

Airborne-Laser-Scanning für die Archäologie

Mikro-Topographische Reliefstrukturen werden erkennbar

1 Einleitung

Ein klassisches und sehr hilfreiches Prospektionsmittel der „Spatenwissenschaft“ ist die Luftbild-Archäologie, um aus der Vogelperspektive einen zusammenhängenden Überblick zu bekommen und strukturelle Auffälligkeiten z. B. in Form von Boden- oder Vegetationsmerkmalen zu erkennen. Grenzen sind in der Regel die Waldgebiete, wo das Laub- oder Nadelwerk die Sicht nimmt. Punktuell lassen sich künstliche Muster im Kronenwerk erkennen, die sich vom Waldboden her nach oben übertragen, doch das sind Seltenheiten [1]. Hier greift das Airborne-Laser-Scanning (ALS) [2], welches mit seinem „last pulse“ den Waldboden erreicht und das Relief in seiner Höhenstruktur erfasst. Unterstützend wurde diese Technik bereits bei den römischen Großprojekten Hedemünden und Harzhorn in Niedersachsen eingesetzt.

Das Land Nordrhein-Westfalen stellt ein auf ALS basierendes flächendeckendes Digitales Gelände Modell (DGM) bereit, welches über das Internet frei zugänglich ist. Diese Geodatenbasis bringt minimale Höhenunterschiede auf der freiliegenden und unbebauten Erdoberfläche in einer geschummerten Reliefdarstellung plastisch zum Vorschein, ermöglicht aber auch quasi den „Blick“ von oben durch das Blätterwerk bis auf den Waldboden. Hierzu sollen nun einige eindrucksvolle archäologische Beispiele visualisiert werden.

2 Geobasis NRW-Portal „TIM-online“

Die „DGM-Schummerung“ ist nur ein Menüpunkt unter „Dienste des NRW-Atlas“, die das Topographische Informationsmanagement „TIM-online“ in Nordrhein-Westfalen anbietet [3]. Diese Schummerungsdarstellung ist die Visualisierung des Digitalen Geländemodells, mittels derer die natürliche Geländeform plastisch dargestellt wird. Die Plastizität dieser häufig nur geringen Hö-

henunterschiede kann man sich durch eine tief stehende Lichtquelle (Sonne) veranschaulichen, deren Lichtstrahlen seitlich längere Schatten werfen (siehe weiter unter Abschnitt 4).

Wichtige das DGM ergänzende Datenquellen von „TIM-online“ sind das Topographische Kartenwerk (zur Erstorientierung), die Luftbildsammlung (Orthophotos) und das Archiv der Historischen Karten (Uraufnahmen).

Das DGM liegt seit 2011 flächendeckend vor, die Höhengenaugkeit des DGM1 wird mit ± 2 dm angegeben. Diese absolute äußere Größe wird im Wesentlichen durch die Genauigkeit der Sensorpositionierung/-orientierung mittels GPS und INS limitiert. Die uns interessierende Objektdetaillierung wird durch die relative Genauigkeit (der „Nachbarschaft“) repräsentiert und liegt im Bereich von wenigen cm (< 1 dm).

3 „Airborne-Laser-Scanning“ (ALS)

Der Laserscanner als luftgestützter optischer Sensor wird in Höhenbereichen zwischen 500 m und 1.500 m eingesetzt (Bild 1). Er dient zur Erfassung von Höhen der Erdoberfläche nach dem Prinzip der Entfernungsermittlung. „LiDAR“ ist eine analoge Bezeichnung für das gleiche Verfahren und steht für „Light Detection And Ranging“.

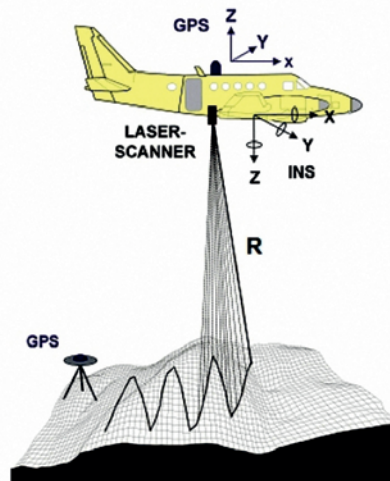


Figure 2: ALS principle (Pfeifer, 2007, adapted)

Bild 1: Airborne-Laser-Scanning [4]

Aus den Rohdaten dieser Laserscanning-Messungen lässt sich einmal ein Digitales Oberflächenmodell (DOM) berechnen, man spricht auch vom „Bedeckungsprofil“ – mit Bebauung und Vegetation. Ein weiteres Ergebnis ist das DGM, welches das reine Bodenprofil (ohne Vegetation und ohne Bebauung) darstellt.

