

## Ein „Flutterbandhenge“ auf der Halde Hoheward

*Burkard Steinrücken\*, Michael Winkhaus\*\*  
Initiativkreis Horizontastronomie im Ruhrgebiet e.V.*

*\*) Westfälische Volkssternwarte und Planetarium Recklinghausen,  
steinruecken@sternwarte-recklinghausen.de*

*\*\*\*) Astro AG am Carl-Fuhlrott-Gymnasium Wuppertal,  
Michael.Winkhaus@t-online.de*

Schüler der Astro-AG des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums in Wuppertal bauten aus Anlass der "Nacht der Industriekultur" am 10. Juli 2004 auf der Halde Hoheward im Ruhrgebiet eine astronomisch orientierte Kreisanlage, die sich ideell an prähistorische Hengebauwerke anlehnt. Das "Flutterbandhenge", so genannt, weil es aus Holzpflocken und Flutterband besteht, umschließt einen etwa 36 Meter großen Kreis und besitzt vier zu den Sonnenwendrichtungen orientierte Zugangswege, sog. "Prozessionsstraßen". Einige hundert Besucher verfolgten den Bau und erlebten in den Abendstunden den Untergang der Sonne in der vorausbestimmten und gekennzeichneten Richtung. Das Projekt ist auch als Initialereignis für den auf der Halde Hoheward geplanten astronomischen Themenpark zu verstehen (Informationen dazu unter [www.horizontastronomie.de](http://www.horizontastronomie.de)).



## Didaktischer und astronomiehistorischer Hintergrund

Die vielfältigen Erscheinungen am Himmel und am Horizont bieten zahlreiche Zugänge zur Naturkunde und Naturwissenschaft, die im Klassenraum, im Labor oder am Computerbildschirm verschlossen bleiben und sich nur in der Natur unter freiem Himmel öffnen. Im Ruhrgebiet mit seiner großen Bebauungsdichte und der fast ebenen Topographie mangelt es leider an den für diesen sinnesorientierten Zugang zur Astronomie erforderlichen Beobachtungsorten und Landschaftsverhältnissen, so dass hier kaum freie Sicht auf den Himmel und insbesondere den Horizont gegeben ist. Folge davon ist eine weitgehende Unkenntnis über elementare Himmelserscheinungen bei der Stadtbevölkerung und -jugend, die die stimmungsvollen horizontnahen Himmelsereignisse oft nur im Strandurlaub erlebt.

Die durch den Ruhrgebietsbergbau entstandenen Abraumhalden bieten jedoch als künstlich gestaltete Landschaftsmonumente die Beobachtungsperspektive auf den Himmelsrand und damit einen Ausweg aus dem zivilisationsbedingten Mangel an freier Sicht. Von diesen Halden bietet sich mithin die Möglichkeit der Beobachtung des Horizontes im ansonsten eher flachen Land.

Zur Belebung der uralten Tradition der Horizontastronomie, die u.a. durch die bronzezeitliche Himmelsscheibe von Nebra dokumentiert ist, wird auf der Halde Hoheward auf dem Gebiet der Städte Herten und Recklinghausen voraussichtlich in den Jahren 2006 – 2008 ein für die Öffentlichkeit kostenlos und zu jeder Zeit frei zugängliches Horizontobservatorium errichtet, das sich an prähistorische Vorbilder anlehnt (z.B. Stonehenge in England oder Goseck in Sachsen-Anhalt).

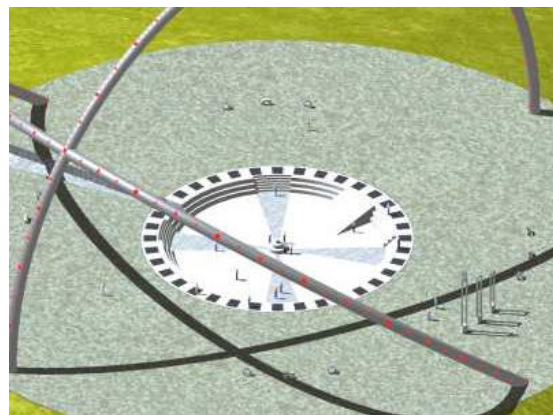
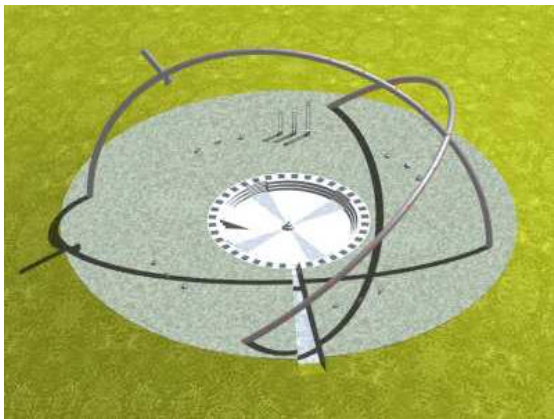


Stonehenge: Kreisgrabenanlage, Steinsetzungen und astronomisch orientierte Prozessionsstraße



Goseck: Kreisgrabenanlage und Pfostensetzungen mit astronomisch orientierten Zugängen, Zeichnung K. Schauer

Das öffentliche Bewußtsein für die elementaren astronomischen Zyklen des Sonnen-, Mond- und Gestirnslaufes soll durch die Bereitstellung einer solchen Beobachtungseinrichtung geschärft, die astronomische Allgemeinbildung gestärkt und ein einzigartiger attraktiver Identifikations- und Anziehungspunkt für das nördliche Ruhrgebiet geschaffen werden. Eingebettet in einen Astronomischen Park im Umfeld des Observatoriums auf der Bergehalde wird diese Stätte, die durch ihre Architektur die Symmetrien der Himmelsbewegungen versinnbildlicht, der Öffentlichkeit die Möglichkeit der astronomischen Kultur- und Bildungstätigkeit auf der Basis eigener Beobachtungen bieten.



Planungsstudien für das Horizontobservatorium auf der Halde Hoheward, T. Morawe, Initiativkreis Horizontastronomie im Ruhrgebiet e.V.

