

# Modellierung historischer Oberflächen und prähistorischer Landschaften auf Grundlage hochauflösender Geländemodelle

Veit Höfler<sup>1</sup>, Christine Wessollek<sup>1</sup>, Pierre Karrasch<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut für Photogrammetrie & Fernerkundung, TU Dresden · veit.hoefler@tu-dresden.de

<sup>2</sup>Professur für Geoinformatik, TU Dresden

**Zusammenfassung:** Unter Anwendung hochauflösender digitaler Geländemodelle und geomorphologischen Expertenwissens können Landschaften rekonstruiert werden, als seien sie frei von menschlichen Einflüssen. Wird archäologisches Wissen hinzugezogen, können historische Oberflächen modelliert werden. Tiefen- und Höhenlinien sowie Kenntnisse aus archäologischen Grabungen und bodenkundlichen Untersuchungen bilden die Grundlage hochauflösender prähistorischer bzw. historischer Geländeoberflächen. Auf Basis geomorphometrischer und geostatistischer Überlegungen werden zwei Geländeoberflächen modelliert.

**Schlüsselwörter:** Archäologie, Geomorphologie, Oberflächenmodellierung, R Statistik

*Abstract: Terrain surfaces conserve human activities in terms of textures and structures. The objective of geomorphological filters is to distinguish between anthropogenically undisturbed and disturbed surfaces. Filters applied over high-resolution DTM show a clear anthropogenic character of contour lines and channels. Based on methodology of geomorphometry and geo-statistics a series of analyses functions is developed to provide a relief which can be defined as historical by means of geomorphological, archaeological and geomorphometrical knowledge and a relief which can be defined as prehistoric.*

