

# Kombination von GPR- und LiDAR-Daten zur Generierung eines 3D-Modells am Fallbeispiel eines archäologischen Fundorts in Strettweg, Bezirk Murtal

Nicole KAMP<sup>1</sup>, Stefan RUSS<sup>2</sup>, Oliver SASS<sup>3</sup>,  
Georg TIEFENGRABER<sup>4</sup> und Susanne TIEFENGRABER<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Land Steiermark, Abteilung 7 Landes- und Gemeindeentwicklung · niki.kamp@gmail.com

<sup>2</sup>IFFB Geoinformatik – Z\_GIS, Universität Salzburg

<sup>3</sup>Institut für Geographie und Regionalforschung, Karl Franzens Universität Graz

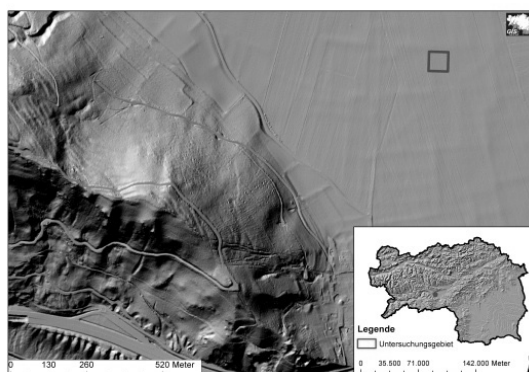
<sup>4</sup>Institut für südostalpine Bronze- und Eisenzeitforschung ISBE, Graz

## Zusammenfassung

Im Jahr 1851 wurde in Strettweg bei Judenburg ein Opferwagen, der um das Jahr 600 vor Christus datiert wurde, und der als eines der Prunkstücke der steirischen Archäologie gilt, samt anderer Grabbeigaben in einem Acker gefunden. Mehr als 160 Jahre später machen es modernste geophysikalische Methoden und Airborne LiDAR möglich, den Fundort des „Strettweger Opferwagens“, zahlreiche weitere Hügelgräber und die größte prähistorische Siedlung im Südostalpenraum (Falkenberg) ausfindig zu machen. Die aus diesen Messtechniken gewonnenen Daten dienen einem Team von Archäologen unter der Leitung von Dr. Georg und Mag. Susanne Tiefengraber (Institut für südostalpine Bronze- und Eisenzeitforschung) als Hilfswerkzeug für ihr Forschungsprojekt „Hallstattzeitlicher Fürstensitz Falkenberg/Strettweg“.

## 1 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet befindet sich in Strettweg bei Judenburg in einem inneralpinen Becken (Aichfelder Becken) in der westlichen Obersteiermark im Bezirk Murtal (siehe Abb. 1) und war einst (Hallstattzeit) ein bedeutendes Handelszentrum. Aus geologischer Sicht liegt das Gebiet auf einer durch fluviatilen Transport entstandenen Niederterrasse der Mur aus der Zeit des Quartärs mit lehmigem Sand und sandigem Schluff.



**Abb. 1:** Untersuchungsgebiet Strettweg

## 1.1 Messkampagnen der ZAMG

Durch geophysikalische Untersuchungen der ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik) mit Ground Penetrating Radar (kurz GPR; Georadar) und Magnetik in den Jahren 2011 und 2012 konnten das Fürstengrab (Fundort des Strettweger Opferwagens; siehe Abb. 2) und eine ganze Reihe von weiteren Hügelgräbern exakt lokalisiert werden. Airborne-LiDAR-Daten des Landes Steiermark, Abteilung 7 Landes- und Gemeindeentwicklung, Referat Statistik und Geoinformation, verifizierten die Annahme, dass am Falkenberg bei Strettweg die größte prähistorische Siedlung im Südostalpenraum liegt. Da aufgrund landwirtschaftlicher Nutzung und durch Sondengänger eine Gefährdung der Bodendenkmäler vorlag, wurden im Jahr 2012 (Frühjahr und Herbst) an zwei der Hügelgräber Grabungen durchgeführt. Diese Grabungen brachten einerseits besondere Schätze zutage, wie zum Beispiel ein bronzenes Schwert samt Helm und andererseits konnten damit die Ergebnisse der geophysikalischen Untersuchungen bestätigt werden.