### **Das „Flutterbandhenge“ als Initialereignis für das spätere Horizontobservatorium**

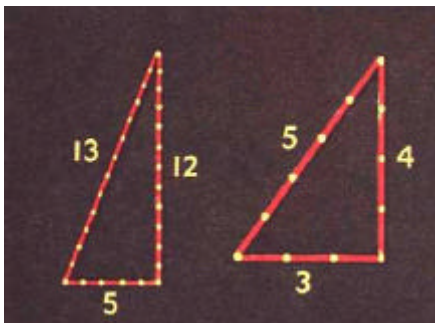
Zur „Nacht der Industriekultur“, einer jährlichen Veranstaltung auf vielen Industriebrachen im gesamten Ruhrgebiet, wurde am 10. Juli 2004 auf dem Gipfelplateau der tafelbergförmigen Halde eine erste Horizontbeobachtungsstätte errichtet, die hinsichtlich ihrer Architektur und Bauweise vom Gedanken der Einfachheit und schnellen Errichtbarkeit geprägt war, aber dennoch die Idee und die einfachsten Prinzipien der Horizontastronomie voll verwirklicht. Wegen der Wahl des Baumaterials zur Absteckung und Abspannung des Kreises und der Zugangswege und wegen seines provisorischen Charakters wurde das Bauwerk „Flutterbandhenge“ genannt. Kurze Holzpflocke aus Dachlatten bildeten die Grundlage der Architektur – ähnlich wie bei den vielen Hengebauwerken der Jungsteinzeit, die aus Pfostensetzungen bestanden -, und mit Flutterband wurden die Pflöcke oben verbunden, so dass ein geschlossener Kreis entstand, der nur durch vier astronomisch orientierte Zugänge unterbrochen war.



Das Flatterbandhenge auf der Halde Hoheward am 10. Juli 2004

Mit diesem Bauwerk materialisierte sich erstmals seit Bestehen dieses künstlich geschaffenen Landschaftsbauwerkes überhaupt die Idee der astronomisch motivierten Beobachtung des Ruhrgebietshorizontes von der Halde Hoheward. Damit kommt dem Flatterbandhenge der Stellenwert eines ideellen und materiellen Initialereignisses zu. Über diese grundlegende Intention der Initiation hinaus dient es dem Studium und der Erprobung alter geometrischer und astrometrischer Techniken im Umfeld der schulischen und außerschulischen naturwissenschaftlichen Bildung. Es stellt geometrische und astronomische Ansprüche an seine Erbauer, die in dieser Dokumentation nun thematisiert werden sollen.

Nachdem die Mitte des Kreises auf der horizontalen Gipfelfläche der Halde festgelegt war, wurde mit Maßband ein Kreis von ca. 36 m Durchmesser abgesteckt. Die grobe Kreisteilung in vier gleichgroße Winkelsektoren zu  $90^\circ$  geschah in der Tradition der ägyptischen Harpedonapten („Seilspanner“) mit Hilfe des pythagoräischen Dreiecks 3:4:5, das aus einem langen Maßband gelegt wurde. Dabei wurde der rechte Winkel an die Kreismitte angelegt, allerdings noch ohne Bezugnahme auf die Haupthimmelsrichtungen.



Pythagoräische Dreiecke



Ägyptische Harpedonapten beim Abspannen eines rechten Winkels

Gleichgroße Zwischenabstände zwischen den ca. 60 Pflöcken, die das Kreisrund begrenzten, wurden rechnerisch ermittelt und mit dem Maßband abgemessen. Die kurz zuvor gemulchte Haldenwiese (Mulchen = Mähen und Hechseln) bot die ideale Grundlage für das Einschlagen der ca. 90 cm langen Pflöcke, die vom gesamten Gipfelplateau gesehen werden konnten. Wenige Tage zuvor bedeckte noch eine fast meterhohe Wiese das Haldenplateau. Der Deutschen Steinkohle AG, die als Eigentümer der Halde das ohnehin anstehende Mulchen noch kurz vor der Nacht der Industriekultur durchführte, gebührt damit ein bedeutender Anteil am Gelingen der Aktion, für der ihr an dieser Stelle besonders gedankt sei. Das gemulchte Haldengras wurde an den Kreisrand geharkt, so dass sich dort auch eine auf dem Boden sichtbare Kreisstruktur abzeichnete.



Absteckung des Kreises auf dem Gipfelplateau mit Holzpflocken

## Bestimmung der Himmelsrichtungen aus astronomischen Beobachtungen

Nach der Fertigstellung des Kreises stand die Bestimmung der Haupthimmelsrichtungen an. Dazu eignen sich verschiedene Methoden, wie z.B. die Beobachtung des Polarsterns, die Indischen Kreise oder die Beobachtung des mittäglichen Südstandes zur vorausberechneten Zeit. Auf diese Methoden wird hier nicht genauer eingegangen. Sie sind in der astronomie-didaktischen Literatur genau beschrieben. Nachteile dieser Methoden sind die geringe Genauigkeit von  $0,5^\circ$  -  $1^\circ$  und die zeitlichen Einschränkungen bei der Durchführung. Die Polarsternmethode funktioniert nur in einer sternklaren Nacht und zur Bestimmung der Nord-Süd-Richtung nach den Indischen Kreisen benötigt man einen ganzen sonnigen Tag. Die Beobachtung des Südstandes der Sonne zum vorausberechneten Zeitpunkt des Ortsmittags setzt gute Sicht zur fraglichen Minute voraus.

Wegen dieser Nachteile wurde eine Methode angewandt, bei der man die Sonne in jedem beliebigen Stand anpeilen kann. Das war insofern erforderlich, weil sich am zunächst regnerischen Aktionstag die Sonne erst am Nachmittag manchmal zeigte. Zum Abend hin klarte es allerdings mehr und mehr auf und die Beobachtung des Sonnenuntergangs wurde zum krönenden Ereignis der gesamten Aktion. Um die gewünschte Genauigkeit zu erreichen, wurde ein kleiner Theodolith aus aussortierten Bundeswehrbeständen für die Sonnenbeobachtungen verwendet (natürlich mit Sonnenfilter vor dem Objektiv). Ein solches Gerät bekommt man manchmal für wenig Geld auf dem Astrotrödelmarkt.

