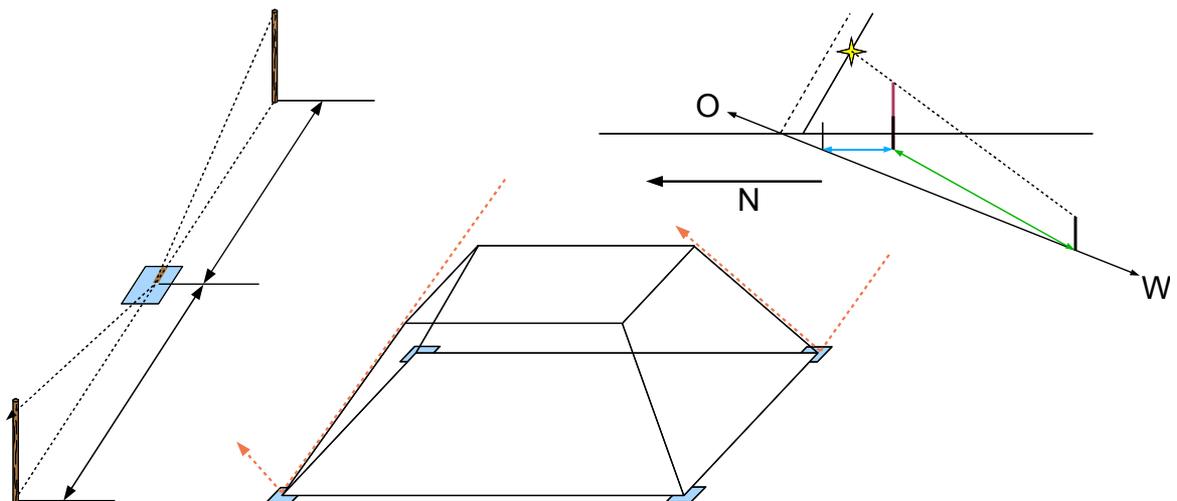


Eckart Unterberger

# Die Tricks der Pyramidenbauer

## Vermessung und Bau der ägyptischen Pyramiden



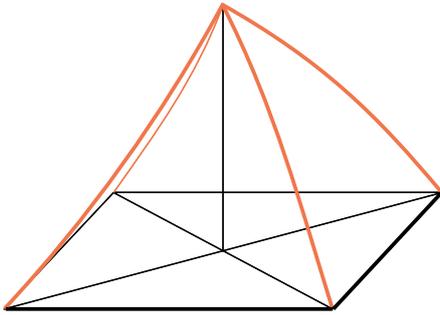
**Eckart Unterberger**

# **Die Tricks der Pyramidenbauer**

**Vermessung und Bau der ägyptischen Pyramiden**

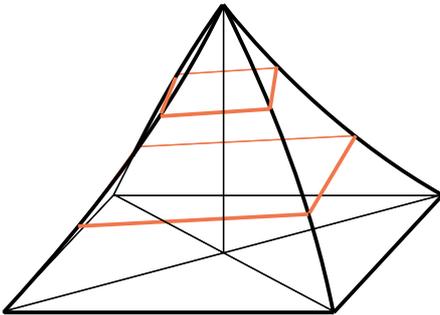
Herausgegeben im Eigenverlag

Innsbruck 2008

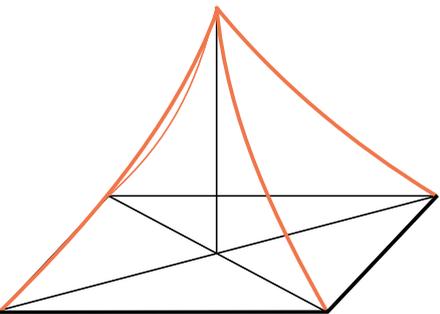


### **Messfehler und ihre Folgen**

Bei einem **Fehler in der waagrechten Ausrichtung** wird die Pyramide zu einem Horn. Es ist unwahrscheinlich, dass sich Messfehler im Verlauf des Baus aufheben.

