

### Summary

Although 2015 was a rather quiet year for aerial photography in Westphalia, a number of important sites were identified, including an Early Neolithic longhouse, a Late Neolithic earthwork, a Bronze Age ring ditch and new traces of the Roman military camp at Anreppen, which had already been partially excavated. The success of aerial archaeology is due in no small way to the operational experience that has been gained in dealing with the different cultural landscapes of Westphalia and, above all, to the close collaboration with the branch office in charge.

### Samenvatting

Hoewel 2015 eigenlijk een vrij slecht jaar voor Westfaalse luchtfoto-archeologie was, zijn toch enkele belangwekkende vindplaatsen waargenomen. Het betreft een vroegneolithisch langhuis, ringsloten uit de bronstijd en onbekende resten van het reeds opgegraven Romeinse

legerkamp te Anreppen. Het succes van de luchtfoto-archeologie is gestoeld op een toenemende ervaring met onderzoek in de verschillende cultuurlandschappen van Westfalen, maar vooral op de hechte samenwerking met de verantwoordelijke regionale, archeologische dependances van de LWL.

### Literatur

**Eva Cichy/Kerstin Schierhold/Michael Baales**, Untersuchung eines Grabenkopfes am neolithischen Grabenwerk von Bad Sassendorf. Archäologie in Westfalen-Lippe 2010, 2011, 39–41. – **Baoquan Song**, Luftbildarchäologie in Westfalen – methodische Erfahrung im Jahr 2011. Archäologie in Westfalen-Lippe 2011, 2012, 203–208. – **Baoquan Song**, Luftbildarchäologie in Westfalen – methodische Erfahrungen im Jahr 2012. Archäologie in Westfalen-Lippe 2012, 2013, 232–237. – **Baoquan Song**, Luftbildarchäologie in Westfalen – methodische Erfahrungen im Jahr 2013. Archäologie in Westfalen-Lippe 2013, 2014, 201–207. – **Baoquan Song**, Luftbildarchäologie in Westfalen – methodische Erfahrungen im Jahr 2014. Archäologie in Westfalen-Lippe 2014, 2015, 276–280.

## Die automatische Suche nach Bodendenkmälern im Laserscan

Fabian Meyer

Verschiedene Regierungsbezirke

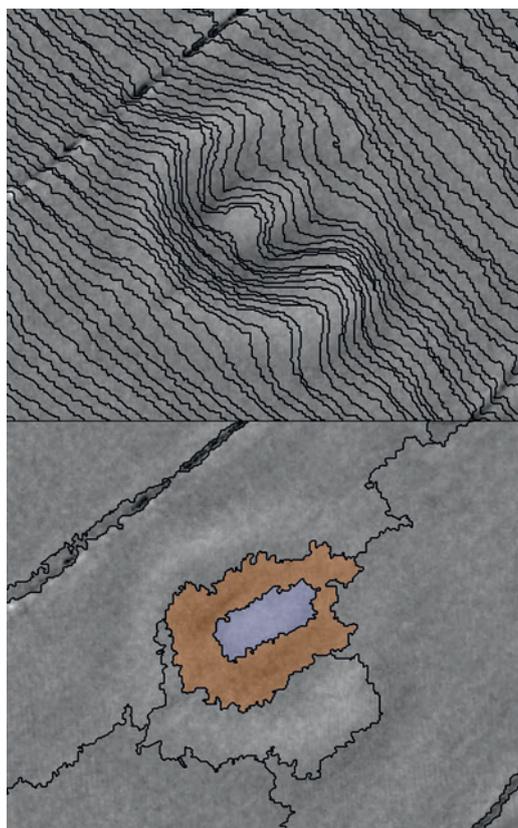
Seit etwa 15 Jahren bietet die LiDAR-Technologie (Light Detection and Ranging) der Archäologie zahlreiche neue Möglichkeiten, vor allem die der flächendeckenden Erfassung oberirdischer Bodendenkmäler in vegetationsreichen Gebieten wie Wäldern. Eine Vielzahl von Studien hat das für LiDAR vorausgesagte Potenzial eindrucksvoll bestätigt. Im Vergleich zu älteren Kartierungen von Bodendenkmälern vervielfachten sich die Fundstellen in den letzten Jahren häufig, da auch Bodendenkmäler erfasst wurden, die man bisher nicht erkannt hatte.

