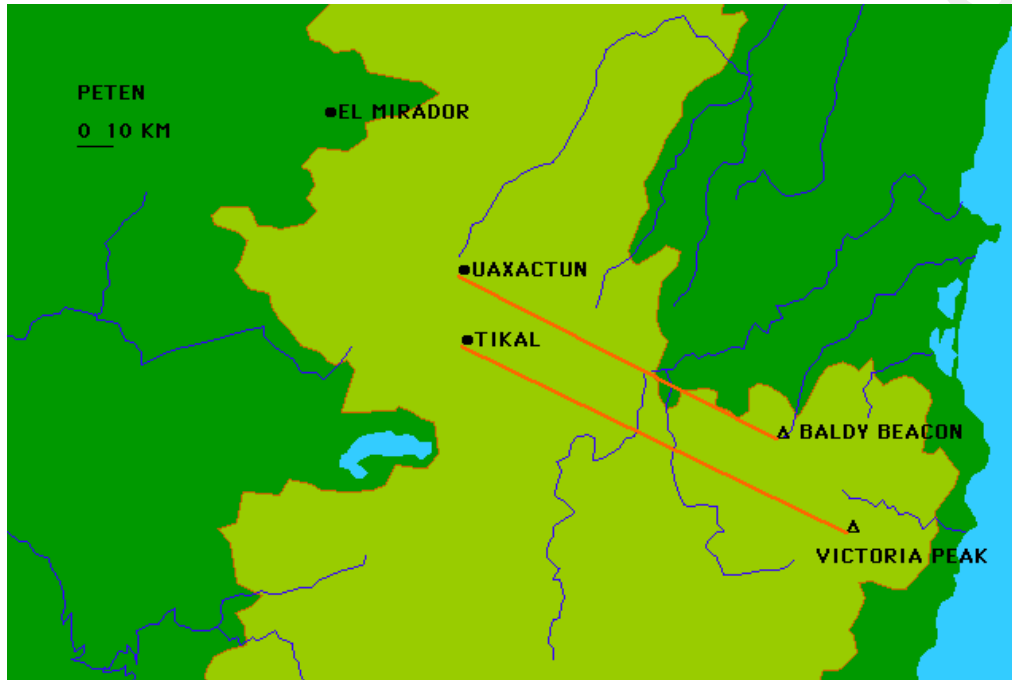


Tikal und Uaxactun – über verblüffende Standortwahl und Sichtlinien

Ich stelle den Betrachtungen zu den Mayastädten Tikal und Uaxactún ein umfang- und inhaltsreiches Zitat mitsamt zweier Abbildungen von Vincent H. Malmström, Dartmouth – College (Quelle des gesamten Zitates: <http://www.dartmouth.edu/~izapa/CS-MM-Chap.%208.htm> – 22.11.2010), zum Zwecke der Verifikation oder Falsifikation enthaltener Aussagen voran:

”



[Malmström 1997, S.153]

Solstitial alignment to mountains was, of course, impossible in regions like the Yucatán, so El Mirador built its orientation into its architectural monuments as Edzná had done earlier. Both Uaxactún and Tikal, on the other hand, were close enough for the peaks of the Maya Mountains to be utilized as winter solstice sunrise azimuths, but priests at both ceremonial centers likewise reinforced their calendrical alignments by incorporating them into the layout of their buildings as well.

[...]

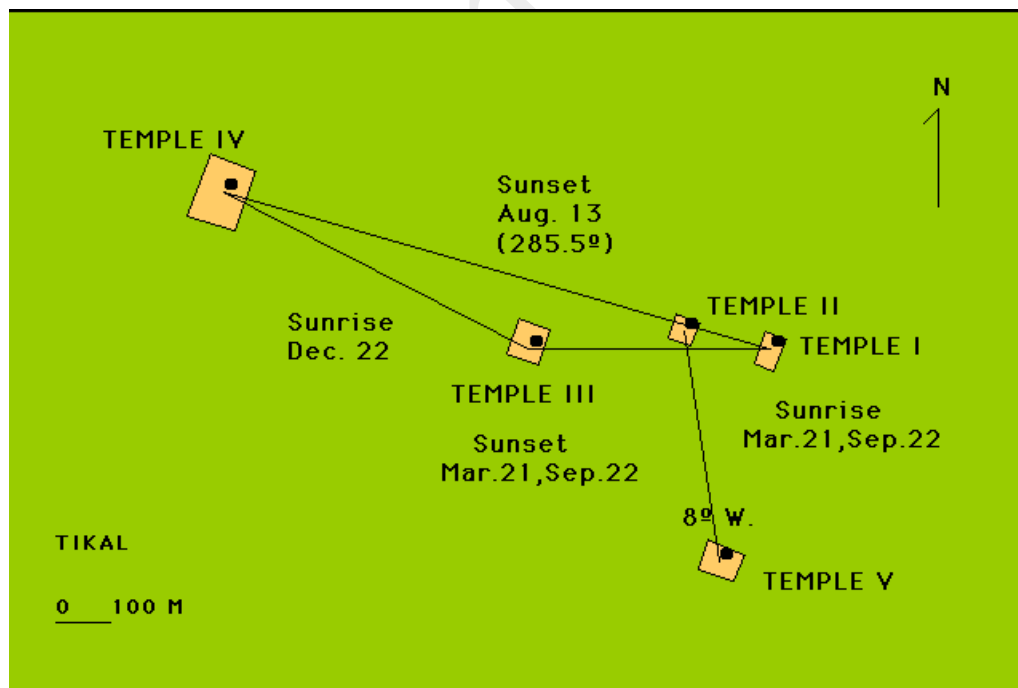
However, because Victoria Peak is not easily visible on the southeastern horizon, the Maya erected a second pyramid to mark this alignment as seen from Temple IV (no doubt following the pattern of architecturally reinforcing key astronomical alignments which seems to have already been established at Uaxactún). This was Temple III, which was constructed on somewhat lower ground about 400 m (1300 ft) to the southeast. In order that it actually serve as a horizon marker, it was necessary to surmount the pyramid with a massive roof-comb, an architectural embellishment which the Maya frequently used to give their otherwise squat-looking structures more impressive height. And, in the case of Temple III, the roof-comb was a full three tiers high -- not just for aesthetic reasons but quite obviously for the practical one of intersecting the horizon. Thus, as viewed from the top of Temple IV, the middle of the triple-tiered Temple III will be seen to just intersect the distant horizon at the azimuth (i.e., 115°) where the winter solstice sunrise occurs over Victoria Peak. (Radiocarbon dating reveals that the finishing touches were not put on Temple III until after A.D. 810.)