Messtechnisch bieten gepulste Laser die Möglichkeit, die erste und letzte Reflexion des ausgesandten Signals getrennt zu messen. Daher kann bei einer Messung (von oben) auf Wald aufgrund der hohen Durchdringungsraten durch Laub- und Nadelwaldbestände zwischen dem Bedeckungsprofil der Baumkronen („first pulse“) und dem (Wald-)Bodenprofil („last pulse“) unterschieden werden [2]. Das DGM als Ergebnis eines Laser-Scans selbst steht für eine präzise Abbildung der natürlichen Geländeform der Erdoberfläche, um feine Strukturen in der Morphologie des Geländes erkennbar zu machen, z. B. archäologische Relikte. Neben vielen anderen kann als ein weiteres Anwendungsgebiet aber auch die Bestimmung der Biomasse von Vegetation sein, unmittelbar vorstellbar durch die Differenzbildung zwischen DOM und DGM.

4 Airborne-Laser-Scanning (ALS) und Luftbildarchäologie: Beispiele

4.1 Wallburg „Alt-Schieder“

Im Schwalenberger Wald, einem Naturschutzgebiet im Landkreis Lippe, finden sich viele Hinweise auf alte Befestigungen: Fluchtburgen der vorrömischen Eisenzeit (Herlingsburg, Rodenstatt) bis hin zu Wallresten des Hochmittelalters (Sieholzer Schanze). Häufig aus dem 19. Jahrhundert rührende (und irreführende) Deutungen von Wallanlagen hin zu einem „Römerlager/Römerschanze“ stehen auch hier im Raum. Ein Beispiel sei mit der Befestigungsanlage „Alt-Schieder“ angeführt, erstmals erwähnt im Güterverzeichnis des Klosters Corvey („Villa Scitiru“, 822). Sie liegt bei ca. 200 m über

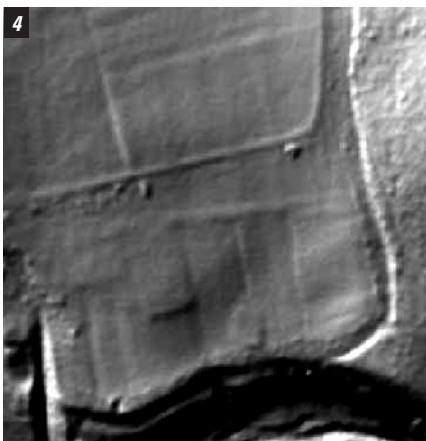
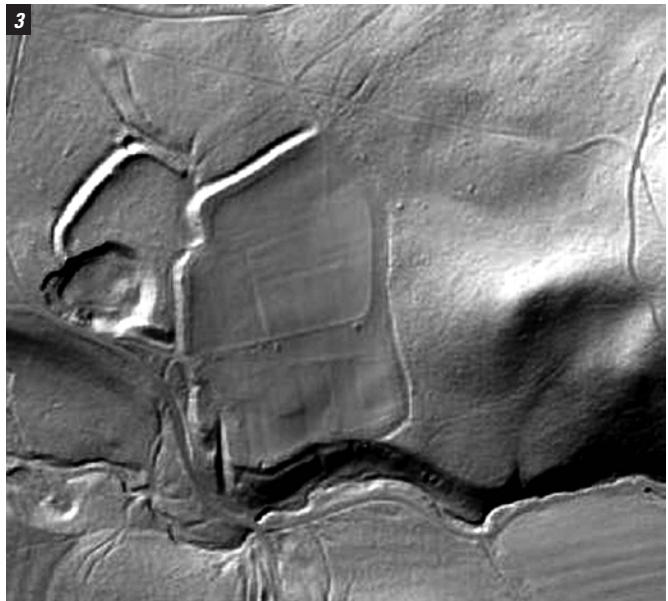


Bild 2: Luftbild „Villa Scitiru“ (Alt-Schieder)
© Geobasis NRW 2013

Bild 3: DGM mit Schummerung „VS“
© Geobasis NRW 2013

Bild 4: „Villa Scitiru“/unterer Detailbereich
© Geobasis NRW 2013

Bild 5: Grabungsplan nach C. Schuchhardt [6]

NN auf einer Geländestufe am Westhang des Kahlenberges. Die Vorburg ist 1,07 ha groß, die Hauptburg 4,2 ha [5].