Die systematische und effiziente Auswertung der mithilfe von LiDAR erzeugten digitalen Geländemodelle (DGM) stellt jedoch bei allem Erfolg immer noch ein Problem dar. Bis auf wenige Ausnahmen werden Verdachtsflächen manuell gesucht und markiert. Das DGM wird dazu mit einer Schummerung versehen, die die Sichtbarkeit kleiner Reliefunterschiede deutlich verbessert. Die virtuellen

Schattenwürfe sind allerdings von derselben Problematik betroffen wie Luftbilder: Verlaufen Strukturen parallel zur Beleuchtungsrichtung, sind sie praktisch unsichtbar.

Ein Verschieben der Beleuchtung ist zwar möglich, aber relativ aufwendig und führt zudem zu einer veränderten Reliefdarstellung bis hin zur Reliefumkehr. Deswegen wurden verschiedenste Visualisierungen entwickelt, die ohne eine simulierte Beleuchtungsquelle auskommen. Am Ende steht dennoch meist die manuelle Erfassung der Bodendenkmäler und damit eine Reihe von möglichen Fehlerquellen, wie das Übersehen von Verdachtsflächen durch eine suboptimale Bildschirmdarstellung und -einstellung, sowie ein großer Zeitaufwand. Letzteres wird einmal mehr unter Berücksichtigung der enormen Zahl zu erwartender Verdachtsflächen deutlich.

Im Rahmen einer Masterarbeit am Geographischen Institut der Ruhr-Universität Bochum wurde daher eine Möglichkeit entwi-



ckelt, die großen LiDAR-Datenmengen, die dem LWL zur Verfügung stehen, möglichst effizient auszuwerten und potenzielle Bodendenkmäler weitestgehend automatisiert zu erfassen. Bei der entwickelten Methode kommt die Software eCognition zum Einsatz, die mit dem Konzept der objektorientierten Klassifikation vollautomatisch nach Bodendenkmälern sucht. Am Ende der Erfassung liegen GIS-kompatible Verdachtsflächen vor, die der

Interpretation bedürfen. Um diese zu erleichtern und zu beschleunigen, sind die Verdachtsflächen danach sortiert, wie sehr sie ihrem jeweiligen Idealtyp entsprechen. Die Beurteilung erfolgt auf Basis von Referenzdaten aus dem FuPuNet, der elektronischen Fundpunktverwaltung der LWL-Archäologie für Westfalen, mit denen verschiedene Bodendenkmal-Klassen erstellt wurden. Auf diese Weise können die interessantesten Flächen zuerst begutachtet und uninteressante zunächst vernachlässigt werden.

Die objektorientierte Klassifikation klassifiziert nicht einzelne Pixel, sondern homogene Bildbereiche (Objekte), die im initialen Schritt der Segmentation erzeugt werden und hier den zu suchenden Bodendenkmälern entsprechen. Für die Objekte lassen sich verschiedenste Eigenschaften wie Form, Größe oder der durchschnittliche Pixelwert berechnen. Außerdem stehen die Objekte zueinander in Beziehung, sodass auch Nachbarschaften berücksichtigt werden. Mit denselben Eigenschaften und Nachbarschaftsbeziehungen werden auch Klassen definiert, die die verschiedenen Bodendenkmäler beschreiben. »Kleine, runde Objekte, die ausschließlich von niedrigeren Objekten umgeben sind« repräsentieren beispielsweise Grabhügel. »Große, runde Objekte, die von einem Graben umgeben sind« beschreiben hingegen die Turmhügel von Motten und »lange, schmale, runde Objekte, die von höheren Bereichen umgeben sind und neben einem Turmhügel liegen« die dazugehörigen Gräben. Passen die Eigenschaften eines Objektes zu denen einer Klasse, wird es ihr zugewiesen.