“The eastern horizon at Tikal as seen from Temple IV. While neither Temple I nor II intersects the horizon as seen from this highest of the pyramids in the Maya capital, Temple III (on the right), by virtue of being surmounted by a triple-tiered roof comb, does just touch the southeastern horizon at the azimuth of the winter solstice sunrise (115°).

With the location of Temples IV and III now worked out, the position of Temple I was automatically fixed. It would be located directly east of Temple III so that priests standing atop the latter structure could calibrate the equinoctial sunrises (i.e., on March 21 and September 21) over Temple I. (Of course, once both pyramids were in place, priests standing atop Temple I could use the backsight to Temple III to calibrate equinoctial sunsets as well.) Temple I's exact distance from Temple III, about 300 m (1000 ft), would be determined by the intersection of the equinoctial sunrise line with the point from which the August 13 sunset could be viewed against the midline of Temple IV's doorway. In other words, priests standing atop Temple I could calibrate their most important day -- "the day the world began" -- by sighting to the middle of the doorway of the highest pyramid the Maya ever constructed.

[...]



[Malmström 1997, S.172]

The five major pyramids of Tikal were all constructed within a 40-year period beginning in the mid-eighth century A.D., apparently as part of an ingeniously designed astronomical matrix. The sight-line between Temple I and Temple IV (the highest of the pyramids) marks the sunset position on August 13, whereas the sunrise position at the winter solstice is perpetuated in the sight-tine between Temple IV and Temple III. Because Temple I and Temple III are sited due east-west of each other, they mark sunrise and sunset alignments at the equinoxes. Although there was no star located directly above the earth's pole of rotation in Maya times, a sight-line from Temple V to Temple II appears to have marked the most westerly position of the Maya's equivalent to a polestar, Kochab."



Die Lage des Standortes Tikal

Malmström sagt also aus, dass der Standort der Mayastadt Tikal derart gewählt wurde, dass von dort aus gesehen der Sonnenaufgang am Tag der Wintersonnenwende genau über dem zweithöchsten Berg von Belize, dem Victoria Peak, stattfindet:

Die Überprüfung dieser These umfasst folgende Schritte:

- 1) Erfassen bzw. Recherchieren relevanter Daten von Tikal bzw. des Victoria Peak
- 2) Bestimmung des Azimuts und der Entfernung
- 3) Ermitteln des Azimuts des Horizontpunktes, an dem die Sonne am Tag der Wintersonnenwende aufgeht
- 4) Vergleich und Diskussion der Azimutwerte

Zu 1) Quellen der Daten zum Victoria Peak sind: [http://en.wikipedia.org/wiki/Victoria_Peak_\(Belize\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Victoria_Peak_(Belize)) und Google Earth. => 16,8° n.Br. und 88,6° w.Lä.

Victoria Peak	
	
Victoria Peak, 1993	
Elevation	1,120 metres (3,675 ft)
Location	
Location	Belize
Range	Maya Mountains
Coordinates	 16°48'N 88°36'W ^[1]



Die Recherche zu den Tikalkoordinaten legitimiert die Verwendung der von mir gemessenen Werte der Mundo Perdido-Pyramide, unter welcher die älteste bekannte Struktur Tikals von ca. 600 v. Chr. verborgen ist und des Tempels 4, der den höchsten Aussichtspunkt darstellt. Gerundet auf

