

Mit Lidar-Rohdaten computersimulierter wechselnder Lichteinfall lässt Geländestrukturen deutlich werden. So den Verlauf eines Grabens in der Außensiedlung der Heuneburg parallel zur Straße Hundersingen-Binzwangen (rechtes Bild, Pfeile): deutlich zu sehen bei Lichteinfall von Norden, weit weniger bei Lichteinfall von Osten (linkes Bild). Ähnliches gilt für die abbiegende Geländestruktur a-b-c.

Dieter Kapff

Lidar – Archäologen setzen moderne Laser-Technik ein

Die Archäologen beschäftigen sich mit Bodendenkmälern, Zeugnissen aus längst vergangenen Zeiten, die zumeist nicht auf dem Boden, sondern im Boden und unter dem Boden liegen und daher verborgen sind. Sie zu entdecken und zu erkennen, ist schwierig und deshalb nutzen die der Vergangenheit zugewandten Wissenschaftler zukunftssträchtige modernste Technik. Das ist nur scheinbar ein Widerspruch.

Zu den so genannten Prospektionsmethoden gehört die Luftbildarchäologie, bei der vom Flugzeug aus künstliche Veränderungen der Landschaft, vor allem aber anhand von Bewuchsmerkmalen und Erdverfärbungen, Lichteinfall und thermischen Differenzen im Boden ruhende archäologische Befunde festgestellt und fotografisch festgehalten werden können. Ebenfalls aus der Luft lassen sich mit einem neuen Verfahren geringe Höhenunterschiede der Erdoberfläche ermitteln, zum Beispiel von völlig verflachten Grabhügeln, die vom Boden aus nicht zu erkennen sind. Das Verfahren heißt Lidar und arbeitet mit Laserstrahlen.

Mit Lidar haben die Archäologen das Gelände um die Heuneburg in einem 20 Quadratkilometer großen Streifen im Donautal erforscht. Auch Höhenbefestigungen an der oberen Donau oder hallstattzeitliche Grabhügel bei Aalen-Wasseralfingen, um nur drei Einsatzorte zu nennen, sind in jüngster Zeit aus der Luft erfasst worden. «Zu Fuß» hätten Geometer mit ihren traditionellen Messverfahren dafür ein Vielfaches der Zeit benötigt. Ganz zu schweigen davon, dass einem Vermessungsingenieur, der kein

extrem gutes Auge und einschlägige Erfahrung hat, manches gar nicht aufgefallen wäre.

Lidar. Das Wort ist in Anlehnung an Radar gebildet worden. Radar hat es bei der Luftwaffe schon im Zweiten Weltkrieg gegeben – auf deutscher Seite Lichtensteingerät genannt –, wo es zum Erkennen und zur Ortung nicht sichtbarer, entfernter Objekte eingesetzt wurde. Radar ist eine Abkürzung von **R**adio **d**etection and **r**anging und arbeitet mit ultrakurzen Funkwellen. Dabei werden Radiowellenimpulse ausgesandt, die, wenn sie auf ein Objekt treffen, von diesem reflektiert werden. Aus der Strahlungsrichtung und der Laufzeit der zurückkehrenden Radiowellen kann dann die Lage und die Entfernung des Objekts errechnet werden, die Stärke der Reflektion lässt durch die Helligkeit des Signals Rückschlüsse auf das Material des erfassten Objekts zu.

Laserstrahlen tasten vom Flugzeug aus das archäologisch interessante Gelände ab

Anders als Radar arbeitet Lidar (**L**ight **d**etection and **r**anging) nicht mit Radiowellen, sondern mit noch viel kürzeren Lichtwellen, mit gepulsten Laserstrahlen. Gepulst heißt, dass der Strahl in regelmäßigen Miniabständen gesendet wird. Lichtwellen sind dabei noch viel schneller als Radiowellen. Da der Laserstrahl gebündelt ist, streut er nicht so und ist punktgenauer. So lassen sich viel präzisere Messergebnisse erzielen.

