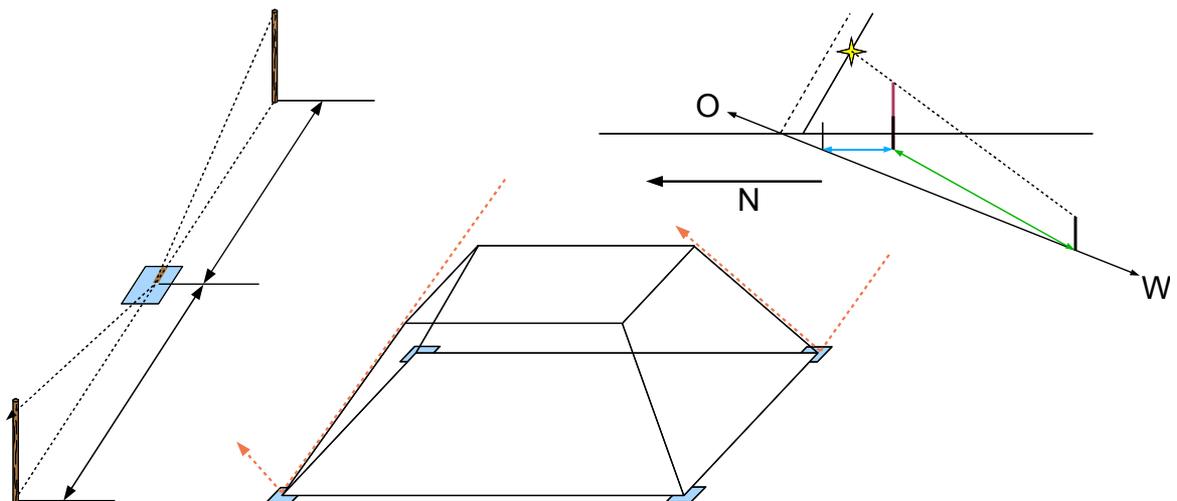


Eckart Unterberger

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



Die Westkante der Cheopspyramide: Sie ist auf 2,8 Bogenminuten genau nach Norden ausgerichtet. Auf 230 m Länge bedeutet das eine Abweichung von 19 cm.



Die Ostkante der ‚Roten Pyramide‘ von Dahschur: Ihre Basislänge ist mit 220 m nur wenig kürzer als jene der Cheopspyramide und damit die zweitlängste aller Pyramiden. Auch sie weist fast genau nach Norden.

Die Orientierung nach den Himmelsrichtungen

Die gesamte Literatur über Pyramiden schwärmt von deren exakter Orientierung nach Norden und die Fragen rund um die Technik der Ausrichtung der Pyramiden nach den Himmelsrichtungen sind ein Dorado für Spekulationen. Jede bisher vorgebrachte Theorie scheidet jedoch entweder an den damals möglichen technischen Hilfsmitteln oder an hinreichender Präzision.

Deshalb bedarf die selten vermessene Ausrichtung der Pyramiden genauerer Untersuchung unter der Perspektive, was technologiehistorisch denn denkbar und möglich war. Als absolutes Kriterium steht hier wieder die Durchführbarkeit auch auf der noch unfertigen Pyramide, dem Pyramidenstumpf, im Vordergrund. Jedes Verfahren, das umfangreiche bauliche Voraussetzungen benötigt, um zu einem exakten Ergebnis zu kommen, scheidet daher aus. Bei der enormen Höhe, sowohl der Cheops- als auch der Chefrenpyramide, sind ständige Kontrollmessungen der Ausrichtung unabdingbar.

Wir müssen uns hier drei Fragen stellen:

1. Wie war es mit der damaligen Technologie möglich, die Himmelsrichtungen derart präzise zu bestimmen?
2. Wie wurden die Himmelsrichtungen im Fall der Einmessung der Pyramiden bestimmt?