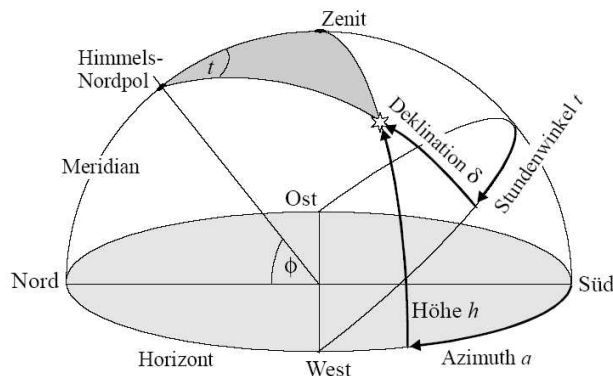


Standort des Theodolithen in der Kreismitte über einem zentralen Markierungsstein

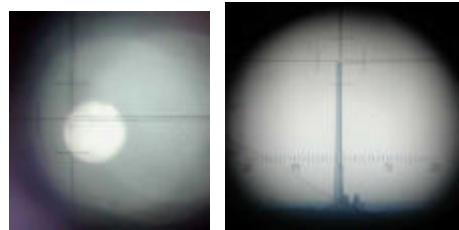
Die Sonne wird mit dem horizontal justierten Theodolithen ins Visier genommen und auf die Mitte des Fadenkreuzes gesetzt. Dann misst man mit den Teilkreisen für den Höhenwinkel und den Azimuthwinkel die scheinbare Höhe der Sonnenmitte ab und ermittelt auch den Teilkreiswert für den relativen Stand der Sonne im Azimuth. Danach peilt man eine markante Landschaftsmarke an und liest auch deren relativen Azimuthwinkel ab. Aus der gemessenen Höhe läßt sich das Nordazimuth der Sonne rechnerisch ermitteln und über die Azimuthdifferenz zwischen Sonne und Landmarke die Himmelsrichtung, in der die Landmarke steht. Dann kann man später, ausgehend von der bekannten Landmarke, die Haupthimmelsrichtungen Norden, Süden Osten und Westen abstecken. Die Genauigkeit der

Richtungsbestimmung ist durch die Güte des Theodolithen begrenzt. Mit dem zur Verfügung stehenden Gerät erreicht man eine Genauigkeit von wenigen Bogenminuten.

Wie aber erhält man aus der gemessenen wahren Höhe der Sonne deren Nordazimuth?



Die Himmelskugel über dem Beobachtungsort und Definition der sphärischen Winkelkoordinaten



Die Sonne und die Landmarke (Schornsteinkante) im Fernrohr des Theodolithen

Für diese Umrechnung nach den Formeln der sphärischen Trigonometrie sind noch einige Zusatzinformationen erforderlich. Die geographische Breite  $f$  und die Deklination  $d$  der Sonne zum Beobachtungszeitpunkt müssen bekannt sein (zur Definition dieser Größen siehe die Abbildung oben links). Die Deklination der Sonne entnimmt man einem Jahrbuch oder einer astronomischen Software. Am Besten tabelliert man sich für den beabsichtigten Beobachtungstag die Sonnendeklination für jede volle Stunde und interpoliert dann vor Ort auf den Zeitpunkt der Beobachtung.

Sonnenephemeride für den 10. Juli 2004 aus dem Astronomieprogramm *The Sky 4.0*:

Uhrzeit	$\delta$
9.00 MESZ	22,18°
12.00 MESZ	22,17°
15.00 MESZ	22,15°
18.00 MESZ	22,13°
21.00 MESZ	22,12°

Wer keine Bogenminutengenauigkeit anstrebt, kann die folgende Näherungsformel verwenden:

$$d = 23,44^\circ \cdot \sin(\text{Monat} \cdot 30^\circ + \text{Tag} \cdot 1^\circ - 111^\circ)$$

Mit  $\text{Monat} = 7$  (Juli) und  $\text{Tag} = 10$  erhält man für den 10. Juli  $d = 22,16^\circ$  (ganztägig).

Die geographische Breite des Standortes kann man mit Bogenminutengenauigkeit einer topographischen Karte entnehmen, oder durch astronomische Beobachtungen selbst bestimmen. Der TOP50-Karten-CD-Rom des Landesvermessungsamtes entnimmt man für den Hauptgipfel der Halde Hoheward:

Geographische Breite  $f = 51^\circ 34' 10''$  Nord, geographische Länge  $l = 7^\circ 10' 20''$  Ost

Will man den Breitenkreis des Beobachtungsortes aus astronomischen Beobachtungen erhalten, so reicht es z.B. aus, den mittäglichen Höchststand der Sonne zu ermitteln. Hat man die Zeit und das gute Wetter für diese Projektinheit, so beobachtet man die Sonnenhöhe systematisch um die etwaige Zeit des Ortsmittags herum. Der höchste Wert, die sog. „Kulminationshöhe“ lässt sich für die Ermittlung der geographischen Breite verwenden.

Die geographische Breite  $f$  ist die Zenitdistanz der Kulminationsstelle des Himmelsäquators auf dem Südmeridian. Deren Höhe über dem Südpunkt beträgt  $90^\circ - f$ .

Die Kulminationshöhe  $h_w(K)$  der Sonne unterscheidet sich von der Kulminationshöhe des Himmelsäquators um die Sonnendeklination, die man wieder dem Jahrbuch oder der kleinen zuvor angefertigten Tabelle entnimmt:

$$h_w(K) = 90^\circ - f + d$$

Mit dieser Formel gewinnt man – nach Umstellung – den Breitengrad  $f$ . Der Längengrad muss für die im Folgenden erläuterten Methoden der Richtungsbestimmung nicht ermittelt werden.

