Die Hebezeuge senken sich von selbst in die Ausgangsposition, sobald die Zugseile entlastet sind. Wenn auf diese Art in einer Minute jede Stufe von je einem Stein "erklettert" wird, ist auch in jeder Minute ein Stein oben auf der Plattform, 600 Steine am Tag.

Mir erscheint diese Möglichkeit etwas gewagt, weil ein gewaltiger Unfall nicht ausgeschlossen werden kann. Aber vielleicht müsste dieses Verfahren noch etwas abgewandelt werden. Denn auf jeder Stufe könnte ein Hebezeug gewesen, jedoch nur jede zweite Stufe mit einem Stein belegt gewesen sein. Dann könnte sich beim Gongschlag alle Mannschaften gleichzeitig in die Seile legen und die Steine um eine Stufe anheben. In diesem Falle könnte man über ein drittes, massives Seil alle Hebezeuge der Hebekette miteinander verbinden und sichern und damit das Unfallrisiko verringern, falls mal ein Lastseil reißt oder eine Mannschaft beim Hebekommando versagt.

Ich bin davon überzeugt, dass experimentierende Tüftler oder aber Fachleute, die Ingenieure, den vorgezeigten Lösungsweg ausarbeiten, so dass nach vielen Jahren vergeblichen Mühens die Bautechnik des Rohbaus der Cheops-Pyramide endlich aufgeklärt sein wird.

Doch darf hier nicht vergessen werden, dass noch vieles Wunderbare mehr an der Cheops-Pyramide zu durchleuchten ist. Wie sind die Megalithen von 40 t Gewicht der Königin- und Königskammer im Steinbruch gebrochen, bearbeitet, transportiert und verbaut worden? Wie

wurden die Pyramiden "verputzt" und mit Kalksteinplatten versehen, sowie geometrisch exakt poliert, und wie ist das Pyramidon auf die Spitze des Bauwerks gebracht worden?

Mich jedenfalls zieht es nun nach Gizeh, erstmals das Wunder anzuschauen und dabei weiterzudenken. Vielleicht lassen sich noch einige Rätsel lösen.

---

**Abbildungen:** Hartwig Munt

---

---