

Erfassung und Analyse von Laserscandaten zur Unterstützung der Landschaftsarchäologie

SILKE BOOS¹, SABINE HORNUNG², PATRICK JUNG², HARTMUT MÜLLER¹

Landschaftsarchäologische Forschung beschäftigt sich mit dem Aufspüren historisch relevanter Funde und Befunde zum Zwecke der Annäherung an den historischen Landschaftsraum. Dieses Ziel wird über eine Kombination verschiedener Prospektionsmethoden wie Feldbegehungen, Luftbildarchäologie und geophysikalischer Messmethoden verfolgt. Eine wichtige Grundlage für die Visualisierung der Landschaft bilden Digitale Geländemodelle (DGMe). Sie dienen aber nicht nur alleine der Repräsentation der Topographie, sondern können ebenfalls wichtige Hinweise auf archäologische Strukturen geben. In diesem Zusammenhang stellen hochauflösende, aus Airborne Laserscanning (ALS)-Daten erzeugte DGMe ein hilfreiches Instrument dar. Häufig zeigt sich aber, dass die Punktdichte der ALS-Daten in bewaldeten Gebieten zu gering ist, um sehr feine Strukturen zu reproduzieren. In diesem Fall kann eine Vermessung des Geländes mittels terrestrischem Laserscanning Abhilfe leisten.

Die angesprochenen Methoden des Laserscannings wurden im Rahmen eines Forschungsprojekts des Instituts für Vor- und Frühgeschichte der Universität Mainz zum keltischen oppidum „Hunnenring“ und dessen Umfeld angewandt und erprobt.

1 Einleitung

Die Erfassung eines vor- und frühgeschichtlichen Landschaftsraums mit seinem Netz aus menschlichen Siedlungen, ihren Acker- und Weideflächen und natürlichen Ressourcen sowie ihren Netzwerken aus Bestattungsplätzen und sakralen Zentralorten wird in der archäologischen Forschung als Landschaftsarchäologie bezeichnet. Gemeinhin bringt man archäologische Forschung häufig mit Ausgrabungen oder Analysen von Fundobjekten als wissenschaftliche Methoden in Verbindung; Landschaftsarchäologie hingegen kann diesem Anspruch aufgrund ihrer Betrachtung auf dem Landschaftsmaßstab kaum gerecht werden, da die Ausgrabung ganzer Landschaften nicht realisierbar ist. Sie stützt sich daher auf spezielle Prospektionsmethoden wie die Kartierung von Einzelfunden, geophysikalische Messmethoden und Luftbildarchäologie, die dem Aufspüren sowie der systematischen Erfassung von Funden und Befunden dienen, ohne diese zunächst in ihrem Bestand zu stören (BOFINGER, J., KURZ S. & SCHMIDT S., 2006).

In jüngerer Zeit werden zunehmend Methoden und Technologien der Photogrammetrie und Geoinformatik eingesetzt, um sich dem historischen Lebensraum zu nähern. Insbesondere der Einsatz von Laserscanning-Technologien eröffnet für die landschaftsarchäologische Forschung ganz neue Möglichkeiten. Zur großflächigen Erfassung der Geländeoberfläche hat sich in den letzten Jahren besonders Airborne Laserscanning (ALS) etabliert. Es wurden bereits eine Reihe

¹ Institut i3mainz, am Fachbereich 1 - Geoinformatik und Vermessung, Fachhochschule Mainz, Holzstrasse 36, 55116 Mainz, boos@geoinform.fh-mainz.de, mueller@geoinform.fh-mainz.de