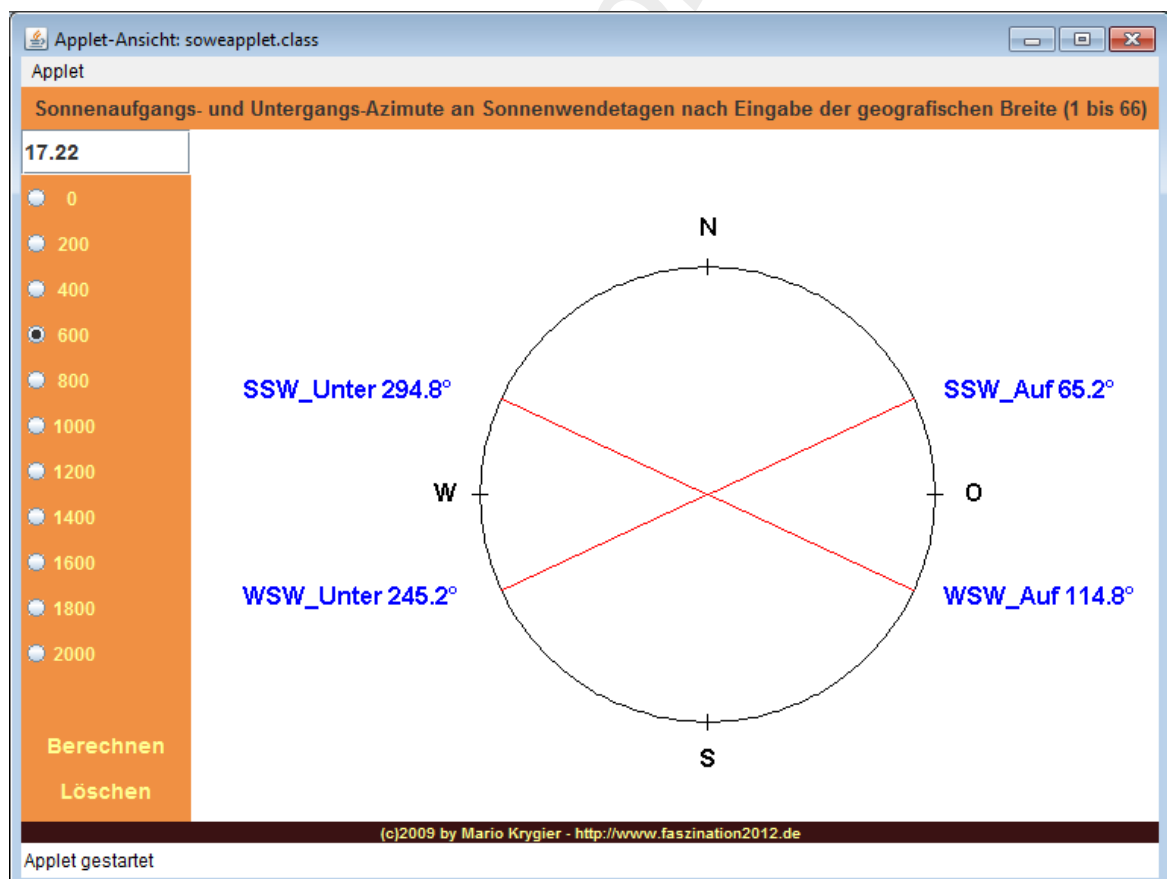
zwei Stellen nach dem Komma ergeben sich für beide nicht weit voneinander entfernte Bauwerke die Koordinaten $17,22^\circ$ n.Br. und $89,63^\circ$ w.Lä.

Zu 2) Mithilfe eines von mir geschriebenen Skriptes können die Richtung und die Entfernung zwischen Tikal und Victoria Peak bestimmt werden:

Eingabe der Koordinaten	Ausgabe von Azimut und Entfernung
Breite von Punkt A 17.22 N	Azimut 1 112.816°
Laenge von Punkt A 89.63 W	Azimut 2 293.118°
Breite von Punkt B 16.8 N	Entfernung 119.117km
Laenge von Punkt B 88.6 W	<input type="button" value="Berechne"/>

Damit ergibt sich der Azimutwert von $112,8^\circ$ sowie eine Entfernung von fast 120 km.

Zu 3) Mithilfe meines Java-Applets wird der Horizontpunkt des Sonnenauganges am Tag der Wintersonnenwende ermittelt:



Der Sonnenaufgang zur Wintersonnenwende findet in Tikal bei $114,8^\circ$ bezüglich der Nordrichtung statt.

Zu 4) Somit ergeben sich $114,8^\circ - 112,8^\circ = 2^\circ$ Differenz zwischen theoretischem Sonnenwendeazimut und Peilung zum Victoria Peak. Das sind immerhin vier Sonnendurchmesser. Dieser Abweichung wirkt der Umstand entgegen, dass in Richtung Victoria Peak der natürliche Horizont etwas höher liegt und die Sonne sowieso erst bei einem gewissen Stand über dem Horizont als aufgegangen gilt.