In der Luftbildaufnahme erkennen wir inmitten des Waldes eine Lichtung, die am oberen Rand den Teilabschnitt eines Rechtecks zu erkennen gibt, und eine horizontale Trennung in Form eines Weges (Bild 2) – mehr ist hier nicht ersichtlich. Das „überführende“ Laserscanning durchleuchtet die geschlossene Belaubung bis auf den Bodenuntergrund und deckt geringste Bodenunebenheiten in der Freifläche der Lichtung auf (Bild 3). Hierbei werden überraschende Details im DGM sichtbar, die das Luftbild an dieser Stelle nicht bieten kann. Der Lageplan einer Ausgrabung aus dem Jahre 1916 von Carl Schuchhardt dokumentiert zwei Gebäude und eine Kirche (Bild 5). Das DGM erschließt dem Auge in diesem Bereich (Schriftzug „Acker“) weitere, erstaunliche Details, jenseits des

Grabungsplanes: Ergänzende künstlich-geometrische Flächenstrukturen werden erkennbar unterhalb der horizontalen Wegelinie, die es weiter zu untersuchen gilt.

Außerhalb der Freifläche „Lichtung“ (rechts oberhalb) werden – verdeckt durch das Baumkronenwerk – jedoch durch den „Last Pulse“ des Airborne-Laser-Scanners Strukturen detektiert (Bild 7), die exakt in der Stoßrichtung des „Burgensteig“ (Bild 6, roter Pfeil) liegen.

4.2 Römerlager Kneblinghausen

Das folgende Beispiel lässt ein Rechteck fast vollständig in seinen Hauptbestandteilen erkennen, i.e. treten die Begrenzungslinien reliefartig sehr gut aus dem Untergrund hervor (Bild 8). Zwar ist der rechte Abschluss und die obere rechte Ecke bedeutend schwächer ausgeprägt (hier durch eine breite transparente Umrandungslinie markiert), bedingt durch das

„Weichpflügen“ auf der Ackerfläche. Jedoch hebt sich die lineare Struktur im Kontext zum Rest noch hinreichend gut ab. Auffallend sind im linken Abschluss die abgerundeten Ecken (siehe rote Hinweispfeile), die für einen römischen Kontext stehen. Handelt es sich hier um ein Römerlager?

Unterlagen der Altertumskommission für Westfalen [7] beschreiben an dieser Stelle das Römerlager bei Kneblinghausen (Stadt Rüthen, Kreis Soest). Auf diesem Höhenkamm zwischen Alme und Möhne fanden sich Reste von vier Grabenwerken (Bild 9), zwei davon sind römischen Ursprungs. Was wir im DGM erkennen, ist lediglich die kleinere und jüngere Anlage I (325 m x 245 m, 7,5 ha entsprechend), die aus der ehemals größeren Anlage II hervorgegangen ist – die sich im DGM nicht abzeichnet. Grabungsergebnisse lassen vermuten, dass dieser Anlagenkomplex aus der Vorrömischen Eisen-

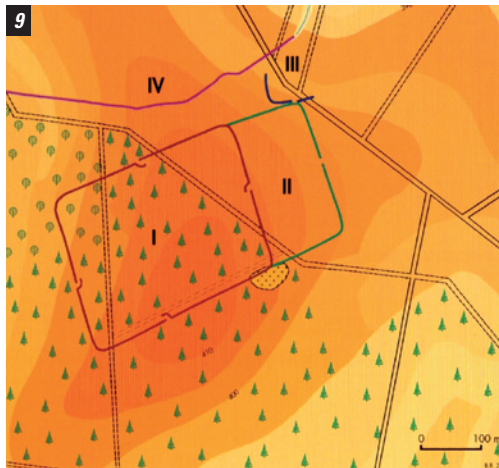
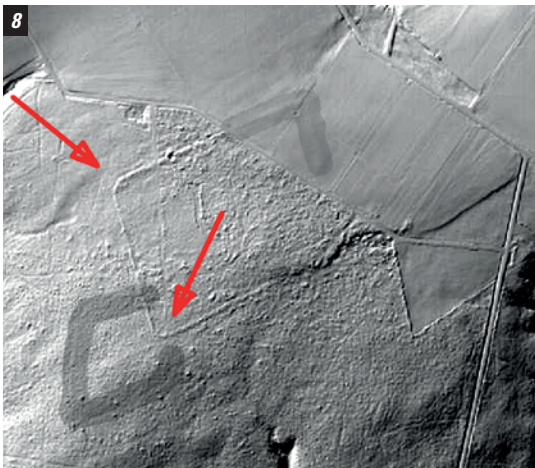


