

Neue Vermessung und neue Analyse der mutmaßlichen astronomischen Peilungen an den Externsteinen

Burkard Steinrücken, Westfälische Volkssternwarte und Planetarium Recklinghausen
Stadtgarten 6, 45657 Recklinghausen, steinruecken@sternwarte-recklinghausen.de

Juli 2013

Die Externsteine – ein christliches oder ein vorchristliches Heiligtum?

Die Externsteine im Teutoburger Wald sind ein herausragendes Naturdenkmal, das sicher zu allen Zeiten eine große Anziehungskraft auf den Menschen ausgeübt hat. Neolithische Funde im Umfeld der Steine bezeugen schon den Aufenthalt des steinzeitlichen Menschen an den Felsen. Aus welcher Zeit aber stammen die künstlich ausgehauenen Felsenhöhlen im Hauptfelsen, der Höhenraum im Turmfelsen (auch Höhenkapelle oder Sazellum genannt) und die sonstigen zahlreichen Steinmetzarbeiten und Bearbeitungsspuren? Und zu welchem Zweck wurden diese Bauten angelegt? - Ob die Umarbeitungen an den Felsen allesamt aus christlicher Zeit stammen und die Externsteine als Kapelle oder Wallfahrtsort genutzt wurden, oder ob schon der prähistorische Mensch sie gestaltet und für seine kultischen Zwecke genutzt hat, ist seit langem sehr umstritten.

Im Jahr 2004 konnte die Forschungsstelle Archäometrie der Heidelberger Akademie der Wissenschaften mittels des Thermolumineszenzverfahrens nachweisen, dass im unteren Höhlensystem einst heftige Feuer brannten und die letzten Erhitzungen im Spätmittelalter bzw. an einigen Stellen im Frühmittelalter stattfanden [1]. Die letzten Feuer in der engen Kuppelgrotte brannten in der Zeit um 735 +-180 n. Chr. (Höchstalter der letzten Erhitzung) bzw. 934 +- 94 n. Chr. (älteste Daten eines letzten Feuers von fünf erfolgreich datierten Proben aus dem gesamten Höhlensystem mit Werten zwischen 735 und 1425 n. Chr.). Die Ergebnisse dieses Forschungsprojektes ersetzen die Werte einer früheren Altersabschätzung aus dem Jahr 1990, die noch auf das erste vorchristliche Jahrtausend als Zeitpunkt der letztmaligen Erhitzung verwies [2].

Auch wenn die Thermolumineszenzdatierung nur die letztmalige Erhitzung des Gesteins erfassen und keine Aussage über die ersten Feuer im Höhlensystem machen kann, ist das Ergebnis der jüngsten Messungen interessant. Kann es doch die alte Streitfrage, ob die Externsteine erst nach 800 und folglich mit Einzug des Christentums umgestaltet wurden, oder bereits in der Zeit vor den Sachsenkriegen und damit vor der Christianisierung eine kultische Betätigung stattfand, nicht entscheiden. Die Ergebnisse für die letztmalige Erhitzung der Kuppelgrotte, die das größte Alter liefern, liegen genau auf der Zeitgrenze, die die Verfechter der christlichen von jenen einer vorchristlichen Bedeutung der Externsteine trennt!

Bedacht werden sollte bei der Interpretation dieser Datierungsergebnisse auch, dass die angegebenen Fehlergrenzen (z.B. +- 94 Jahre) dem statistischen 1-Sigma-Vertrauensbereich entsprechen. Mit einer Wahrscheinlichkeit von nur rd. 68% liegt der Zeitpunkt der letzten Erhitzung der untersuchten Felspartie in dem durch diese Grenzen gegebenen Bereich. Strebt man eine höhere Aussagesicherheit mit einem 2- oder 3-Sigma-Vertrauensbereich an (95,5% bzw. 99,7%), so sind diese Vertrauensgrenzen zu verdoppeln bzw. zu verdreifachen. Für die Fehlerspanne des Wertes 934 n. Chr. erhält man folglich eine Unsicherheit von 3 x 94 = 282 Jahren auf dem 3-Sigma-Vertrauensniveau. Die entsprechende Aufweitung der Fehlergrenzen der anderen Proben lässt schließlich auch eine übereinstimmende Datierung aller Proben ins Hochmittelalter zu. Eine sichere Entscheidung für eine bestimmte Kulturepoche ist also nicht möglich.

Die Archäoastronomie als Werkzeug einer Weltanschauung

Seit langem werden auch archäoastronomische Indizien vor allem für die vorchristliche Interpretation der Externsteine angeführt, wie z.B. die Ausrichtung des Sazellums, der Höhenkapelle im Turmfelsen, auf den Aufgangsort der Sonne zur Zeit der Sommersonnenwende. Der erste Hinweis dieser Art stammt von Gustav Otto von Bennigsen aus dem Jahr 1823. Besondere Popularität erlangte die Vorstellung von den Externsteinen als prähistorisches Gestirnsheiligtum zur Beobachtung von Sonne und Mond durch den Privatgelehrten und selbsternannten Germanenforscher Wilhelm Teudt aus Detmold. Teudt propagierte in den 1920er und 1930er Jahren die Auffassung einer absichtsvollen Hinwendung zur Sommersonnenwendrichtung bzw. zur allernördlichsten Mondaufgangsrichtung am nordöstlichen Horizont [3, 4]. Teudt sah in den Externsteinen das Zeugnis einer hochstehenden germanischen Kultur, sowie in der Gegend um Detmold zahlreiche weitere Heiligtümer. Er konnte diese Thesen in seiner Schrift „Germanische Heiligtümer“, die weite Verbreitung fand, sehr erfolgreich popularisieren.

Teudts Bild von den Externsteinen als germanisches Gestirnsheiligtum erlangte in der Zeit des Nationalsozialismus offizielle Bedeutung; die Ahnenerbe-Forschungsstelle der SS, einer der verbrecherischen Ideologie der SS und den Zielen des Nationalsozialismus verpflichteten Organisation, machte sich Teudts Externsteinforschung zu eigen und propagierte die Felsengruppe als germanisches Heiligtum und deutsches Kulturerbe aus vorgeschichtlicher Zeit. Teudts Hypothese, die gesamte Gegend um Detmold sei ein bedeutendes heiliges Gebiet für das vorgeschichtliche Germanien gewesen, deckte sich mit den Interessen der völkischen Ideologie. Schließlich erklärte die SS das Gebiet um die Externsteine zu ihrer weltanschaulichen Interessensphäre. Bis zu dieser Aufwertung durch eine staatliche Institution galt Teudts Weltbild der Externsteine als das eines Privatgelehrten im Einzelkampf gegen die etablierte Wissenschaft. Die Studie von U. Halle, „Die Externsteine sind bis auf weiteres germanisch …“, stellt die Verflechtungen, Verirrungen und die verschiedenen Interessen der beteiligten Personen und Institutionen aus der Archäologie, der völkischen Laienforschung und den staatlichen Organisationen des NS-Regimes dar [5].

Die von weltanschaulichen Prämissen geleitete Erforschung und Interpretation der Externsteine in der Zeit des Nationalsozialismus hat der Archäoastronomie in Deutschland sehr geschadet. Galt und gilt sie stellenweise immer noch wegen Teudt, der seine Thesen mit archäoastronomischen Interpretationen zu untermauern versuchte, und vor allem wegen der Übernahme dieser Ideenwelt durch das SS-Ahnenerbe, dem eine unreflektierte Überhöhung des germanischen Kulturstandes in der Prähistorie opportun erschien, als ideologisch belastet. Wegen der archäoastronomischen Komponente der damaligen Externsteindebatte und dem Stellenwert der Archäoastronomie als „Ortungskunde“ in den Forschungsabteilungen des Ahnenerbes wird die Archäoastronomie auch heute noch in der Archäologie sehr kritisch angesehen, z.T. auch als ideologisch verwerflich pauschal abgelehnt und tabuisiert.
Diese Fundamentalkritik, die eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Archäologen und Archäoastronomen erschwert, bezieht sich dabei weniger auf die z.T. umstrittenen Methoden der Archäoastronomie, die mit Recht strengen wissenschaftlichen Kriterien genügen müssen, sondern zu einem beträchtlichen Anteil auf ihre Bedeutung bei der ideologisch geführten Externsteindebatte in der NS-Zeit.
Die Bemächtigung der Externsteine durch NS-Ideologen und Laienforscher im Germanentaumel einer völkischen Ideologie ist ein wissenschaftlicher Sündenfall und ein warnendes Beispiel für die Archäoastronomie und für die Archäologie. Das Beispiel der Externsteine beweist, dass auch die Archäoastronomie in den Dienst einer ideologisch oder religiös eingefärbten Weltanschauung gestellt werden kann, wodurch ihr wissenschaftliches Anliegen verstellt, verzerrt oder gänzlich verhindert wird.
Die pauschale Abwendung von der Archäoastronomie oder deren Tabuisierung mag manchem Prähistoriker deshalb vielleicht opportun erscheinen, ist aber auch keine Lösung. Vielmehr gilt es, Fehler und Fehlentwicklungen zu erkennen, aufzuarbeiten und zu korrigieren und sich mit dem Bewußtsein für die Fehler und Folgen der Vergangenheit alten und neuen archäoastronomischen Fragestellungen mit Sachlichkeit zuzuwenden. Auf diesem Weg kann die Archäoastronomie in Deutschland die ihr zustehende Bedeutung wahrnehmen.

Ziel und Datengrundlage dieser Arbeit

In dem Aufsatz „Mythos Sternhof“ hat der Verfasser eines der archäoastronomischen „Steckenpferde“ W. Teudts behandelt, die Behauptungen und Rechnungen der damaligen Zeit einer Methodenkritik auf der Basis der modernen Archäoastronomie unterzogen und Teudts Argumentation als tendentiös und unhaltbar entlarvt [6]. In der hier vorliegenden Arbeit wird nun die „Externstein-Archäoastronomie“ auf den Prüfstein gestellt und einer Neubewertung auf der Grundlage neuer Daten unterzogen. Diese Studie bezieht sich auf die Feststellungen und Interpretationen in der bisherigen archäoastronomischen Forschungsliteratur zu den Externsteinen, nicht aber auf die vielen unterschiedlichsten Phantastereien in der Laienforschung, die die Externsteine ebenfalls umspinnen. Zu Zeiten Teudts befaßten sich die Astronomen J. Hopmann und R. Müller mit der Orientierung des Sazellums zum nördöstlichen Horizont [7, 8]. Im Jahr 1975 erschien eine Arbeit von K. Urban, in der u.a. die vom Sazellum aus sichtbare ferne Horizontlinie analysiert wurde [9] und schließlich in den Jahren 1994 -1996 Beiträge von W. Schlosser zur Orientierung der Konusachse des Sazellum-Rundlochs und zur Verwendbarkeit des Sargsteinpodestes für Kalenderbeobachtungen als besondere Neuansätze [10, 11, 12]. Alle diese Arbeiten basieren auf eigenen Vermessungen der Autoren bzw. auf amtlichen Vermessungsdaten. Sie bilden damit den Faktenkern der bisherigen archäoastronomischen Externsteindebatte.



Abb. 1: Die Rundbogennische mit dem Rundloch in der Höhenkapelle des Turmfelsens



Abb. 2: Das Rundloch mit der konischen Wandung

Die neuen Analysen in dieser Arbeit befassen sich mit der Untersuchung der Güte der angeblichen astronomischen Peilungen an den Externsteinen. Behandelt werden die Ausrichtung des Rundlochs im Sazellum (Abb. 1 und 2), die Landschaftstopographie im Umfeld der Externsteine sowie die praktische Verwendbarkeit des Sargsteinpodestes auf dem Nebenfelsen des ersten Hauptfelsens für kalenderastronomische Beobachtungen. Grundlage für diese Analysen sind neue Vermessungen des Sazellums durch das Kreisvermessungsamt in Detmold, Laserscandaten aus dem Sazellum vom Felix-Fechenbach-Berufskolleg in Detmold, digitale Geländemodelle des Landesvermessungsamtes NRW, sowie eigene Messungen des Verfassers mit einem Minutentheodolit, der auf dem Sargsteinpodest aufgestellt wurde. Hauptziel der Untersuchung ist eine möglichst genaue Dokumentation des geometrischen, geodätischen und topographischen Befundes im Sazellum mit modernen Methoden der Geodäsie, die auch unabhängig von allen archäoastronomischen Fragestellungen wegen der fortschreitenden Verunstaltung der Rundlochnische und ihrer Gefährdung durch Vandalismus wertvoll ist. Ferner die Beantwortung der Fragen, ob die angeblichen astronomischen Peilungen tatsächlich eine solche behauptete Funktion ausüben können, und wenn ja, wie genau das möglich ist. Schließlich werden die Ergebnisse der oben genannten früheren Arbeiten, die sich mit Vermessungen an den Externsteinen und darauf gestützten astronomischen Interpretationen beschäftigen, mit den hier ermittelten neuen Ergebnissen verglichen.
Sollten die behaupteten astronomischen Peilungen an den Externsteinen der Überprüfung standhalten, so ist das natürlich noch kein Beweis für eine absichtsvolle Anlage solcher Peilungen durch kalenderastronomisch motivierte Menschen einer bestimmten Epoche der Vergangenheit. Jedoch kann eine hohe Genauigkeit einer Peilung als Indiz für die astronomische Hypothese gewertet werden und dieser Auffassung Gewicht verleihen.

Neuvermessung des Sazellums

In einer Korrespondenz aus dem Jahr 2006 teilte K.-U. Förster, Mitbegründer der Schutzgemeinschaft Externsteine e.V., dem Verfasser mit, es lägen hochgenaue neue Vermessungsdaten des Kreisvermessungsamtes Detmold aus dem Sazellum vor, auf deren Grundlage die Neuuntersuchung der astronomischen Ausrichtungshypothese durch die Schutzgemeinschaft Externsteine erfolgen solle. Zu dieser Untersuchung kam es offenbar nicht mehr, nachdem K.-U. Förster 2007 verstarb.

Der Verfasser ist seit langem mit der Bestandsaufnahme von tatsächlichen und vermeintlichen archäoastronomisch interessanten Denkmälern und Örtlichkeiten in Westfalen-Lippe befasst. Die Externsteine sind schon allein wegen ihrer Forschungsgeschichte und ihrer politischen und ideologischen Brisanz ein bedeutendes Element dieses Bestandes, das unabhängig von ihrer womöglich auch astronomischen Relevanz in diesem Zusammenhang nicht ignoriert werden kann. Deshalb kam es im Jahr 2010 mit der Bitte um genaue Punktkoordinaten aus dem Sazellum (siehe Abb. 3) zu einem Kontakt mit O. Koprek vom Kreisvermessungsamt in Detmold. Dem Verfasser wurden daraufhin diejenigen Daten zur Verfügung gestellt, die Jahre zuvor auf die Initiative von K.-U. Förster von den amtlichen Vermessern erhoben wurden und seitdem ohne weitere Beachtung geblieben waren (siehe Anlage 1).



Abb. 3: Die Höhenkapelle bzw. das „Sazellum“ im Turmfelsen der Externsteine. Durch Absturz großer Felsmassen ist der ursprüngliche Raum zu einem großen Teil zerstört.
Der Zugang erfolgt heute über den benachbarten Treppenfelsen und eine Brücke. Der Blick auf die Bogennische mit dem Rundfenster ist hier durch einen Felskopf (rechts) verstellt.
Auf der Gipfelkrone des Turmfelsens befindet sich ein kreisrundes Loch, vielleicht zur Aufnahme einer Stange o.ä.

Als Ergänzung zu diesem Datenmaterial wurde am 23. März 2011 auf Anregung des Verfassers und auf Vermittlung von O. Koprek von J. Heine vom Felix-Fechenbach-Berufskolleg in Detmold eine Messung mit dem Laserscanner durchgeführt. Der Laserscanner wurde an mehreren Standorten im Sazellum, einem Standort oben auf dem Treppenfelsen vor der Brücke zum Sazellum und vor der Hauptseite der Steine auf Bodenniveau aufgestellt. Von allen diesen Standorten wurden Laserscans der Steinkulisse aufgenommen, die dem Verfasser für die Analysen dieser Arbeit zur Verfügung gestellt wurden. Ziel dieser Messungen war eine hochauflösende Dokumentation des Innenraums des Sazellums mit allen seinen architektonischen Einzelheiten, vor allem aber von der konisch geformten Innenwandung des Rundlochs (Abb. 4).

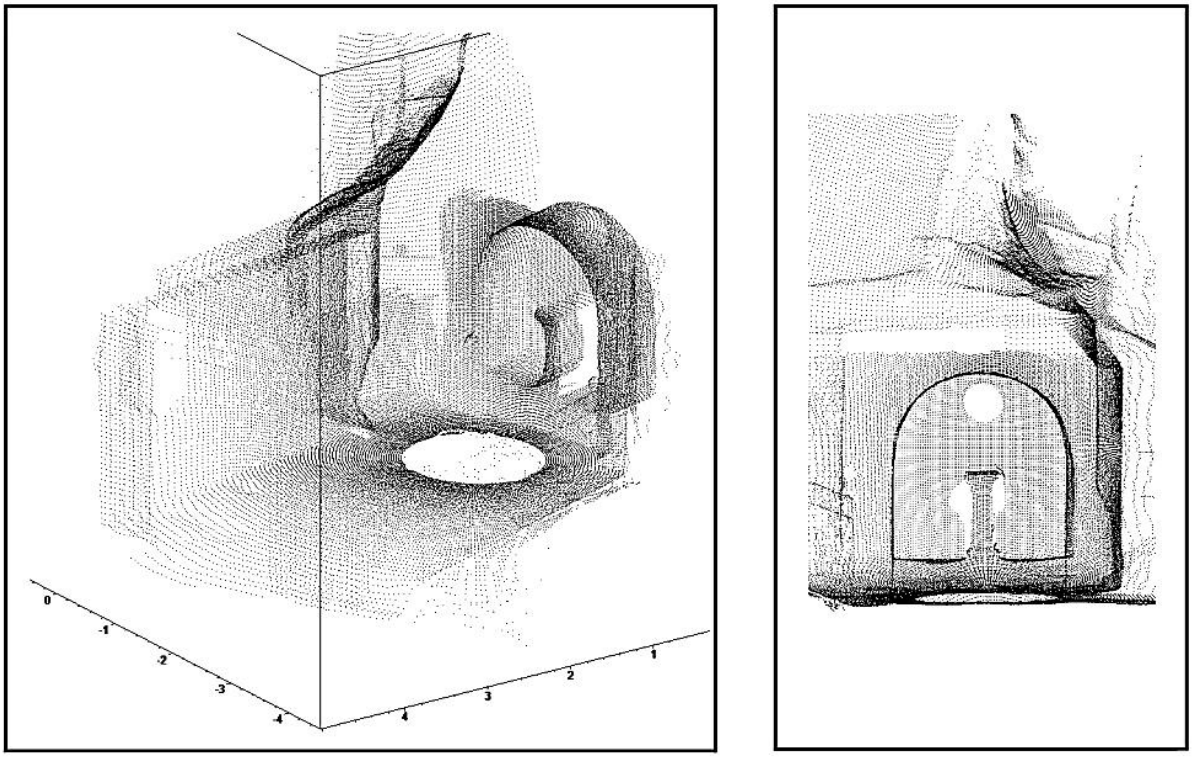


Abb. 4: Zwei Darstellungen einer Auswahl von Datenpunkten des hochauflösenden Laserscans aus dem Sazellum im Turmfelsen der Externsteine. Der Laserscanner stand im Zentrum des weißen Kreises im linken Bild, bei den Koordinaten x = y = z = 0.

W. Schlosser hatte bereits im Jahr 1987 erkannt, dass sich an diese Wandung ein Kegel anpassen lässt, dessen Achsenorientierung zum Horizont vermessen und archäoastronomisch untersucht werden kann [11]. Die Kegelachse lässt sich völlig unabhängig von den verschiedenen Hypothesen für unterschiedliche Beobachtungsstandorte im Sazellum oder der Form des vorhandenen Restraumes bestimmen. Die Orientierung dieser Achse liefert damit ein viel stärkeres Indiz für eine astronomische Funktion des Sazellums - sofern eine astronomische Interpretation überhaupt sinnvoll möglich ist - als die verschiedenen Annahmen über Standort und Blickrichtung von Beobachtern innerhalb des kleinen Raums, der vielleicht sogar zu verschiedenen Zeiten umgestaltet wurde, worüber seit Teudts Zeiten spekuliert und gestritten wird. Der erneuten Untersuchung der Wandung des Rundlochs, die für sich allein eine Richtung zum Horizont oder zum Himmel definiert, die man ohne Bezugnahme auf die sonstige Form des Raumes archäoastronomisch untersuchen kann, wird hier deshalb besonderer Raum eingeräumt. Sie wird mit Hilfe hochpräziser Laserscandaten wiederholt.
Die Laserscandaten bestehen aus einer großen Zahl von Raumpunkten für die Felsoberfläche. Sie liegen die in einem willkürlichen kartesischen (x, y, z)-Koordinatensystem vor. Diese Punktkoordinaten müssen in das geodätische System umgerechnet werden, um damit Orientierungsaussagen gewinnen zu können (siehe Anhang 2). Anschließend werden Anpassungsrechnungen für die Gestalt des Kegels und seine Lage im Raum durchgeführt, der sich bestmöglich an die zahlreichen georeferenzierten Stützpunkte der konischen Rundlochwandung anschmiegt. Ein Kegel wird durch 6 Parameter festgelegt, die durch Anpassungsrechnung zu bestimmen sind: 3 Lagekoordinaten der Kegelspitze (R_s, H_s, h_s), Gitternordazimut der Kegelachse im Gauß-Krüger-System (*Ga*), die Elevation der Kegelachse (*e*) und der Kegelöffnungswinkel (ε). In der Abbildung 5 sind diese 6 Parameter veranschaulicht.

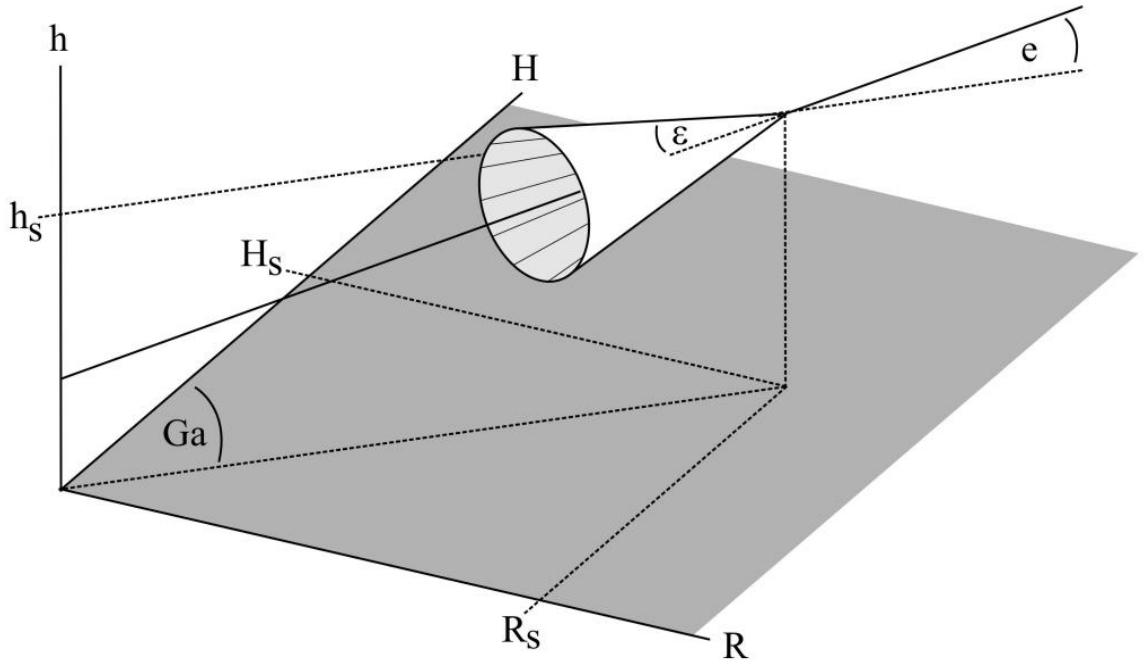


Abb. 5: Die sechs Parameter zur Festlegung der Gestalt und der Lage des Kegels im Gauß-Krüger-System

Begonnen wurden die Anpassungsrechnungen mit einem Datensatz von 574 Stützstellen, die gleichmäßig auf der konischen Rundlochwandung verteilt liegen. Nach der Bestimmung des besten Kegels stellte sich heraus, dass einige Stützpunkte im unteren Bereich des Loches merklich außerhalb des besten Kegels lagen. Dort weicht die Wandung signifikant von der Kegelform ab (siehe Abb. 6). Man kann diese Abweichung als Folge der erodierenden Wirkung von Regenwasser verstehen, das seit Jahrhunderten an dieser Stelle ins das Rundloch hinein läuft und ebenso durch die Einwirkung von Besuchern, die an dieser Stelle ins Rundloch hineingreifen, um sich in eine bessere Position für den Durchblick nach außen zu befördern.
In einem zweiten Durchlauf wurden die 19 Punkte vom unteren Rand, die mit einem Abstand von 5 mm und mehr signifikant außerhalb des Kegels lagen, entfernt. Die endgültige Bestimmung des besten Kegels wurde schließlich mit den verbleibenden 555 Stützstellen nach dem folgenden Verfahren durchgeführt. Die Veränderung des Ergebnisses gegenüber dem ersten Durchlauf war wegen der großen Zahl von Stützstellen vernachlässigbar klein.