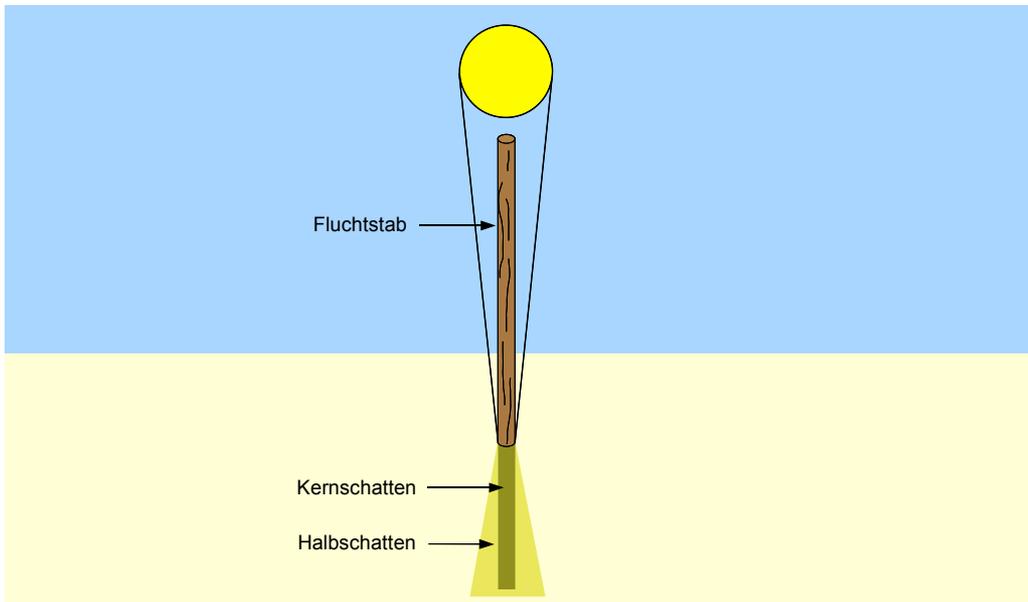
Wir werden sehen, dass die grundsätzliche Bestimmung der Himmelsrichtungen relativ einfach möglich ist, im Fall der Pyramiden aber auf Schwierigkeiten stößt, die weitere technische Lösungen verlangen.

3. Wollten die Ägypter die Pyramiden grundsätzlich nach den Himmelsrichtungen orientieren?

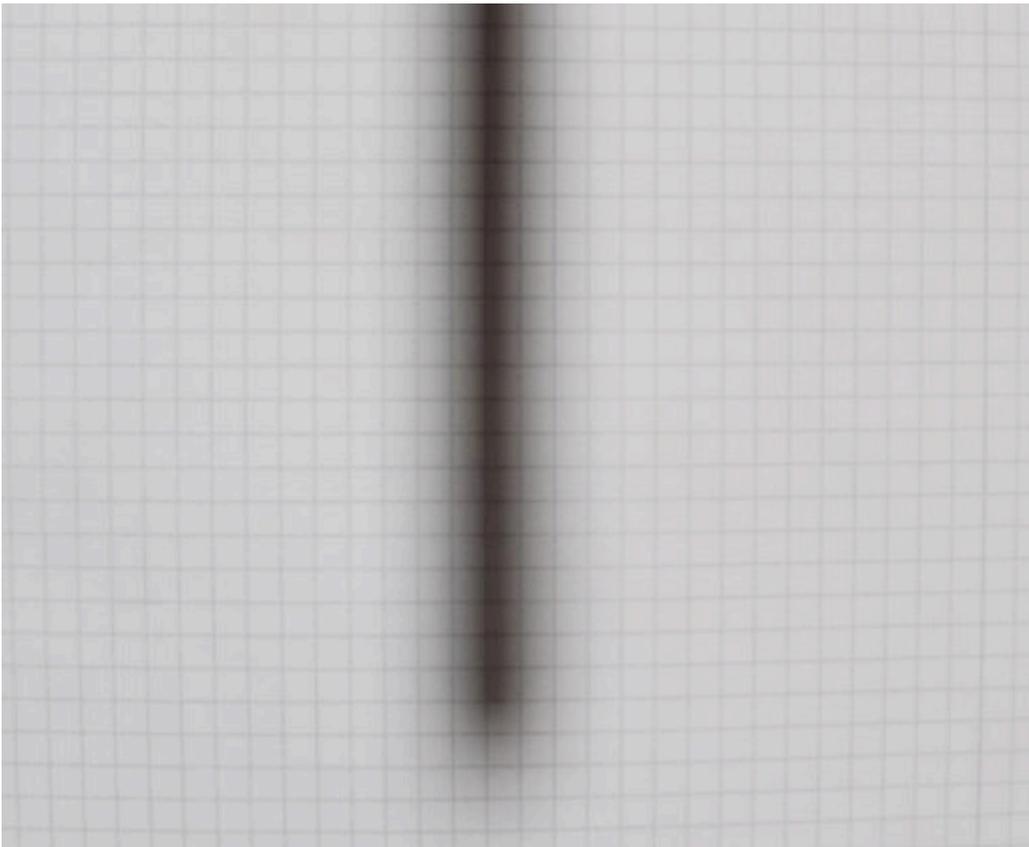
Wir wissen zwar, dass die Pyramiden einigermaßen genau nach den Himmelsrichtungen orientiert sind, wir wissen aber nicht, ob das die ursprüngliche Intention der Ägypter war. Es ist daher genauso möglich, dass die Pyramiden nach ganz anderen Zielsetzungen eingemessen wurden.