Bild 6:
Waldweg „Bergsteig“ (TK)
© Geobasis NRW 2013

Bild 7:
Strukturen an
„Bergsteig“ (DGM)
© Geobasis NRW 2013

Bild 8:
Römerlager Knebling-
hausen (DGM)
© Geobasis NRW 2013

Bild 9:
Grabenwerke I – IV [7]



zeit stammt und eine erste germanische Siedlung (Keramik) aus dem ersten vorchristlichen Jahrhundert von einem augusteischen Römerlager überbaut wurde. Die Abgrenzung bildete hierbei wohl eine Holz-Erde-Mauer, die Reste werden im DGM deutlich ausgezeichnet. Ein vorge-

lagerter Graben (durchschnittlich 2,4 m breit und 1,2 m tief) ist aufgrund seiner zwischenzeitlichen Verfüllung im DGM nicht mehr nachweisbar.

Bild 9 macht deutlich, wie geschickt die Römer die unterschiedlichen Geländehöhen für die Anlagen I und II zu nut-

zen wussten. Ausgehend von den vier kartierten Clavicula-Toren lassen sich diese sogar tlw. im DGM ausmachen (siehe links und oben).

In der umgebenden Waldfläche außerhalb des Lagers ist viel „Unruhe“ auszumachen. Interessant und signifikant ist

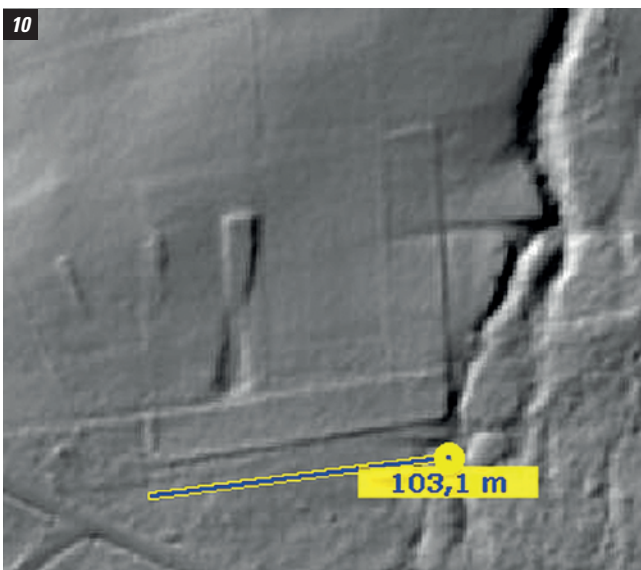


Bild 10: Leiberg / überlagertes Quadrat (DGM) © Geobasis NRW 2013

Bild 11: Leiberg/Luftbild (mit Bewaldung) © Geobasis NRW 2013

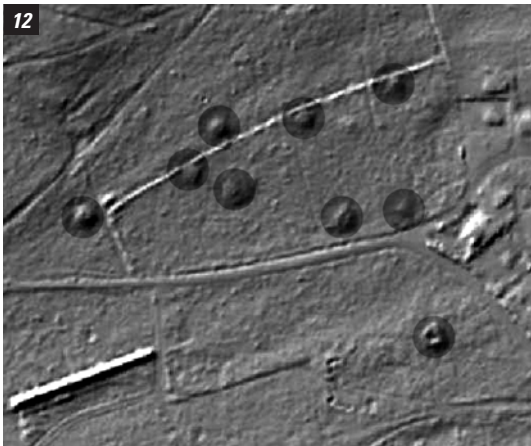


Bild 12:
Hiddese/Hügelgräber
(DGM)
© Geobasis NRW 2013

Bild 13:
Hiddese/Hügelgräber
(Kartierung)
© Geobasis NRW 2013

die links unten markierte kompakte Abgrenzung, die aufgrund ihrer differentiellen Überlagerung aus einer anderen Periode zu stammen scheint: früher oder später. Dies kann Anlass zu weiteren Ausgrabungen geben und findet seine Unterstützung: „Das sogenannte Römerlager in Kneblinghausen gibt weiterhin Rätsel auf“, fasst LWL-Archäologin Dr. Eva Cichy die vorläufigen Ergebnisse der archäologischen Untersuchung aus 2008 zusammen.