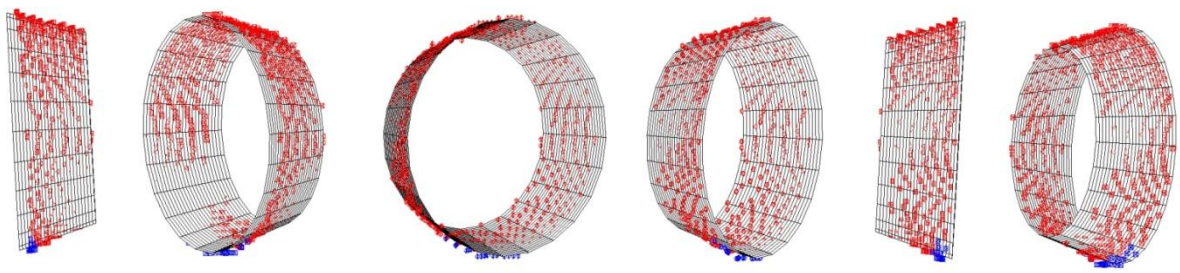


Abb. 6: Darstellung des bestangepaßten Kegels und der 574 Stützstellen vom Konusrand. Im unteren Bereich weichen 19 beieinanderliegende Messpunkte (blau dargestellt) alle mehr als 5 mm vom Kegel ab, was auf eine starke Erosion hindeutet, weshalb diese bei der endgültigen Ausgleichsrechnung nicht berücksichtigt wurden.

Mit guten Schätzwerten für die 6 Kegelparameter wird die Anpassungsrechnung begonnen und für den geschätzten Ausgangskegel die Summe der Abstandsquadrate der 555 Stützstellen vom Kegelmantel bestimmt. Sodann werden die 6 Parameter innerhalb sinnvoller Grenzen variiert. Jeder Satz veränderter Parameter entspricht einem Kegel mit etwas anderer Öffnung und etwas anderer Lage im Raum. Für jeden dieser leicht unterschiedlichen Testkegel wird ebenfalls die entsprechende Summe der Abstandsquadrate bestimmt. Jener Testkegel, für den die Summe der Abstandsquadrate minimal ist, ist der bestmögliche.
Gestaltet man in diesem Variationsverfahren die Schrittweite der Parametervariation zu klein (z.B. Winkelschritte kleiner als 0,1 Grad und Variationsschritte von Lagekoordinaten im unteren Millimeterbereich), so stellt ein nach diesen Vorgaben berechneter Testkegel keine Verbesserung mehr gegenüber anderen ähnlichen Kegeln dar. Mit zu fein abgestuften Parametern unterschreitet man die durch das Datenmaterial gegebenen sinnvollen Genauigkeitsgrenzen und stößt an eine Grenze bei der Anpassungsrechnung. Durch die Variation der Parameterschrittweiten zu immer kleineren Werten lotet man den Toleranzbereich der Kegelparameter für die beste Anpassung aus und ebenfalls die Güte des Datenmaterials bzw. die Fertigungsgüte der konischen Wandung. Es zeigt sich, dass eine Angabe von Winkeln genauer als 0,1° bzw. eine Angabe von Lagekoordinaten genauer als einige Millimeter keinen Sinn macht. Die Ergebnisse für die Parameter des bestmöglichen Kegels sind:

Bestimmung der Kegelparameter der Rundlochwandung aus 555 Laserscanpunkten

Gauß-Krüger-Koordinaten der Kegelspitze
R_s = 3494378,105 +- 0,005 m
H_s = 5748336,265 +- 0,005 m
h_s = 285,650 +- 0,005 m

Horizontalkoordinaten der Kegelachse
Elevation e = 3,1° +- 0,1°
Gitterazimut Ga = 48,1° +- 0,1°

Kegelöffnungswinkel: ε = 16,7° +- 0,1°

In der Abbildungen 7 ist dieser Kegel bzw. die Kegelachse in verschiedenen Ansichten visualisiert. Die Kegelachse weist leicht nach oben und folglich nicht genau zum Horizont, ein Umstand, auf den erstmals W. Schlosser aufmerksam machte.
Die mittlere Abweichung der 555 Stützstellen von diesem Kegel beträgt nur 3 mm. Man beobachtet, abgesehen von den bereits oben diskutierten Stützstellen im unteren Bereich des Lochs, keine Abweichungen, durch die man genötigt wäre, von der Grundannahme der konischen Form des Loches abzurücken. Im Gegenteil - es besteht kein Zweifel, dass tatsächlich eine exakt kegelförmige Wandung beabsichtigt war. Die mittlere Abweichung der Stützstellen vom Kegel von nur 3 mm korrespondiert gut mit den Unebenheiten, die man bei einer visuellen Inspektion der Lochwandung feststellt. Ungenauigkeiten bei der Fertigung bzw. Abweichungen von der Idealform durch Abnutzung liegen in einem allgemeinen Genauigkeitsbereich von Millimetern bis maximal ca. 1 Zentimeter. Die heute vorliegende Form kommt der Idealform eines Kegelstumpfes sehr nahe, und umso mehr darf man dies für die ursprüngliche Form der Wandung im Erstzustand annehmen, unmittelbar nach Fertigstellung der Steinmetzarbeit.

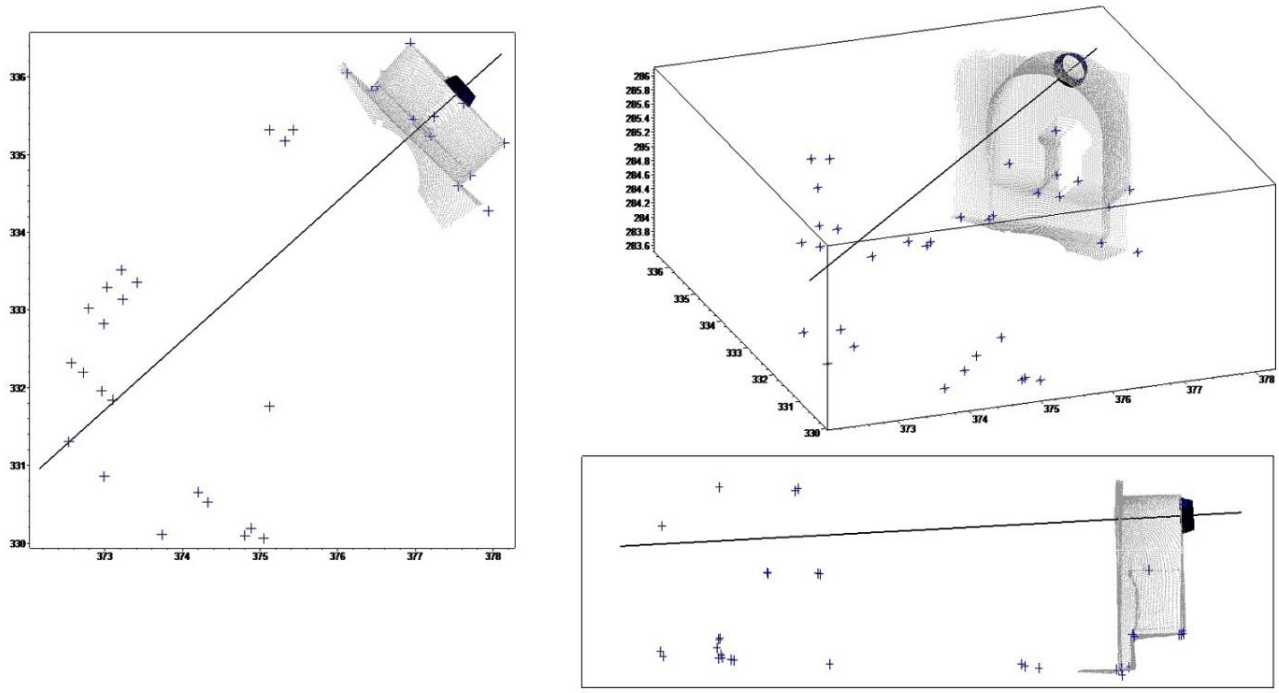


Abb. 7: Darstellung der Kegelachse, der Rundbogennische im Sazellum (Laserscandaten) und der Bezugspunkte für die Georeferenzierung (Kreuze; Daten siehe Anhang 1) in verschiedenen Ansichten; links im Grundriss (Gauß-Krüger-Koordinaten), rechts oben im Schrägriss, rechts unten in Seitenansicht.

Bislang war nur von der Lage des Kegels im Gauß-Krüger-System die Rede. Für die spätere astronomische Fragestellung interessieren aber vor allem die Horizontalkoordinaten der Kegelachse mit Bezug auf die geographische Nordrichtung. Die Nordrichtung im Gauß-Krüger-Gitter (Gitternord) unterscheidet sich leicht von der geographischen Nordrichtung, da die geodätische Projektion den gewölbten Erdellipsoid auf eine Fläche projiziert (im Gauß-Krüger-System ist das die transversale Mercatorprojektion des Bessel-Ellipsoids auf die Ebene) und man dann keine globale Nordrichtung auf der Karte vorfindet. Die sog. Meridiankonvergenz (Differenz zwischen Gitternord und geographisch Nord) hängt von der geographischen Länge und Breite des Beobachtungsortes, sowie von der geographischen Länge des Mittelmeridians der Gauß-Krügerprojektion ab. Sie berechnet sich mit einer für diese Zwecke hinreichenden Genauigkeit gemäß der Näherungsformel $\gamma = (\lambda - 9°) * \sin \phi$. Mit der geographischen Länge und Breite des Sazellums von $\lambda = 8°\ 55´\ 03´´$ Ost und $\phi = 51°\ 52´\ 08´´$ Nord (WGS 84) und der Länge des Bezugsmeridian von 9° Ost erhält man eine Meridiankonvergenz von $\gamma = -0{,}065$. Dieser Wert ist zum Gitterazimut *Ga* hinzuzuzählen, um zum geographischen Nordazimut *Na* zu gelangen (auf zwei Dezimalstellen gerundet; die zweite Dezimale spiegelt die Genauigkeit der Berechnung der Meridiankonvergenz wider, nicht die der Kegelachsenbestimmung). Man erhält für das Nordazimut schließlich *Na* = 48,04°+- 0,1°. Die geodätischen Koordinaten der Rundlochmitte und die für astronomische Betrachtungen relevanten Winkel des Rundlochs lassen sich damit wie folgt zusammenfassen:

Koordinaten der Rundlochmitte und Orientierung des Rundfensters

Gauß-Krüger-Koordinaten der Rundlochmitte (Außenwand)
Rechtswert: R = 3494 377,65
Hochwert: H = 5748 335,89
Höhe über NN: h = 285,62 m

Geographische Koordinaten der Rundlochmitte (WGS 84)
geographische Länge: λ = 8° 55´ 2,3118´´ Ost = 8,91731° Ost
geographische Breite: ϕ = 51° 52´ 8,5708´´ Nord = 51,86905° Nord

Nordazimut der Konusachse Na = 48,04° +-0,1°
Elevation der Konusachse e = 3,1° +- 0,1°

Die Horizontlinie im Nordosten

Für eine archäoastronomische Untersuchung, die sich mit den Horizontständen von Gestirnen beschäftigt, ist die genaue Kenntnis der Form des Landschaftshorizontes erforderlich. Aber auch für sonstige Betrachtungen, die die Einbindung eines Ortes in den Landschaftsraum betreffen, ist die Kenntnis der Geländetopographie von entscheidender Bedeutung.
Für den Turmfelsen der Externsteine und das darin befindliche Sazellum mit dem Rundfenster drängt sich dieses Thema geradezu auf. Eignet sich doch der Ort – jenseits aller astronomischen Überlegungen – auch besonders gut als Aussichtspunkt für den nordöstlichen Horizont. So ist es nicht verwunderlich, dass die Aussicht auf die entfernte Landschaft schon in früheren Arbeiten angesprochen wurde. Teudt fand in dem Höhenzug zwischen Fissenknick und Bad Meinberg das landschaftliche Element, welches die sichtbare Horizontlinie bei der Betrachtung des nordöstlichen Himmelsrandes aus dem Rundloch bildet – und lag damit falsch. Erst 1975 erkannte K. Urban, dass der 17 km entfernte Beckerberg bei Blomberg das fernste Horizontmal in Richtung der Rundlochachse ist. Urban dokumentiert diese Tatsache auch mit einem Foto, welches in der Abb. 8 wiedergegeben ist.

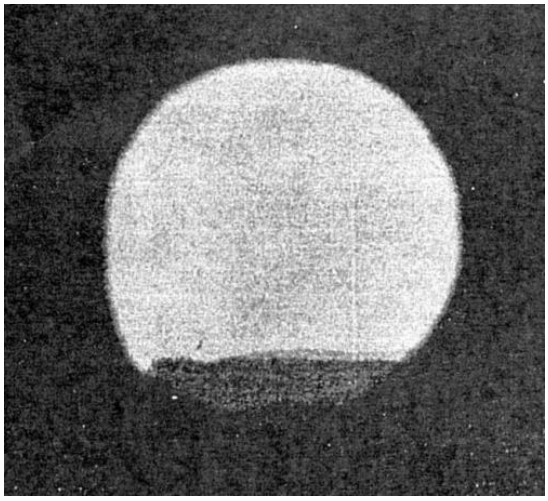


Abb. 8: Wiedergabe der Fotografie von K. Urban durch das Rundloch aus dem Jahr 1975 (aus [9]). Der Beckerberg bei Blomberg (hellgrau) ist sichtbar und bildet den Horizont in dieser Richtung. Darunter befindet sich der Mittelhorizont nördlich von Bad Meinberg (dunkelgrau).

In heutiger Zeit ist der Beckerberg wegen der Bewaldung des Nahhorizontes bei Horn vom Sazellum aus nicht zu sehen. Ebensowenig der Mittelhorizont bei Fissenknick, den Teudt für die sichtbare Begrenzung des Himmels hielt. Heutzutage ist vom Sazellum aus nur der Kopf der Fissenknicker Windmühle zu sehen, der so eben noch über die nähere Bewaldung hinwegragt. Deshalb erfolgen hier alle Aussagen zur Landschaftskulisse auf der Grundlage von amtlichen digitalen Geländemodellen, mit denen eine unbewaldete Landschaftskulisse am Computer generiert werden kann.

Sollte das Rundloch vielleicht absichtlich auf den Beckerberg ausgerichtet sein? - Diese Überlegung macht in einem Zusammenhang Sinn, in dem man eine Funktion des Sazellums als Aussichtspunkt oder als Beobachtungs- und /oder Signalstation vermutet. Das Sazellum bietet Fernsicht nach Nordosten und damit die Möglichkeit einer absichtlich angelegten Sichtverbindung zu anderen Hochpunkten. Vielleicht sind die Externsteine sogar eine Station einer größeren Signalkette von Hochpunkt zu Hochpunkt. Zur besseren Bewertbarkeit einer solchen Idee wird in diesem Abschnitt das Ergebnis einer Landschaftsanalyse vorgestellt, die die drei sichtbaren Horizonte in nordöstlicher Richtung erfasst. Der sichtbare Horizont in dieser Richtung setzt sich aus drei unterschiedlichen Horizontlinien zusammen – einem Nahhorizont nördlich von Horn, einem Mittelhorizont zwischen Fissenknick und Bad Meinberg (etwa entlang der Kreisstraße K 92,“Meinberger Straße“) und einem Fernhorizont mit dem Beckerberg in der Gegend von Blomberg. Mit digitalen Geländemodellen für diese drei Horizonte lassen sich diese ineinanderlaufenden und sich überschneidenden Horizontlinien simulieren. Bei der Berechnung der Horizontlinie für einen vorgegebenen Beobachtungspunkt sind die Effekte der Erdkrümmung und der terrestrischen Refraktion zu beachten, die sich auf die sichtbare Elevation der Gitterpunkte des Geländemodells auswirken.
Die Simulation erfolgt nicht ausschließlich für einen Betrachter, der aus dem Rundloch des Sazellums herausblickt, sondern zusätzlich für alle erdenklichen Höhen vom Bodenniveau bis zum Gipfelpunkt des Turmfelsens (die Koordinaten R und H des Beobachterauges bleiben jeweils unverändert, genommen wurden R und H der Rundlochmitte).

In der Abbildung 9 sind die Ergebnisse dieser Simulationsrechnung zu finden. Die sichtbare Horizontlinie verändert sich jeweils leicht mit zunehmender Höhe des Beobachterauges. Auf Bodenniveau wird sie vollständig durch den Nahhorizont in ca. 500 m Entfernung gebildet. Erst in größeren Höhen blickt man über diesen Nahhorizont hinweg und sieht den Mittel- und Fernhorizont. Erstmals taucht der Beckerberg auf der sichtbaren Horizontlinie bei einer Höhe von ca. 20 m unterhalb der Sonnenlochmitte (h = 285,6 m) auf. Dies entspricht der Augenhöhe eines Beobachters, der auf der Kanzel vor dem Turmfelsen steht!
W. Schlosser wies darauf hin, dass die Kanzel das gleiche astronomische Ereignis zu beobachten gestattet, wie das Sazellum, nämlich den Aufgang der Sonne am Tag der Sommersonnenwende [11]. Hier wird nun ein zweiter Gleichklang von Sazellum und Kanzel offenbar: Von beiden Standorten ist der Beckerberg auf der Horizontlinie sichtbar, von der Kanzel aus betrachtet erscheint sein Gipfel so eben über dem Mittelhorizont. Für die Beobachtung eines Lichtsignals vom Gipfel des Beckerbergs gleichzeitig mit einem Beobachter im Sazellum ist dies hinreichend. Die terrestrische Hypothese (Fernsicht zum Beckerberg) wird durch diese bemerkenswerte Tatsache gestützt. Ob auch die astronomische Hypothese Bestand hat (Aufgang der Sommersonne hinter dem Beckerberg für beide Standorte) wird im nächsten Abschnitt behandelt.

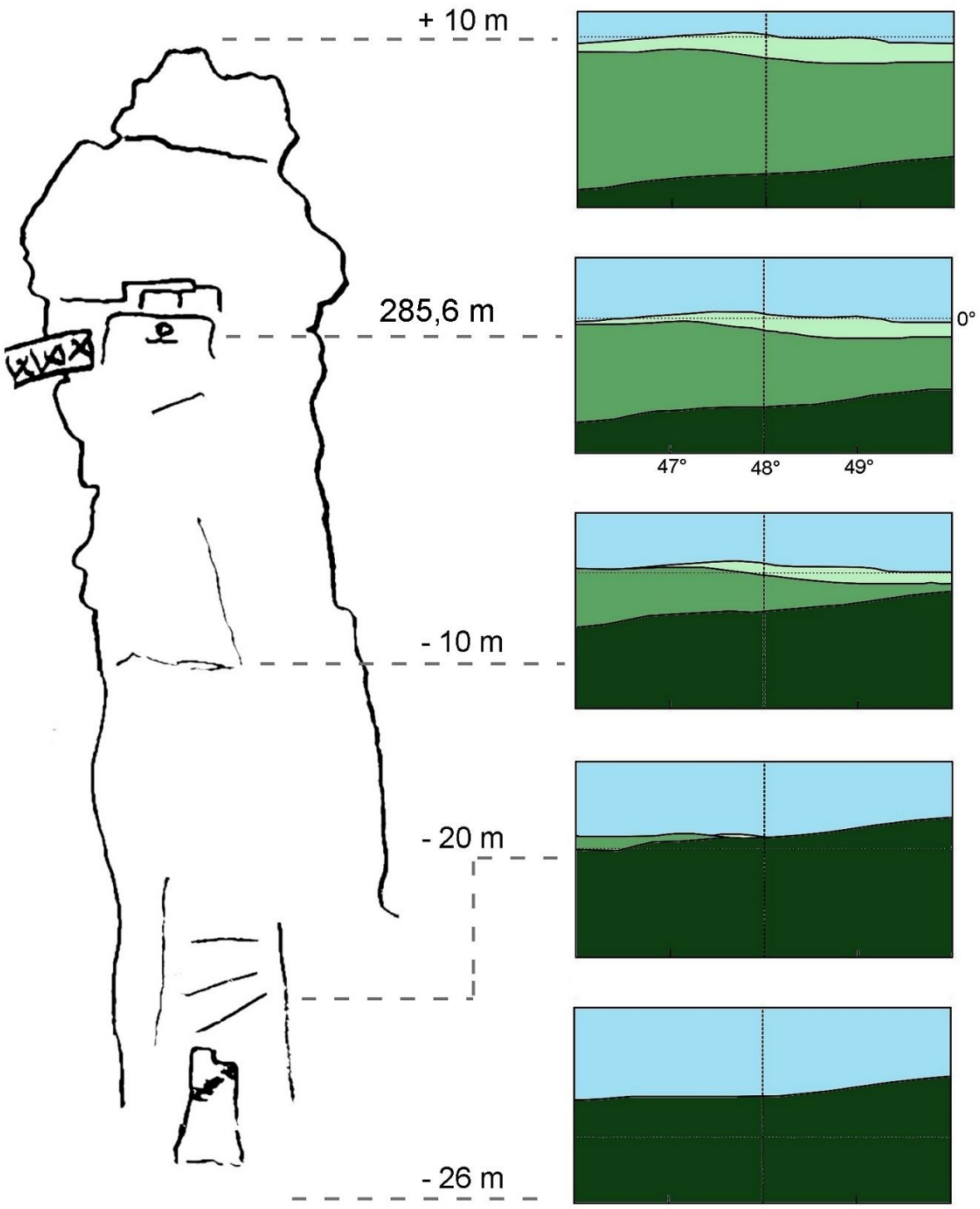


Abb. 9: Simulierte Horizontansichten für verschiedene Beobachtungshöhen am Turmfelsen (vom Bodenniveau bis zum Gipfel). Bei einer Höhe des Beobachterauges von ca. 265 m (20 m unterhalb der Rundlochmitte) ist der Beckerberg (höchste Erhebung auf dem hellgrün gezeichneten Fernhorizont) so eben über dem Mittelhorizont (grün) sichtbar. Bei der Beobachtung vom Bodenniveau vor dem Turmfelsen (26 m unterhalb des Rundlochs) wird der Mittel- und Fernhorizont durch den Nahhorizont (dunkelgrün) verdeckt. Die gestrichelte vertikale Linie in jeder Teilansicht stellt die Richtung der Konusachse dar (48°), die gestrichelte horizontale Linie den mathematischen Horizont (h = 0°).

Die Abbildung 10 zeigt die simulierte Horizontlinie im Nordosten zusammen mit der zuvor bestimmten Orientierung der Konusachse mit etwas größerer Auflösung. Die Konusachse trifft den Beckerberg etwas südlich seines Gipfelbereichs und verläuft auch etwas südlich jener Kuppe zwischen Fissenknick und Meinberg, die W. Teudt und J. Hopmann „Steintischberg“ nannten, und die ihrer Meinung nach das Peilziel für den Aufgang der Sommersonne bildete (sie lagen falsch, im Gegensatz zu Urban 1975).
In keiner modernen topographischen Karte ist diese Kuppe auf dem Mittelhorizont so bezeichnet. Hopmann schreibt in seiner 1935er Arbeit, die vorgeschichtliche Bedeutung des Steintischberges sei durch die dort vorhandenen Gräber und Steinsetzungen erwiesen. Urban äußert in seiner 1975er Arbeit die Vermutung, auf dieser Kuppe lägen die Reste eines zerbrochenen Menhirs, der einst als so eben noch mit bloßem Auge sichtbares Mal dort gestanden haben könnte, dass bei etwas diesigem Wetter, wenn der Beckerberg unsichtbar ist, zur Anzeige dieser Richtung habe dienen können.
Eine schriftliche Anfrage des Verfassers bei der lippischen Bodendenkmalpflege, was über diese Kuppe aus heutiger archäologischer Sicht zu sagen sei, blieb leider unbeantwortet.

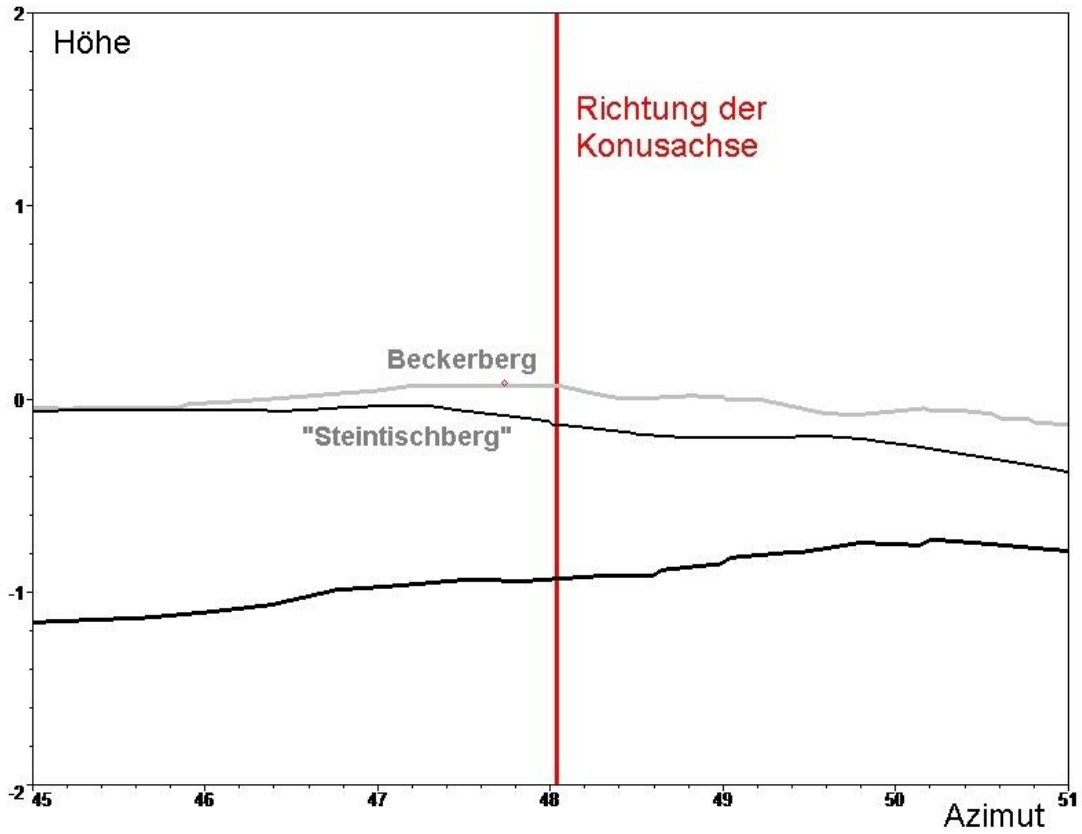


Abb. 10: Die Horizontkulisse in Richtung der Konusachse. Der Beckerberg bei Blomberg erhebt sich noch deutlich über die von Teudt „Steintischberg“ genannte Kuppe auf dem Mittelhorizont bei Meinberg. Die Genauigkeit der Richtung der Konusachse beträgt +-0,1°.

