



Landesamt für Geologie und
Bergwesen Sachsen-Anhalt

LHW

Landesbetrieb für Hochwasserschutz
und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt

NUTZUNG VON LASERSCANHÖHENDATEN FÜR ANGEWANDTE UMWELT- UND GEOWISSENSCHAFTLICHE FRAGEN IN SACHSEN-ANHALT



HALLE (SAALE) 2014

Titelbild: Bergbaufolgelandschaft Geiseltalsee. Digitales Geländemodell mit einer Zellengröße von 5 x 5 m. Grundlage: Lasersan-DGM des Landesamtes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt, Befliegung 2009. Schummerungsdarstellung und Färbung nach Höhenlage. Quelle: Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt 2013.

HALLESCHES JAHRBUCH FÜR GEOWISSENSCHAFTEN

Herausgeber

Institut für Geowissenschaften und Geographie
der Martin - Luther Universität Halle-Wittenberg

G. BORG M. FRÜHAUF
C. GLÄSSER H. HEINISCH C. LEMPP
H. PÖLLMANN W. THOMI P. WYCISK

Schriftleitung

D. MERTMANN T. DEGEN S. STÖBER

BEIHEFT 34

Halle (Saale) 2014

Institut für Geowissenschaften und Geographie
der Martin - Luther Universität Halle-Wittenberg



Anschrift von Herausgebern und Schriftleitung:

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Institut für Geowissenschaften und Geographie
Von Seckendorff - Platz 3/4
D-06120 Halle (Saale)

e-mail: hjg@geo.uni-halle.de

Schriftleitung:

D. Mertmann T. Degen S. Stöber

P-ISSN: 2193-1313, E-ISSN: 2196-3622

© 2014 im Selbstverlag des Instituts für Geowissenschaften und Geographie
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Alle Rechte vorbehalten

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	1
CHRISTIANA MÜHLNER & HENRIK HELBIG	
Digitale Geländemodelle aus Laserscandaten – neue Herausforderungen und Anwendungsmöglichkeiten in den Geowissenschaften.....	3
RÜDIGER KÖTHE	
Einsatz von Laserscandaten in der geologischen Erkundung.....	11
KONRAD SCHUBERTH & IVO RAPPSILBER	
Aktualisierung des Digitalen Geländemodells in Sachsen-Anhalt.....	31
OLF WIEßNER	
Nutzung digitaler Geländemodelle (DGM) aus Laserscandaten in der kreisfreien Stadt Dessau-Roßlau	39
GRIT TANNERT	
Landschaftsarchäologie im Ostharz anhand von Laserscan-Daten.....	41
ANNA SWIEDER	
Der Eichberg bei Memleben, Burgenlandkreis: Erkenntnisse zur mehrtausendjährigen Nutzungsgeschichte auf der Grundlage einer archäologischen Ausgrabung, archäologischer Feldbegehungen und eines Laserscans.....	53
MECHTHILD KLAMM	

Nutzung von Laserscanhöhendaten für angewandte Umwelt- und geowissenschaftliche Fragen in Sachsen-Anhalt

Vorwort

Am 27. Februar 2014 veranstalteten das Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB) und der Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW) ein Fachkolloquium mit Thema „Nutzung von Laserscanhöhendaten für angewandte Umwelt- und geowissenschaftliche Fragen in Sachsen-Anhalt“ im Landesverwaltungsamt in Halle. Die Idee zu dieser Veranstaltung erwuchs im Januar 2013 aus einer intensiven fachlichen Zusammenarbeit dieser beiden Landesbehörden. Ziel der Veranstaltung war es, innerhalb verschiedener Fachbehörden der Landesverwaltung über die vielfältige Nutzung von Laserscanhöhendaten zu informieren, zumal landesweit flächen-deckende Laserscanhöhendaten erst seit wenigen Jahren verfügbar und ihre Anwendung und Nutzungsmöglichkeiten noch relatives Neuland sind.

Während der Planung und Vorbereitung im Verlauf des Jahres 2013 wurde deutlich, dass dieses Thema auf großes Interesse stößt.

Neben Referenten des LAGB und LHW konnten Fachkollegen des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (LAU), des Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt (LDA) und des Landesamtes für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt (LVermGeo) als Vortragende gewonnen werden. Weitere interessante Beiträge stellten die Firmen scilands GmbH und FUGRO Consult GmbH bereit.

Am Fachkolloquium nahmen zahlreiche Mitarbeiter der Landesbehörden, Landkreise und kreisfreien Städte des Landes Sachsen-Anhalts, aber auch Landesbedienstete aus Sachsen und Wissenschaftler der Universitäten und Hochschulen Sachsen-Anhalts teil.

Ausgewählte Referate und Posterbeiträge sind in diesem Sonderband zusammengestellt.

Geländemodelle waren schon immer eine wichtige Arbeitsgrundlage für Erdwissenschaftler und verwandte Fachgebiete. Die ersten digitalen Geländemodelle wurden aus analogen Daten, vorwiegend aus Isohypsen und stereoskopischen Luftbildmessungen, abgeleitet. Heute stellen Laserentfernungsmessungen – neben Radar-entfernungsmessungen – die wichtigste Daten-grundlage für digitale Geländemodellen dar. Beim luft- bzw. satellitengestützten Laser-scanning wird die Geländeoberfläche mit Hilfe eines Lasers abgetastet und die Entfernung zu den Objekten durch die Messung der Laufzeit des Signals gemessen und registriert.

DGM aus Laserscanmessungen bilden gegenüber allen anderen Datenquellen das Relief der Erdoberfläche in bisher nicht gekannter räumlicher Auflösung und Genauigkeit ab (vgl. Beitrag Rüdiger Köthe).

Die hohe Präzision von Laserscanhöhendaten eröffnet einerseits neue Anwendungsmöglichkeiten, andererseits stellen sich aber auch neue Herausforderungen an die Aufbereitung der Laser-DGM. In dem Beitrag von Rüdiger Köthe werden Verfahren zum Filtern von Rauschen und anthropogenen Reliefformen sowie zur Herstellung konsistenter Abflussverhältnisse vorgestellt. Der Beitrag behandelt weiterhin morphometrische Reliefparameter und geomorphographische Karten zur Unterstützung der Bodenkartierung, die Berechnung von Einzugsgebieten für digitale Fließgewässernetze und die Ermittlung von Dolinen.

In der geologische Landesaufnahme und Ingenieurgeologie können traditionelle Methoden ergänzt und z.T. ersetzt werden. Das wird mit einer Reihe von Beispielen aus der Praxis des LAGB gezeigt (Beitrag von

Konrad Schubert und Ivo Rappsilber).

Die Erdoberfläche verändert sich laufend. Daher ist es von großer Bedeutung, Geländedaten aktuell zu halten. In seinem Beitrag legt Olaf Wießner dar, wie das DGM1 im LVerGeo im Zweijahreszyklus aktualisiert wird.

Die Stadt Dessau-Roßlau nutzt ein aus Laserscandaten erzeugtes DGM für den Hochwasserschutz und beim Grundwasser- und Oberflächenwassermanagement. Während des Hochwassers 2013 wurde der Katastrophenschutzstab durch detaillierte Geländeinformationen in den brisanten Gebieten, insbesondere im Bereich eines Deichbruches, unterstützt (Beitrag von Grit Tannert).

Im LHW bilden Digitale Geländemodelle eine wesentliche Grundlage für die Erstellung von Hochwassergefahrenkarten und Hochwasserrisikokarten zur Umsetzung der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (2007/60/EG). DGM-Daten werden hierbei bei der Erarbeitung von hydronumerischen Modellen (ein- und mehrdimensionale Wasserspiegellagenberechnungen), physikalischen Modellen und für Ausbreitungsszenarien genutzt. Daneben finden Digitale Geländemodelle Anwendung bei

landesweiten und regionalen hydrologischen Modellierungen (bspw. Niederschlags-Abfluss-Modellierungen) sowie bei der Erstellung des digitalen Gewässernetzes und deren Wassereinzugsgebiete.

Auch für die Archäologie bietet der Blick aus der Vogelperspektive, durch den Bewuchs hindurch, direkt auf die Geländeoberfläche, neue Erkenntnisse. In den Waldgebieten befinden sich zahlreiche archäologische Strukturen, die bisher nur zu einem geringen Teil bekannt und erfasst sind. Mittels Laserscanning können diese Denkmäler nun präzise und effektiv dokumentiert werden, um ein Konzept zu deren Erhaltung und Schutz zu erarbeiten (Beiträge von Anna Swieder und Mechthild Klamm).

Dipl.-Geogr. Christiana Mühlner

Landesbetrieb für Hochwasserschutz
und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt
Postfach 4064, 39015 Magdeburg

Dr. Henrik Helbig

Landesamt für Geologie
und Bergwesen Sachsen-Anhalt
Postfach 156, 06035 Halle



**Landesamt für Geologie und
Bergwesen Sachsen-Anhalt**



**Landesbetrieb für Hochwasserschutz
und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt**

Digitale Geländemodelle aus Laserscandaten – neue Herausforderungen und Anwendungsmöglichkeiten in den Geowissenschaften

RÜDIGER KÖTHE

scilands GmbH – Gesellschaft zur Bearbeitung digitaler Landschaften, Goetheallee 11, D-37073 Göttingen, <http://www.scilands.de/>

Schlüsselwörter: Digitale Geländemodelle, Lidar, GIS, Rauschfilter, anthropogene Reliefformen, geomorphometrische Reliefparameter, geomorphographische Karten, Bodenkartierung, Einzugsgebiete, Dolinen

Keywords: digital terrain models, Lidar, GIS, noise filtering, man made terrain features, geomorphometric terrain parameters, geomorphographic maps, soil mapping, drainage basins, dolines.

Kurzfassung

Digitale Geländemodelle (DGM) aus Laserscannungen bilden das Relief der Erdoberfläche in nie gekannter Präzision ab. Dies eröffnet einerseits neue und verbesserte Anwendungsmöglichkeiten in den Geowissenschaften, andererseits stellen sich aber auch neue Herausforderungen an die Aufbereitung der Laser-DGM. Für viele Anwendungen ist es erforderlich, das originale Laser-DGM aufzubereiten, um die Ergebnisse zu optimieren oder eine Berechnung überhaupt erst zu ermöglichen. So werden u.a. innovative Verfahren zum Filtern von Rauschen und anthropogenen Reliefformen, sowie zur Herstellung konsistenter Abflussverhältnisse – eine Grundvoraussetzung für die Ermittlung von Einzugsgebieten – vorgestellt. Die Anwendungsbeispiele für Laser-DGM beziehen sich auf die Ableitung morphometrischer Reliefparameter und die Erstellung von Geomorphographischen Karten zur Unterstützung der Bodenkartierung, die Berechnung von Einzugsgebieten für digitale Fließgewässernetze und die Ermittlung von Dolinen.

Abstract

Digital Terrain Models (DTM) from laser scanning measurements form the relief of the earth's surface in unprecedented precision. This opens on the one hand, new and improved applications in the earth sciences, on the other hand, but also represent new challenges to the pre-processing of laser DTM. For many applications it is necessary to modify the original laser DGM to optimize or to enable calculations. Thus, innovative methods for filtering noise and anthropogenic relief forms, and for the production of consistent discharge conditions - a prerequisite for the determination of catchment areas - are presented. The application examples for laser-based DTM refer to the derivation of morphometric terrain parameters and geomorphographic maps to support soil mapping, the calculation of catchment areas for digital river networks and the identification of dolines. 1. Einleitung

1. Einleitung

Während früher Digitale Geländemodelle (DGM) vorwiegend aus Isohypsen und stereoskopischen Luftbildmessungen abgeleitet wurden, stellen heute – neben Radarentfernungsmessungen – Laserentfernungsmessungen, auch Lidar (Light Detection and Ranging) genannt, die wichtigste Datengrundlage für die Erstellung von DGM dar. DGM aus Laserscannungen bilden gegenüber allen anderen Datenquellen das Relief der Erdoberfläche in bisher nicht gekannter räumlicher Auflösung und Genauigkeit ab. Hieraus ergeben sich einerseits neue und verbesserte Anwendungsmöglichkeiten in den Geowissenschaften, andererseits stellen sich aber auch neue Herausforderungen an die Aufbereitung der Laser-DGM und die eingesetzte Software zur geowissenschaftlichen Analyse. Im Folgenden soll ein Überblick über die Methoden der scilands GmbH zur Aufbereitung der Laser-DGM und zur Inwertsetzung der DGM in den Geowissenschaften vermittelt werden. Alle von uns entwickelten Methoden werden im Rahmen des freien GIS SAGA (<http://www.saga-gis.org/>) entwickelt und eingesetzt.

2. Aufbereitung von DGM aus Laserhöhenmessungen

Für viele Anwendungen in den Geowissenschaften ist es erforderlich, das originale Laser-DGM aufzubereiten, um die Ergebnisse zu optimieren oder eine Berechnung überhaupt erst zu ermöglichen (vgl. 3.1 und 3.2).

2.1 Resampling (Generalisierung)

Eine einfache und oft angewandte Methode der DGM-Aufbereitung ist das Resampling

(Generalisierung), da die räumliche Auflösung bzw. die Datenmenge der Laser-DGM für viele Anwendungen zu hoch ist. Als besonders praktikabel haben sich u.E. Rasterweiten von 2 m für die präzise Berechnung der Bodenerosion, 5 m für die Abgrenzung oberirdischer Einzugsgebiete und 10 m für die Reliefanalyse zur Unterstützung der Bodenkartierung erwiesen. Als Resampling-Verfahren wird von uns i.d.R. eine B-Spline-Interpolation (ein Standard-Modul von SAGA_GIS) eingesetzt. Es wird aber auch an der Realisierung des Lanczos-Verfahrens (LANCZOS 1950) gearbeitet, um die Resampling-Ergebnisse weiter zu verbessern.

2.2 Filtern von Rauschen

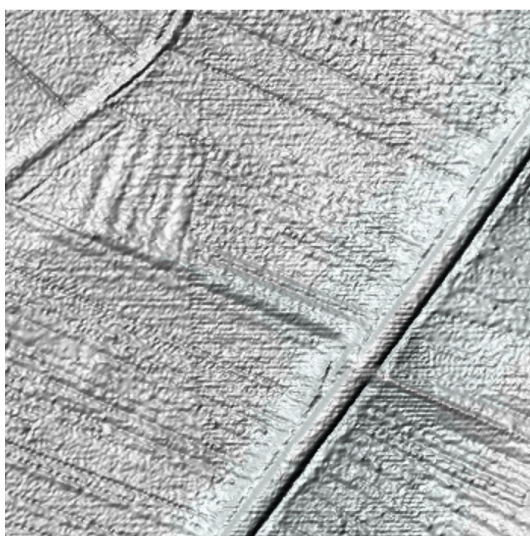
DGM aus Laserhöhenmessungen enthalten ein gewisses „Rauschen“, das sich störend auf viele Auswertungen (z.B. Berechnung der Bodenerosion) auswirkt. Das Rauschen (englisch: noise) ist die zufällige, störende Variation der Höhenwerte in der Nachbarschaft eines gemessenen Höhenwertes, die das eigentliche Signal überlagert. Die Stärke des Rauschens ist von der jeweiligen Oberflächenbeschaffenheit abhängig. Das geringste Rauschen weisen planierte bzw. versiegelte Flächen und Wiesen auf. Auf Ackerflächen nimmt das Rauschen deutlich zu und es ist immer die Bearbeitungsrichtung der Feldmaschinen in Form von Rillen zu erkennen. Das stärkste Rauschen weisen Waldböden auf, wobei berücksichtigt werden muss, dass

in Waldgebieten nur vergleichsweise wenige Bodenpunkte aufgenommen werden können und die Messpunktdichte hier deutlich geringer ist.

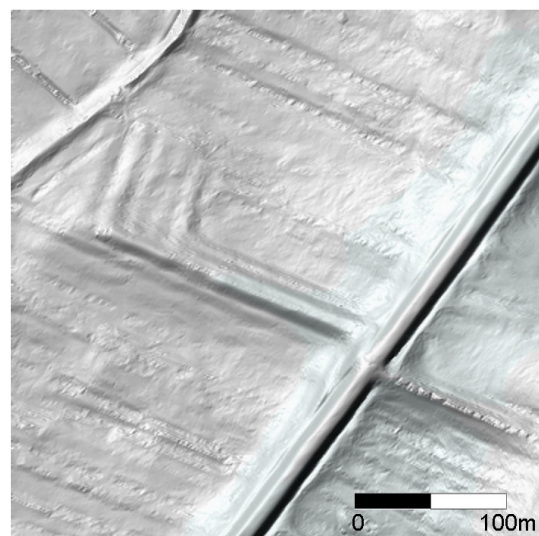
Zum „Entrauschen“ wird ein multidirektionaler Filter eingesetzt, der auf einer Modifikation des Filters von LEE (1980) beruht. Hierbei handelt es sich um einen Rauschfilter, der störendes Rauschen eliminiert und die unter dem Rauschen verborgene (Relief-)Information herausarbeitet. Der Filter ermittelt Streifen in alle Richtungen (multidirektional) um die betrachtete Rasterzelle (Höhenwert). Innerhalb der Streifen wird die Standardabweichung berechnet. Der neu zugewiesene, „entrauschte“ Höhenwert für die betrachtete Rasterzelle wird - gewichtet - aus dem originalen Höhenwert und dem Mittelwert des Streifens mit der geringsten Standardabweichung berechnet. Die Stärke der Filterung kann durch einen Parameter gesteuert werden.

2.3 Anthropogene Reliefformen

Ein Laser-DGM enthält sämtliche anthropogenen Veränderungen der Erdoberfläche. Während Gebäudeflächen bereits von den Herstellern der Laser-DGM identifiziert und anhand der Nachbarhöhen interpoliert werden, erweisen sich insbesondere Verkehrsbauten (z.B. Straßen- und Eisenbahndämme) als problematisch. In Talauen schnüren Dämme z.B. die oberirdischen Einzugsgebiete ab und verfälschen somit die Berechnung von Reliefparametern (z.B. Bodenfeuchte-Index). Eine Grundvoraussetzung



a) originales Laser-DGM, Rasterweite 1m



b) DGM nach der Filterung

Abb. 1 Filtern von Rauschen

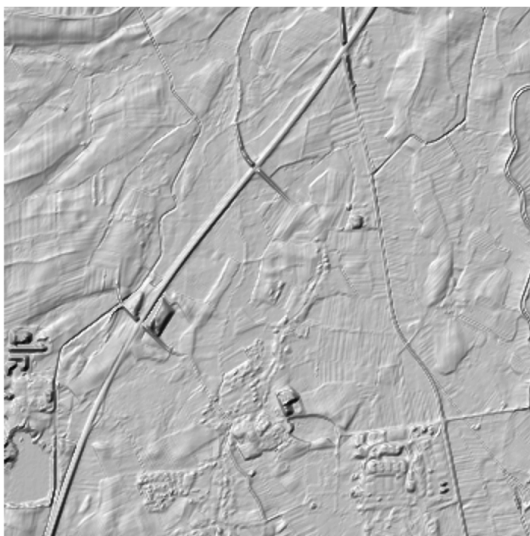
für die Reliefanalyse zur Unterstützung der Bodenkundlichen Landesaufnahme (3.1) oder zur Berechnung von oberirdischen Einzugsgebieten (3.2) ist also die Verwendung eines DGM, welches die „natürliche“ Erdoberfläche abbildet. Die anthropogenen Reliefformen müssen also - soweit dies möglich ist - identifiziert und entfernt werden. Für diesen Zweck wurde von der scilands GmbH ein Filter zur Identifikation von anthropogenen Reliefformen (nur Vollformen des Reliefs) entwickelt (vgl. KÖTHER & BOCK 2009). Das Verfahren ist recht komplex und basiert u.a. auf der Erkennung von Dammkronen und der Identifikation von Geländeknicken (als Basis der Dämme). Bei der automatischen Filterung

der anthropogenen Reliefformen werden leider auch natürliche Kleinformen des Reliefs (meist Dünen) erfasst und ggf. größere bzw. komplexe anthropogenen Reliefformen (z.B. Autobahnkreuze, große Bahnanlagen) nicht oder nur teilweise erfasst. Aus diesem Grund ist eine manuelle Korrektur der gefilterten anthropogenen Reliefformen erforderlich.

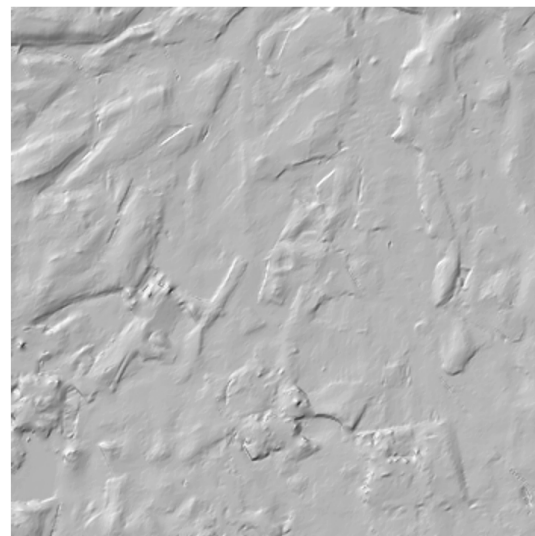
2.4 Weitere Methoden der DGM-Aufbereitung

Herstellung konsistenter Abflussverhältnisse

Alle DGM beinhalten zahlreiche geschlossene Hohlformen, die keinen Abfluss haben. Damit ein DGM „hydrologisch konsistent“ ist, muss es dahingehend aufbereitet werden, dass von jeder



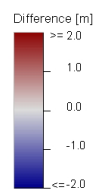
a) DGM mit anthropogenen Reliefformen, 10m Raster



b) DGM nach der Filterung der anthropogenen Reliefformen



c) Differenz der Höhenwerte von Abb. a - b)



Anm.:
DGM mit 10m Rasterweite auf Basis von
Lasermessungen

DGM freundlicherweise zur Verfügung gestellt vom
LGRB Baden-Württemberg

Abb. 2 Anthropogene Reliefformen

Rasterzelle des DGM der Abfluss (hang-)abwärts weitergeführt werden kann. Hierfür werden Sättel hinter den Hohlformen “durchstochen” und somit der natürliche Prozess beim Überlaufen eines Sees nachgebildet. Diese Art der DGM-Aufbereitung ist für viele geowissenschaftliche Auswertungen (z.B. Berechnung oberirdischer Einzugsgebiete, Bodenerosion) zwingend erforderlich. Realisiert wird die Herstellung konsistenter Abflussverhältnisse über die Methode „Deepen Drainage Routes“ des freien GIS SAGA.

Anpassung von DGM an Fließgewässernetze zur Ermittlung oberirdischer Einzugsgebiete

Die Oberflächen (Höhen) von Fließgewässern mit ihrem natürlichen, kontinuierlichen Längsgefälle sind nicht in einem DGM enthalten. Ein DGM weist eigene Fließwege (Talwege) auf, die mit real existierenden Fließgewässern i.d.R. nicht deckungsgleich sind.

Damit digitales Fließgewässernetz und DGM besser aufeinander abgestimmt sind, muss das

DGM angepasst werden. Für die Anpassung des DGM an das Gewässernetz kann ein von uns für diesen Zweck entwickeltes Software-Modul eingesetzt werden, das nicht nur die Rasterzellen der Fließgewässer, sondern einen größeren räumlichen Zusammenhang um die Fließgewässer berücksichtigt.

3. Beispiele für Anwendungen von DGM aus Laserhöhenmessungen in den Geowissenschaften

Im folgenden sollen einige Beispiele die Inwertsetzung von Laser-DGM in den Geowissenschaften mittels von uns entwickelter Methoden veranschaulicht werden. Die unten vorgestellten Anwendungsbeispiele basieren fast ausschließlich auf DGM als Datengrundlage. Zurzeit arbeiten wir auch an der Modellierung von Grundwasserflurabständen, wofür allerdings eine Vielzahl von weiteren Geodaten erforderlich ist.

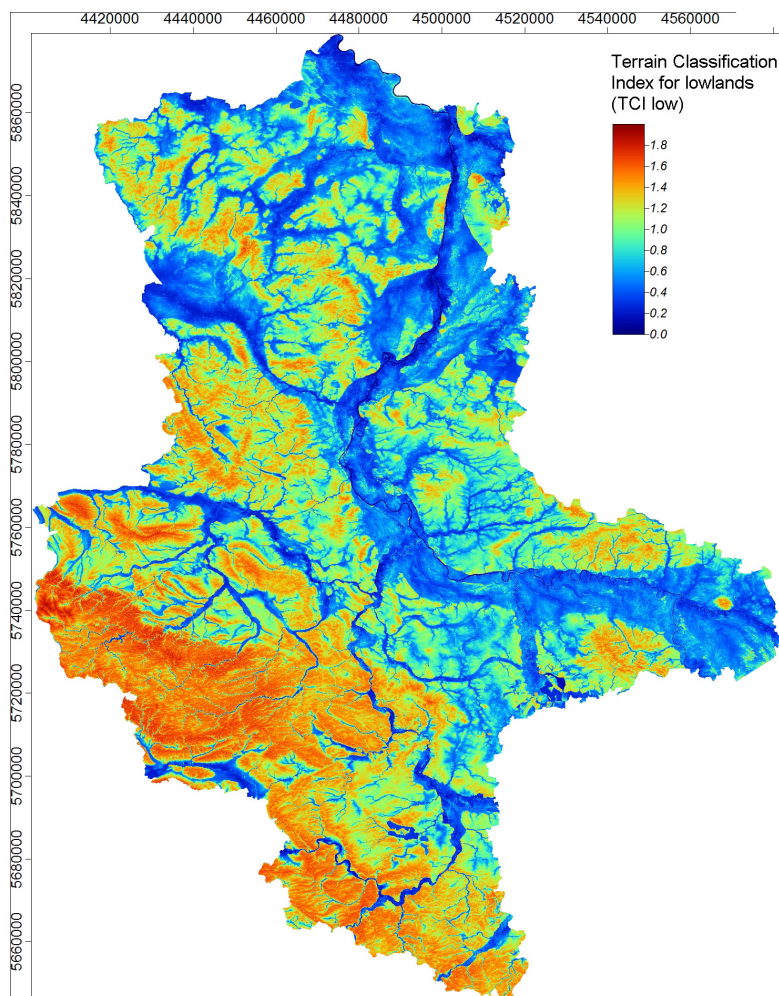


Abb. 3 Kombiniertes Reliefparameter TCI_low für Sachsen-Anhalt, Rasterweite 10m

3.1 Anwendungen in der Bodenkartierung

Ein Schwerpunkt der Arbeiten der scilands GmbH ist die Ableitung morphometrischer Reliefparameter aus DGM und die Erstellung von Geomorphographischen Karten zur Unterstützung der Bodenkartierung.

Morphometrische Reliefparameter und Reliefgerippelinien

Für jede Rasterzelle des DGM lässt sich eine Vielzahl von morphometrischen Reliefparametern berechnen. Neben den Reliefparametern können auch sog. Reliefgerippelinien, wie Tiefenlinien, Kulminationslinien und Neigungsunstetigkeiten (Kanten und Knicke) abgeleitet werden.