4.3 Wall-Rechteck und Hügelgräber

Bild 10 gibt im DGM die heutige Parzellenstruktur wieder, so hier die Abgrenzungen der parallel nebeneinander liegenden Weiden, wie es auch der Luftbildausschnitt darstellt (Bild 11). Das Grün der Weideflächen sieht recht homogen aus und kann nicht die Strukturen wiedergeben, die das DGM im Detail abbildet. Das bedeutet, dass die lokalen Höhendifferenzen auf der Oberfläche klein, jedoch für den Airborne-Laser-Scanner signifikant bleiben. Auffallend ist das Viereck (Quadrat-ähnlich), welches der Parzellenstruktur versetzt überlagert ist. Es hat sich erhalten im Kontext zur heutigen (abweichenden) Gewanneinteilung.

Auffallend ist die Variation des Erhaltungsgrades der einzelnen Seiten des Quadrat-ähnlichen Vierecks (von min. 96 m bis max. 105 m Seitenlänge). Der untere Abschluss im Bereich des Waldrandes ist gut erkennbar ausgeprägt, ebenso der überwiegende Teil des rechten Randes, obwohl die lineare Struktur hier auf der Grünfläche frei liegt und den landwirtschaftlichen Aktivitäten stärker aus-

gesetzt ist. Dagegen zeigt das DGM sowohl den linken wie auch den oberen Rand schwächer ausgeprägt und fast vollständig „verwaschen“. Die Übergangsbereiche korrespondieren eindrucksvoll mit den unterschiedlichen Parzellen, an denen unterschiedliche landwirtschaftliche „Eingriffe“ deutlich werden. Dieses eindrucksvolle Beispiel zum Thema „Mehrperiodizität“ gehört zum Ort Leiberg bei Bad Wünnenberg im Kreis Paderborn, gelegen im Talauereich südlich vom Fließchen Afte, und ist ein Paradebeispiel dafür, was ALS/DGM „kann“.

Das folgende Beispiel liegt am westlichen Rand von Hiddese, einem Ortsteil von Detmold (Ostwestfalen-Lippe). Das DGM (Bild 12) bringt neun eindeutige Punkte hervor (zusätzlich transparent markiert mit einer Zeichenfunktion der Freeware GIMP), die als Hügelgräber zu deuten sind. Hier haben wir ein reines Beispiel für die Vorzüge des ALS durch das Baumkronenwerk des Waldes hin-

durch. Aus der Differenzrechnung zwischen „First Pulse“ und „Last Pulse“ treten die Punkte signifikant hervor. Im Vergleich weist die Topographische Karte (Bild 13) dagegen nur sechs Hügelgräber-Symbole aus. Das spricht hier für einen 50%igen Mehrertrag durch das ALS. Mit der Messfunktion von TIM-online lassen sich die Durchmesser dieser relativ kleinen Punkte sehr genau messen: Das Spektrum der Durchmesser reicht fast durchgehend an 15 m heran.

5 Prinzip der Reliefdarstellung

Im Vergleich/in der Interpretation der verschiedenen Darstellungsformen (DGM-Schummerung, Luftbild) ist folgendes zu beachten: Die Schummerung des „nackten“ Geländereiefs (eines DGM) steht für ein Maß der Höhe oder für Plastizität durch Höhe. Verglichen werden kann diese „2,5-D“-Dimensionalität mit den Schummerungsdarstellungen aus der Kartographie [8]. Wie durch die Bestrah-