Fraglich bleibt nur die Sichtbarkeit des Berges selbst. Vom Standort Tikal mit ca. 300 m Höhe sieht man den mathematischen Horizont in 60 km Entfernung, weshalb ein 300 m hoher Punkt in Victoria-Peak-Entfernung von 120 km gerade mit der Spitze auf Horizonthöhe von Tikal aus liegen würde. Nun ist der Victoria Peak aber 1120 m hoch, ist also bei freier Sicht von Tikal aus komfortabel zu sehen, wenn er nur deutlich genug seine Umgebung überragt. Unter nahezu idealen Sichtverhältnissen mit wenig Absorption und viel Kontrast kann man theoretisch doppelt so weit gucken. Der Kontrast am natürlichen Horizont zwischen Wald bzw. Berg und Himmel ist gegeben, es müssen also nur die Wetterbedingungen gut genug sein, was auf dem von uns fotografierten Bild oben nicht der Fall ist. Bewusst haben wir auch keinen Zoom bzw. gar ein Teleobjektiv eingesetzt.

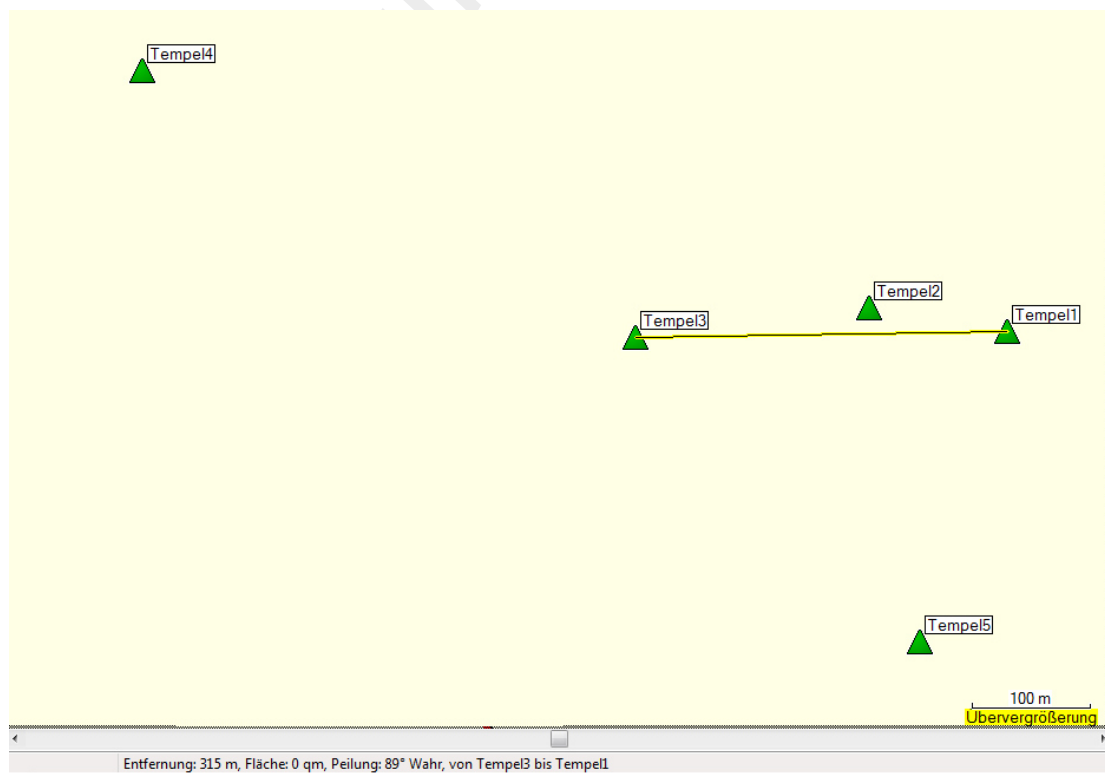
Fazit: Die Abweichung von 2° führt nicht zwangsläufig zur Ablehnung der These von Herrn Malmström. Es bleibt offen und somit möglich, dass die Maya den Standort Tikal neben anderen Faktoren auch mit Blick auf den Victoria Peak und den genau dort stattfindenden Sonnenaufgang zur Wintersonnenwende gewählt haben.

Das Tempel-Ensemble

Zur relativen Anordnung der Hauptpyramiden von Tikal, der Tempel 1 bis 5, tätigt Malmström einige sehr interessante Aussagen, wovon ich drei Tempelpaare betreffende Thesen untersuche.

- 1) Tempel 1 und Tempel 3
- 2) Tempel 3 und Tempel 4
- 3) Tempel 1 und Tempel 4

Zu 1)