In der Literatur werden grundsätzlich zwei Vorschläge für die Einmessung der Himmelsrichtungen vorgebracht, die im Folgenden kurz umrissen und auf ihre Realisierbarkeit hin analysiert werden sollen:

- die Orientierung nach der Sonne
- die Orientierung nach den Sternen



Da die Sonne von der Erde aus betrachtet einen Durchmesser von $0,5^\circ$ hat, erzeugt sie keinen genauen Schatten, sondern einen Kern- und Halbschatten. Der Kernschatten ist aber derart ungenau, dass eine präzise Einmessung der Pyramiden so nicht möglich ist.



Der Schatten eines 1,5 m langen Stabes mit 2 cm Durchmesser. Schattenlänge 2 m, Rastergröße: 5 mm.

Eine Orientierung am magnetischen Nordpol erscheint äußerst unwahrscheinlich, da es zum einen damals kein Eisen gab, schon gar kein magnetisches, zum anderen stimmt der magnetische Nordpol bekanntermaßen nicht mit dem geographischen überein. Und das war auch vor 4500 Jahren nicht anders.

Die Orientierung nach dem Höchststand der Sonne

Eine Orientierung nach der Sonne wäre zwar eine plausible Möglichkeit, da die Sonne in der ägyptischen Religion eine bedeutende Rolle spielte. In der Praxis erweist sich eine Orientierung nach dem Höchststand der Sonne aber als recht schwierig.

Die Sonnenscheibe hat von der Erde aus gesehen einen Durchmesser von 31 Bogenminuten. Für die erforderliche Genauigkeit müsste also der Sonnenrand anvisiert werden. Eine direkte Peilung der Sonne ist nur am Abend oder am Morgen möglich, da die Sonne sonst ganz einfach zu hell ist und geschwärztes Glas gab es damals noch nicht.

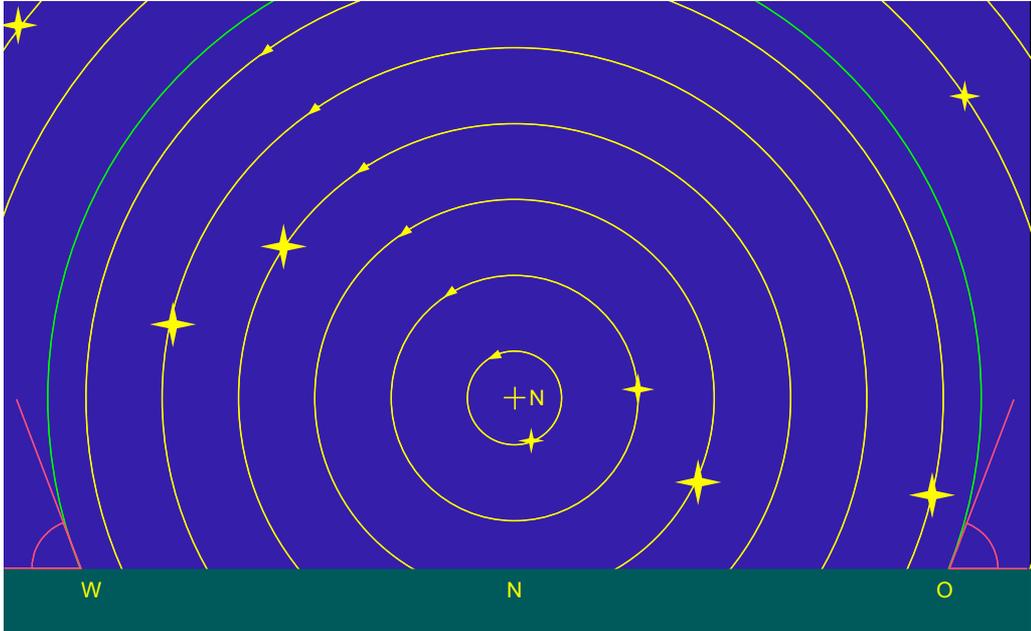
Es bleibt der Schatten einer Messstange oder einem ähnlichen Hilfsmittel übrig, um den Sonnenstand zu ermitteln.