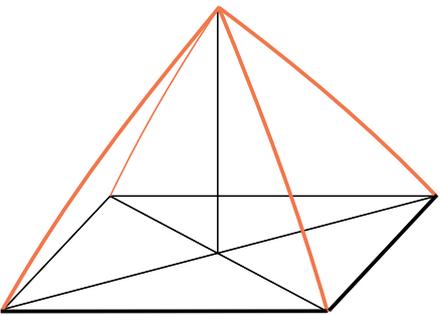


Bei einem **Fehler in der Orientierung nach den Himmelsrichtungen** wird die Pyramide zu einer Schraube. Die Pyramide hat auf jeder Ebene einen quadratischen Grundriss und ist waagrecht, beginnt sich aber langsam zu verdrehen.

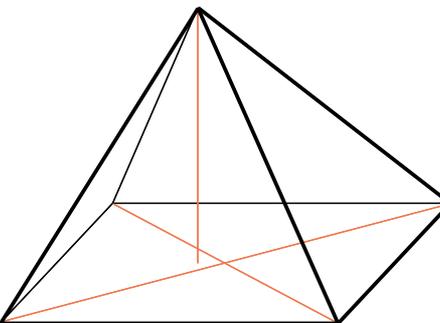


**Fehler bei der Kontrolle der Seitenneigung:** Die Pyramide hat zwar auf jeder Ebene einen quadratischen Grundriss und ist nach Norden orientiert.

Die Seitenflächen „hängen durch“.



Die Pyramide wird bauchig.

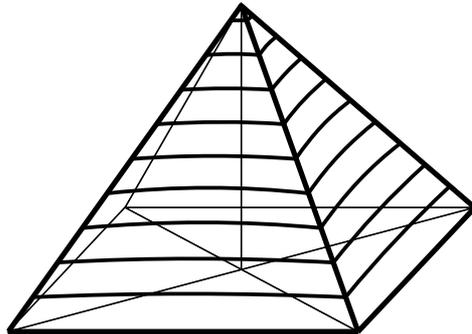


Die Spitze der Pyramide liegt nicht über dem Mittelpunkt des Grundquadrates.

### ***Die Parameter des Pyramidenbaus***

Es sind ‚nur‘ drei Parameter maßgeblich, um die Präzision einer Pyramide zu bestimmen:

- die waagrechte Ausrichtung des Fundaments und aller folgenden Bauschichten,
- die Orientierung nach den Himmelsrichtungen,
- die Seitenneigung der Flächen.



*Die wahre Form der Pyramiden: Die Basis ist quadratisch, die Spitze befindet sich genau über dem Zentrum des Grundquadrates, die Kanten und die Basislinien sind Geraden, aber die Seitenflächen sind leicht eingedellt (konkav).*

Alle drei Parameter müssen nicht nur bei Baubeginn exakt festgelegt, sondern vor allem auch während des Baus kontinuierlich kontrolliert und nachgemessen werden, sonst wird das ganze Bauwerk sichtbar unregelmäßig. Es genügt nicht, beispielsweise die horizontale Ausrichtung lediglich bei Baubeginn festzulegen und dann drauflos zu bauen. Bei der enormen Höhe der großen Pyramiden von Gizah würde ein sich wiederholender Messfehler von wenigen Millimetern nach oben hin multipliziert.

Erwägt man also mögliche Messmethoden im Hinblick auf ihre Tauglichkeit beim Pyramidenbau, müssen drei wesentliche Bedingungen erfüllt werden:

- Die Messtechnik ist mit steinzeitlichem Werkzeug und Wissen möglich.
- Sie ist realistisch geeignet, bei den beträchtlichen Dimensionen der Pyramiden zumindest die erreichte Genauigkeit zu liefern.
- Sie ist auch in großer Höhe und auf kleiner Fläche anwendbar, so dass sie bei jeder neuen Schicht wiederholt werden kann.