Die Archäoastronomie des Rundfensters im Externstein-Sazellum

Nachdem die Orientierung des Rundlochs bestimmt und die Gestalt der sichtbaren Horizontlinie in dieser Richtung geklärt ist, wird nun die Frage nach einer möglichen astronomischen Relevanz dieser Richtung behandelt. Zwei Orientierungen werden näher untersucht. Erstens, ob die Horizontrichtung mit dem Nordazimut der Konusachse von 48,04° +-0,1° mit der Aufgangsrichtung der Sonne am Tag der Sommersonnenwende zusammenfällt. Zweitens, ob die Richtung am Himmelsgewölbe mit dem Nordazimut von 48,04° +- 0,1° und der Elevation 3,1° +- 0,1° astronomisch auffällig ist. Die Konusachse zielt ja nicht auf den Landschaftshorizont, sondern auf eine Himmelsposition oberhalb der Horizontkulisse!

Zur Bewertung der archäoastronomischen Relevanz dieser Richtungen werden Bahnen der aufgehenden Sonne (bzw. auch des Mondes) für den Beobachtungsstandort im Sazellum berechnet und grafisch dargestellt. Zur Berechnung ist neben der geographischen Breite des Beobachtungsortes, des Azimutes und der Höhe der gepeilten Richtung auch die Kenntnis der Deklination der Sonne am Tag der Sommersonnenwende erforderlich. Sie entspricht der Schiefstellung der Erdachse auf der Erdbahnebene und ist leicht von der Zeit abhängig, was zu berücksichtigen ist. Schließlich sind noch die Effekte der Strahlenbrechung in der Atmosphäre und – zumindest im Falle des Mondes – Parallaxeneffekte zu beachten, um die Bahnen von Sonne und Mond an der abstrakten Himmelskugel berechnen zu können, wie es in Abbildung 11 für die Bahnen der Sonne an den Jahreseckdaten dargestellt ist. Im Folgenden werden nur Ausschnitte dieser Ansicht betrachtet, die in Richtung der zu untersuchenden Peilungen liegen.

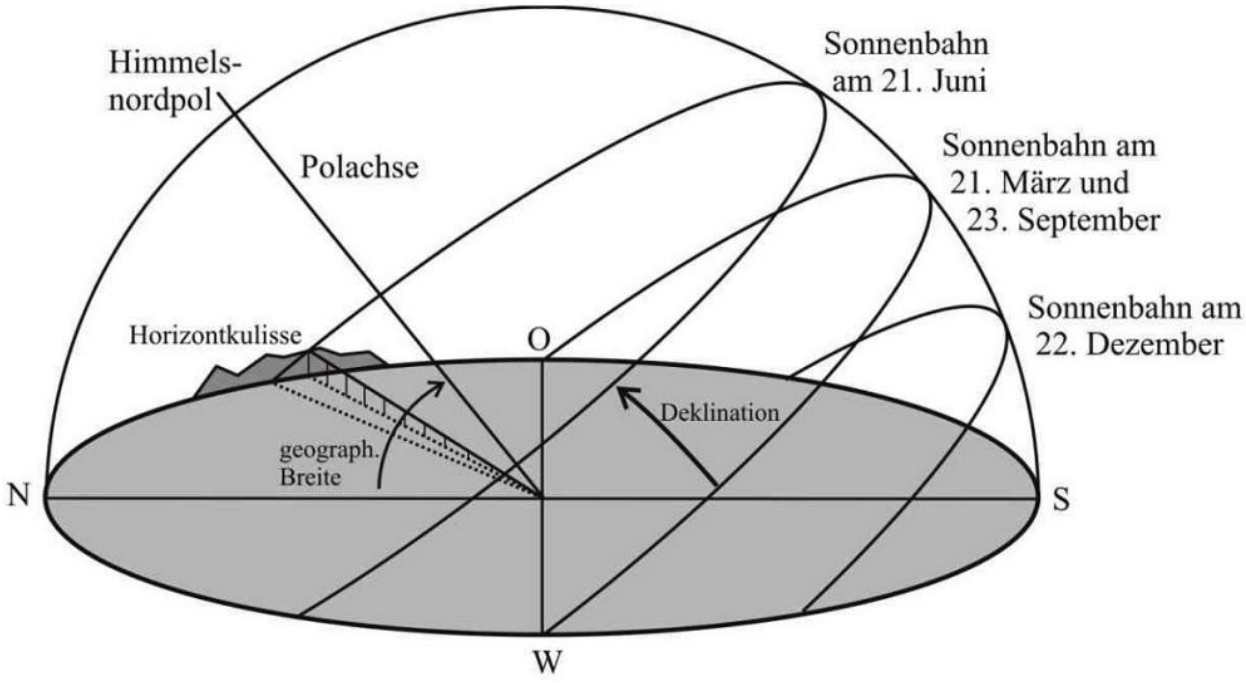


Abb. 11: Die abstrakte Himmelskugel und Sonnenbahnen an verschiedenen Tagen im Jahr. Sind die relevanten Winkel in dieser Abbildung bekannt (siehe Text), so können Gestirnsbahnen berechnet werden.

Bevor die Berechnung der Sonnen- und Mondbahn zur Bewertung der zwei Peilungen erfolgen kann, muss der Effekt der Strahlenbrechung in der Atmosphäre noch näher diskutiert werden. Die zum Erdboden hin immer dichter werdende Atmosphäre lenkt einen Lichtstrahl aufgrund des Lichtbrechungseffektes immer stärker aus der ursprünglichen Einfallsrichtung ab, je tiefer er in die Atmosphäre vordringt. Ein Beobachter am Erdboden sieht die Lichtquelle, von der dieser Lichtstrahl stammt, deshalb etwas höher, als im hypothetischen Fall einer Erde ohne Lufthülle. Dieser Lichtbrechungseffekt führt folglich zu einer scheinbaren Anhebung des beobachteten Gestirns, die selbst wieder von der Höhe des Gestirns über dem Horizont abhängt. Da die Temperatur und der Luftdruck der Atmosphäre auf dem von dem Lichtstrahl zurückgelegten Weg das Ausmaß dieses Effektes bedingen, kann er nicht mit beliebiger Genauigkeit vorhergesagt werden. Es verbleibt immer eine Ungewissheit, ob sich die Berechnung des Refraktionseffektes bei bestimmten angesetzten Verhältnissen für Luftdruck und Temperatur auch tatsächlich bei der Beobachtung in der Natur so zeigt, wo ja momentan auch etwas andere Verhältnisse herrschen können. Vor allem am Horizont sind die möglichen Schwankungen des Refraktionseffektes wegen der nicht genauen Kenntnisse des atmosphärischen Zustands groß. Die Abbildung 12 verdeutlicht dies an Beispielrechnungen.

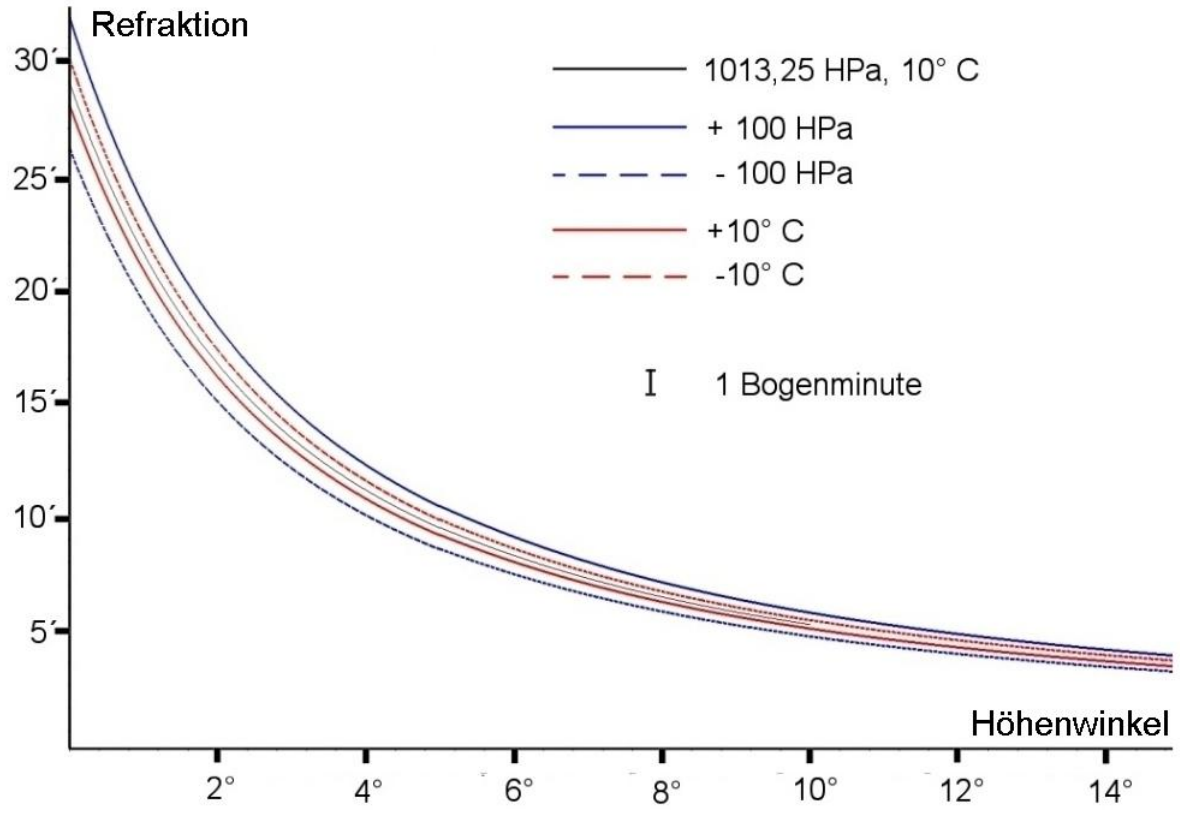


Abb. 12: Der Verlauf des Strahlenbrechungseffektes in der Atmosphäre mit den Höhenwinkel des Gestirns und typische Schwankungen bei Luftdruck- und Temperaturänderungen. In der Mitte des dargestellten Schwankungsbereichs liegt der Verlauf für Normalbedingungen (1013,25 HPa Luftdruck, 10° C Temperatur). Bei Temperaturschwankungen von +-10° ergibt sich ein Schwankungsbereich zwischen den roten Linien, bei Schwankungen des Luftdrucks von +-100 HPa ein Schwankungsbereich zwischen den blauen Linien. In der Realität wird es eine Kombination aus beiden Effekten geben. Am Horizont, wo der Effekt am größten ist (um die 30 Bogenminuten scheinbare Anhebung) beträgt der Schwankungsbereich mehrere Bogenminuten.

Dargestellt ist der Verlauf des Refraktionseffektes gegen die Höhe des Gestirns über dem mathematischen Horizont. Am Horizont ist der Effekt maximal, er beträgt dort ca. 30 Bogenminuten, was der Winkelgröße der Sonne entspricht. Ebenfalls dargestellt sind die Veränderungen des Kurvenverlaufs bei Variation des Luftdrucks von +- 100 *HPa* und der Temperatur von +- 10 °*C*. Es wird deutlich, wie genau bzw. ungenau archäoastronomische Aussagen bezüglich des Horizontstandes der Sonne (und des Mondes) überhaupt nur sein können. Mit Abweichungen bei der Gestirnselevation gegenüber einem für Normalbedingungen gerechneten Fall im Bereich von Zehntelgrad muss am Horizont unbedingt gerechnet werden. Bei einer unüblichen Temperaturschichtung der Atmosphäre (z.B. bei Inversionswetterlagen), kann der Refraktionseffekt noch viel stärker vom typischen Verhalten abweichen. Die im Folgenden beschriebenen Rechnungen berücksichtigen eine mittlere Refraktion bei 1013,25 HPa und 10° C.

Die schwankende Refraktion macht damit das Vorhaben, eine Sonnenwendpeilung aufgrund der Variation der Ekliptikschiefe der Erdachse präzise datieren zu wollen, zunichte. Wegen der Variation der Schiefstellung der Erdachse verändert sich bekanntlich auch die Extremaldeklination der Sonne bei der Sonnenwende im Laufe der Jahrhunderte ein wenig und damit auch der Aufgangspunkt der Sonne bzw. des Sonnenoberrandes, der bei Präzisionsbeobachtungen den genauesten Anhaltspunkt liefert. Die dadurch bedingte Drift des Aufgangspunktes des Sonnenoberrandes von nur einigen Bogenminuten in einigen Jahrhunderten ist immer durch den stärkeren Effekt der schwankenden Refraktion überlagert.

<u>Erste Peilrichtung</u>: Der Landschaftshorizont in Richtung der Konusachse

In der Abbildung 13 ist die simulierte Ansicht der Horizontkulisse in Richtung der Konusachse (siehe auch Abbildung 10) mit der Sonnenbahn bei der Sommersonnenwende in der Epoche 1200 AD überlagert (der typische mittlere Refraktionseffekt ist hier natürlich schon eingerechnet). Der Schnitt des Sonnenoberrandes (graue Linie im oberen Bereich des blauen „Sonnenbandes“ in Abbildung 13) mit der Horizontlinie liefert den Ort des Sonnenaufgangs. Die rote Linie markiert die Orientierung der Konusachse.
Ergebnis: Die Konusachse schneidet mit guter Genauigkeit an der Stelle die Horizontlinie, an der die Sonne am Tag der Sommersonnenwende aufgeht.
Die Aufgangsrichtung des Sonnenoberrandes ist nun noch mit der für die Refraktions-schwankung typischen Ungenauigkeit von ca. +-0,2° zu versehen und die der Konusachse mit der Bestimmungstoleranz von +-0,1°. Im Rahmen dieser Genauigkeitstoleranzen stellt man eine sehr gute Übereinstimmung von Sonnenaufgangsrichtung und Konusachse fest! Etwas besser passt es noch in der Epoche 0 AD (siehe Abbildung 14), aber ein ernsthafter Datierungsversuch verbietet sich wegen der Refraktionsschwankungen und des folgenden methodischen Problems.

Wäre die absichtsvolle Ausrichtung der Konusachse auf den nördlichsten Sonnenaufgang eine erwiesene Sache, z.B. aufgrund anderer Erkenntnisse oder schriftlicher Quellen, die sich entsprechend äußerten, so könnte man aus dieser bemerkenswerten Koinzidenz auf die hohe Genauigkeit der Kalenderastronomie der Erbauer dieser Einrichtung schließen oder auch eine grobe Datierung wagen. Da das nicht der Fall ist, und alles allein an der bemerkenswerten Übereinstimmung von Konusachse und Aufgangsrichtung der Sommersonne hängt, verbieten sich solche weitergehenden Schlüsse. Man kann nur sagen, dass die Übereinstimmung in der Tat bemerkenswert ist und eine archäoastronomische Interpretation (absichtliche Ausrichtung des Rundlochs auf die Sommersonnenwende!) möglich, sinnvoll und sogar naheliegend ist.

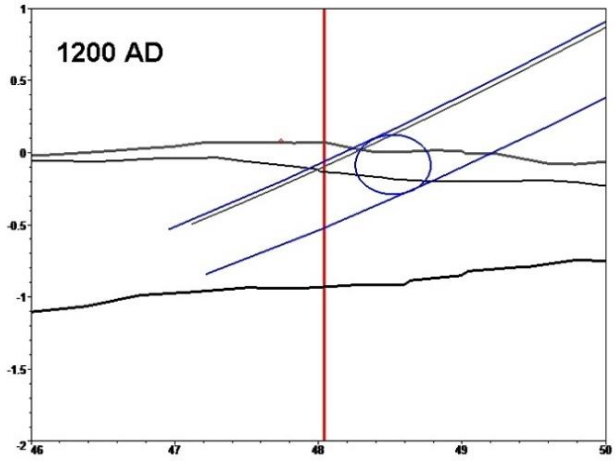


Abb. 13: Aufgang der Sommersonne über der Südflanke des Beckerbergs in der Zeit um 1200 AD. Die dünne graue Linie oben im Band der Sonnenbahn stellt den zu Weg des Sonnenoberrandes dar.

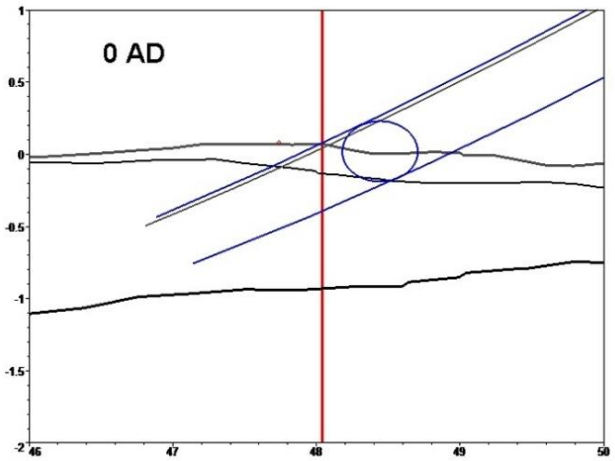


Abb. 14: Wie in Abb. 13, nun für die Zeit 0 AD. Der Sonnenaufgang verlagert sich auf die rote Linie hin; jedoch sind Refraktionsschwankungen beachten, die hier nicht dargestellt sind.

<u>Erstes Fazit</u>: Der hier dargestellte Befund der Koinzidenz der Aufgangsrichtung der Sommersonne (für 1200 AD und früher) mit der Konusachse des Rundlochs macht das Sazellum der Externsteine zu einem archäoastronomisch interessanten Objekt.

Diese Aussage, die allein auf dem faktischen Befund basiert, ist unumstößlich. Weitergehende Aussagen zu dieser Sonnenwendorientierung (Zufall oder Absicht, Alter, konkrete Verwendung der Anlage und Bedeutung des Ereignisses für die Beobachter) sind aus dem rein geometrisch-astronomischen Befund heraus natürlich nicht erschließbar. Der faktische Befund kann als Interpretationsgrundlage dienen, ohne dass aus ihm weitere Indizien für die Richtigkeit einer Deutung herausgelesen werden können.

<u>Zweite Peilrichtung</u>: Der Himmelsort in 3,1° Höhe in Richtung der Konusachse

Die Konusachse zielt nicht auf den Horizont, sondern ragt mit einem Höhenwinkel von 3,1° +-0,1°gegen den Himmel. Diese Richtung wird von der Sonne nie getroffen, und man kann diesen Umstand gegen die Deutung der Sonnenwendorientierung des Rundlochs anführen. Jedoch ist auch das nicht wirklich stichhaltig, da ja unbekannt ist, wie - die astronomische Funktion des konischen Fensters jetzt einmal vorausgesetzt! - mit dem Konus gearbeitet wurde. Wenn womöglich eine konische Verschlußkappe mit einer Mittelbohrung in das Loch eingefügt wurde, wie W. Schlosser erwägt, so wäre der Einfall von Sonnenlicht in das Sazellum durch diese Öffnung niemals möglich. Es ist aber auch nicht ausgeschlossen, dass die Öffnung in verschiedener Weise genutzt wurde und deshalb werden hier beide sinnvoll denkbaren Beobachtungsrichtungen gleichberechtigt untersucht – Ausrichtung auf den Horizont oder auf die Elevation 3,1° +- 0,1°, jeweils bei einem Azimut von 48,04° +- 0,1°.

Die Sonne passiert das Nordazimut von 48° zwar niemals in einer Elevation von rd. 3°, aber der Mond kommt für eine solche Peilung in Frage. Ohne auf die vielen Besonderheiten bei der Lage der Mondbahn relativ zum Himmelsäquator und relativ zum Horizont eingehen zu wollen (diese sind ausführlich in [13] diskutiert), zeigt die Abbildung 15 den nördlichsten Mondaufgang bei der Beobachtung vom Sazellum in der Epoche 1200 AD (in früheren

Epochen zeigt die nördlichste Mondbahn entsprechende Verlagerungen wie die nördlichste Sonnenbahn). Der nördlichste Mond geht etwa in Richtung der Fissenknicker Mühle auf, eine Richtung, die gegenüber der Konusachse um rd. 9° nach Norden verlagert ist. Beim weiteren Aufstieg passiert er das Nordazimut der Konusachse von 48° in einer Elevation von gut 4°, also nur etwa 1° oberhalb des genauen Zielpunktes der Konusachse. Bedenkt man, dass diese allernördlichste Mondbahn nur sehr selten eintritt und die „fast nördlichsten" Mondbahnen mit nur etwas tieferer Bahnlage schon weitaus häufiger sind (verwiesen sei hierzu nochmals auf die Referenz [13]), so kommt für die Richtung der Konusachse auch die Deutung einer Peilung auf die (fast) nördlichsten Mondaufgänge in Frage, eine Variante, die erstmals von W. Schlosser formuliert wurde.

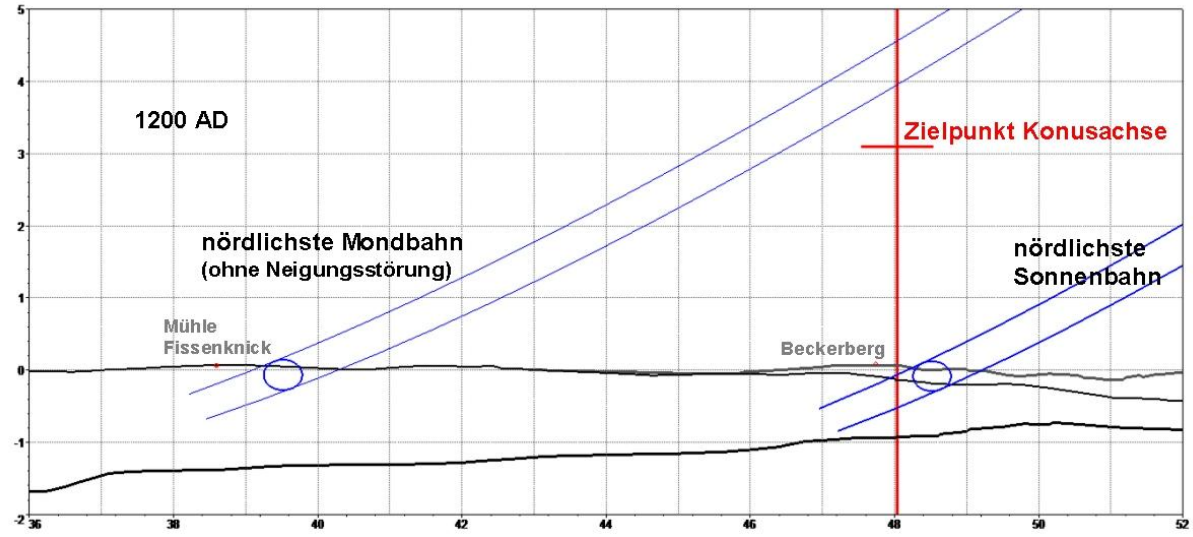


Abb. 15: Die nördlichste Mondbahn bei der Großen Mondwende Nord (hier ohne die kleine Neigungsstörung von 9´ und für die Epoche 1200 AD berechnet), erhebt sich bei der Fissenknicker Mühle und passiert die Richtung der Konusachse in einer Höhe von gut 4° und damit gut 1° oberhalb des Zielpunktes der Konusachse.

Die alte Mondwendedeutung von W. Teudt, die sich auf den Aufgangspunkt "Fissenknicker Mühle" bezog, erscheint hier in ganz neuem Gewand und stützt sich nun ohne weitere Zusatzannahmen über die Form des Sazellums und mögliche Umbauarbeiten darin allein auf die konische Form der Rundlochwandung.

Zweites Fazit: Der Zielpunkt der Konusachse liegt nur ca. 1° unterhalb der größten Höhe des Mondes in dieser Richtung, die bei der Großen Mondwende Nord durchlaufen wird, was als astronomische Auffälligkeit im Hinblick auf die nördlichsten Mondbahnen eingestuft werden kann.

Beide behandelten Richtungen der Konusachse bieten eine faktische Grundlage für archäoastronomische Interpretationen des Sazellums. Eine Auseinandersetzung über das Für und Wider der „Externstein-Archäoastronomie" muss anhand der darauf aufgebauten Interpretationen und der daraus gezogenen Schlüsse geführt werden. Dies ist das Hauptergebnis der neuen Analyse des Sazellums, das mit den früheren Mess- und Berechnungsergebnissen auch korrespondiert, wovon später noch berichtet wird.

Die astronomische Relevanz des Sargsteinpodestes

Die Ausrichtung des Sazellums zum Aufgang der Sommersonne am Nordosthorizont ist weithin bekannt, weshalb das Rundfenster auch oft als „Sonnenloch“ bezeichnet wird. Weitgehend unbekannt ist dagegen, dass es an den Externsteinen eine weitere kalendarisch interessante Beobachtungsmöglichkeit gibt, auf die vermutlich zuerst Frau Pfaff aus Horn aufmerksam machte [14]. W. Schlosser behandelt diese vorzügliche kalendarische Peilung für die Tag-Nacht-Gleiche ausführlich in [11]; in dieser Arbeit wird sie nochmals neu analysiert. Wie jede Peilung basiert sie auf den zwei Punkten „Standort“ (bzw. „Augenposition“) und „Peilziel“. Beide Punkte befinden sich an den Externsteinen selbst. Es handelt sich um ein kleines Standpodest auf dem Sargstein neben Felsen 1 und um den Wackelstein auf Felsen 4 als Peilziel (siehe Abb. 16). Aber auch die von diesem Beobachtungsort aus sichtbare Gipfelkerbe des Turmfelsens, gebildet aus zwei Felswülsten, kommt als Peilung in Frage und soll hier untersucht werden, denn das Sargsteinpodest ist auf diese Gipfelkerbe ausgerichtet.