² Institut für Vor- und Frühgeschichte der Universität Mainz, Schillerstr. 11, 55116 Mainz, hornusa@uni-mainz.de, patjung@uni-mainz.de

von Untersuchungen durchgeführt, die einer Verwendung von ALS-Daten speziell für archäologische Zwecke einen deutlichen Zugewinn an archäologisch relevanter Information konstatieren (CHALLIS, K., 2006, SITTLER, B., 2004). Die aus ALS-Daten erzeugten hochauflösenden Digitalen Geländemodelle (DGMe) dienen dabei zum einen der möglichst detaillierten Repräsentation der Landschaft, schöpfen ihr Potential aber ganz besonders aus der Interpretation des Bildes und dem Erkennen bisher unbekannter archäologischer Strukturen. Vor allem in bewaldeten Gebieten, die bislang nur sehr kleinräumig und mühsam prospektiert werden konnten und wo die klassische Luftbildarchäologie an ihre Grenzen stößt, zeigen sich die hervorragenden Möglichkeiten eines Einsatzes von ALS-Daten für archäologische Zwecke (DEVEREUX, B.J., AMABLE, G.S., CROW, P. & CLIFF, A.D., 2005, KRAUS, K. & PFEIFER, N, 1998). Bisher gebräuchlich in der archäologischen Feldforschung zur Erfassung archäologisch relevanter Reliefmerkmale ist die Vermessung des Geländes mit Hilfe eines Tachymeters. Hierzu wird die Geländeoberfläche über regelmäßig verteilte Punkte vermessen und das Punktraster in Bereichen anthropogen überformter Reliefveränderungen verdichtet. Hier zeigt sich ein weiterer großer Vorteil der Datenerfassung durch ALS gegenüber der Tachymetrie, da diese völlig unabhängig von der Interpretation der Topographie ist und Informationsverluste durch nicht erkannte Strukturen vermeiden lässt. Jedoch ist die Erfassung archäologischer Strukturen auch abhängig von der durch ALS erzielten Punktdichte auf der Geländeoberfläche. In sehr dicht bewaldeten Gebieten kann eine unzureichende Durchdringung der Baumkronen bewirken, dass archäologische Strukturen nicht erfasst werden. In solchen Fällen lässt sich in archäologisch interessanten Bereichen durch die Vermessung des Geländes mit Hilfe eines terrestrischen Laserscanners Abhilfe leisten.

Die Visualisierung der mittels Laserscanning erfassten Punkte als DGM erfolgt in einem Geographischen Informationssystem (GIS). Anders als bei der Darstellung eines Luftbilds lässt sich die Interpretation eines DGM durch Änderung verschiedener Faktoren in einem GIS variieren. So ist es zum Beispiel möglich, Faktoren der Schatteneigenschaften zu beeinflussen (Höhe des Reliefs, Richtung der Schattierung im Bezug auf lineare Strukturen, Position der Sonne) oder sekundäre Modelle wie Hangneigung, Aspekt und Krümmung abzuleiten, wodurch bestimmte Reliefmerkmale hervorgehoben werden können.

2 Das Untersuchungsgebiet

Seit Ende 2006 wird am Institut für Vor- und Frühgeschichte der Universität Mainz das Umfeld des keltischen *oppidum* „Hunnenring“ im nördlichen Saarland untersucht. Wertvolle Funde im näheren Umfeld des Hunnenrings weisen auf die Ansiedlung einer keltischen Oberschicht in dieser heute peripher gelegenen Mittelgebirgsregion hin. Im 2. und 1. Jh. v. Chr. bzw. evtl. erstmals schon um 400 v. Chr. diente das 18,5 ha große Dollbergplateau einer größeren Gemeinschaft als zentrale Siedlung und hatte die Funktion eines ökonomischen, politischen und religiösen Zentralortes inne. Aber auch für die folgende römische Zeit deuten sich vielerorts Kontinuitäten an, die in der Entstehung einer dorffartigen Ansiedlung mit zentralörtlichem Charakter gipfeln (WIEGERT, M., 2002).

Im Mittelpunkt des archäologischen Interesses steht die Frage, welche ökonomischen Faktoren die keltisch-römische Besiedlung des Hunnenrings und seines weiteren Umfelds in vor- und

frühgeschichtlicher Zeit beeinflusst haben. Die nährstoffarmen und staunassen Böden der Region dürften kaum einer über Subsistenz hinaus reichenden Landwirtschaft gedient haben. Vielmehr legen die reichen Eisenerz- und Kupfervorkommen der Gegend die Vermutung nahe, dass diese schon in vorgeschichtlicher Zeit als bedeutsame wirtschaftliche Grundlage gedient haben.