Es ist noch zu beachten, dass jede scheinbare Sonnenhöhe  $h_s$  mit Hilfe der folgenden Refraktionstafel zunächst auf die wahre Sonnenhöhe  $h_w$  reduziert werden muss. Die Lichtbrechung in der Atmosphäre täuscht nämlich immer einen höheren Sonnenstand vor, als von einer luftlosen Erde zu beobachten wäre. Für alle sphärischen Rechnung ist immer die wahre Sonnenhöhe zu nehmen:  $h_w = h_s - \text{Refraktion}$

Refraktionstafel:

$h_s$	Refraktion	$h_s$	Refraktion	$h_s$	Refraktion
5°	0,17°	15°	0,06°	30°	0,03°
10°	0,09°	20°	0,05°	60°	0,01°

Hinreichend genaue Zwischenwerte gewinnt man durch lineare Interpolation. Die Abhängigkeit der Refraktion von Luftdruck und –temperatur bleibt hier unberücksichtigt.

Hat man die Deklination, die geographische Breite und die wahre Sonnenhöhe ermittelt, so berechnet man zunächst den Stundenwinkel der Sonne zum Beobachtungszeitpunkt. Der Stundenwinkel gibt an, wieviel Zeit noch bis zum Meridiandurchgang der Sonne (Ortsmittag) verfließt ( $t$  negativ), bzw. seitdem verfließen ist ( $t$  positiv). Für einen bestimmten Beobachtungsort (von den Erdpolen mal abgesehen) steht die Sonne zweimal am Tag in der gleichen Höhe – einmal am Vormittag und einmal am Nachmittag. Diese beiden Fälle sind trivial zu unterscheiden, denn vormittags steigt die Sonne ja auf und nachmittags sinkt sie, und so kann man die Mehrdeutigkeit der folgenden Formel leicht auflösen und den gültigen Stundenwinkel ( $+t$  am Nachmittag oder  $-t$  am Vormittag) schnell ermitteln:

$$\cos t = \frac{\sin h_w}{\cos d \cdot \cos f} - \tan d \cdot \tan f$$

Mit der Kenntnis von  $t$  errechnet sich das Azimuth  $A$  nun folgendermaßen:

$$\tan A = \frac{-\sin t}{\cos f \cdot \tan d - \sin f \cdot \cos t}$$

Bei  $A$  handelt es sich um das „Südazimuth“. Es gibt an, um wie viele Grade die Sonne im Moment der Messung östlich von Süd ( $A$  negativ) oder westlich von Süd ( $A$  positiv) stand. Hat man das Sonnenazimuth ermittelt, kann man auch das Azimuth der feststehenden Landmarke bestimmen und dies als Ausgangswert für das Aufsuchen der Haupthimmelsrichtungen verwenden. Den Theodolithen schwenkt man von der Referenzmarke um die zuvor berechneten Differenzwinkel in die Haupthimmelsrichtungen und der vertikale Faden seines Fernrohres zeigt dann in die gewünschte Richtung.

Man platziert am Kreisrand einen weiteren Stock, der mit dem vertikalen Faden zusammenfällt und mit dem Mittelpunkt des Kreises die angepeilte Richtung festlegt.



Absteckung der astronomischen Richtungen mit Holzpflocken an der Kreisperipherie, Aufnahmen durch das Fernrohr des Theodolithen

### Bestimmung der Sonnenwendrichtungen

Hat man die Haupthimmelsrichtungen gefunden, so stellt sich die schwierigere Frage nach der Ermittlung der Sonnenwendazimuthe, die ja als Zugangswege zum Kreis auch baulich hervorgehoben werden sollen. Man muss dazu wissen, wo die Sonne am längsten bzw. kürzesten Tag des Jahres auf- und untergeht. Da diese Richtungen aber von der Gestalt des Landschaftshorizontes beeinflusst sind, kann man keine einfache Formel angeben, die das Problem von vornherein für den ausgesuchten Beobachtungsort löst. Man muss Bezug auf die Berge, Landschaften und Bauwerke nehmen, wie sie sich von der gewählten Mitte zeigen. Diese Strukturen können ja die Sonne verdecken und den sichtbaren Auf- oder Untergangsort gegenüber der Rechnung für einen freien Horizont verändern.

Am Besten berechnet man sich die Bahnen der auf- und untergehenden Sonne auf dem mathematischen Horizont (mit Zenitdistanz  $90^\circ$ ) im Vorfeld, trägt diese in ein Diagramm ein, das man am Aktionstag vor Ort um die sichtbare Horizontlinie, die mit dem Theodolithen vermessen wird, ergänzt. Dann entnimmt man die tatsächliche Auf- oder Untergangsrichtung der Zeichnung und erreicht auch damit eine Genauigkeit von einigen Bogenminuten, wenn man sorgfältig arbeitet.

Für die Vorausberechnung von Sonnenbahnen muss man Wertepaare  $(h_s, A)$  für den Sonnenober- und -unterrand gewinnen und in ein Diagramm eintragen. Die Bahnstücke der Sonnenränder zwischen diesen Stützstellen kann man durch Geradenstücke nachzeichnen, wenn die Stützstellen nicht allzu dünn gesät sind. Man wählt sich zunächst eine Reihe von Werten für die in Frage kommenden scheinbaren Höhen  $h_s$  der horizontnahen Sonne, wandelt diese in wahre Höhen um und berechnet die Azimuthe zu diesen Höhen. Man erhält die wahre Höhe folgendermaßen:

$$h_w = h_s - R + P (\pm \text{Gestirnsradius})$$

Die Refraktion  $R$  täuscht einen höheren Stand vor, deshalb ist sie bei der Ermittlung der wahren Höhe von der scheinbaren abzuziehen. Bei der Parallaxe  $P$  ist es genau umgekehrt. Die Sonnenparallaxe  $P$  von maximal  $9''$  kann aber wegen ihrer Kleinheit hier vernachlässigt werden. Beobachtet man nicht die Gestirnsmitte, sondern den Oberrand, so ist der Gestirnsradius von  $16'$  noch abzuziehen bzw. hinzuzurechnen (bei der Unterrandsbeobachtung).