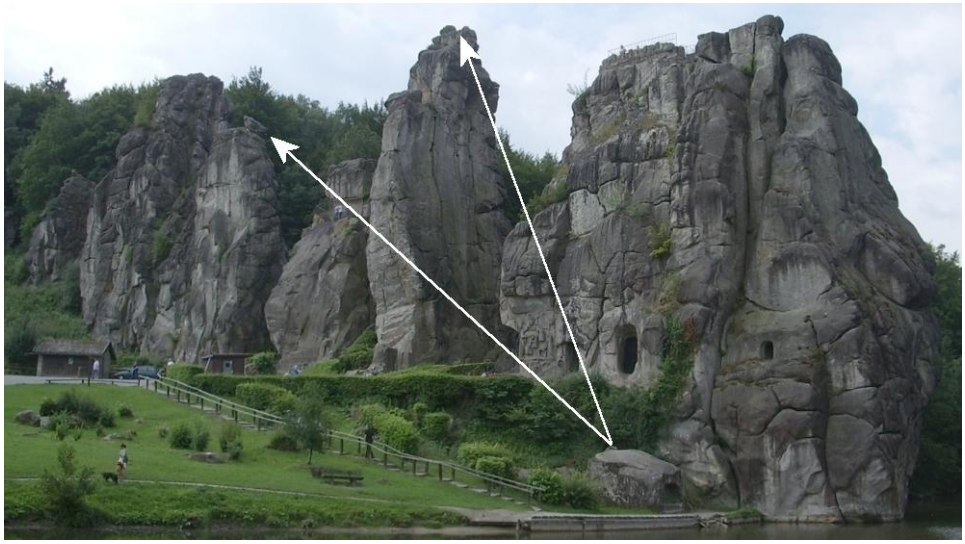


Abb. 16: Die diskutierten astronomischen Peilungen vom Standpodest auf dem Sargstein zum Wackelstein (unterer Pfeil) und zur Gipfelkerbe im Turmfelsen (oberer Pfeil).

Das Standpodest befindet sich oben auf dem Felsblock, in den die Rundbogennische mit dem Felsensarg eingemeißelt ist. Zu ihm führen von beiden Seiten Treppenstufen hinauf, von denen nur noch Reste erhalten sind (Abb. 17 und 18).



Abb. 17: Treppenstufen zum Sargsteinpodest



Abb. 18: Das Sargsteinpodest

Steht man auf diesem Podest, so kann man sich zwei Richtungen zuwenden: Nach Nordwesten mit Blick hinunter auf den See der aufgestauten Wiembecke, oder nach Südosten in Richtung der Felsenreihe der Externsteine. Bei dieser letzteren Blickrichtung, die im Folgenden untersucht wird, ragen die nordöstlichen Wände der Felsen 2 und 4 hoch auf und blockieren die Sicht auf den westlichen Himmelsbereich. Nach Osten hin ist der Blick auf den Himmel dagegen frei. Die Begrenzungslinie zwischen Fels und Himmel, der „Externstein-Horizont“, ragt in dieser Beobachtungssituation in südöstlicher Richtung nahezu senkrecht auf und gliedert das Blickfeld in vertikaler Richtung in Himmel und Fels. Die sichtbare senkrechte Felskante wird unterbrochen vom Wackelstein, der als markante Struktur die vertikale Felsenlinie durchteilt (Abb. 19).

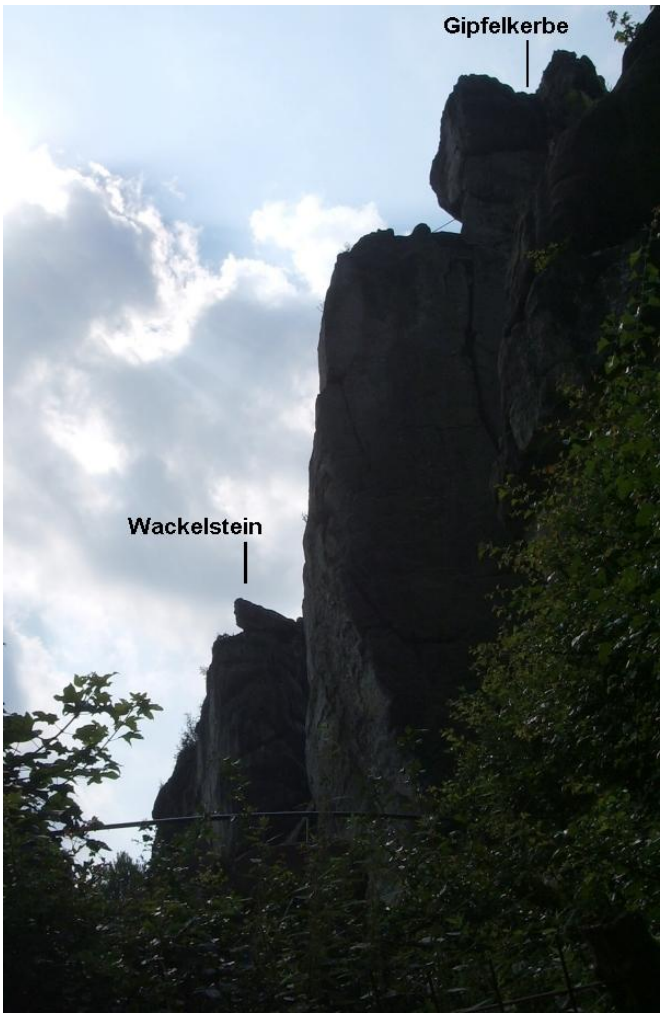


Abb. 19: Die vom Sargsteinpodest sichtbare Felsenkante, gebildet von den Felsen 2 (Turmfelsen) und 4 (Wackelsteinfelsen). Das Podest ist auf die Gipfelkerbe ausgerichtet. In dieser Kerbe würde man auch eine Stange erblicken, die im Gipfelloch des Turmfelsens lotrecht aufgestellt wäre.

<u>Erste Peilung</u>: Wackelstein zur Bestimmung der Tag-Nacht-Gleichen

Bei den Tag-und-Nacht-Gleichen (im Gregorianischen Kalender 20/21. März und 22./23. September) verschwindet die Vormittagssonne für wenige Minuten hinter dem Wackelstein, um danach nochmals kurz in der Kerbe zwischen Wackelstein und Felsen 2 zu erscheinen und daraufhin hinter dem Felsen 2 endgültig zu verschwinden. W. Schlosser beschreibt diese Auffälligkeit in [11] und visualisiert verschiedene Sonnenbahnen in Relation zur Felsenkante.

Zur präzisen Neuvermessung und -bewertung dieser Beobachtungsmöglichkeit im Rahmen dieser Studie wurden am 26. Juli 2012 die Horizontalkoordinaten von zahlreichen markanten Punkten der Felsenkante mit einem auf dem Sargsteinpodest aufgestellten Minutentheodoliten gemessen (Ergebnisliste siehe Anhang 3). Die Azimutbestimmung erfolgt an der Sonne mit der Zeit-Azimut-Methode. Ein Minutentheodolit ist hinreichend genau für die Untersuchung dieser spektakulären Peilung, da der Beobachtungsstandpunkt auf dem Podest auch nicht besser als mit etwa Dezimetergenauigkeit bestimmbar ist. Die optische Achse des Theodolits (also die Augeshöhe der Beobachtung) lag 160 cm über dem Podestniveau, gegenüber dem Mittelpunkt des Podests war der Theodolit wegen der Schwierigkeit einer sicheren Aufstellung etwa 20 cm verlagert (siehe Foto im Anhang 3). Bei einer typischen Entfernung der sichtbaren Felsenkante von ca. 30 - 40 Metern entspricht diese Toleranz in der Bestimmung der Augenposition eines Beobachters auf dem Podest von ca. 20 cm einer Winkeltoleranz in der Lage der Felsenkulisse im Horizontsystem von 0,2° - 0,3°, also weniger als der sichtbare Winkeldurchmesser der Sonnenscheibe am Himmel von ca. 0,5° und auch unpräziser als die Messgenauigkeit des Minutentheodolits. Die Aussagesicherheit der folgenden Analyse liegt damit im Bereich einer halben Sonnenscheibe.

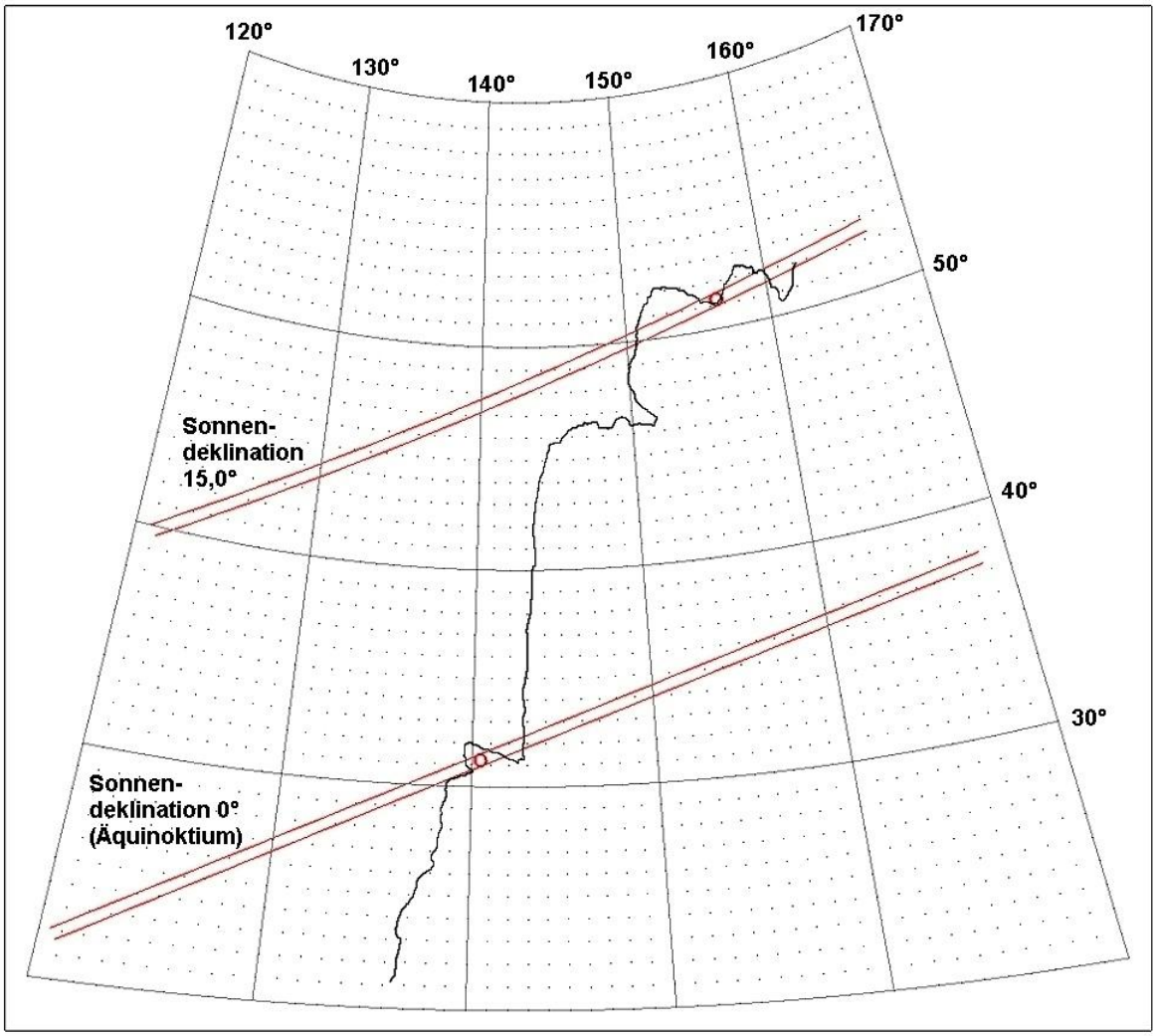


Abb. 20: Die Felsenkante im Horizontsystem (Koordinaten Nord-Azimut und Höhe) und die simulierte Sonnenbahn bei der Tag-Nacht-Gleiche (Sonnendeklination 0°, untere Bahn). Die Sonne verschwindet kurzzeitig hinter dem Wackelstein. Am 1. Mai (in heutiger Zeit) erscheint die Sonne in der Gipfelkerbe (obere Bahn).

Mithilfe der 20 vermessenen Stützstellen lässt sich eine Fotografie der Felsenkante an das Horizontsystem anpassen. Die Beobachtungssituation ist damit im Computer simulierbar, und die Passage der Vormittagssonne hinter der Felsenkante kann für beliebige Daten berechnet werden. Die Abbildung 20 zeigt das Ereignis für die Tag-Nacht-Gleichen (Sonne auf dem Himmelsäquator, Sonnendeklination = 0°, siehe Abb. 11) und den 1. Mai in heutiger Zeit.

Beim Frühlingsanfang steht die Sonne um 10.19 Uhr MEZ hinter dem Wackelstein, beim Herbstanfang um 11.04 Uhr MESZ, jeweils 2 Stunden und 12 Minuten vor dem Meridiandurchgang der Sonne an diesen Tagen. Die Abbildung 21 zeigt dieses Ereignis in Detailansicht. Eingetragen ist nun auch die durch die Standorttoleranz (ca. 20 cm) bedingte typische Variationsbreite der Felsenkulisse im Horizontsystem. Sie korrespondiert gut mit der Variationsbreite der Deklination am Tag des Frühlings- oder Herbstanfangs von einigen Zehntelgraden um den Wert 0° herum. Diese ist bedingt durch die von der Ganzzahligkeit (in Tagen) abweichende Länge des Jahres. Der eigentliche Frühlings- oder Herbstanfang (Sonne auf dem Himmelsäquator) tritt im vierjährigen Schaltjahreszyklus mit einer jährlichen Verschiebung von knapp 6 Stunden ein, weshalb zur gleichen Uhrzeit in verschiedenen Jahren die Sonnendeklination immer etwas unterschiedlich ist, was sich im vierjährigen Basisschaltzyklus ungefähr wiederholt. Die Deklinationsschwankung und die Standortunsicherheit liegen im gleichen Bereich und die Peilung ist etwa tagesgenau. Sie funktioniert in allen Epochen in gleicher Weise, da sie nicht wie eine Sonnenwendpeilung von der zeitlich variablen Schiefstellung der Erdachse abhängig ist. Ein Datierungsargument ist deshalb schon aus prinzipiellen astronomischen Gründen daraus nicht ableitbar.

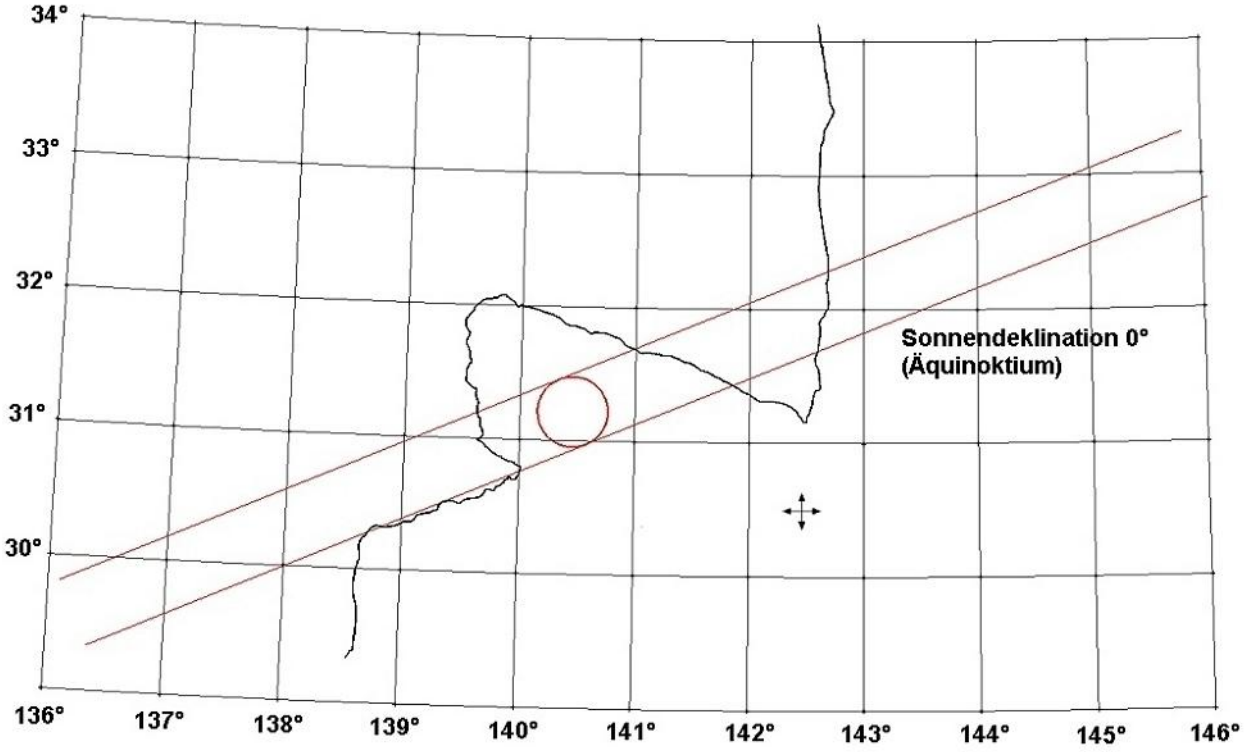


Abb. 21: Die Sonne hinter dem Wackelstein, was beim Frühlingsanfang um 10.19 MEZ und beim Herbstanfang um 11.04 MESZ eintritt. Die Sonne benötigt für das Vorrücken um einen Scheibendurchmesser auf ihrer Bahn ungefähr 2 Minuten. Der gekreuzte Doppelpfeil stellt den Verlagerungseffekt der Felskulisse bei Variation der Augenposition im Dezimeterbereich dar.

<u>Erstes Fazit</u>: Die Peilung des Wackelsteins vom Sargsteinpodest überrascht hinsichtlich ihrer Güte und Präzision als Bestimmungsmöglichkeit für die Tag-Nacht-Gleiche. Diese Peilung ist uneingeschränkt in allen Zeiten möglich und erfüllt alle Anforderungen an eine Präzisionspeilung für visuelle Kalenderbeobachtungen. Sie kann als besondere astronomische Auffälligkeit an den Externsteinen eingestuft werden.

Mit dem Sargsteinpodest ist damit – neben dem Rundloch im Sazellum – ein weiterer denkbarer Beobachtungspunkt gefunden, der wie schon im Falle der Sonnenwendorientierung des Sazellums mit der Tag-Nacht-Gleiche eine präzise Peilung auf die Sonne an einem besonderen Datum im Jahreskreis bietet. Die Verschwindung und nachfolgende Wiederkehr der Sonne (des Sonnenrandes!) hinter dem Wackelstein ist sogar das Idealkriterium für eine Peilung auf die hochstehende Sonne fernab vom Horizont, die sich ansonsten bei klarem Himmel nicht in direkter Ansicht beobachten ließe. Dies spricht für die echte Beobachtung und die praktische Verwendung der Peilung für die Zeitbestimmung, während eine Sonnenwendpeilung am Horizont diesen Vorzug wegen der geringen täglichen Veränderung des Aufgangsortes – überdies beeinflußt durch die schwankenden Horizontrefraktion - nicht bietet, sondern eher rituellen Charakter hat und eine vorherige Datumsbestimmung mit anderen Methoden voraussetzt.

Auch hier kann von einem Beweis für eine Verwendung des Sargsteinpodestes und des Wackelsteins in diesem Sinne einer Kalenderastronomie nicht die Rede sein. Die Funktionalität und Genauigkeit dieser Beobachtungsmöglichkeit können aber als gewichtige Pluspunkte für eine solche Interpretation gewertet werden.

<u>Zweite Peilung</u>: Gipfelkerbe des Turmfelsens zur Bestimmung des Maianfangs

Eine weitere interessante Beobachtungsmöglichkeit verdient Beachtung. Das Podest ist auf die Kerbe zwischen den beiden sichtbaren Gipfelwülsten des Turmfelsens ausgerichtet. Erwähnt sei in dem Zusammenhang auch, dass sich auf dem Gipfel von Felsen 2 ein rundes Loch von 20 – 30 cm Größe befindet. Es ist umstritten, wofür dieses Loch einst in den Felsengipfel eingemeißelt wurde. Nimmt man an, es habe als Standort für eine lange Stange gedient, so wäre diese Stange vom Sargsteinpodest aus in der Gipfelkerbe sichtbar gewesen. Kann die Peilung vom Sargsteinpodest zur Gipfelkerbe astronomisch gedeutet werden?

Die Abbildung 20 zeigt auch eine Sonnenbahn, bei der sich die Sonne genau in der Gipfelkerbe befindet. Dieses Ereignis tritt bei einer Sonnendeklination von 15,0° genau eine Stunde vor dem Meridiandurchgang der Sonne auf. In heutiger Zeit entspricht das dem 1. Mai um 12.21 Uhr MESZ und dem 11. August um 12.29 Uhr MESZ. Seit der Einführung des Gregorianischen Kalenders im Jahr 1582 sind diese Ereignisse alljährlich an den gleichen Kalenderdaten zu sehen (mit einer Schwankung von ca. 1 Tag). Könnte es sich bei dieser Peilung um die absichtsvoll angelegte Anzeige eines Maifeiertages handeln?

Da die relevanten Felsbearbeitungen (Sargsteinpodest, ggf. auch Gipfelloch von Felsen 2) sehr wahrscheinlich älter als 1600 AD sind, muss zur Rekonstruktion der Kalenderdaten dieses Ereignisses in früherer Zeit der Julianische Kalender bemüht werden, der bis zum Oktober 1582 in Gebrauch war. Im Julianischen Kalender driften die Sonnenereignisse wegen einer kleinen Unzulänglichkeit der Schaltregel (systematisch jedes vierte Jahr ein zusätzlicher Tag) alle 128 Jahre auf ein um 1 Tag früheres Datum (das macht etwa 3 Tage in 4 Jahrhunderten). Um 1200 AD trat das erste jährliche Sonnenereignis in der Gipfelkerbe am

24. April auf. Um 800 AD am 27. April, um 400 AD am 30. April. Bei der Einrichtung des Kalenders etwa zur Zeitenwende lag es auf dem 3. Mai.

Diskutiert man diese kalendarische Peilung (Sonne in der Gipfelkerbe bei der Beobachtung vom Sargsteinpodest aus) im Kontext der römisch-christlichen Zeitrechnung, so könnte es sich um eine Maifeier-Anzeige in der Zeit nach 1600 AD (gregorianisch) oder um rd. 300 AD (julianisch) handeln. Dass um 300 AD das Julianische Datum „1. Mai“ eine besondere Bedeutung in Westfalen gehabt haben könnte, ist aber eine völlig unglaubwürdige Annahme. Etwa ab dem 10. Jahrhundert wurde der 1. Mai mit der heiligen Walburga in Verbindung gebracht, deren Heiligsprechung an diesem Tag erfolgte. Die neun Tage vor dem 1. Mai, vom 22. April bis zum 30. April, galten als die Walpurgistage. Man könnte demzufolge die Peilung der Sonne in der Gipfelkerbe auf das Einläuten dieser Phase im Vorfeld des 1. Mai in der Zeit um 1500 AD beziehen, als das Ereignis am 22. April eintrat. Dieses Beispiel zeigt aber auch, dass eine solche Peilung aufgrund verschiedener unsicherer Einflußfaktoren dehnbaren Interpretationsspielraum bietet.

Löst man sich von der Bezugnahme auf den römisch-christlichen Kalender, was dann zwangsläufig die Hypothese eines vorchristlichen bzw. vorgeschichtlichen Ursprungs dieser Anlage impliziert, so kann man ein dem Maianfang entsprechendes Fest einer früheren Kultur vermuten. Die Kelten kannten z.B. das Beltaine-Fest zu Beginn des keltischen Sommers. Auf welchem Datum, bzw. bei welcher Sonnendeklination wurde Beltaine ursprünglich gefeiert? – Das ist keinesfalls sicher. Eine mögliche Deutung wäre, dass die beiden Jahresfeste Beltaine (keltischer Sommeranfang) und Lugnasad (keltisches Sommerende), die Sommersonnenwende („Mittsommer“!) in die zeitliche Mitte nehmen. Beltaine lag demzufolge auch in der zeitlichen Mitte zwischen unserem Frühlingsanfang (Sonnendeklination 0°) und der Sommersonnenwende (Sonnendeklination maximal); Lugnasad an dem entsprechendem Datum zwischen der Sonnenwende und unserem Herbstanfang (Sonnendeklination 0°). In unserem heutigen Kalender liegt das Beltaine-Fest - nach dieser Vermutung zeitlich fixiert - auf dem 6. Mai. Das traditionelle volkstümliche Fest zum Maianfang, wahrscheinlich nach der Christianisierung und der damit verbundenen Einführung des Julianischen Kalenders aus einem ursprünglich keltischen Beltaine-Fest hervorgegangen, mag einfach durch eine Verlagerung und Bezugnahme auf die neue, römisch-christliche Zeitrechnung auf den Monatsersten gewandert sein. Jedoch gibt es verschiedene überlieferte Daten für das Maifest, und es ist unklar, warum es - regional unterschiedlich - auf verschiedene Daten im römisch-christlichen Kalender übergegangen ist und ob es sich tatsächlich auf das keltische Jahresfest Beltaine bezieht.
Auch die Fixierung von Beltaine durch die oben genannte zeitliche Mittelwertbildung zwischen Äquinoktium und Sommersonnenwende ist keinesfalls erwiesen. Dennoch wird nun mit dieser Annahme exemplarisch weitergerechnet.