*An der Ecke der Cheopspyramide ist der Felskern, über dem sie errichtet wurde, gut zu erkennen. Die Messung der Waagrechten konnte daher nicht diagonal von Ecke zu Ecke durchgeführt werden. Es musste über die Länge aller vier Seiten gemessen werden, also 920 m weit.*



*Der Untergrund rund um die Cheopspyramide weist zahlreiche Risse und Spalten auf. Es ist in der Praxis nicht durchführbar, dort einen fast 1 km langen Wassergraben zu errichten.*

## **Die Messung der Waagrechten**

Das Pflaster rund um die Cheopspyramide wurde überaus genau waagrecht eingemessen, besser als alle anderen zu messenden Größen. Der Niveauunterschied zwischen der Nordwestecke (NW) und der Südostecke (SO) beträgt 2 cm. Dazu muss man wissen, dass es bei der Cheopspyramide nicht möglich war, über die Diagonale zu messen, weil die Pyramide über einem wahrscheinlich 10 Meter hohen Felskern errichtet wurde. Der Felskern steckt in der Pyramide und ist an der Basis teilweise zu sehen. Es musste also um die Pyramide herum gemessen werden. Bei einer Basislänge von 230 m ist die zu messende Strecke 460 m lang. Der Fehler liegt dann bei unglaublichen 0,004 % (4 Hunderttausendstel!).

In der Literatur wurden bisher zwei Messmethoden diskutiert.

### ***Der Wassergraben***

Diese Theorie schlägt vor, rund um die Pyramide einen Wassergraben aus Nilschlamm zu errichten, der, mit Wasser gefüllt, eine waagrechte Messlinie ergibt. Nun lässt sich an verschiedenen Stellen, also alle paar Meter, die genaue Höhe markieren. Der Vorschlag klingt zunächst plausibel.

Dieser Graben soll aus Nilschlamm errichtet worden sein. Nilschlamm besitzt aber die Eigenschaft, zunächst große Mengen an Wasser aufzusaugen und dann weich zu werden. Ein Graben aus Nilschlamm würde recht bald selbst davonschwimmen.

Der Graben könnte mit Lehm ausgekleidet oder als gemauerter Wassergraben errichtet werden. Der Umfang der Cheopspyramide beträgt aber 920 m. Baut man einen Graben dieser Länge, der 10 cm breit ist und in dem das Wasser 10 cm hoch steht, so benötigt man ca. 10.000 Liter Wasser, um den Graben zu füllen. Nehmen wir an, die Seitenwände sind 15 cm hoch und 20 cm breit, so benötigt man zunächst einmal 60 m<sup>3</sup> Material, um den Graben zu errichten. Diese Arbeitsleistung kann man sich beim Pyramidenbau noch vorstellen, nur stellt sich ein weiteres Problem. Um einen Graben errichten zu können, in dem das Wasser überall gleich hoch steht, muss das Gelände vorher bereits einigermaßen waagrecht sein. Es ist aber nicht möglich, unregelmäßiges Gelände nur durch Augenmaß so weit zu ebnen, dass die Wassertiefe im Graben höchstens 10 cm Unterschied aufweist. Bei größeren Niveauunterschieden muss dann auch der Graben entsprechend tiefer sein. Die Mengen an Lehm für die Ränder und die Wassermengen, die zu transportieren sind, vervielfachen sich.



