

DER FLUCHTSTAB

HERAUSGEBER: VERBAND DEUTSCHER VERMESSUNGSINGENIEURE (VDV)

Hauptschriftleiter: Josef Heyink, Wiesbaden, Eberleinstraße 16
Wissenschaftlicher Schriftleiter: Dipl.-Ing. Erwin Jacobs, Oberhausen



Abdruck von Originalartikeln nur mit Erlaubnis der Schriftleitung

Nr. 4

Juli / August 1962

13. Jahrgang

Inhalt: Peters, Absteckung und Bau der großen Pyramide bei Gise, S. 65 — Meier, Über den Teil II der Anweisung für die Bestimmung von Vermessungspunkten in Nordrhein-Westfalen (Schluß), S. 70 — Jacobs, Trigonometrische und polygonometrische Berechnungen in den neuen Vermessungsvordrucken (Fortsetzung), S. 72 — Praxis und Prüfung, S. 79 — Umschau, S. 81 — Neue Deutsche Normen, S. 82 — Bücherschau, S. 82 — Zeitschriftenschau, S. 84

Absteckung und Bau der großen Pyramide bei Gise

Von Konrad Peters, Münster

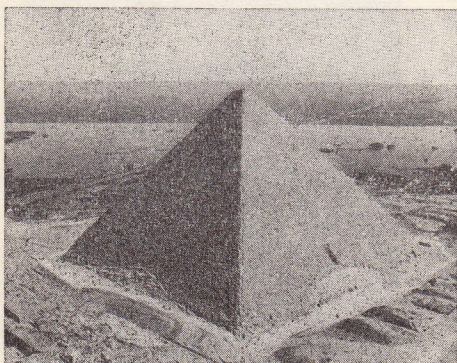


Bild 1

Die große Pyramide bei Gise

Bei Kairo erheben sich am Rand der Libyschen Wüste die Pyramiden von Gise. Die größte und berühmteste unter ihnen ist die Pyramide des Königs Cheops. Sie besteht aus 2 300 000 Steinblöcken und ist über 146 Meter hoch.

Für die Geschichte des Vermessungswesens ist die Genauigkeit, mit der die Pyramide abgesteckt wurde, von besonderer Bedeutung. Der deutsche Ägyptologe Ludwig Borchardt ließ in den dreißiger Jahren die Pyramide genau vermessen. Das Ergebnis überraschte. Die alten Ägypter arbeiteten mit einer Genauigkeit, die auch den heutigen Anforderungen noch genügen würde.

Die Maße der großen Pyramide

Die ägyptischen Baumeister ritzten vor Beginn der Bauarbeiten die Grundrisse ihrer Bauwerke in das Grundsteinpflaster ein. Diese Methode hat Borchardt an allen von ihm in Ägypten untersuchten Hausteinbauten festgestellt. Auch der Grundriß der großen Pyramide wurde vor Baubeginn auf das waagerechte Grundsteinpflaster übertragen. An der Nordseite der großen Pyramide lag die Grundrißlinie teilweise frei, an den übrigen Seiten dagegen mußten erst tiefe Gräben aufgeworfen werden, um für die Vermessung einige Stellen der eingeritzten Linien freizulegen. In der Mitte der Nordseite entdeckte Borchardt eine Absteckungsmarke (siehe Bild 2), die bei der Festlegung der Nord-Süd-Achse eingeritzt wurde. Für die Prüfung der Höhenlage der Pyramide wurden 10 Punkte, die um den ganzen Grundriß verteilt lagen, einnivelliert. Der größte Höhenunterschied zwischen diesen Punkten betrug 21 mm. Läßt man den tiefsten Punkt unberücksichtigt, dann beträgt der größte Höhenunterschied zwischen den übrigen 9 Punkten nur 15 mm.

Die Meßergebnisse, die für die Grundseiten, die Winkel sowie für die Richtungen ermittelt wurden, sind im Bild 2 dargestellt.

Die Seiten der Pyramide sind zwischen 230,252 und 230,454 Meter lang. Der Unterschied in den Seitenlängen erklärt sich aus den verschiedenen Spannungen des Meßseiles bei Ausführung der Längenmessung.