Besteht also die Möglichkeit, die Peilung der Sonne in der Mittelkerbe von Felsen 2 als Anzeige des keltischen Beltaine-Festes, oder des entsprechenden Festes am Sommerende, Lugnasad, zu deuten? – Dazu müssen die leicht von der Epoche abhängenden Sonnendeklinationen an den Daten dieser Feste nach der Hypothese der zeitlichen Mittelwertbildung ermittelt werden. Man erhält für die vier keltischen Jahresfeste Beltaine (heute 6. Mai), Lugnasad (heute 5. August), Samhain (heute 5. November) und Imbolc (heute 5. Februar) in der Zeit zwischen 1200 BC und 1200 AD durch das Verfahren der zeitlichen Mittelwertbildung zwischen Sonnenwenden und Äquinoktien die folgenden Werte für die Sonnendeklinationen (die Deklinationsspannen erklären sich durch die leicht unterschiedlichen Werte in den vier Jahren des Basisschaltzyklus´):

Tabelle: Sonnendeklinationen der keltischen Jahresfeste

Epoche	Beltaine	Lugnasad	Samhain	Imbolc
1200 BC	16,3°…16,5°	17,3°…17,5°	-16,2°…-16,0°	-16,5°…-16,3°
0	16,5°…16,7°	17,1°…17,3°	-16,1°…-15,9°	-16,4°…-16,1°
1200 AD	16,6°…16,8°	16,8°…17,0°	-16,0°…-15,8°	-16,2°…-16,0°

Der Zeitraum der Betrachtung ist bis ins Mittelalter ausgedehnt, da eine ältere Tradition aus womöglich keltischer Zeit noch längere Zeit überlebt haben könnte. (Das bedeutet aber nicht, dass hier eine Datierung oder der Nachweis eines keltischen Ursprungs der Steinbearbeitungen durch kalenderastronomische Erwägungen versucht werden soll. Ziel ist allein die vollständige Auslotung des archäoastronomischen Interpretationspotentials des Sargsteinpodestes.)

Keine der in der Tabelle 2 aufgeführten Beltaine- und Lugnasad-Sonnendeklinationen entspricht der Deklination für das Ereignis „Sonne in der Gipfelkerbe von Felsen 2“ von ca. 15,0°. Berechnet man die Sonnenbahn mit der Beltaine-Deklination von 16,6°, so erhält man das in der Abbildung 22 gezeigte Ergebnis. Die Sonnenbahn verläuft knapp oberhalb des sichtbaren Felsengipfels und dieses Ergebnis kann auch als Argument gegen eine Anzeige von Beltaine durch eine solche Peilung an den Externsteinen vorgebracht werden. Es ist aber nicht zwingend, denn wegen der Unkenntnis der genauen Festlegung des Beltaine-Festes auf ein bestimmtes Datum im Sonnenkalender fehlt die sichere Grundlage für dieses Urteil. Auch mit der Zusatzhypothese, eine womöglich im Gipfelloch aufgestellte Stange sei das eigentliche Peilziel für die Sonne am Beltaine-Tag gewesen (siehe Abb. 22), kann man die Beltaine-Deutung noch retten. Zu sicheren Aussagen kommt man hier aber nicht.

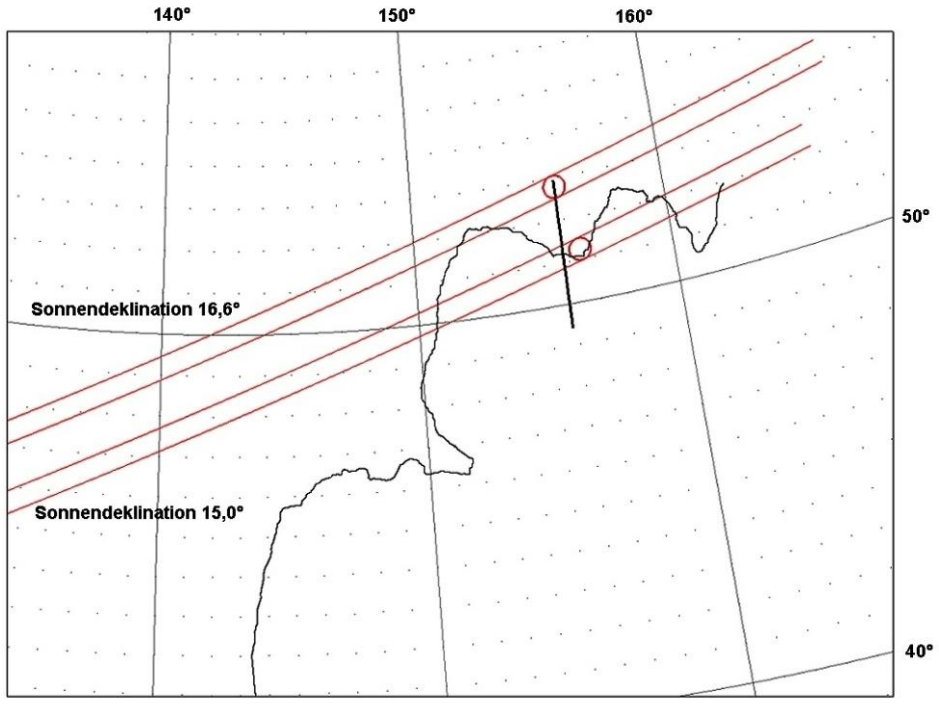


Abb. 22: Die Sonnenbahn bei Beltaine (oben), sofern sich dieses keltische Fest durch die Mittelwertbildung zwischen den Daten des Frühlingsäquinoktiums und der Sommersonnenwende fixieren lässt. Eine 5 m hohe Stange im runden Gipfelloch reicht bis zu dieser Sonnenposition hinauf. Die untere Bahn zeigt die Verhältnisse am 1. Mai (Gregorianischer Kalender) bzw. z.B. am 24. April 1200 AD (Julianischer Kalender).

<u>Zweites Fazit</u>: Die Hypothese einer Peilung der Sonne in der Gipfelkerbe des Turmfelsens zur Anzeige eines Festtages am Maianfang ist bei gewissen unbewiesenen Zusatzannahmen grundsätzlich für verschiedene Zeiten möglich, aber nur im Rahmen des Gregorianischen Kalenders wirklich überzeugend. Die Sonnenbahn beim keltischen Beltaine-Fest verläuft merklich oberhalb der Gipfelkerbe. Jedoch ist nicht wirklich sicher, ob und wann genau jemals Beltaine an den Externsteinen gefeiert wurde, weshalb kein endgültiges Urteil über die Verwendungsmöglichkeit der Peilung zu diesem Zweck möglich ist.

Die archäoastronomische Interpretation dieser Blickrichtung zum Sargsteinpodest ist nicht annähernd so überzeugend, wie jene zum Wackelstein. Das liegt aber nicht an der Geometrie der Peilung selbst, die durch die Verschwindungsmöglichkeit der Sonne zwischen den Felsenwülsten bzw. ihres kurzzeitigen Aufscheinen in der Gipfelkerbe von ähnlicher Güte ist wie die Wackelsteinpeilung, sondern an der Unsicherheit in der Aussage, was an dem Datum, an dem die Sonne dieses Phänomen zeigt, so besonders ist.

Vergleich der Ergebnisse früherer Arbeiten mit den Resultaten dieser Untersuchung

Nachdem in den vorangegangenen Abschnitten die relevanten Daten für die wichtigsten Peilhypothesen an den Externsteinen präsentiert wurden, werden im Folgenden die archäoastronomischen Aussagen von W. Teudt bzw. die Ergebnisse und Berechnungen von J. Hopmann, R. Müller, K. Urban und W. Schlosser mit den neuen Daten dieser Studie verglichen und hinsichtlich ihrer Aussagen einer Bewertung unterzogen.

Wilhelm Teudt 1926 und 1936

In seinem Aufsatz aus dem Jahr 1926 in der Zeitschrift für Vorgeschichte „Mannus“ [3] macht W. Teudt folgende Aussagen zur Orientierung des Sazellums und seine Verwendungsmöglichkeit als Sonnenwarte:

> *„Der ganze Raum mit dem über dem Ständer befindlichen Sonnenloch ist nicht nach Osten, sondern nach Nordosten auf die am Sommersonnwendtage aufgehende Sonne orientiert. Das Loch ist in einer Höhe angebracht, daß die ersten Strahlen der an diesem Tage hinter dem gegenüberliegenden Hügelrande emporkommenden Sonne das Haupt eines in der oben erwähnten Nische stehenden Mannes trafen. Mit einem einfachen Kompaß läßt sich bereits feststellen, daß die Mittellinie des Raumes durch die Mitte des Loches hindurch genau die erforderliche Richtung zeigt, wenn man weiß, daß diese ein Azimut von 131 ½° bezw. etwas mehr, je nach dem Alter der Anlage, hierorts haben muß. Für den Gebrauch des Raumes als Kultusstätte wäre eine solche Orientierung, wie sie von jedermann nachzuprüfen ist, ausreichend gewesen.“* *W. Teudt 1926*

In der 4. Auflage seiner „Germanischen Heiligtümer“ von 1936 [4] ergänzt er diese Aussage noch um die Vermutung, im Sazellum sei auch das nördliche Mondextrem beobachtet worden:

> *Von Bedeutung ist nun folgenden Feststellung: der ganze Raum mit dem über dem Ständer befindlichen kreisrunden Loch ist nicht nach Osten, sondern nach Nordosten auf die am Sommersonnwendtage aufgehenden Sonne und auf den Mondaufgang zur Zeit seines*

nördlichsten Aufgangs geortet. Die Ortung der christlichen Gotteshäuser ist von Anfang an eine östliche gewesen; die nordöstliche zum Sommersolstitium war als heidnisch verpönt.[…]
Das Loch ist in einer Höhe angebracht, daß die ersten Strahlen der an diesen Tagen hinter dem gegenüberliegenden Hügelrande emporkommenden großen Gestirne die Häupter der in dem Raume stehenden Männer trafen. *Wilhelm Teudt 1936*

Offenbar hat Teudt ungenaue Kompaßmessungen angestellt und damit das gerechnete Azimut der Sonnenwenden von 180 – 131,5° = 48,5° verglichen. Wie die Abbildung 7 (links) zeigt, deutet die Konusachse und damit auch die Sonnenwendrichtung mit dem Nordazimut von 48° (Teudts Angabe 131,5° ist ein Südazimut) nicht auf die Mitte der Nische, sondern auf die Halbsäule am nördlichen Rand der Nische (Abb. 23).



Abb. 23: Die Nische an der Rückwand des Sazellums. Ein Betrachter in der Mitte der Nische blickt durch das Rundfenster auf die Fissenknicker Mühle in 6 km Entfernung (und auch auf den nördlichsten Aufgangsort des Mondes; siehe Abb. 15). Ein Betrachter, der vor der nördlichen Halbsäule an der Nischenkante steht (im Bild rechts) blickt durch das Rundloch auf den nördlichsten Aufgangsort der Sonne am Tag der Sommersonnenwende.
Rechts in der Wand befindet sich das Nordwestfenster.

Den Standpunkt in der Mitte der Nische bewertet Teudt als Mondbeobachtungsort mit der Fissenknicker Mühle, bzw. der Anhebung auf der diese steht, als Fernziel einer Peilung auf den nördlichsten Mondaufgang (sog. „Fissenknicker Mondlinie“). Ob es sich mit dem Sazellum nun um eine Mond- oder eine Sonnenbeobachtungsstätte handelt, darauf will Teudt sich nicht festlegen. Er zieht beides in Betracht, weil der Raum genügend Platz für die Wahl des richtigen Standortes zur Beobachtung der Sonnenwende oder des nördlichen Mondextrems bietet. Die Mondlinie verlängert er in südwestlicher Richtung bis zur Kohlstädter Ruine und nimmt sie als Musterbeispiel einer „heiligen Linie“ bei seinen weiteren Überlegungen zu vermeintlichen Heiligtümern in Westfalen-Lippe.
Schließlich referiert er noch die Beobachtung von Franssen, die auf einen Umbau im Sazellum und die Verdrehung der Mittelachse gegen eine ursprünglich anders orientierte Raumachse hindeutet. Diese „alte Raumachse“, die in einer früheren Gestaltung die Mittelachse eines deutlich kleineren Raumes gewesen sein soll, sei die Sonnenwendrichtung. Durch den Umbau und die Erweiterung des Sazellums in christlicher Zeit sei die alte Sonnenwendorientierung unkenntlich gemacht worden. (Die von Schlosser festgestellte und hier bestätigte solstitiale Orientierung der Konusachse des Rundlochs kann zur Stützung dieser Auffassung herangezogen werden.)
Die Mondwendeorientierung der Mittelachse des vorhandenen Raums wird durch diese Idee der alten Raumachse geopfert, was Teudt aber nicht als Argument gegen die Mondwende-Orientierung bzw. gegen die Idee der heiligen Linie von Fissenknick nach Kohlstädt wertet. Er sieht weiterhin eine „gleiche Brauchbarkeit des Raumes als Mondwarte“.

Teudts Argumentation überzeugt hier nicht; er lässt alle astronomischen Interpretationen zu und verwendet sie parallel, obwohl sie sich gegenseitig widersprechen bzw. ihre gleichzeitige Verwirklichung unglaubwürdig erscheint. Warum er die Umbau-Theorie von Franssen erwägt, gleichzeitig aber an der Fissenknicker Mondlinie festhält, ist mit einem Hinweis auf den Saros-Zyklus (mit dem er auf den 18,61-jährigen Mondwendzyklus anspielt) nur vage und unzureichend begründet.

Auf die konische Form des Fensters bezieht Teudt sich nicht, sondern diskutiert ausschließlich Peilungen, die eine Festlegung eines Standortes innerhalb des Sazellums erforderlich machen. Läßt man aber den Gedanken zu, das Sazellum sei umgestaltet worden und jetzt nicht mehr im ursprünglichen Zustand, so kann man aus der vorhandenen Geometrie kein Argument mehr zur Festlegung ursprünglicher Standorte ableiten.
Diese Überlegung betrifft nun auch das nordwestliche Fenster im Sazellum (Abb. 24).



Abb. 24: Blick vom Felsen 1 zum Nordwestfenster des Sazellums.

Teudt verweist auf die bauliche Besonderheit dieses Fensters und erklärt auch seine Errichtung andeutungsweise durch Sonnenbeobachtung:

> *„Wer das auf der Nordwestwand befindliche […] sog. Fenster betrachtet, dem muß die Harmlosigkeit Kopfschütteln erregen, mit der einige Beschreiber der Externsteine diesen Durchbruch durch einen 215 cm mächtigen Felsen zu motivieren versuchen, angesichts einer Freilichtkapelle, die schon an einem Übermaß von Licht litt. Einer derselben erwähnt, daß es die Aussicht auf den Gipfel des ersten Felsen gestatte. Er hätte besser auf den Sonnenuntergang hingewiesen, aber das paßte ja nicht zu der christlichen Kapelle. Mit dieser Bemerkung soll jedoch keineswegs einen Erklärung dieser rätselhaften Öffnung versucht werden; …“*
>
> *W. Teudt 1926*

In der 4. Auflage der „Germanischen Heiligtümer“ von 1936 präzisiert er diese Andeutung:

> *„Einer derselben erwähnt, daß es die Aussicht auf den Gipfel des ersten Felsens gestatte! Er hätte besser auf den Sonnenuntergang am Sommersonnwendtage hingewiesen, aber das paßte ja nicht zu der christlichen Kapelle.“* *W. Teudt 1936*

Das Fenster selbst liefert - anders als das konische Rundloch - keinen präzisen Anhaltspunkt für die genaue Beobachtungsrichtung, so dass man in diesem Fall zu keiner sicheren Bewertung gelangen kann, solange der Standort für die angeblich Beobachtung durch dieses Fenster nicht festgelegt ist. Je nach Standort im Sazellum bietet es Ausblick über einen größeren Azimutbereich von etwa 285° bis 340°. Der Blick entlang der Mittelachse durch das Fenster führt zur Aussichtsplattform auf dem Felsen 1 und auf den Horizont im Azimutbereich zwischen 310° und 320°. Der benachbarte Bärenstein überragt den Horizont merklich, so dass der beobachtbare Sonnenuntergang am Tag der Sommersonnenwende nicht am mathematischen Horizont in der Höhe 0° erfolgt, sondern etwas weiter links hinter dem Bärenstein bei einem Azimut von 304° (Abb. 25), also weit außerhalb der Mittelachse des Fensters.

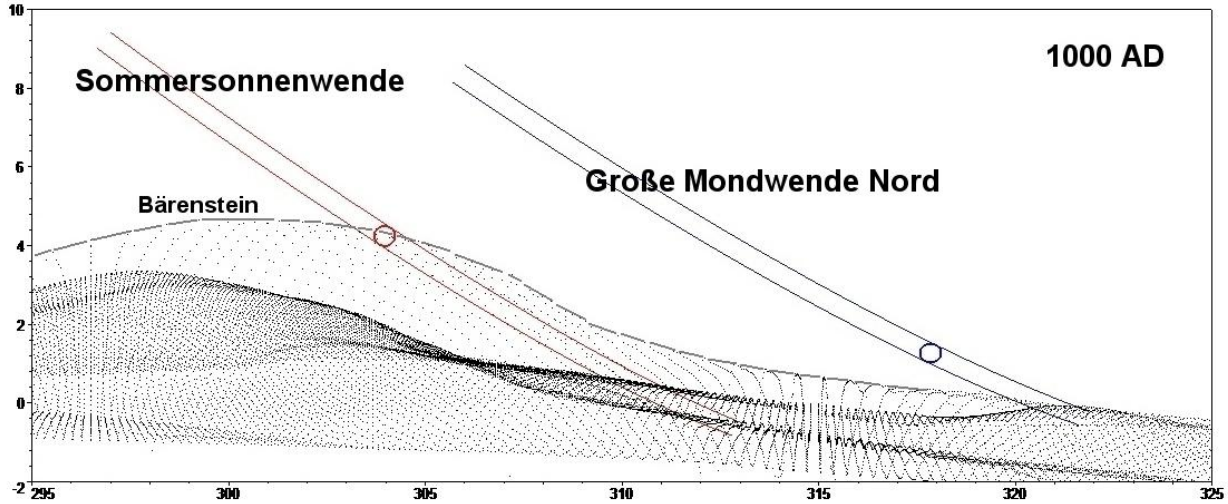


Abb. 25: Die simulierte Horizontline beim Blick durch das nordwestliche Fenster und simulierte nördlichste Sonnenbahn und nördlichste Mondbahn in der Zeit 1000 AD.

Wegen seiner beträchtlichen Größe kann man den Untergang der Sommersonne hinter dem Bärenstein zwar schräg durch das Fenster beobachten, aber seine Geometrie und seine Ausrichtung zum Felsen 1 machen es unwahrscheinlich, dass es für diese Sonnenuntergangsbeobachtung angelegt wurde.
Die in Abbildung 25 visualisierte Horizontsituation berücksichtigt allerdings nur die durch die nahen Berge und Hügel gebildete natürliche Horizontkulisse (ohne Bewaldung). Vor 1663 war der Horizont noch durch eine Felsspitze am äußersten Ende von Felsen 1 überragt, die später entfernt wurde. Der bekannte Stich der Externsteine von Elias von Lennep aus dem Jahr 1663 zeigt diese Felsenspitze noch, spätere bildliche Darstellungen nicht mehr. Wie diese Felsspitze durch das Nordwestfenster des Sazellums im Bereich zwischen 310° und 320° Nordazimut erschien, kann nicht mehr geklärt werden.

Die Abbildung 25 zeigt auch die nördlichste Mondbahn mit ihrem tiefen Verlauf in nur wenigen Grad Höhe in dem Azimutbereich, auf den das Fenster weist und in dem auch die abgetragene Felsspitze lag. Der nördlichste Mond versinkt erst bei einem Azimut von 321° hinter einer kleinen Kuppe nordwestlich von Horn. Dieser Befund eröffnet weiteren Interpretationsspielraum für eine Mondwendeorientierung des Sazellums. Ob die jetzt abgetragene Felsspitze auf Felsen 1 in dem Zusammenhang noch reine Funktion gehabt haben könnte, ist aber Spekulation und sei mangels weiterer Indizien dahingestellt.

Ingesamt drängt sich für das Nordwestfenster keine stichhaltige archäoastronomische Interpretationsmöglichkeit auf. Weder die Form des Fensters bzw. die Standortgeometrie im Sazellum, noch die ungeklärte Situation über den ursprünglichen Horizont liefern hier sichere Anhaltspunkte für eine astronomische Deutung.
Wegen der mühevollen Arbeit, dieses Fenster durch 2 m tiefen Felsen hindurchzutreiben, worauf Teudt ausdrücklich hinweist, ist der generelle Versuch, dieser Öffnung eine besondere Funktion jenseits aller trivialen Deutungen zuzuschreiben, naheliegend. Es muss nicht unbedingt für die Beobachtung aus dem Sazellum hinaus angelegt worden sein, sondern könnte auch der Beobachtung von der Plattform des Felsen 1 ins Sazellum hinein dienen, worauf z.B. D. Kestermann hinweist [15]. Man kann der Phantasie hier freien Lauf lassen, zu welchem Zweck dieses Fenster ursprünglich gedient haben mag, ohne zu sicheren Aussagen zu gelangen.

Zusammenfassend läßt sich zu Teudts archäoastronomischen Überlegungen zum Sazellum aussagen: Seine Hypothesen basieren zunächst auf Vermutungen, die er selbst nicht durch präzise Analysen oder Messungen zu untermauern versteht. Erst die Analyse von Hopmann bzw. womöglich auch anderer, ungenannter Helfer bringt ihm Klarheit über die Ausrichtung des Sazellums. Teudts Auffassungen wandeln sich mit dem Vorliegen der Detailkenntnis über die Orientierung des Sazellums. Geht er zunächst von der Sonnenwendorientierung aus, so zieht er anschließend auch die Mondwendeorientierung zur Fissenknicker Mühle in Betracht, stellt dieser Doppelfunktion aber zusätzlich noch die Hypothese einer vollständigen Überarbeitung des Sazellums gegenüber, mit Verdrehung der neuen Raumachse gegen die alte, solstitial orientierte Achse.
Teudts Argumentationslinien haben hier etwas Beliebiges und passen sich den durch Messung gewonnenen Befunden an. Offensichtlich dient seine Argumentation der Untermauerung seiner vorgefaßten Meinung, das Sazellum sei eine germanische Beobachtungsstätte:

> *... so habe ich bisher [...] lediglich aus geschichtslogischen Gründen die vorchristliche Entstehung des auf Sonnen- und Mondaufgang georteten Raumes vertreten. W.Teudt 1936*

Am Anfang seiner weitreichenden archäoastronomischen Hypothese über einen germanischen Gestirnsdienst stehen bei ihm nicht die objektiven Befunde aus der Vermessung des Sazellums, sondern sein Geschichtsbild! Insofern muss man Teudts Argumentation aus heutiger archäoastronomischer Sicht zurückweisen und als Beispiel tendentiöser Forschung einstufen, die sich einem vorab gesteckten Ziel (hier: Nachweis einer hohen Kulturstufe des prähistorischen Germaniens) ganz unterordnet. Damit sei nicht gesagt, dass Teudt von Grund auf falsch lag mit seinen Vermutungen zu einer vorchristlichen Bedeutung der Externsteine. Seine Methode zur Erkenntnisgewinnung aber ist fragwürdig und birgt die Gefahr der Selbsttäuschung durch das enthusiastische Verfolgen vorgefasster Leitideen und das gezielte Sammeln von bestätigenden Hinweisen und gleichzeitiger Verdrängung von Gegenargumenten. Dennoch muß man Teudt zusprechen, durch seinen Antrieb die archäoastronomisch tätigen Wissenschaftler seiner Zeit auf das archäoastronomische Potential der Externsteine hingewiesen und zu diesbezüglichen Untersuchungen und Aussagen angeregt zu haben. Und der Kern seiner Vermutung, das Sazellum eigne sich für kalendarische Beobachtungen, womit es zu einem Kandidaten für einen herausragenden archäoastronomischen Ort in Westfalen- Lippe wird, hat sich tatsächlich bestätigt.
Vor allem wegen seiner völkischen Gesinnung und der Verflechtung mit der völkisch-ideologischen Vorgeschichtsforschung in nationalsozialistischer Zeit ist Teudts Externstein-Archäoastronomie - jenseits seiner methodischen Fehler - in Verruf geraten.

Josef Hopmann 1935

Der Leipziger Astronom Josef Hopmann untersuchte die Teudtschen Hypothesen auf ihre Plausibilität und faktische Zulässigkeit und publizierte seine Ergebnisse 1935 in der Zeitschrift „Mannus – Zeitschrift für Deutsche Vorgeschichte“ [7]. Dazu unternahm er Messungen an den Externsteinen und bezog diese auf das damals gültige geodätische System. Hopmann stellte auch Betrachtungen über die sichtbare Horizontkulisse an, übersah aber die Bedeutung des Beckerbergs als fernstes sichtbares Horizontmal in nordöstlicher Richtung. Den sichtbaren Horizont vermutet er – wie auch Teudt – auf dem in dieser Studie als Mittelhorizont bezeichneten Höhenzug zwischen Fissenknick und Bad Meinberg, mit der Mühle Fissenknick und dem „Steintischberg“ als besonders markante Bezugspunkte. Mit der von ihm gemessenen und ans damalige geodätische Netz angeschlossenen Standortkoordinate im Sazellum und den Koordinaten ferner Geländepunkte bestimmt er ein Nordazimut zur Fissenknicker Mühle von 38°35´ und zur Kuppe des „Steintischberges“ (nicht scharf definiert) von 47°07´. Beide Werte können mit Hilfe der modernen geodätischen Koordinaten bestätigt werden.