Die scheinbare Höhe ist auf dem mathematischen Horizont Null. Die mittlere Refraktion für eine Temperatur von  $10^{\circ} C$  und einen Luftdruck von  $1013,25 HPa$  zur scheinbaren Höhe, also  $R(h_s)$ , kann aus der Refraktionstafel (siehe oben) genommen werden, oder man nimmt folgende Näherungsformel, die sich gut für eine Programmierung eignet [J. Meeus: *Astronomical Algorithms*, 2nd ed., William Bell, Richmond Virginia 1998]:

$$R(h_s) = \frac{1'}{\tan\left(h_s + \frac{7,31}{h_s + 4,4}\right)} \quad (h_s \text{ in Grad})$$

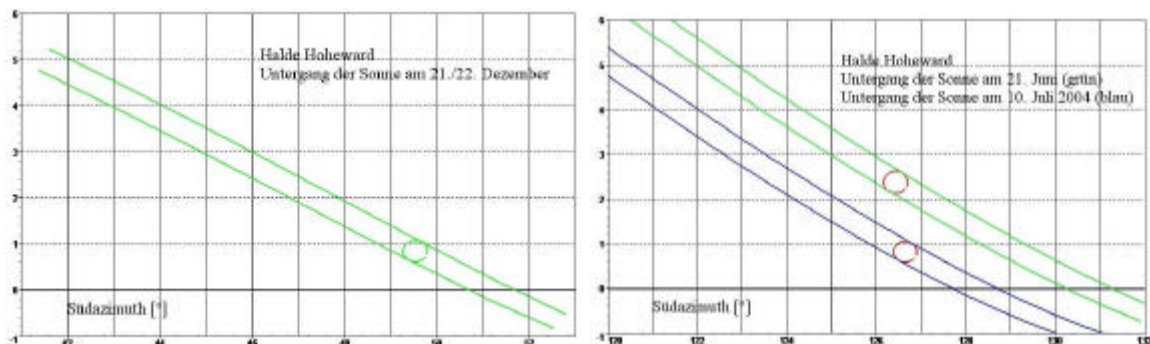
Für  $h_s = 0$  erhält man eine mittlere Horizontalrefraktion von 34,5 Bogenminuten. Die entsprechende Formel für die Refraktion zu wahren Höhen,  $R(h_w)$ , sei der Vollständigkeit halber hier auch aufgeführt (aus B.E. Schaefer: *Astronomy and the Limits of Vision*, *Vistas in Astronomy* Vol 36, pp. 311 – 361, 1993):

$$R(h_w) = \frac{1,02'}{\tan\left(h_w + \frac{10,3}{h_w + 5,11}\right)} \quad (h_w \text{ in Grad})$$

Zur Berechnung der Aufgangsazimuthe (Abkürzung *NA* für Nordazimuth) wird die folgende Formel aus der sphärischen Trigonometrie verwendet. Die geozentrische Deklination der Sonnenwenden ist  $d = +/- e$  (Ekliptikschiefe). Sie beträgt zur Zeit (2004)  $23,439^{\circ}$ .

$$\cos NA = \frac{\sin d - \sin f \cdot \sin h_w}{\cos f \cdot \cos h_w}$$

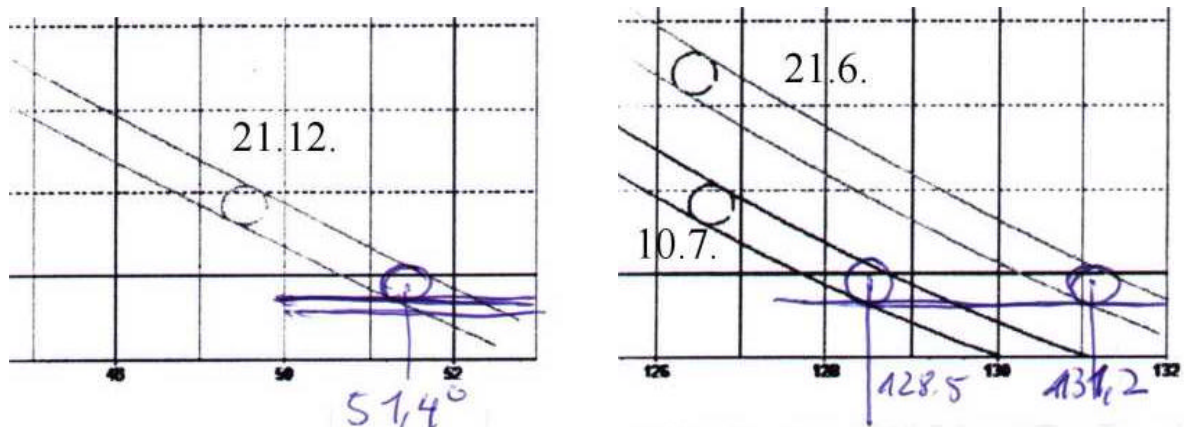
Mit diesen Formeln wurden die Bahnen des Sonnenober- und –unterrandes für den Standort Halde Hoheward ( $\phi = 51,569^{\circ}$ ), die auf den untenstehenden Bildern zu sehen sind, berechnet. Ebenfalls vorausberechnet wurde die Bahn der untergehenden Sonne am 10. Juli (mit  $d = 22,12^{\circ}$ ). In den Bildern sind allerdings die Südazimuthe der Sonnenstände aufgetragen, die sich von den Nordazimuthen um  $180^{\circ}$  unterscheiden. Gezeigt sind im rechten Bild die Sonnenbahnen am Tag der Sommersonnenwende (grün) und am 10. Juli 2004 (blau; Nacht der Industriekultur). Im linken Bild ist die Untergangsbahn der Sonne am Tag der Wintersonnenwende dargestellt. Die Aufgangsbahnen liegen symmetrisch zu den Untergangsbahnen bezüglich der Nord-Süd-Linie.