Der Lidar-Sender befindet sich in einem Flugzeug oder Hubschrauber, der in konstant 400 oder 500

Meter Höhe und gleichbleibender Geschwindigkeit über das Gelände fliegt. Mit einem schnell rotierenden Spiegel werden die Laserstrahlen über einen bis zu 700 Meter breiten Geländestreifen quer zur Flugrichtung «verteilt». Die Strahlen treffen dann auf die Oberfläche von Objekten oder auf den Boden, die sie reflektiert. Dabei kehren die Strahlen, die als erste auftreffen, etwa auf Baumwipfel, Hausdächer, Hochspannungsleitungen, weil sie den kürzesten Weg haben, auch als erste wieder zurück. Es ist das jeweils «erste Echo». Der Computer setzt aus Winkel und Laufzeit der zurückkehrenden Strahlen ein 3-D-Bild zusammen, das digitale Oberflächenmodell (DOM). Laserstrahlen, die auf entferntere, darunter liegende Objekte oder auf den Erdboden treffen, haben einen etwas weiteren Weg und brauchen deshalb etwas länger. So entstehen unterschiedliche Höhenschichtenpläne. Nur das jeweils «letzte Laser-echo» wird dann dazu verwendet, das Gelände abzubilden. Der Computer setzt aus den gewonnenen Daten ein digitales Geländemodell (DGM) der überflogenen Landschaft zusammen.

Das Abtasten der überflogenen Landschaft mit Laserstrahlen bietet dem Archäologen ein Laserscan genanntes Geländemodell, das mit unterschiedlichen Grautönen die aktuelle Landschaft abbildet. Durch Filter lassen sich die Digitaldaten «sieben» und für spezielle Fragestellungen aufbereiten. So kann zum Beispiel die Richtung und der Winkel des Lichteinfalls oder die Betrachtungsrichtung verändert werden, um dadurch einzelne Elemente des Modells deutlicher herauszuheben. Das hatte sich als hilfreich erwiesen, als es darum ging, eine wenig nördlich der Heuneburg auf der Sohle eines Seitentals im Geländescan zweifach abgewinkelte Struktur zu identifizieren. Nach ihrem Schattenwurf war sie zunächst als Erddamm gedeutet worden. Durch Wechsel der Beleuchtungs- und Betrachtungsrichtung ergab sich jedoch, dass es sich nicht um einen Wall, sondern um die Kante einer Geländeterrasse handelte. Lineare Strukturen, die abrupt die Richtung wechseln, sodass sie im Scan mal vorhanden, mal verschwunden sind, lassen sich auf diese Weise vollständig rekonstruieren.

*Wasserstände der Donau
bei der Heuneburg rechnerisch simuliert*

Nützlich ist es mitunter auch, das abgebildete Gelände oder Teile davon digital zu überhöhen, um es anschaulicher zu machen. Nachdem die Archäologen bei der Heuneburg auf einem im trockenen Sommer 2003 aufgenommenen Luftbild Spuren der einst mäandrierenden Donau erkannt hatten, gingen



sie der Frage nach, in welchem Bett die Donau bei welchem Wasserstand geflossen ist und welche Areale in der Talaue bei Hochwasser überschwemmt wurden. Rein rechnerisch ist dafür der Wasserstand stufenweise erhöht worden, bis die Donau-Aue weitgehend unter Wasser stand. Einige Bereiche aber blieben trocken. Und genau dort brachten Grabungen Siedlungsspuren und längst eingeebnete Grabhügel zutage. Letztere waren oberirdisch nicht mehr sichtbar, gaben sich im Geländescan aber als punktförmige Erhebungen zu erkennen.

Veranstaltungen

STADT GÜGLINGEN
Ein starkes Stück Zabergäu

*BESUCHEN SIE DAS
RÖMERMUSEUM
AM MARKTPLATZ IN
GÜGLINGEN*

ÖFFNUNGSZEITEN

<i>DIENSTAG</i>	<i>14 - 18 UHR</i>
<i>MITTWOCH</i>	<i>14 - 18 UHR</i>
<i>DONNERSTAG</i>	<i>16 - 19 UHR</i>
<i>FREITAG</i>	<i>14 - 18 UHR</i>
<i>SAMSTAG</i>	<i>11 - 18 UHR</i>
<i>SONNTAG</i>	<i>11 - 18 UHR</i>