**Abb. 2:** Fürstengrab mit Grabkammer

## 2 Motivation

Aufgrund der hohen Auflösung und des hohen Detailgrads der Ergebnisse der ZAMG beschlossen die Autoren, im Zuge des Forschungsprojekts „Hallstattzeitlicher Fürstensitz Falkenberg/Strettweg“ unter der Leitung von Univ.-Prof. Dr. Oliver Sass (Universität Graz, Institut für Geographie und Raumforschung) weitere Georadar-Profile anhand von einem ausgewählten Testgebiet mit der Größe von 2500 m<sup>2</sup> zu sammeln. Das potenzielle Vorhandensein von archäologischen Strukturen im Untergrund (Ergebnisse der ZAMG) war entscheidend für die Wahl dieser Fläche. Die feinen Sedimente im Untersuchungsgebiet lassen es zu, dass von Menschen geschaffene, grobe archäologische Strukturen im Untergrund sichtbar werden. Die übliche Visualisierung der GPR-Daten im 2D-Rasterformat ist vergleichsweise schwer interpretierbar, außerdem lassen sich archäologische Strukturen und Objekte nur schwer erahnen. Obwohl das GPR alle nötigen Informationen liefert, bleibt ein dreidimensionaler Blick unter die Erdoberfläche aufgrund der Weiterprozessierung und Darstellung der Daten verwehrt. Eine Lösung für dieses Problem liefert die Anwendung von Tools und Technologien die das moderne LiDAR (Light Detection and Ranging), auch bekannt als Laserscanning, mit sich bringt. In dieser Pilotstudie wurde folgende Hypothese gestellt und konnte auch verifiziert werden: Eine Verschmelzung von GPR-Daten mit LiDAR-Punktwolken und -Workflows lässt es zu, bodennahe Untergrundobjekte zu filtern und zu klassifizieren und in weiterer Folge potenziell interessante Strukturen als georeferenzierte, dreidimensionale Punktwolke darzustellen, um so die Arbeit der Archäologen zu erleichtern.

Auf den folgenden Seiten wird auf den Workflow der GPR-LiDAR-Studie näher eingegangen.

## 3 Methodik

### 3.1 GPR, LiDAR und ihre Verschmelzung

Das Ground Penetrating Radar (GPR) oder auch Georadar, Bodenradar oder Radio Echo Sounding (RES) dient zur schnellen Erkundung von Anomalien im Untergrund bzw. von Objekten und Materialien mit geringem dielektrischen Verlustfaktor. Elektromagnetische Strahlung im Mikrowellenbereich ermöglicht die Detektion von Reflexionen unterirdischer Objekte und Strukturen ohne diese in irgendeiner Form zu stören oder zu verändern, weshalb diese geophysikalische Messmethode auch in der Archäologie vermehrt Anwendung findet (JOL 2009). Gängige GPR-Antennen in diesem Forschungsgebiet sind Antennen zwischen 250 MHz und 1000 MHz. Für die erste Testmessung im Oktober 2012 wurde ein GPR von MALA Geoscience (MALA RAMAC/GPR Control Unit II (CU II)) mit einer 500-MHz-Antenne verwendet (MALA 2013), deren maximale Eindringtiefe im Untersuchungsgebiet bei einer Bodengeschwindigkeit von ca. 0,07 m/ns bei  $\pm 2$  m lag. Bei einer 2. Testmessung im April 2013 wurde ein SIR-3000 GSSI (Geophysical Survey System, Inc.) mit einer 400-MHz-Antenne, die speziell in der Archäologie breite Anwendung findet, verwendet. Die Eindringtiefe dieser Antennen liegt zwischen 0 m und 4 m Tiefe (GSSI 2013).