Ziel der landschaftsarchäologischen Untersuchungen ist daher der Nachweis nicht nur einer



Verhüttung lokaler Erze bereits in keltisch-römischer Zeit, sondern vielmehr ihre Stellung als möglicherweise primärer Wirtschaftsfaktor der Region, der auch vor dem Hintergrund geologischer Untersuchungen zu Metallgehalt und Verhüttungstechniken zu beurteilen sein wird.

Die Prospektionsarbeiten des Jahres 2007 konzentrierten sich im wesentlichen auf eine ca. 20 ha große Fläche 1,2 km südöstlich des Hunnenrings nahe der Ortschaft Schwarzenbach, auf der bei archäologischen Arbeiten Mitte der 80er Jahre ein gallo-römischer Tempel mit umgebender Zivilsiedlung ausgegraben wurde (MIRON, A., 2000). Das

Abb. 1: Das Untersuchungsgebiet und sein näheres Umfeld.

Siedlungsareal befindet sich im Gewann „Auf dem Spätzrech“ und besteht heute aus mehreren zum Getreideanbau genutzten Flächen, Wiesen und mehreren brachliegenden Parzellen sowie den angrenzenden Waldflächen (Abb.1). Der Wald östlich und westlich der landwirtschaftlichen Nutzflächen wird teilweise durch Fichtenschonungen gebildet, während im Norden und dem sich nordwestlich erstreckenden Münzbachtal, das einen markanten Einschnitt ins Gelände darstellt, lockerer Mischwald steht. Besonders augenfällig ist die anthropogene Überformung des Münzbachtals. Hier sticht ein neuzeitlicher Steinbruch hervor, aber auch ein Fußpfad und markante Steinsetzungen auf der Geländeoberfläche, die eine direkte Wegeverbindung zum Hunnenring vermuten lassen, gehören zu den charakteristischen Merkmalen dieses Geländeabschnitts.

Die Prospektionen hatten zum Ziel, einen weiteren Erkenntnisgewinn über die Ausdehnung der römischen Siedlung zu erreichen und Hinweise auf alte Eisenverarbeitung oder -verhüttung zu finden.

3 Methodik und Ergebnisse

Als zweites Bundesland nach Baden-Württemberg stellt das Saarland seit kurzem flächendeckend ALS-Daten bereit, die bei einer Befliegung im Frühjahr 2006 erhoben wurden. Für das Untersuchungsgebiet wurde für einen Bereich von 9 km² ein ALS-Datensatz angeschafft, mit dessen Hilfe ein DGM berechnet werden konnte. Dieses diente als Grundlage für die

archäologischen Prospektionstätigkeiten und bildete den Ausgangspunkt für Analysen in einem GIS. Ein Teil des stark reliefierten und anthropogen überformten Münzbachtals wurde in einem weiteren Schritt mit einem Terrestrischen Laserscanner erfasst.

Im Folgenden werden die angewandten Methoden betrachtet, deren Verwendung im Rahmen des Projektes beschrieben und die Ergebnisse diskutiert.