MONTAGS GESCHLOSSEN

**ANMELDUNG
ZU FÜHRUNGEN
TEL 07135 / 10870**

*WEITERE INFOS
IM INTERNET UNTER
WWW.GUEGLINGEN.DE*

**HERZLICH
WILLKOMMEN**

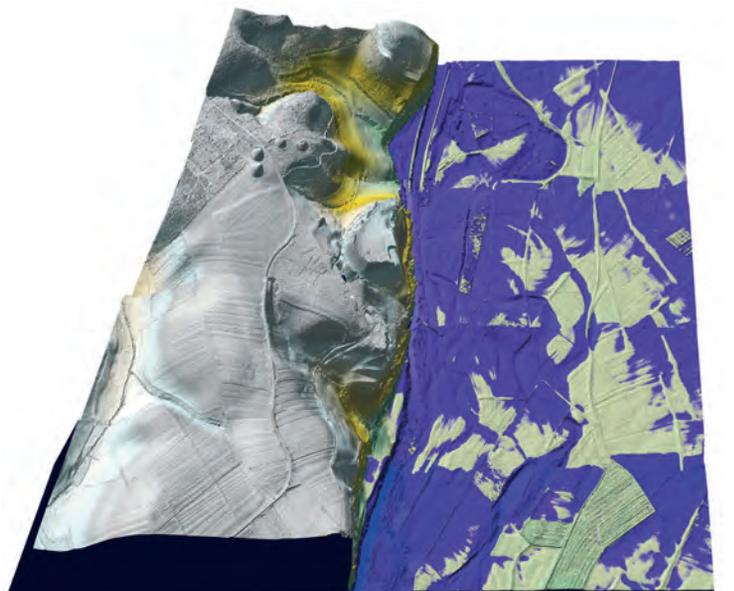
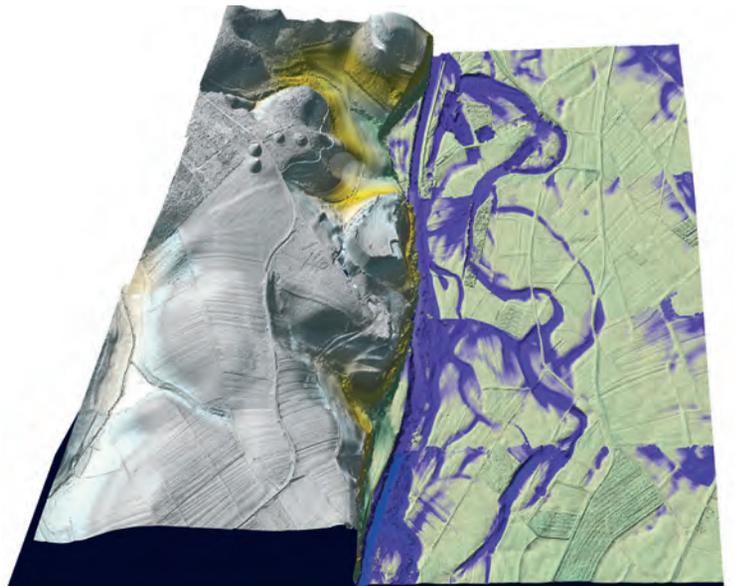
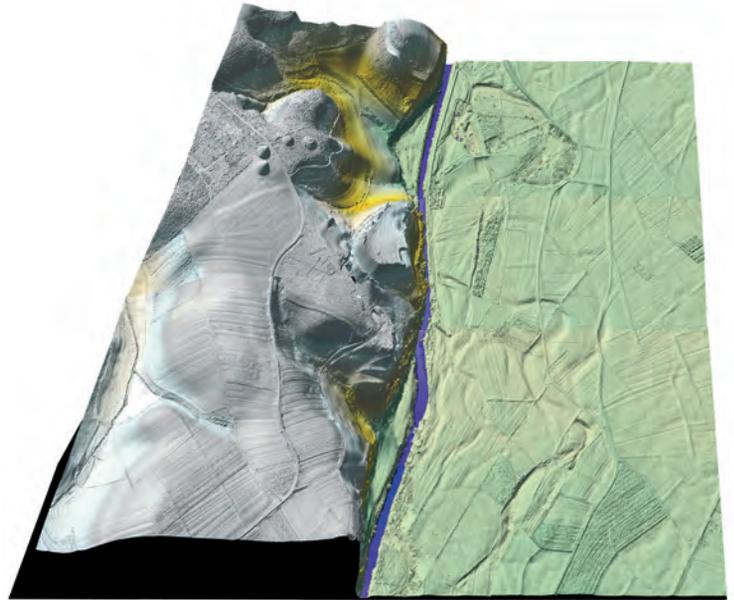
WEIN · RÖMER · KUNST