Aus den Seitenlängen in Metern ist zu schließen, daß die Pyramidenseite im alt-ägyptischen Längenmaß 440 Ellen betragen sollte. Daraus ergibt sich ein Durchschnittswert für die Länge der Elle von 0,52355 Meter. Die Höhe der Pyramide beträgt 280 Ellen, das sind 146,595 Meter.

Winkel $51^{\circ} 52'$

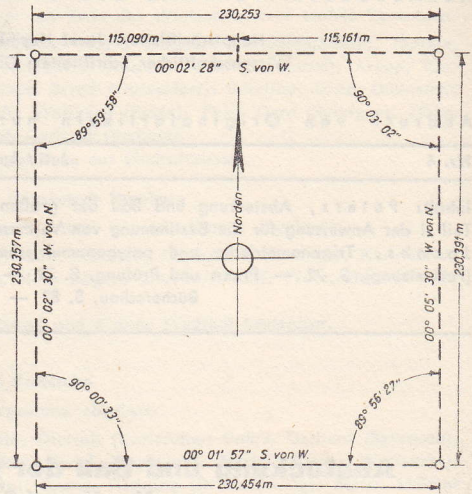


Bild 2
Grundriß der Pyramide

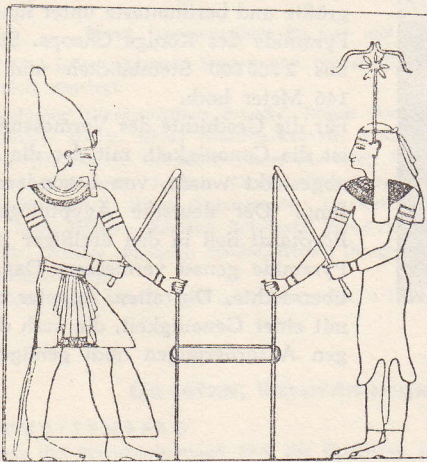


Bild 3

Spannen der Meßschnur

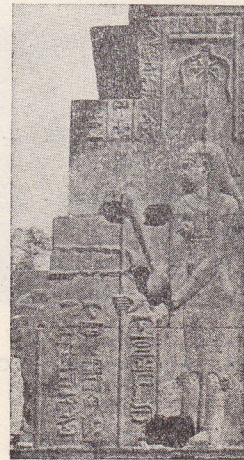


Bild 4

Festlegung der Nord-Süd-Achse

Über die Festlegung einer Bauwerksachse sind aus allen Abschnitten der ägyptischen Geschichte von etwa 3100 vC bis 150 nC zahlreiche Bilder überliefert. Seit etwa 1500 vC sind diese Bilder auch mit Inschriften versehen. Text und Form der Bilder sind durch alle Jahrhunderte unverändert geblieben. Als handelnde Personen sind auf den Bildern der König und die Weisheitgöttin Sakhmet dargestellt. Sie stehen sich genau gegenüber. Beide halten in der einen Hand einen Schlegel und in der anderen Hand einen Stab. Um beide Stäbe ist ein in sich geschlossenes Seil gespannt (Bild 3 und 4). Die Göttin trägt auf dem

Kopf einen Stern, über dem sich zwei Schenkel oder Stierhörner befinden. Die Inschrift sagt: „Ich richte meine Augen nach dem Sternbild des Stierschenkels“. Dieser Ausdruck wurde im Altertum für die Nordrichtung gebraucht. Die Inschriften, die ab 1500 vC zu den Bildern gegeben wurden, kann man wie folgt übersetzen. Überschrift des ganzen Bildes: „Spannen der Meßschnur im Tempel zwischen den Fluchtstäben“. Überschrift zum Bilde des Königs: „Der König N., der Sohn der Sonne, der tüchtig ist mit dem Meßgerät und der den Grundriß legt wie die Weisheitsgöttin“. Die Formel, die der König bei der heiligen Handlung sprechen sollte, lautet: „Ich fasse den Fluchtstab, packe das Ende des Schlegels und ergreife die Schnur zusammen mit der Weisheitsgöttin. Ich wende mein Gesicht nach dem Gange der aufsteigenden Sterne. Ich richte meine Augen nach dem Sternbild des Stierschenkels. Ich lege die vier Ecken Deines (des Tempelgottes) Tempels fest“.