Abb. 1 Objektgrenzen des DGM (oben) und der Difference Map (unten, mit farbiger Hervorhebung von Hügel und Graben). Da die Struktur im DGM nicht sichtbar ist, wurde jeweils die Difference Map unter die Objektgrenzen gelegt (Kartengrundlage: Geobasisdaten der Kommunen und des Landes NRW © Geobasis NRW 2016; Screenshot: F. Meyer mit eCognition).

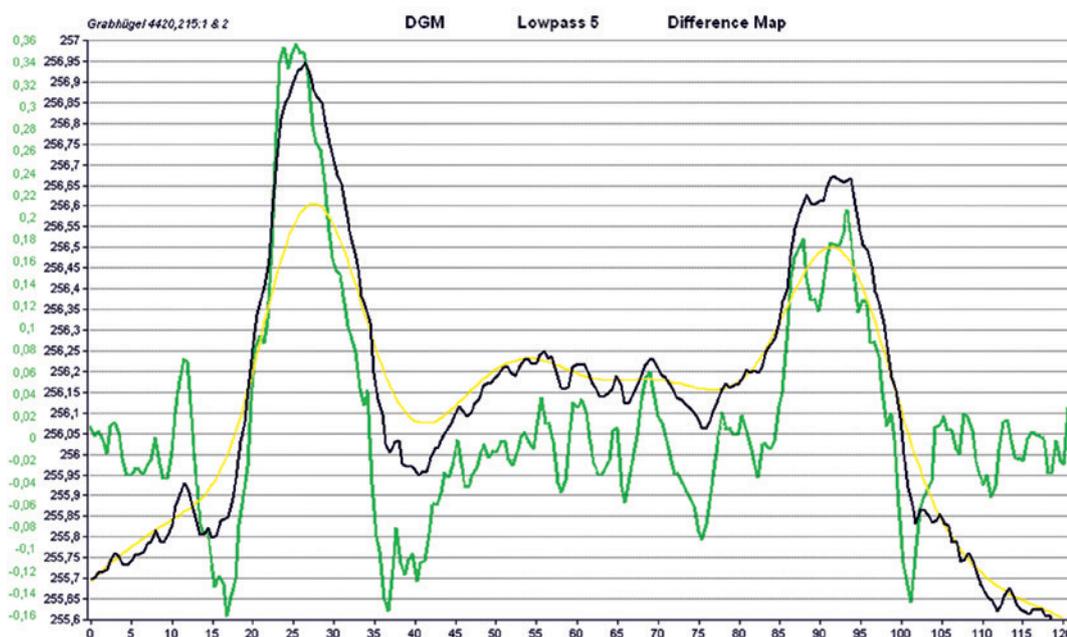
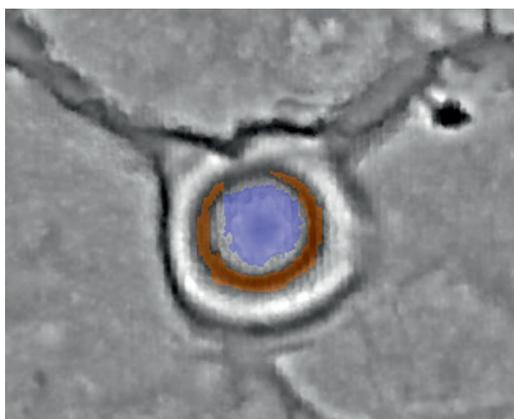


Abb. 2 Profil eines Grabhügels mit nebenliegender Delle im DGM (schwarz), im fünfmal geglätteten DGM (gelb) und in der Difference Map (grün). Es ist gut erkennbar, wie positive und negative Reliefanomalien in der Difference Map um 0 mäandrieren (Grafik: F. Meyer mit ArcGIS).