Um den genauen Süden zu bestimmen, muss der höchste Sonnenstand, also der kürzeste Schatten gefunden werden, könnte man meinen. Aber genau hier beginnen die Probleme.

Der Sonnenhöchststand ist nicht der genaue Süden, da die Sonne jeden Tag höher oder niedriger steht, sie beschreibt eben keinen Kreis, dessen höchster Punkt im Süden liegt. Dazu müssten die Höchststände über das ganze Jahr gemessen werden. Dies würde erstens zu lange dauern und selbst dann ergäben sich noch Abweichungen.

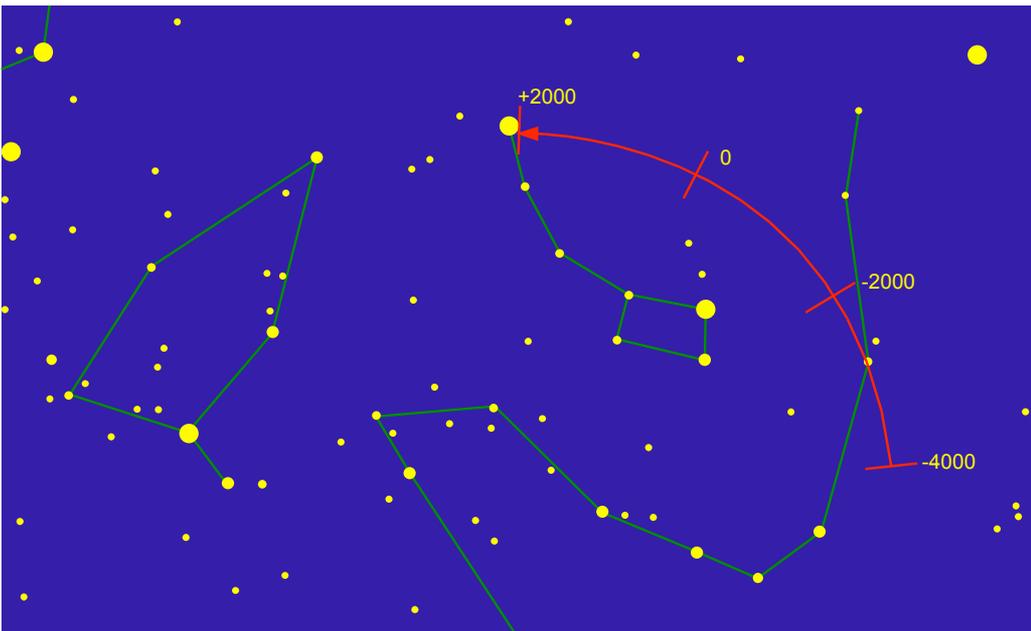
Dazu kommen weitere Probleme, die das Verfahren unmöglich machen.

Für die gewünschte und auch erreichte Präzision muss die Messstange entsprechend hoch sein. Der Schatten einer etwa drei Meter hohen Stange wäre je nach Jahreszeit zwischen etwa einem (im Sommer) und vier (im Winter) Meter lang. Diese Länge des Schattens muss dann auf die 230 m der Pyramidenkante verlängert werden. Man könnte argumentieren, dass die Ägypter 30 und mehr Meter hohe Obelisken aufstellten und der Süden auf diese Weise eingemessen wurde. Dem ist aber entgegenzuhalten, dass dies vielleicht einmal an der Basis gemacht hätte werden können, im weiteren Baufortschritt wäre das Aufstellen eines Obelisken auf dem Pyramidenstumpf nur schwer vorstellbar und sehr unpraktisch.



Die Sterne bewegen sich auf kreisförmigen Bahnen um den Himmelsnordpol. Die geographische Breite des Standpunktes der Beobachtung bestimmt:

- die Höhe des Himmelsnordpols (in Gizah etwa 30°).
- den Winkel, in dem die Sterne im Osten auf- und im Westen untergehen (rot, in Gizah etwa 60°).



Der Himmelsnordpol verschiebt sich im Laufe der Zeit. Jener Stern, den wir heute als Polarstern bezeichnen, war zur Zeit des Baus der Pyramiden weit vom Himmelsnordpol entfernt. Selbst heute wäre eine Peilung nach dem Polarstern zu ungenau.

Des Weiteren ist der Schatten der Sonne unscharf. Da die Sonne kein Punkt, sondern eine Scheibe mit 31' Durchmesser ist, wirft sie einen Halbschatten und einen Kernschatten. Diese sind aber bei entsprechender Länge des Schattens dermaßen unscharf, dass sie für eine genaue Einmessung vollkommen unbrauchbar sind.