3.1 Airborne Laserscanning

Das Verfahren des ALS beruht auf der Abtastung der Geländeoberfläche durch einen in einem Flugzeug installierten Laserscanner, der bei einer Datenrate von bis zu 100000 Punkten pro Sekunde eine räumliche Auflösung von bis zu 25 Laserpunkten/m² erreichen kann (MAAS, H.-J., 2005). Durch die seitliche Ablenkung des Laserstrahls über einen Scanmechanismus und die Vorwärtsbewegung des Flugzeugs wird ein Geländestreifen unter dem Flugzeug abgetastet. Die Positions- und Orientierungsparameter der Flugzeugplattform werden mit Hilfe eines im Flugzeug integrierten sog. GPS/INS-Systems ermittelt. In Kenntnis über Lage und Orientierung der Flugzeugplattform kann über die Laufzeitmessung des Laserpulses die Position des Reflektionsobjekts auf der Geländeoberfläche rekonstruiert werden und somit dessen 3D-Koordinaten mit einer Höhengenaugigkeit von 10 – 20 cm (im flachen Gelände) bestimmt werden. Eine charakteristische Eigenschaft von Laserscannern ist die Unterscheidung von Mehrfachreflektionen. Für einen einzelnen Laserpuls können über die Vegetation mehrere Reflexionen beobachtet werden, da Teile des Lichtimpulses am Bewuchs reflektieren können, während andere bis zur Geländeoberfläche durchdringen. Der bei einer ALS-Befliegung aufgezeichnete Datensatz wird deshalb mit Hilfe spezieller Programme durch Filter- und Klassifikationsmethoden prozessiert, welche die Auftrennung der Punktwolke in Boden- und Nichtbodenpunkte bewirkt. In Abhängigkeit von der Fragestellung lassen sich so aus den zugrunde liegenden Daten ein Digitales Oberflächenmodell (DOM), für das sowohl die erste als auch die letzte Reflektion verarbeitet wird, oder aber ein DGM, welches nur die letzte Reflektion berücksichtigt, generieren.

Für das Untersuchungsgebiet „Am Spätzrech“ wurde aus last-pulse-Daten, die eine mittlere Punktdichte von 1,5 Punkten/m² aufwiesen, in der Software ESRI ArcGIS 9.2 ein DGM mit einer Auflösung von 0,5 m berechnet. Aus diesem wurden Schummerungsdarstellungen aus verschiedenen Himmelsrichtungen abgeleitet. Die archäologische Interpretation dieser Darstellungen zeigte, dass die Visualisierung des DGM mit Beleuchtung aus Nordwest die aus historischer Sicht interessanten Reliefmerkmale am deutlichsten hervorheben. Großes Interesse erweckte bei den Archäologen eine langschmale Erhebung, die sich südlich des gallo-römischen Tempels in west-östlicher Richtung erstreckt (Abb. 2a). Diese Struktur, die im Gelände mit dem bloßen Auge kaum auszumachen ist, wurde bei den Ausgrabungen der 80er Jahre als Grenze der römischen Siedlung angesprochen. Die Prospektionen des Jahres 2007 konnten diese These jedoch widerlegen. Bei den Arbeiten im Untersuchungsgebiet wurden mehr als 1400 Einzelfunde tachymetrisch eingemessen, welche sich zu großen Teilen aus römischen Dachziegeln und Keramikfragmenten zusammensetzen. Die Visualisierung der Funde im GIS in Kombination mit dem DGM lässt erkennen, dass sich die Funde auch jenseits der vermuteten Grenze der römischen Siedlung fortsetzen, diese also eine größere Ausdehnung gehabt haben wird als bisher vermutet (Abb. 2b). Auch wird deutlich, dass sich der Kern der Siedlung nahe dem Tempel

befunden haben muss und die Besiedlung mit zunehmender Entfernung zum Tempel analog zur Ausdünnung der Funde auch weniger dicht gewesen sein wird. Weiterhin gut im DGM zu erkennen, ist der neuzeitliche Steinbruch im Münzbachtal, und auch der angesprochene Fußpfad, der oberhalb des Münzbachs verläuft, wird durch das DGM sehr detailliert herausgearbeitet. Es zeigt sich aber auch, dass das Relief stellenweise nur unzureichend und sehr unstrukturiert wiedergegeben ist. Diese Bereiche decken sich häufig mit denen, wo die Punktdichte deutlich unter einem Punkt/m² liegt und somit bei einer Auflösung des DGM von 0,5 m nur ungenügend repräsentiert werden können. Deshalb entschieden wir uns, im Münzbachtal den Bereich des neuzeitlichen Steinbruchs mit einem terrestrischen Laserscanner aufzunehmen.