Aus den 8 Nachbar-Rasterzellen werden die sog. Lokalen Reliefparameter, wie Neigung, Exposition und die Wölbungen in horizontaler, vertikaler und in Querrichtung sowie die Abflussverteilung (siehe 3.2) berechnet. Für die Berechnung der Komplexen Reliefparameter ist hingegen ein größerer, nicht vorhersehbarer Raumbezug erforderlich. Höhe

über Tiefenlinie, Höhe unter Kulminationslinie, Einzugsgebietsgröße und Bodenfeuchte-Index sind nur einige Beispiele von Komplexen Reliefparameter, die von uns berechnet werden (vgl. BÖHNER & KÖTHE 2003). Den Abschluss bilden die Kombinierten Reliefparameter, die über einfache Formeln aus den Lokalen und Komplexen Reliefparameter berechnet werden. Beispiele hierfür sind die Relative Hangposition (aus Höhe über Tiefenlinie und Höhe unter Kulminationslinie), der Scheitelbereichsindex (aus Relativer Hangposition und Neigung) sowie der Terrain Classification Index for Lowlands (TCI_low) (aus Höhe über Tiefenlinie und Bodenfeuchte-Index). Der TCI_low (Abb. 3) ist z.Zt. unser leistungsfähigster Reliefparameter. Bei Kenntnis der lokalen Gegebenheiten lassen sich aus ihm – insbesondere im Flachland – bereits direkte Schlüsse über die Reliefgenese und den oberflächennahen Untergrund ziehen.

Digitale Geomorphographische Karten (GMK)

Eine GMK (vgl. KÖTHE 1996 und KÖTHE et

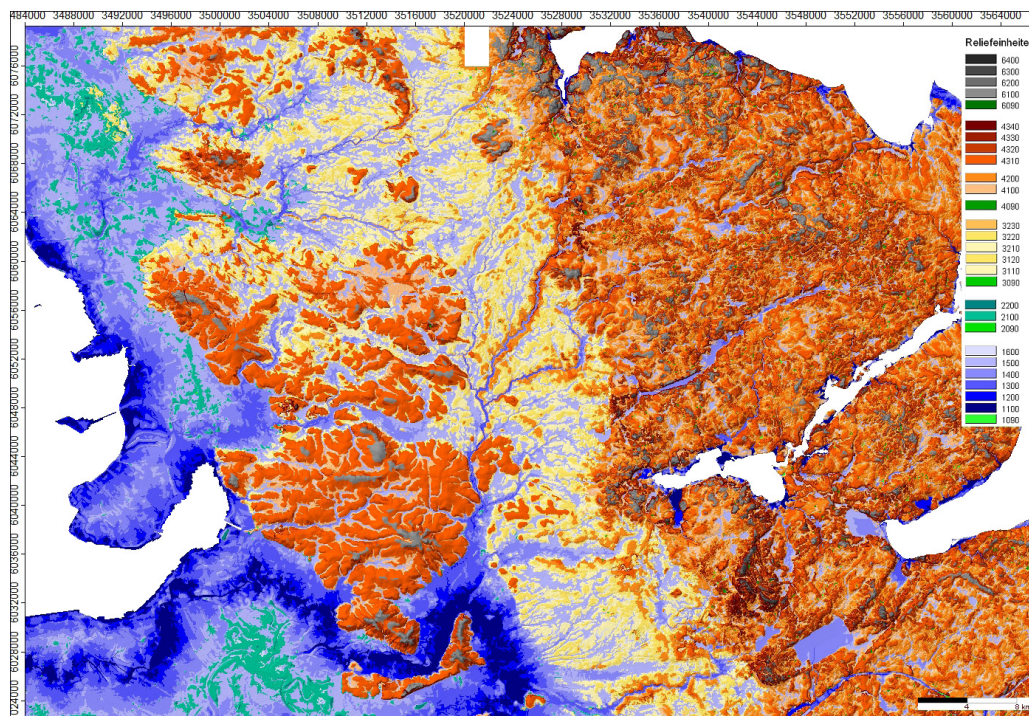


Abb. 4 Ausschnitt aus der Digitalen Geomorphographischen Karte (GMK) von Schleswig-Holstein

Erläuterungen zu Abb. 4: Reliefseinheiten vom Typ

1000 (z.B. 600): Senkenbereiche,

2000: Verflachungen im Bereich der Marschen,

3000: Verflachungen und Terrassen im Bereich der Urstromtäler und Sander,

4000: Verflachungen und flache Hänge im Bereich der Jung- und Altmoränengebiete,

6000: Scheitelbereiche der Jungmoränengebiete

xx90: Geschlossene Hohlformen in der jeweiligen Landschaftseinheit



Abb. 5 Vergleich automatisch und manuell abgegrenzte Einzugsgebiete. Detailausschnitt aus dem Gebiet Tanger (Sachsen-Anhalt)

Erläuterungen zu Abb. 5:

rote Linien: manuell abgegrenzte Einzugsgebietsgrenzen (Wasserscheiden),

schwarze Linien: automatisch abgegrenzte Einzugsgebietsgrenzen (Wasserscheiden),

blaue Linien: Fließgewässerabschnitte,

braune Linien: 0,5m-Isophypsen aus DGM 5m Rasterweite (ohne anthropogene Reliefformen)

Hintergrundbild: Schummerungsdarstellung DGM 5m Rasterweite (ohne anthropogene Reliefformen), Höhenwerte im Kartenausschnitt zwischen 33m und 36,5m

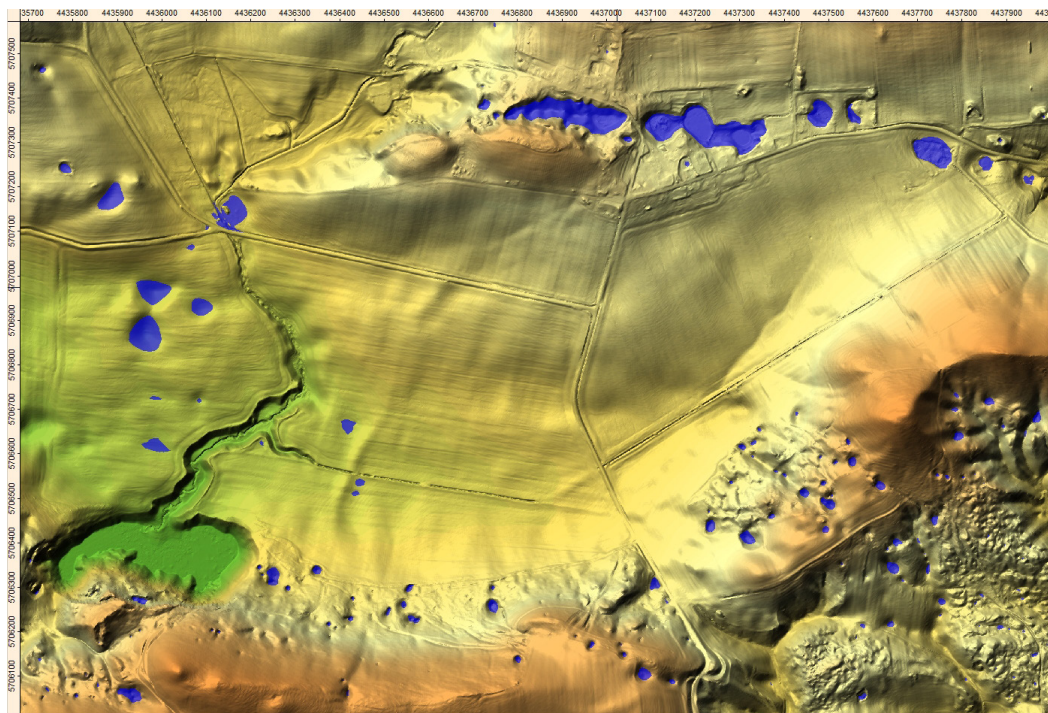


Abb. 6 Automatisch ermittelte Dolinen (blau eingefärbt), Gipskarststreifen im südlichen Harzvorland (Sachsen-Anhalt), Rasterweite des DGM: 1m

al. 1996) gliedert das Relief der Erdoberfläche in morphographische Reliefeinheiten, die möglichst homogene Bedingungen für die Bodenbildung aufweisen. Auf der Basis der oben beschriebenen Reliefparameter und Reliefgerippelinien werden zuerst die übergeordneten Reliefeinheiten Senkenbereiche, Scheitelbereiche, Verflachungen und Terrassen sowie die Hangbereiche ausgewiesen. In einem weiteren Schritt werden diese Reliefeinheiten anhand der morphometrischen Reliefparameter weiter untergliedert. Generell wird angestrebt, anstatt mit starren, mit lokal sich selbst justierenden Schwellenwerten zu arbeiten.

GMK wurden bereits für die Bundesrepublik und die Bundesländer Baden-Württemberg, Brandenburg, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Thüringen, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein (siehe Abb. 4) sowie – auf der Basis von Höhenmodellen der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) – für die Länder Burkina Faso und Kanada erstellt. Die GMK für Sachsen-Anhalt mit 10m Rasterweite auf Basis des landesweiten Laser-DGM ist gegenwärtig in Bearbeitung.

3.2 Anwendungen in der Hydrologie – Ermittlung von Einzugsgebieten

Die oberirdischen Einzugsgebiete werden i.d.R. für sog. Gewässerabschnitte berechnet. Als Gewässerabschnitte werden Teilstrecken von Fließgewässern zwischen den Einmündungen von Nebengewässern bzw. zwischen Quelle und erster Einmündung bezeichnet.

Verglichen mit der aufwändigen Aufbereitung des DGM für die Ermittlung von Einzugsgebieten durch

- Filterung (2.2),
- Eliminierung anthropogener Reliefformen (2.3) und
- Herstellung konsistenter Abflussverhältnisse (2.4)

ist die Berechnung der Einzugsgebiete relativ einfach. Die Basis für die Abgrenzung der Einzugsgebiete stellt ein Oberflächenabflussmodell dar. Das Abflussmodell berechnet für jede Rasterzelle, wie groß das oberhalb gelegene Einzugsgebiet ist. Hierbei wird ein sog. Multiple-Flow-Algorithmus (vgl. FREEMAN 1991) verwendet, der für jede Rasterzelle die Flächenanteile des Einzugsgebietes berechnet, die an die tieferliegenden (max. 8) Nachbar-

Rasterzellen weitergegeben werden.

Zuerst werden die Fließgewässerabschnitte auf das Raster übertragen, d.h. die Rasterzellen in denen ein Fließgewässer liegt, werden als erstes dem Einzugsgebiet des jeweiligen Gewässerabschnittes zugewiesen. Ausgehend von den Rasterzellen, in denen Gewässerabschnitte liegen, werden die höher gelegenen Nachbar-Rasterzellen untersucht. Alle höher gelegenen Nachbar-Rasterzellen, die den größten Teil ihres Einzugsgebietes in die betrachtete Rasterzelle abgeben, werden der Einzugsgebietsfläche (des jeweiligen Gewässerabschnittes) dieser Rasterzelle zugewiesen. Dieses Verfahren wird hangaufwärts solange wiederholt, bis alle Rasterzellen einem Einzugsgebiet (Gewässerabschnitt) zugewiesen wurden. Abbildung 5 zeigt die so ermittelten Einzugsgebiete im Vergleich zu manuell aus Isohypsen abgegrenzten Einzugsgebieten.

3.3 Anwendungen in der Geologie – Beispiel: Ermittlung von Dolinen

Eine relativ einfache Anwendung von Laser-DGM in der Geologie ist die Ermittlung von Dolinen in Karstgebieten. Für die automatische Ermittlung der Dolinen wird im Kern ein Algorithmus von WANG & LIU (2006) verwendet, der automatisch geschlossene Hohlformen in DGM ermittelt, ein Ansatz der methodisch dem Verfahren zur Herstellung konsistenter Abflussverhältnisse (2.4) ähnelt.

Eine manuelle Überprüfung und Korrektur ist jedoch angeraten, da die automatisch ermittelten geschlossenen Hohlformen auch anthropogenen Ursprungs sein können (z.B. kleine Steinbrüche oder Lehmgruben) und sog. Halbdolinen keine geschlossenen Hohlformen sind und deshalb nicht erfasst werden.

4. Literatur

- BÖHNER, J. & KÖTHE, R. (2003): Bodenregionalisierung und Prozeßmodellierung: Instrumente für den Bodenschutz. *Peterm. Geogr. Mitt.*, 147, 2003/3, 72-82, Gotha.
- FREEMAN, T.G. (1991): Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid. *Computers and Geoscience*, Bd. 17, 3, 413-422.
- KÖTHE, R. (1996): Entwicklung eines Systems der digitalen Reliefanalyse für geowissenschaftliche Anwendungen – insbesondere als Element bodenkundlicher Vorhersagemodelle. Abschlussbericht zum DFG-Projekt "Digi-

Relief“ (1989-1993), 94 S. [Geogr. Inst. Univ. Göttingen, unveröff.]

- KÖTHER, R. & BOCK, M. (2009) Preprocessing of Digital Elevation Models - derived from Laser Scanning and Radar Interferometry - for Terrain Analysis in Geosciences. Proceedings of Geomorphometry 2009, Zurich Switzerland, 155-161, Zürich.
- KÖTHER, R. & GEHRT, E. & BÖHNER, J. (1996): Automatische Reliefanalyse für geowissenschaftliche Kartierungen – derzeitiger Stand und Weiterentwicklung des Programms SARA. Arbeitshefte Geologie, 1/1996, 31-37, Hannover.
- LANCZOS, C. (1950): An Iteration Method for the Solution of the Eigenvalue Problem of Linear Differential and Integral Operators. Journal of research of the National Bureau of Standards, 45, 255-282.
- LEE, J.-S. (1980): Digital Image Enhancement and Noise Filtering by Use of Local Statistics. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Volume PAMI-2, 2, 65-168.
- WANG, L. & LIU, H. (2006): An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. International Journal of Geographical Information Science, Vol. 20, No. 2, 193-213.

Einsatz von Laserscandaten in der geologischen Erkundung

KONRAD SCHUBERTH & IVO RAPPSILBER

Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt, Köthener Straße 38, 06118 Halle (Saale)

Schlüsselwörter: Digitales Geländemodell, Laserscanning, Geologische Landesaufnahme, Geophysik, Sachsen-Anhalt
Keywords: digital terrain model, laser scanning, geological mapping, geophysics, Saxony-Anhalt

Kurzfassung

Es ist erfreulich, dass das vor wenigen Jahren noch exklusive und teure Laserscanning qualitativ rasant weiterentwickelt wurde, und dies bei fallenden Preisen pro Flächeneinheit. Für die geologische Landesaufnahme im Maßstab 1:25.000 sowie für ingenieurgeologische Anwendungen bietet das Digitale Geländemodell (DGM) vielfältige Nutzungsmöglichkeiten. Traditionelle Methoden werden ergänzt und z. T. ersetzt, völlig neue Anwendungen haben sich eröffnet. Nach der Erfindung von Böschungsschraffen, Höhenlinien und Luftbild-Stereophotogrammetrie ist das DGM die vierte Revolution in der Relieferfassung und -darstellung. Die Nutzung des digitalen, flächenhaften Höhentepichs ist aus dem Methodenspektrum von geologischer Kartierung und angewandter Geologie nicht mehr wegzudenken. Das wird mit einer Reihe von Beispielen aus der Praxis des Landesamtes für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB) gezeigt.

Abstract

The method of laser scanning has developed very fast in the last years. The prices have decreased rapidly. The Digital Terrain Model (DTM) can be used for geological mapping and engineering geology. It completes traditional methods and enables a lot of new interpretations. The DTM is the fourth revolution in mapping and presentation of the relief after the invention of slope hachures, isohypses and aerial stereo photogrammetry. The use of the “digital extensive carpet” is essential for geological mapping and applied geology. This is shown here with a number of examples from practice of the Office of Geology and Mining of Saxony-Anhalt (LAGB).

1. Vorbemerkungen

Mit der Gründung des Geologischen Landesamtes Sachsen-Anhalt 1991 wurde auch die seit etwa 25 Jahren brachliegende

geologische Kartierung im Maßstab 1:25.000 wieder aufgenommen. Regionale Schwerpunkte lagen zunächst im Umland von Halle sowie in den strukturschwachen Regionen der Altmark und der unteren Schwarzen Elster (Raum Jessen–Annaburg). Gegenwärtig konzentriert sich die Arbeit der seit 2002 im LAGB aufgegangenen Behörde weiterhin auf die Altmark (Raum Klötze) sowie auf das Gebiet an der unteren Unstrut (Querfurt, Nebra, Freyburg).

Für kartierende Geologen sind detaillierte Reliefinformationen von hoher Relevanz. Sie ermöglichen nicht nur die Orientierung in oft unübersichtlichem, weglosem Gelände, sondern geben vor allem auch Hinweise auf mögliche Aufschlusspunkte (z. B. alte Steinbrüche, Pingen, Steilkanten, Halden, Hohlwege). Darüber hinaus lassen sie oftmals Rückschlüsse auf Verbreitungsmuster von Gesteinen zu, da deren unterschiedliche Verwitterungsanfälligkeit häufig zur Ausprägung ganz charakteristischer Geländeformen führt.

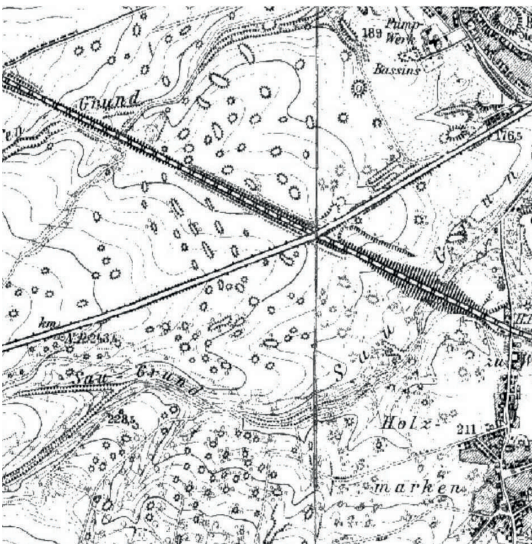
Schon im Vorfeld der Kartierung wird die Reliefanalyse für die Erstellung geologischer Konzeptkarten und die Planung der Geländearbeiten genutzt (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE GEOLOGIE 2002). Wichtigstes Hilfsmittel sind dabei amtliche topographische Daten. Die geologische Kartierung für den Maßstab 1:25.000 erfolgt im Aufnahmemaßstab von 1:10.000. Genutzt wird dabei seit einiger Zeit die Digital geführte Topographische Karte (DTK10). Die Qualität dieses erst in der vergangenen Dekade auf den Markt gekommenen Produkts aber enttäuscht in mancherlei Hinsicht. Während



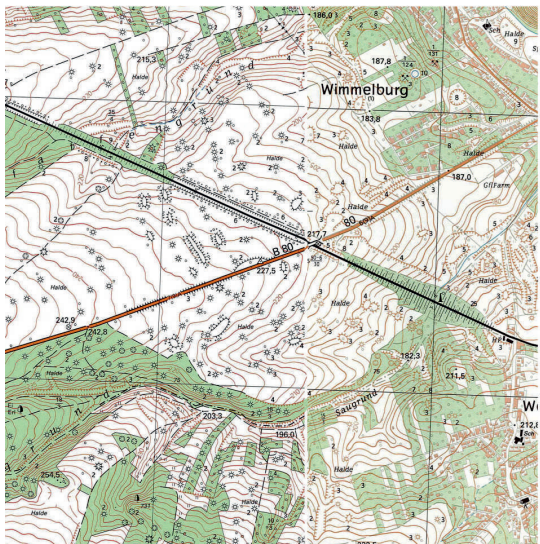
Schrägluftbild, Blick nach Norden
(Thomae, 30.08.2011)



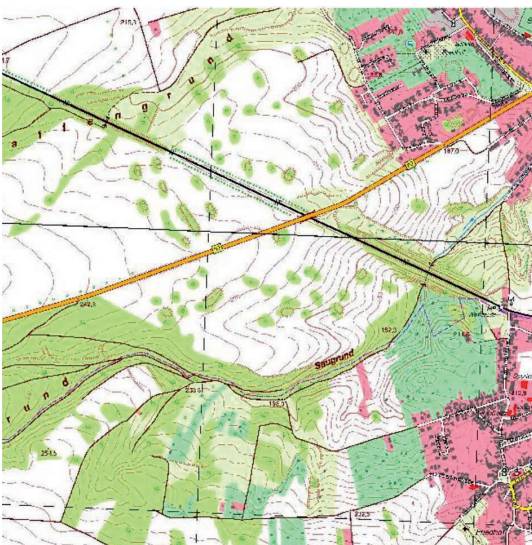
Karte des Deutschen Reiches
1:100.000 (1936)



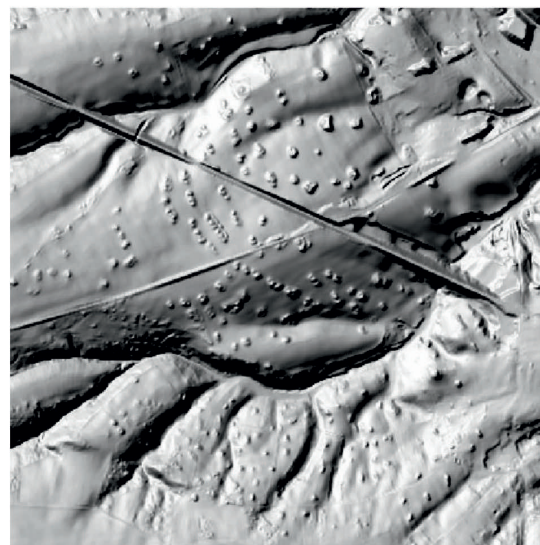
Meßtischblatt
1:25.000 (1904)



Topographische Karte TK10
1:10.000 (1995)



Topographische Karte DTK10
1:10.000 (2006)



Digitales Geländemodell
DGM1

die Siedlungsdarstellung mit filigranen Gebäudegrundrissen punktet, ist die freie Landschaft von Detailinformationen fast leergefegt. Die Äquidistanzen der Höhenlinien unterschreiten nicht 2,5 Meter und bieten so, besonders in schwach reliefierten Gebieten (wie in Auen und Niederungen), keinerlei Informationen zum Feinrelief. Durch Signaturen darstellbare Reliefkleinformen, besonders unter Wald, fehlen. Wie drastisch der Informationsverlust ist, zeigt Abb. 1 am Beispiel der Kleinhaldenlandschaft bei Wimmelburg und Wolferode. Die DTK10 verzichtet unter Wald komplett auf die Haldendarstellung und dünnt selbst auf Acker nicht systematisch generalisierend, sondern scheinbar willkürlich aus. Die präzise Reliefdarstellung der TK10 der 1990er Jahre wird nicht mehr annähernd erreicht. Angesichts der Tatsache, dass selbst in dem kleinmaßstäbigeren Meßtischblatt (1:25.000), ja sogar in der Karte des Deutschen Reiches (1:100.000) die Haldenlandschaft auch unter Wald dargestellt war, muss die Reliefdarstellung der DTK10 als Tiefpunkt der deutschen Kartographie der vergangenen 100 Jahre eingeordnet werden. Dies ist sicher auch eine Folge massiver Automatisierung und drastischen Stellenabbaus in den Landesvermessungsämtern. Bei allen Vorteilen der digitalen Angebote, von der Blattschnitt- und Maßstabsfreiheit bis hin zu vereinfachter Laufendhaltung und vielfältigen nutzergerechten Kombinationen einzelner thematischer Ebenen: Für den auf die Reliefinformation angewiesenen Geowissenschaftler, und das sind nicht nur Geologen und Geomorphologen, ist der gegenwärtige Zustand äußerst unbefriedigend.

Mit dem aus Laserscanning-Daten gewonnenen DGM wären die Voraussetzungen für die Rückkehr zu einer präzisen und detaillierten Reliefdarstellung mit einer noch niemals zuvor erreichten Qualität gegeben. Umso betrüblicher ist es, dass man die Äquidistanzen nur auf 1 m-Abstände verringern wird und zudem nicht beabsichtigt, das umfangreiche Kleinformen-Inventar der Vergangenheit wieder zur Darstellung zu bringen. Trotzdem: Die Herstellung des landesweiten DGM, maßgeblich auf Initiative des Landesbetriebes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt auf den Weg gebracht, ist eine beachtliche Leistung und im Bundesvergleich durchaus keine Selbstverständlichkeit!

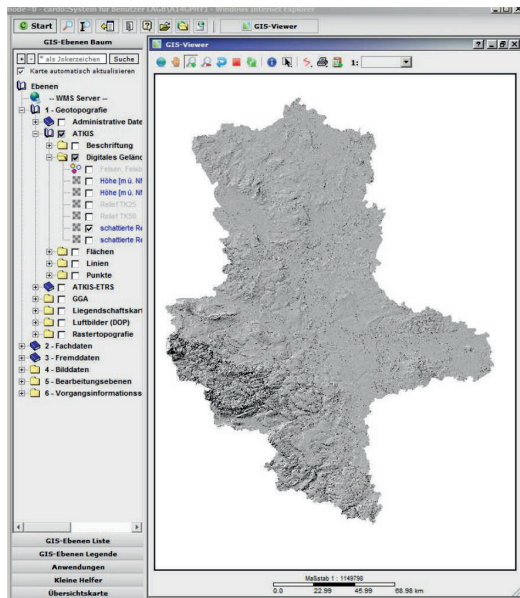
Durch die aus sachlichen Gründen nicht nachvollziehbare Gebührenpolitik (ein mit öffentlichen Mitteln hergestelltes Produkt steht nicht einmal den Landesbehörden kostenfrei zur Verfügung!) konnten die DGM1-Daten nur schrittweise vom LAGB erworben werden. Inzwischen liegen sie flächendeckend vor.

Das DGM5 steht jedem Mitarbeiter des LAGB über einen GIS-Viewer (cardo) als flächendeckendes Schattenrelief zur Verfügung, für das Gebiet des Harzes mit seiner randlich starken Zertalung sogar in zwei unterschiedlichen Überhöhungen. Das kontinuierlich zoombare Reliefbild kann mit weiteren topographischen Ebenen (ATKIS) sowie mit Fachdaten (geologische Einheiten, Bergbauflächen, Schutzgebiete u. v. a.) überlagert werden (Abb. 2). Die visuelle Interpretation des DGM ist für verschiedene Anwendungsfelder nutzbar, von denen einige nachfolgend exemplarisch beleuchtet werden sollen.

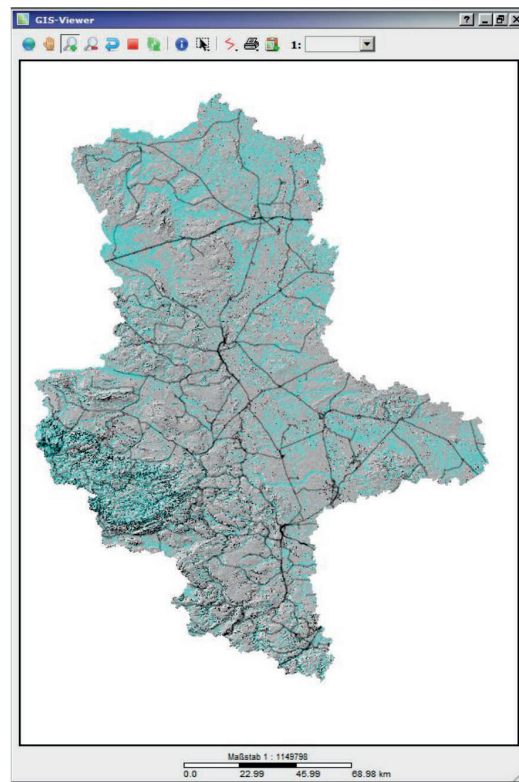
Abb. 1 Das von Kupferschieferhalden geprägte Kleinrelief westlich vom Wimmelburg im Vergleich von Luftbild, Karten und DGM.