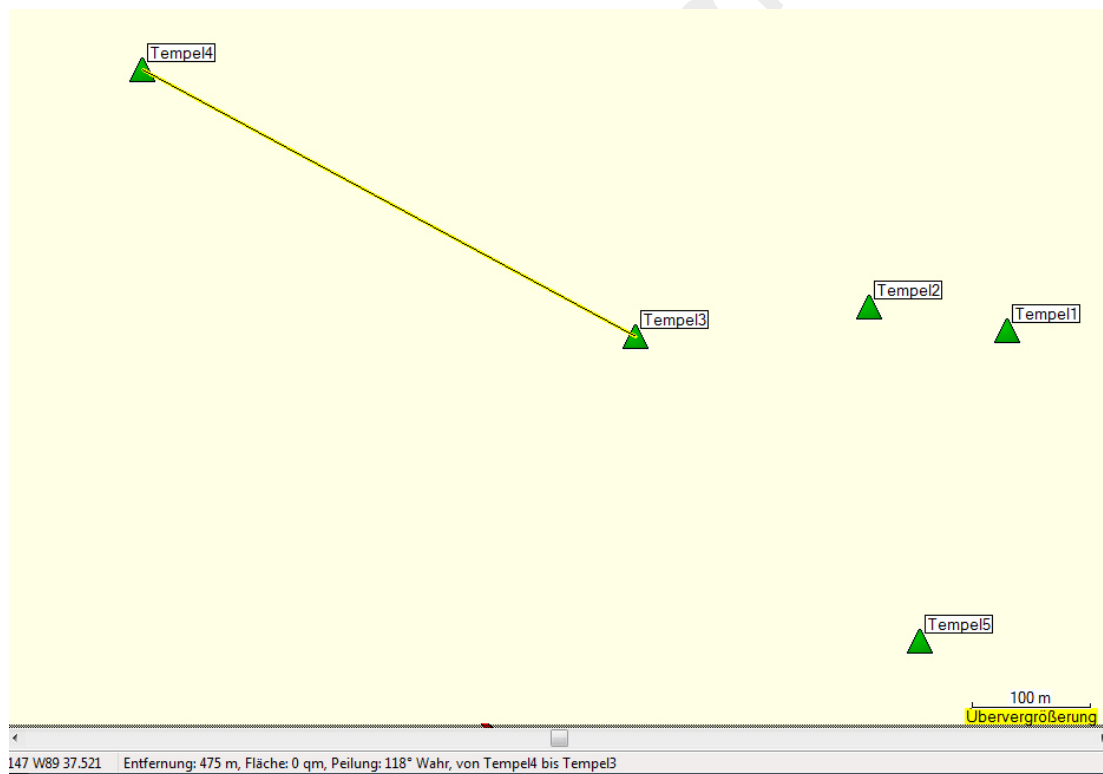
Die Bauwerke sind 315 m voneinander entfernt. Die Sichtlinie von Tempel 3 zu Tempel 1 habe ich mit 89° Azimut ermittelt, stellt also ganz klar eine West-Ost-Ausrichtung dar. Somit findet von Tempel 3 aus gesehen der Sonnenaufgang am Äquinoktiumtag 21.3. genau hinter Tempel 1 statt. Am Abend desselben Tages geht die Sonne von Tempel 1 aus gesehen genau hinter Tempel 3 unter. Das gleiche Szenario wiederholt sich am zweiten Äquinoktiumtag, dem 22. September. Damit sind die Zeitpunkte des Frühlings- und des Herbstanfangs markiert. 1° Abweichung ist zu tolerieren, wie die folgende grobe Fehlerabschätzung belegt, bei der Messstandorte, -verfahren sowie erste Messwertverarbeitung (Mittelwertbildung) unberücksichtigt bleiben.

$$\text{Winkelfehler} = \arctan(2 * (\text{Messfehler in Metern}) / (\text{Entfernung in Metern}))$$

Der von den jeweiligen Standortbedingungen abhängige Messfehler wurde vom Gerät zwischen 3 m und 10 m angegeben. Den letzten Wert benutze ich für meine Fehlerabschätzung:

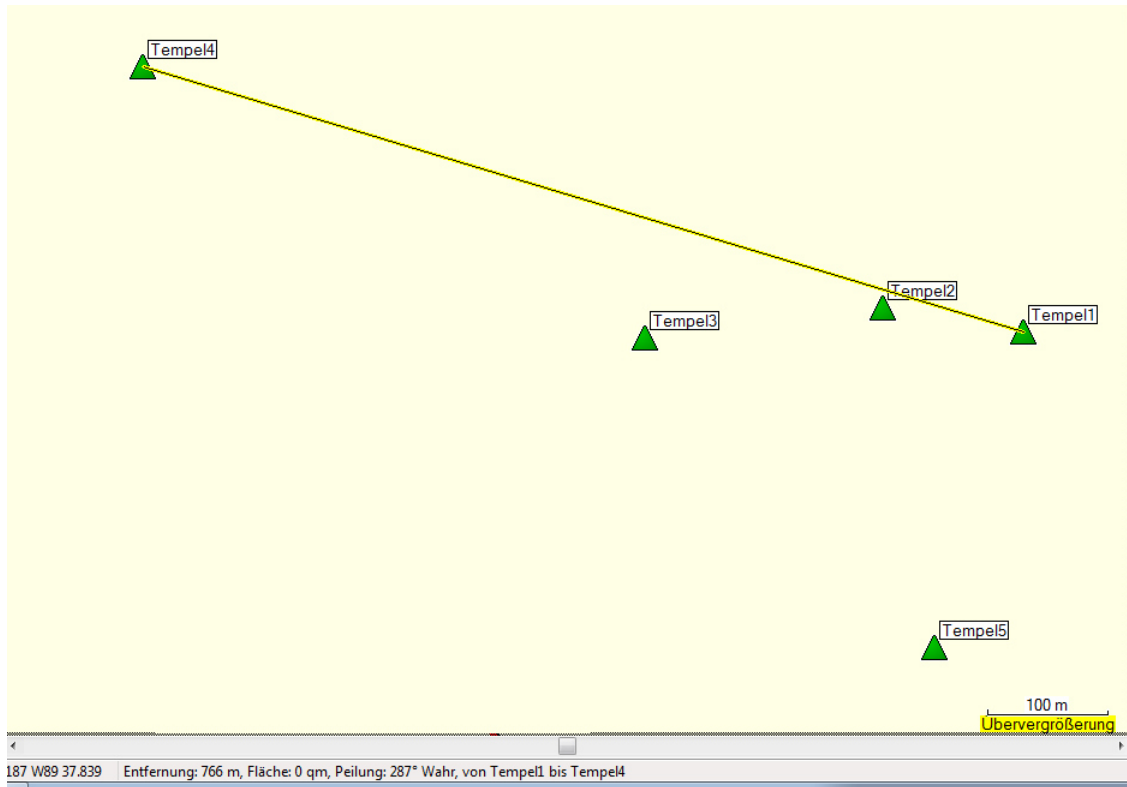
$$\Rightarrow \text{Winkelfehler} = 3,6^\circ$$