Vorausberechnete Untergangsbahnen der Sonne zur Wintersonnenwende (links), Sommersonnenwende (rechts, grün) und zur Nacht der Industriekultur am 10. Juli 2004 (rechts, blau)

Damit sind die Vorbereitungen für den Aktionstag abgeschlossen. Vor Ort wird nun mit dem Theodolithen der Verlauf des Landschaftshorizontes gemessen und in die Zeichnung eingetragen. Die Halde Hoheward ist mit 152 m ü. NN einer der höchsten Punkte im ansonsten eher flachen Ruhrgebiet, das etwa 30 – 40 m über NN liegt. Wo nicht entferntere Hügelketten liegen, wie z.B. im Süden, wo ein Bergrücken nördlich des Ruhrtales sich erhebt, liegt der Landschaftshorizont etwas unterhalb des mathematischen Horizontes, der sich ja in der Beobachtungsmitte als horizontale Tangentialebene an die Erdkugel anschmiegt. Die „negative Höhe“ des Landschaftshorizontes in den Sonnenwendrichtungen beträgt ca.  $-0,3^\circ$ . Man erhält diesen Wert auch als „Kimmtiefe“  $K$ , wenn man sich vorstellt, man blicke von einem  $H = 110$  Meter hohen Leuchtturm aufs offene Meer hinaus. Die Kimmtiefe bestimmt man aus der Formel  $K = 1,8 \cdot \sqrt{H [in\ m]}$ .

Die folgenden Abbildungen zeigen nochmals die vorausberechneten Bahnen, sind nun aber durch den Landschaftshorizont (kleine blaue Querstriche unterhalb des mathematischen Horizontes) ergänzt.



Eintrag des Landschaftshorizontes in die Zeichnungen der Sonnenbahnen, Platzierung eines Sonnenkreises an die Stelle der beabsichtigten Peilung und Entnahme des gepeilten Azimuthes der Sonnenmitte

Man muss sich nun entscheiden, welches Ereignis man anpeilen will: Die Sonnenmitte, den Sonnenoberrand oder den Sonnenunterrand auf dem Landschaftshorizont. Schön anzusehen ist es, wenn die runde Sonnenscheibe genau auf dem Horizont aufsitzt. In dieser Situation ist der Sonnenkreis auch eingezeichnet und man kann das sich daraus ergebende Azimuth der Sonnenmitte auf etwa ein zehntel Grad (= 6 Bogenminuten) schätzen. Die Azimuthe der Sonnenwendrichtungen werden nun den Zeichnungen entnommen ( $51,4^\circ$ ,  $131,2^\circ$ ,  $228,8^\circ$ ,  $308,6^\circ$ ), und die Absteckung der Richtungen geschieht nach dem gleichen Muster wie bei den Haupthimmelsrichtungen. Die Azimuttdifferenz der Untergangsorte der beiden Sonnenwendtage liegt bei ca.  $80^\circ$ , einen Wert, den man so ähnlich auch auf der Himmelscheibe von Nebra findet. Dort sind die möglichen Horizontorte der Sonne als goldene Randbereiche hervorgehoben (ein Randsegment fehlt allerdings heute). Der genaue Winkelsektor von ca.  $82,7^\circ$  entspricht den Verhältnissen in Sachsen-Anhalt in der Bronzezeit ( $f = 52^\circ$  Nord, 1600 v. Chr.). Das Flatterbandhenge verwirklicht diesen Winkel des jährlichen solaren Pendelbogens in einer Kreisanlage und einer Landschaft, wo dieses Phänomen auch beobachtet werden kann. Die Zugänge zum Kreis liegen in diesen Richtungen und durch das Hineinschreiten in den Ring und das Verlassen entlang der Prozessionsstraßen erhält man ein intuitives Gefühl für die Orientierung der Anlage im Raum und kann so das Ordnungsprinzip der astronomischen Richtlegung auf der Erde verinnerlichen. Die täglichen Symmetriepunkte des Gestirnslaufes (Hauptstimmelpunkte) und die jährlichen Symmetriepunkte des Sonnenlaufes (Sonnenwendrichtungen) bilden jeweils Achsenkreuze auf der Horizontalebene (das erste rechtwinklig, das zweite nicht), die die Symmetrien des Himmels

auf die Erde projizieren. Dieses Prinzip wird seit der Vorgeschichte für die irdische Raumordnung verwendet.



Blick entlang der Prozessionsstraßen in die Kreismitte; links: von Südwest, rechts: von Nordwest gesehen

### Die besondere Kennzeichnung des 10. Juli 2004, der „Nacht der Industriekultur“

Die Prozessionsstraßen veranschaulichen unmittelbar das Ausmaß des solaren Pendelbogens der Auf- und Untergangsorte. Als Grenzmarken nördlichster und südlichster solarer Horizontstände sind diese Richtungen astronomisch und kalendarisch besonders markant. Es ist kein Wunder, dass insbesondere diese herausragenden Richtungen und Daten in der prähistorischen Astronomie bedeutsam sind. Zahlreiche Fallbeispiele, von denen die Himmelscheibe von Nebra als wohl eindrucksvollstes schon angeführt wurde, bezeugen dies. In Stonehenge erscheint die Sonne am längsten Tag des Jahres (Sommersonnenwende) in Richtung der Hauptsymmetrieachse und 500 m langen Prozessionsstraße. Ein zusätzlicher Peilstein am Rand des Kreisgrabens markiert diesen Aufgangsort. Das Rundloch im Sazellum der Externsteine weist ebenfalls in diese Richtung. Vermutlich wurden solche Richtungen und Peilungen vornehmlich zu kultischen Zwecken in astronomisch orientierten Sakralbauwerken angelegt.



Prähistorische Vorbilder für Sonnenwendpeilungen: Die Randsegmente der Himmelscheibe (links) überdecken den solaren Pendelbogen am Horizont; Blick aus dem Zentrum von Stonehenge in Richtung der Prozessionsstraße und des Peilsteins, über dem am Tag der Sommersonnenwende die Sonne aufgeht (mitte) und Peilung des nördlichsten Aufgangsortes der Sonne durch das Rundloch des Externstein-Sazellums (rechts)

Zur Bestimmung der Jahreslänge eignet sich eine Sonnenwendrichtung dagegen nicht besonders gut, weil in der Sonnenwendzeit sich die Auf- oder Untergangszimuthe der Sonne nur kaum verändern und man über 1-2 Wochen hinweg von Tag zu Tag einen etwa gleichen Sonnenstand beobachtet. Die tägliche Veränderung der Horizontorte der Sonne ist an den Äquinoktien, wenn sie genau im Osten auf- und im Westen untergeht, am größten.