Die DTK10 stellt wichtige Reliefelemente nicht mehr dar, die selbst in historischen Karten der Maßstäbe 1:25.000 und 1:100.000 noch vermerkt waren. Mit dem DGM1 steht eine präzise, fotorealistische Darstellung zur Verfügung.

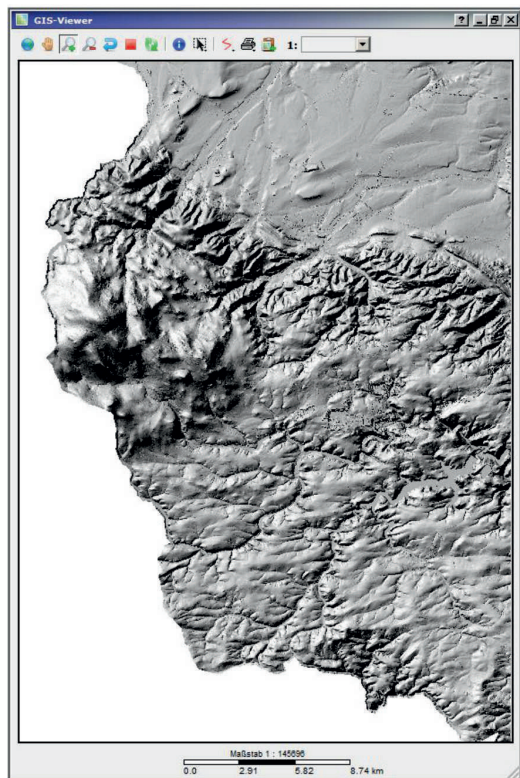
(TK10, DTK10, DGM: Darstellung auf Grundlage von Rasterdaten u. ATKIS-DGM © GeoBasis-DE/LVermGeo LSA, [2012, Az: 011112])



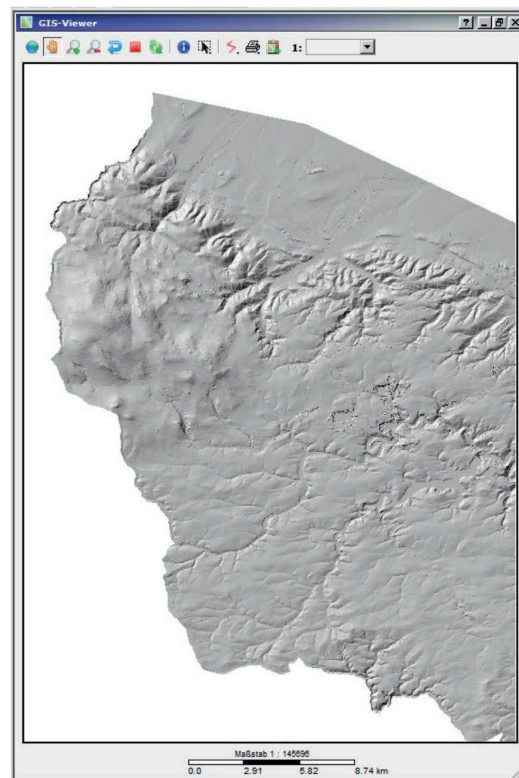
DGM5 als Schattenrelief im cardo-viewer des LAGB



DGM5 mit Straßen- und Gewässernetz

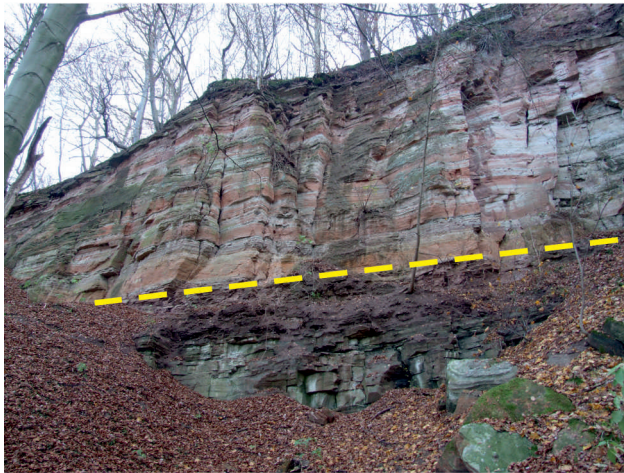


DGM5-Schattenrelief Harz
(stark überhöht)

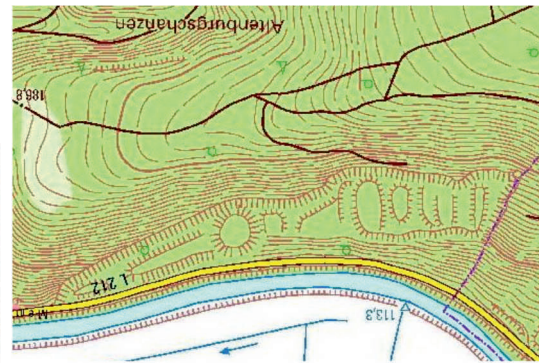


DGM5-Schattenrelief Harz
(schwach überhöht)

Abb. 2 DGM5 als Schattenrelief im cardo-viewer des LAGB mit verschiedenen Überlagerungsebenen und Überhöhungen. (ATKIS-DGM: Darstellung auf Grundlage von Rasterdaten u. ATKIS-DGM © GeoBasis-DE/LVermGeo LSA, [2012, Az: 011112])



Blick in einen der Steinbrüche mit markierter Grenze Mittlerer/Unterer Buntsandstein



DTK10 (Süden oben)



DGM0,5 (Süden oben)
(Landesamt für Denkmalpflege u.
Archäologie Sachsen-Anhalt)

Abb. 3 Ehemalige Sandsteinbrüche bei GroßWangen. Das DGM ermöglicht eine sichere Orientierung und topographisch präzise geologische Kartierung in dem kleinteiligen, unübersichtlichen Gelände. (ATKIS: Darstellung auf Grundlage von Rasterdaten u. ATKIS-DGM © GeoBasis-DE/LVermGeo LSA, [2012, Az: 011112]; DGM-0,5: LDA Sachsen-Anhalt)

2. Präzisierung der Topographie und Orientierung im Gelände

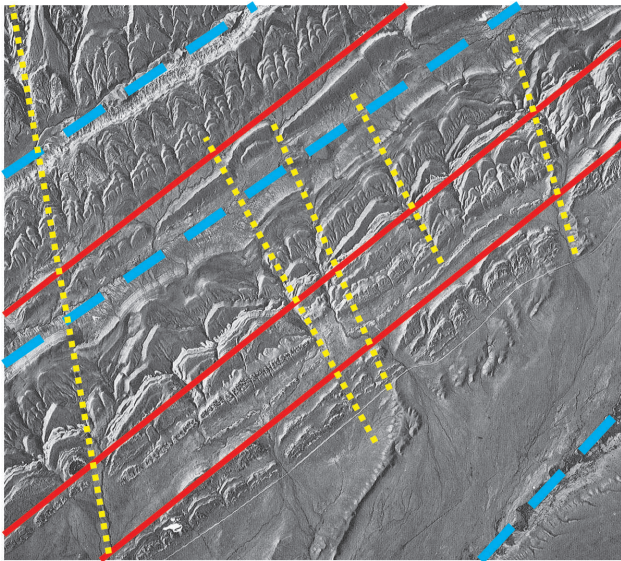
Die südlich der unteren Unstrut bei GroßWangen gelegenen Altsteinbrüche erschließen die stratigraphisch wichtige, nach Osten einfallende Grenze zwischen Mittlerem und Unterem Buntsandstein. Die ausnahmsweise recht detaillierte Reliefdarstellung der DTK10 reicht für eine präzise Orientierung in dem bewaldeten, verbuschten, durch Halden- und Tiefbereiche gekennzeichneten Gelände nicht aus. Baumüberschirmung und steile Felswände behindern zudem den Empfang von GPS-Signalen. Das DGM (hier DGM0,5 des Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt, LDA) macht feinste Reliefdetails sichtbar. Im Bereich der an die Steinbrüche angrenzenden Hochfläche (Gebiet der ehemaligen „Alten Burg“) ist ein System von Wällen und Hohlwegen sichtbar,

das kartographisch nicht fixiert ist, aber für das Auffinden potentieller Aufschlüsse durchaus Relevanz hat (Abb. 3).

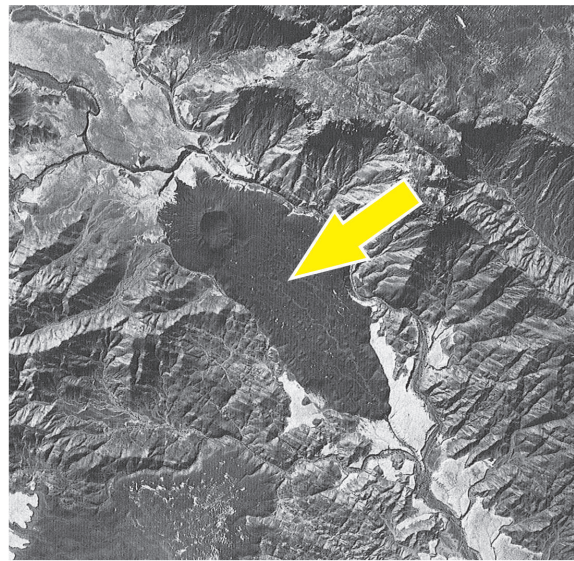
Das bereits betrachtete Kleinhaldenrelief bei Wimmelburg musste selbst in der detaillierten TK10-Darstellung von 1995 stellenweise generalisiert werden. Das DGM ist detailreicher und löst als Geländerücken dargestellte Formen in Einzelhalden auf. Es zeigt sämtliche Kleinformen in einer nie zuvor erreichten, fotorealistischen Weise. Generalisierung des DGM erfolgt allenfalls technisch bedingt, durch die Wahl der Aufnahmeparameter bzw. im Nachgang der Befliegung bei der Datenverarbeitung (Abb. 1).

3. Geomorphologisch-geologische Reliefinterpretation

Wohl jeder in Deutschland außerhalb der



Panchromatisches Luftbild Wyoming (KRONBERG 1984, nach U.S.G.S.; ergänzt).
Schichtkämme aus „harten“ Kalk- und Sandsteinen (rote Linien), Täler in „weichen“ Tonsteinen (blaue gerissene Linien), Nebenflüsse entlang von Klüftzonen (gelbe Punktlinien).



Panchromatisches Luftbild Tschad (KRONBERG 1984, nach I.G.N.; ergänzt).
Vulkankegel, Flachrelief aus dunklen Lavaströmen (Pfeil) auf zertalten metamorphen Gesteinen.

Abb. 4 Aride Gebiete im panchromatischen Luftbild. Vegetationslose Gebiete lassen oft schon an Hand der Morphologie lithologisch-tektonische Interpretationen zu (KRONBERG 1984, ergänzt).

Felszonen der Alpen kartierende Geologe blickt voller Neid auf Fachkollegen, die in ariden Gebieten tätig sind. Dort sorgt das Fehlen einer das Gelände kaschierenden Vegetationsdecke für einen direkten Zugang zu den Reliefformen. Luft- und Satellitenbilder gestatten eine einzigartige Zusammenschau. Die Verbreitung von Kamm- und Tiefenlinien, die Form der Hänge oder deutlich sichtbare Geländekanten lassen schon im Vorfeld von Geländearbeiten geologisch-tektonische Interpretationen zu (Abb. 4). Im weitflächig agrarisch- und forstlich genutzten Sachsen-Anhalt sind derartige luftbildbasierte Auswertungen erschwert oder völlig unmöglich.

Das DGM1 nun entblößt auf einzigartige Weise das Relief der Forstflächen von ihrem Baumbestand. Dem Betrachter bietet sich eine „digitale Wüste“. So wird im südlichen Ziegelrodaer Forst, westlich von Querfurt ein filigran gestuftes Relief sichtbar (Abb. 5). Dem Geländebeobachter würden hier bestenfalls die größeren Geländestufen ins Auge fallen. Aber selbst sie lassen sich in dem oft durch

starken Unterwuchs gekennzeichneten Forst nur schwer weiterverfolgen. Es handelt sich um Ausstrichbereiche unterschiedlich verwitterungsanfälliger Gesteine des Mittleren, ganz im Westen auch des Unteren Buntsandsteins. Stufenbildner sind vor allem die Sandsteine. Schluff- und Tonsteine dagegen tendieren zur Bildung flacher Hangbereiche. Ist eine Schichtgrenze einmal im Gelände identifiziert, ermöglicht das DGM ihre weiträumige und sichere Fixierung. Selbst östlich des Forstes paust sich auf den mit mehreren Metern Löss bedeckten Acker-Hochflächen das Buntsandstein-Relief noch schwach bis zur Oberfläche durch. Ein Effekt, der weder in topographischen Karten darstellbar ist, noch im Gelände beobachtet werden konnte. Die Informationen aus dem DGM helfen, Feldarbeiten zu optimieren und den Zeitaufwand zu reduzieren.

Der Bartenslebener Forst bei Morsleben ist das aktivste Röt-Karst-Gebiet von Sachsen-Anhalt. Die Gipse und Salze des Oberen Buntsandsteins (Gips 3 bzw. Salinarröt) sind noch immer einer schleichenden Subrosion

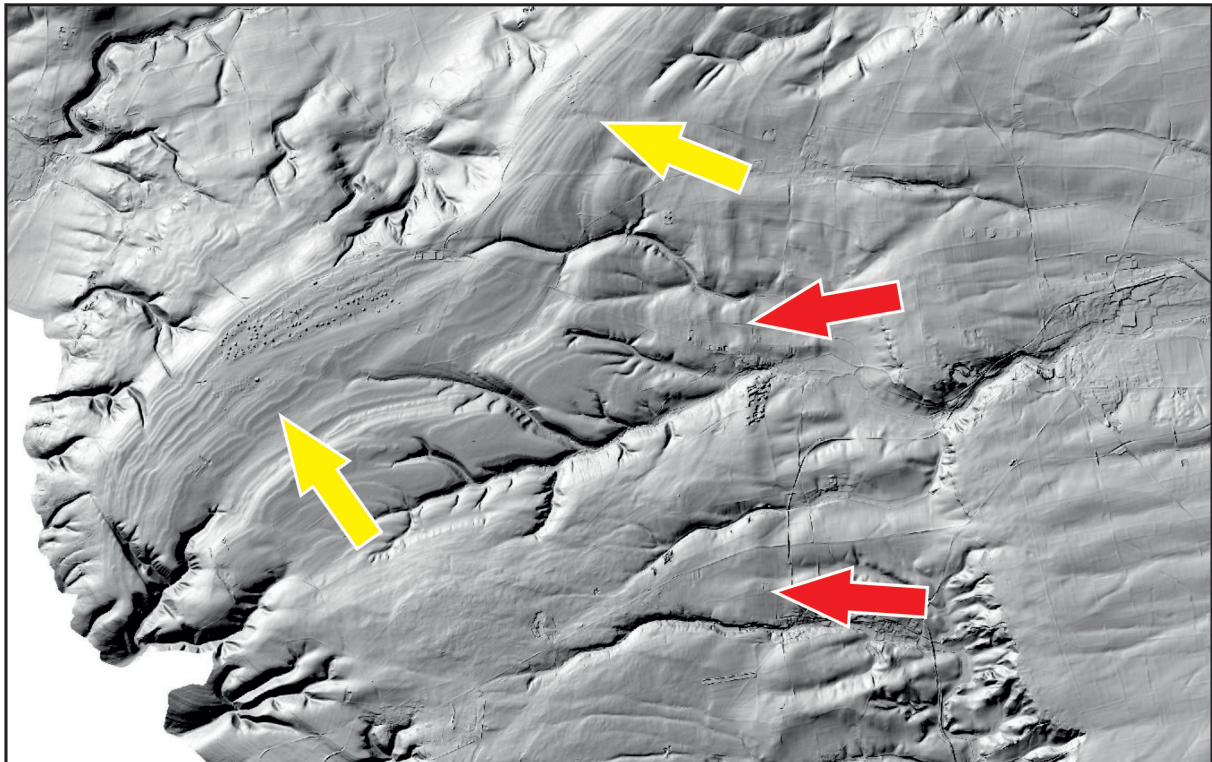


Abb. 5 Ziegelrodaer Forst und Umgebung als „Digitale Wüste“. Die kleinen Schichtstufen (gelbe Pfeile) treten vor allem in der Volpriehausen-Formation des Mittleren Buntsandsteins deutlich hervor. Weiter östlich paust sich das Festgestein der hangenden Solling-Formation sogar durch die darüber lagernde Löss-Decke (rote Pfeile) (Größe des Bildausschnittes: 17 x 11 km). (Darstellung auf Grundlage des ATKIS-DGM © GeoBasis-DE/LVermGeo LSA, [2012, Az: 011112])

ausgesetzt, die zu Einbrüchen der Geländeoberfläche führen kann. Der Forst wird durch eine Vielzahl von Dolinen, Erdfällen und Uvalas durchzogen. Im Zuge der geologischen Kartierung (STOTTMEISTER et al. 2007) erfolgte im Jahr 2000 in einem Teilgebiet die terrestrische Erfassung der Karstformen. Sie war personell und zeitlich enorm aufwändig und unterstützte die geologische Grenzziehung sowie die Ausweisung von Störungszonen. Das nun vorliegende DGM liefert eine höhere Lagegenauigkeit und gestattet eine bessere Differenzierung der Karstformen nach Grundriss und Tiefe (Abb. 6). Zudem macht es östlich der Erdfall-Zone ein bisher unbemerktes, schwach gedelltes und genarbttes Relief sichtbar, ein untrügliches Zeichen für fossile Karstprozesse.

4. Gefahrenabwehr

Gerade in Auslaugungsgebieten hat die Nutzung des DGM ein enormes Potential.

Das am LAGB im Intranet geführte Subrosionskataster basiert auf Archivunterlagen und Geländebefahrungen. Wie ein Vergleich dieser Daten in ausgewählten Bereichen des großen Karststreifens im Zechsteinausstrich am Südharrzrand zeigt, wurde die Mehrzahl der Altdaten akribisch erhoben und kartographisch fixiert. Nichtsdestotrotz gestattet das DGM durchaus kleinere Lagekorrekturen und macht etliche weitere Hohlformen sichtbar. Inwieweit es sich dabei tatsächlich um natürliche Einbrüche oder aber um Bergbau-relikte (Pingen, Tagesbrüche) handelt, kann meist nur im Gelände entschieden werden. Für eine Qualifizierung und Laufendhaltung des für Bebauungsplanungen jeglicher Art wertvollen Subrosionskatasters ist das DGM somit von unschätzbarem Wert. Zukünftig sollten auch multitemporale, möglichst automatisierte Reliefvergleiche ins Auge gefasst werden. Mit ihrer Hilfe könnten selbst in abgelegenen Gebieten niedergegangene

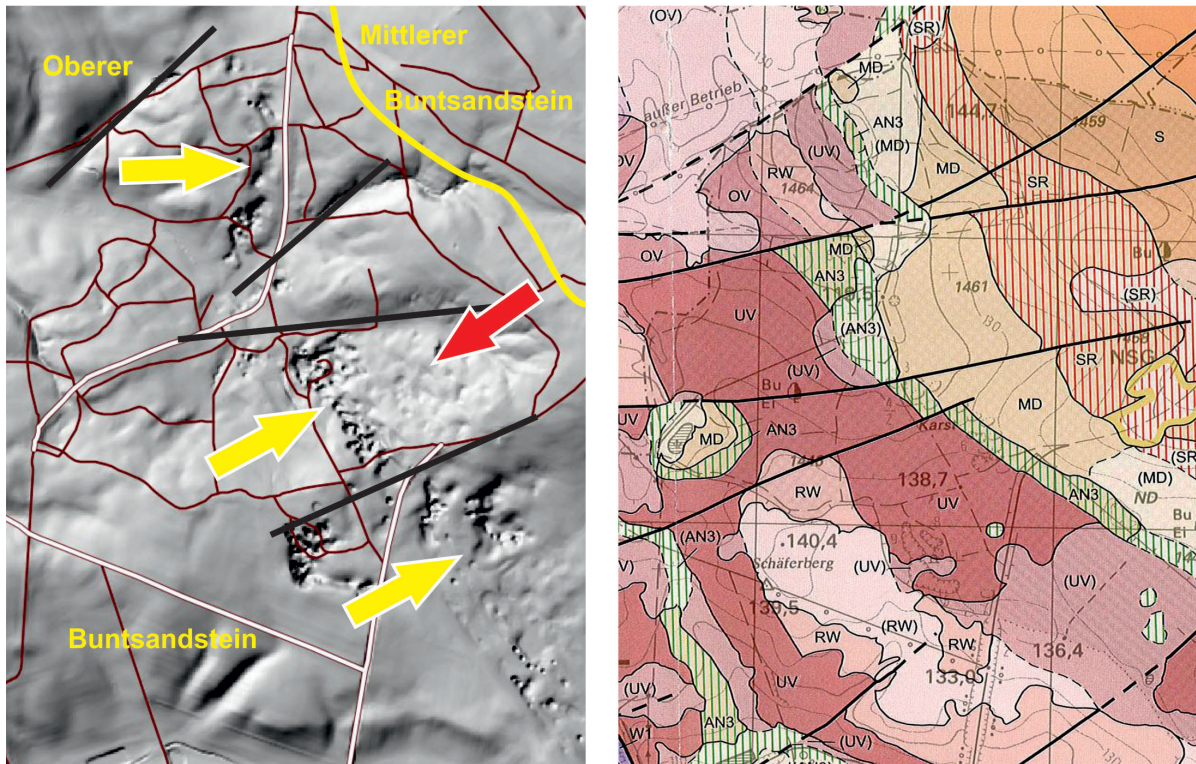


Abb. 6 Röt-Karsterscheinungen im Bartenslebener Forst. Der breite Streifen mit Karsthohlformen des Oberen Buntsandsteins tritt im DGM deutlich hervor (gelbe Pfeile). Östlich schließt sich eine genarbte Fläche mit fossilem Karst an (roter Pfeil), die dann von nicht auslaugbaren Gesteinen des Mittleren Buntsandsteins abgelöst wird (vgl. GK25). Das Verspringen bzw. Aussetzen des Karststreifens im Grundriss kann tektonisch gedeutet werden (schwarze Linien) (Größe des Bildausschnittes: 2,3 x 1,9 km). Darstellung auf Grundlage des ATKIS-DGM © GeoBasis-DE/LVermGeo LSA, [2012, Az: 011112]; GK25: STOTTMEISTER et al. 2007)

Erdfälle aufgespürt und Gefährdungen rechtzeitig erkannt werden.

Das hohe Potential von Laserscanning-Daten für geologische Anwendungen wurde schon frühzeitig erkannt und 1997 durch die Bundesanstalt für Geologie und Rohstoffe (BGR) Hannover erstmals erforscht. Von 1999 bis 2001 war die Behörde in mehreren Testgebieten in Sachsen-Anhalt tätig (KÜHN et al. 2002). Durch die Kombination eines durch Spezialbefliegung gewonnenen DGM mit weiteren Fernerkundungsdaten wurden ein durch Altbergbau beeinflusstes Subrosionsgebiet bei Eisleben und die Zerrspaltenzone am Nordhang des Süßen Sees (Abb. 7) qualitativ und quantitativ fixiert. Darüber hinaus war man im Südharz-Karst um Großleinungen tätig. Es konnten Methoden zur Früherkennung bruch- und senkunggefährdeter Geländebereiche ent-

wickelt werden.

5. Geophysikalische Erkundung bei Stendal: Uchtequerung der Nordverlängerung Bundesautobahn (BAB) 14

Die Erkundungsarbeiten an der Nordverlängerung der BAB 14 (von Magdeburg über Wittenberge nach Schwerin) ergaben in der Uchteniederung südwestlich von Stendal sehr komplizierte Untergrundverhältnisse (Abb. 8). Lokal wurden ungewöhnlich mächtige Beckenbildungen aus Mudde, Torf und Ton angetroffen. Das führte bereits während der Bohrarbeiten zur Einbindung der Geologen des LAGB.

Das Bohrprogramm lieferte detaillierte Informationen über den Untergrund ausschließlich im Trassenverlauf. Zur strukturellen Interpretation der Befunde waren aber Informationen

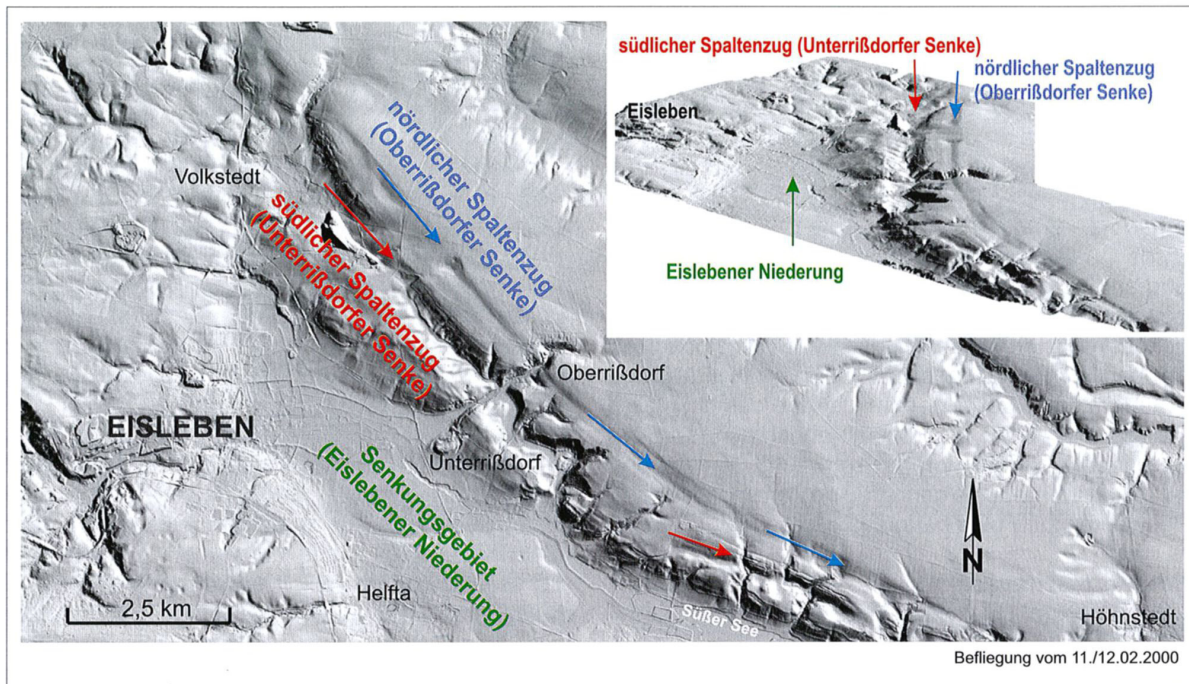


Abb. 7 Laserscanning-Höhenmodell der Volkstedt-Höhnstedter Zerspaltenszone (nach KÜHN et al. 2002, aus STROBEL et al. 2008). Die Nutzung von Laserscanning-Höhenmodellen für die angewandte Geologie wurde schon seit 1997 in Sachsen-Anhalt erprobt.