Die aktive Fernerkundungstechnik LiDAR ist der Radartechnik recht ähnlich, nur dass anstelle der Laufzeit von Radiowellen jene von diskreten Lichtpulsen gemessen wird und so Objekte, Strukturen und Oberflächen aufgezeichnet werden können. LiDAR ermöglicht ein hochpräzises und hochauflösendes Vermessen von großen Flächen in relativ kurzer Zeit. Verbindet man diese Informationen mit anderen aufgezeichneten, wie GPS-Daten, erhält man hoch-genaue, dreidimensionale Informationen über die Geländeoberfläche und Objekte, wie Gebäude oder Vegetation (NOAA 2008).

Im Gegensatz dazu nimmt GPR recht viel Zeit in Anspruch und die anschließende Analyse und Interpretation dieser Daten erweist sich oft als recht schwierig.

LiDAR kann feste Körper nicht durchdringen und endet somit an der Erdoberfläche, also dort, wo das Einsatzgebiet des GPRs beginnt. Eine Kombination von LiDAR und GPR ermöglicht vor allem der Archäologie einen Blick über die Grenzen dieser Gebiete hinweg und lässt oberflächlich nicht erkennbare Strukturen im Untergrund sichtbar werden. Das Ziel dieser Studie ist es, GPR mit LiDAR-Daten und Techniken zu verbinden, um anschließend daraus ein hochauflösendes 3D-Modell zu erstellen und zu visualisieren.

### 3.2 Workflow

Zuerst ist es nötig die per Radar erhobenen Daten mit entsprechenden Filteralgorithmen zu prozessieren, um Artefakte zu eliminieren und archäologisch wertvolle Informationen zu erkennen und hervorzuheben. Für diesen Arbeitsschritt wurde die Software ReflexW – Sandmeier Scientific Software verwendet. Die GPR-Rohdaten liefern Information zu den XY-Koordinaten im GPR-eigenen Koordinatensystem und den Amplitudenwert. Die genaue Z-Koordinate kann über die mittlere Bodengeschwindigkeit (im Untersuchungsgebiet: 0,07 m/ns) ermittelt werden. Über verschiedene Amplitudenintervalle, die mittels statistischem Maß ermittelt und festgelegt werden, können archäologische Strukturen identifiziert und herausgefiltert werden. Die Open-Source-Skriptsprache Python und LASTools von Martin Isenburg (LASTOOLS 2013) wurden zum Weiterprozessieren des mittels ReflexW

exportierten GPR-Datensatzes herangezogen und ermöglichen ein automatisches filtern, klassifizieren und transformieren der dreidimensionalen Punktwolke. Ziel ist die völlige Automatisierung des gesamten Workflows mittels Python. Dadurch wird eine vereinfachte und schnelle Anwendung des GPR-LiDAR-Workflows für verschiedenste Untersuchungsgebiete und Fragestellungen, auch außerhalb der Archäologie, ermöglicht. Um GPR- mit LiDAR-Daten zusammenfügen zu können, müssen alle Datensätze auf ein identisches Referenz- und Höhensystem transformiert werden. In dieser Pilotstudie wurde UTM-33N mit ellipsoidischen Höhen gewählt, um den Airborne LiDAR-Daten zu entsprechen. Mittels 4 Passpunkten wurden die Ground Penetrating Radar-Daten per Affiner Transformation georeferenziert, um so die dreidimensionale Radar-Punktwolke in einem nächsten Arbeitsschritt mit der eines Airborne LiDAR-Datensatzes zusammenzuführen. Die daraus entstandene absolut orientierte Punktwolke bietet einerseits einen Einblick unter die Erdoberfläche und andererseits alle Vorteile der räumlichen Verortung von einzelnen Punkten mit ihren jeweiligen Eigenschaften. Daher können, im Gegensatz zur derzeitigen Interpretation und Bearbeitung von GPR-Daten, sämtliche zur Verfügung stehenden Filtermethoden und Tools zur Prozessierung von dreidimensionalen Punktwolken verwendet werden.