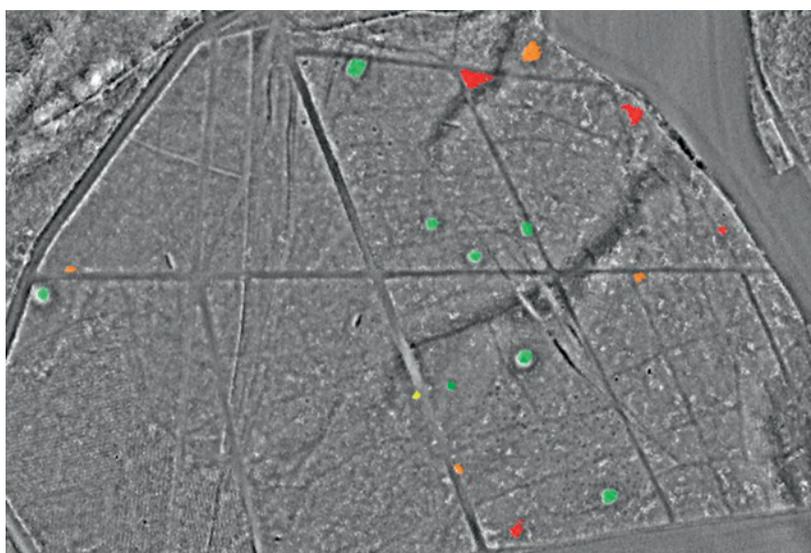
Die Arbeitsschritte, die zum klassifizierten Bild führen, lassen sich in Form von *rulesets* speichern und in anderen Projekten mit geringem Aufwand ausführen, sodass das zeitaufwendige Erstellen der Prozesse entfällt und eine schnelle Analyse neuer Gebiete möglich ist. Dass sich diese Klassifikationsmethode generell für die automatisierte Suche nach Bodendenkmälern eignet, wurde bereits in den letzten Jahren festgestellt.

**Abb. 3** Klassifikationsergebnis der Imbsenburg bei Paderborn mit farbiger Hervorhebung von Hügel und Graben (Kartengrundlage: Geobasisdaten der Kommunen und des Landes NRW © Geobasis NRW 2016; Screenshot: F. Meyer mit eCognition).



Bodendenkmäler sind mit dem objektorientierten Ansatz nur begrenzt direkt in einem DGM zu erfassen: Strukturen an Hängen bereiten Probleme, da die Objektgrenzen den Höhenstufen folgen und dort eben nicht den zu suchenden Denkmälern (Abb. 1). Deswegen wurde auf eine simple und schnell zu berechnende Visualisierung zurückgegriffen, die dieses Problem löst: Durch Subtraktion eines geglätteten vom originalen DGM ist in der Difference Map das Makrorelief entfernt worden, sodass nur das Mikrorelief inklusive der möglichen Bodendenkmäler vorhanden ist und in

**Abb. 4** Klassifikationsergebnis eines Grabhügel-feldes in Flaesheim. In grün die idealtypischen Grabhügel (Kartengrundlage: Geobasisdaten der Kommunen und des Landes NRW © Geobasis NRW 2016; Screenshot: F. Meyer mit eCognition).



der Ebene dargestellt wird (Abb. 2). Zur Berechnung dieser Visualisierung wurde ein auf den LWL zugeschnittenes GIS-Tool entwickelt, das aus den vorhandenen Rohdaten vollautomatisch die für die Klassifikation erforderlichen Bilddateien erzeugt.

Mit dem beschriebenen Verfahren wurden in der Masterarbeit Motten, Grabhügel und Wölbäcker in Testgebieten in Nordwest- und Ostwestfalen erfasst. Die Ergebnisse zeigen, dass Motten in ihren verschiedenen Ausprägungen mit der entwickelten Methode gut zu erfassen sind und verschiedene Erhaltungszustände unterschieden werden können – in den drei Testgebieten gibt es nur einen vermutlich falschen Treffer, der einer Motte aber auch recht ähnlich sieht (Abb. 3).