Die Ortung der Himmelsrichtung nach dem Sonnenschatten scheidet also aus.

Die Orientierung nach den Sternen

Wenden wir uns der Ausrichtung nach den Sternen zu. Hier gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten. Man kann sich an polnahen Sternen orientieren, also den Norden einmessen, oder man kann sich am Auf- und Untergangspunkt eines Sternes orientieren, also die Ost-West-Richtung bestimmen.

Ein wenig Astronomie zum besseren Verständnis:

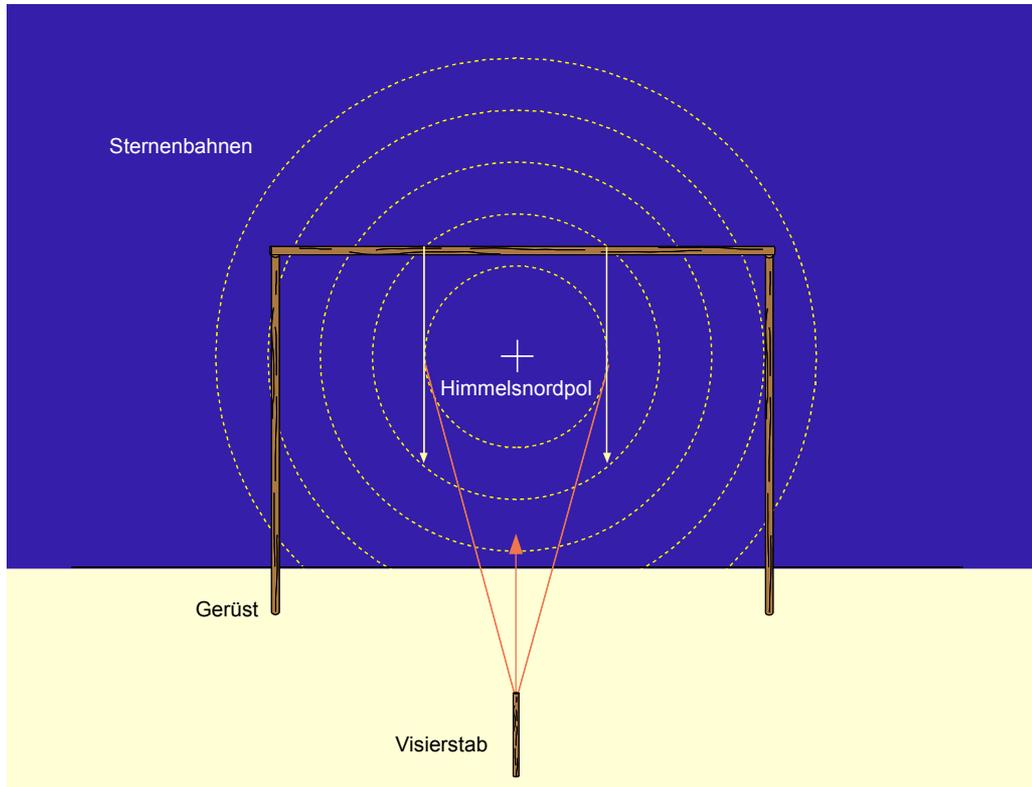
Die Erde dreht sich, die Sterne stehen still, zumindest annähernd. Blickt man zum Himmel, so dreht man sich langsam unter den Sternen hindurch. Im Norden beschreiben die Sterne im Laufe der Nacht Kreisbahnen. Im Zentrum der Kreise ist der Himmelsnordpol. Zieht man von diesem eine senkrechte Linie zum Horizont, so ist dort Norden. 90° links davon ist Westen, 90° rechts davon Osten. Der schräg stehende ‚Halbkreis‘ am Himmel zwischen Osten und Westen heißt Himmelsäquator. Die Beobachtungshöhe des Himmelsnordpols ist so groß wie die geographische Breite: je weiter im Süden, desto niedriger und umgekehrt. Steht man am Nordpol, so befindet sich der Himmelsnordpol genau im Zenit, der Himmelsäquator genau am Horizont und kein Stern geht auf oder unter. Steht man am Äquator, so befindet sich der Himmelsnordpol am Horizont, der Himmelsäquator schneidet den Zenit und alle Sterne gehen auf und unter. Befindet man sich irgendwo dazwischen, so gehen manche Sterne auf und unter, Sterne in der Nähe des Himmelsnordpols sind die ganze Nacht sichtbar.