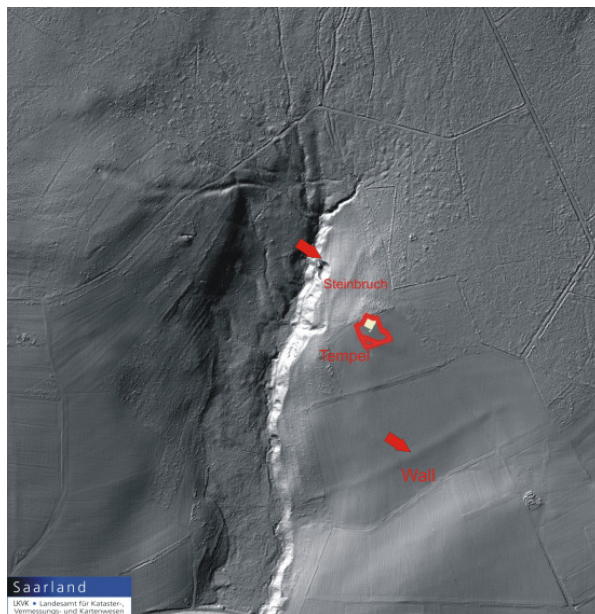


Abb. 2a: DGM des Untersuchungsgebietes als Schummerungsdarstellung (Beleuchtung aus NW).

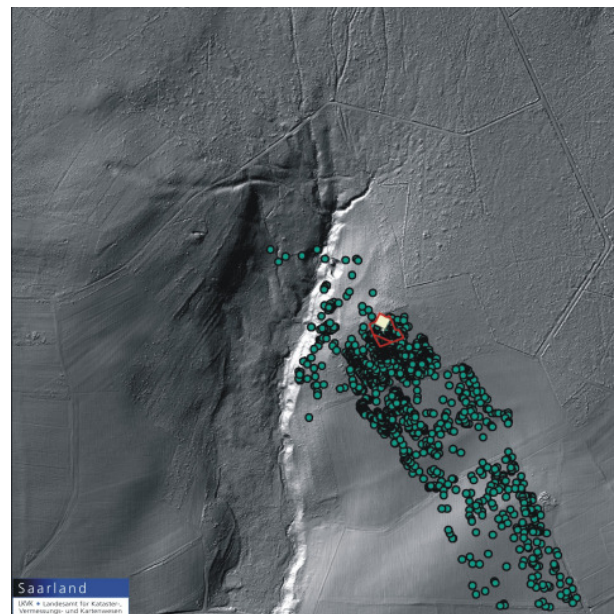


Abb. 2b: Fundverteilung im Untersuchungsgebiet.

3.2 Terrestrisches Laserscanning

Terrestrisches Laserscanning (TLS) ist auf dem besten Wege sich als 3D-Messtechnik neben der Photogrammetrie und Tachymetrie zu etablieren. In der Archäologie hat sich diese Methode für die Erfassung von Baudenkmalern und Objekten jeglicher Art bereits vielfach bewährt (BÖHLER, W., BORDAS VICENT, M., HEINZ, G., MARBS, A. & MÜLLER, H., 2004, HEINZ, G., MÜLLER, H., 2005). Aber auch für topographische Aufnahmen konnte die Eignung des TLS zur detaillierten Dokumentation des Reliefs nachgewiesen werden (HÖNNIGER, C. & KERSTEN, T., 2005, HÖNNIGER, C., KERSTEN, T. & MESCHELKE, K., 2004).

Beim TLS wird ein gewählter Betrachtungsbereich mittels berührungsfreier Lichtpunktabtastung rasterförmig vermessen, wobei wie beim ALS die Laufzeit und die jeweilige spektrale Reflektionsintensität erfasst werden. Bei der Erfassung einer Oberflächengeometrie ergibt sich so zunächst eine digitale Punktwolke, die neben den 3D-Punktkoordinaten (x,y,z) auch den Intensitätswert für jeden gemessenen Punkt aufweist. Manche Scanning-Systeme verfügen über

die Möglichkeit, zur besseren Visualisierung in Kombination mit einer Digitalkamera jedem Punkt zusätzlich den RGB-Farbwert zuzuordnen.