*Es genügt nicht, lediglich das Fundament zu nivellieren und dann von Stufe zu Stufe nach oben zu messen. Bei den mehr als 200 Stufen der Cheopspyramide wäre der Fehler in den oberen Lagen mit Sicherheit zu groß.*



*Aufbau der Chefrenpyramide: Wollte man in größerer Höhe ein Kontrollmessung der Waagrechten durchführen, so müsste der Wassergraben auf diesen unregelmäßig verlegten Steinen errichtet werden.*

Betrachten wir aber die zu Anfang gestellten Bedingungen für Messtechniken, die beim Pyramidenbau angewendet werden können. Nehmen wir an, die Pyramide hat die Höhe von 70 m erreicht. Die Arbeitsfläche hat immer noch eine Ausdehnung von 115 m mal 115 m. Spätestens hier ist es notwendig, eine Kontrollmessung durchzuführen. Dass dies geschah, zeigen eindeutig die Messungen von Petrie. Die absoluten Höhen der Schichten, also die Höhen über dem Fundament, erreichen an der NW- und der SO-Ecke immer wieder genau den gleichen Wert, um dann wieder kleine Unterschiede aufzuweisen.

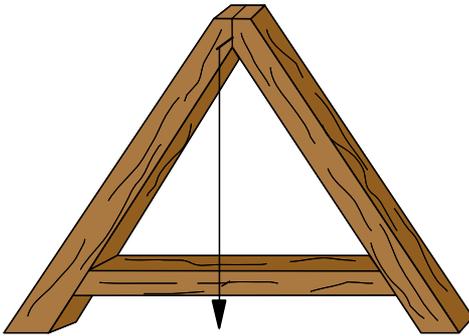
Man müsste also das Verfahren der Wassergrabenmessung auf dem Pyramidenstumpf durchführen. Dabei sind jedoch einige hundert Spalten zwischen den einzelnen Steinen - und seien sie noch so schmal - allesamt sorgfältig abzudichten. Dass dies äußerst aufwändig, ja nahezu unmöglich ist, liegt auf der Hand.

Um dem zu entgehen und auch beim Bau in den einzelnen Schichten waagrecht zu bleiben, wird oftmals folgendes Vorgehen beschrieben: Man misst bei jeder Stufe mehrmals die entsprechende Höhe und überträgt sie auf die gesamte Länge. Dazu muss aber die obere Fläche des Blockes absolut waagrecht sein und die Höhenmessung ist genau senkrecht durchzuführen. Dieses Verfahren muss schließlich 200-mal wiederholt werden und das an jeder Flanke der Pyramide. Dass dabei die Fehler nicht kleiner werden, liegt auf der Hand. Eine regelmäßige Nachmessung der Waagrechten möglichst auf jeder Schicht ist daher unbedingt notwendig.

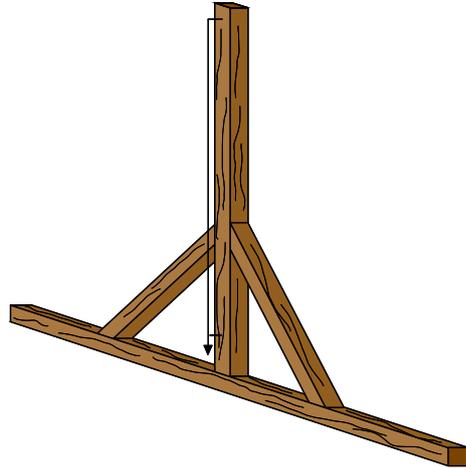
### ***Die Setzwaage***

Als weiteres messtechnisches Werkzeug wird in der Literatur die Setzwaage beschrieben. Dabei handelt es sich um ein Gerät aus zwei Balken, die T-förmig verbunden sind. Das T steht auf dem Kopf und durch ein Lot werden die Senkrechte und damit auch die Waagrechte ermittelt.