Die Orientierung nach dem Polarstern

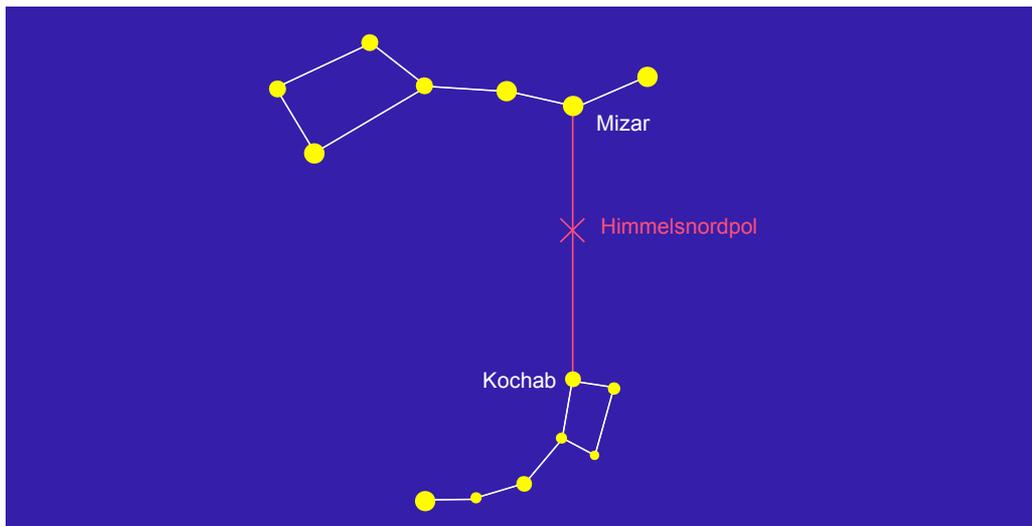
Der dem Himmelsnordpol nächste Stern ist der Polarstern. Ist also der Polarstern nicht prädestiniert für die genaue Ausrichtung der Pyramiden?

Der Stern, den wir heute als Polarstern kennen, war aber damals an einer ganz anderen Position. Der Polarstern ist jener Stern am Himmel, der in der Nähe der Verlängerung der Erdachse liegt. Die Veränderung der Position der Sterne am Himmel wird durch die Präzession (Taubelbewegung) der Erdachse verursacht.

Da die Erde ein Kreisel ist, verhält sie sich auch so. Ein Kreisel hat aber die Eigenschaft, sich nicht nur zu drehen, sondern auch zu taumeln, wie das bei jedem Spiel-



Die Methode der größten Digression von Josef Dorner: Dabei werden die beiden größten Abstände eines Sternes von der Nordrichtung gemessen. In der Mitte liegt Norden. Der Nachteil dieser Methode wird bereits ersichtlich: Um die Sterne anpeilen zu können, muss das Gerüst entsprechend hoch sein.



Die Methode von Kate Spence: Wenn die beiden Sterne Kochab und Mizar genau senkrecht übereinander standen, so befand sich auf der Verbindungslinie der beiden Sterne der Himmelsnordpol. Beide Methoden, die von Dorner und die von Spence, haben jedoch einen entscheidenden Nachteil, der sie letztendlich undurchführbar macht.

zeugkreis zu beobachten ist. Eine Taumelbewegung der Erde dauert ca. 25.750 Jahre. Dieser Zeitraum wird ‚Platonisches Jahr‘ genannt. Die Fixsterne stehen aber (annähernd) still. Die Erdachse deutet daher nicht immer auf denselben Stern. Erst nach Ablauf eines platonischen Jahres sind die Sterne wieder an der gleichen Position.

Der Polarstern steht auch heute nicht genau im Norden, sondern 44‘ vom Himmelsnordpol entfernt. Eine Peilung des Polarsterns zur Bestimmung der Nordrichtung wäre auch heute bei Weitem zu ungenau.