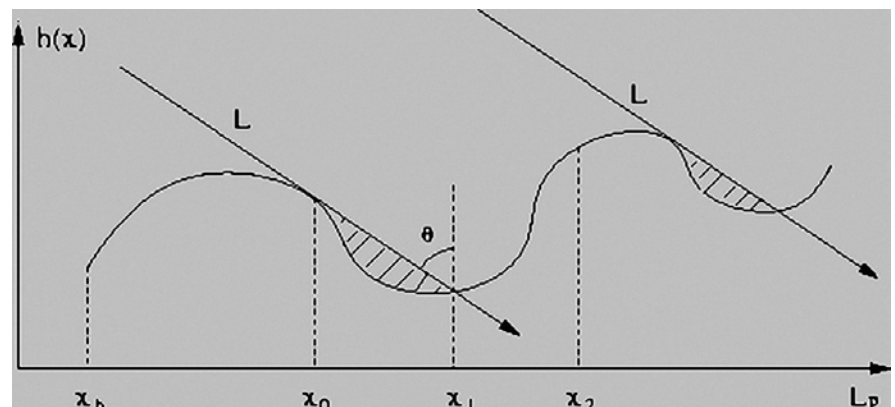


Bild 14: Shape-from-Shadow [9]

lung mit einer imaginären Lichtquelle werfen hervorgehobene Kanten mal mehr, mal weniger Schatten und bewirken so eine Profilstruktur hervorgehobener Bildinhalte. Die Wissenschaft kennt für das gleiche Prinzip auch den Begriff „Shape-from-Shadow“ [9], bei dem sich die dreidimensionale geometrische Form vom Schattenwurf ableiten lässt (Bild 14).

Im Luftbild dagegen können hellere Stellen für höher gelegene Bereiche, z. B. auf einem Acker, stehen (weniger Feuchtigkeitsgehalt) – müssen aber nicht – sie können auch reine (niveaugleiche) Bodenverfärbungen sein, im Sinne des klassischen luftbildarchäologischen Bodenmerkmals. Ein durch humose Anteile im Laufe der Zeit verfüllter und damit verebener ehemaliger Graben im (niveaugleichen) Geländeprofil zeichnet hier dagegen eine dunkle Einfärbung.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Das Geobasis-Daten-Werkzeug „TIM-online“ stellt landesweit für NRW eine mächtige und vielfältige Datenbasis bereit. Mit nur einigen wenigen Features – hier: DGM-Schummerung – Orthophoto – Topographische Karte – konnten für den Anwendungsbereich Archäologie einige eindrucksvolle Beispiele aufgezeigt werden, die gerade den Vorteil des Airborne-Laser-Scanning voll belegen. Vom Wald verdeckte Mikrotopographie wird erkennbar gemacht, selbst wenn nur ein Teil der „Last Pulses“ das Kronenwerk durchbricht und den Waldboden erreicht. In diesen Bereichen, die von einer „kulturellen Intensivbearbeitung“ wie Überpflügung und einer damit einhergehenden „Nivellierung“ verschont bleiben, eröffnet diese Prospektionsmethode ganz neue Möglichkeiten. Aber auch auf den freiliegenden Flächen wie Acker und Wiese können verbliebene geringe Höhenunterschiede reliefartig herausgefiltert werden – dort, wo die Luftbildarchäologie mit ihren Indikatoren wie Boden- und Vegetationsmerkmal nicht zur Verfügung steht.

Die wenigen hier gezeigten Bildbeispiele stehen für ein Spektrum verschiedener Epochen: Bronzezeit, Vorrömische Eisenzeit, römische Okkupationszeit, Frühmittelalter. Die Nutzung für archäologische Zwecke scheint gerade eine Herausforderung zu sein. Vorstellbar als eine weitere spannende Möglich-

keit ist die Suche nach weiteren Römerlagern an der Lippe: In der 80 km großen Lücke zwischen Oberaden und Anreppen deuten Verfärbungen (im Luftbild) westlich von Bad Lippstadt auf einen vermuteten Römerlagerstandort hin [10] – an der gleichen Stelle (!) wie in der DGM-Schummerung. Nicht nur die Suche nach neuen Fundorten, sondern auch gerade die Überprüfung bekannter Stellen kann vielversprechend sein, um hier bisher unbekannte mikro-topographische Ergänzungsstrukturen zu prospektieren: In diesem Fall konnte z. B. die Uni Mainz weiterhelfen beim ältesten römischen Militärlager bei Hermeskeil (Rheinland-Pfalz) aus der Zeit von Cäsars Gallischem Krieg um 50 v. Chr. Erst Laserscan-Aufnahmen deckten hier auf, dass die Gesamtfläche (der Umrandung) des Lagers stattliche 18,2 ha groß war, Platz für zwei Legionen. (SPIEGEL-online, 20.9.2013)

So wie in NRW das Geo-Portal „TIM-online“ bereits ein ALS-basiertes DGM bereitstellt, fehlt dies noch bei anderen Bundesländern, wie z. B. in Niedersachsen. Hier wurden lediglich punktuell im Zuge von archäologischen bedeutsamen Projekten ALS-Befliegungen von wenigen Quadratkilometern durchgeführt: das römisch-germanische Schlachtfeld Harzhorn/Kreis Northeim und das römische Versorgungslager/-Stützpunkt Hedemünden/Kreis Göttingen.