Daraufhin berechnet Hopmann Aufgangsazimute von Sonne und Mond in ihren nördlichen Extrema unter Zugrundelegung mittlerer Werte für die Refraktion und die Parallaxe des Mondes für die Zeit von Christi Geburt. Für die Horizonthöhen nimmt er den gemessenen Wert für den Höhenzug bei Fissenknick und den aus Höhenunterschieden erschlossenen Wert für den „Steintischberg“. Zu seiner Zeit verhindert die Bewaldung den direkten Blick zum Horizont in dieser Richtung.
„[U]m Christi Geburt ging der obere Rand der Sonne zur Sommerwende vom Sazellum aus gesehen um 43´ oder knapp 1 ½ Sonnendurchmesser rechts von der Kuppe des Steintischberges auf“, lautet sein Ergebnis bezüglich der Sonne. Die Abbildung 14 bestätigt das, und sie lässt auch deutlich werden, dass es sich beim „Steintischberg“ um kein besonders auffälliges Horizontmal handelt, welches nicht einmal den sichtbaren Horizont bildet. Die Kuppe bei 47° Nordazimut ist auch nur schlecht definiert, weshalb die Idee, diese Kuppe sei das Sonnenwendmal für das Sazellum der Externsteine, getrost hinterfragt werden darf, auch wenn man sich als Anhänger der astronomischen Interpretation des Sazellums versteht.
Die Orientierung der Konusachse des Rundlochs liefert dagegen ein viel deutlicheres und überdies künstlich von Menschenhand geschaffenes Richtungsmerkmal (vertikale rote Linie in Abb. 14). Hopmann aber, der dieses wichtige architektonische Merkmal hier nicht als relevant erkennt, setzt bei der Diskussion der Genauigkeit der Sonnenwendpeilung die Richtigkeit der Teudtschen Idee, die flache Hügelkuppe sei das Sonnenwendmal, voraus. Damit sind seine Aussagen zur Güte der Sonnenwendpeilung fragwürdig, wenn nicht hinfällig. Einen Datierungsversuch anhand der Güte der Peilung unterlässt er mit gutem Grund. Nach einer Diskussion des Forschungsstandes zur angeblich erwiesenen vorgeschichtlichen Bedeutung des „Steintischberges“ aus jener schließt Hopmann diesen Teil seiner Arbeit mit den Worten:

> *„Daß hier die Ortung tatsächlich so ausgeübt wurde, läßt sich in mathematischer Strenge nicht beweisen. Wohl sprechen viele Anzeichen dafür.“* *J. Hopmann 1935*

Gegen die Theorie der Mondwendeorientierung mit der Fissenknicker Mühle als fernes Peilziel spricht sich Hopmann aus, obwohl die Abweichung des nördlichsten Mondaufgangs von der Mühle mit nur 15´ beträchtlich geringer ist als die der nördlichsten Sonne von der Kuppe des „Steintischberges“. Nichts deute an der Mühle oder in deren Umfeld auf eine prähistorische Bedeutung dieses Platzes hin. Und der Mond sei als „Ortungsgegenstand“ schon aus bestimmten astronomischen Gründen nur mit besonderer Vorsicht zu betrachten.

Hopmanns Arbeit ist hinsichtlich der astronomischen und geodätischen Analyse des Sazellums als ein Beispiel für eine saubere technische Arbeit in der Archäoastronomie zur Feststellung einer objektiven Datengrundlage für Interpretationen einzustufen. Die Nachrechnung bestätigt alle seine Aussagen bezüglich der Orientierung des Sazellums und der Aufgangsrichtungen der Hauptgestirne Sonne und Mond in ihren extremalen Nordständen. Seine Folgerungen, die auf diesen Erkenntnissen und auch auf den damaligen archäologischen Ansichten basieren, die er als Astronom nicht hinterfragt, sind aus heutiger Sicht stellenweise zu überdenken.

Rolf Müller 1936 und 1970

Neben Josef Hopmann war auch Rolf Müller, Astronom am Astrophysikalischen Observatorium in Postdam, als Zeitgenosse von Wilhelm Teudt an den Externsteinen interessiert. Müller war einer der wenigen Forscher, die in dieser Zeit archäoastronomische Studien durchführten. Davon berichtet er in seinem Buch mit dem befremdlich wirkenden Buchtitel im Duktus der damaligen Zeit, „Himmelskundliche Ortung auf nordisch-germanischem Boden“, aus dem Jahr 1936 [8]. Die „ortungskundliche“ Studie ohne ideologischen Unterton steht auf der Grundlage etablierter Methoden in Vermessungstechnik und Astronomie und bringt zahlreiche Fallbeispiele von prähistorischen Stätten, die Müller auf eine mögliche archäoastronomische Bedeutung untersucht; darunter auch die Externsteine. Das Material aus dieser Studie bildet auch den Kern seines 1970 erschienenen Buches „Der Himmel über dem Menschen der Steinzeit“ [16].

Müller befasste sich ebenfalls mit der Frage, ob das Rundfenster im Sazellum eine astronomische Visur auf die nördlichsten Sonnen- und Mondaufgänge gewesen sein könnte. Seine eigenen Messungen erfolgten von zwei unterschiedlichen Standorten im Sazellum. Er stellte den Theodolit zunächst in die Mitte der Rückwandnische gegenüber dem Rundfester zwischen den beiden begrenzenden Halbsäulen auf und ermittelte von dort aus für den Mittelpunkt des Rundfensters das Azimut von 40,8°. Als zweiten Standort wählte er einen Punkt vor der nördlichen Halbsäule, von dieser 87 cm und von der Nordwestwand 86 cm entfernt. Dieser Punkt lag in etwa auf der vermuteten sonnenwendorientierten „alten Raumachse“, über die damals intensiv spekuliert wurde. Das Azimut der Rundlochmitte betrug bei der Beobachtung von diesem Punkt 47,5°. Beide Werte sind als Nahpeilungen über eine Distanz von nur wenigen Metern empfindlich vom genauen Standort des Theodolits im Sazellum abhängig. Bei einer Standortvariation von z.B. 3 cm und einer Peillänge von ca. 5 m kommt es schon zu Abweichungen im Bereich von 0,3°. Mit den Messpunkten des Kreisvermessungsamtes Detmold (Anhang 1) lassen sich Müllers Werte aber grundsätzlich bestätigen. Von der Mitte der Nische zur Rundlochmitte erhält man damit ein Nordazimut von 40,7°, von der rechten Halbsäule zur Rundlochmitte (ungefähr Müllers zweite Linie) 48,3°, also etwas mehr als Müllers 47,5°.

Müller vergleicht sodann diese Werte mit den berechneten Aufgangsazimuten von Sonne und Mond in verschiedenen Epochen. Er nimmt für diese Rechnungen den mathematischen Horizont, was eine sinnvolle Näherung für die Höhe des Landschaftshorizontes ist (siehe Abb. 10) und stellt erneut eine Eignung der Richtungen zur Beobachtung des nördlichen Mondextrems bzw. der Sommersonnenwende fest. Der Genauigkeit dieser Peilungen misst er keine besonders hohe Bedeutung zu, sondern diskutiert eher die generelle Eignung eines solchen Fensters für die Festlegung der Extremorte von Sonne und Mond, sowie die verschiedenen Standortmöglichkeiten für den Beobachter und die Form des Sazellums. In seiner 1936er Arbeit erwähnt er dabei auch die verschiedenen Einwände gegen die

archäoastronomische Interpretation des Sazellums, so z.B. den von Hopmann vorgebrachten, die generelle Ausrichtung der Felsreihe habe zwangsläufig zu einer praktisch sonnenwendorientierten Höhenkapelle geführt.
Müller geht bei seinen Überlegungen im Jahr 1936 davon aus, die Bedeutung der Externsteine als vorgeschichtliche Kultstätte sei bereits archäologisch erwiesen. Im Lichte dieser Grundannahme, die der tendentiösen Forschungsintention jener Zeit entsprach und entsprang, und die er als Astronom nicht kritisch reflektiert, äußert er sich auffällig ausgewogen und durchaus kritisch zu den verschiedenen Deutungshypothesen von Teudt und anderen. Die Mondwendeidee mit der Fissenknicker Mühle als Zielpunkt, die mögliche Umarbeitung des Sazellums, die gleichzeitige Auslegung als Sonnen- und Mondheiligtum, alle diese umstrittenen Ideen werden von Müller sachlich behandelt und mit Gegenargumenten konfrontiert. Er erinnert auch an Hopmanns Warnung, den Mond als „Ortungsgegenstand“ zu betrachten. Spekulationen über mögliche Ausschmückungen des Sazellums mit „Bildern und Zeichen, die im Zusammenhang mit astronomischen Beobachtungen standen“ (eine Idee Teudts) , weißt er als „gefährliche Phantastereien“ zurück.

Abschließend stuft er das Rundfenster als „einzigartige Möglichkeit zur Beobachtung der Sonnenaufgänge zur Zeit der Sommersonnwende und auch zur Beobachtung des Mondextrems“ ein und vertritt damit die Möglichkeit der Interpretation des Sazellums als archäoastronomisch relevante Stätte. Müller stellt die zulässigen Deutungsmöglichkeiten für das Sazellum heraus, und seine Arbeit hält damit der methodischen Kritik vollauf stand. Ideologisch geleitete Aussagen findet man in seiner Behandlung der Externsteine nicht.

In seinem 1970 erschienenen Buch „Der Himmel über dem Menschen der Steinzeit“ äußert sich Müller erneut zu den Externsteinen, diesmal mit einer anderen Grundstimmung, aus der man die Verbitterung über die Tabuisierung der archäoastronomischen Erforschung der Externsteine nach dem Untergang des Nationalsozialismus herausliest. Er wiederholt seine Messergebnisse von 1936 und stellt neu heraus, „was vom Standpunkt des Befundes himmelskundlich von Interesse sein könnte.“ Teudt sei zwar ein „Phantast“ gewesen, könne aber „das Verdienst in Anspruch nehmen, die Aufmerksamkeit auf die Möglichkeit himmelskundlicher Beobachtungen an den Externsteinen gelenkt zu haben.“
In archäoastronomischer Hinsicht kommt er 1970 schließlich zu dem Ergebnis:

> *„Das Turmzimmer bot – völlig abgesehen von der Frage, ob und wie es damals gestaltet war – gerade wegen seiner natürlichen Lage in Richtung zum nordöstlichen Himmelsrand einzigartige Möglichkeit zur Beobachtung der Mittsommersonne und des alle 18,6 Jahre um die gleiche Zeit wendenden Mittwintervollmondes (nördliches Mondextrem). Das kreisrunde Loch eignete sich dabei vorzüglich zur genauen Fixierung der Gestirnsstände.“* *Rolf Müller 1970*

Kurt Urban 1975

Im Jahr 1971 führte K. Urban eigene Vermessungen des Sazellums und der Horizontkulisse in nordöstlicher Richtung durch, über die er 1975 in der Zeitschrift „Mannus – Deutsche Zeitschrift für Vor- und Frühgeschichte“ berichtete [9]. Hier sei auf die Ergebnisse eingegangen, die für die archäoastronomische Untersuchung des Sazellums von Interesse sind. Urbans Theodolit-Standpunkt war in der Rückwandnische des Sazellums, genau in der Mitte zwischen den beiden Halbsäulen. Von diesem Standort aus ermittelte Urban beim Blick durch das Rundloch ein Azimut der Fissenknicker Mühle von 38°35,0´. Mittels astronomischer Kontrolle konnte er die Aussagesicherheit seiner Messungen auf +- 3´´

festlegen. Dieses Nordazimut korrespondiert hervorragend mit dem Wert von 38°35,1´, der sich aus dem vom Kreisvermessungsamt in Detmold mitgeteilten Werten für die Rundlochmitte und die Fissenknicker Mühle (R = 3498261,52; H = 5753192,40) errechnen lässt. Für die Kuppe des „Steintischberges“ (nicht besonders scharf definiert) ermittelt er ein Azimut von 47°05´.

Urban weist erstmals auf den 17 km entfernten Beckerberg als fernste Horizontmarke in Sonnenwendrichtung hin, der den bislang als Horizontmarke vermuteten „Steintischberg“ in 6,2 km Entfernung noch überragt (siehe Abb. 8 und 9). Die genaue Kenntnis über den tatsächlichen Verlauf des Landschaftshorizontes, die er durch die Auswertung amtlicher Karten gewinnt, ermöglicht Urban erstmalig die Festlegung der Aufgangsrichtung des Mondes im nördlichen Extrem und der Sommersonne am Tag der Sonnenwende in Relation zur realen Landschaftskulisse. Seine visualisierten Sonnen- und Mondbahnen zeigen eine sehr gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen dieser Studie (Abb. 13, 14, 15). Für den Mond verwendet er bei seinen Berechnungen einen mittleren Wert für die Horizontparallaxe und den Winkeldurchmesser und erwähnt die typischen Schwankungen der Aufgangsrichtung des Mondes bezüglich der variablen Mondentfernung.

Was Urban dagegen gar nicht thematisiert, ist die Refraktion in der Erdatmosphäre. Er wird einen mittleren Refraktionswert universell für alle Rechnungen angesetzt haben, ansonsten gäbe es keine so gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen dieser Studie, aber von den typischen Schwankungen der Refraktion (siehe Abb. 12) ist gar nicht die Rede.

Man könnte dies als kleine Unzulänglichkeit übersehen, wenn Urban nicht aufgrund der Veränderung der Ekliptikschiefe nun einen Datierungsversuch unternähme. Die typischen, durch Temperatur- und Luftdruckvariationen bedingen Schwankungen der Refraktion in Horizontnähe sind zu groß und machen einen solchen Datierungsversuch von vornherein zunichte. Urban folgt hier einer „Mode“ der Archäoastronomie in den 1960er und 1970er Jahren, als der Vermessungsingenieur Alexander Thom zahlreiche megalithische Denkmäler Britanniens genau vermaß und daran archäoastronomische Betrachtungen anknüpfte, wobei er jeweils mit Hilfe der säkularen Veränderung der Ekliptikschiefe seine mutmaßlichen Peilungen von diesen Stätten zu bestimmten Horizontmalen datierte [17, 18]. Dies ist heutzutage – mindestens was horizontnahe Peilungen betrifft - als unzulässig erkannt.

Noch schwerer aber wiegt ein zweiter Einwand. Ein Datierungsversuch mit Hilfe der variablen Ekliptikschiefe setzt die Kenntnis der exakten Peilung voraus, die unabhängig von allen astronomischen Betrachtungen etabliert sein muss. Beides zusammen geht natürlich nicht - zuerst „Entdeckung“ einer astronomischen Peilung auf der Grundlage einer gewissen Richtungskoinzidenz von Horizontmal und Gestirn (hier z.B. Fissenknicker Mühle und Mond) und sodann noch in einem zweiten Schritt der Verfeinerung Datierung mit dieser Peilung anhand des nicht genauen Zusammentreffens von Horizontmal und Gestirn in heutiger Zeit. Das ist das klassische Beispiel für einen logischen Zirkelschluß in der Archäoastronomie.

In dieser Hinsicht ist Urbans Arbeit überhaupt nicht aussagekräftig. Was aber die Analyse der Horizontlinie und die Vermessungsarbeit betrifft, so ist sie von vorzüglicher Qualität.

Wolfhard Schlosser 1994 bis 1996

In drei verschiedenen Publikationen in der Zeit zwischen 1994 und 1996 äußerte sich der Astronom Wolfhard Schlosser zur Archäoastronomie der Externsteine und konnte mit verschiedenen neuen Erkenntnissen den Kenntnisstand über mögliche Peilrichtungen im Sazellum und auf dem Sargsteinpodest erweitern [10, 11, 12]. Die detaillierteste Analyse „Astronomische Auffälligkeiten an den Externsteinen“ erschien 1995. In der nachfolgenden Zeit beschäftigte sich Schlosser u.a. noch mit möglichen Einrichtungen zur Peilung der Wintersonnenwende an den Steinen bzw. in ihrem näheren Umfeld [19, 20], auf die hier nicht eingegangen wird, weil sie mangels eigener Daten keiner Revision unterzogen werden können. Es werden deshalb nur Schlossers Aussagen zum Sazellum und zum Sargsteinpodest untersucht.

Schlosser enthält sich aller Spekulationen über Beobachtungsstandorte im Sazellum, wie sie von allen früheren Bearbeitern unternommen wurden. Er erkennt und bearbeitet als Erster das architektonische Detail, welches aus sich heraus eine definierte Richtung festlegt – die konische Wandung des Rundlochs. Die Richtung der Kegelachse findet er durch eine photogrammetrische Auswertung von Fotografien des Loches, die von verschiedenen Standorten innerhalb des Sazellums erstellt wurden. Schlossers Ergebnis für die Horizontalkoordinaten der Konusachse: 48,0° Nordazimut und 4,2° Elevation (die Genauigkeit dieser Werte beträgt jeweils einige zehntel Grad).

Der Vergleich mit den Ergebnissen dieser Studie, basierend auf der Laserscanaufnahme des Sazellums (siehe Seite 10) zeigt eine völlige Übereinstimmung beim Azimutwert und eine merkliche Abweichung beim Höhenwert. Schlossers Wert für die Elevation der Konusachse liegt etwa 1° höher als der hier bestimmte. Die Datengrundlage für Schlossers Analyse ist allerdings viel dünner, als in dieser Studie, die den gesamten konischen Rand des Loches erfasst, nicht nur einige ausgewählte Stellen. Schlosser vermisst insgesamt nur vier Messpunkte an der inneren Berandung des Loches (oben, unten, rechts und links) in Relation zum äußeren Rand des Loches. Die Bestimmung der Elevation basiert folglich nur auf den zwei Messpunkten vom oberen und unteren Rand des Loches. Da der Unterrand signifikant von der konischen Form abweicht (offensichtlich durch Auswaschung und Einwirkung von Besucherhänden, siehe Seite 8) könnte Schlossers größerer Wert für die Elevation durch einen zu tief angesetzten Messpunkt an der unteren Stelle der inneren Lochberandung entstanden sein. Als zweite mögliche Ursache wäre zu bedenken, dass der schräge Schnitt eines Kegels mit einer Wand zwischen den oberen Kreisrändern (innen und außen) und den entsprechenden zwei unteren Punkten einen unterschiedlichen Abstand bzw. eine unterschiedliche Länge der konischen Wandung hervorbringt. Schlossers Ausführungen in [11] sind in dieser Hinsicht zu knapp, um Aufschluß über die mögliche Fehlerquelle zu geben.

Schlosser berechnet die Azimute für den ersten und letzten Kontakt der Sonnenscheibe mit dem mathematischen Horizont für die Zeiten –2000, 0 und +2000 unter Berücksichtigung einer mittleren Refraktion und stellt die beste Übereinstimmung für die Zeit um Christi Geburt fest. Dies wird durch das entsprechende Ergebnis dieser Studie bestätigt (siehe Abb. 14). Die Refraktionsschwankungen erwähnt Schlosser zwar nicht, nimmt aber implizit darauf Bezug, da er die Berechnungen für nur drei Epochen durchführt, die jeweils 2000 Jahre voneinander getrennt sind. Bei dieser nur sehr groben Zeitauflösung relativiert sich das Problem der schwankenden Refraktion. Die Rechnung wird für den mathematischen Horizont durchgeführt, da Schlosser die genaue Gestalt der Horizontlinie nicht berücksichtigt; es handelt sich dabei aber um eine sehr gute Näherung für die realen Verhältnisse. Das bemerkenswerte Ergebnis, das auch ein Argument für die Umbautheorie des Sazellums liefert,

weil die Orientierung der Konusachse mit der der „alten Raumachse“ praktisch übereinstimmt, kommentiert Schlosser folgendermaßen:

> *Angemerkt sei, dass dieser erneute Hinweis auf die Nutzung der Höhenkammer zur Bestimmung des Zeitpunktes der Sommersonnenwende aus einer eher als unbedeutend anzusehenden Einzelheit abgeleitet wurde (nämlich der inneren Wandung einer Öffnung). W. Schlosser 1995*

Schlosser kann auch, was die alte Mondwendedeutung betrifft, eine überraschende Neuigkeit beisteuern. Weil die Konusachse nicht genau zum Horizont zielt, sondern etwas darüber, trifft ihre Verlängerung zum Himmel den Mond auf seiner nördlichsten Aufgangsbahn. Bei einer Elevation von 4,2° (seinem Ergebnis) wäre dieser Treffer perfekt. Da sich die Konusachse aber nur um 3,1° (Ergebnis dieser Studie) gegenüber der mathematischen Horizontrichtung erhebt, verfehlt die Konusachse den nördlichsten Mond etwas (Abb. 15).

Der Mond beschreibt nur äußerst selten seine höchste Bahn, nämlich nur alle 18,6 Jahre in einigen wenigen Monaten. Merklich häufiger läuft er auf einer nur geringfügig tieferen Bahn, die aber dennoch die Bahnlage der Sonne weit übertrifft. Das knappe Verfehlen der extremalen Bahn durch die Konusachse muss deshalb nicht als Argument gegen die Mondwendebeobachtung gewertet werden. Die Frage der Mondwendbeobachtungen ist insgesamt komplex, weshalb hier nochmal auf die Referenz [13] hingewiesen sei, wo sie ausführlich behandelt wird.
Schlosser führt diese Diskussion nicht, sondern stellt nur die Möglichkeit fest, „dass die Kombination von Azimut und Elevation des Rundfensters völlig zwanglos diese wichtige Mondposition ebenfalls festzulegen gestattet“. Auch wenn er seine etwas zu große Elevation der Konusachse diesem Ergebnis zugrunde legt, ändert sich die generelle Einschätzung einer Eignung der Achse für die Beobachtung der nördlichsten Mondstände bei Berücksichtigung des richtigen Wertes von ca. 3° dadurch nicht.

Ebenfalls als Erster bearbeitet Schlosser nach Hinweisen von Frau Pfaff, R. Koneckis und U. v. Motz das Sargsteinpodest als möglichen Standort für die Beobachtung kalendarischer Stichdaten an den Externsteinen. „Von dem Podest aus [können] die Zeitpunkte der Tag- und Nachtgleichen bestimmt werden, und zwar auf den Tag genau.“ Die Sonnenbahn mit einer Deklination von ca. 16° (etwa Anfang Mai in heutiger Zeit) die im Bereich der Felsenspitze verläuft, auf die das Podest ausgerichtet ist, bringt Schlosser mit dem Beltaine-Fest in Beziehung und deutet diese Peilmöglichkeit als Hinweis auf keltische Einflüsse an den Externsteinen. Die Diskussion auf den Seiten 23 bis 26 hat gezeigt, dass dies zwar möglich, aber auch ein sehr schwieriges Thema ist, über das ohne zusätzliche Hinweise nichts Bestimmtes ausgesagt werden kann.

Schlossers Vermessung der Horizontalkoordinaten des Felsprofils bei der Beobachtung vom Sargsteinpodest aus und die Überlagerung gerechneter Sonnenbahnen mit der Darstellung des Felsprofils (seine Abb. 5 in [12]) können durch die Ergebnisse dieser Studie vollauf bestätigt werden. Die Abbildungen 20, 21 und 22 sind in dieser Hinsicht nichts Neues, zeigen nur das von Schlosser bereits 1995 publizierte Ergebnis in verbesserter Auflösung.

Resümee

Die Neuanalyse der mutmaßlichen astronomischen Peilungen an den Externsteinen in dieser Studie hat ergeben, dass es sich dabei um ausgezeichnete, von Menschenhand geschaffene Einrichtungen für kalendarische Beobachtungen handeln kann. Dies macht die Externsteine zu einem herausragenden Kandidaten für eine Stätte mit astronomischer Funktion in Westfalen-Lippe. Mit dieser Einstufung ist weder der Nachweis für eine solche Verwendung der Externsteine erbracht, noch ein Datierung derartiger kalendarischer Beobachtungspraktiken möglich. Die außerordentliche Güte und Genauigkeit der in Frage stehenden Peilungen lässt aber aufhorchen. Eine völlige Ignorierung dieser bemerkenswerten Befunde bei der wissenschaftlichen Bearbeitung der Externsteinfrage *per se* wäre fragwürdig und einer tendentiösen Forschung verdächtig.

Die Ergebnisse dieser Studie bestätigen die Vermessungsergebnisse früherer Bearbeiter. Bei der kritischen Durchsicht der bislang publizierten wissenschaftlichen Arbeiten, die auf Vermessungen und Berechnungen nach etablierten Standards der Geodäsie und Astronomie beruhen, fällt die sachliche Behandlung der Externsteinfrage durch die Astronomen Hopmann, Müller und Schlosser auf, die hinsichtlich ihrer allgemeinen Aussagen zu archäoastronomischen Aspekten und den diesbezüglichen speziellen Aussagen zum Externsteinsazellum der methodischen Kritik standhalten. Urbans Datierungsansatz mit der Ekliptikschiefe, den er aus der archäoastronomischen Forschungsliteratur seiner Zeit unreflektiert übernimmt (anscheinend ist er Vermesser, nicht Astronom), ist aber zurückzuweisen.

Allein dort, wo sich die Astronomen auf archäologische Aussagen aus den 1930er Jahren stützen, die sie als fachfremde Wissenschaftler ohne Infragestellung rezipieren, stellen sich aus heutiger Sicht Fragen zur damals behaupteten prähistorischen Bedeutung der Externsteine, zu den Bearbeitungs- und Zerstörungsspuren und zum näheren und weiteren landschaftlichen Umfeld. Wie sind z.B. die damaligen Aussagen, was eine vorgeschichtliche Bedeutung der Hügelkuppe der Fissenknicker Mühle oder des sog. „Steintischbergs“ betrifft, um nur ein Beispiel zu nennen, die angeblich auch in Beziehung zu den Steinsetzungen im Leistruper Wald stehen, aus heutiger archäologischer Sicht zu bewerten?