Die Klassifikationsqualität bei Grabhügeln hängt stark von mehreren Faktoren ab. Erstens ist hier der Erhaltungszustand zu nennen. Beschädigte und stark erodierte Grabhügel fallen in nicht idealtypische Klassen und werden somit bei der Interpretation nicht primär betrachtet oder bleiben sogar unerkannt. Zweitens sind auch die Segmentationsparameter und die Klassenbeschreibungen von großer Bedeutung, da diese beeinflussen, ob ein Grabhügel erkannt und wie er klassifiziert wird. Drittens spielt auch die gewählte Visualisierung eine Rolle. Trotz allem liegen die Trefferquoten in einigen Testgebieten bei 90–100 %. Des Weiteren wurden auch Grabhügel gefunden, die nicht in den Referenzdaten vorhanden waren (Abb. 4).

Bei den Wölbäckern zeigt sich, dass die Klassifikationsmethode gerade in ebenem Gelände sehr gut funktioniert und kaum falsche Treffer ausgibt. Erfasst werden nicht gesamte Wölbäckerfluren, sondern einzelne Furchen und Kämmen, die sich über ihre Nachbarschaft zu weiteren, gleichen Strukturen als Elemente einer möglichen Wölbäckerflur zu erkennen geben. Probleme gibt es bei hangparallelen Wegen, da diese nach Entfernen des Makroreliefs (zumindest für eCognition) wie Wölbäcker aussehen. Nichtsdestotrotz wurden auch hier teils sehr gute Ergebnisse erzielt (Abb. 5).

Zur Verbesserung der Ergebnisse gibt es einige Ansätze. Zum einen könnten weitere Visualisierungen getestet werden, um deren Einflüsse nach Möglichkeit zu minimieren. Zum anderen könnten die Trefferquoten (gerade bei Grabhügeln) mit strengeren, feineren und neuen Klassen verbessert werden. Außerdem ließen sich verschiedene Erhaltungszu-