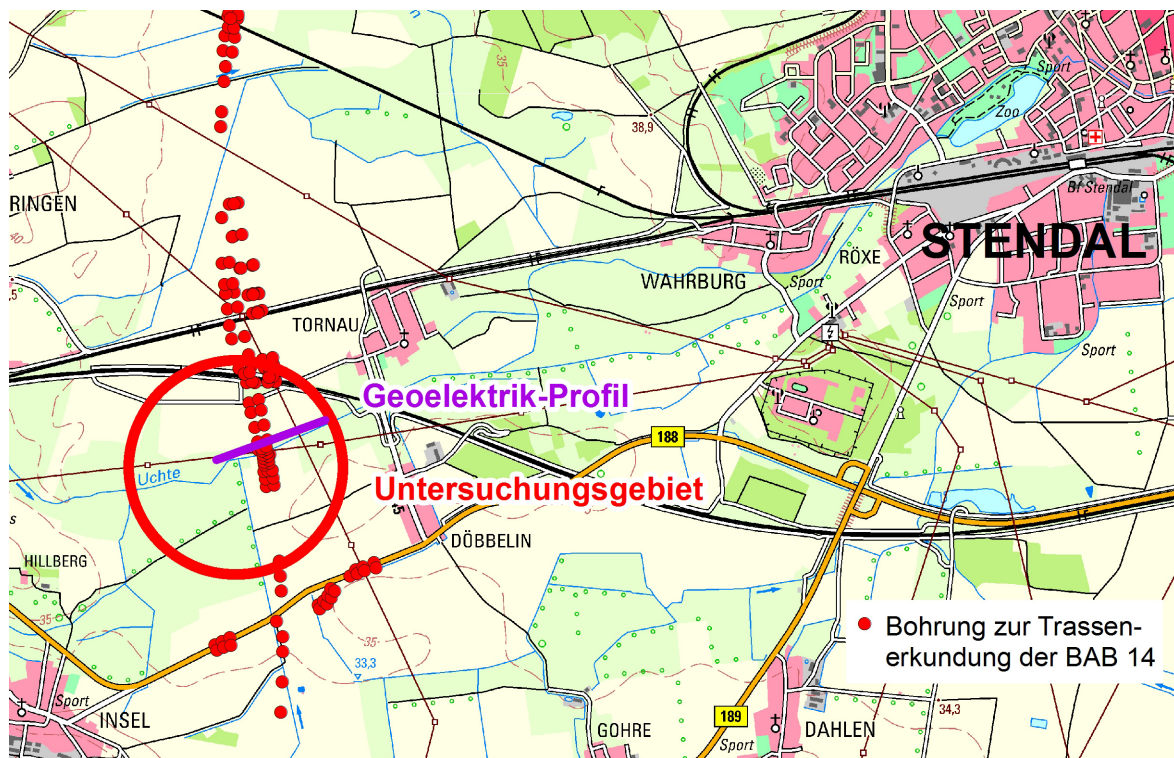


Abb. 8 Lageplan des Untersuchungsgebietes in der Uchteniederung bei Stendal (Darstellung auf der Grundlage von Rasterdaten, © GeoBasis-DE/LVermGeo LSA, [2012, Az: 011112])

über die flächenhafte Verbreitung der Beckensedimente nötig. Deshalb kamen im Jahre 2010 geophysikalische Messungen zum Einsatz. Zuerst erfolgten geoelektrische Tiefensondierungen auf mehreren Profilen. Hier wird stellvertretend ein Profil vorgestellt (Abb. 9).

Für die Baugrundverhältnisse von Bedeutung sind die quartären Schichten, die im Raum Stendal immerhin Mächtigkeiten von etwa 50-100 m erreichen. Die quartäre Schichtenfolge besteht aus Geschiebemergeln, Geschiebesanden und warmzeitlichen Sedimenten. Der oberflächennah anstehende saalekaltzeitliche Geschiebemergel bildet um Stendal ein Grundmoränenplateau, das von Schmelzwasserrinnen in einzelne Hochflächen gegliedert ist.

Die Mudden zeichnen sich ebenso wie Bekenschluffe oder Geschiebemergel geoelektrisch durch niedrige Widerstandswerte aus. Sie ließen sich so von den Sanden und Kiesen

mit höheren Widerständen deutlich abgrenzen.

Damit konnte die Verbreitung der Mudden außerhalb der vorgesehenen Autobahntrasse nachgewiesen werden. Diese Mudden und Torfe erreichen Mächtigkeiten von bis zu 10 Metern. Da es sich dabei um sehr weiche, lockere Materialien handelt, ist beim Autobahnbau eine spezielle Gründung nötig. Und dabei muss man Vorstellungen zur Gesamterstreckung des Muddekörpers haben.

Die einzelnen geoelektrischen Profilschnitte wurden noch ergänzt durch horizontale flächenhafte Darstellungen der Widerstandswerte für verschiedene Eindringtiefen. Eine dieser Widerstandsverteilungen, die etwa im Tiefenniveau der Muddeverbreitung liegen dürfte, ist in Abb. 10 veranschaulicht.

Schon diese Darstellung (Abb. 10) deutet an, dass hier nicht ein kleinräumiges kesselförmiges Vorkommen vorliegt. Vielmehr könnte es sich um eine rinnenartige Struktur

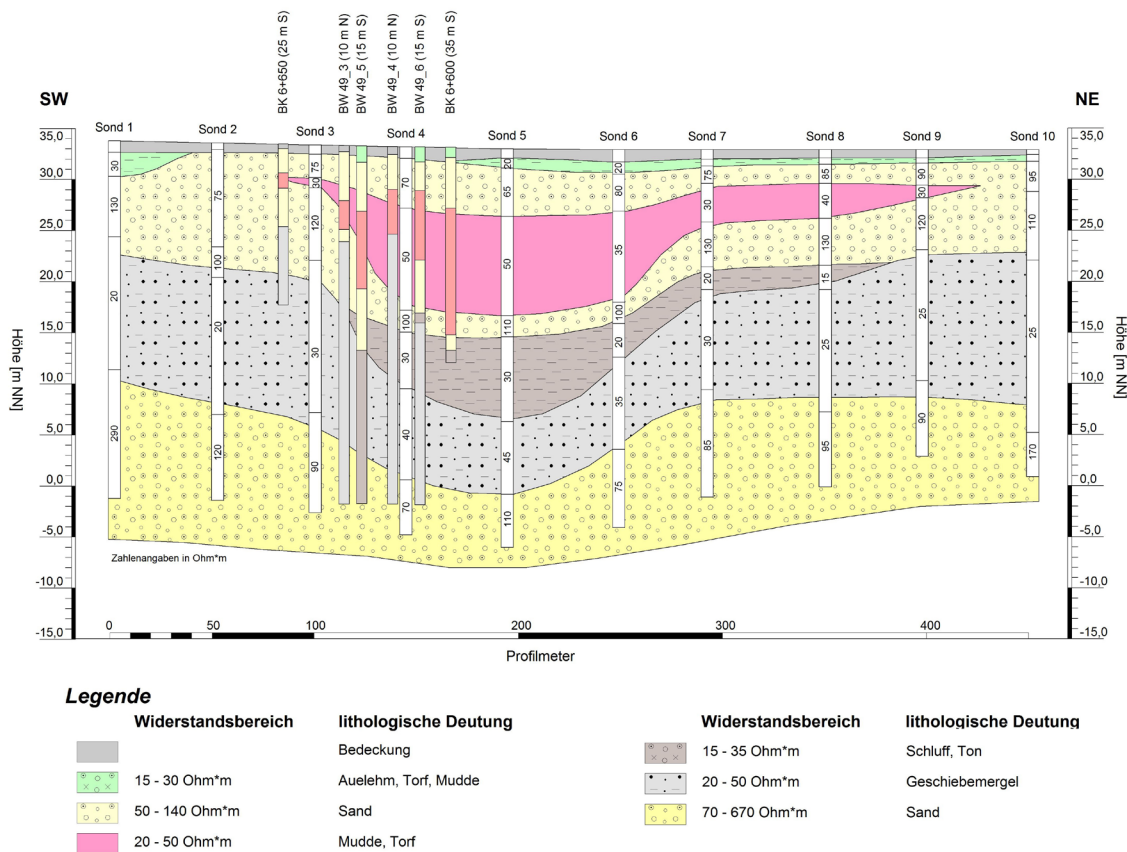


Abb. 9 Geoelektrik-Profil mit Verbreitung der Mudden (rötlich)

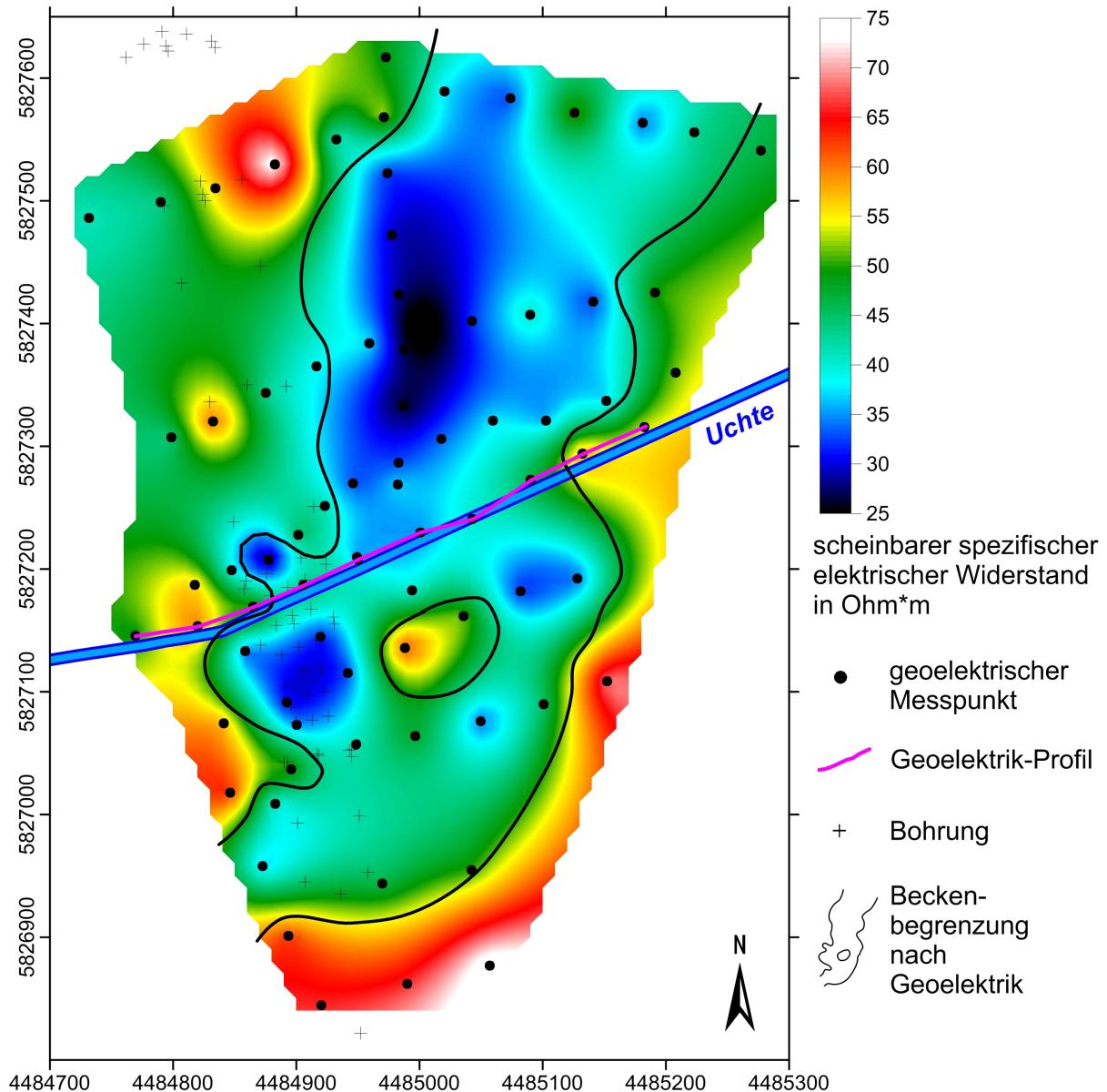


Abb. 10 Horizontale Widerstandsverteilung

handeln. Allerdings wäre für diese Aussage der geoelektrisch übermessene Abschnitt zu klein.

Bereits bei der geoelektrischen Messung im Gelände wurde bei der ersten Sichtung der Messwerte festgestellt, dass Abschnitte mit niedrigen Widerständen mit lokalen, kaum erkennbaren Geländetieflagen zusammenfallen. Deutlich waren die lokalen Senken erst nach ergiebigen Regenfällen im Herbst 2010 zu erkennen, nach denen sie wochenlang unter Wasser standen.

Einen direkten Vergleich der Geländeoberfläche mit den geoelektrischen Messwerten

ermöglicht Abb. 11. Dort ist der geoelektrisch ermittelten Beckenerstreckung ein digitales Höhenmodell gegenübergestellt. Das Höhenmodell ist das DGM1 des Landesamtes für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt (LVermGeo). Es stammt von einer landesweiten Laserscan-Befliegung und hat eine Höhenauflösung von 15 cm.

Zusammengefasst lassen sich die Befunde aus geologischen Daten, geophysikalischen Messwerten und dem Höhenmodell sehr gut gemeinsam interpretieren. Die Anlage des Beckens erfolgte durch abfließende Schmelzwässer, die den Untergrund ausräumten.

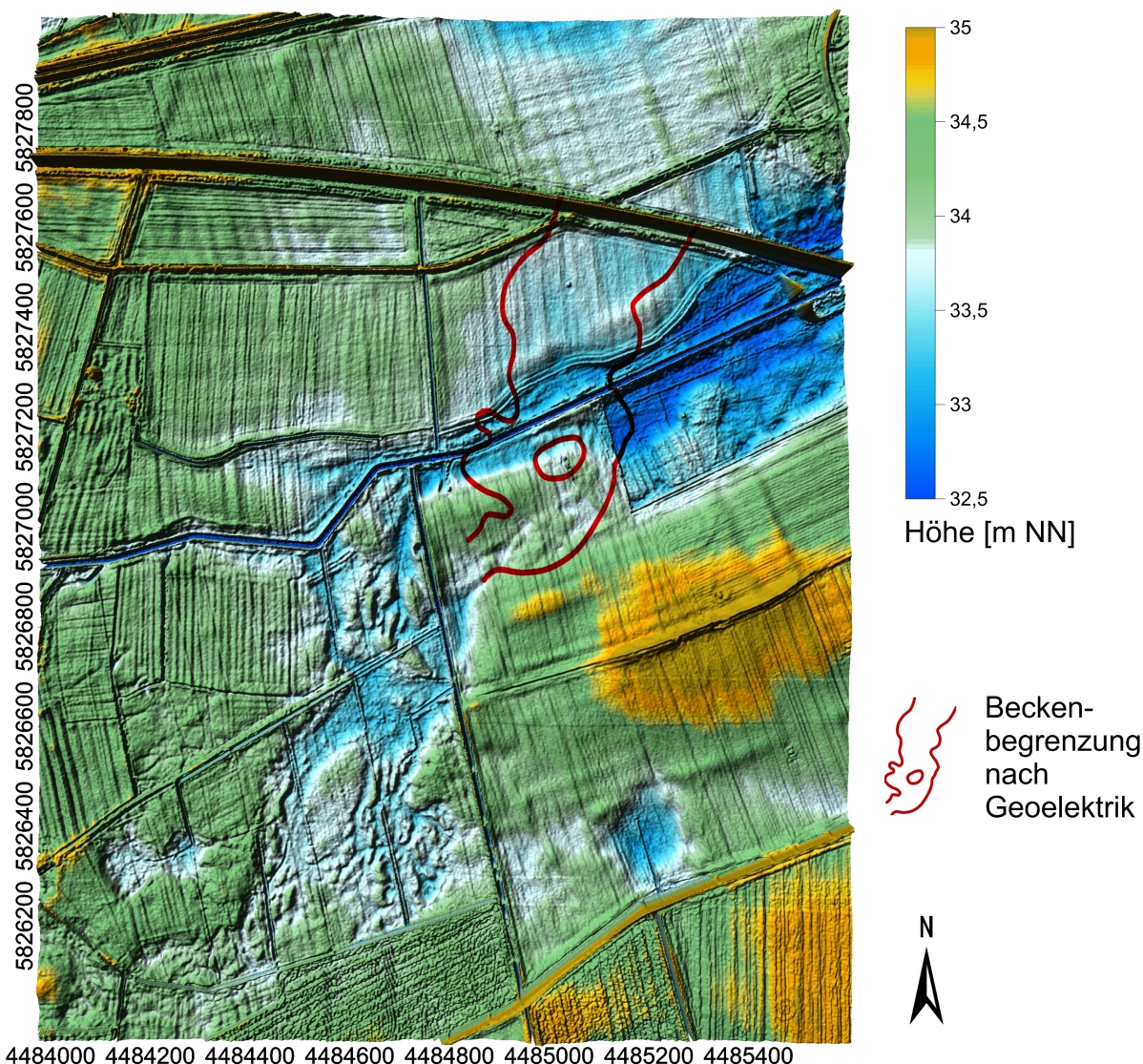


Abb. 11 Digitales Höhenmodell als Schattenrelief (Darstellung auf der Grundlage von ATKIS-DGM, © GeoBasis-DE/LVermGeo LSA, [2012, Az: 011112])

Dabei entstanden vor allem rinnenförmige Strukturen, die durch lokale Auskolkungen aber auch Inseln untergliedert waren. Die Hohlformen wurden nachfolgend durch Beckenschluffe/-tone und Mudden – jeweils mit hohem organischen Anteil – gefüllt. Diese bindigen Materialien äußern sich geoelektrisch durch niedrige Widerstände. Da die Kompaktion der nachträglich eingelagerten Beckensedimente bis in die jüngste Zeit anhielt, stellten diese Bereiche auch nach zwischenzeitlicher Einebnung durch den Eintrag von Sanden wieder lokale Tieflagen dar,

in denen sich an der Oberfläche Auelehm, Torf und Anmoor bildeten. Insofern spiegeln die holozänen Talbildungen der geologischen Oberflächenbefunde auch die ursprünglich saalekaltzeitlich angelegten Rinnen und Becken wider. Und somit wird auch nachvollziehbar, dass sich diese Strukturen noch im heutigen Geländere relief abbilden. Durch die Einbeziehung des digitalen Höhenmodells in die Interpretation konnte der Aufwand für Bohrarbeiten und geoelektrische Messungen in Grenzen gehalten werden.



Abb.12 Tagesbruch am Galgenberg bei Alsleben (Foto: G. PFAFF)



Abb. 13 Lageplan des Untersuchungsgebietes bei Alsleben (Darstellung auf der Grundlage von Rasterdaten, © GeoBasis-DE/LVermGeo LSA, [2012, Az: 011112])

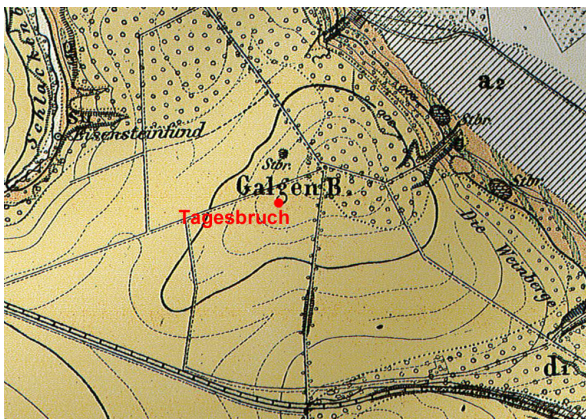


Abb. 14 Steinbruch ca. 100 m nördlich des Tagesbruchs (aus: KAYSER 1877)

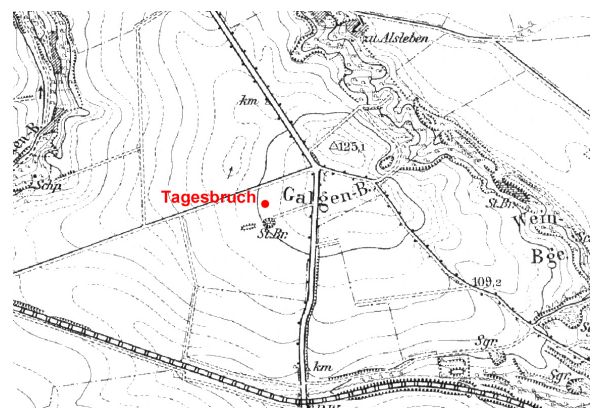


Abb. 15 Steinbruch und Halde ca. 50 m südlich des Tagesbruchs (aus: KÖNIGLICH PREUSSISCHE LANDESAUFNAHME 1904)

6. Geophysikalische Erkundung eines Tagesbruchs am Galgenberg bei Alsleben

Ende April 2013 ereignete sich ein Tagesbruch (Abb. 12) auf einer Ackerfläche in der Nähe des Galgenbergs bei Alsleben (Abb. 13).

Historisches Kartenmaterial (Abb. 14, 15) zeigt in direkter Nachbarschaft des Tagesbruchs ehemalige Steinbrüche. Es besteht die prinzipielle Möglichkeit, dass von dort aus Werkstein auch im Tiefbau gewonnen wurde. Das könnte bedeuten, dass sich Tiefbauhöhlräume bis in den Bereich des

Tagesbruchs erstrecken und daher weitere Bereiche des Ackers einsturzgefährdet sein könnten.

In der weiträumigen Umgebung des Galgenberges stehen unter geringmächtiger Lössbedeckung die Festgesteine des Unteren Buntsandsteins an. Ziel des historischen Abbaus waren vermutlich Rogensteine oder Kalksandsteine des Unteren Buntsandsteins. Die Natursteingewinnung war früher stark verbreitet. Jede Gemeinde war bestrebt, innerhalb ihrer Flurstücksgrenzen die benötigten Bausteine zu gewinnen.

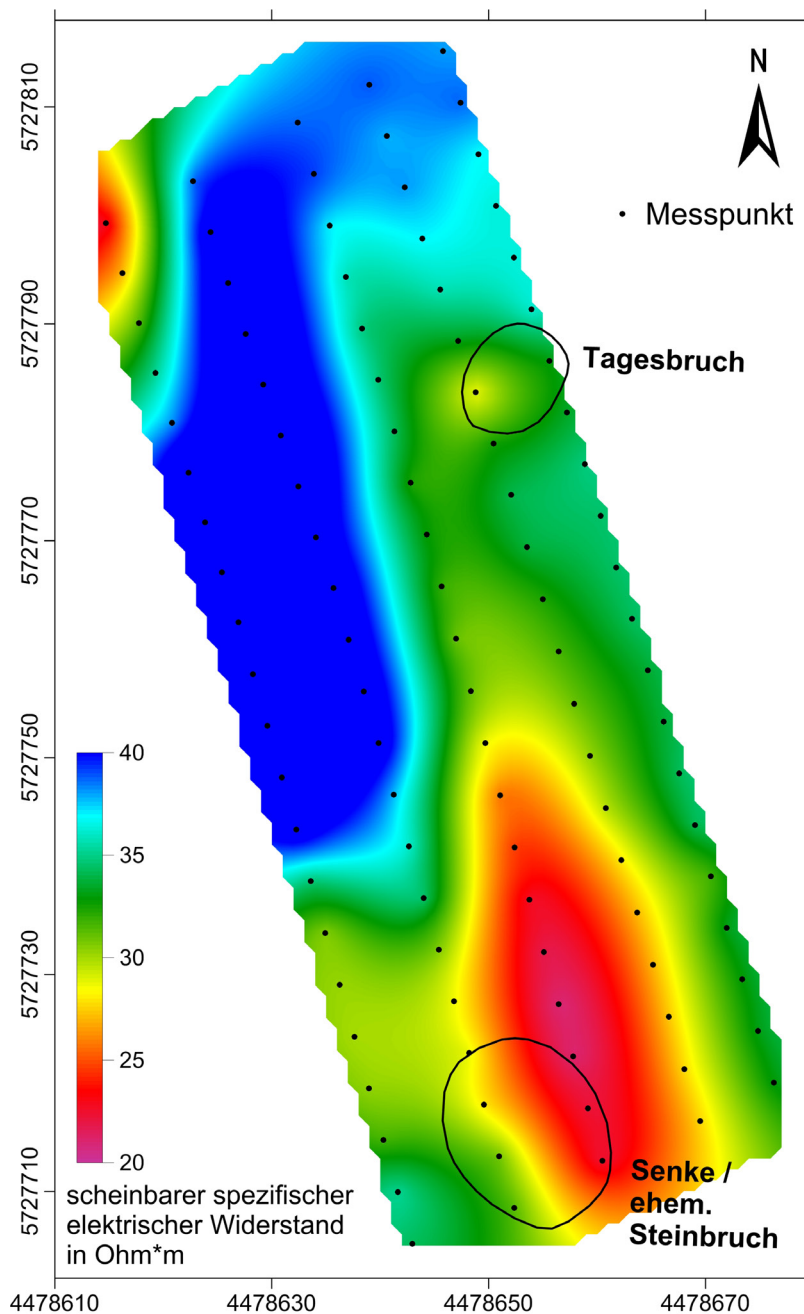


Abb. 16 Widerstandsverteilung bei einem Elektrodenabstand von 10 m

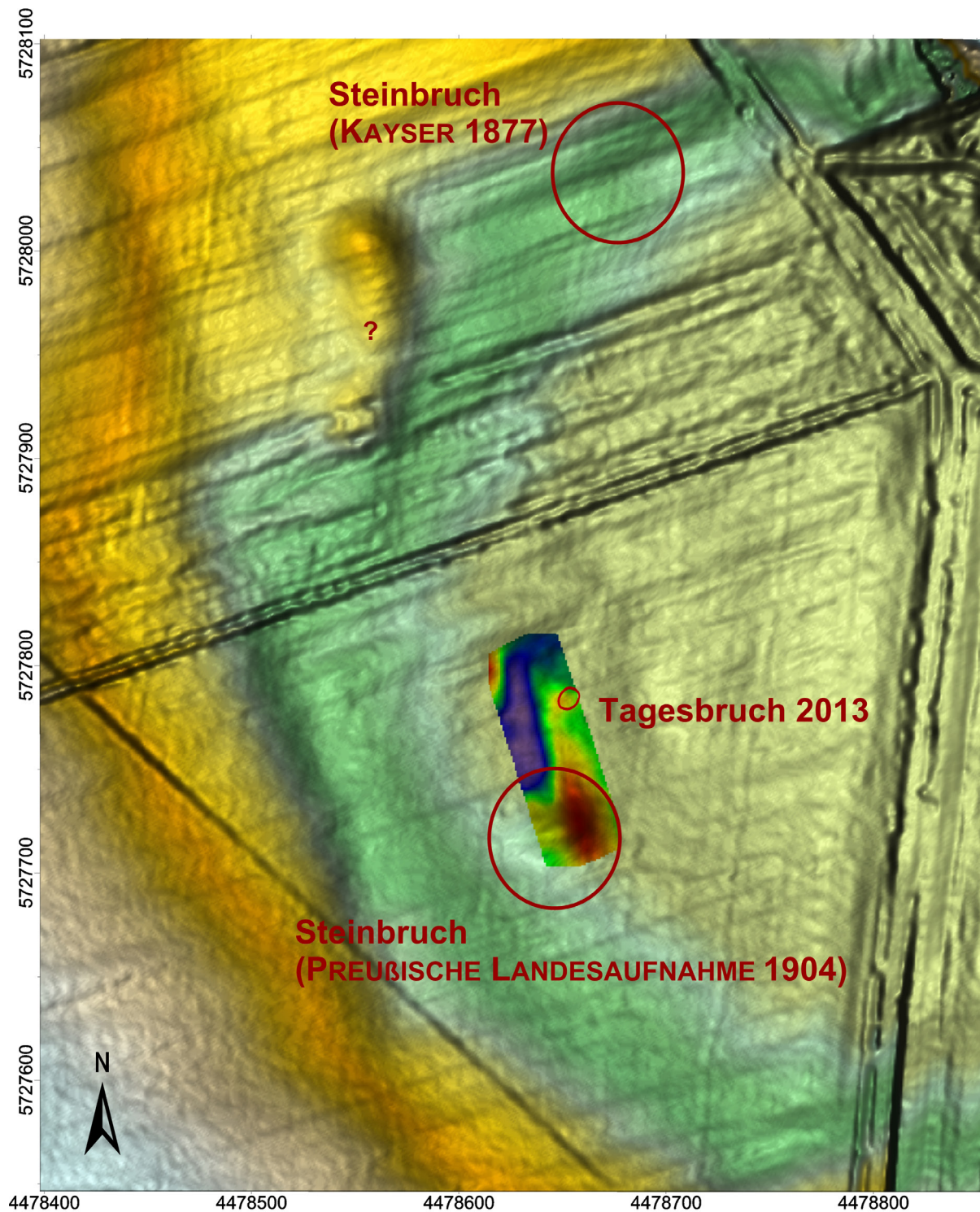


Abb. 17 Digitales Höhenmodell als Schattenrelief mit Eintragung von ehemaligen Steinbrüchen, Tagesbruch und Ergebnissen der Geoelektrik (Darstellung auf der Grundlage von ATKIS-DGM, © GeoBasis-DE/LVermGeo LSA, [2012, Az: 011112])

Auf der den Tagesbruch umgebenden Fläche erfolgte eine geoelektrische Kartierung mit dem Ziel, aus der Verteilung der scheinbaren spezifischen elektrischen Widerstände Hinweise auf einsturzgefährdete Bereiche im Umfeld des Tagesbruchs abzuleiten.