**Keywords:** Archeology, geomorphology, surface modeling, R statistics

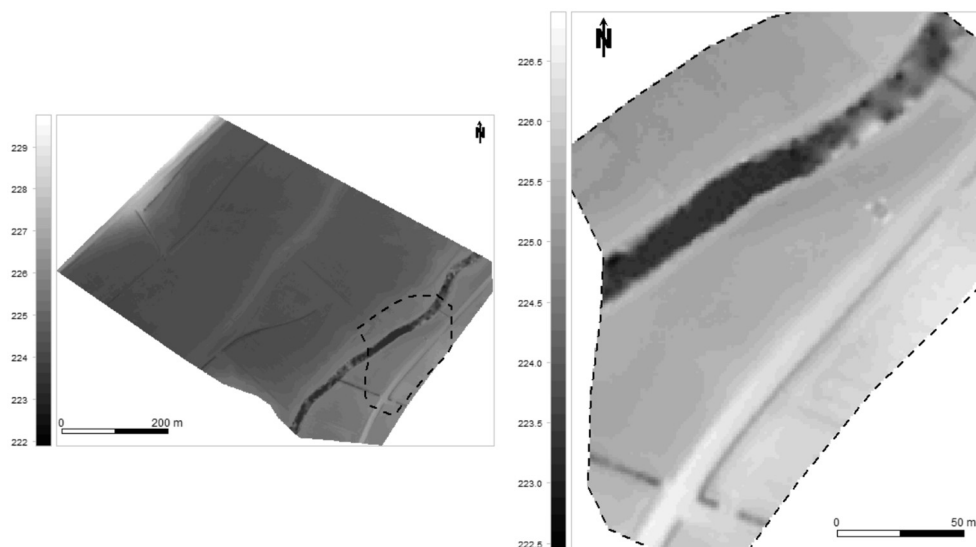
## 1 Einleitung

Geländemodelle, die eine Landschaft so beschreiben, als wäre sie frei von rezenten menschlichen Artefakten, stellen im Fachbereich der Archäologie eine wichtige Arbeitsgrundlage dar. Klassische Verfahren der Bearbeitung von Oberflächen zur Beseitigung von Objekten aus Oberflächenmodellen werden beispielsweise durch VOSELMAN (2000) beschrieben. Diese erfüllen im vorliegenden Fall die Anforderungen der Archäologie jedoch nur bedingt. So zeigen die Ergebnisse, dass die Höhen- und Tiefenlinien in Siedlungsbereichen deutlich gestört und beispielsweise annähernd identisch mit Straßenverläufen sind. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen haben HÖFLER et al. (2015) erste Ergebnisse der Generierung einer Geländeoberfläche ohne menschliche Überprägung in Form von Artefakten unter der Beibehaltung des landschaftsgenetischen Charakters präsentiert. Zudem wird gezeigt, wie es die Weiterentwicklung jener Algorithmen unter Einbeziehung neuer Parameter ermöglicht, historische Flussverläufe in ein historisches Oberflächenmodell zu integrieren. Sie bilden die Grundlage für weitere Untersuchungen im Bereich des Neustädter Beckens an der Fränkischen Saale im unterfränkischen Rhönland. Auf Basis archäologischer und geomorphologischer Untersuchungen wird exemplarisch dargelegt, wie mithilfe von Methoden der Geomorphometrie und Geostatistik prähistorische und historische Oberflächen modelliert werden können (PIKE 2000, AKIN & SIEMES 1988).

## 2 Methodik

### 2.1 Untersuchungsgebiet und Datengrundlage

Der frühmittelalterliche Siedlungskomplex Salz (vgl. Abb. 1), der durch verschiedene wissenschaftliche Arbeiten als Standort der karolingisch-ottonischen Pfalz in den Mittelpunkt archäologischer Forschungen gerückt wurde (ETTEL & WERTHER 2011), dient als Ausgangspunkt für die Modellierungen.



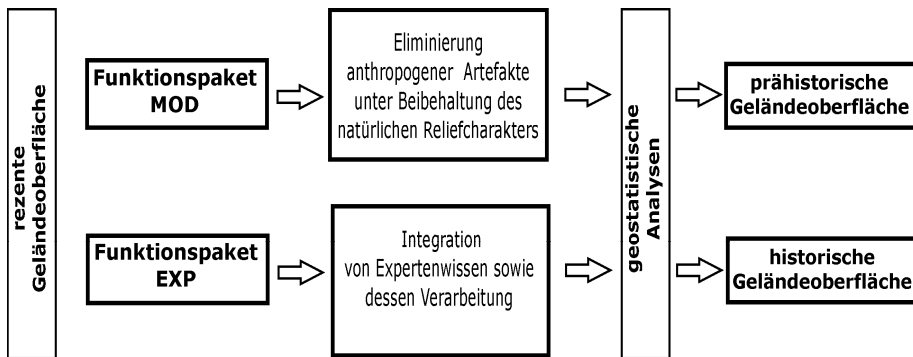
**Abb. 1:** Untersuchungsgebiet (links: *Wüstung Salz* rechts: *Zentrum Wüstung Salz*). Die gestrichelten Linien entsprechen den Abgrenzungen der Modellierungsflächen.

Die Datengrundlage bildet ein Digitales Geländemodell (DGM), mit einer Gitterweite von einem Meter. Die Höhengenaugkeit wird durch das Landesamt für Vermessung und Geoinformation Bayern mit  $\pm 0,2$  m, die Lagegenauigkeit mit  $\pm 0,5$  m angegeben. Als weiteren Datenbestand konnte auf eine Vielzahl von Bohrkernanalysen zugegriffen werden, die im Rahmen archäologischer Forschungen gewonnen wurden (WUNSCHEL et al. 2015). Zudem bilden geomorphologische Sondagen und Feldstudien die Basis für das Verständnis der landschaftlichen Entwicklung und deren resultierender Reliefformen. So waren für die Modellierung der historischen Oberfläche beispielsweise Erkenntnisse, wie die Lage und die Form eines Schwemmfächers sowie das Wissen über den Verlauf der historischen Fränkischen Saale, wertvoll.

### 2.2 Umsetzung in R

Die in der Programmiersprache R entwickelten Algorithmen verfolgen verschiedene Ziele (R DEVELOPMENT CORE TEAM 2008). Zum einen haben sie das Ziel, Landschaften hinsichtlich ihrer Geländeoberfläche zu analysieren, um sie letztlich unter Ausnutzung von geomorphologischem Expertenwissen ohne rezente menschliche Überprägungen zu modellieren.