Derzeit befinden sich eine ganze Reihe verschiedener terrestrischer Laserscan-Systeme auf dem Markt, die sich hinsichtlich ihres Messprinzips sowie ihrer Genauigkeit und Reichweite unterscheiden. Laserscanner, die nach dem Impulslaufzeitverfahren arbeiten, können Distanzen von bis zu mehreren hundert Metern messen, erreichen aber eine geringere Genauigkeit als Phasenscanner, welche aufgrund ihres Messprinzips aber nur Distanzen von weniger als 100 m erreichen lassen (BÖHLER, W., MARBS, A., 2002). Für topographische Aufnahmen eignen sich aufgrund der größeren Reichweite daher eher Laserscan-Systeme, die nach dem Impulslaufzeitverfahren arbeiten.

Im Untersuchungsgebiet wurde der angesprochene neuzeitliche Steinbruch und seine Umgebung in einem Bereich von ca. 1 ha mit dem Laserscanner HDS 3000 der Firma Leica aufgenommen. Dieser arbeitet nach dem Impulslaufzeitverfahren und verfügt über die aus Tabelle 1 zu entnehmenden Systemspezifikationen.

Abschattungseffekte, verursacht durch den lockeren Mischwald des Untersuchungsgebiets, erforderten die Aufnahme über 9 verschiedene Standpunkte. Das Gelände wurde mit einer Auflösung von 5 cm/15 m aufgenommen. Für die Registrierung der Einzelscans wurden 7 Kugeln der Firma Leica verwendet, deren Landeskoordinaten zusätzlich tachymetrisch bestimmt wurden. Die Registrierung der über 2 Millionen Einzelpunkte erfolgte in der Leica-Software *Cyclone 5.6*. Ein im Rahmen einer Diplomarbeit an der Fachhochschule Mainz (EMIG, S. & RASEL, S., 2007) entwickeltes Programm ermöglichte es, störende vertikale Objekte (in der Hauptsache Bäume) im großen Umfang zu entfernen. Dieses Programm fügt die Punktwolke des Laserscans zunächst in ein definiertes Raster ein und filtert für jede Zelle den tiefsten Punkt heraus. Über Nachbarschaftsoperatoren können weitere störende Punkte gelöscht werden. Die stark ausgedünnte Punktwolke konnte nach diesen Vorverarbeitungsschritten im Programm *Raindrop Geomagic 9.0* so weit nachbearbeitet werden, dass nur noch Punkte der Geländeoberfläche übrig blieben. Aus den resultierenden 200000 Restpunkten des Laserscans wurde in ArcGIS ein DGM berechnet und in ESRI ArcScene als Triangulated Irregular Network (TIN) in 2,5 D-Darstellung visualisiert. Ein Vergleich mit einem TIN aus ALS-Daten des gleichen Geländeabschnitts stellt klar den größeren Detailreichtum des TLS-TIN heraus.

Die Interpretation des Laserscans durch die Archäologen ließ eine linienförmige Struktur erkennen, die quer in das Bachtal des Münzbachs abfällt und sich auf der anderen Seite des Ufers

Tab.1: Systemspezifikationen des HDS 3000

Reichweite	100 m
Messrate	1.800 pts/sec.
Ausschnitt	270° x 360°
Lasersklasse	3R
Strahlöffnung	<6mm bei 50m
Schrittweite	max. 20.000 pts/row max. 5.000 pts/row
- horizontal	
- vertikal	
Genauigkeit	4mm / 50m
- Entfernung	60 microrad
- Winkel (Hz)	60 microrad
- Winkel (V)	
Gewicht	16 kg (ohne Batterie)

fortsetzt. Diese könnte möglicherweise mit den bereits angesprochenen Steinsetzungen, die eine Wegeverbindung zum Hunnenring vermuten lassen, in Verbindung gebracht werden.