Der Spektralplot des scheinbaren spezifischen elektrischen Widerstandes für den Elektrodenabstand von 10 Metern (Abb. 16) zeigt sowohl den Bereich des Tagesbruchs als auch die Senke im Bereich des ehemaligen Steinbruchs als Widerstandsanomalie. Beide sind durch eine Anomalie verbunden. Die Zeit der Hartgesteinsabbaue auf diesem Acker liegt schon sehr lange zurück, sie sind inzwischen mehr oder weniger verfüllt. Im Verlaufe der Zeit wurde der oberflächlich anstehende Löss in die Abbaue eingetragen, sowohl durch die maschinelle Bearbeitung des Ackers als auch durch Regen. Das würde sowohl die leichten Hohlformen ehemaliger Steinbrüche als auch Auflockerungsbereiche über eventuellen Tiefbauten und selbst solche

Tiefbaue betreffen. Das schluffige Material bedingt die niedrigeren Widerstände im Vergleich zum benachbarten Festgestein mit höheren Widerständen.

In Abb. 17 sind die Ergebnisse der Geoelektrik dem digitalen Geländemodell (DGM1) zugeordnet. Das Höhenmodell zeigt die beiden genannten ehemaligen Steinbrüche als Senken. Dazwischen wird die Geländeoberfläche durch kleinräumige Unebenheiten bestimmt. Das vermittelt den Eindruck, als ob dieser Abschnitt ebenfalls intensiv vom ehemaligen Werksteinabbau betroffen ist.

7. Geotechnische Arbeiten bei Teutschenthal, Tagebaurestloch Henriette

Beispielhaft wird für ein Tagebaurestloch bei Teutschenthal (Abb. 18) gezeigt, wie durch Verschneidung von Höhendaten des Laserscannings mit den Ergebnissen von Echolotungen eine Grundlage für Standsicherheitsbetrachtungen von Böschungen erzeugt wird. Es handelt sich hier um das

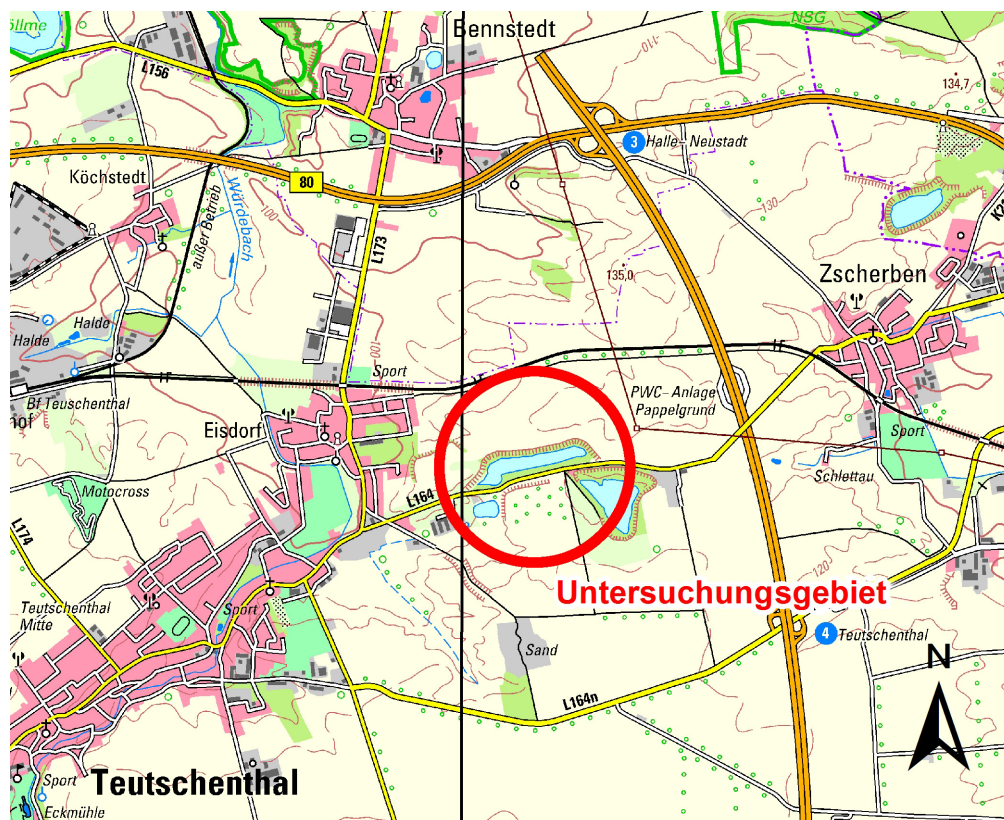


Abb. 18 Lageplan des Tagebaurestlochs Henriette bei Teutschenthal (Darstellung auf der Grundlage von Rasterdaten, © GeoBasis-DE/LVermGeo LSA, [2012, Az: 011112])

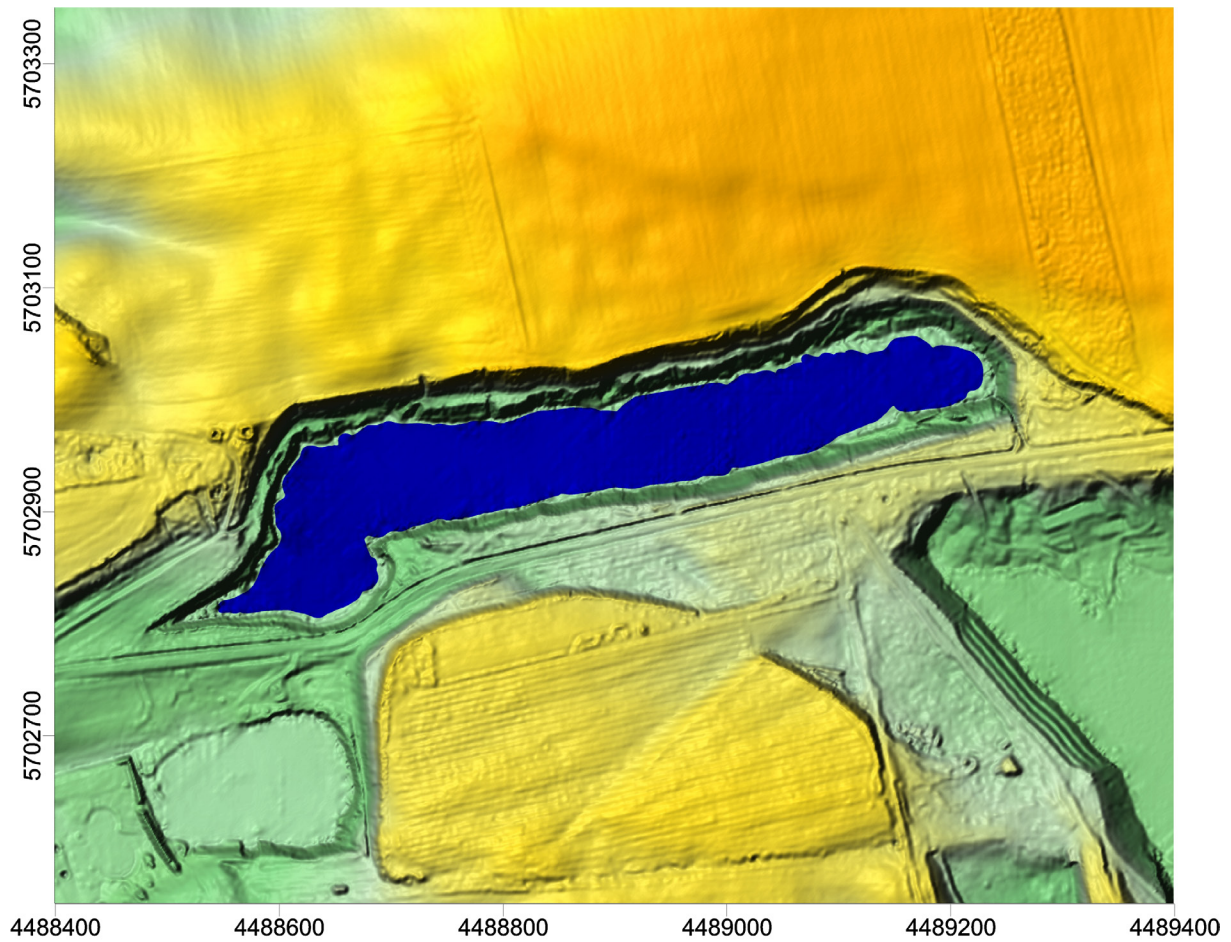


Abb. 19 Digitales Höhenmodell des ehemaligen Tagebaus als Schattenrelief, blau markiert die Wasseroberfläche (Darstellung auf der Grundlage von ATKIS-DGM, © GeoBasis-DE/LVermGeo LSA, [2012, Az: 011112])

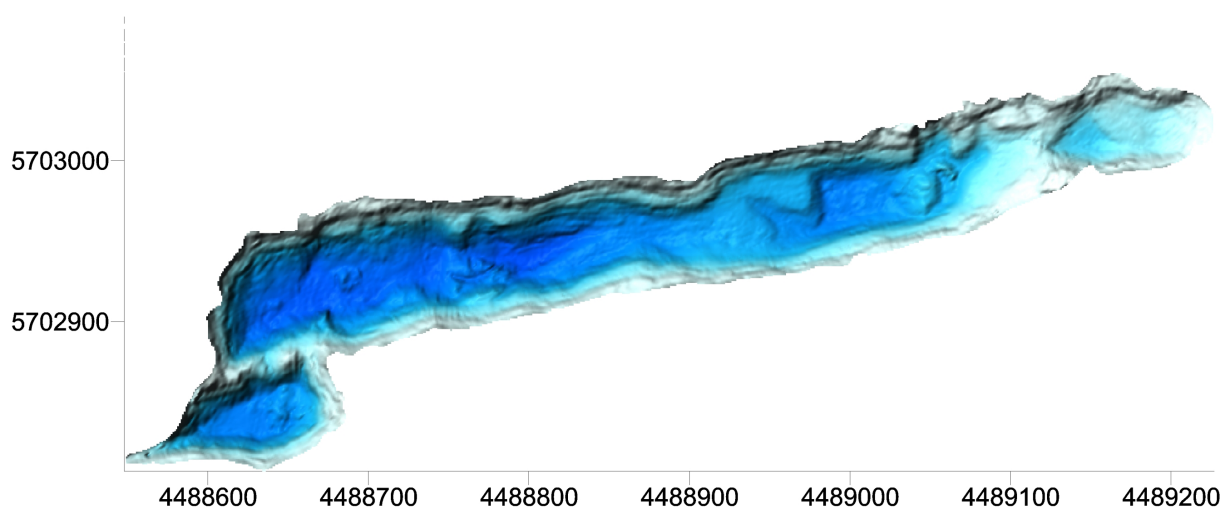


Abb. 20 Seebodenrelief des ehemaligen Tagebaus als Schattenrelief



Abb. 21 Gesamtgeländemodell des ehemaligen Tagebaus als Schattenrelief mit eingesetztem Relief des Seebodens; rote Linie: Profilschnitt vgl. Abb. 22 (Darstellung auf der Grundlage von ATKIS-DGM, © GeoBasis-DE/LVermGeo LSA, [2012, Az: 011112])

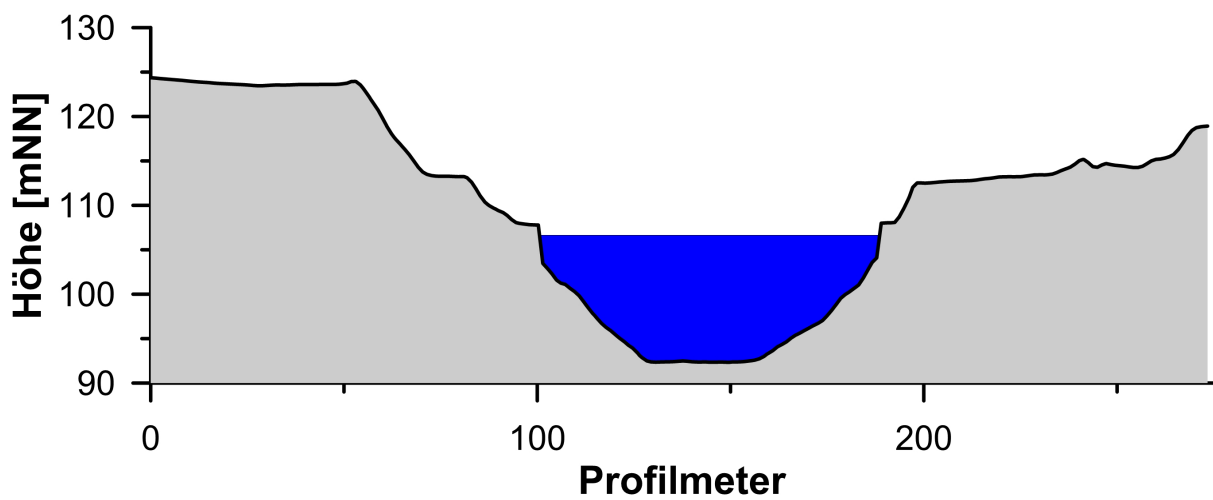


Abb. 22 Profilschnitt (Lage: vgl. Abb. 21) auf der Basis des aus DGM1 und Seebodenrelief erzeugten Geländemodells

Restloch der ehemaligen Braunkohlengrube Henriette. Der Tagebau wurde schon vor 1945 eingestellt. Für derartige Bergbaugelände ohne Rechtsnachfolger ist das Land verantwortlich.

Für Standsicherheitsbetrachtungen von Böschungen ist unter anderem das Geländere Relief von Bedeutung. Sind die Tagebaurestlöcher geflutet, stehen die Kippenböschungen zum großen Teil unter Wasser. Für Stellen unterhalb der Wasseroberfläche liefert das aus dem Laserscanning abgeleitete Höhenmodell keine Informationen (Abb. 19).

Im Auftrag des LAGB wurde das Seebodenrelief solcher Restlöcher durch Sonarvermessung ermittelt. Die gewonnenen Daten ermöglichen die Modellierung des Seebodenreliefs, das von der Auflösung her dem DGM1 ebenbürtig ist (Abb. 20).

Durch Herausclippen der Seefläche aus dem Höhenmodell und Verschneidung mit dem Seebodenrelief lässt sich ein vollständiges Geländemodell erzeugen (Abb. 21).

Das Gesamtgeländemodell ist Voraussetzung für geotechnische Modellierungen zur Standsicherheit. Jetzt lassen sich Hangneigungen bestimmen für die gesamte Böschung bis zur ehemaligen Tagebausohle (Abb. 22).

8. Literatur

AD-HOC-ARBEITSGRUPPE GEOLOGIE (2002): Geologische Kartieranleitung. Allgemeine Grundlagen. Geologisches Jahrbuch, Reihe G, H. 9, 135 S.; Hannover (BGR u. Staatliche Geologische Dienste).

KAYSER, E. (1877): Geologische Specialkarte von Preussen und den Thüringischen Staaten, Blatt Cönnern. Berlin.

KÖNIGLICH PREUSSISCHE LANDESAUFNAHME (1904): Messtischblatt Könnern, 1 : 25.000, 2458.

KRONBERG, P. (1984): Photogeologie. 268 S.; Stuttgart (Enke).

KÜHN, F., KÄBEL, H. & TREMBICH, G. (2002): Erprobung von höchstauflösenden Satelliten- und Flugzeugdaten zur Untersuchung von Subrosionserscheinungen (GEOTEC II). 131 S., 7 Anl., 1 Anhang; Bundesanstalt

für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hannover).

STROBEL, G., HEROLD, U. & SPILKER, M. (2008): Zur Flutung der Mansfelder Mulde. Eine Nachbetrachtung. Mitteilungen zu Geologie und Bergwesen in Sachsen-Anhalt, Band 15, 112 S.; Halle (LAGB Sachsen-Anhalt).

STOTTMEISTER, L., JORDAN, H. & RÖHLING, H.-G. (2007): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Sachsen-Anhalt 1 : 25.000, Blatt 3732 Helmstedt. 260 S., 2 Karten, 1 Bl. Geol. Schnitte, 6 Beikarten; Halle (LAGB Sachsen-Anhalt).

Aktualisierung des Digitalen Geländemodells in Sachsen-Anhalt

OLF WIEßNER

Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt, Otto-von-Guericke-Straße 15, 39104 Magdeburg

Schlüsselwörter: Digitale Geländemodelle, DGM1, Fortführung, Sachsen-Anhalt

Keywords: Digital Terrain Model, DTM1, Updating, Saxony-Anhalt

Kurzfassung

Mit dem Digitalen Geländemodell Gitterweite 1m, kurz DGM1, liegt ein hochgenauer Datenbestand – basierend auf einer Laserscanbefliegung aus dem Jahr 2009 – flächendeckend für das Land Sachsen-Anhalt vor. In diesem Artikel wird dargelegt wie das DGM1 im Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt (LVerGeo) im Zweijahreszyklus aktualisiert wird. Dabei werden die Vorgaben der AdV zur Höhengenaugigkeit eingehalten.

Abstract

A Digital Terrain Model (DTM) with a high accuracy exists for the whole state of Saxony-Anhalt, based on airborne laser scanner data from 2009. The article describes the up-dating process for this DTM. In a two-year-cycle, the mapping and surveying authority is analysing DTM concerned changes of landscape. In the result of this process a better fit DTM build up, according to AdV-standard.

1. Rückblick

In den frühen 1990er Jahren wurde im Landesamt für Vermessung und Datenverarbeitung Sachsen-Anhalt (LVerMD) mit dem Aufbau eines Digitalen Geländemodells (DGM) begonnen. Grundlage dafür bildeten die Reliefinformationen der Topographischen Karte im Maßstab 1:10000, die wiederum ihre Ursprünge in der Neuaufnahme des Geländes in den 1950er und 1960er Jahren hatte. Aktualisierungen des Reliefs wurden nur partiell vorgenommen, und zwar immer dann, wenn es in Verbindung mit der Fortführung anderer topographischer Objekte (Straßen, Tagebaue, etc.) Veränderungen in der Örtlichkeit gab.

Nach Abschluss der Digitalisierung wurde das neu abgeleitete DGM weiter qualifiziert

(Aussparungsflächen gefüllt, Abgrenzung zum Gewässer überprüft etc.) und lag dann 2002 – nun komplett – als Produkt DGM10 (DGM mit 10 Meter Gitterweite) vor. Dieser Datenbestand bildete die Grundlage für die Ableitung des Höhenlinienbildes in den Digitalen Topographischen Karten (DTK10 bis DTK100). Nüchtern gesehen, wurden so weitestgehend immer noch die Ergebnisse der topographischen Erstaufnahme von vor 60 Jahren repräsentiert.

Nach dem verheerenden Elbehochwasser 2002 wurden in gemeinsamen Projekten des Landesbetriebes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW), der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) und dem Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt (LVerGeo) Laserscanbefliegungen vorwiegend in hochwassergefährdeten Gebieten durchgeführt. Bis 2008 wurden so ca. 15% der Landesfläche von Sachsen-Anhalt neu aufgenommen (Abb. 1) und konnten in höher aufgelösten Geländemodellen weiterverarbeitet werden.

Der eigentliche Durchbruch für die Ableitung eines hochgenauen DGM gelang mit der landesweiten Laserscanbefliegung im Winter 2008/2009 als gemeinsames Projekt des LHW und des LVerGeo (VON WNUCK & PATZSCHKE 2010). Das LVerGeo stellte für dieses Projekt landesweit aktuelle Digitale Orthophotos (DOP20) und für die Georeferenzierung SAPOS[®]-HEPS (Hochpräziser Echtzeit Positionierungs-Service) bereit. Einen Schwerpunkt bildete die Qualitätssicherung. So wurden ca. 100 Referenzlinien und -flächen und ca. 200 Kontrollflächen

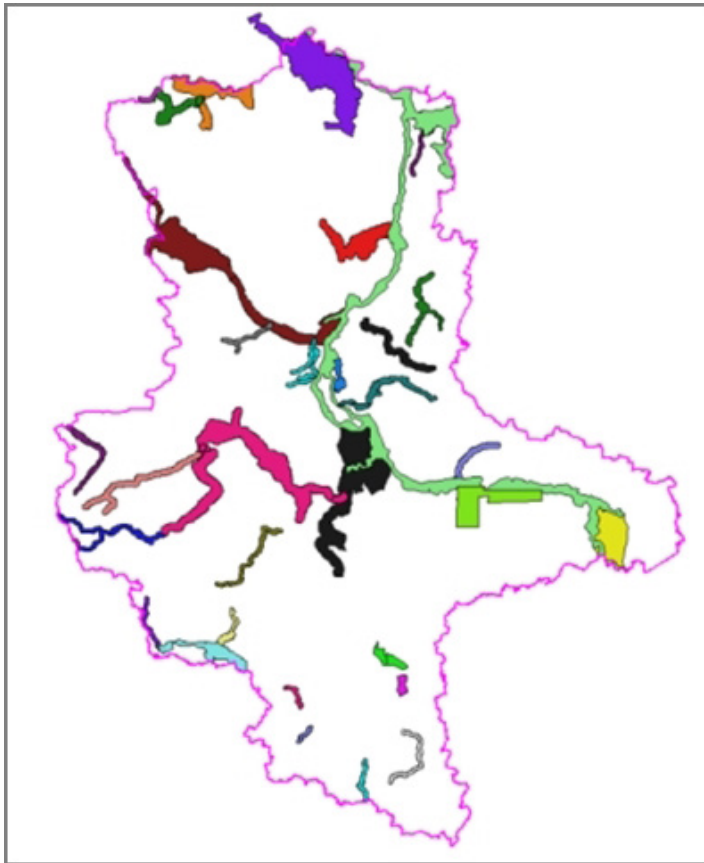


Abb. 1 Laserscangebiete bis 2008

eingemessen, um einerseits die Ergebnisse der Befliegung in das aktuelle Bezugssystem einzubinden und andererseits die Ergebnisse hinsichtlich der geforderten Genauigkeit zu bewerten und abzunehmen. Letzteres geschah Ende 2009.

Zu den eigentlichen Laserscandaten („Punktwolken“) wurde von den beteiligten Firmen auch ein abgeleitetes DGM1 geliefert. Dies wurde anschließend im LVerGeo überarbeitet und weiter qualifiziert (Einrechnung von Bruchkanten, Anpassung an Gewässerumringe, Fehlklassifizierungen finden und beheben etc.). Mit dem Abschluss dieser Arbeiten im März 2012 erfüllte das DGM1 die im AdV-Produktstandard definierten Qualitätsparameter.

2. AdV-Produktstandard ATKIS®-DGM

Die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder (AdV) hat mit dem ATKIS®-Produktkatalog festgelegt, welche Produkte der Geotopographie bundesweit vorgehalten werden können. Für diese Produkte wurden Produktstandards fest-

gelegt. Der AdV-Produktstandard für das DGM kann über die Adresse www.AdV-online.de/Veroeffentlichungen/Veroeffentlichungen-Geotopographie/Standards bezogen werden.

Im Produktstandard wird das DGM definiert als

- regelmäßiges Gitter,
- mit ergänzenden Angaben wie Geländekanten, markanten Geländepunkten etc.,
- ohne Information über Bauwerke (z. B. Brücken) und Vegetation und
- es wird nach ihrer Gitterweite strukturiert.

Als am höchsten aufgelöstes DGM wird das DGM1 geführt, welches auch in Sachsen-Anhalt verfügbar ist. Länderübergreifende bzw. bundesweite Abgaben können ab dem DGM10 über das Dienstleistungszentrum beim Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) bezogen werden. Dafür stellen die Länder – an den Landesgrenzen abgeglichen – Datenbestände bereit.

Die weiteren Punkte im Produktstandard

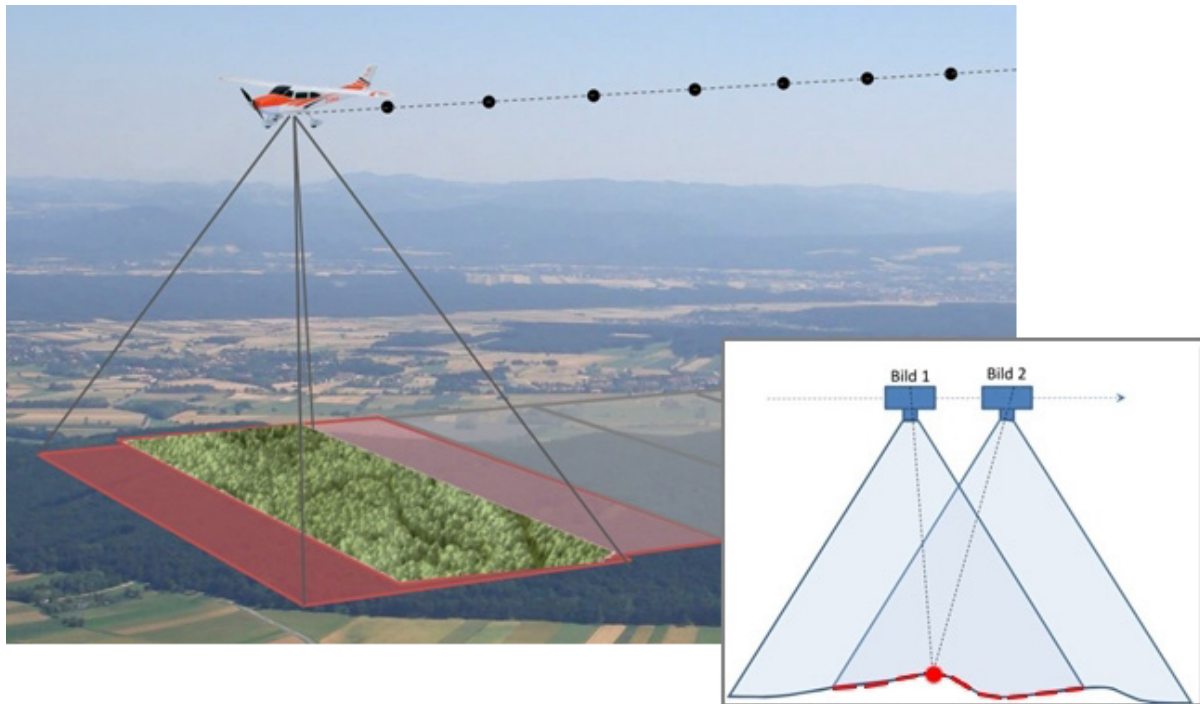


Abb. 2 Bildmatching - DOM aus Luftbildern (KOUKAL 2013)

geben Vorgaben zur Qualität (siehe Punkt 5), zum Datenformat, zur Namensgebung, zur Georeferenzierung und zu den Metadaten.