Neben diesen in Stein eingehauenen Inschriften gibt auch der Text einer Lederrolle aus der Mitte des 3. Jahrtausend vC für die Absteckung der Tempel wichtige Hinweise. Hier wird bei einer Schilderung der Vorarbeiten für den Bau eines Tempels zu Ehren des Sonnengottes Horus die Absteckung des Tempels durch den König erwähnt. „Der König schmückte sich mit der Federkrone und begab sich, umgeben von den Seinen, auf den Bauplatz. Der oberste Schriftgelehrte las vor aus dem Buche über das Spannen der Meßschnur und die

Einfählung des Absteckungsplanes, und der König vollzog angesichts des versammelten Volkes die Weihehandlung für den geplanten Tempel“. Leider ist das hier erwähnte Buch „Über das Spannen der Meßschnur“ nicht überliefert.

Für den Visiervorgang zur Ermittlung der Nordrichtung benutzte der königliche Landmesser ein einfaches Visierinstrument, das in den Inschriften als Merchet-Instrument bezeichnet wird (Bild 5). Es besteht aus einer Palmrippe mit Schlitz und einem Elfenbeinlineal mit Lot. Durch den Schlitz (Dioptr) der Palmrippe wurde der Stern angezielt und die Lotschnur eingerichtet. Ein vollständig erhaltenes Merchet-Instrument aus dem 6. Jahrhundert vC befindet sich im Berliner Museum. Wie die Absteckung der Pyramide ausgeführt wurde, kann aus den Bildern und Inschriften nicht sicher gedeutet werden. Die Bilder, die sich in 3000 Jahren nicht veränderten, müssen als symbolischer Ausdruck betrachtet werden. Diese Auffassung beweist auch die Darstellung der Göttin.

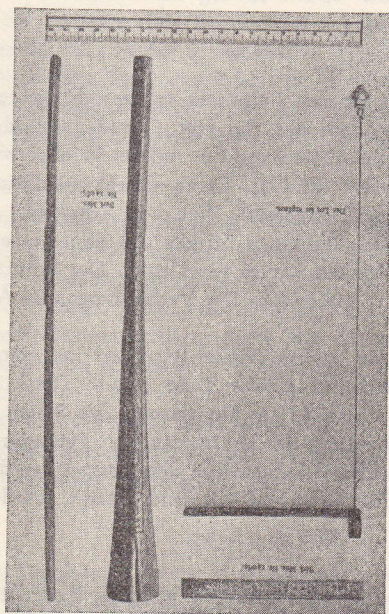


Bild 5
Merchet-Instrument

Die Absteckung der Pyramide

Nach Festlegung der Nord-Süd-Achse erfolgte die eigentliche Absteckung der Pyramide nach Höhe und Lage. Für Höhenmessungen benutzten die alten Ägypter die Setzwaage. Dieses Nivellierinstrument wurde im Altertum allgemein benutzt. Der römische Schriftsteller Vitruv (30 vC) hat in seinen Schriften über die Baukunst die Grundwaage, wie er sein nach der Setzwaage entwickeltes Instrument nannte, eingehend beschrieben.

Für das System der Waage gilt der Geometrie-Lehrsatz: Im gleichschenkligen Dreieck wird die Grundlinie durch die Höhe halbiert. Die Waage besteht aus einem gleichschenkligen Dreieck, von dessen Spitze ein Lot herabhängt. Spielt das Lot auf die Kerbmarke (Mitte der Grundlinie) ein, so steht das Instrument horizontal. Zum Gebrauch wird die Setzwaage auf ein Richtscheit gesetzt. (Vgl. Bild 1 in FLUCHTSTAB 1958, Seite 66). Dieses ist nach Vitruv 6 Meter lang. Für die Durchführung der Höhenmessung wird über dem Richtscheit eine an einer Schiebelatte angebrachte Visiertafel eingerichtet. Mit diesem Instrument konnten die Höhen an der Pyramide von einem Punkt ausgehend auf alle anderen Punkte übertragen werden. Vielleicht wurde auch ein geschlossenes Längennivellement um den Grundriß der Pyramide ausgeführt.