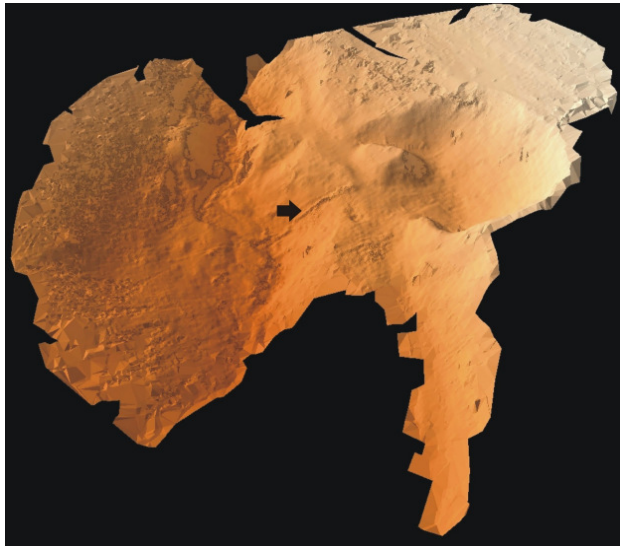


Abb. 3a: Terrestrischer Laserscan des neuzeitlichen Steinbruch als 2,5D-Darstellung in ArcScene.



Abb. 3b: Airborne Laserscan des neuzeitlichen Steinbruch als 2,5D-Darstellung in ArcScene.

4 Fazit und Ausblick

Das vorgestellte Forschungsprojekt konnte zeigen, dass die Verwendung von ALS-Daten und deren Visualisierung als hochauflösendes DGM entscheidende Hilfestellung für archäologische Prospektionsvorhaben leisten kann. Es zeigte sich auch, dass der Einsatz eines terrestrischen Laserscanners für kleinräumige Geländeaufnahmen selbst in bewaldeten Gebieten eine lohnende Alternative zur Tachymetrie und dem ALS darstellt.

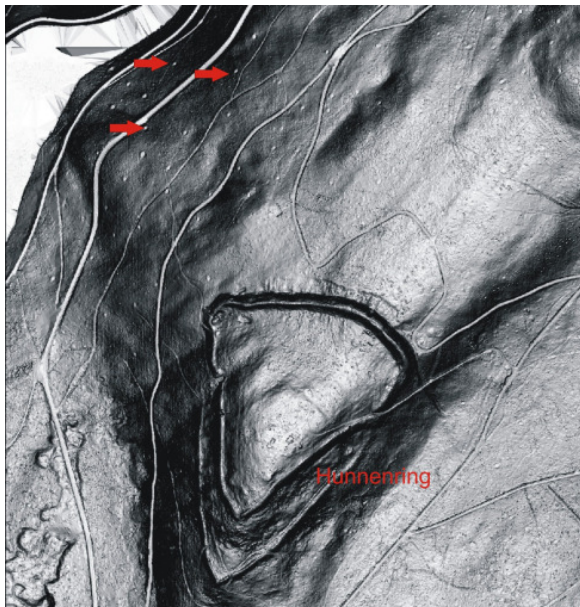


Abb.4: Neuzeitliche Meilerplätze nahe des Hunnenring in slope-Darstellung.

Die weiteren Forschungen werden sich auf den Nachweis von primären Bergbauspuren konzentrieren. Wichtiger Ausgangspunkt stellt in diesem Zusammenhang die Auswertung und Visualisierung weiterer ALS-Daten dar. Erste Ergebnisse konnten für ein größeres Gebiet nordwestlich des Hunnenrings eine Vielzahl auffälliger kreisrunder Strukturen mit Durchmessern von bis zu 12 m ausmachen (Abb. 4).