Es liegt im Aufgabenbereich der Archäologie, die archäologische Faktengrundlage zu bearbeiten, die ebenso wie die astronomische als Basis für archäoastronomische Interpretationen zugrunde gelegt werden muss. Die Archäoastronomie kann das nicht leisten, ist aber darauf angewiesen.

Eine Verweigerungshaltung der Archäologie und die Tabuisierung der Externstein-Archäoastronomie wird letztlich nicht hilfreich sein, die Spreu der zahllosen wilden Spekulationen und Phantastereien vom Weizen der wissenschaftlich haltbaren Befunde und Interpretationen zu trennen und ein Klima für eine ideologiefreie, enttabuisierte Untersuchung archäoastronomischer Objekte wie der Externsteine zu schaffen.

Referenzen

[1] R. Jähne, R. Linde & C. Woda: Licht in das Dunkel der Vergangenheit – Die Lunineszenzdatierung an den Externsteinen; Schriftenreihe der Schutzgemeinschaft Externsteine Bd. 1, Verlag für Regionalgeschichte, Bielefeld 2007
[2] W. Schlosser, unter Mitwirkung von U. Niedhorn, G.A. Wagner & I.B. Lorenz: Die Altersabschätzung der Kuppelgrotte und der Nebenhöhle in Fels I durch das Thermolumineszenzverfahren, erschienen in R. Koneckis (Hrsg.), Geheimnis Externstein, topp+möller druck+ verlag, Detmold 1995, 91 - 92
[3] W. Teudt: Altgermanischer Gestirnsdienst – I. Das Zerstörungswerk an den Externsteinen; Mannus, 18. Bd. (1926), 349 - 357
[4] W. Teudt: Germanische Heiligtümer, 4. Aufl., Eugen Diederichs Verlag, Jena 1936
[5] U. Halle: "Die Externsteine sind bis auf weiteres germanisch!" - Prähistorische Archäologie im Dritten Reich; Verlag für Regionalgeschichte, Bielefeld 2002
[6] B. Steinrücken: Mythos „Sternhof“ - Archäoastronomische Nachbetrachtung zu den vermeintlichen Sternortungslinien im Haus Gierke in Schlangen-Oesterholz; sternwarte-recklinghausen.de/astronomie/forschungsprojekt-vorzeitliche-astronomie/#B09
[7] J. Hopmann: Die Ortung an den Externsteinen; Mannus, 27. Jg. (1935), Heft 1/2, 143 - 153
[8] R. Müller: Himmelskundliche Ortung auf nordisch-germanischem Boden, Curt Rabitzsch Verlag. Leipzig 1936, 43 - 49
[9] K. Urban: Neue Messungen an den Externsteinen – Ein Beitrag zur Diskussion der Ortungen; Mannus, 14. Jg. (1975), Heft 3, 291 - 302
[10] J. Hoops: Reallexikon der Germanischen Altertumskunde, 2. Aufl., 8. Band, Walter de Gruyter, Berlin New York 1994, Stichwort Externsteine, §8 Himmelskunde, von W. Schlosser, 48 – 49
[11] W. Schlosser: Astronomische Auffälligkeiten an der Externsteinen; erschienen in R. Koneckis (Hrsg.), Geheimnis Externstein, topp+möller druck+ verlag, Detmold 1995, 81 - 90
[12] W. Schlosser, J. Cierny: Sterne und Steine: eine praktische Astronomie der Vorzeit; Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt 1996, 93 - 95
[13] B. Steinrücken: Sonnenwenden und Mondwenden – Astronomische Grundlagen der Wenden von Sonne und Mond am Horizont und ihre Bedeutung in der Archäoastronomie, sternwarte-recklinghausen.de/astronomie/forschungsprojekt-vorzeitliche-astronomie/#A01
[14] R. Koneckis-Bienas, aus einer brieflichen Mitteilung an den Verfasser vom 25.8.2012: „Die erste, die den Hinweis zum Durchzug der Sonne durch den Wackelstein gegeben hatte, soll Frau Pfaff gewesen sein, die in den 50er Jahren in ärmlichen Verhältnissen eine Wohnung am Ausgang von Horn neben der Bäckerei Schuhr gehabt haben soll.“
[15] D. Kestermann: 3000 Jahre Externsteine; Bochum 2001
[16] R. Müller: Der Himmel über dem Menschen der Steinzeit; Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York 1970, S. 88 - 95
[17] A. Thom: Megalithic Sites in Britain, Clarendon Press, Oxford 1967
[18] A. Thom: Megalithic Lunar Observatories, Clarendon Press, Oxford 1971
[19] W. Schlosser: Astronomy and Landscape: Prehistoric Sites along the 'Hellweg' Trade Route; Proceedings of the Sixth SEAC Conference (ed. F. Prendergast). University of Dublin 2001
[20] W. Schlosser: Archäoastronomische Objekte der Hellweg-Region; Andromeda – Zeitschrift der Sternfreunde Münster e.V., 13. Jahrgang 2000, Nr. 1 bis 3 (www.sternfreunde-muenster.de/pdf/andromeda001.pdf, andromeda002.pdf & andromeda003.pdf; Juli 2013)

Danksagung

Ohne die Bereitstellung von Vermessungsdaten aus dem Sazellum durch das Kreisvermessungsamt Detmold und ohne die Verwendung des Laserscanners des Felix-Fechenbach-Berufskollegs in Detmold wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Der Verfasser ist dafür Herrn Dr. Stefan Ostrau und Herrn Ottmar Koprek vom Kreisvermessungsamt Detmold und Herrn Joachim Heine vom Felix-Fechenbach-Berufskolleg zu Dank verpflichtet. Herrn Ralf Koneckis-Bienas aus Dortmund sei für verschiedene Hinweise zur Forschungsgeschichte der Externsteine und die Organisation eines Vermessungstages gedankt, Herrn Dr. Bernhard Junkermann und Herrn Dr. Jürgen Giesen vom Förderverein Freunde der Volkssternwarte Recklinghausen e.V. für die Mitwirkung bei den verschiedenen Vermessungsaktionen an den Externsteinen. Schließlich sei Herrn Kurt-Uwe Förster (†) von der Schutzgemeinschaft Externsteine e.V. für den ersten Impuls im Jahr 2006 gedankt, sich dem Externstein-Sazellum und einer neuen Analyse seiner archäoastronomischen Relevanz zuzuwenden. Diesem Impuls ist der Verfasser mit der vorliegenden Arbeit gefolgt.

Anhänge

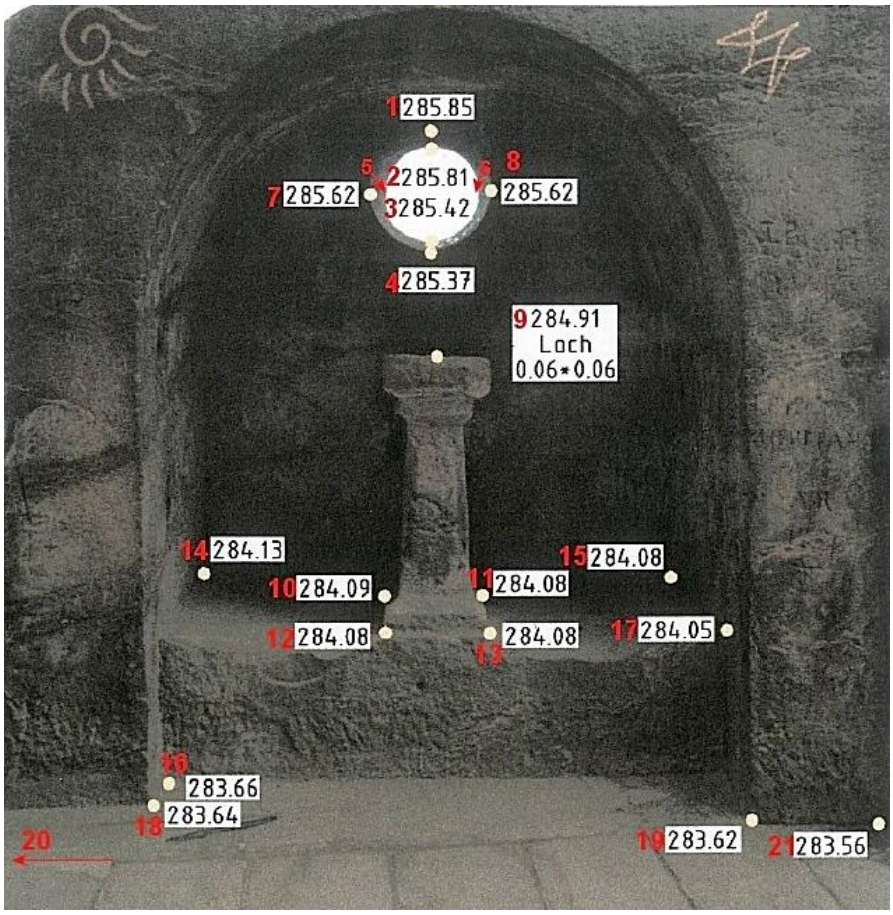
Anhang 1: Georeferenzierte Festpunkte im Externsteinsazellum
Anhang 2: Laserscandaten von der konischen Wandung des Sazellum-Rundlochs
Anhang 3: Horizontalkoordinaten der Theodolitmesspunkte von der Felsenkante

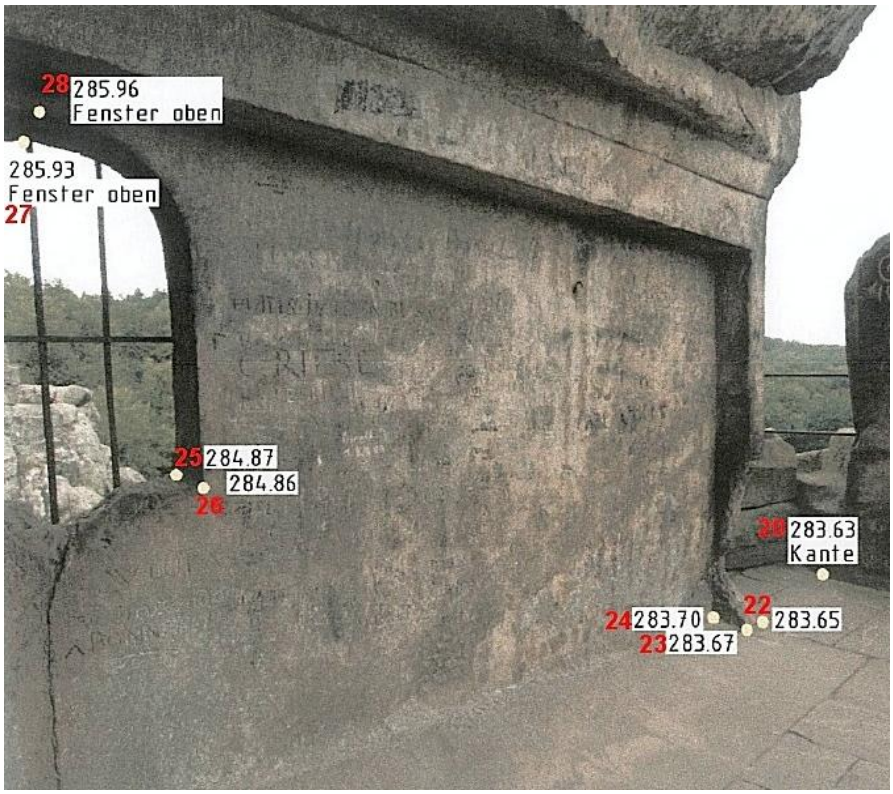
Anhang 1: Punktkoordinaten im Externstein-Sazellum

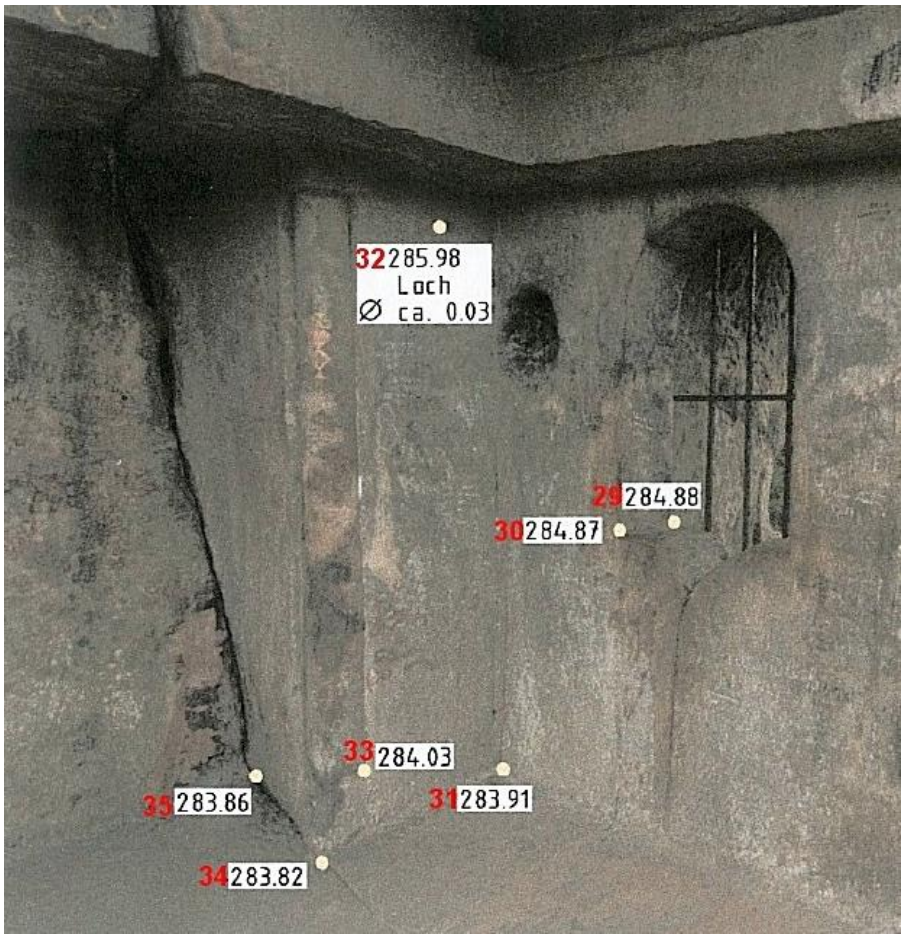
Aufgenommen im Jahr 2006 vom Kreisvermessungsamt in Detmold

Punkt	h	R	H	Bemerkung
1	285,85	3494377,534	5748335,762	Oberkante Rundloch innen
2	285,81	3494377,643	5748335,885	Oberkante Rundloch außen
3	285,42	3494377,647	5748335,891	Unterkante Rundloch außen
4	285,37	3494377,553	5748335,792	Unterkante Rundloch innen
5	285,62	3494377,511	5748336,024	linke Kante Rundloch außen
6	285,62	3494377,784	5748335,759	rechte Kante Rundloch außen
7	285,62	3494377,365	5748335,949	linke Kante Rundloch innen
8	285,61	3494377,694	5748335,619	rechte Kante Rundloch innen
9	284,91	3494377,239	5748335,493	Ständerloch (6 x 6 cm)
10	284,09	3494377,419	5748335,943	Standfuß unten hinten links
11	284,08	3494377,616	5748335,663	Standfuß unten hinten rechts
12	284,08	3494376,976	5748335,450	Standfuß unten vorne links
13	284,08	3494377,200	5748335,236	Standfuß unten vorne rechts
14	284,13	3494376,933	5748336,434	Bogennische Ecke hinten links
15	284,08	3494378,146	5748335,147	Bogennische Ecke hinten rechts
16	283,66	3494376,508	5748335,882	Bogennische hinten links
17	284,05	3494377,708	5748334,735	Bogennische hinten rechts
18	283,64	3494376,430	5748335,826	Bogennische vorne links
19	283,62	3494377,553	5748334,598	Bogennische vorne rechts
20	283,63	3494376,118	5748336,054	Nischenwand Ecke links
21	283,56	3494377,939	5748334,276	Nischenwand Ecke rechts
22	283,65	3494375,428	5748335,321	Vorsprung NW-Wand rechts
23	283,67	3494375,322	5748335,174	Vorsprung NW-Wand links
24	283,70	3494375,119	5748335,321	NW-Wand hinten rechts
25	284,87	3494373,218	5748333,517	NW-Fenster unten hinten rechts
26	284,86	3494373,416	5748333,356	NW-Fenster unten vorne rechts
27	285,93	3494373,027	5748333,292	NW-Fenster oben mitte hinten
28	285,96	3494373,230	5748333,138	NW-Fenster oben mitte vorne
29	284,88	3494372,792	5748333,020	NW-Fenster unten hinten links
30	284,87	3494372,986	5748332,828	NW-Fenster unten vorne links
31	283,91	3494372,567	5748332,318	SW-Wand unten rechts
32	285,98	3494372,719	5748332,197	Loch (3 cm) in SW-Wand
33	284,03	3494372,959	5748331,963	Rundsäulenansatz unten rechts
34	283,82	3494373,097	5748331,840	SW-Nische vorne rechts
35	283,86	3494372,532	5748331,301	SW-Nische hinten rechts
36	285,48	3494372,991	5748330,857	Pkt auf Nischenwand
37	283,80	3494373,733	5748330,107	SW-Nische hinten links
38	283,78	3494374,204	5748330,653	SW-Nische vorne links
39	284,02	3494374,325	5748330,526	Rundsäulenansatz unten links
40	283,78	3494374,802	5748330,093	SW-Wand unten links
41	283,76	3494374,881	5748330,186	Vorsprung SW-Wand rechts
42	283,75	3494375,048	5748330,059	Vorsprung SW-Wand links
43	283,69	3494375,656	5748331,058	Punkt am Geländerwinkel
44	293,65	3494373,949	5748332,395	Gipfelpunkt Felsen
45	293,65	3494374,711	5748331,917	Gipfelpunkt Felsen
46	283,70	3494375,120	5748331,760	Messpunkt Sazellum

Genauigkeit der Punktkoordinaten: ca. 0,5 cm relativ, 1 bis 2 cm absolut


1 285.85
2 285.81
3 285.42
4 285.37
5
6
7 285.62
8 285.62
9 284.91
Loch
0.06*0.06
10 284.09
11 284.08
12 284.08
13 284.08
14 284.13
15 284.08
16 283.66
17 284.05
18 283.64
19 283.62
20
21 283.56


28 285.96
Fenster oben
285.93
Fenster oben
27
25 284.87
284.86
26
30 283.63
Kante
22 283.65
24 283.70
23 283.67


32 285.98
Loch
Ø ca. 0.03
29 284.88
30 284.87
33 284.03
35 283.86
31 283.91
34 283.82


32 285.98
Loch
Ø ca. 0.03
36 285.48
39 284.02
40
37
283.80
35 283.86
34 283.82
283.75
42
283.78
283.76
41
283.78
38
43
46

Anhang 2: Punktkoordinaten von der Wandung des Rundlochs

Aufgenommen am 23.03. 2011 vom Felix-Fechenbach-Berufskolleg; Georeferenzierung der 574 Laserscanpunkte im Gauß-Krüger-System (3. Streifen) durch B. Steinrücken. Zu allen Rechtswerten (R) 3494000 hinzuaddieren, zu allen Hochwerten (H) 5748000. Relative Genauigkeit 0,1 mm. Zunächst die 555 Punkte, für die der beste Kegel bestimmt wurde:

R	H	h	R	H	h	R	H	h
377.5268	335.7968	285.8403	377.6104	335.7549	285.8183	377.6293	335.7851	285.8071
377.5417	335.7812	285.8405	377.6158	335.7451	285.8174	377.6358	335.7761	285.8068
377.5498	335.7742	285.8410	377.6122	335.7280	285.8120	377.6359	335.7617	285.8033
377.5556	335.7650	285.8403	377.6136	335.7152	285.8093	377.6400	335.7507	285.8018
377.5635	335.7577	285.8408	377.6180	335.7048	285.8081	377.6429	335.7387	285.7998
377.5012	335.8317	285.8305	377.4467	335.8840	285.7945	377.6407	335.7227	285.7953
377.5086	335.8238	285.8305	377.4579	335.8801	285.7963	377.6380	335.7069	285.7908
377.5172	335.8173	285.8312	377.4711	335.8781	285.7993	377.6362	335.6918	285.7867
377.5249	335.8099	285.8314	377.4869	335.8788	285.8038	377.4355	335.9034	285.7734
377.5319	335.8014	285.8311	377.4979	335.8743	285.8055	377.4471	335.9002	285.7754
377.5442	335.7981	285.8339	377.5098	335.8709	285.8078	377.4650	335.9037	285.7810
377.5496	335.7883	285.8328	377.5233	335.8690	285.8110	377.4798	335.9033	285.7847
377.5559	335.7796	285.8323	377.5344	335.8642	285.8128	377.5086	335.9012	285.7915
377.5640	335.7723	285.8328	377.5436	335.8577	285.8136	377.5229	335.8999	285.7949
377.5718	335.7649	285.8333	377.5531	335.8516	285.8146	377.5354	335.8968	285.7974
377.5732	335.7516	285.8301	377.5654	335.8479	285.8171	377.5472	335.8926	285.7994
377.5825	335.7455	285.8314	377.5745	335.8411	285.8179	377.5635	335.8926	285.8038
377.5867	335.7351	285.8300	377.5824	335.8332	285.8181	377.5766	335.8896	285.8065
377.4744	335.8503	285.8162	377.5953	335.8297	285.8209	377.5901	335.8869	285.8094
377.4872	335.8482	285.8192	377.5936	335.8135	285.8161	377.5964	335.8772	285.8087
377.4996	335.8454	285.8220	377.6067	335.8101	285.8191	377.6046	335.8693	285.8089
377.5112	335.8415	285.8242	377.6088	335.7970	285.8163	377.6133	335.8616	285.8093
377.5368	335.8210	285.8259	377.6131	335.7858	285.8147	377.6229	335.8547	285.8102
377.5455	335.8143	285.8266	377.6183	335.7758	285.8138	377.6271	335.8433	285.8086
377.5546	335.8077	285.8275	377.6208	335.7635	285.8114	377.6344	335.8345	285.8084
377.5654	335.8027	285.8294	377.6293	335.7562	285.8122	377.6413	335.8254	285.8081
377.5731	335.7950	285.8296	377.6297	335.7422	285.8088	377.6440	335.8124	285.8057
377.5794	335.7860	285.8291	377.6309	335.7290	285.8059	377.6456	335.7989	285.8029
377.5831	335.7748	285.8273	377.6317	335.7156	285.8030	377.6519	335.7896	285.8024
377.5908	335.7668	285.8275	377.6250	335.6968	285.7964	377.6550	335.7775	285.8004
377.5912	335.7528	285.8240	377.4407	335.8931	285.7836	377.6553	335.7631	285.7971
377.5984	335.7449	285.8242	377.4537	335.8914	285.7865	377.6571	335.7501	285.7946
377.5992	335.7313	285.8209	377.4701	335.8929	285.7913	377.6525	335.7322	285.7890
377.4641	335.8707	285.8073	377.4808	335.8884	285.7929	377.6484	335.7151	285.7839
377.4744	335.8659	285.8087	377.5003	335.8927	285.7992	377.6483	335.7012	285.7806
377.4851	335.8613	285.8104	377.5083	335.8850	285.7992	377.6511	335.6893	285.7787
377.4957	335.8568	285.8121	377.5229	335.8841	285.8029	377.4279	335.9113	285.7619
377.5087	335.8546	285.8150	377.5358	335.8815	285.8057	377.4448	335.9137	285.7668
377.5232	335.8532	285.8188	377.5470	335.8765	285.8073	377.4591	335.9131	285.7702
377.5409	335.8399	285.8202	377.5582	335.8718	285.8092	377.4741	335.9135	285.7740
377.5518	335.8351	285.8220	377.5681	335.8660	285.8104	377.4884	335.9124	285.7772
377.5614	335.8291	285.8232	377.5776	335.8594	285.8113	377.5071	335.9158	285.7829
377.5671	335.8191	285.8221	377.5921	335.8577	285.8149	377.5208	335.9138	285.7859
377.5752	335.8116	285.8225	377.5951	335.8448	285.8124	377.5355	335.9127	285.7894
377.5799	335.8011	285.8211	377.6029	335.8366	285.8124	377.5478	335.9092	285.7916
377.5889	335.7945	285.8220	377.6175	335.8347	285.8161	377.5629	335.9083	285.7953
377.5949	335.7849	285.8213	377.6197	335.8216	285.8134	377.5773	335.9063	285.7986