Andererseits eröffnen sie die Möglichkeit der Rekonstruktion von Geländeoberflächen unter zusätzlicher Nutzung archäologischer Untersuchungen und sedimentologischer Analysen. Am Beispiel der beiden Modellierungsflächen *Wüstung Salz* und *Zentrum der Wüstung* (Abb. 1) lassen sich die Funktionen in zwei Pakete zusammenfassen (vgl. Abb. 2). In einem werden die Geländeparameter aus dem rezenten Oberflächenmodell extrahiert und bearbeitet, sodass der natürliche Reliefcharakter nicht gestört wird. In einem zweiten Paket werden die zusätzlich gewonnenen Daten in die Modellbildung integriert. Schließlich werden alle verarbeiteten Daten genutzt und durch geostatistische Verfahren zur endgültigen prähistorischen bzw. historischen Oberfläche modelliert.



**Abb. 2:** Übersicht der Arbeitsabläufe

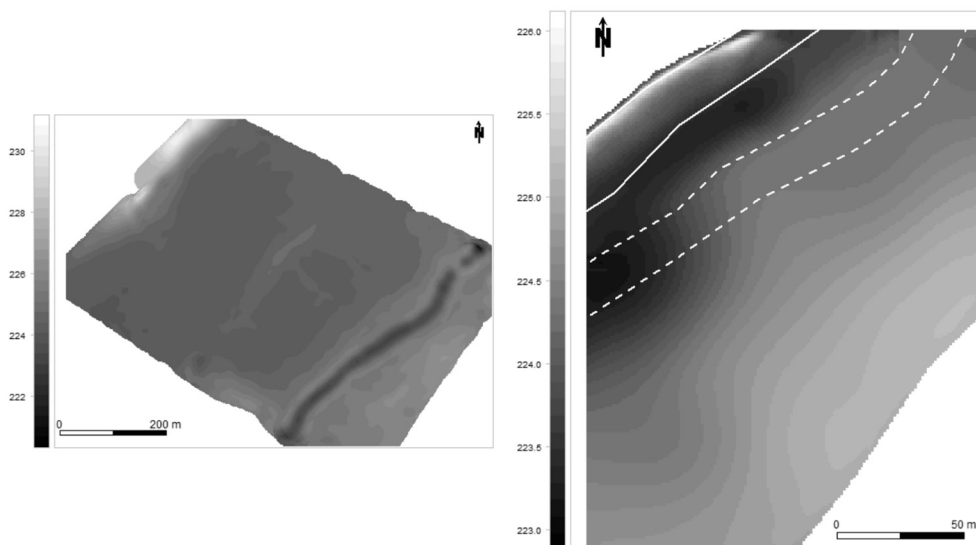
**MOD:** Ziel dieses Paketes ist es, aus einem hochauflösenden Digitalen Geländemodell Informationen zu extrahieren, die es ermöglichen menschliche von nicht menschlichen Artefakten zu unterscheiden. Dieses Paket beinhaltet Funktionen, die in einem mehrstufigen Prozess zunächst die Höheninformationen von den Höhenlinien extrahieren, um sie dann entweder teilautomatisch in der R-Umgebung oder manuell in einem Geoinformationssystem anzupassen. Abschließend besteht die Möglichkeit, die manipulierten Informationen optional mit Expertenwissen zusammenzuführen, um aus ihnen unter Anwendung geostatistischer Methoden eine neue Geländeoberfläche zu modellieren.

**EXP:** Das Funktionspaket dient der Inkludierung zusätzlicher Informationen aus Bohrungen, Grabungen oder weiterer geomorphologischer Erkenntnisse in die Modellbildung. Das kann für ein Untersuchungsgebiet im Ganzen geschehen oder, abhängig von der Verfügbarkeit zusätzlicher Daten, auch für Teilflächen.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Prähistorische Oberfläche