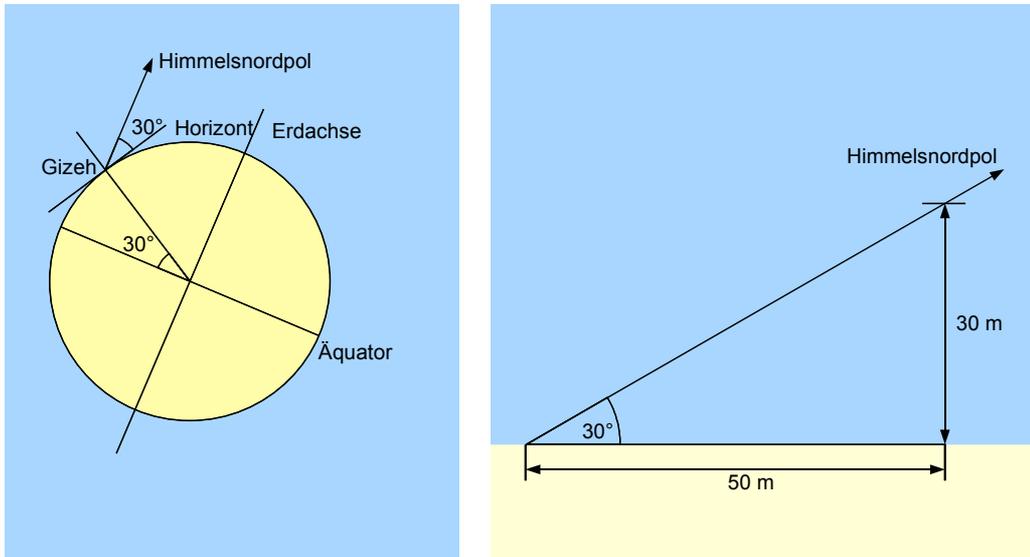
Orientierung nach Sternen in der Nähe des Himmelsnordpols

Die Methode der größten Digression von Josef Dorner

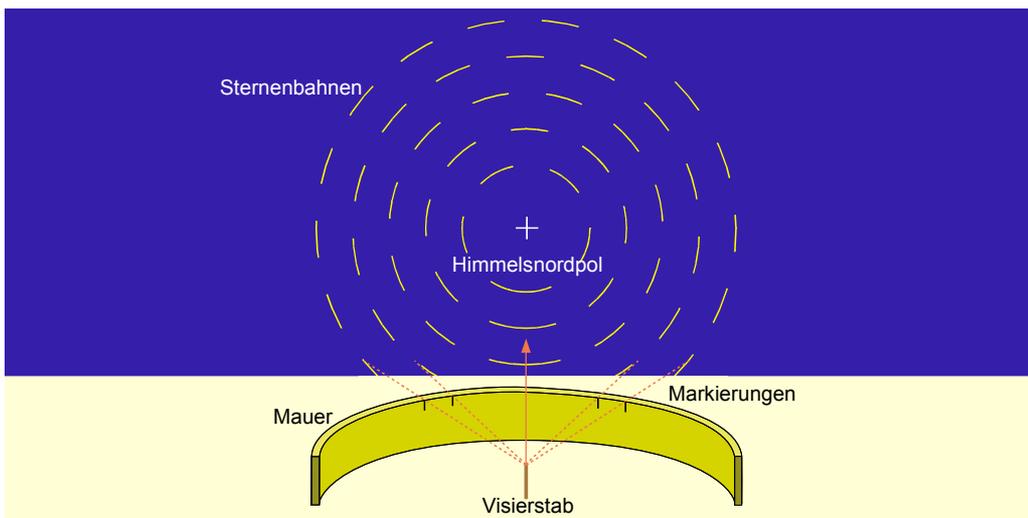
Josef Dorner schlägt vor, die größte Digression eines Sternes zu bestimmen. Digression heißt Abstand vom Norden. Die polnahen Sterne erreichen im Laufe einer Nacht einmal östlich und einmal westlich ihre größte Entfernung vom Nordmeridian, das ist die Linie, die den Himmelsnordpol mit der Nordrichtung auf Höhe des Horizonts verbindet. Zur Beobachtung muss ein Gerüst gebaut werden, das auf zwei senkrechten Stangen eine Querstange trägt. An der Querstange werden zwei mit einem Lot beschwerte Schnüre aufgehängt. Von einer Visierstange aus wird dann ein Stern beobachtet, wie er sich langsam vom Nordmeridian entfernt. Die Schnur wird mit der Position des Sternes zur Deckung gebracht und dabei kontinuierlich weiter nach außen geschoben, bis der Stern seine größte Entfernung vom Nordmeridian erreicht hat. Der Stern passiert dann seinen Höchststand und beim Niedersinken des Sternes wird das Verfahren auf der anderen Seite wiederholt. Hat man beide Positionen markiert, so liegt dazwischen Norden. Diese Methode wurde von J. Dorner erprobt und brachte sehr präzise Ergebnisse, hat jedoch auch entscheidende Nachteile, wie wir noch sehen werden.

