

Eine universelle Funktion zur Bewertung alter Sonnenobservatorien

Wolfhard Schlosser

Einleitung

Eine der häufigsten Fragen in der Archäoastronomie ist die folgende: Gegeben sei ein Satz von n architektonischen Linien eines (prä)historischen Monuments $(A,E)_i$, $i = 1 \dots n$, $A =$ Azimut, $E =$ Elevation. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, daß es sich dabei um ein Sonnenobservatorium handelt?

Die Statistik stellt die Frage andersherum: Welches ist die Wahrscheinlichkeit P , daß diese Richtungen zufällig sind, oder genauer, wo liegen die Grenzen $P-m\sigma$, $P+m\sigma$ dieser Wahrscheinlichkeitsfunktion? Ein aus den vielen architektonischen Linien eines Denkmals errechnetes mittleres p außerhalb dieses Bereiches ist dann nicht-zufällig auf dem $m\sigma$ -Konfidenzniveau. Für $m = 3$ ist dies die in Wissenschaft und Technik oft benutzte 3σ -Regel, wo man zu 99,7% sicher sein kann, daß die architektonischen Linien absichtlich für einen astronomischen Zweck gewählt wurden.

Natürlich hängen p und P von dem Gewicht ab, welches man einer architektonischen Linie zuweist. In Übereinstimmung mit Schlosser (2000) wird für eine architektonische Linie (A,E) gesetzt:

$A =$ Solstitial- oder Kardinalazimute $\pm 2,5^\circ$	$p = 1$
$A =$ Beltaine-, ... azimute $\pm 2,5^\circ$ (Dies sind Azimute für eine Sonnen- deklination $\delta = \pm 0,71\epsilon$)	$p = 0,75$
$A =$ die sonstigen von der Sonne erreichbaren Azimute	$p = 0,5$
$A =$ die verbleibenden außersolaren Azimute	$p = 0$

Als „Azimut“ wird hierbei die Richtung des Erscheinens des obersten Sonnenrandes bei der Elevation E verstanden. Die Azimute zählen von Nord über Ost; es gilt die Standardrefraktion sowie der mittlere Sonnendurchmesser.

Die Funktion P hängt im wesentlichen von der geographischen Breite ϕ ab, weniger von der Zeit T der Errichtung des Monuments und seiner Höhe h über dem Meeresspiegel. Man kann sie daher als eine Art universeller Funktion der Archäoastronomie ansehen.

Die Dateien *diag1.tif* und *diag2.tif* geben diese Funktion für die Elevationen 0° and 10° und die Epochen 0 and -4000 (schwarze Kurven). Für ausgewählte Werte der geographischen Breite werden sie durch Dreiergruppen von Histogrammen ergänzt. Als Breite gilt jeweils die des mittleren Histogramms einer Dreiergruppe. Das jeweils linke Histogramm ist gültig für für $n = 4$ architektonische Linien, das mittlere für $n = 13$, und das rechte für $n = 40$. Grenzen von rot nach gelb bezeichnen das 1σ -Konfidenzniveau, von gelb nach grün das 2σ -Niveau, während das Ende der grünen Balken das 3σ -Niveau kennzeichnet. Der Abstand der Dreierblöcke wurde so gewählt, daß Zwischenwerte für die Breiten aus benachbarten Blöcken

linear interpoliert werden können. Die Histogramme gelten jeweils für das Jahr -4000; für andere Jahre sind sie gegebenenfalls entsprechend dem Abstand der Kurven für 0 und -4000 leicht zu verschieben. Genauso kann für Elevationen zwischen 0° und 10° linear interpoliert werden.

Erstellung von $P \pm m\sigma$

Die Ermittlung von P ist analytisch möglich: 40° des Vollkreises erhalten das Gewicht 1, 20° das Gewicht 0,75, die davon nicht erfaßten Sonnenazimute das Gewicht 0,5, der Rest das Gewicht 0 (schwarze Kurven). Die Histogramme sind hingegen das Ergebnis umfangreicher Monte-Carlo-Rechnungen. Dies sei exemplarisch für $n = 4$ architektonische Linien vorgeführt. Der Nutzer kann nach dieser Vorschrift ein Programm entsprechend seinen eigenen Bedürfnissen schreiben.