In die Modellierung wurden alle Höhenlinien einbezogen, die den Auenbereich sowie die Schwemmfächerflächen auf der östlichen Saalseite beschreiben. Zusätzlich wurden zur Modellierung Tiefenlinien, die mithilfe des Geoinformationssystems SAGA GIS (CONRAD et al. 2015) erzeugt worden sind, genutzt. Die Tiefenlinien sind vor allem für den Auenbereich wichtig, da die Höhenlinien in der Regel durch menschliche Einflüsse geprägt sind. Letztlich wurden alle linienhaft vorliegenden Höheninformationen in punktuelle Höheninformationen umgewandelt. Die aus dem DGM extrahierten Höheninformationen des Flusses wurden auf die jeweils kleinsten Höhenwerte beschränkt und als regelmäßige Punktinformationen abgelegt. Anschließend wurden auf Grundlage einer CIR-Aufnahme (Color-Infrarot) menschlich überprägte Bereiche identifiziert und eliminiert. Sämtliche Punktinformationen wurden zusammengefasst und interpoliert (Abb. 3 links). In dieser Arbeit wurde nach der variographischen Analyse der Daten das Interpolationsverfahren *Ordinary Kriging* angewandt (AKIN & SIEMES 1988).



**Abb. 3:** Ergebnis der Modellierung (links: prähistorische Oberfläche *Wüstung Salz*; rechts: historische Oberfläche *Zentrum Wüstung Salz*). Die gestrichelte Linie entspricht dem historischen und die durchgängige Linie den rezenten Verlauf der Fränkischen Saale.

### 3.2 Historische Oberfläche

Für die Generierung der historischen Oberfläche wurde eine Teilfläche, basierend auf der Verwendung von Borkernanalysen, interpoliert. Dafür wurden Informationen des Bodenhorizonts verwendet, der dem zu untersuchenden Zeitraum entspricht. In einem weiteren Schritt wurden auf der zuvor modellierten Teilfläche regelmäßige Punkte mit einem Abstand von 1 m erzeugt. Um den Verlauf der Fränkischen Saale zu rekonstruieren, wurden die Höheninformationen sowie die Lage des Flusses auf Grundlage von Bohrungen und sedimentologischen Analysen angepasst. Die Flusstiefe konnte so plausibler dargestellt werden. Daher wurden die zuvor erzeugten Punkte um etwa 15 m Richtung Westen verschoben und um einen Meter gesenkt. In einem letzten Schritt wurden alle, in einer Matrix zusammengeführten Punktinformationen einer geostatistischen Analyse unterzogen und mit dem Kriging-Verfahren interpoliert. Das Ergebnis zeigt für den Bereich der *Wüstung Salz* eine historische Oberfläche (Abb. 3 rechts).

## 4 Validierung und Diskussion

Für eine erste objektive Qualitätskontrolle wurde mit der Kreuzvalidierung ein etabliertes Verfahren für die Bewertung von Modellen genutzt (WISE 2011). Im Fall der prähistorischen Oberfläche hat sich gezeigt, dass die Gesamtfehlerquote der  $k$ -fachen Kreuzvalidierung bereits für  $k = 100$  nahe Null liegt und somit eine hohe Güte für die Modellierung nachweisbar ist. Der Vergleich der gemessenen Höhenwerte mit denen der Modellierung (Residuen) zeigt in flachen Auenbereichen eine gute Übereinstimmung. Anders verhält es sich im Bereich der Hänge und Böschungen, in denen die Residuen zum Teil stark variieren. Zu beachten ist aber auch, dass bei dieser Art der Validierung keine Informationen zur Verfügung stehen, in welchen Höhenbereichen es zu Unter- bzw. Überschätzung der Geländeoberfläche gekommen ist. Dennoch kann festgehalten werden, dass der Mittelwert (0,003 m) und die Standardabweichung (0,093 m) der Residuen auf ein gutes Ergebnis schließen lässt. Diese Einschätzung wird durch makroskopische Analysen der prähistorischen Oberfläche sowie des Differenzrasters zwischen rezentem und modelliertem Relief bestätigt. Alle menschlichen Artefakte wurden unter Beibehaltung des natürlichen Landschaftscharakters eliminiert.