Schaut man sich die „Ausfransungen“ an der Landesgrenze von NRW an – hier sind z. B. die auf niedersächsisches Gebiet ragenden ALS-Daten gemeint – so stellen diese doch einen signifikanten, zu nutzenden Fundus dar – in Zahlen: Eine grobe Analyse ergibt, dass das DGM im Minimum ca. 600 m bis hin zu mehr als zwei Kilometer über die NRW-Landesgrenze hinausragt. Nimmt man repräsentativ eine Streifenbreite von ca. 1,5 km an, so resultiert daraus eine Fläche von ca. 900 km² (gerechnet mit Länge der Grenzlinie zwischen Niedersachsen und NRW von 583 km). Das entspricht ungefähr der Fläche von Berlin und stellt einen kostenlos nutzbaren Fundus für die niedersächsische Archäologie/Denkmalpflege dar – ein vielfaches Mehr in zweistelliger Größenordnung, verglichen mit den ALS-Flächen der obigen beiden Römer-Projekte Harzhorn und Hedemünden. Vielversprechend wird der schmale Streifen allemal sein, schließlich steht eine Grenze seit alters her für eine strategische Linie, in deren

Bereich noch unentdeckte Anlagen mit Sicherungs- und Überwachungs-Charakter zu vermuten sein werden.

Das Internet-basierte Werkzeug „TIM-online“ ist das Hilfsmittel, mit dem der Flug über die Bildausschnitte der Geodatenbasis NRW ermöglicht wird. So haben der Verfasser aus Hannover und ein weiterer „Pilot“ von der Elbe (Sachsen-Anhalt) die Bildbeispiele „virtuell“ erflogen. Das steht für das Prinzip der neuen Luftbildarchäologie von zuhause aus zu jedem beliebig entfernten Punkt auf der Erde: „Virtuelle Archäologische Flugprospektion“ (VAF).

7 Literatur

- [1] Heller, Eckhard: Archäologische Wald-Inspektion durch den Blick von oben – Das Kronenwerk des Waldes als Indikator für verborgene 3D-Strukturen am Waldboden? VDVmagazin, 2/2012, S. 116–122
- [2] Baldenhofer, Kurt G.: <http://www.fe-lexikon.info/>, Online-Lexikon der Fernerkundung
- [3] <http://www.tim-online.nrw.de/>, Topographisches Informationsmanagement Nordrhein-Westfalen
- [4] Göpfert, Jens: Snakes for Adapting GIS Road and River Objects to Airborne Laser Scanning Data, Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Dissertationen, Heft Nr. 671, 129 Seiten München, 2012
- [5] Niederhöfer, Kai: Alt-Schieder. Eine mittelalterliche Befestigung im Emmertal, Lippische Mitteilungen aus Geschichte und Landeskunde, Band 71, 2002, S. 93–47
- [6] Schuchhardt, Carl: Atlas vorgeschichtlicher Befestigungen in Niedersachsen, Hannover, 1916
- [7] Rudnick, Bernhard: Römerlager in Westfalen – Kneblinghausen, Altertumskommission für Westfalen, Heft 1, Münster/Westfalen, 2008
- [8] Heller, Eckhard: Digitale Luftbildarchäologie – Bildverarbeitung und Präsentationsformen, VDVmagazin, 2/1998, S. 88–91
- [9] Yu, Yizhou: Shadow Graphs and Surface Reconstruction, Computer Science, Volume 2351, 2002, pp 31–45
- [10] Bökemeier, Rolf: Römer an Lippe und Weser – Neue Entdeckungen um die Varusschlacht im Teutoburger Wald, Hrsg.: Freundeskreis für Römerforschung im Weserbergland, Höxter, 2004

Autor

Dipl.-Ing. Eckhard Heller
30625 Hannover, Kantstr. 5
eck.heller@web.de