Bei der Suche nach alten Verkehrswegen, Furten und der anzunehmenden Schiffslände der Heuneburg setzten die Archäologen Luftbild- und Lidar-Technik ein. Im östlichen Teil der Talaue zeichnete sich ein Kiesrücken ab, der auch bei hohem Wasserstand hochwasserfrei gewesen sein muss. Auf ihm verlief die geradlinige Römerstraße durchs Donautal, von der sonst keine Spuren mehr zu finden sind. Partiiell eingefärbt ergibt die Topografie des Donautals ein eindrucksvolles Bild. Die Aufarbeitung der Daten für die Beantwortung von solchen Detailfragen ist allerdings aufwändig.

Während des Messflugs stehen Flugzeug oder Hubschrauber ständig im Kontakt mit GPS (Global positioning system), sowohl mit GPS-Bodenstationen als auch mit GPS-Satelliten. Durch Referenzmessungen und Peilungen werden die exakte Position und die genaue Flughöhe des Flugzeugs überwacht. Bei Abweichungen von der vorgesehenen Flughöhe und dem Flugtempo passt ein Korrekturprogramm die erhobenen Daten automatisch an. Bei der Positionsbestimmung des Flugzeugs wird eine Genauigkeit von bis zu zehn Zentimetern erreicht. Über GPS lässt sich das Geländemodell genau in das Koordinatennetz der Landesvermessung einfügen.

Dies ermöglicht und erleichtert es, traditionell ermittelte Geodaten mit den digital aus der Luft gewonnenen zu verbinden. Schon bei der Planung einer Ausgrabung können die Forscher archäologisch interessante Flächen auswählen, wobei ihnen die Visualisierung der naturräumlichen Gegebenheiten und das topografische Umfeld bei der Entscheidung hilft. Die Grabungsflächen lassen sich im Vorhinein genau abstecken. Bei der Grabung können die Archäologen dann die vor Ort eingemessenen Funde und Befunde unmittelbar in das Datennetz des Landes einpassen. Die Lidar-Daten gestatten es zudem, Karten in beliebigem Maßstab zu zeichnen. Rechnerisch können Kartenausschnitte im Detail

Der Archäologe Jörg Bofinger, zeitweise Grabungsleiter an der Heuneburg, hat auf der Grundlage des Lidar-Geländemodells am Computer unterschiedliche Hochwasserstände der Donau simuliert und mit Farbe deutlich gemacht. Im oberen Bild ist die heute kanalisierte Donau zu sehen, die rechts von der Heuneburg (Bildmitte) vorbeifließt. Durch Anhebung des Wasserstandes sind im mittleren Bild die verschiedenen Flussschleifen zu sehen, in denen sich die Donau zu verschiedenen Zeiten durchs Tal geschlängelt hat. Bei deutlich höherem Hochwasserstand auf dem unteren Bild bleiben im östlichen Teil der Donauaue (rechts im Bild) nur wenige Flächen grün, also hochwasserfrei. Archäologische Sondagen ergaben, dass hier vorgeschichtliche Siedlungen und Grabhügel liegen und dazuhin die Römerstraße nach Emerkingen und Riftissen, deren Verlauf heute ein Feldweg markiert.



oder Übersichtskarten für große Flächen erzeugt werden. Für die Präsentation von Ausgrabungsergebnissen und für die Auswertung ist dies eine unschätzbare Hilfe.