Diese wurden von den Archäologen bei einer Feldbegehung als neuzeitliche Meilerplätze identifiziert und werden wahrscheinlich den Ausgangspunkt für die nächste Prospektionskampagne darstellen. Weiterhin ist es geplant, im GIS die für die Standortwahl von Siedlungen wichtigen Kriterien wie Gewässernähe, Hangneigung, Bodengüte etc. zu kombinieren und zum archäologischen Befund in Bezug zu setzen, um daraus weitere potentielle Fundstellen ableiten zu können.

5 Literaturverzeichnis

- BÖHLER, W., BORDAS VICENT, M., HEINZ, G., MARBS, A. & MÜLLER, H., 2004: High Quality Scanning and Modeling of Monuments and Artifacts - - Proceedings of the FIG Working Week 2004, May 22-27 - Athens, Greece. Published by FIG. – 2
- BÖHLER, W., MARBS, A., 2002: 3D Scanning Instruments - - CIPA, Heritage Documentation - International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording - Corfu, Greece – 2002.
- BOFINGER, J., KURZ S. & SCHMIDT S., 2006: Ancient Maps - modern data sets: different investigative techniques in the landscape of the Early Iron Age princely hill fort Heuneburg, Baden- Württemberg. In: S. Campana u. M. Forte (Hrsg.), From Space to Place. 2nd International Conference on Remote Sensing in Archaeology [Proceedings 2nd Internat. Workshop Rome, Italy 2006]. BAR Internat. Ser. 1568 (Oxford 2006).
- CHALLIS, K., 2006: Airborne Laser Altimetry in Alluviated Landscapes. *Archaeological Prospection*, 13 (2), 103 – 127.
- DEVEREUX, B.J., AMABLE, G.S., CROW, P. & CLIFF, A.D., 2005: The potential of airborne lidar for detection of archaeological features under woodland canopies. *Antiquity*, 79, 648 – 660.
- EMIG, S. & RASEL, S., 2007: Dokumentation von historischen Geländestrukturen und Analyse von Laserscannerdaten. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der FH Mainz.
- HEINZ, G., MÜLLER, H., 2005: Surveying of Pharaohs in the 21st Century - - Proceedings of the FIG Working Week 2005, April 2005 - Cairo, Egypt - 2005 -
- HÖNNIGER, C. & KERSTEN, T., 2005: Topographische Aufnahme der sächsischen Ringwallanlage Willenscharen mit dem 3D-Laserscanning-System Mensi GS100. *Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik - Beiträge der 4. Oldenburger 3D-Tage 2005*, 224- 231.
- HÖNNIGER, C., KERSTEN, T. & MESCHELKE, K., 2004: Topographische Geländeaufnahme mit terrestrischem Laserscanner. *Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V.*, Band 13, 24. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF, 333-340.
- KRAUS, K. & PFEIFER, N., 1998: Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. *IPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 53, 193 – 203.
- MAAS, H.-J., 2005: Akquisition von 3D-GIS Daten durch Flugzeuglaserscanning. *Kartographische Nachrichten*, Vol 55, Heft 1, 3 – 11.

- MIRON, A., 2000: Der Tempel von Schwarzenbach „Spätzrech“, Kr. St. Wendel. Zur Aufarbeitung eines Altfundkomplexes. In: A. Haffner/S. von Schnurbein (Hrsg.), Kelten, Germanen, Römer im Mittelgebirgsraum zwischen Luxemburg und Thüringen [Koll. Trier 1998]. Koll. Vor- u. Frühgesch. 5 (Bonn 2000) 397-407.
- SITTLER, B., 2004: Revealing historical landscapes by using airborne laser scanning. Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment, Proceedings of the ISPRS working group VIII/2 Volume XXXVI, Part 8/W2, 258-261.
- WIEGERT, M., 2002: Der “Hunnenring” von Otzenhausen, Lkr. St. Wendel. Die Siedlungsfunde und Bebauungsstrukturen einer spätlatenezeitlichen Höhenbefestigung im Saarland. Internat. Arch. 65. Rahden, 2002.