Zu 2)



Die Entfernung zwischen beiden Pyramiden beträgt 475 m. Die von mir gemessene Sichtlinie von Tempel 4 zu Tempel 3 weist zum Südost-Horizont mit einer Abweichung von ca. 5° neben den Punkt, wo die Sonne zur Wintersonnenwende aufgeht bzw. mit einer Abweichung von ca. 3° zum Victoria Peak. Durch zum vorigen Fall analoge Berechnung ergibt sich bei dieser Messung ein Winkelfehler von 2,4°. Insbesondere Tempel 4 wurde nur oben vom wahrscheinlichsten Beobachtungsstandpunkt aus vermessen, Tempel 3 nur von vorn und hinten. Dieses, zugegeben primitive, Verfahren reicht also nicht, um die Solstice-Richtung zu bestätigen, aber auch nicht, um die diesbezügliche These überzeugend zu falsifizieren. Zu erwähnen bleibt noch, dass die Gegenrichtung die Bedeutung des Zeigers auf den Horizontpunkt des Sonnenuntergangs am Tag der Sommersonnenwende hat.

Zu 3)



Als durchaus wertvoll erweist sich das Ergebnis, dass die Sichtlinie von Tempel 1 zu Tempel 2 die Richtung zum Horizontpunkt mit Azimut 287° anzeigt.

Gib die Breite des Ortes an (1 bis 66) oder wähle eine Mayastadt aus der Liste:

Gib das Datum (Tag und Monat) ein:

[JavaScript-Anwendung]

! Werte für den 225. Tag im Jahr:
Azimut des Sonnenaufgangs: 74.3°
Azimut des Sonnenuntergangs: 285.7°

Damit kann man auch die Sonnenuntergangsrichtung zumindest für die Mitte des Monats August (siehe Abbildung) als nachgewiesen betrachten. Der auf Basis der Entfernung von 766 Metern ermittelte Winkelfehler von $1,5^\circ$ lässt diese Folgerung zu. Allerdings sehe ich hier keine Bestätigung genau des 13. August wie eine Variation des Eingabewertes für den Tag in meinem Programmformular zeigen kann.

Fazit: Die Thesen von Herrn Malmström konnten nicht widerlegt werden. Die West-Ost-Ausrichtung ist unumstritten, die Ausrichtung zu den Solstice-Punkten ist sehr wahrscheinlich. Allerdings bleibt ein Nachweis der Ausrichtung des Tempelpaares 1-4 zum Sonnenuntergang am 13. August offen. Man müsste dazu ein Verfahren entwickeln, das einen Größtfehler von höchstens $0,15^\circ$ zulässt, weil der Untergangspunkt Mitte August täglich ca. $0,3^\circ$ wandert.