Für ein gegebenes ϕ , T , E werden die Azimutgrenzen für die verschiedenen Gewichte festgelegt. Der Zufallsgenerator erzeugt vier Azimute $0 \dots 360^\circ$, deren mittleres p aufgrund der obigen Azimutgrenzen bestimmt wird. Dieser Vorgang wiederholt sich zehntausendmal und es wird abgespeichert, wie häufig die p_i erfaßt werden. Natürlich sind die p_i stark gequantelt. Bei $n = 4$ Richtungen können nur die gemittelten Wahrscheinlichkeiten $p = 0, 0,125, 0,188, 0,25, 0,313, 0,375, 0,438, 0,5, 0,563, 0,625, 0,688, 0,75, 0,813, 0,875, 0,938$ und 1 auftreten.

Bei Annahme einer Normalverteilung gilt für 10 000 Ereignisse: 1σ zwischen 1587 und 8413, 2σ zwischen 228 und 9772, 3σ zwischen 13 und 9987. Im allgemeinen werden diese Grenzen natürlich nicht scharf getroffen. Es wurde dann die Mitte derjenigen gequantelten Intervalle als $\pm m\sigma$ -Grenze gewählt, die gerade außerhalb des Grenzwertes und somit auf der 'sicheren Seite' liegen. Man erkennt dies Prozedere am Verlauf der obersten grünen Grenzen für $n = 4$, die nicht exakt dem Verlauf der schwarzen Kurve folgen. Es wurde kein Versuch unternommen, diese Fluktuationen der Grenzen, die aus der Quantelung und der auf 10 000 Stichproben begrenzten Simulationen folgen, dem Verlauf der Kurve anzupassen.

Eines zeigen diese Diagramme bereits deutlich. Die Anzahl von vier architektonischen Linien ist das absolute Minimum für eine Einschätzung als archäoastronomisches Objekt. Dann muß jede einzelne Orientierung bereits hochsignifikant sein (zum Beispiel eine Kardinalrichtung beschreiben), um das Monument insgesamt als astronomisch orientiert zu klassifizieren.

Anwendung von $P \pm m\sigma$

Wie arbeitet man mit diesen Diagrammen? Als Beispiel zeigt *diag3.tif* am Kreisäußeren die sicheren (ungeklammerten) Azimute der niederbayerischen Kreisgräben nach Becker (1990). Im Kreisinneren sind die Sektoren für die verschiedenen Gewichte dargestellt ($T = -4000$, $\phi = 48,7^\circ$, 360m über NN, $E = 0^\circ$), und zwar $p = 1$: grün, $p = 0,75$: gelb, $p = 0,5$: rot, $p = 0$: weiß. Es ergibt sich ein Mittelwert zu $p = 0,62$. Insgesamt wurden $n = 21$ Torazimute einbezogen. Sowohl die Interpolation aus *diag1.tif* wie auch die für diesen Fall speziell durchgeführte Monte-Carlo-Simulation ergibt $P+3\sigma = 0,57$, so daß das in dieser Veröffentlichung beschriebene Ensemble von Kreisgräben zu sicherer als 99,7% solar orientiert ist.

Modifikationen

Nicht jeder Nutzer wird die oben aufgeführte Gewichtung akzeptieren. Wegen der im wesentlichen analytischen Struktur der Funktion P (schwarze Kurve) kann diese wie folgt in einfacher Weise modifiziert werden:

A) Statt der erhöhten Gewichtung $p = 0,75$ für die $\pm 0,71 \varepsilon$ Deklinationen soll auch für diese Azimute das normale Sonnenazimutgewicht von $p = 0,5$ gelten. Modifikation: Generelles Absenken der schwarzen Kurven um 0,14 Einheiten.

B) Die Azimuttoleranz von $\pm 2,5^\circ$ soll in $\pm \Delta A$ geändert werden. Modifikation: Addition von $0,039 \cdot (\Delta A - 2,5)$ zu den schwarzen Kurven (auf korrektes Vorzeichen achten).

Entsprechend sind die Ordinaten sämtlicher Histogramme zu versetzen.

Literatur

Becker, H.: Mittelneolithische Kreisgrabenanlagen in Niederbayern und ihre Interpretation aufgrund von Luftbildern und Bodenmagnetik. In: *Vorträge des 8. Niederbayerischen Archäologentages* (Hrsg. K. Schmotz). Deggendorf 1990

Schlosser, W.: Prehistoric Sites along the 'Hellweg' Trade Route. In: *Proceedings of the Sixth SEAC Conference* (ed.: F. Prendergast). Dublin 2000