3. Fortführung des DGM1 im LVerGeo

Frei nach dem Motto „nach der Ersterfassung ist vor der ersten Fortführung“ begann bereits im Jahr 2012 die Fortführung des DGM1 im LVerGeo. Da eine erneute Laserscanbefliegung nicht absehbar war und ist, musste ein anderer Weg gefunden werden, um

eine neue Punktwolke der Geländeoberfläche gewinnen zu können. Mit dem geotopographischen Bildflug stehen im Zweijahreszyklus aktuelle Luftbilder für die Landesfläche Sachsen-Anhalts zur Verfügung.

Auf Grund der vorgegebenen Parameter wie Bodenauflösung (20cm) und Quer-/Längsüberdeckung (60%/40%) eignen sich die Luftbilder für sogenannte Matchingverfahren. Dabei werden benachbarte Luftbilder (und mehrere im Block) in einem automa-

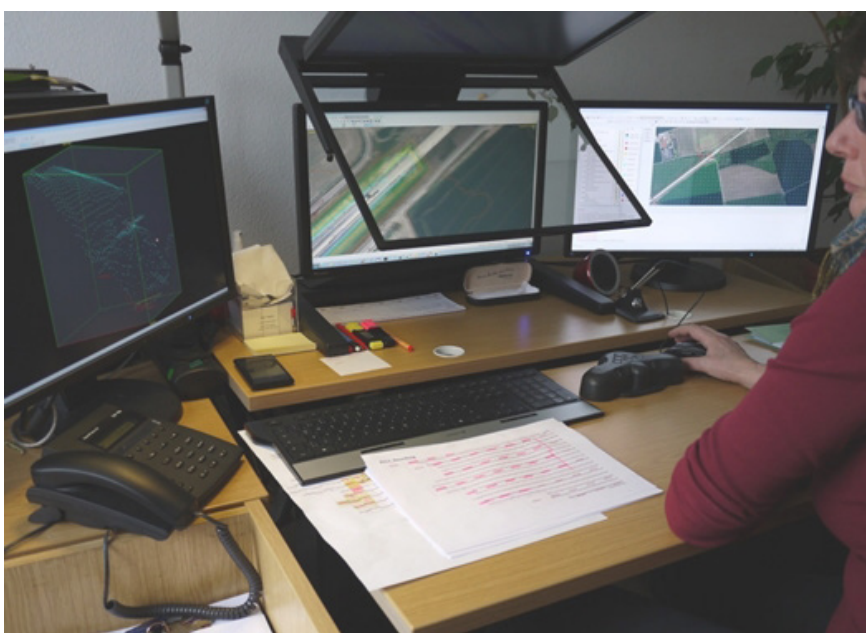


Abb. 3 Photogrammetrischer Arbeitsplatz im LVerGeo

tischen Verfahren mittels Bildkorrelation (Bildmatching) ausgewertet. Es entsteht eine unregelmäßige Punktwolke der Geländeoberfläche, ein sogenanntes Oberflächenmodell (Abb. 2). Im LVerMGeo wird dafür das Programm MatchT verwendet.

Im Rahmen der neu entwickelten Technologie wird mit MatchT zunächst ein Digitales Oberflächenmodell mit 1m-Gitterweite (DOM1) berechnet. Eingesetzt werden diese Daten partiell aber nur da, wo Veränderungen in der Natur ermittelt werden. Die Deduktion (Erkennen der „Fortführungskandidaten“) erfolgt interaktiv durch den Operator am photogrammetrischen Arbeitsplatz (Abb. 3). Mögliche Kandidaten sind Baumaßnahmen an Verkehrs- und Gewässertrassen, Baugebiete, oberirdischer Bergbau und bekannte Senkungsgebiete.

Am Beispiel eines Brückenbauwerkes im Verlauf der neuen ICE-Trasse im Süden von Sachsen-Anhalt soll im Folgenden der Ablauf erläutert werden (Abbildungen 4, 5 und 6). In Abb. 4 Bild 1 ist der Ausgangszustand dargestellt. Die neue Trasse ist im DOP20 sichtbar, das „alte“ DGM1 ist

als Höhenlinienbild symbolisiert. Im Bild 2 (neu berechnetes DOM1 durch Höhenlinien präsentiert) ist zu erkennen, dass neben Bodenpunkten auch natürliche (Vegetation) und künstliche (Gebäude, Autos etc.) Objekte in der Punktwolke enthalten sind. Diese Objekte können in automatischen Prozessen herausgefiltert werden (Bild 3). Bestimmte Objekte z.B. Brücken verlangen ggf. interaktive Nacharbeit. Hier werden im Stereomodell mit Bruchkanten die Übergänge zwischen Gelände und Bauwerk fixiert und die Nichtbodenpunkte entfernt (Bild 4-8). Abschließend werden die fortgeführten Anteile in das DGM1 eingerechnet (Bild 9).

Die Fortführung des DGM1 erfolgt im Nachgang zur DOP-Auswertung und – praktischerweise – auch im Kachelsystem der Orthophotos (2x2km). Bereits ausgewertet wurde der Bildflug 2012 und 50% des Bildfluges 2013. Somit liegen ca. $\frac{3}{4}$ der Landesfläche aktualisiert vor.

4. Bereitstellung

Alle Produkte der Geotopographie im Rasterformat werden im LVerMGeo zentral auf



Abb. 4 Interaktionen bei der Fortführung des DGM am Beispiel eines Brückenbauwerkes

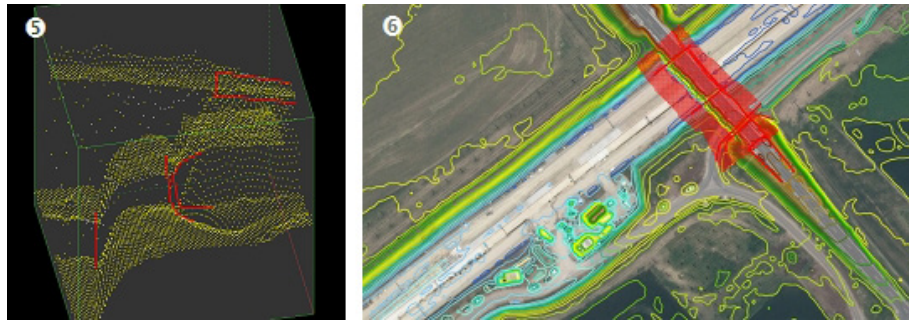


Abb. 5 Interaktionen bei der Fortführung des DGM am Beispiel eines Brückenbauwerkes

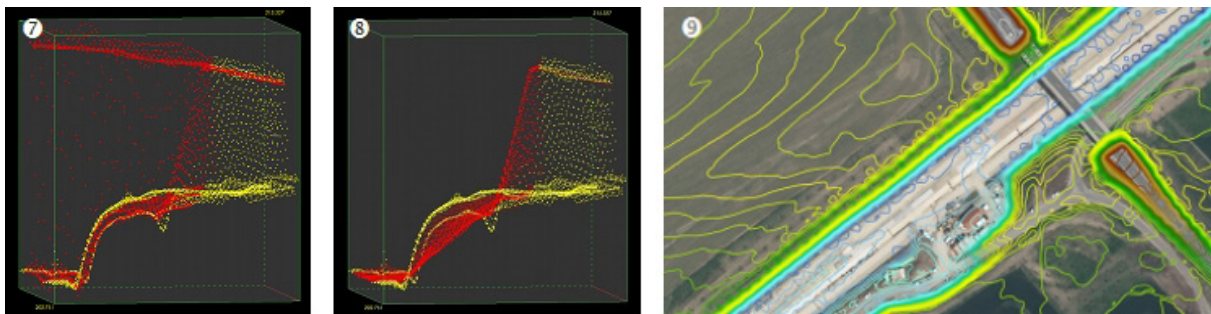


Abb. 6 Interaktionen bei der Fortführung des DGM am Beispiel eines Brückenbauwerkes

einem Rasterdatenserver geführt und für die Abgabe dort bereitgestellt. Neben den Rasterdaten der Digitalen Topographischen Karten (DTK10 bis DTK100) und der Landesluftbildsammlung (DOP20 u.a.) gehören seit 2012 auch die Daten des Digitalen Geländemodells dazu.

Wie auch für die vorgenannten Produkte werden beim DGM1 Zeitreihen gespeichert. Mit dem Stand 2009 ist das bis 2012 qualifizierte DGM1 als Ausgangszustand abgelegt. Die mit den 2012er und 2013er Bildflug jeweils fortgeführten DGM-Kacheln sind in den Layern für diese beiden Jahre einzeln abrufbar. Schlussendlich werden alle Fortführungsergebnisse im „Layer aktuell“ subsumiert. Flächendeckend liegen jetzt DGM1 mit Stand 2009 und 2013 vor. Es ist geplant im Sechsjahreszyklus DGM1 komplett abzuspeichern (2009, dann 2015, 2021 usw.), für die Jahre dazwischen die jeweils fortgeführten Kacheln und das aktuelle DGM1 landesweit als „Layer aktuell“. Für die Beratung der Nutzer wurden die Fortführungslayer auf dem Rasterdatenserver „eingefärbt“. Positive Geländehöhenunterschiede werden in Rottönen, negative in Blautönen dargestellt.

Transparent bleiben die Werte ohne Fortführung. In der Abbildung 7 ist das Beispiel der ICE-Trasse zu sehen (DOP20-Kachel als Hintergrund).

DGM-Daten können über die Vertriebswege des LVerGeo erworben werden. Die Gebühren berechnen sich nach der Kostenverordnung für das amtliche Vermessungs- und Geoinformationswesen (VermKostVO). Für Behörden der Landesverwaltung und der Kommunen wird nur der Bereitstellungsaufwand in Höhe von 20 v.H. berechnet. Bei Bezug über ein Geoleistungspaket reduzieren sich die Gebühren nochmals um 20%.

Digitale Geländemodelle ab einer Auflösung von 100 Metern (DGM100) gelten als OpenData und werden kostenfrei abgegeben.

5. Genauigkeitsbetrachtungen

Im AdV-Produktstandard wird insbesondere die geforderte Höhengenaugigkeit der Gitterpunkte der DGM festgelegt. Dabei wird unterschieden in

- (1) flach bis wenig geneigtes, offenes Gelände und
- (2) stark geneigtes Gelände mit dichter Ve-

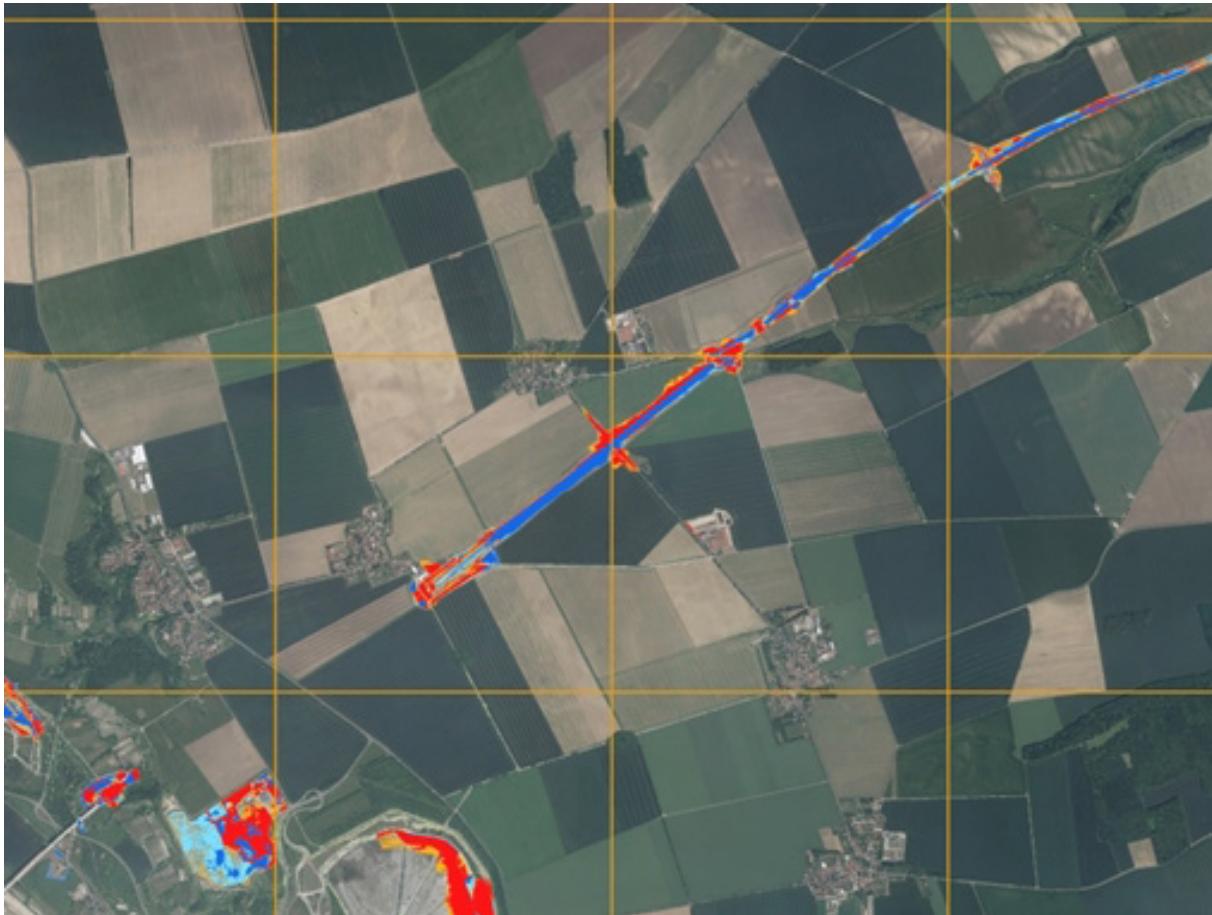


Abb. 7 Darstellung des Fortführungslayers

getation.

Die Formeln zur Berechnung der Höhengenaugkeit lauten:

$\pm 10 \text{ cm} + 5\%$ der Gitterweite für (1) und
 $\pm 10 \text{ cm} + 20\%$ der Gitterweite für (2).

Für das DGM1 sind somit im flachen Gelände Höhengenaugkeiten von $\pm 15 \text{ cm}$ und im stark geneigtem Gelände bis zu $\pm 30 \text{ cm}$ maßgebend. Mit einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 95% liegen die Höhenpunkte in einer DGM1-Kachel in diesen Bereichen. Es muss beachtet werden, dass sich hierbei auf die absolute Höhengenaugkeit bezogen wird. Die relative Höhengenaugkeit (Beziehung benachbarter Punkte) ist als wesentlich höher einzuschätzen.

Wie bereits unter 1.) erläutert, wurde das Ergebnis der Laserscanbefliegung anhand von Kontrollflächen bezüglich der Höhengenaugkeit untersucht und im Sinne der Vorgaben der AdV abgenommen. Um belastbare Aussagen für die mittels

Matchingverfahren fortgeführten Gebiete zu erlangen, wurden 2013 in 15 Untersuchungsgebieten Messungen – unabhängig von den 2009 bestimmten Referenz- und Kontrollflächen – durchgeführt. Die Messpunkte wurden so gewählt, dass die o. g. Geländetypen beurteilt werden können. Als Messverfahren kam wie 2008/2009 eine satellitengestützte Höhenbestimmung (GNSS-Empfänger) unter Nutzung des Dienstes SAPOS®-HEPS zum Einsatz. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass das Verfahren selbst eine Höhengenaugkeit von ± 2 bis 6 cm ermöglicht.

Wie zu erwarten war, konnte das Ergebnis für die Laserscandaten bestätigt werden. Die Werte lagen deutlich unter den Vorgaben der AdV. Aber auch für die Matchingdaten kann bis auf wenige Ausreißer festgehalten werden, dass die Qualitätsparameter eingehalten werden.

Um diese Genauigkeit zu erreichen, wurde

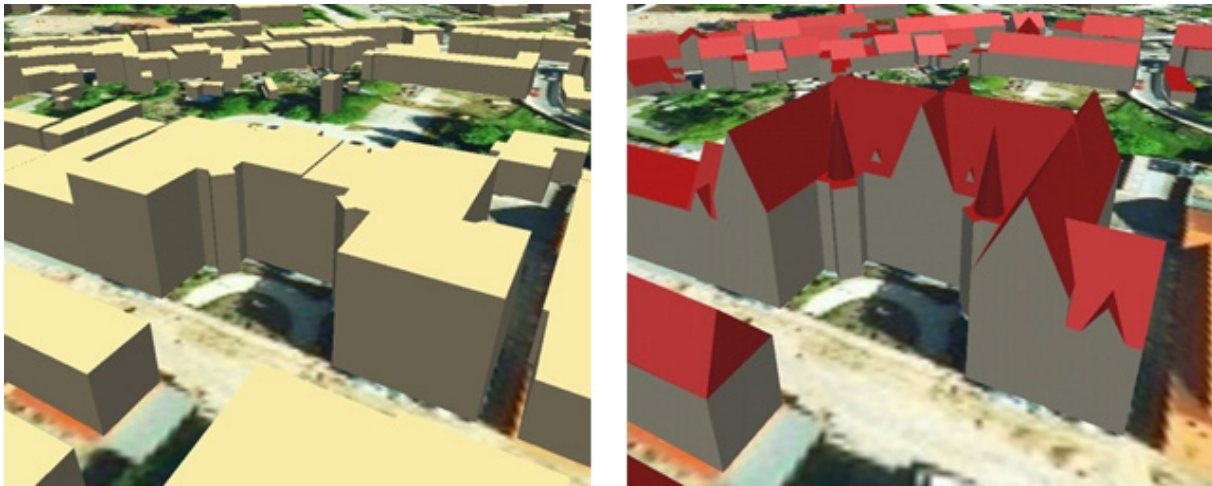


Abb. 8 3D-Gebäudemodell im Detaillierungsgrad LoD1 und LoD2



Abb. 9 Neuableitung der Reliefelemente der Topographischen Karten

in der Fortführungsstrategie ein entscheidender Schritt eingebaut. Die partiell fortgeführten Flächen sind stringent auf die in der Realwelt geänderten Geländebereiche begrenzt. Für diese Bereiche erfolgt eine logische und nachbarschaftstreue Einbindung in das umschließende (aus Laserscandaten abgeleitete) DGM1. Dabei wird eine lokale Korrektur berücksichtigt und eingerechnet. Im Ergebnis sind die neuen DGM1-Daten „harmonisch“ in die nicht fortgeführten Daten des DGM1 eingebunden.

6. Fazit und Ausblick

Die Anwendungsmöglichkeiten der nun landesweit vorliegenden Laserscandaten und des daraus abgeleiteten DGM1 sind sehr vielschichtig. Im Rahmen des Kolloquiums „Nutzung von Laserscanhöhendaten für angewandte Umwelt- und geowissenschaftliche

Fragen in Sachsen-Anhalt“ am 27. Februar 2014 wurde das deutlich vermittelt.

Auch im LVerGeo konnten auf dieser Grundlage diverse Projekte angeschoben und z.T. schon umgesetzt werden. So wurde landesweit ein 3D-Gebäudemodell im Detaillierungsgrad (engl.: level of detail) LoD1 produziert und für die Umsetzung der EU-Umgebungslärmrichtlinie (RL 2002/49/EG) bereitgestellt. Das Folgeprojekt – die Ableitung eines 3D-Gebäudemodells nach LoD2 – hat begonnen (Abb. 8).

Ein weiteres Projekt hat jetzt historische Ausmaße. Nach fast 60 Jahren werden ab 2014 die Reliefelemente der Topographischen Karten auf der Grundlage des DGM1 neu ermittelt und sukzessive erneuert. Insbesondere betrifft das die Höhenlinien, Höhenpunkte und Böschungen. Entsprechende Datenbestände wurden bereits generiert

und werden nun bei der Neuauflage der einzelnen Topographischen Karten verwendet (Abb. 9).

Implizit gewinnen fast alle im LVerGeo erzeugten Produkte der Geotopographie, da die Wertschöpfungskette mit der Auswertung von Luftbildern beginnt. Die Qualität der Digitalen Orthophotos ist im hohen Maß von dem für die Entzerrung eingesetzten DGM abhängig. Mit dem hochgenauen DGM1 steht jetzt dafür eine exzellente Grundlage zur Verfügung.

Es ist festzustellen, dass bei der Erfassung, Speicherung, Fortführung und Nutzung von Reliefinformationen ein Paradigmenwechsel stattgefunden hat. Bis in die 1990er Jahre hinein stellten die Topographischen Karten (TK) das alleinige Medium dafür dar. Heute übernehmen Digitale Geländemodelle – in Sachsen-Anhalt das DGM1 – diese Rolle. „Eine“ Anwendung ist die Ableitung von Höhenlinien und anderen Reliefelementen der Topographischen Karten.

7. Literatur

- VON WNUCK, A. & PATZSCHKE, S. (2010): Aufbau eines hochauflösenden Digitalen Geländemodells in Sachsen-Anhalt. Zeitschrift für das öffentliche Vermessungswesen des Landes Sachsen-Anhalt (LSA VERM), 16. Jahrgang, Heft 1, Seite 35-48
- KOUKAL, T. (2013): Abbildung aus dem Vortrag „Oberflächenmodelle aus Luftbildern – Eine Alternative?“ Tagung „Laserscanning - wo stehen wir?“, Wien, 30.04.2013

Nutzung digitaler Geländemodelle (DGM) aus Laserscandaten in der kreisfreien Stadt Dessau-Roßlau

GRIT TANNERT

Stadt Dessau-Roßlau, Amt für Stadtentwicklung, Denkmalpflege und Geodienste, Zerbster Straße 4, 06844 Dessau-Roßlau, E-Mail: Grit.Tannert@dessau-rosslau.de

Mit dem Hochwasser 2002 ist in Dessau-Roßlau der Hochwasserschutz in den Fokus gerückt und der Bedarf an großflächigen hochauflösenden Höheninformationen entstanden. Zunächst konnten DGM-Laserscandaten entlang der Elbe und der Mulde genutzt werden. Seit 2011 verfügt die Stadt Dessau-Roßlau gebietsdeckend über einen weit über das Stadtgebiet hinausreichenden Ausschnitt aus dem DGM1 des Landes Sachsen-Anhalt.

Hauptanwendungsfall des DGM ist der Bereich Hochwasserschutz. Katastrophenschutzstab und Wasserwehren der Stadt Dessau-Roßlau nutzen für ihre Arbeit das städtische Deichkartenwerk. Dieses Kartenwerk stellt u.a. Deichnamen, Pegel, Deichscharten, Deichkilometrierung zusammen mit einem DGM (vor und hinter den Deichen) dar. Während des Hochwassers 2013 wurde außerdem der Katastrophenschutzstab durch detaillierte Geländeinformationen in den brisanten Gebieten, insbesondere im Bereich eines Deichbruches, unterstützt. Der Deichbruch, dessen genaue Lage im Wald zunächst nicht eindeutig ermittelbar war, wurde zudem rechnerisch simuliert. Hierbei kam man dann aber - u.a. aufgrund der langen Rechenzeiten - an die Grenzen dessen, was eine Gemeinde im Katastrophenfall leisten kann.

Das DGM spielt zudem eine wichtige Rolle beim Grundwasser- und Oberflächenwassermanagement. Durch Verschneidung des DGM mit Hydroisohypsen (Grundwassergleichen) konnten großräumig Grundwasserflurabstände für einen definierten Zeitpunkt ermittelt werden. Für eine Stauanlage im Bereich der Vorfluter wurden außerdem die gefluteten Be-

reiche bei maximaler Einstauung bestimmt.

Doch nicht nur im Zusammenhang mit Wasser ist das DGM eine wichtige Arbeitsgrundlage. So wurden bei der Überprüfung der DGM-Daten Auffälligkeiten entdeckt, die sich als (überwiegend bereits bekannte) Bodendenkmale herausstellten. In Jahren mit starker Mückenpopulation stellt sich auch immer die Frage, ob und wie eine Mückenbekämpfung erfolgen könnte. Mittels DGM konnten in einer stark vereinfachten Simulation die Bereiche in den Überschwemmungsgebieten ermittelt werden, die nach einem Hochwasser als wassergefüllte Senken zurückbleiben und entsprechende Mückenbiotope darstellen. Für die Lärmkartierung, die die Stadt Dessau-Roßlau entsprechend EU-Umgebungslärmrichtlinie (RL 2002/49/EG) im Jahr 2012 durchführte, war das DGM (in diesem Fall bereitgestellt vom LVerGeo Sachsen-Anhalt) ebenfalls eine Datengrundlage.

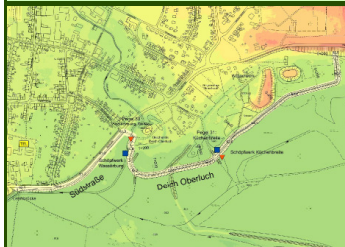
Zusammenfassend lässt sich sagen: Die Stadt Dessau-Roßlau nutzt das aus Laserscandaten erzeugte DGM für viele Aufgaben. Das der Stadt Dessau-Roßlau 2011 kostenfrei zur Verfügung gestellte und vorrangig genutzte DGM (© MLU LSA, www.mlu.sachsen-anhalt.de) beinhaltet jedoch nur die Nutzungserlaubnis für „Hochwasserschutz Gewässer 2. Ordnung“. Weitere Anwendungen des DGM in den Bereichen Umwelt, Stadtentwicklung und Stadtplanung, Denkmalpflege sowie Grünflächenplanung wären bei einer Erweiterung der Nutzungserlaubnis denkbar.