Solche oder ähnliche Geräte (in Form eines A) wurden auch als Grabbeigaben gefunden. Sie haben den Vorteil, dass sie selbstkorrigierend sind, das heißt, der Fehler gleicht sich selbst aus, wenn man sie um 180° dreht. Diese Geräte lassen sich zum Messen der Waagrechten auf kurze Distanzen ohne Weiteres einsetzen. Es geht aber bei der Cheopspyramide um eine Entfernung von 460 m. Josef Dorner meint, dass der Messbalken der Setzwaage etwa 4 Ellen (2 Meter) lang sein sollte, um das Gerät nicht zu unhandlich zu machen. Ein mehrmaliges Hin- und Hermessen sollte dann brauchbare Ergebnisse liefern. Bei der Vermessung der Basislinie müsste es also 230-mal aufgesetzt werden. Der Fehler, der sich zwangsläufig ergibt, soll dann durch Umdre-



*Die A-Waage: Dieses Messgerät ist im Ägyptischen Museum in Kairo zu sehen. Es ist an der Basis ca. 50 cm breit.*



*Die Setzwaage: Ein solches Gerät wird von Josef Dorner zur Nivellierung der Pyramiden vorgeschlagen. Der Querbalken soll etwa 2 m lang sein. Das Gerät müsste daher mehr als 230-mal aufgesetzt werden, um die Basislinie der Cheopspyramide zu nivellieren.*

*Bisher hat noch niemand versucht, Entfernungen von jenen Dimensionen, mit denen wir es bei den Pyramiden zu tun haben, mit einem der beiden Geräte zu nivellieren.*



*Die Dimensionen der Chefrenpyramide: 215 m x 215 m.*

hen des Balkens und Zurückmessen wieder ausgeglichen werden. Mir ist nicht bekannt, ob jemand dieses Verfahren über die Entfernungen, mit denen wir es bei den Pyramiden zu tun haben, bereits erfolgreich erprobt hat. Bei Anwendung dieser Messmethode in der Praxis stellen sich aber noch weitere Hindernisse heraus. Wer je versucht hat, ein größeres Gelände mit einer Messlatte zu nivellieren, wird sich vor folgendem Problem gesehen haben:

Setzt man die Messlatte, sei es eine moderne Wasserwaage oder eine alte Setzwaage mit Lot, auf eine einigermaßen ebene Unterlage und richtet sie waagrecht ein, so berührt ein Ende zwangsläufig nicht den Boden. Es muss dann etwas untergelegt werden, etwa ein passender Stein. Dann setzt man die Latte mit einem Ende auf den Stein und misst weiter. Dabei darf der Stein natürlich nicht verrutschen, sonst muss wieder von vorne begonnen werden.

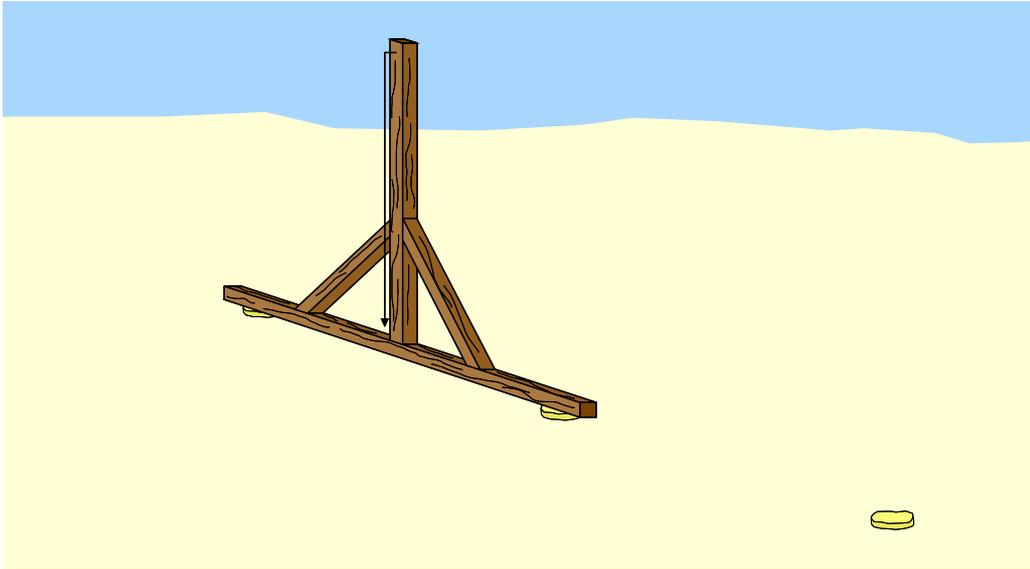
Der Vorgang wird 230-mal wiederholt, jedesmal mit Unterlegen, Aufsetzen, Unterlegen bis schließlich das Ziel erreicht ist. Dann folgt der gleiche Ablauf noch einmal, nur in die umgekehrte Richtung. Die Steine, die dabei untergelegt werden, sollten aber eine Genauigkeit von einem Zehntel-Millimeter aufweisen. Dass man so nur schwer auf einen Fehler von 2,4 cm kommt, liegt auf der Hand. Etwas anschaulicher ausgedrückt: Es wäre, als wollte man mit einer einfachen Wasserwaage von einem Meter Länge einen Fußballplatz auf einen Zentimeter genau nivellieren.