Ausblick auf weitere Untersuchungen in Tikal

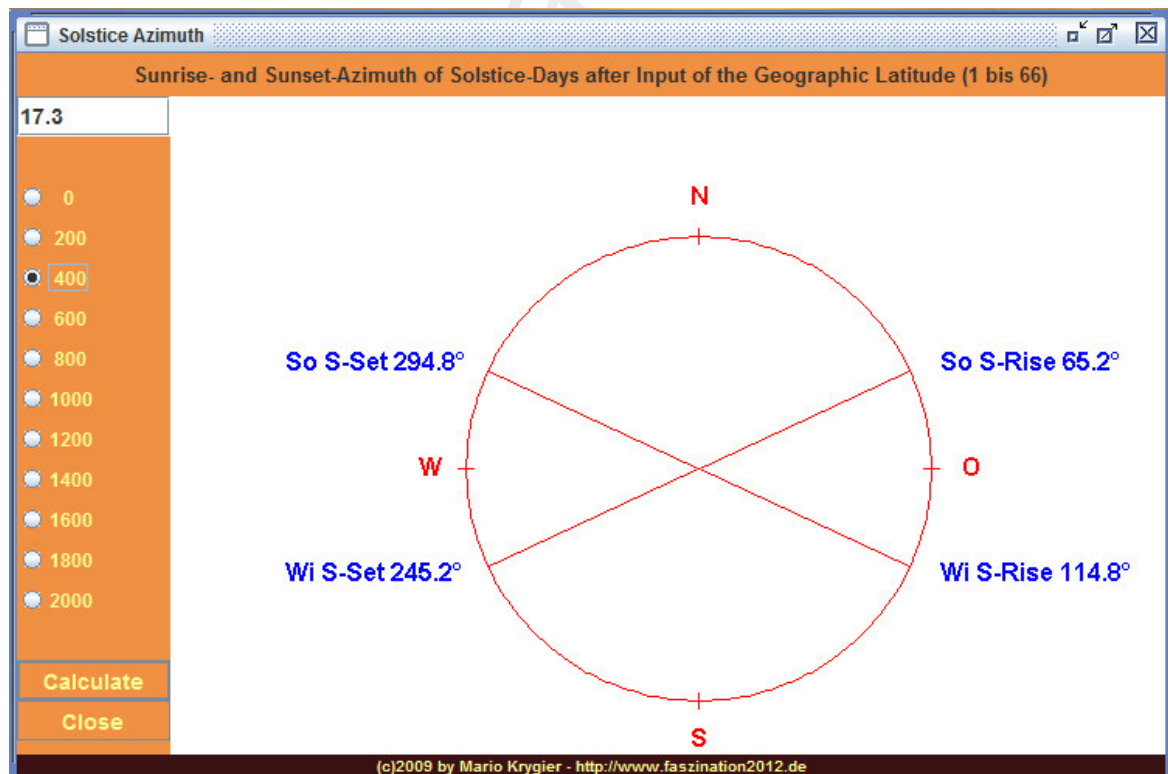
Hätte ich mir die Aufgabe gestellt, **systematisch alle denkbaren Richtungen** zwischen den Pyramiden hinsichtlich eventueller Übereinstimmungen mit den Richtungen verschiedenster Himmelsereignisse zu untersuchen, wäre ich von einer solchen Übersicht ausgegangen:

Azimut	Tempel 1	Tempel 2	Tempel 3	Tempel 4	Tempel 5	Tempel 6
Tempel 1	xxx	280	269	287	196	133
Tempel 2	100	xxx	262	288	172	130
Tempel 3	89	82	xxx	298	137	124
Tempel 4	107	108	118	xxx	126	123
Tempel 5	16	352	317	306	xxx	120
Tempel 6	313	310	304	303	300	xxx

Kandidaten für weitere zu untersuchende Himmelsereignisse sind Auf- und Untergänge an durch Besonderheiten ausgezeichneten Tagen sowie geozentrische Konjunktionen. Von besonderem Interesse sind dabei die Himmelskörper Sonne, Mond, Planeten wie etwa die Venus, bestimmte Sterne wie Sirius bzw. Sternhaufen wie die Plejaden.

Die Lage des Standortes Uaxactun

Analog zur Bewertung des Standortes von Tikal bezüglich der Richtung zum Victoria Peak ist nun die Lage von Uaxactun hinsichtlich der Richtung zum Baldy Beacon (17,-88.7833333) zu betrachten. Die theoretischen Azimutwerte der Sonnenwendepunkte ergeben sich für die geografische Breite von Uaxactun um das Jahr 400 wie folgt:



Die Richtung Uaxactún – „Baldy Beacon“ hat einen Azimutwert von 115.4°, wie die folgende Berechnung belegt:

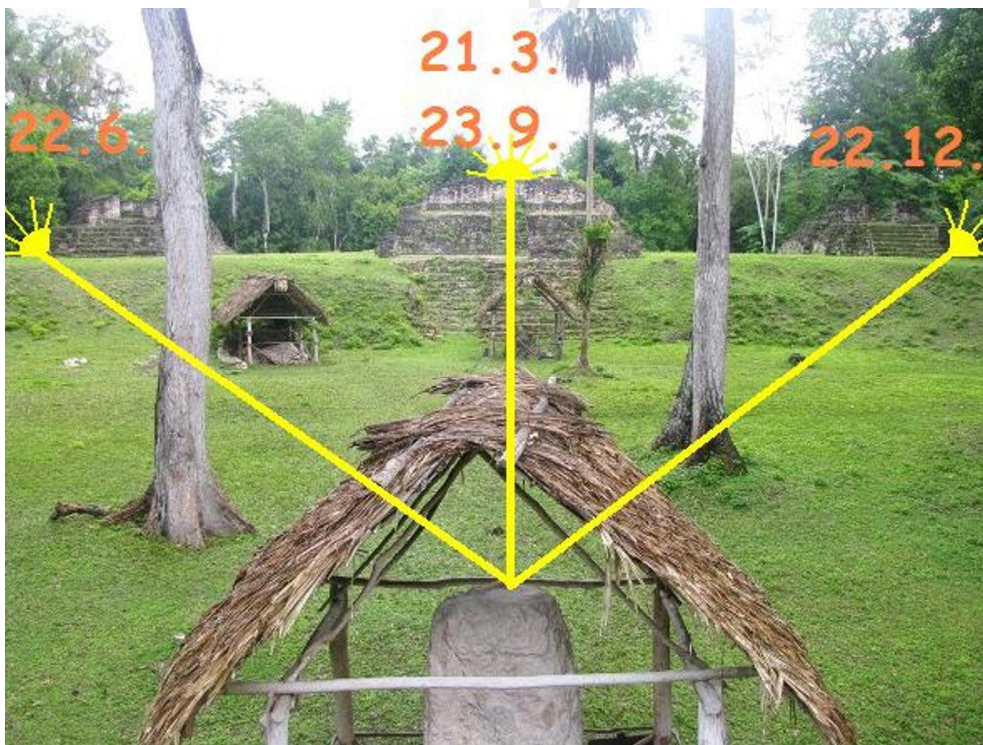
Eingabe der Koordinaten		Ausgabe von Azimut und Entfernung	
Breite von Punkt A	17.0 N	Azimut 1	295.643°
Laenge von Punkt A	88.78 W	Azimut 2	115.392°
Breite von Punkt B	17.39 N	Entfernung	100.192km
Laenge von Punkt B	89.63 W	<input type="button" value="Berechne"/>	