## 4 Ergebnisse

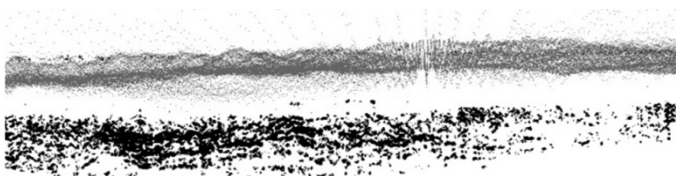
Am Ende des Workflows steht die Identifikation und Extraktion von Punkten, die einer vermeintlich archäologischen Struktur angehören, sowie deren Visualisierung. Insgesamt enthält die GPR-Punktwolke (MALA, 500MHz) 44.445.627 Punkte, bei einem Punktabstand von 0,01 Pkt./ m<sup>2</sup>.

**Tabelle 1:** Punkte pro Klasse

Klasse	Punktanzahl
2 ... Boden	90.909
7 ... Noise	43.366.769
29 ... Struktur1	354.762
30 ... Struktur2	633.187
Gesamt	44.445.627

Nach dem Georeferenzieren und anschließender Klassifikation der GPR-Punktwolke wurden die als „Noise“ identifizierten Punkte mithilfe von LASTools entfernt und mit der Airborne-LiDAR-Punktwolke verschmolzen.

Als erstes Ergebnis dieser Studie wurde eine straßenartige Struktur, die in circa 80 cm Tiefe unter dem Erdboden liegt, ausgemacht. Abbildung 3 zeigt die entsprechende 3D-Punktwolke mit der darüber liegenden ALS-Bodenschicht.



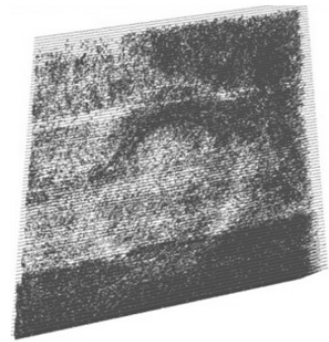
**Abb. 3:** Profilansicht der Bodenschicht (hell) mit darunter liegender straßenartiger Struktur

Aufgrund der Möglichkeit die Punktwolke dreidimensional im Raum zu bewegen ergibt sich ein besserer Eindruck vom tatsächlichen Verlauf der Straße (Abb. 5).



**Abb. 4:** Grundrissansicht der Straßenstruktur in der gefilterten GPR-Punktwolke

Ein besonderes Merkmal des Untersuchungsgebietes ist es, dass sich eine zweite archäologisch relevante Struktur in größerer Tiefe erkennen lässt. Ab etwa ein Meter Tiefe erscheint deutlich die markante kreisrunde Form eines Hügelgrabes mit möglicher Grabkammer im südöstlichen Teil des Hügelgrabes.



**Abb. 5:**  
Hügelgrab mit Wall

## 5 Diskussion und Ausblick

Der in diesem Paper vorgestellte Workflow nutzt die üblichen Vorteile von LiDAR, kombiniert die Möglichkeiten und Besonderheiten von Radardaten und ermöglicht so einen dreidimensionalen Blick in den bodennahen Untergrund. Diese Methode verspricht durch die Kombination zweier verschiedenartiger Datentypen einen nicht-invasiven Einblick in das nahe Erdreich und ermöglicht gleichzeitig die Klassifikation von darin enthaltenen Strukturen. So wird ein effizienteres Arbeiten in der Archäologie ermöglicht. Geophysikalische Methoden finden bereits jetzt breite Anwendung in diesem Forschungsbereich, aber es gibt nur wenige Workflows, die direkt zur digitalen Extraktion sowie Visualisierung von noch nicht freigelegten Objekten beitragen. Die mit der vorgeschlagenen Methode erzeugten Datensätze und die daraus resultierenden Visualisierungen ermöglichen eine exakte Auffindung von archäologischen Strukturen und tragen maßgeblich zur Reduktion von Aufwand und Kosten der späteren Feldarbeit bei.