Werden die gleichen Qualitätsparameter der Gütebestimmung auch auf das historische Geländemodell angewendet, so ist festzustellen, dass diese nur eingeschränkt aussagekräftig sind. Hinsichtlich der Gesamtgenauigkeit zeigen sich keine Auffälligkeiten, da die Werte in einem Bereich liegen, der auf eine hohe Gesamtgüte schließen lässt. So stellt sich die Frage, ob das erzeugte Modell die historische Situation adäquat beschreibt. Auch eine Untersuchung der Differenz der beiden Oberflächen (rezente, verglichen mit modellierter Oberfläche) ist nicht aussagekräftig da sich zwangsweise Unterschiede durch die Eliminierung menschlicher Artefakte ergeben müssen. Um ein weiteres Gütekriterium zu nutzen, kann man nach GAU (2011) neben den objektiven Gütebestimmungen auch subjektive Qualitätsmerkmale heranziehen. Diese bezeichnet er als *qualitative Ansätze* und setzt als Grundlage eine Plausibilitätsprüfung voraus, die bereits während der Phase der Modellierung gegeben sein muss. Eine Möglichkeit zur Prüfung bietet die Auswertung von Profilen. Dafür wurden vier Profilschnitte auf der historischen Oberfläche festgelegt. Alle Profile haben die Eigenschaft, dass die Geländehöhe der historischen Oberfläche im Vergleich zur rezenten Oberfläche ca. 1 m tiefer liegt. Diese Tatsache deckt sich mit den Erkenntnissen aus den Bohrungen. Werden die

Geländeoberflächen hinsichtlich ihrer Reliefenergie verglichen, so zeigt sich, dass die rezente Oberfläche lokal höhere Werte aufweist als die modellierte Oberfläche. Diese Tatsache ist den anthropogenen Überprägungen geschuldet, die aus dem Digitalen Geländemodell stammen. Die drei in Richtung Fränkische Saale gerichteten Profile zeigen einen flach abfallenden Hang. Die Form der Geländeoberfläche verweist auf einen Schwemmfächer. Die Bewertung der Ergebnisse aus diesen Prüfungen lassen die Schlussfolgerung zu, dass die Generierung eines historischen Modells möglich ist.

Die Stärke des modularen Aufbaus der Funktionspakete besteht in der Möglichkeit, diese nach Bedarf miteinander zu verbinden. Sie stehen in Form eines Kataloges separat einsetzbarer Funktionen in der Software R-Statistik zur Verfügung und werden stetig weiterentwickelt. Perspektivisch lassen sich mit höherer Datendichte noch genauere prähistorische Oberflächen modellieren.

## Literatur

- AKIN, H. & SIEMES, H. (1988), *Praktische Geostatistik, Eine Einführung für den Bergbau und die Geowissenschaften*. Springer, Berlin/Heidelberg.
- CONRAD, O., BECHTEL, B., BOCK, M., DIETRICH, H., FISCHER, E., GERLITZ, L., WEHBERG, J., WICHMANN V. & BÖHNER, J. (2015), System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geosci. Model Dev.*, 8 (7), 1991-2007, 10.5194/gmd-8-1991-2015.
- ETTEL, P. & WERTHER, L. (2011), Archäologische Forschungen im frühmittelalterlichen Siedlungskomplex Salz an der Fränkischen Saale. *Frankenland. Zeitschrift für fränkische Landes- und Kulturpflege*, 2, 79-90.
- GAU, C. (2011), *Geostatistik in der Baugrundmodellierung, Die Bedeutung des Anwenders im Modellierungsprozess*. Vieweg+Teubner, Wiesbaden.
- HÖFLER, V., WESSOLLEK, C. & KARRASCH, P. (2015), Modelling prehistoric terrain Models using LiDAR-data: a geomorphological approach, 96440B-96440B-15.
- PIKE, R. J. (2000), Geomorphometry -diversity in quantitative surface analysis. *Progress in Physical Geography*, 24 (1), 1-20, 10.1177/030913330002400101.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2008), *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing.
- VOSSELMAN, G. (2000), Slope based filtering of laser altimetry data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXIII, Part B3(/1+2).
- WISE, S. (2011), Cross-validation as a means of investigating DEM interpolation error. *Computers & Geosciences*, 37 (8), 978-991.
- WUNSCHEL, A., ETTTEL, P. & HEIN, M. (2015), Hafen oder Landeplatz? Untersuchungen zu Einrichtungen der früh- und hochmittelalterlichen Binnenschifffahrt ausgehend von den Fallbeispielen Karlburg und Salz in Unterfranken. Häfen im 1. Millenium A. D. *Bauliche Konzepte, Herrschaftliche und Religiöse Einflüsse. RGZM-Tagungen. SCHMIDTS, T. & VUČETIĆ, M. M. (Hrsg.). Mainz, 22, 203-228.*