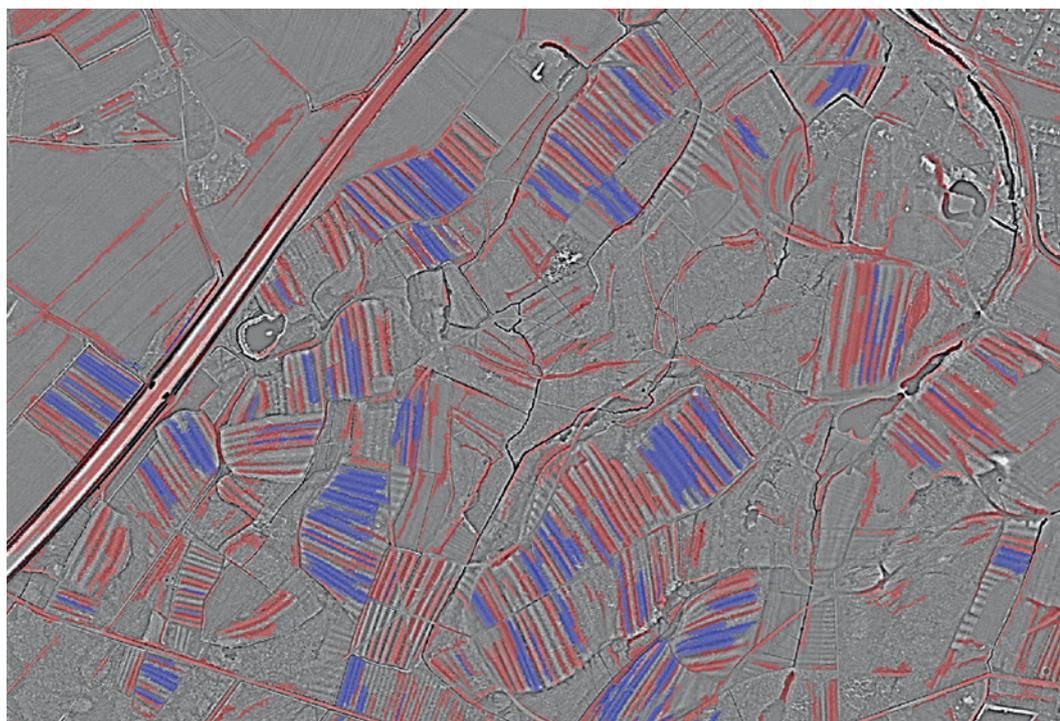


Abb. 5 Klassifikationsergebnis im Wildpark Dülmen. In Blau die erfassten Wölbackerstrukturen, in Rot weitere mögliche Wölbackerstrukturen, die zur Klassifikation der blauen Flächen benötigt werden, für die Interpretation aber eher uninteressant sind (Kartengrundlage: Geobasisdaten der Kommunen und des Landes NRW © Geobasis NRW 2016; Screenshot: F. Meyer mit eCognition).

stände durch mehrere, unabhängige Segmentationen abdecken, was allerdings den Zeitbedarf erhöhen würde und daher bisher nicht in Betracht gezogen wurde.

Neben all den kleinen Verbesserungen in eCognition würde der größte Qualitätsgewinn dadurch erreicht werden, dass Flächen aus den Daten entfernt werden, die keine Bodendenkmäler mehr enthalten können – versiegelte Siedlungs- und Abbauflächen kommen hier infrage. Dies würde viele definitiv falsche Treffer bereits im Voraus vermeiden.

Für eine Verwendung der Methode in größerem Rahmen ist des Weiteren die Verwendung der Stapelverarbeitungsmodi im GIS und in eCognition vielversprechend, da so mehrere Datensätze auf einmal bearbeitet werden könnten.

Abschließend ist festzuhalten, dass der Computer zwar automatisch nach Strukturen suchen kann, die ihm zuvor beschrieben wurden, die Interpretation hingegen nach wie vor Aufgabe des archäologisch geschulten Auges bleibt. Die gefundenen Flächen stellen zunächst lediglich Verdachtsflächen dar, die mit Geodaten aus weiteren Quellen (Luftbild, historische Karten, etc.) zu interpretieren sind. Dies kann im Vergleich zur manuellen Erfassung durch die entwickelte Methode vereinfacht und beschleunigt werden, indem die Software den Archäologen auf interessante Strukturen aufmerksam macht und dieser die interessantesten Flächen zuerst betrachtet.

### Summary

Whilst LiDAR technology has solved some of the problems with archaeological surveying and various visualisations have been created, the systematic and automatic analysis of LiDAR data still poses a significant challenge. Object-based classification is a promising tool in dealing with large amounts of data. In contrast to other classifications, it does not analyse individual pixels but pixel groups (objects) and their statistical features and environments. This allows us to carry out complex searches that run automatically and can be transferred to other projects.

### Samenvatting

Terwijl de Lidar-technologie de laatste jaren verschillende problemen binnen de archeologische prospectie heeft opgelost en diverse (terrein)modellen ontwikkeld zijn, is de systematische en geautomatiseerde analyse van Lidar-data nog steeds problematisch. Object-georiënteerde classificatie is een veelbelovende methode om grote hoeveelheden data te verwerken. Anders dan bij andere classificatiemethoden gaat deze techniek niet uit van individuele pixels, maar van pixelclusters (objecten) met eigen en gezamenlijke statistische eigenschappen. Dit maakt complexe, geautomatiseerde zoekopdrachten mogelijk, die ook in andere projecten toepasbaar zijn.