Zur Verbesserung der Ergebnisse werden im Jahr 2013 folgende weitere wissenschaftliche Fragestellungen im Rahmen dieses Pilotprojekts behandelt:

- A) Zur Bestimmung des Z-Wertes muss die Bodengeschwindigkeit ermittelt werden, die in diesem Fall bei 0,07 m/ns liegt. Da es sich bei diesem Wert nur um einen Mittelwert handelt, sollen zu Eichungszwecken gut reflektierende Objekte in den Boden in unterschiedliche Tiefen einzugraben und genau zu vermessen, um so einerseits einen Verifikationswert zur mittleren Bodengeschwindigkeit zu haben, um die Genauigkeit des Z-Wertes zu erhöhen und somit die Genauigkeit der Georeferenzierung zu verbessern.

- B) Zusätzliche GPR-Messungen in Strettweg sollen Informationen über die optimale Antenne zur Identifikation von archäologischen Strukturen in diesem Untersuchungsgebiet liefern. Weiters ist angedacht, eine höhere Punktedichte der GPR-Punktwolke mittels einer räumlich engeren und genaueren Festlegung der zu messenden Streifenbreite zu erreichen.
- C) Da ab April 2013 das mit dem GPR untersuchte Gebiet im Zuge einer archäologischen Grabungskampagne freigelegt wird, ist es möglich, terrestrisches LiDAR sehr zeitnah zur durchgeführten Analyse einzusetzen, um die tatsächlich vorhandenen, archäologischen Objekte und Strukturen zu kartieren. Dieser Datensatz soll in weiterer Folge einerseits als "Referenzpunktwolke" zum Vergleich mit den GPR-Ergebnissen herangezogen werden und andererseits zur Verbesserung des gesamten Workflow dienen. Weiters wird der Vergleich Auskunft über die Genauigkeit und Anwendbarkeit der GPR-Daten geben.
- D) Es stellt sich ebenfalls die Frage, wie diese dreidimensionale Punktwolke weiter verwendet werden kann und welche zusätzlichen Informationen daraus gewonnen werden können. So wäre zum Beispiel eine detaillierte Bestimmung der abzutragenden und vorhandenen Volumina durchaus denkbar.
- E) Für Laien ist eine Punktwolke meist schwer lesbar, weshalb in einem weiteren Arbeitsschritt an einer besseren und vereinfachten Darstellung der Strukturen im Untergrund gearbeitet werden soll.
- F) Große Priorität liegt für die Autoren an der Automatisierung des gesamten Workflows um somit auch das Bearbeiten von großen Flächen in kurzer Zeit zu ermöglichen.

## 6 Danksagung

Wir danken der Steiermärkischen Landesregierung, Abteilung 7 Landes- und Gemeindeentwicklung, Referat Statistik und Geoinformation, für die Bereitstellung der Airborne LiDAR Daten von Strettweg, DI Rudolf Aschauer, der bei Python-Problemen zur Verfügung gestanden ist, dem Joanneum Research – Geophysik und Geothermie, für das Ausleihen des GSSI Ground Penetrating Radar samt Antenne und Dr. Karl-Josef Sandmeier, der uns bei Fragen rund um die Software ReflexW weitergeholfen hat.

## Literatur

- GSSI – GEOPHYSICAL SURVEY SYSTEM, INC. (2013), [www.geophysical.com](http://www.geophysical.com) (02.04.2013).
- JOL, H. M. (2009), *Ground Penetrating Radar – Theory and Applications*. Elsevier Science, Amsterdam/Oxford, 544 S.
- LASTOOLS – RAPIDLASSO GMBH (2013). [www.cs.u.nc.edu/~isenburg/lastools/](http://www.cs.u.nc.edu/~isenburg/lastools/) (02.04.2013).
- MALA – GLOBAL LEADER GROUND PENETRATING RADAR (2013), [www.malags.com/home](http://www.malags.com/home) (02.04.2013).
- NOAA – NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION COASTAL SERVICES CENTER (2008), *Lidar 101: An Introduction Lidar Technology, Data, and Applications*. – Charleston, SC: NOAA Coastal Service Center, 68 S.  
[www.csc.noaa.gov/digitalcoast/data/coastallidar/\\_pdf/What\\_is\\_Lidar.pdf](http://www.csc.noaa.gov/digitalcoast/data/coastallidar/_pdf/What_is_Lidar.pdf) (15.03. 2013).