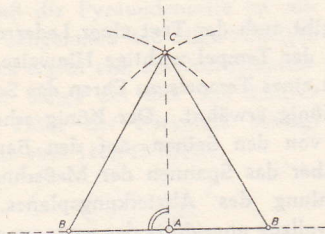


Bild 6a

Abstecken eines rechten Winkels

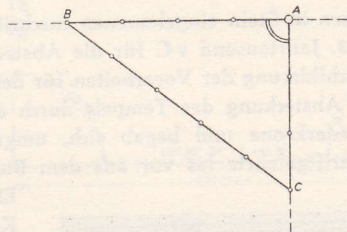


Bild 6b

Nach der Höhenmessung wurde das Grundsteinpflaster der Pyramide waagerecht gelegt. Auf dieser Grundfläche wurden von der Nord-Süd-Achse aus die vier Grundkanten der Pyramide festgelegt. Die erste Aufgabe hierbei war die Absteckung der rechten Winkel von der Achse aus. Hierfür sind zwei Verfahren überliefert (Bild 6). Durch die Konstruktion eines gleichschenkligen Dreiecks wird ein rechter Winkel abgesetzt. Von dem Achspunkt A (Bild 6a) wird nach beiden Seiten auf der Achse die gleichlange Strecke AB abgemessen. Um beide Punkte B werden mit zwei gleichlangen Strecken Kreise geschlagen. Der Schnittpunkt dieser Kreise ist C. Die beiden Strecken BC sind gleichlang. Die Verbindungslinie AC steht senkrecht zur Achse.

Im Bild 6b wird eine zweite Möglichkeit dargestellt. Der rechte Winkel wird hier mit einem Hilfsdreieck hergestellt. Ein Seil wird durch Knoten in 12 gleiche Teile geteilt. Diese 12 Teile werden so um drei Pflöcke gespannt, daß ein rechtwinkliges Dreieck mit den Seiten 3, 4 und 5 entsteht. Hier haben wir die praktische Anwendung des Lehrsatzes, den Pythagoras 2500 Jahre später wissenschaftlich ableitete. Nach welcher Methode bei der Absteckung der vier Pyramidenkanten gearbeitet wurde, ist nicht sicher zu sagen. Wie Bild 2 zeigt, wurden die Winkel mit großer Genauigkeit abgesteckt.

Der Bau der Pyramide

Über den Bau der Pyramiden ist sehr viel geschrieben und gerätselt worden. Umstritten war vor allem die Frage, wie die Ägypter die schweren Steine bis zur Spitze der Pyramide bewegten. Herodot, der bedeutendste griechische Geschichtsschreiber, der die Pyramiden um etwa 440 v.C. besuchte, berichtet: „Bei ihrem Bau verfuhr man folgendermaßen. Zunächst ist sie stufenförmig, treppenförmig oder wie man es nennen will, gebaut worden; die zur Ausfüllung des Treppendreiecks bestimmten Steine wurden mittels eines kurzen Holzgerüsts hinaufgewunden. So hoben sie sie von der Erde auf den ersten Treppenabsatz; dort legten sie sie auf ein anderes Gerüst, durch das sie auf den zweiten Treppenabsatz hinaufgewunden wurden. Soviel Stufen, soviel solcher Hebevorrichtungen waren vorhanden, falls diese Hebevorrichtungen nicht so leicht tragbar waren, daß man ein und dieselbe von Stufe zu Stufe hob, nachdem man den betreffenden Stein herabgenommen hatte. Mir ist nämlich beides erzählt worden, weshalb ich beides anführe. So wurde zuerst die Spitze fertiggestellt, dann abwärts bis schließlich zu den untersten Stufen herab“ (s. 2. Buch, 125).

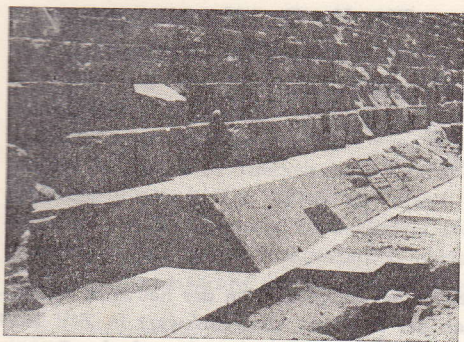


Bild 7

Grundpflaster und unterste Bekleidungsschicht

Der bekannte römische Schriftsteller *Diodor* berichtet ebenfalls, daß die Steine auf Rampen bis zur Spitze der Pyramide hochgeschleppt wurden. Reste einer solchen Rampe aus Ziegelsteinen hat man an der Pyramide des Snofru gefunden.