Nutzung digitaler Geländemodelle aus Laserscandaten in der kreisfreien Stadt Dessau-Roßlau



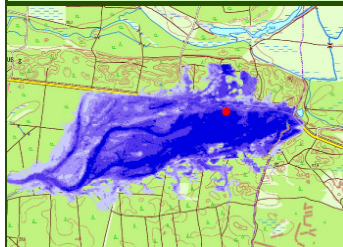
Deichkartenwerk

Höhendarstellung vor und hinter den Deichen zur Nutzung durch Wasserwehren und Katastrophenschutzstab



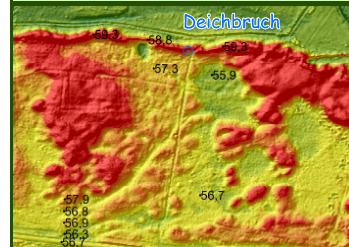
Deichbruchszenarien - Juni 2013

Berechnung des Deichbruchs während des Hochwassers 2013
--> Rechenzeiten sind problematisch



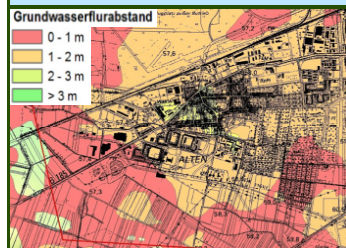
Geländedarstellung - Juni 2013

Darstellung des Geländes für aktuelle Fragestellungen während des Hochwassers 2013



Grundwasser

Erstellung von Plänen des Grundwasserflurabstands durch Verschneidung eines DGM mit Hydroisohypsen eines definierten Zeitpunktes



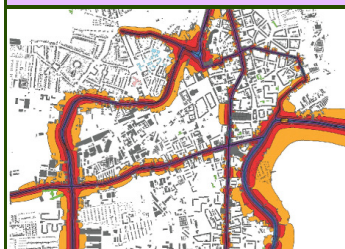
Oberflächenwasser

Darstellung der gefluteten Bereiche im Gelände bei maximalem Stauziel der Anlage am Neuen Teich, Ortsteil Mosigkau



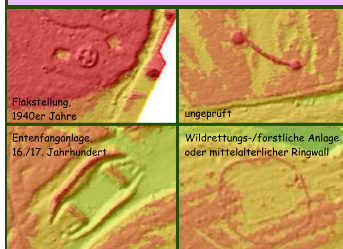
Lärm

Erstellung der Lärmkarten entsprechend Umgebungslärm-Richtlinie mittels 3D-Stadtmodell, Straßendaten und DGM



Bodendenkmale

Überprüfung von Auffälligkeiten im Rahmen der Kontrolle der DGM-Daten



Mücken

Ermittlung der nach Hochwasser zurückbleibenden wassergefüllten Senken als Vorüberlegung für eine Mückenbekämpfung



Posterbeitrag zum Kolloquium

Nutzung von Laserscandaten für angewandte Umwelt- und geowissenschaftliche Fragen in Sachsen-Anhalt

Halle (Saale), 27.02.2014

Stadt Dessau-Roßlau, Vermessungsamt, PF 1425, 06813 Dessau-Roßlau

Landschaftsarchäologie im Osthaz anhand von Laserscan-Daten

ANNA SWIEDER

Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt (LDA) /
Landesmuseum für Vorgeschichte Halle, Richard-Wagner-Straße 9, D-06114 Halle (Saale),
E-Mail: aswieder@lda.mk.sachsen-anhalt.de

Schlüsselwörter: Harz, Laserscanning, Digitales Geländemodell, Landschaftsarchäologie, Bergbau, Siedlungsgeschichte
Keywords: Harz, laser scanning, digital terrain model, landscape archaeology, mining, settlement history

Zusammenfassung

In den Waldgebieten des Osthazes befinden sich zahlreiche archäologische Strukturen, die bisher nur zu einem geringen Teil bekannt und erfasst sind. Aufgrund der enormen Anzahl und des dichten Bewuchses stoßen hier die „klassische“ Prospektion oder auch die Luftbildarchäologie an ihre Grenzen. Mittels Laserscanning können diese Denkmäler nun präzise und effektiv dokumentiert werden, um ein Konzept zu deren Erhaltung und Schutz zu erarbeiten.

Abstract

In the large forests of the eastern Harz Mountains thousands of archaeological structures lie hidden under woodland canopies – many of them hitherto unknown and undocumented. Because of their enormous number and the forest vegetation, “conventional” surveys as well as aerial archaeology and/or geophysical prospection quickly reach their limits. Laser scanning can be used as a tool for a highly precise and effective documentation of these sites and monuments, and to develop a protection programme for them.

1. Einleitung

In den großflächigen Waldgebieten des östlichen Harzes verbergen sich tausende – zumeist unbekannte – archäologische Strukturen (Abb. 1–2). Aufgrund ihrer enorm großen Anzahl ist eine „klassische“ Vor-Ort-Dokumentation nur schwer möglich. Wegen der teilweise sehr dichten Vegetation haben zum Beispiel auch die Luftbildarchäologie oder die geophysikalische Prospektion nur sehr begrenzte Aussagekraft. Mittels Light Detektion and Ranging (LiDAR) lässt sich ein Digitales Geländemodell (DGM) generieren, das zur höchst präzisen und effektiven

Dokumentation archäologisch und historisch relevanter Fundstellen herangezogen werden kann. Diese unter dem Bewuchs versteckten Fundorte umfassen unter anderem Erdwerke und Burgwälle, Landwehren, Altwege, Wüstungen, Altäcker, Bergbaurelikte, Holzkohlemeiler und Grabhügel, die in ihrer Gesamtheit eine komplexe Kulturlandschaft formen. Einige von ihnen werden im Folgenden kurz beschrieben.

2. Erdwerke und Burgwälle

Während des 10./11. Jh. wurden im Ober- und Mittelharz die ersten Burgen errichtet. Auch wenn Schriftquellen die Existenz von Burgen und Pfalzen im Harz und seinem Vorland bezeugen, sind Aussagen zu deren genauer Lage, Grundriss, Befestigungsweise und Innenbebauung nur unzureichend zu treffen (Abb. 3–4; KÜNTZEL 2005; STOLBERG 1968). Das DGM zeigt detaillierte Strukturen und bietet so unter anderem die Möglichkeit, bisher unbekannte Gegenschanzen auf gegenüberliegenden Anhöhen zu dokumentieren oder mittels Sichtfeldanalyse zu untersuchen, welche Bereiche und Wege von einer Burg aus eingesehen werden konnten (HÖFLE & WAGENER 2012).

3. Landwehren

Lineare Wall-Graben-Systeme stehen oft in enger Beziehung zu Erdwerken, Burgen sowie Ortschaften oder Bergbauarealen. Sie wurden aus anfallendem Erdreich, ohne Hinzuzie-

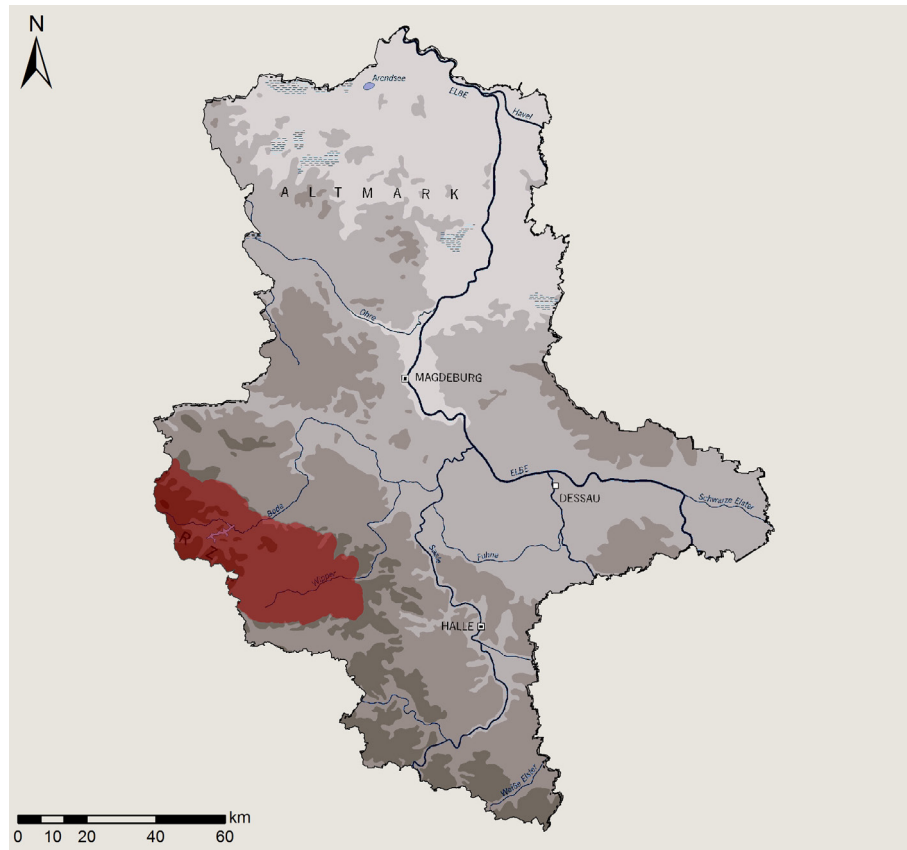


Abb. 1 Lage des Arbeitsgebietes im Westen Sachsen-Anhalts (Kartengrundlage: N. SEELÄNDER, LDA).

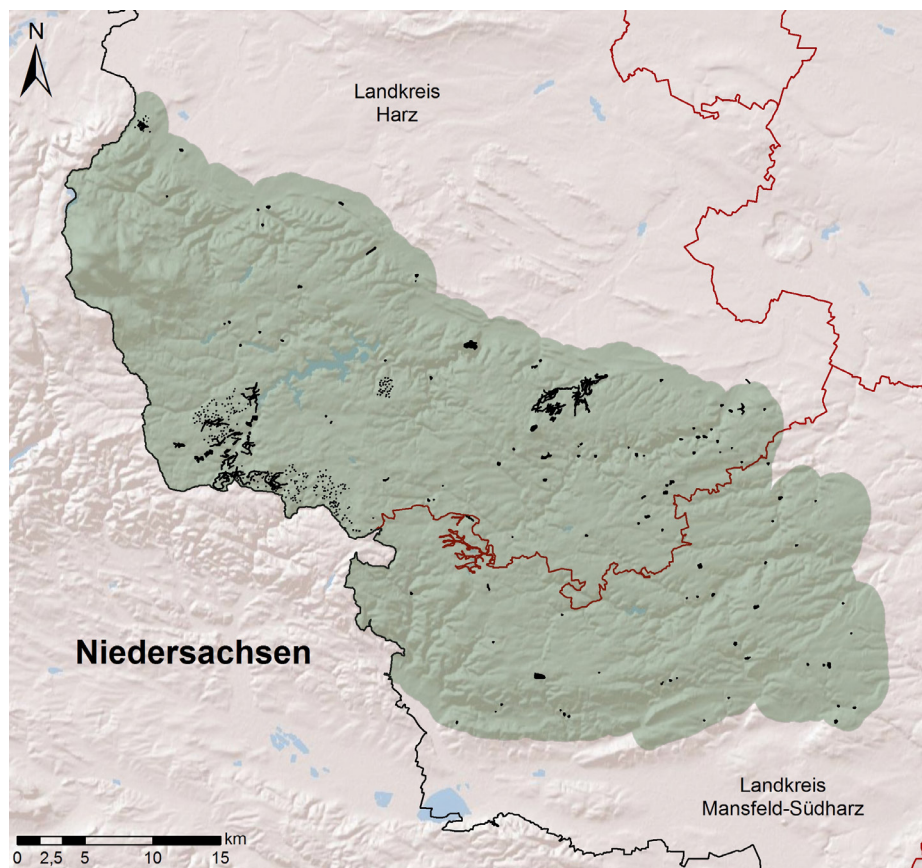


Abb. 2 Der östliche Harz mit den bisher digitalisierten Fundstellen (erstellt in Esri ArcMap 9.3).



Abb. 3 Kernburg der Heinrichsburg bei Mägdesprung, die sich bis heute sehr gut im Gelände erhalten hat (Foto: A. SWIEDER).



Abb. 4 DGM der Heinrichsburg mit Kern- und Vorburg, befestigt durch Wälle und Gräben (© GeoBasis-DE / LVermGeo LSA, 2013, 6014585/14)

hung weiteren Befestigungsmaterials errichtet und heben sich relativ geradlinig im Gelände ab. Mittelalterliche Landwehren wurden zudem häufig mit Dornengebüsch oder ineinander geknickten Sträuchern versehen sowie mit Durchlassstellen und teilweise mit festen Warttürmen ausgestattet (Abb. 5–6). Landwehren konnten verschiedene Funktionen erfüllen, wie die Abgrenzung von Herrschaftsterritorien, die Markierung von Dorf- oder Stadtgrenzen und die Regulierung des Verkehrs (BUTZ 2001).

4. Hohlwege

In den europäischen Mittelgebirgen wurden mit „konventionellen“ Methoden bisher vor allem kurze Teilstrecken vor- und frühgeschichtlicher Wegeführungen dokumentiert. Das DGM zeigt jedoch, dass sich besonders in Gebirgen wie dem Harz zahlreiche Reste von Hohlwegen noch heute im Gelände – vor allem in den Hangbereichen – erhalten haben (Abb. 7–8). Diese sind hauptsächlich durch eine intensive Nutzung seit dem späten Mittelalter entstanden, vermehrt und vertieft worden (DENECKE 2007). Furten und Brücken sollte – aufgrund ihrer Funktion als Knotenpunkte bzw. Engpässe des Verkehrs – besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

5. Wüstungen

Ortschaften entstanden oft entlang von Fernverkehrsrouten bzw. Wegekreuzungen. Im Osthaz sind wüst gefallene Dörfer von bis zu 750 m Längenausdehnung bekannt (Abb. 9–10). Kleinere Siedlungen in dieser Region scheinen direkt mit dem Abbau und der Verarbeitung von Erzen in Verbindung gestanden zu haben. Bergbausiedlungen waren in hohem Maße von der Ergiebigkeit der Erzgruben abhängig; zudem von Konjunkturen und Kriegen, die nicht selten zum Erliegen der Hütten- und Abbautätigkeiten führten. Während des Spätmittelalters fielen bis zu 70 % der Ortschaften des Osthazes wüst (KÜNTZEL 2005; SCHÖNERMARK 1897).

6. Altäcker

Ackerbau war im Ober- und Mittelharz aufgrund der ungünstigen Boden- und Klimaverhältnisse nur in begrenztem Maße möglich. Die einzig ertragreicheren Getreidearten waren Hafer und Roggen. Viehzucht und Holzwirtschaft waren jedoch von weit größerer Bedeutung (KÜNTZEL 2005). Nichtsdestotrotz haben sich an verschiedenen Orten Relikte alter Felder erhalten (Abb. 11–12). In vielen Fällen sind dies Überreste mittelalterlicher Wölbäcker, die durch die Bearbeitung des Bodens mit einem Wendepflug von den Feldrändern zur Feldmitte hin entstanden sind (MÜLLER-WILLE 1973; SITTNER et al. 2005).

7. Bergbaurelikte

Verhüttungsplätze für (Eisen-)Erze befanden sich im 8./9. Jh. vor allem am Harzrand bzw. im Vorland. Im Verlauf des 9. Jh. fand eine Verlagerung in das Innere des Gebirges mit seinen noch intakten Buchenmischwäldern statt (UDOLPH & KLAPPAUF 1999). Zeugen dieser spätestens seit der Karolingerzeit (751–911) blühenden Bergbauregion sind bis heute in verschiedenster Ausprägung in den Wäldern erhalten (ALPER 2008). Dabei handelt es sich um Wasserstaubecken, -dämme und -gräben (teilweise zum “Oberharzer Wasserregal” gehörig, das vor Kurzem zum UNESCO-Welterbe erklärt wurde) sowie unzählige Pinggen und Halden (Abb. 13–14), die sich häufig perlenkettenartig entlang der ausstreichenden Erzadern aneinanderreihen.

8. Meiler

Bei der Verhüttung der abgebauten Erze diente Holzkohle als Energielieferant. Diese wurde von Köhlern in Meilern hergestellt. Im Gelände haben sich die Reste dieser Meiler als kreisrunde, flache Wälle erhalten (Abb. 15–16). Die Ringe der oftmals in ebenem Gelände befindlichen Meiler bestehen aus sogenannter Stübbe (Grassoden und Holzkohlereste). Die Mächtigkeit dieser Ringe lässt Aussagen über die Dauer bzw. Häufigkeit der Verkohlungs auf der betreffenden



Abb. 5 Landwehr mit zwei bastionsartigen Strukturen bei Stiege im DGM (© GeoBasis-DE / LVermGeo LSA, 2013, 6014585/14).



Abb. 6 Im Gelände gut erhaltener Graben der Landwehr bei Stiege (Foto: A. SWIEDER).

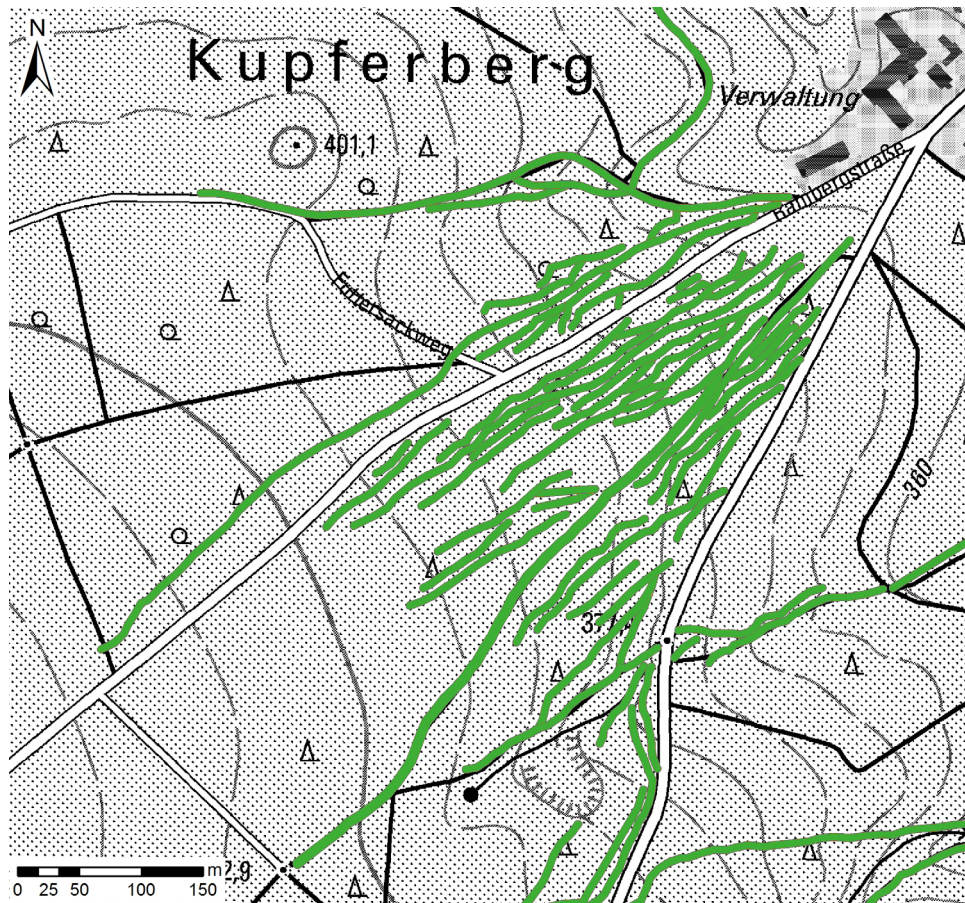


Abb. 7 Einzel digitalisierte Hohlen eines Wegebündels bei Gernode, dargestellt auf der Topographischen Karte 1:10.000 (© GeoBasis-DE / LVermGeo LSA, 2013, 010213; modifiziert).

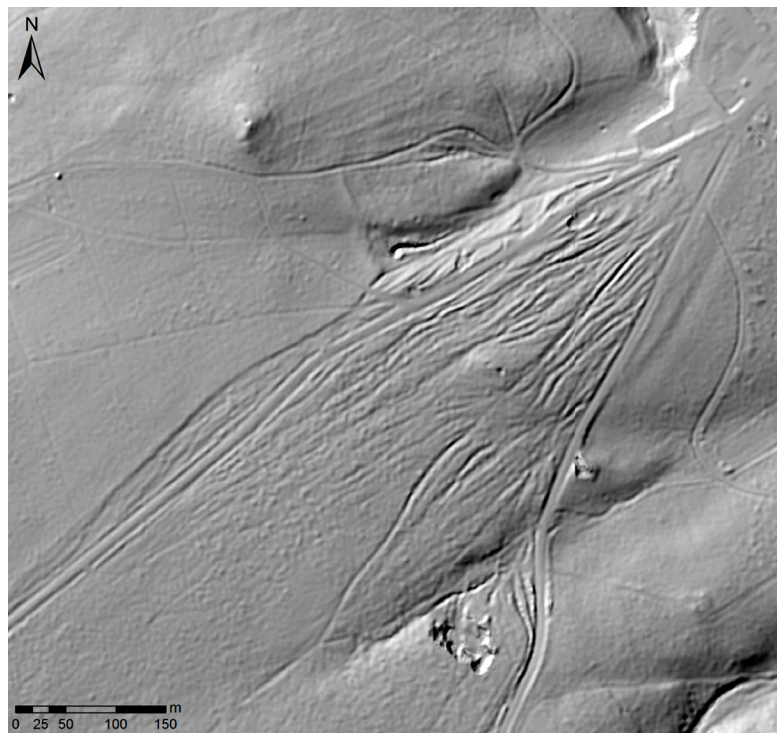


Abb. 8 DGM der Region südlich von Gernode mit einem breiten Hohlwegebündel (© GeoBasis-DE/ LVermGeo LSA, 2013, 6014585/14).

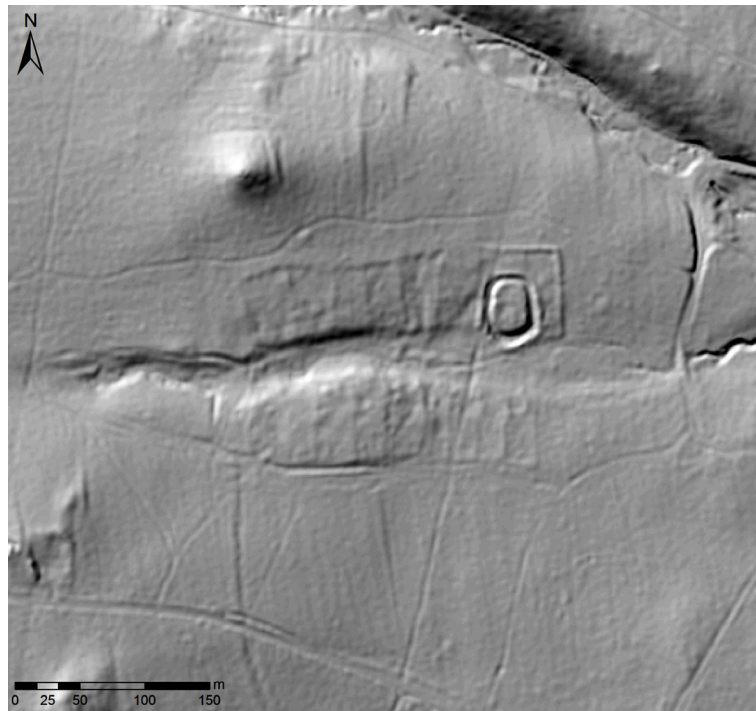


Abb. 9 Wüstung Baurod bei Schielo mit separaten Hofstellen und einer befestigten Anlage im Inneren (© GeoBasis-DE / LVerGeo LSA, 2013, 6014585/14).



Abb. 10 Fund eines Aquamaniles (Handwaschgefäß) von der Wüstung Baurod, das wie diese in das 12.–14. Jh. datiert (Foto: LDA).

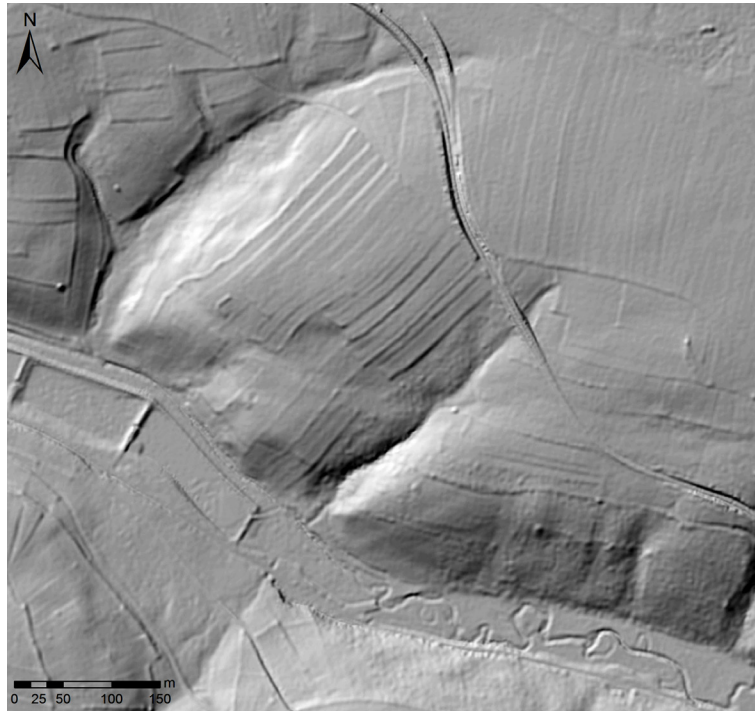


Abb. 11 DGM des Gebietes um Benneckenstein, das durch ein System von Altäckern geprägt ist (© GeoBasis-DE / LVermGeo LSA, 2013, 6014585/14).



Abb. 12 Luftbild der Altäcker bei Benneckenstein (Foto: R. SCHWARZ, LDA).



Abb. 13 Pinge in Hanglage bei Gernrode, die sich bis heute erhalten hat, aber durch Erosion gefährdet ist (Foto: G. ALPER, LDA).

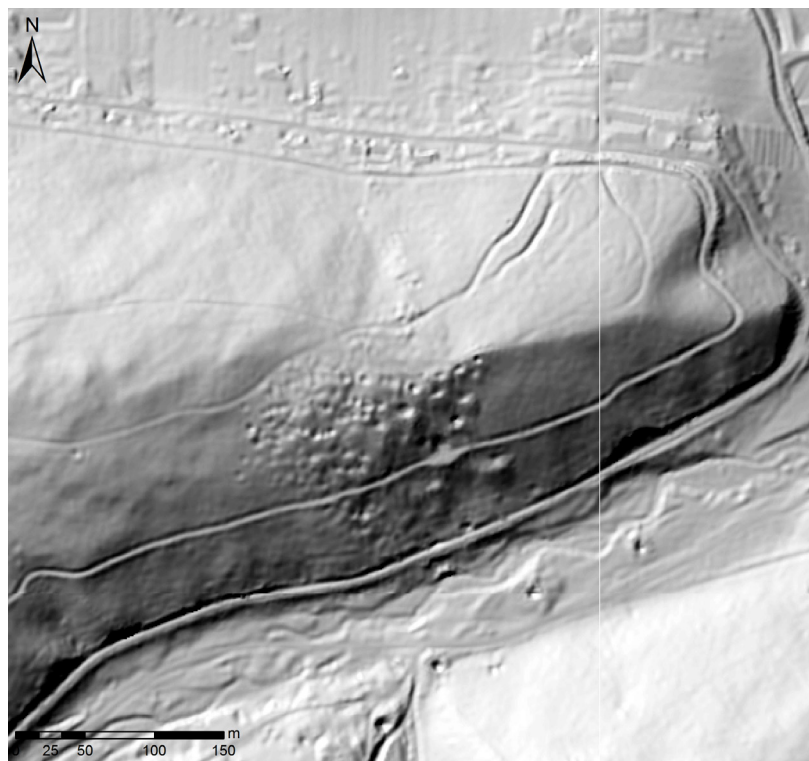


Abb. 14 Kleines Pingenfeld auf der Wilhelmshöhe bei Gernrode im DGM (© GeoBasis-DE / LVermGeo LSA, 2013, 6014585/14).