Mehr an Daten bringt ein Weniger an Nutzen – Lidar kann den Geometer nicht ersetzen

Die Vermessung der Landschaft mit Lidar aus der Luft, neudeutsch «airborne laserscanning» genannt, ist umso exakter, je enger die Messpunkte gesetzt werden. Ein Gitter von Messpunkten im Abstand von 1,5 Meter ergibt nur relativ grobe Daten. Ein Abstand von 0,25 Meter deutlich präzisere. Allerdings ist dieser geringere Abstand nicht mehr vom Flugzeug aus zu schaffen. Dazu bedarf es dann eines langsamer fliegenden Hubschraubers. Noch engere Messraster bringen nicht viel mehr an Gewinn, wohl aber eine deutlich höhere Datenflut, die kaum mehr zu verarbeiten ist. Ein Beispiel: Für das Gelände um die Heuneburg, das mit Laserstrahlen in einem Raster von 0,5 Meter während eines vierstündigen Fluges abgetastet worden ist, sind 80 Millionen Punkte erfasst worden. Die riesige Punktwolke ist kaum mehr zu bewältigen. Ein Mehr an Daten bringt dann eher ein Weniger an Nutzen.

Das Landesvermessungsamt verwendet das Lidar-Verfahren seit dem Jahr 2000. Inzwischen ist fast das ganze Land Baden-Württemberg mit Laserstrahlen abgetastet. Fast für jedes Gebiet ist ein Rohdatensatz verfügbar, der auch von jedermann erworben werden kann. Diese Rohdaten können dann durch entsprechende Rechen- und Interpolierungsverfahren für individuelle Zwecke aufbereitet werden.

Dennoch macht Lidar den «klassischen» Geometer, der im Gelände mit Messstange und Tachymeter unterwegs ist, nicht arbeitslos. Denn das technische Verfahren stößt gelegentlich an seine Grenzen. Dichte Vegetation, eine Brombeerhecke oder eng ste-

hende junge Nadelbäume lassen keine oder zu wenige Laserstrahlen bis auf den Erdboden durch. So entsteht ein verfälschtes Bild, ein Oberflächenmodell, aber kein Geländemodell. Dann muss wieder der Vermessungsingenieur mit Gehilfen ran und die Topografie «in Handarbeit» erfassen. Vorzugsweise werden deshalb die Lidar-Flüge in der vegetationsarmen Winterzeit angesetzt. Für gewöhnlich aber lässt auch dichte, flächige Vegetation genügend Laserstrahlen durch, sodass ein brauchbares Bild entsteht.

Neben Buschwerk können auch jäh aufragende Felsen zu Fehlerquellen werden. Steile Felsen haben im oberen Donautal zu Fehlmessungen von bis zu sieben Meter geführt. Das Computerprogramm vermittelte zwischen Felsspitze und Felsfuß und errechnete einen Mittelwert für den (nicht vorhandenen) Hang zwischen den beiden Messpunkten. Solche extremen Fehlmessungen sind aber sehr selten. Andererseits ersetzt der Laser-Einsatz vom Flugzeug aus in schwer zugänglichem Gelände die mühsame und mitunter nicht ungefährliche «Handarbeit». Schon die Vermessungsarbeit im Wald mit nicht allzudicht stehenden Bäumen ist für Geometer eine echte Herausforderung.

Wenn das Auswertungsprogramm die Daten falsch wertet oder sie fälschlich oder unvollständig herausfiltert, muss der Auswerter den Fehler erkennen und das Ergebnis manuell korrigieren. Durch Vergleich mit entzerrten Luftbildern lassen sich solche Fälle erkennen und die Probleme lösen. Einer der Gründe, warum die Luftbildarchäologie durch das Lidar-Verfahren keineswegs überflüssig geworden ist.

Dennoch ist der Geländescan mit dem Laser ein gewaltiger Fortschritt. Denn mit Lidar lassen sich in kurzer Zeit und vergleichsweise kostengünstig große Flächen mit hoher Auflösung und Genauigkeit – und anders als auf alten Karten im aktuellen Zustand – erfassen.



Römermuseum Mengen-Ennetach
Kastellstraße 52
88512 Mengen-Enntach
Tel.: 0 75 72 . 76 95 04
www.roemermuseum.mengen.de







KELTEN UND RÖMER AN DER DONAU

- zwei einzigartige Museen
- lebendige Archäologie
- spannend für die ganze Familie
- Originalfunde und moderne Multimediaelemente








Keltenmuseum Heuneburg
Ortsstraße 2
88518 Herbertingen-Hundersingen
Tel.: 0 75 86 . 91 73 03
www.heuneburg.de