Unterstellt man den vorzeitlichen Menschen die bewusste Beobachtung der Sonnenwenden, so ist auch mit der Beachtung und Kennzeichnung anderer Sonnendaten wie den Äquinoktien oder den Daten in der zeitlichen Mitte zwischen Äquinoktien und Sonnenwenden zu rechnen. Auf diese Weise gelangt man zu einer Teilung des Jahres in kleinere Unterabschnitte, die durch die besonderen Stände der Sonne voneinander getrennt sind. Tatsächlich findet man z.B. bei den Torazimuthen von prähistorischen Kreisgrabenanlagen neben den Haupthimmelsrichtungen und Sonnenwenden auch gehäuft die Peilung eines Datums, das im heutigen Kalender auf die ersten Tage des Monats Mai fällt, und das als Frühlings- und Feuerfest den Beginn der warmen und fruchtbaren Zeit des Jahres anzeigte.

Das Flatterbandhenge erhält deshalb neben den astronomischen Zuwegen, die wegen des nur kurzfristigen Bestandes der Anlage ohnehin nur von symbolischem Charakter sind, eine weitere Peilung und zwar die Anzeige des Sonnenuntergangsortes am Aktionstag - der Nacht der Industriekultur am 10. Juli 2004. Dazu wird ein eigens angefertigtes „Sonnenloch“ so platziert, dass die untergehende Sonne genau dann, wenn sie mit ihrem Unterrand den Landschaftshorizont berührt, durch das Loch auf die Kreismitte scheint. Die Mitte des Loches hat dann ein Südazimuth von  $128,5^\circ$  und das Loch befindet sich nur wenig südlich der Untergangspeilung für den Tag der Sommersonnenwende. Gleichzeitig dient dieses Beobachtungsexperiment dem Nachweis der Güte der Berechnungen und Messungen. Denn nur nach einer sorgfältigen Himmelsrichtungsbestimmung und Sonnenbahnberechnung wird die Sonne beim Untergang genau durch dieses Loch auf den Beobachter in der Mitte scheinen. Da die Sonne einen Winkeldurchmesser von  $32'$  aufweist und die Messgenauigkeit des Theodolithen bei einigen Bogenminuten liegt, ist zumindest das Erscheinen von Teilen der Sonnenscheibe in diesem Loch zu erwarten. Das Loch wurde auf einer Halterung aus Dachlatten befestigt und stand fast genau in der zuvor ermittelten Richtung.



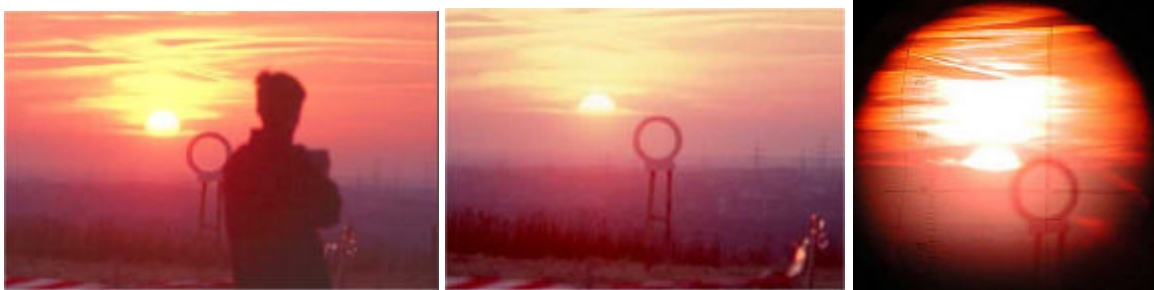
Das Sonnenloch des Flatterbandhenges von außen betrachtet (links); Montage des Rundfensters durch das Theodolith-Fernrohr gesehen (mitte; das Loch wird gerade etwas zu hoch eingerichtet) und die Darstellung einer prähistorischen Sonnensäule zum Vergleich (rechts)

Nachdem sich morgens die Sonne hinter Regenwolken versteckt hatte und sich nachmittags nur manchmal zeigte, zog der Himmel gegen Abend fast völlig frei und nur noch wenige Wolken versperrten den Blick auf die Sonne oder den Horizont.



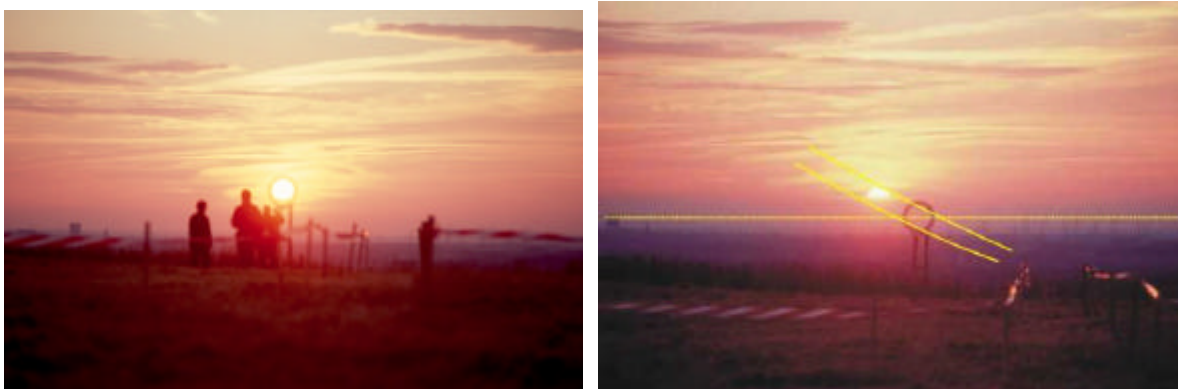
In Erwartung des Sonnenuntergangs mit der Hoffnung, die eingerichtete Peilung möge stimmen

Die Beobachtung des Sonnenunterganges im Sonnenloch gelang dann zwar nicht vollständig, weil sich genau in der angezeigten Richtung eine kleine Wolkenbank befand, die den Ort des Unterganges bedeckte, jedoch war das „Heranpirschen“ der Sonne bis an den Rand ihres Rundfensters zu beobachten, was auch die Abschätzung des Platzierungsfehlers leicht ermöglichte.