R	H	h	R	H	h	R	H	h
377.6032	335.7776	285.8219	377.6278	335.8136	285.8138	377.5866	335.8992	285.7992
377.6013	335.7613	285.8172	377.6288	335.7994	285.8105	377.6014	335.8978	285.8028
377.5975	335.8783	285.7968	377.4523	335.9387	285.7396	377.4047	335.9506	285.6856
377.6435	335.8579	285.8042	377.4684	335.9398	285.7437	377.4214	335.9532	285.6896
377.6508	335.8490	285.8040	377.4872	335.9438	285.7491	377.4614	335.9657	285.7010
377.6588	335.8406	285.8042	377.5065	335.9483	285.7548	377.4809	335.9705	285.7063
377.6582	335.8246	285.8002	377.5269	335.9532	285.7608	377.5093	335.9848	285.7157
377.6615	335.8124	285.7982	377.5414	335.9517	285.7639	377.7367	335.7545	285.7196
377.6661	335.8015	285.7969	377.7106	335.7783	285.7668	377.7317	335.7362	285.7148
377.6684	335.7885	285.7945	377.7064	335.7604	285.7618	377.7278	335.7191	285.7105
377.6658	335.7716	285.7898	377.7005	335.7414	285.7561	377.7183	335.6981	285.7041
377.6643	335.7558	285.7858	377.6949	335.7227	285.7507	377.7132	335.6807	285.6996
377.6675	335.7442	285.7840	377.6931	335.7073	285.7470	377.7009	335.6578	285.6921
377.6659	335.7288	285.7801	377.6881	335.6896	285.7419	377.4052	335.9512	285.6744
377.6645	335.7135	285.7762	377.6813	335.6711	285.7363	377.4257	335.9582	285.6802
377.6601	335.6961	285.7711	377.6750	335.6530	285.7308	377.4474	335.9666	285.6866
377.6605	335.6828	285.7682	377.4054	335.9347	285.7163	377.4675	335.9725	285.6921
377.4186	335.9171	285.7496	377.4236	335.9394	285.7215	377.4923	335.9835	285.6998
377.4335	335.9177	285.7533	377.4606	335.9479	285.7320	377.5152	335.9915	285.7064
377.4522	335.9218	285.7589	377.4799	335.9526	285.7376	377.7422	335.7443	285.7068
377.4688	335.9237	285.7634	377.4998	335.9573	285.7434	377.7306	335.7213	285.6996
377.4844	335.9244	285.7675	377.5133	335.9555	285.7460	377.7243	335.7026	285.6946
377.5018	335.9266	285.7723	377.5363	335.9632	285.7532	377.7161	335.6826	285.6889
377.5198	335.9289	285.7774	377.7151	335.7673	285.7533	377.7101	335.6644	285.6840
377.5347	335.9281	285.7809	377.7182	335.7551	285.7516	377.6999	335.6437	285.6778
377.5525	335.9301	285.7859	377.7084	335.7330	285.7444	377.3914	335.9519	285.6604
377.5701	335.9316	285.7907	377.7017	335.7139	285.7387	377.4095	335.9563	285.6650
377.6806	335.8137	285.7913	377.6960	335.6956	285.7334	377.4289	335.9621	285.6701
377.6805	335.7986	285.7879	377.6950	335.6811	285.7303	377.4481	335.9675	285.6752
377.6855	335.7877	285.7867	377.6834	335.6591	285.7227	377.4743	335.9803	285.6834
377.6853	335.7728	285.7833	377.6818	335.6442	285.7193	377.5014	335.9936	285.6919
377.6819	335.7554	285.7784	377.3963	335.9406	285.7043	377.7399	335.7280	285.6912
377.6803	335.7400	285.7746	377.4118	335.9421	285.7080	377.7288	335.7059	285.6844
377.6826	335.7276	285.7725	377.4313	335.9482	285.7138	377.7174	335.6837	285.6776
377.6711	335.7045	285.7641	377.4492	335.9518	285.7186	377.7111	335.6651	285.6728
377.6631	335.6850	285.7576	377.4690	335.9575	285.7244	377.6977	335.6421	285.6654
377.6648	335.6723	285.7553	377.4871	335.9605	285.7292	377.3930	335.9538	285.6498
377.6650	335.6592	285.7526	377.5077	335.9662	285.7352	377.4124	335.9598	285.6549
377.4107	335.9245	285.7380	377.5316	335.9752	285.7428	377.4355	335.9696	285.6616
377.4254	335.9247	285.7415	377.7257	335.7610	285.7425	377.4548	335.9750	285.6665
377.4421	335.9272	285.7461	377.7197	335.7416	285.7370	377.4802	335.9869	285.6742
377.4606	335.9311	285.7515	377.7130	335.7223	285.7314	377.5057	335.9985	285.6819
377.4772	335.9329	285.7559	377.7079	335.7044	285.7265	377.7469	335.7333	285.6817
377.4958	335.9367	285.7613	377.7008	335.6854	285.7208	377.7351	335.7105	285.6749
377.5124	335.9379	285.7657	377.6932	335.6662	285.7150	377.7236	335.6883	285.6683
377.5329	335.9429	285.7720	377.3992	335.9441	285.6943	377.7194	335.6712	285.6642
377.5459	335.9397	285.7743	377.4170	335.9480	285.6990	377.7010	335.6445	285.6552
377.7000	335.7996	285.7810	377.4349	335.9524	285.7039	377.3970	335.9585	285.6403
377.6931	335.7791	285.7746	377.4549	335.9582	285.7097	377.4139	335.9614	285.6441
377.6965	335.7671	285.7729	377.4732	335.9620	285.7145	377.4382	335.9729	285.6512
377.6920	335.7492	285.7677	377.4978	335.9724	285.7224	377.4598	335.9809	285.6571
377.6878	335.7315	285.7626	377.5213	335.9808	285.7296	377.4766	335.9829	285.6608
377.6788	335.7103	285.7556	377.7312	335.7503	285.7295	377.5111	336.0044	285.6721
377.6780	335.6960	285.7523	377.7207	335.7281	285.7225	377.7539	335.7385	285.6723

R	H	h	R	H	h	R	H	h
377.6772	335.6817	285.7491	377.7131	335.7083	285.7166	377.7380	335.7127	285.6641
377.6657	335.6597	285.7412	377.7100	335.6921	285.7127	377.7309	335.6934	285.6591
377.4190	335.9340	285.7308	377.7058	335.6752	285.7084	377.7182	335.6703	285.6522
377.4332	335.9337	285.7340	377.6857	335.6471	285.6977	377.7062	335.6482	285.6456
377.3994	335.9614	285.6301	377.7113	335.6517	285.5792	377.4694	335.9748	285.5083
377.4229	335.9721	285.6367	377.4003	335.9627	285.5633	377.4976	335.9893	285.5144
377.4389	335.9736	285.6400	377.4215	335.9704	285.5680	377.7387	335.7561	285.5183
377.4601	335.9812	285.6455	377.4419	335.9771	285.5725	377.7206	335.7281	285.5119
377.4858	335.9933	285.6530	377.4694	335.9919	285.5796	377.7142	335.7091	285.5086
377.7651	335.7468	285.6640	377.7661	335.7475	285.5925	377.7018	335.6861	285.5037
377.7424	335.7158	285.6537	377.7551	335.7251	285.5871	377.6838	335.6594	285.4976
377.7358	335.6970	285.6491	377.7403	335.7001	285.5806	377.4334	335.9505	285.4888
377.7175	335.6697	285.6403	377.7256	335.6755	285.5742	377.4594	335.9635	285.4941
377.7140	335.6536	285.6369	377.7116	335.6519	285.5681	377.7355	335.7685	285.5077
377.3995	335.9616	285.6189	377.3968	335.9583	285.5509	377.7108	335.7208	285.4981
377.4215	335.9704	285.6246	377.4208	335.9695	285.5566	377.7015	335.6997	285.4942
377.4433	335.9787	285.6303	377.4440	335.9794	285.5619	377.6907	335.6781	285.4899
377.4649	335.9869	285.6360	377.4671	335.9894	285.5673	377.4185	335.9336	285.4735
377.4913	335.9996	285.6434	377.7615	335.7442	285.5793	377.4463	335.9486	285.4792
377.7442	335.7171	285.6425	377.7511	335.7222	285.5742	377.4731	335.9619	285.4845
377.7318	335.6940	285.6360	377.7371	335.6979	285.5681	377.4979	335.9724	285.4892
377.7279	335.6771	285.6323	377.7178	335.6699	285.5605	377.7080	335.7472	285.4895
377.7120	335.6522	285.6248	377.7051	335.6474	285.5550	377.7011	335.7274	285.4862
377.3834	335.9592	285.6043	377.3952	335.9564	285.5393	377.6925	335.7069	285.4825
377.4027	335.9654	285.6089	377.4180	335.9663	285.5444	377.6847	335.6872	285.4790
377.4231	335.9723	285.6139	377.4405	335.9755	285.5494	377.6778	335.6686	285.4759
377.4427	335.9780	285.6185	377.4660	335.9879	285.5554	377.4359	335.9368	285.4653
377.4669	335.9891	285.6251	377.4891	335.9971	285.5605	377.4586	335.9456	285.4693
377.4899	335.9980	285.6310	377.7569	335.7407	285.5661	377.4855	335.9587	285.4745
377.7529	335.7235	285.6336	377.7415	335.7151	285.5597	377.5090	335.9676	285.4786
377.7372	335.6979	285.6261	377.7250	335.6892	285.5532	377.5336	335.9774	285.4830
377.7244	335.6746	285.6196	377.7091	335.6638	285.5468	377.7248	335.7896	285.4855
377.7095	335.6504	285.6125	377.6998	335.6436	285.5423	377.7122	335.7650	285.4808
377.7020	335.6319	285.6080	377.4121	335.9593	285.5313	377.7056	335.7454	285.4776
377.4045	335.9676	285.5984	377.4370	335.9714	285.5369	377.6929	335.7213	285.4731
377.4249	335.9745	285.6033	377.4579	335.9786	285.5412	377.6824	335.6993	285.4691
377.4676	335.9899	285.6137	377.4890	335.9969	285.5489	377.6728	335.6783	285.4653
377.4915	335.9998	285.6198	377.7440	335.7312	285.5508	377.4431	335.9283	285.4542
377.7410	335.7007	285.6157	377.7310	335.7075	285.5453	377.4743	335.9463	285.4603
377.7254	335.6755	285.6084	377.7199	335.6855	285.5404	377.4930	335.9501	285.4631
377.7150	335.6544	285.6030	377.7044	335.6604	285.5343	377.5119	335.9541	285.4659
377.7037	335.6332	285.5974	377.4036	335.9493	285.5174	377.5391	335.9662	285.4708
377.4011	335.9635	285.5858	377.4322	335.9658	285.5241	377.7121	335.7943	285.4727
377.4266	335.9764	285.5926	377.4562	335.9767	285.5294	377.6962	335.7669	285.4674
377.4454	335.9812	285.5967	377.4834	335.9907	285.5355	377.6932	335.7501	285.4651
377.4680	335.9904	285.6023	377.7495	335.7498	285.5426	377.6838	335.7286	285.4615
377.4935	336.0020	285.6088	377.7302	335.7209	285.5355	377.6758	335.7082	285.4581
377.7537	335.7241	285.6102	377.7209	335.7001	285.5312	377.6701	335.6902	285.4554
377.7388	335.6990	285.6033	377.7123	335.6800	285.5271	377.4539	335.9237	285.4441
377.7272	335.6765	285.5975	377.6951	335.6538	285.5207	377.4773	335.9330	285.4479
377.7130	335.6529	285.5910	377.4241	335.9564	285.5104	377.5011	335.9425	285.4519
377.3999	335.9620	285.5742	377.4503	335.9700	285.5162	377.5178	335.9436	285.4540
377.4240	335.9733	285.5802	377.4778	335.9843	285.5223	377.5346	335.9445	285.4561
377.4456	335.9814	285.5853	377.5075	336.0005	285.5290	377.6899	335.7913	285.4579

R	H	h	R	H	h	R	H	h
377.4681	335.9903	285.5907	377.7364	335.7399	285.5275	377.6926	335.7786	285.4569
377.4939	336.0025	285.5972	377.7187	335.7124	285.5210	377.6806	335.7544	285.4527
377.7664	335.7477	285.6045	377.7110	335.6929	285.5173	377.6739	335.7350	285.4497
377.7525	335.7233	285.5980	377.6970	335.6689	285.5119	377.6622	335.7117	285.4457
377.7422	335.7015	285.5928	377.4185	335.9499	285.4977	377.6672	335.7017	285.4453
377.7231	335.6737	285.5848	377.4428	335.9614	285.5027	377.4543	335.9079	285.4314
377.4763	335.9158	285.4348	377.5733	335.8709	285.4076	377.6381	335.7782	285.4166
377.5010	335.9257	285.4388	377.5762	335.8581	285.4067	377.6370	335.7627	285.4150
377.5217	335.9311	285.4418	377.5875	335.8533	285.4074	377.6336	335.7455	285.4129
377.5364	335.9301	285.4434	377.5954	335.8453	285.4074	377.6332	335.7309	285.4115
377.5524	335.9300	285.4452	377.6005	335.8346	285.4069	377.5142	335.8754	285.4019
377.6873	335.8194	285.4492	377.6586	335.7658	285.4289	377.5304	335.8761	285.4037
377.6784	335.7969	285.4457	377.6526	335.7466	285.4262	377.5449	335.8745	285.4050
377.6776	335.7813	285.4440	377.6485	335.7291	285.4240	377.6000	335.8191	285.4054
377.6704	335.7608	285.4409	377.6435	335.7112	285.4216	377.6106	335.8136	285.4060
377.6630	335.7406	285.4379	377.5016	335.8940	285.4134	377.6137	335.8014	285.4052
377.6612	335.7251	285.4360	377.5222	335.8991	285.4162	377.6191	335.7913	285.4049
377.6541	335.7056	285.4332	377.5333	335.8946	285.4168	377.6224	335.7794	285.4041
377.4621	335.9004	285.4206	377.5473	335.8929	285.4181	377.6180	335.7614	285.4019
377.4868	335.9106	285.4246	377.5622	335.8915	285.4196	377.6209	335.7493	285.4011
377.5026	335.9110	285.4263	377.5708	335.8840	285.4198	377.5487	335.8474	285.3919
377.5210	335.9141	285.4287	377.5881	335.8852	285.4218	377.5616	335.8444	285.3929
377.5375	335.9146	285.4305	377.6178	335.8816	285.4247	377.5687	335.8359	285.3928
377.5489	335.9104	285.4313	377.6257	335.8730	285.4247	377.5793	335.8304	285.3934
377.5716	335.9170	285.4346	377.6290	335.8604	285.4238	377.5877	335.8230	285.3935
377.5873	335.9161	285.4363	377.6309	335.8468	285.4226	377.5895	335.8099	285.3925
377.6704	335.8509	285.4390	377.6360	335.8360	285.4221	377.5933	335.7984	285.3918
377.6598	335.8111	285.4336	377.6327	335.8180	285.4199	377.5975	335.7873	285.3913
377.6561	335.7932	285.4313	377.6386	335.8078	285.4196	377.5994	335.7742	285.3903
377.6572	335.7793	285.4300	377.6398	335.7941	285.4184			

Die 19 Punkte vom unteren Rand des Rundlochs, die systematisch nach außen vom besten Kegel abweichen und für die letzte Stufe der Kegelanpassung entnommen wurden:

R	H	h
377.4858	335.8935	285.4117
377.4823	335.8740	285.3985
377.4993	335.8758	285.4003
377.6209	335.7350	285.3997
377.5117	335.8575	285.3891
377.5243	335.8543	285.3901
377.5378	335.8520	285.3912
377.6035	335.7633	285.3897
377.6063	335.7515	285.3890
377.5224	335.8373	285.3776
377.5313	335.8309	285.3779
377.5424	335.8263	285.3785
377.5543	335.8225	285.3794
377.5591	335.8119	285.3789
377.5690	335.8061	285.3793
377.5687	335.7912	285.3780
377.5768	335.7838	285.3781
377.5841	335.7757	285.3782
377.5910	335.7671	285.3781

Zur Georeferenzierung dieser Punkte

Den Laserscans werden die Koordinaten jener Punkte entnommen, für die das Kreisvermessungsamt Detmold auch eine Festpunktbestimmung im geodätischen Gauß-Krüger-System durchgeführt hat (Koordinatentripel (R, H, h), siehe Anhang 1). Für diese Punkte liegen dann Koordinatensätze in beiden Systemen vor (R, H, h) und (x, y, z). Mittels Anpassungsrechnung nach der Methode der kleinsten Abstandsquadrate werden jene Bestimmungsgrößen ermittelt, mit deren Hilfe sich die Daten des Laserscans in Koordinaten des Gauß-Krüger-Systems umrechnen lassen. Für die (R, H)-Ebene erfolgt das durch Rotation der (x,y)-Koordinaten um den Koordinatenschwerpunkt in der (x,y)-Ebene und den anschließenden Bezug der rotierten Daten auf den Koordinatenschwerpunkt der gleichen Punkte in der (R,H)-Ebene. Für die Höhenkoordinate erfolgt dies unmittelbar durch Vergleich der z-Koordinaten mit den Höhenwerten h der Fixpunkte. Die Residuen der Anpassungsrechnungen ermöglichen auch eine Aussage über die Genauigkeit dieser Georeferenzierung. Der mittlere Fehler für die Umeichung der (x, y, z)-Koordinaten ins (R, H, h)-System liegt bei 3 mm.
Die Laserscandaten selbst sind von viel höherer relativer Genauigkeit; durch den Bezug dieser Daten auf die verwendeten 23 Fixpunkte (zumeist die Eckpunkte der erhaltenen Wände im Sazellum) verliert man aber einen Teil der Genauigkeit. Der Grund dafür liegt in der Schwierigkeit, die Messpunkte der Theodolitmessung (z.B. leicht abgerundete Mauereckpunkte) in den Laserscandaten auf den Millimeter genau zu identifizieren.

Die relative Genauigkeit der Theodolitmesspunkte (Anhang 1) liegt bei 5 mm, die absolute Genauigkeit im Gauß-Krüger-System bei 1 - 2 cm. Die relative Genauigkeit der ins Gauß-Krüger-System umgerechneten Laserscanpunkte liegt folglich im Bereich von 1 cm, was über die Größe des Sazellums von ca. 5 m gerechnet zu einem typischen Winkelfehler von 0,1° führt. Für den verwendeten Laserscan-Datensatz (siehe Abb. 1) ergaben sich schließlich folgende Eichformeln für die Georeferenzierung im Gauß-Krüger-System:

$R = x' + 3494375{,}4627 \qquad H = y' + 5748333{,}4993 \qquad h = z + 285{,}1567$

Darin sind x´ und y´ die bezüglich des Punktes x = -0,5177 und y = +1,37643 um den Winkel 236,882° im Urzeigersinn rotierten Koordinaten x und y:

$x' = \cos(236{,}882°) * (x + 0{,}5177) + \sin(236{,}882°) * (y - 1{,}3743)$
$y' = -\sin(236{,}882°) * (x + 0{,}5177) + \cos(236{,}882°) * (y - 1{,}3743)$

Mit Hilfe dieser Formeln lassen sich die (x, y, z)-Datenpunkte des Laserscans, die eine relative Genauigkeit von Bruchteilen eines Millimeters aufweisen, in Gauß-Krüger-Koordinaten überführen. Die relative Genauigkeit der hochpräzisen Laserscandaten von ca. 0,1 Millimeter leidet durch die Umrechnungsprozedur in geodätische Koordinaten nicht.

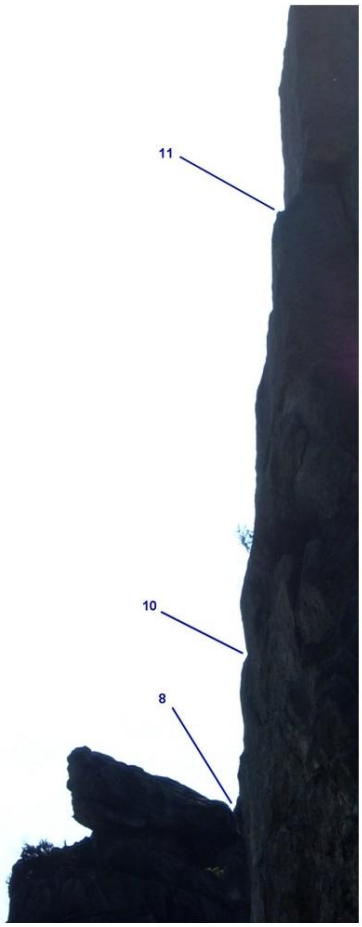
Anhang 3: Horizontalkoordinaten der Theodolitmesspunkte von der Felsenkante

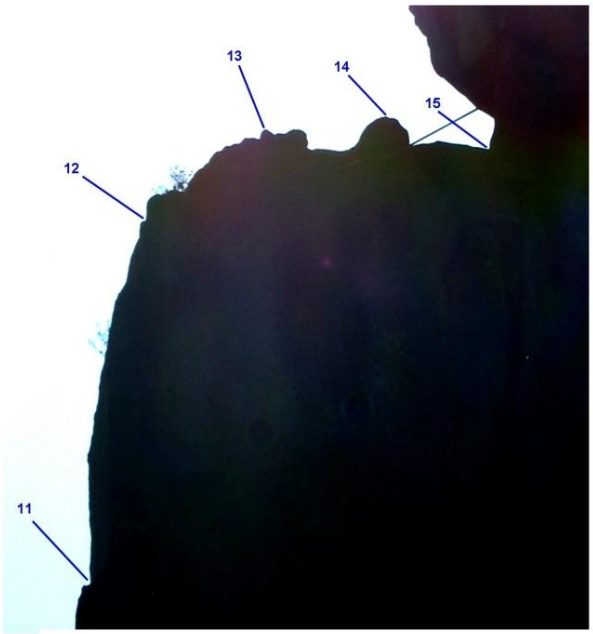
Aufgenommen mit einem Minutentheodoliten am 26. Juli 2012 von B. Junkermann (Protokoll) und dem Verfasser. Die Azimute wurden anhand von Sonnenstandsmessungen mit der Zeit-Azimut-Methode bestimmt. Die Genauigkeit der Messpunkte liegt bei 0,01° - 0,02°.

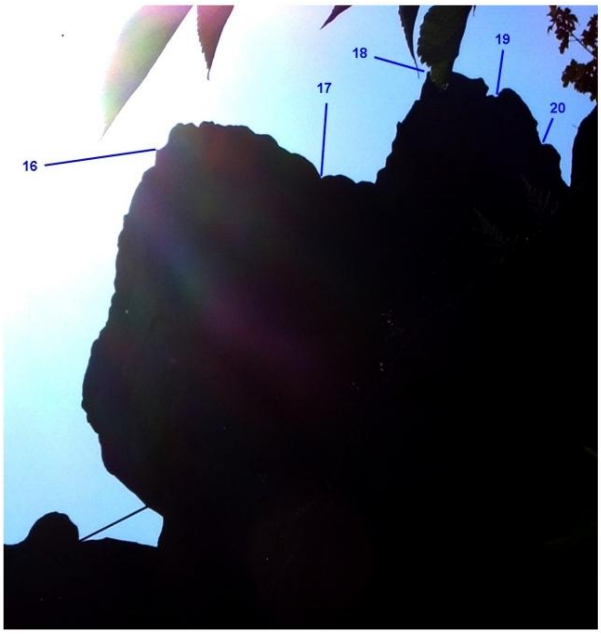
A) Gesamte Felsenkante

Punkt	Azimut	Höhe
1	140,02	30,77
2	138,66	30,20
3	138,50	28,20
4	138,24	27,12
5	136,76	23,06
6	137,06	24,81
7	139,86	32,04
8	142,45	31,11
9	139,52	31,87
10	142,75	33,54
11	143,42	40,19
12	144,31	45,32
13	146,75	46,61
14	149,23	46,74
15	151,30	46,19
16	151,64	51,83
17	155,37	51,23
18	158,09	52,49
19	159,53	52,01
20	160,39	51,26


7
9
8
1
2
3
4
6
5

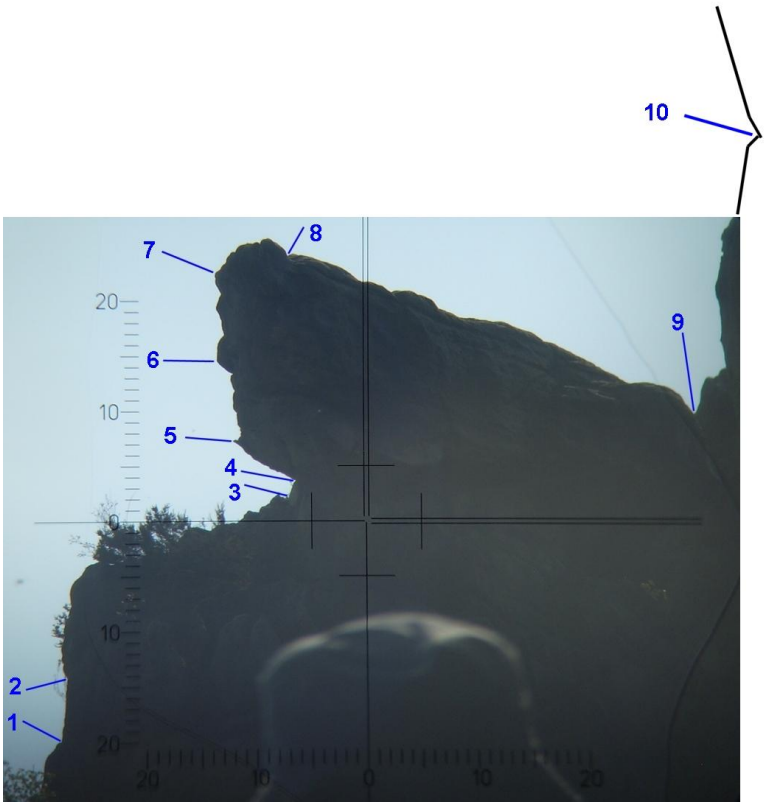

11
10
8


13
14
15
12
11


18
19
17
20
16

B) Detailaufnahme Wackelstein

Punkt	Azimut	Höhe
1	138,60	29,43
2	138,64	29,74
3	139,98	30,68
4	140,02	30,77
5	139,65	30,99
6	139,53	31,40
7	139,51	31,87
8	139,94	31,99
9	142,44	31,12
10	142,75	33,54





C) Zum Standort des Theodoliten

Der Theodolit stand nicht lotrecht über dem Mittelpunkt des Podestes, sondern über der Kreuzmarke, auf die der weiße Pfeil zeigt. Die Maße der Seiten der Standfläche sind 58 cm (im Bild oben), 52 cm (unten), 50 cm (links) und 45 cm (rechts). Der Theodolit steht folglich ca. 10 bis 15 cm links der Mittelachse des Podestes. Die optische Achse lag 140 cm über der Kreuzmarke bzw. 160 cm über dem Podestniveau.