Eine andere Möglichkeit wäre, das Gelände sogleich zu planieren und dann erst die nächste Messung vorzunehmen. Das bedeutet, dass man solange misst und ebnet, bis zwei Meter plan sind. Dieser Vorgang ist aber nicht nur unpraktisch - man denke an die Kontrollmessung - sondern vor allem sehr zeitaufwändig. Es kann jeweils nur an zwei Stellen, einmal links- und einmal rechtsherum, gearbeitet werden. Am Ende würden sich die beiden Arbeitstrupps dann treffen und hoffentlich auf gleicher Höhe liegen. Bei einer sehr optimistischen Schätzung von 1 m Fortschritt pro Stunde, wäre das nach ca. einem Monat der Fall.

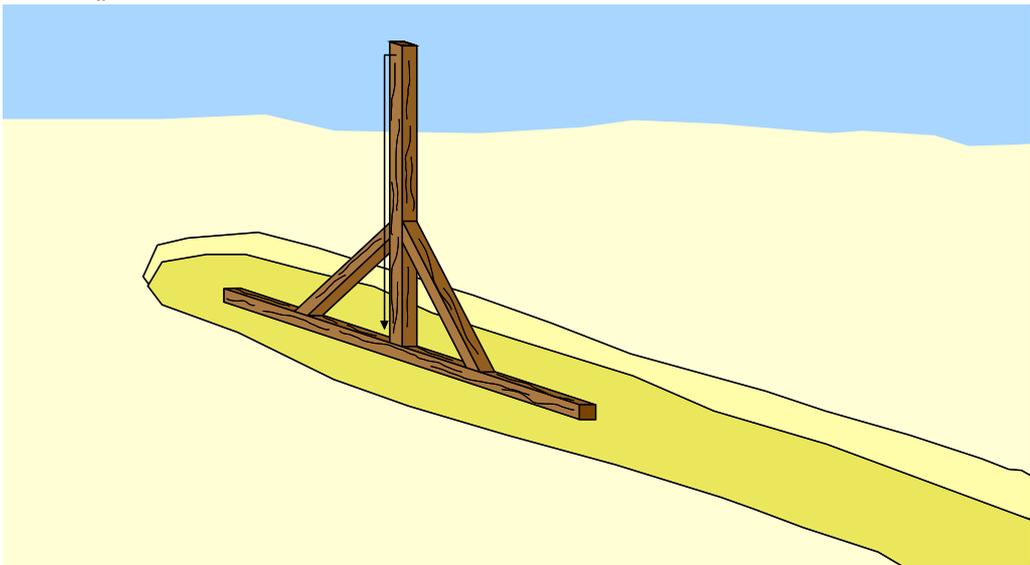
Das Messen mit der Setzwaage erweist sich so in der Praxis nicht nur wegen der mangelnden Genauigkeit als undurchführbar.