Bildsequenz der untergehenden Sonne kurz bevor sie das Rundfenster erreichte und hinter einer Wolkenbank verschwindet; rechtes Foto aufgenommen durch das Fernrohr des Theodolithen

Wie das Ereignis der Fensterdurchstrahlung hätte aussehen sollen, ließ sich aber leicht durch eine um wenige Zentimeter verlagerte Augenposition simulieren, bei der das Fenster etwas höher und weiter links gegen den Himmel zu liegen kam. Mit Hilfe der zuvor berechneten Sonnenbahn und einem Foto aus der unveränderten Augenposition kann man aber auch das fehlende Stück Sonnenbahn durch das Fenster hindurch rechnerisch rekonstruieren.



Durch kleine Ortsverlagerung manipuliertes Foto einer Idealdurchstrahlung (links) und Eintrag der berechneten Sonnenbahn in ein Foto aus der exakten Beobachtungsmitte (rechts)

Wie das rechte Bild mit der überlagerten Sonnenbahn zeigt, ist die Genauigkeit sehr zufriedenstellend und sie liegt wie erwartet im Bogenminutenbereich. Damit war das Projekt nicht nur im Hinblick auf die vorrangige Zielsetzung, ein öffentlichkeitswirksames und stimmungsvolles horizontastronomisches Initialereignis auf der Halde Hoheward zu setzen, sondern auch in astronomischer und didaktischer Hinsicht ein voller Erfolg.



Gipfellager und Bauleitstelle



Gruppenfoto des Vermessungs- und Bautrupps

Die Astro-AG um Lehrer Michael Winkhaus führte noch ein nächtliches Nachtreffen auf der Halde durch, bei dem die Prozessionsstrassen beleuchtet wurden.



Fotografie entlang einer beleuchteten Prozessionsstraße während der nächtlichen Aktion im Flatterbandhenge

Nach Ablauf einer Woche war das Bauwerk wieder entfernt, da die Halde zur Zeit noch Betriebsgelände der Deutschen Stenkohle AG ist und das Baumaterial, das schon im Verlauf der Folgewoche z.T. verschwunden war oder verstreut herumlag, möglicherweise bei späteren Mähaktionen auf der Haldenwiese Maschinen beschädigen könnte.

# Protokollformular für die Messung der Sonnenhöhe

## Bestimmung der Himmelsrichtungen mit dem Theodoliten

Datum: .....  
Beobachtungsort:.....  
Standortskordinaten aus der Karte:  
Breitengrad  $f$  = ..... Grad  
Längengrad  $l$  = ..... Grad

### A) Höhenmessung zu einem beliebigen Zeitpunkt:

Instrument: .....; etwaige Messgenauigkeit: ..... Grad

**Eintrag:** Scheinbare Höhe der Sonnenmitte: ..... Grad

**Eintrag:** rel. Azimuth der Sonnenmitte: ..... Grad

Refraktionskorrektur (die wahre Höhe  $h_W$  der Sonne ist kleiner als die scheinbare Höhe  $h_S$ ):  $h_W = h_S - \text{Refraktion}$

Refraktionstafel:

$h_S$	Refraktion	$h_S$	Refraktion	$h_S$	Refraktion
5°	0,17°	15°	0,06°	30°	0,03°
10°	0,09°	20°	0,05°	60°	0,01°

**Ergebnis:** Wahre Höhe der Sonnenmitte  $h_W =$  ..... Grad

### B) Beobachtung der Mittagshöhe der Sonne zur Bestimmung der geogr. Breite

**Eintrag:** Mittagshöhe:  $h_S =$  ..... Grad

Refraktionskorrektur:  $h_W = h_S - \text{Refraktion} =$  ..... Grad

Bestimmung der geographischen Breite nach  $f = 90^\circ - h_W + d$ .

$h_W$ : wahre Mittagshöhe,  $d$ : Sonnendeklination am Beobachtungstag

Gute Näherungsformel für die Sonnendeklination:

$$d = 23,44^\circ \cdot \sin(\text{Monat} \cdot 30^\circ + \text{Tag} \cdot 1^\circ - 111^\circ)$$

Genauere Sonnenephemeride für den Beobachtungstag:

Uhrzeit	$\delta$
9.00 MESZ	.....
12.00 MESZ	
15.00 MESZ	
18.00 MESZ	
21.00 MESZ	

**Ergebnis:** Geographische Breite des Beobachtungsortes  $f =$  ..... Grad

## Auswertebblatt für die Azimuthbestimmung

### Ermittlung eines Sonnenazimuthes aus der Höhenmessung und Bestimmung des Referenzazimuthes einer Landmarke

Zusammenstellung bisheriger Daten:

Geographische Breite:  $f$  = ..... Grad

Sonnendeklination:  $d$  = ..... Grad

Wahre Sonnenhöhe:  $h_W$  = ..... Grad

rel. Azimuth der Sonne:  $A1_{rel}$  = ..... Grad

rel. Azimuth d. Landmarke:  $A2_{rel}$  = ..... Grad

---

#### Schritt 1: Berechnung des Stundenwinkels $t$ der Sonne nach:

$$\cos t = \frac{\sin h_W}{\cos d \cdot \cos f} - \tan d \cdot \tan f$$

Messung am Nachmittag:  $t$  stimmt! Messung am Vormittag: Ersetze  $t$  durch  $-t$ !

**Ergebnis:**  $t = \dots\dots\dots$  Grad

---

#### Schritt 2: Berechnung des Südazimuthes $A$ der Sonnenmitte nach:

$$\tan A = \frac{-\sin t}{\cos f \cdot \tan d - \sin f \cdot \cos t}$$

**Ergebnis:**  $A = \dots\dots\dots$  Grad

$A$  gibt an, um wie viele Grade die Sonne im Moment der Messung östlich von Süd ( $A$  negativ) oder westlich von Süd ( $A$  positiv) stand.

---

#### Schritt 3: Berechnung des Südazimuthes der Landmarke:

$$A_{Landmarke} = A + (A2_{rel} - A1_{rel})$$

**Ergebnis:**  $A_{Landmarke} = \dots\dots\dots$  Grad

---