## Literatur

**Ralf Hesse**, LiDAR-derived Local Relief Models – a New Tool for Archaeological Prospection. *Archaeological Prospection* 17, 2010, 67–72. – **Michael Doneus**, Die hinterlassene Landschaft. Prospektion und Interpretation in der Landschaftsarchäologie. *Mitteilungen der Prähistorischen Kommission der Österreichischen Akademie der Wissenschaften* 78 (Wien 2013). – **Willem Vletter**, A Workflow for (Semi)Automatic Extraction of Roads and Paths in Fo-

rested Areas from Airborne Laser Scan Data. *AARGnews* 50, 2015, 33–40. – **Christopher Sevara u. a.**, Pixel Versus Object – A Comparison of Strategies for the Semi-Automated Mapping of Archaeological Features Using Airborne Laser Scanning Data. *Journal of Archaeological Science: Reports* 5, 2016, 485–498. – **M. Fabian Meyer**, Möglichkeiten der objektorientierten Klassifikation für die automatisierte Auswertung von LiDAR-Daten in der Luftbildarchäologie (Masterarbeit Ruhr-Universität Bochum 2016).

## Rekonstruktion

# Fertigstellung der 3-D-Rekonstruktion einer römischen Kline aus Haltern am See

Lina Pak,  
Klaus Sundermann,  
Sebastian Pechtold

Kreis Recklinghausen, Regierungsbezirk Münster

In den letzten Jahren beschäftigte sich ein Team um Dr. Stefan Berke – bestehend aus Archäologen, Restauratoren, Zeichnern, einem 3-D-Artist, einem Tischler und einem Polsterer – mit der Klinienrekonstruktion. Einblicke in die bisherige Rekonstruktionsarbeit gab es in der vorliegenden Reihe bereits in Band 2010 und 2014. Da die Kline im Jahr 2015 fertiggestellt wurde, folgt hier der letzte Abschnitt mit den Arbeiten von den 3-D-Ausdrucken bis zum Ausstellungsstück. Beim Bau des eigentlichen Grundgerüsts der Kline stand zunächst die Gestalt der Bauteile der Beine im Vordergrund, da die Abmessungen der Originale dort recht gut zu ermitteln waren. Erst im zweiten und dritten Schritt wandte man sich der Ausdehnung des Bettrahmens zu und schließlich der Form der Fulcra.

Die aufwendige digitale Rekonstruktion der Knochenschnitzereien, die aus insgesamt 110 Stücken besteht, wurde mithilfe eines externen Industrie-3-D-Druckers erstellt. Hierbei wurde das Selective-Laser-Sintering-Verfahren (SLS) angewandt, welches die Ausdrucke Schicht für Schicht in Nylonpulver aufbaut, sodass detailgetreue Kopien der knöchernen Verzierungselemente der Kline entstanden sind (Abb. 1).

Die Stücke sind in weißer Farbe ausgedruckt worden, da sie den Originalfunden aus gelblich weißen Rinderknochen am nächsten kommt. Damit die Ausdrucke dem ursprünglichen Aussehen der Originale entsprechen, wurden sie durch Kolorieren farblich angepasst. Außerdem konnte durch geschickt angelegte Schattierungen die Plastizität der Verzierungen hervorgehoben werden. Für die Kolorierung wurden Acrylfarben verwendet, die sich durch eine hohe Lichtechtheit und dichte Pigmentierung auszeichnen und nicht vergilben (Abb. 2). Da zur Farbstabilität des gesinterten Nylonpulvers bisher noch keine Erfahrungswerte vorliegen, wurden die Ausdrucke vorsorglich zweifach grundiert, damit bei eventueller Vergilbung des Materials keine Farbänderung sichtbar wird. Ein zusätzlicher Beweggrund für die Grundierung war, dass einige Ausdrucke wegen ihrer Größe drucktechnisch bedingt etwas rauer und poröser waren. Die meisten Ausdrucke erhielten durch eine Art Polierung und Versiegelung eine glattere und geschlossene Oberfläche. Eine vorangegangene Probekolorierung hatte gezeigt, dass die unversiegelten Drucke die

**Abb. 1** Eine Dose für das untere Ende des Klinienbeines als 3-D-Rekonstruktion (links) und das 6,5 cm hohe Originalfragment aus Knochenplatten aus Grab 22/06 (rechts) (Foto: LWL-Archäologie für Westfalen/S. Brentführer).