Diese Übereinstimmung ist deutlich, zumal aufgrund der großen Entfernung die GPS-Messtoleranz zu vernachlässigen ist.

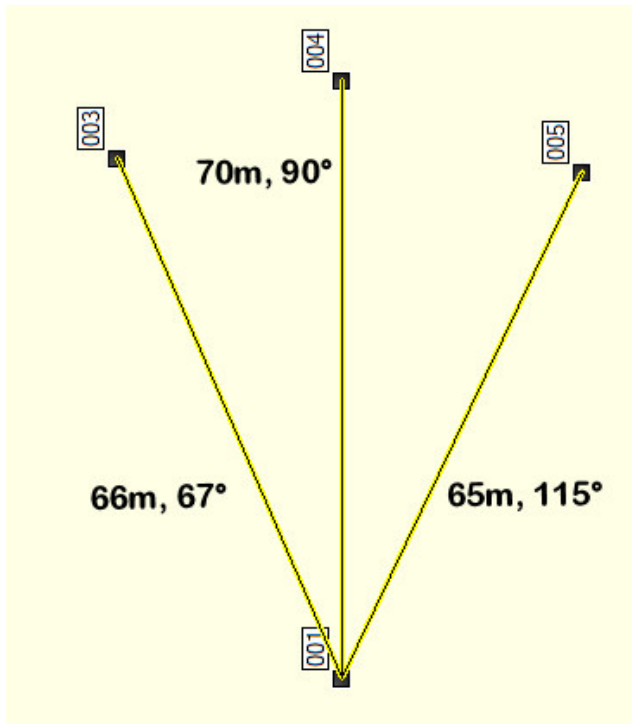
Fazit: Die Abweichung von 0.6° entspricht lediglich einem Sonnendurchmesser. Man müsste nun noch die genauen Horizontgegebenheiten und die Refraktion in Betracht ziehen. Malmströms Feststellung kann hier nicht abgelehnt werden.

Das Sonnenobservatorium Gruppe E

Die Gruppe E umfasst im Wesentlichen vier Gebäude, die der Sonnenobservation dienen, wie es folgende Grafik verdeutlicht:



Zur Überprüfung der eingezeichneten Sonnenaufgangszimute haben wir die entsprechenden Standpunkte registriert und grafisch ausgewertet.



Die angezeigte Toleranz der Messung von 4 m bewirkt im ungünstigsten Falle einen Größtfehler für den Winkel von 7° // $\text{Winkelfehler} = \arctan(2 * (\text{Messfehler in Metern}) / (\text{Entfernung in Metern}))$
 Damit ist eine derartige Messung mittels GPS-Gerät über so kurze Distanzen eigentlich wertlos, bringt in unserem Falle wie sich beim Vergleich mit den theoretisch zu erwartenden Winkeln zeigt, ziemlich gute Ergebnisse.

Fazit: Die Abweichungen von $1,8^\circ$ für den Sonnenaufgang zur Sommersonnenwende und $0,2^\circ$ zur Wintersonnenwende sind bemerkenswert klein verglichen mit dem Größtfehler der Messung. Es ist daher zu vermuten, dass ein besseres Messverfahren auch unter Berücksichtigung weiterer Aspekte wie genauer Beobachterstandort, Refraktion und Beschaffenheit des Horizonts hier eine Bestätigung der Sonnenobservatoriumsverwendung herbeiführen würde.

Literaturverzeichnis:

[Malmström 1997] Vincent H. Malmström, *Cycles of the Sun, Mysteries of the Moon – The Calendar in Mesoamerican Civilization*, University of Texas Press, Austin, 1997

Softwareverzeichnis:

MapSource 6.13.7	Garmin
Solstice Azimuth	Mario Krygier, Programmpaket MayaSky
Azimuth/Entfernung	Mario Krygier, Online-Skript auf http://www.faszination2012.de/seiten/astroseiten/genauigkeit/seite3.html