Der König ließ die schweren Steine für den Bau der Pyramide in den Bergen brechen. Dazu trieben Sklaven in vorgebohrte Löcher starke Holzkeile, die anschließend mit Wasser zum quellen gebracht wurden. Der Druck des quellenden Holzes sprengte die Steine aus dem Felsen. Die Steine wurden haargenau behauen und glatt geschliffen. Für den Transport zur Pyramide dienten Schlitten mit Rollen und Lastschiffe. Die Steine wurden beim Bau der

Pyramide in einzelnen Schichten verlegt. Lepsius ist der Ansicht, daß in dieser Form zuerst eine Kernpyramide gebaut wurde. Um diesen Kern konnten dann — je nach Bedarf — noch beliebig viele Stufenmäntel gelegt werden. Diese Mäntel vergrößerten die Pyramide gleichmäßig in der Höhe und in der Breite. Der Zweck dieser Baumethode war, auch beim plötzlichen Tode des Erbauers, das Grabdenkmal vollendet zu haben. Nach Fertigstellung der Pyramide wurde über die einzelnen Stufen eine Bekleidungsschicht verlegt (Bild 7), durch diese Bauweise konnte kein Wasser in die Pyramide eindringen.

Zusammenfassung

Der König legte in einer Weihehandlung die Nord-Süd-Achse der Pyramide von der Mitte des Bauwerks nach dem Nordstern fest. Nach einer ersten Absteckung erfolgte die Verlegung des Grundsteinpflasters. Für die Höhenmessung benutzten die Baumeister die Setzwaage, ein noch bis heute benutztes einfaches Nivellierinstrument. Nach der Verlegung des Grundsteinpflasters erfolgte durch die Seilspanner die genaue Absteckung der vier Pyramidenseiten von der Nord-Süd-Achse aus. Der Grundriß wurde auf das Grundsteinpflaster eingezeichnet.

Die von *Borchardt* durchgeführten Nachmessungen am Grundriß der großen Pyramide haben einwandfrei bewiesen, daß die alten Landmesser und Baumeister vor 5000 Jahren mit hervorragender Genauigkeit gearbeitet haben.

SCHRIFTTUM UND BILDERNACHWEIS

- [1] Borchardt, Ludwig: Altägyptische Zeitmessung. In: Die Geschichte der Zeitmessung und der Uhren. Herausgeg. von Bassermann-Jordan. Bd. I, Lief. B Berlin und Leipzig 1920. Hieraus Bild 4 und 5.
- [2] Borchardt, Ludwig: Gegen die Zahlenmystik an der großen Pyramide bei Gise. Berlin 1922, 40 S.
- [3] Borchardt, Ludwig: Längen und Richtungen der vier Grundkanten der großen Pyramide bei Gise. Berlin 1926. 21 S, 5 Tafeln. Hieraus Bild 8.
- [4] Borchardt, Ludwig und Ricke, Herbert: Ägypten, Bildband, Berlin 1929. Hieraus Bild 1.
- [5] Cantor, Moritz: Vorlesungen über Geschichte der Mathematik. Band I, Leipzig 1880.
- [6] Ceram, C. W.: Götter, Gräber und Gelehrte. Rowohlt 1949.
- [7] Dümichen, Dr. Johannes: Baugeschichte des Denderatempels und Beschreibung der einzelnen Teile des Bauwerks nach den an seinen Mauern befindlichen Inschriften. Straßburg 1877. Hieraus Bild 3.
- [8] Gandz, Salomon: Die Harpedonapten. In: Quellen und Studien zur Geschichte der Mathematik, Astronomie und Physik. Herausgegeben v. O. Neugebauer usw. Abt. B Studien Bd. I Berlin. Springer. 1931, 255 bis 277.
- [9] Herodot: Historien. Deutsche Gesamtausgabe. Stuttgart 1955.
- [10] Merckel, Curt: Die Ingenieurtechnik im Altertum. Berlin 1899.
- [11] Stephan, Paul: Ortung in Völkerkunde und Vorgeschichte. Sonderheft der Zeitschrift für Vermessungswesen (Heft 5, 1956). (s. hier auch Bild 3).
- [12] Vitruv, M. P.: Über die Baukunst. Übersetzung von E. Stuerzenacker. Essen 1938.