Nun müsste das Verfahren aber auch auf dem Pyramidenstumpf wiederholt werden. Es wird beim anscheinend niedrigsten Stein begonnen und von den anderen Steinen Material entfernt. Was, wenn man sich nicht auf der gleichen Höhe trifft?

### *Das Messen mit der Setzwaage in der Praxis*



*Die 1. Methode: Das Gelände wird zunächst grob nivelliert, was mit freiem Auge bei der enormen Ausdehnung nur schwer möglich ist. Dann wird bei jedem Aufsetzen der Waage ein Stein oder etwas Ähnliches untergelegt. Dieser müsste auf den Zehntelmillimeter genau passen. Anschließend wird der gesamte Messvorgang in die umgekehrte Richtung wiederholt.*



*Die 2. Methode: Man arbeitet sich langsam an 2 Seiten vorwärts, der Felsengrund wird dabei eingeebnet. Bei einem Fortschritt von 1 m pro Stunde würde man für das Nivellieren einen Monat benötigen. Ungenauigkeiten bei der Messung hätten katastrophale Folgen: Dort, wo die beiden Messtrupps aufeinander stoßen, wäre eine Stufe.*

*Beide Methoden erweisen sich letztendlich als zu aufwändig und fehlerhaft, um auch auf dem Pyramidenstumpf oft und oft wiederholt zu werden, und sind somit unbrauchbar.*

Es kann also ganz simpel festgestellt werden, dass beide Verfahren nicht zum Ziel führen. Beide sind zu ungenau, lassen sich in großer Höhe nicht mehr durchführen und liefern die Ergebnisse nicht schnell genug.

Dem Phänomen der genauen Nivellierung über große Distanzen begegnen wir in sehr vielen Großbauwerken der Antike. Alle bisher diskutierten Ideen erweisen sich letztendlich als unbrauchbar, die vorgefundene, für die damalige Zeit erstaunlich hohe Präzision zu erreichen. Wir müssen uns veranschaulichen, dass die Messergebnisse mit Fehlern behaftet sind, die unter dem Zehntelpromillebereich liegen.

Auch die verschiedenen Peilgeräte, wie der römische Chorobates, können nicht zu diesen genauen Ergebnissen führen. Ein Peilgerät verfügt immer über eine Peilstrecke, über die nivelliert wird. Diese Peilstrecke ist beim römischen Chorobates etwa 6 m lang. Ein Fehler von nur einem Millimeter beim Peilgerät würde bei der Entfernung von 230 m bereits einen Fehler von 10 cm verursachen. Bei der Nivellierung der Pyramiden haben wir es aber mit einem Fehler von 1 cm zu tun.

Dabei ist man natürlich von der Genauigkeit moderner Messgeräte weit entfernt. Der Fehler dieser Geräte liegt bei +/- 2,5 mm auf 1 km Entfernung. Die Behauptung, man könnte die Genauigkeit der ägyptischen Landvermesser auch mit modernen Geräten kaum erreichen, ist daher blanker Unsinn.

Dennoch ist die Abweichung von nur 2,4 cm auf fast 0,5 km erstaunlich. Die Ägypter scheinen also über eine Methode verfügt zu haben, mit der sich so präzise Messungen offensichtlich schnell und problemlos durchführen ließen. Diese Methode muss dann von Generation zu Generation weitergegeben worden sein, bis sie schließlich auch von Griechen und Römern verwendet wurde. Der Tunnel des Eupalinos auf Samos weist eine Ungenauigkeit von 40 cm auf einer Länge von 1 km auf. Auch die verschiedenen römischen Wasserleitungen, die ähnlich präzise nivelliert wurden, seien hier erwähnt. Es existieren jedoch keinerlei Aufzeichnungen über diese Technologie. Dieses Wissen ist mit dem Untergang der antiken Welt verloren gegangen.