Die Methode von Kate Spence

Dabei werden zwei Sterne in der Nähe des Himmelsnordpols anvisiert. Stehen die beiden Sterne genau senkrecht übereinander, so schneidet die Verbindungslinie vor 4500 Jahren genau den Himmelsnordpol. Diese senkrechte Linie wurde mit Hilfe eines Lots ermittelt. In der Praxis soll das so vor sich gehen, dass ein Beobachter südlich des Lots sitzt und solange wartet, bis die beiden Sterne in einer Linie mit der Lotschnur sind. Dort befindet sich dann Norden. Auf eine Beschreibung der weiteren Schlussfolgerungen, die Kate Spence daraus zieht, wird verzichtet.



Die Beobachtung polnaher Sterne hat den Nachteil eines sehr großen Höhenwinkels bei der Beobachtung. Die Entfernung zwischen Beobachter und Peilgerät müsste mindestens 50 m betragen, um zu einigermaßen genauen Resultaten zu kommen. Das bedeutet aber, dass das Peilgerät in einer Höhe von 30 m aufgebaut werden muss. Das lässt sich bei einer Peilung am Boden vielleicht noch bewerkstelligen, in größerer Höhe wird die Methode undurchführbar.



Die Methode von I.E.S. Edwards: Er sieht eine waagrechte, halbrunde Mauer vor, bei der die Auf- und Untergangspunkte von Sternen markiert werden. In der Mitte zwischen den Markierungen liegt dann Norden. Die Nachteile der Methode:

- Der Mauerkreis müsste einen Durchmesser von 100 m haben, um zu den gewünschten Ergebnissen zu kommen.
- Die Sterne gehen an der Mauer in einem flachen Winkel auf und unter, dadurch wird die Messung ungenau.

Beide Methoden haben einen entscheidenden Nachteil, der sie letztendlich für das Vorhaben, die Himmelsrichtungen zu bestimmen, unbrauchbar macht.

Der Himmelsnordpol befindet sich in Ägypten in 30° Höhe über dem Horizont. Peilungen des Himmelsnordpols oder auch nur polnaher Sterne müssen also in einem Winkel von mindestens 30° zur Waagrechten durchgeführt werden. Damit die Peilung genau genug ist, muss der Fluchtstab in entsprechender Entfernung vom Visierstab sein. Nehmen wir an, diese Entfernung beträgt 50 m, dann müsste sich der Fluchtstab in einer Höhe von annähernd 30 m befinden.

Hier begegnen wir eben wiederum jenem Problem, das bereits die Orientierung nach dem Schatten der Sonne scheitern ließ. Bei der Gründung der Pyramiden mag die Errichtung von Türmen noch möglich sein, wobei sich auch das bei einer Turmhöhe von 30 m nicht gerade einfach gestaltet. Im weiteren Bauverlauf scheidet dieser Weg definitiv aus. Es wäre viel zu umständlich und vor allem zeitraubend, bei einer Höhe der Pyramide von beispielsweise 70 m abermals einen Turm zu errichten.

Die Orientierung nach dem Auf- und Untergang eines Sternes

Die Methode von I.E.S. Edwards

I.E.S. Edwards beschreibt eine Methode, die sich Auf- und Untergangspunkte nördlicher Sterne zur Richtungsbestimmung zunutze macht. Eine halbkreisförmige Mauer wird errichtet, deren Krone genau waagrecht ist. Im Mittelpunkt des Halbkreises steht der Beobachter. Dieser peilt den Auf- und Untergangspunkt eines Sternes an und beide Punkte werden auf der Mauerkrone markiert. Anschließend wird die Mitte zwischen den Punkten eingemessen. Die Verbindungslinie zwischen dem Peilpunkt und der Mitte weist nach Norden.

Die Errichtung einer genau waagrechten Mauer dieser Länge ist jedoch nicht einfach. Um die gewünschte und auch vorgefundene Präzision zu erreichen, muss der Halbkreis entsprechend groß sein. Bei einem Radius von 50 m hätte der Mauerhalbkreis einen Durchmesser von 100 m. Ein weiteres Problem: Die nördlichen Sterne schneiden die Visierlinie (=Mauerkrone) in sehr flachem Winkel. Das erschwert eine genaue Peilung.

Auch dieses Verfahren lässt sich in großer Höhe nicht mehr durchführen, da man für jede Peilung neuerlich eine Mauer errichten müsste. Dennoch hat Edwards' Methode einen großen Vorteil. Man peilt die Sterne in Horizontnähe an und benötigt deshalb kein Gerüst.