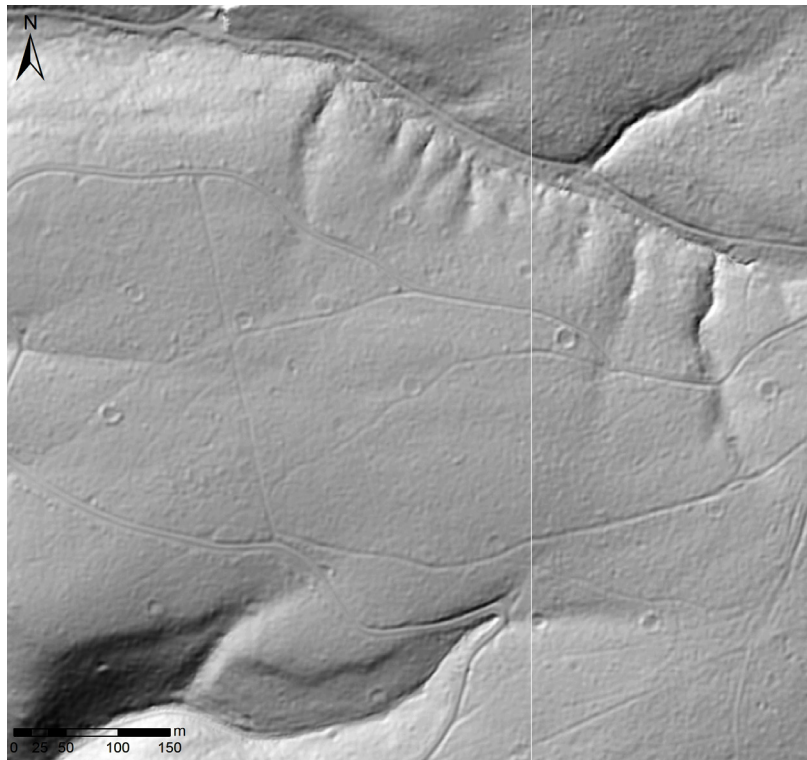


Abb. 15 Meiler bei Stiege, deutlich sichtbar im DGM, aber im Gelände von Vegetation überprägt (© GeoBasis-DE / LVermGeo LSA, 2013, 6014585/14).



Abb. 16 Köhler bei der Arbeit an einem Platzmeiler im Harz. Foto um 1900 (nach HERMANN-REDDERSEN-Stiftung 2008, 5).

Stelle zu. Typisch für den Harz scheinen vor allem sehr große Meiler mit einem äußeren Ringdurchmesser von bis zu 26 m zu sein, die wohl hauptsächlich aus der Zeit des Massenbedarfs an Holzkohle im 18./19. Jh. stammen (HEUSER-HILDEBRANDT 2002; HERMANN-REDDERSEN-Stiftung 2008).

9. Fazit und Ausblick

Die beschriebenen archäologischen Denkmäler, die sich im Harz erhalten haben, bilden in ihrer Gesamtheit eine komplexe Kulturlandschaft. In Verbindung mit der Auswertung des DGM – die erst am Anfang steht – sollen künftig auch Satellitenbilder, Luftbilder, die Ergebnisse geophysikalischer Messungen, archäologischer Prospektionen und Ausgrabungen sowie schriftliche und kartographische Quellen hinzugezogen werden. So wird es erstmals möglich sein, die verschiedenen wirtschafts- und siedlungsgeschichtlichen Prozesse sowie die räumlichen Beziehungen von Siedlungen, Bergbau etc. zueinander detailliert zu rekonstruieren. Da durch den zunehmenden Einsatz von Harvestern (Holzvollerntemaschinen) in der Forstwirtschaft archäologische Fundstellen immer stärker bedroht und zum Teil bereits unwiederbringlich zerstört sind (SIPPEL 2012), kann durch die Aufnahme, Analyse und Interpretation der Denkmäler des Harzes ein wichtiger Beitrag zu deren Erhaltung und Schutz geleistet werden.

10. Danksagung

Ich danke H. Meller, der mir die Möglichkeit gibt, dieses Thema zu bearbeiten, R. Schwarz für die inhaltliche Hilfe und T. Richter für die technische Unterstützung. Dem Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt (LVermGeo) danke ich für die Bereitstellung der DGM-Daten.

11. Literatur

ALPER, G. (2008): The Eastern Harz Mountains during the Middle Ages – the Impact of Mining and Metal Production. In: BARTELS,

CH. & KÜPPER-EICHAS, C. (eds.): Cultural Heritage and Landscapes in Europe. Landschaften: Kulturelles Erbe in Europa. Proc. Internat. Conf., Bochum, June 8–10, 2007. Veröff. Dt. Bergbau-Mus. Bochum 161, 467–488, Selbstverlag Deutsches Bergbaumuseum, Bochum.

BUTZ, R. (2001): Landwehren – wenig beachtete Kulturlandschaftsrelikte. In: KNAUSS, J. (ed.): Anthropogene Formenelemente in der Landschaft. Ein Auswahlband. Mensch – Wirtschaft – Kulturlandschaft. Mitt. Geogr., Landes- u. Volkskde. 5, 47–68, Selbstverlag Agrar- und Freilichtmuseum Schloss Blankenhain, Crimmitschau.

DENECKE, D. (2007): Wege und Wegenetz. In: RGA XXXV, 626–648.

HEUSER-HILDEBRANDT, B. (2002): Untersuchungen zur Kulturlandschaftsentwicklung anhand von Holzkohlenspektren historischer Meilerplätze. Archiv Hess. Gesch. u. Altkde. N.F. 60, 307–332.

HÖFLE, B. & WAGENER, O. (2012): Burgen in der Landschaft – Inszenierung und Entzifferung anhand neuer Methoden. In: WAGENER, O. (ed.): Symbole der Macht? Aspekte mittelalterlicher und frühneuzeitlicher Architektur, 123–152, Peter Lang Verlag, Frankfurt am Main.

HERMANN-REDDERSEN-Stiftung (ed.) (2008): Die Kunst der schwarzen Gesellen. Köhlerrei im Harz. 349 S., Papierflieger Verlag, Clausthal-Zellerfeld.

KÜNTZEL, Th. (2005): Eine wüstgefallene Bergstadt auf dem Kohlberg bei Güntersberge? Harz-Zeitschr. 57, 35–62.

MÜLLER-WILLE, M. (1973): Acker- und Flurformen. In: RGA I, 42–50.

SCHÖNERMARK, O. (1897): Die Wüstungen des Harzgebirges. Nachdruck des Originals von 1897. 58 S., Salzwasser Verlag, Paderborn 2012.

SIPPEL, K. (2012): Archäologische Stätten im Wald – erkennen, inventarisieren, erforschen, schützen. Archäologen und Förster arbeiten in Hessen an einer gemeinsamen Verpflichtung. In: SCHALLMAYER, E.

(ed.): Neustart. Hessische Landesarchäologie 2001–2011. Konzeption – Themen – Perspektiven. Hessen Arch. Sonderbd. 2, 42–51, Konrad Theiss Verlag, Stuttgart.

SITTLER, B., SIWE, R. & GÜTLINGER, M. (2005): Airborne Laser Scanning as a New Remote Sensing Tool for Assessing Historic Landscapes. Generation of a Digital Elevation Model of Ridge and Furrow Fossilized under a Forest near Rastatt (Germany). In: BOURGEOIS, J. & MEGANCK, M. (eds.): Aerial Photography and Archaeology 2003. A Century of Information. Papers presented during the Conference held at the Ghent University, December 10th–12th, 2003. Archaeological Reports Ghent University 4, 213–219, Academia Press, Ghent.

STOLBERG, F. (1968): Befestigungsanlagen im und am Harz von der Frühgeschichte bis zur Neuzeit. Ein Handbuch. Forsch. u. Quellen Gesch. Harzgebiet 9. 484 S., August Lax Verlagsbuchhandlung, Hildesheim.

UDOLPH, J. & KLAPPAUF, L. (1999): Harz. In: RGA XIV, 22–26.

Der Eichberg bei Memleben, Burgenlandkreis: Erkenntnisse zur mehrtausendjährigen Nutzungsgeschichte auf der Grundlage einer archäologischen Ausgrabung, archäologischer Feldbegehungen und eines Laserscans

MECHTHILD KLAMM

Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt, Richard-Wagner-Straße 9, 06114 Halle (Saale)

Schlüsselwörter: Grabhügel Neolithikum/Bronzezeit, Digitales Geländemodell, Landschaftsarchäologie

Keywords: burial mound neolithic/bronze age, digital terrain model, landscape archaeology

Zusammenfassung

Im Zusammenhang mit der Ausgrabung eines stein-/bronzezeitlichen Grabhügels, der durch Raubgrabungen beschädigt worden war, wurden die anthropogenen Geländestrukturen auf dem Eichberg bei Memleben, Burgenlandkreis, im Rahmen archäologischer Feldbegehungen und durch Analyse eines LIDAR-Laserscans erfasst. Festgestellt wurden weitere Grabhügel, Hohlwege, Meilerplätze, Steinbrüche, Grenzwälle und Ackerterrassen. Die anthropogenen Geländereликte geben Hinweise zur Landschafts- und Nutzungsgeschichte des Eichberges seit dem Neolithikum.

Abstract

Anthropogenic landscape structures were recorded by archaeological field surveys and analysis of the LIDAR-Laserscan during the rescue excavation of a Neolithic to Bronze Age burial mound on the Eichberg hill near Memleben, Burgenlandkreis, which had

been damaged by illegal excavation. This led to the discovery of further burial mounds, hollow ways, remains of charcoal kilns, quarries, boundary banks and terraces of arable fields. These anthropogenic landscape markers illustrate the landscape history and particularly anthropogenic land use of the Eichberg since Neolithic times.

1. Einleitung

Im Jahr 2005 wurde ein zuvor durch Raubgrabungen beschädigter Grabhügel am Eichberg bei Memleben, Burgenlandkreis (Abb. 1, 2), nahe der Fundstelle der Himmelscheibe gelegen, archäologisch untersucht. In diesem Zusammenhang wurden zahlreiche Geländebegehungen durchgeführt, durch die die über Jahrtausende währende Nutzungsgeschichte des Eichberges



Abb.1 Ausschnitt aus der TK 25, 2747 Bad Bibra, aufgen. 1852 (Archiv Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie (LDA))



Abb. 2 Der Grabhügel vor Beginn der Ausgrabung 2005 (M. KLAMM, LDA)

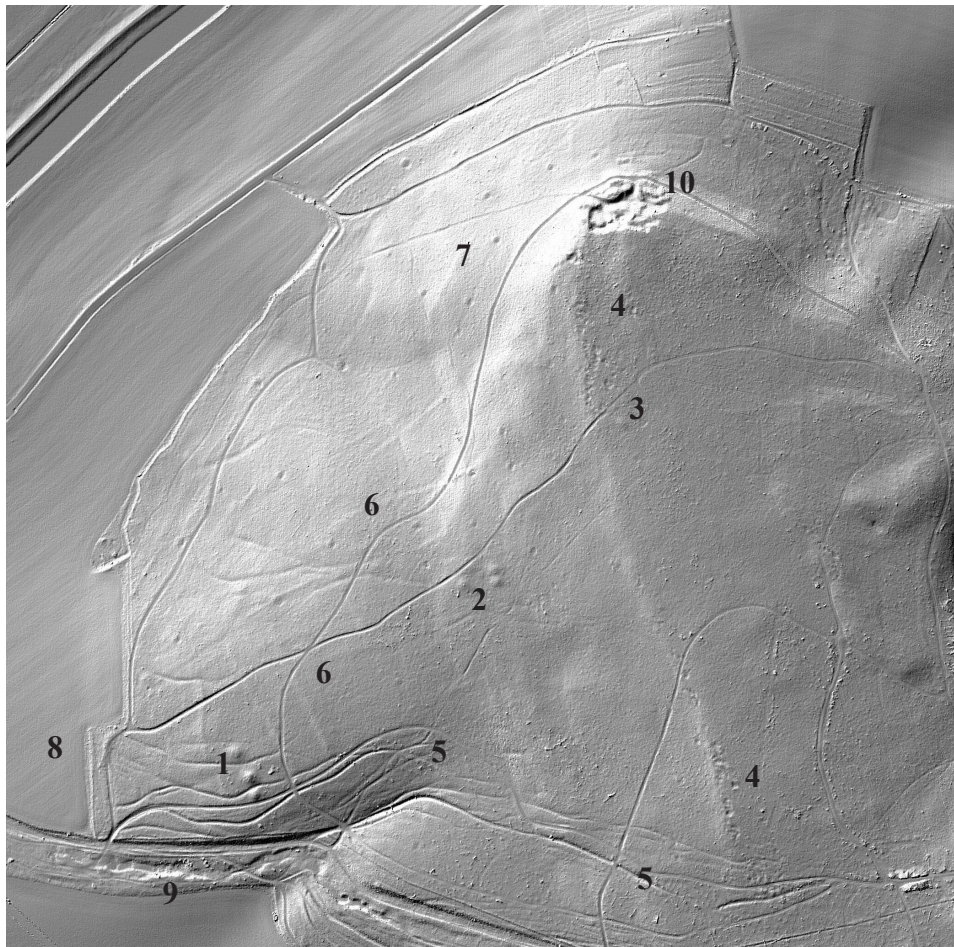


Abb. 3 Ausschnitt des Bereichs Memleben-Eichberg aus dem LIDAR-Laserscan. Die Nummern bezeichnen die Lage der im Text erklärten Geländestrukturen (Fa. Toposys GmbH)

rekonstruiert werden konnte. Viele dieser alten Nutzungsstrukturen sind noch als Geländemale erhalten und auf einem 2006 angefertigten Light Detection and Ranging-/LIDAR-Laserscan (Fa. Toposys GmbH) zu erkennen.

Die Umgebung von Memleben an der Unstrut stellt ein altes Siedlungsgebiet dar, das bereits seit der Steinzeit bewohnt und bewirtschaftet wird. Die Geschichte des mittelalterlichen Klosters Memleben ist weithin bekannt.

Die Talflanken entlang der Unstrut steigen zunächst flach, dann zu den Höhenrücken des Ziegelrodaer Forstes, des Forstes Eichberg Memleben und der Hohen Schrecke steil an und bilden ein nach Nordwesten offenes, lang gestrecktes Siedlungsareal, in dessen Mitte die Unstrut mit zum Teil sumpfbartigen Flussaufweitungen liegt. Die heutige Vegetationsverbreitung dürfte im wesentlichen so auch bereits in vorgeschichtlicher Zeit bestanden haben: während die flussnahen Bereiche mit

dem fruchtbaren Löß/Schwemmlöß/Auelehm ackerbaulich genutzt werden und hier auch die Siedlungen lagen, sind die steileren Hänge und die Plateaus der Buntsandsteinhöhen, die eine nur geringe Auflage an fruchtbarem Boden besitzen, bewaldet. Die Acker-, Weide- und Waldflächen waren in früheren Zeiten nicht so deutlich wie heute voneinander getrennt, sondern gingen fließend ineinander über.

In den heutigen Waldgebieten liegen vorgeschichtliche Grabhügel und Grabhügelfelder, so im Wohlmirstedter und im Ziegelrodaer Forst sowie im Wald bei Memleben und bei Bucha. Auffällig ist die Lage vieler Grabhügel: Oftmals liegen die Hügel auf halber Höhe der Hänge. Auf dem Eichberg-Plateau selbst konnten bis auf einen möglichen Standort keine Hügel belegt werden.

2. Festgestellte Nutzungsstrukturen

Die bei den Untersuchungen und der Auswertung des Laserscans (Abb. 3), angefertigt



Abb. 4 Ausgrabungssituation des Grabhügels. Deutlich erkennbar sind die Profilstege sowie die Steine des Zentralgrabes. Bei der dunklen Schicht im hinteren Grabungsprofil handelt es sich um die Reste eines mittelalterlichen/neuzeitlichen Holzkohlemeilers (O. SCHRÖDER, LDA)

2006, festgestellten Nutzungsstrukturen sollen im Folgenden erläutert werden:

1. Im Westbereich des Memleber Forstes liegen drei Grabhügel hintereinander in einer nord-süd-orientierten Reihe, und zwischen den Hügeln befand sich jeweils, noch als schwache Eintiefung erkennbar, ein alter Hohlweg. Der südliche Hügel wurde im Jahr 2005 archäologisch untersucht. Für die Ausgrabung wurde der Hügel in vier Segmente eingeteilt, die durch Erdstege voneinander getrennt waren. Auf diese Weise kann man das Hügelinnere ausgraben und gleichzeitig durchgehende Profilquerschnitte durch den Hügel erhalten (Abb. 4). Zum Schluss der Ausgrabung wurden auch die Profilstege abgetragen, um die Bestattungen im Hügelinneren vollständig erfassen zu können. Das Hügelinnere enthielt ein Grabensemble der ausgehenden Steinzeit (Schnurkeramik, etwa 2800–2050 v. Chr.) (Abb. 5). Auf eine ca. 2 x 2 m umfassende Trockenmauer aus dem dortigen Buntsandstein war ehemals ein hölzernes Dach aufgesetzt. Eine solche Grabform nennt man Mauerkammergrab. Beim frühbronzezeitlichen Grabhügel in Leubingen in Thüringen, der bereits im

19. Jh. untersucht worden war, haben sich sogar hölzerne Reste der dortigen dachartigen Grabkonstruktion erhalten. Dies war in Memleben nicht der Fall, aber wir können uns vorstellen, dass das etwas ältere Mauerkammergrab aus Memleben der Leubinger Konstruktion entsprochen hat. Die in der Mauerkammer erhaltenen Menschenknochen lagen verstreut ohne anatomischen Zusammenhang. Als Grabbeigaben haben sich ein Steilbeil, Klingen aus Feuerstein sowie Teile eines tönernen Gefäßes erhalten. Unmittelbar an die Mauerkammer angrenzend lag eine so genannte Steinkiste, deren Seiten aus vier senkrecht gestellten Steinplatten aus Buntsandstein bestanden. Die Kiste war ehemals entweder mit waagrecht darüber gelegten Steinplatten oder einer waagerechten Holzkonstruktion abgedeckt. In der Steinkiste war eine Person bestattet, und zwar in Hocklage auf der rechten Seite liegend, mit dem Kopf nach Süden und Blick nach Osten.

Über 1000 Jahre hat das mit einem kleinen Erdhügel bedeckte, steinzeitliche Grabensemble ungestört im Gelände gelegen, zeitweise anscheinend wieder von Wald bedeckt. In der Jungbronzezeit (etwa 1000 bis 800 v.



Abb. 5 Das steinzeitliche Grabensemble im Kern des bereits abgetragenen Grabhügels (O. SCHRÖDER, LDA)



Abb. 6 Ausgrabung des bronzezeitlichen Zentralgrabes (M. KLAMM, LDA)

Chr.) wurde der Bestattungsplatz wiederum zur Anlage von Grabstätten genutzt. Über die Gründe können wir derzeit nur spekulieren, auch wenn dieses Phänomen in Mitteleuropa häufig zu beobachten ist. Bestand vielleicht die Absicht einer späteren Legitimation von regionaler Herkunft oder von Besitzrechten durch die Wiederaufnahme alter Bestattungsplätze? Jedenfalls wurde der Hügel zunächst weiter aufgehöhht, und in der Hügelmitte – genau über der spätneolithischen Mauerkammer – wurde ein Zentralgrab angelegt (Abb. 6). Der darin bestattete Tote war für das Jenseits mit einem Messer, einer Nadel und einer keramischen Beigabe versehen. Um dieses Grab herum wurden weitere Tote in dem Hügel beerdigt. Ganz zum Schluss scheint man in der Hügelkuppe noch Urnen eingegraben zu haben, die Reste verbrannter Toter erhielten, doch sind davon aufgrund der späteren Verflachung des Hügelgels nur wenige Leichenbrandreste erhalten geblieben. Ein mittelalterlicher/neuzeitlicher Meilerplatz, der an der östlichen Hügelseite angelegt worden war, hat wahrscheinlich zur Abflachung des Hügelgels beigetragen.

Die im Gelände sichtbare Rekonstruktion zeigt eine Hügelgestaltung der bronzezeitlichen Belegungsphase, bevor der Hügel noch weiter aufgehöhht wurde. Für die Rekonstruktion hat man die originalen Steine der neolithischen und bronzezeitlichen Bestattungen verwendet, die bei der Untersuchung des Hü-

gelgels zum Vorschein kamen.

Der für die Ausgrabung vorgenommene Holzeinschlag im Bereich des untersuchten und der angrenzenden Grabhügel wird als Freifläche belassen, um den Besuchern einen Eindruck davon zu geben, wie das Areal um die Grabhügel in vorgeschichtlicher Zeit ausgesehen haben mag.

2. Nordnordöstlich der unter 1. erwähnten Grabhügelgruppe befinden sich weitere drei oder vier Hügel. Sie weisen Grabespuren auf, sind jedoch nicht weiter archäologisch untersucht. Die Grabhügel dürften wohl ebenfalls im Neolithikum bzw. der Bronzezeit genutzt worden sein. Es wird angenommen, dass der Eichberg damals nicht bewaldet war, sondern ackerbaulich oder als Wiese/Weide genutzt wurde. Die Grabhügel dürften somit weithin zu sehen gewesen sein. Möglicherweise markierten die Grabhügel die Grenze zwischen intensiv genutztem Wirtschaftsland und den anschließenden extensiv genutzten Bereichen, die als baumbeständenes Brachland z. B. dem Holzeinschlag dienten bzw. auch beweidet wurden. Die damaligen Bewohner, die im Bereich der heutigen Ortslage Memleben lebten, konnten also auf die Begräbnisstätten ihrer Vorfahren blicken. In dem Zeitraum zwischen dem Ende der Bronzezeit und dem Mittelalter, wahrscheinlich in der Eisenzeit oder im Frühmittelalter, setzte die Wiederbewaldung des Eichberges ein.



Abb. 7 Bergbauliche Tätigkeiten nach Georg Agricola 1556 (Wikimedia commons)

3. Am westlichen Rand des Eichberg-Plateaus liegt eine flache Erhebung, bei der es sich um einen weiteren vorgeschichtlichen Grabhügel handeln könnte. Er dürfte ebenfalls stein- bzw. bronzezeitliches Alter aufweisen.

4. Am Rand der Kuppe des Eichberges liegen auf einer Länge von etwa 700 Metern dicht beieinander zahlreiche Eintiefungen, die als leichte Einsenkungen noch deutlich im Gelände zu erkennen sind. Hier wurde das oberflächennah anstehende harte Gestein (der kalkhaltige Rogenstein) abgebaut, der von guter Qualität ist. Die zurückbleibenden Ein-

tiefungen nennt man Pinggen. Das Alter dieser Pinggen ist derzeit noch unbekannt. Die Technik der oberflächennahen Gesteinsgewinnung wurde von vorgeschichtlicher Zeit bis in die frühe Neuzeit ausgeübt und ist bei GEORG AGRICOLA 1556 bildlich dargestellt (Abb. 7). Es ist durchaus möglich, dass ein Teil der für die Grabeinbauten des Grabhügels gewonnenen Steine hier gebrochen wurde.

5. Hohlwege unterschiedlicher Altersstellung durchziehen den Eichberg. Die jüngeren, teils noch genutzten besitzen scharfe Konturen, die älteren sind als schwache Linien erkennbar. Die Hohlwege am unteren Bild-



Abb. 8 Mehrere Meter in den Löß eingetiefter Hohlweg bei der Burgwallanlage Altenburg, Großwangen, Burgenlandkreis (M. KLAMM, LDA)

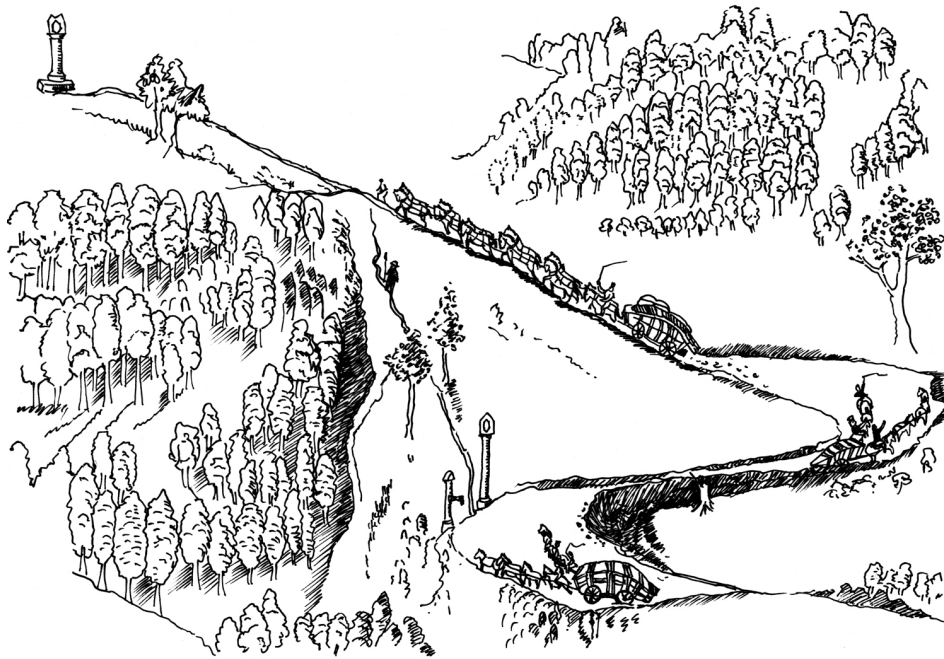


Abb. 9 Reiseverkehr im 17. Jh. zum Kloster Ettal in den Alpen. Hangaufwärts führende Wege wurden im Laufe der Zeit durch abfließendes Regenwasser ausgespült (nach SCHELLE 2000, Umzeichnung B. PARSCHE, LDA)

rand des Laserscans stellten früher teilweise Triftwege auf die Orlaswiese dar, die weiter östlich auf dem Plateau des Memleber Forstes lag und noch im 19. Jh. beweidet wurde. Frühe Wegeverbindungen führten von Memleben über den Eichberg in Richtung der mittelalterlichen Burgwallanlage Wangen (Abb. 8) und auch in Richtung Bucha (Abb. 9). Die mit dem Gefälle verlaufenden Wege sowie deren lange andauernde Nutzung führten zur Ausspülung der Wege und so zur Eintiefung in die Geländeoberfläche, wo sie sich als Hohlformen heute noch deutlich abzeichnen. Auch die heute noch genutzten Wege schneiden tief in den Untergrund ein. Die Hohlwege liegen heute teils unter Wald, teils im Buschland südlich des Waldes. Das genaue Alter der Wege ist unbekannt, die meisten dürften ein frühneuzeitliches Alter aufweisen. Es ist aber anzunehmen, dass sie mittelalterliche, evtl. noch ältere Wegeführungen aufgreifen. Zum Teil fächern sich die Wege im Hangbereich auf. Es sind dann mehrere, nebeneinander liegende Hohlwege, so genannte Hohlwegbündel, zu erkennen. Deutlich ist deren muldenförmiges Profil. Die geringe Breite mancher Wege legt die Vermutung nahe, dass

sie nicht von Fuhrwerken, sondern als Fuß- oder Reitwege genutzt wurden oder als Wege für das Vieh dienten, das zur Weide auf die Orlaswiese den Berg hinaufgetrieben wurde.

6. Schwach erkennbare lineare Strukturen stellen Reste von Ackerterrassen unbekannter Zeitstellung dar, vielleicht sogar aus vorgeschichtlicher Zeit stammend (Abb. 10). Die Ackerterrassen sind dadurch entstanden, dass beim Pflügen der Felder Bodenmaterial verschoben und hangabwärts am Fuß des Ackers abgelagert wurde. Der zeitliche Kontext der unter 1. beschriebenen Grabhügelgruppe und der westlich und östlich der Grabhügel liegenden Ackerterrassen ist noch nicht abschließend geklärt. Möglicherweise sind die Ackerterrassen älter als die Grabhügel. Der dunkle, humose Boden des Neolithikums, der sich unter dem untersuchten Grabhügel erhalten hat, belegt das damalige Offenland bzw. die ackerbauliche Nutzung. Möglicherweise sind die Grabhügel damals auf Ackerland errichtet worden. Derartiges kennt man von Grabhügeln aus Norddeutschland oder Dänemark.



Abb. 10 Feldbearbeitung im Mittelalter (Ribe Viking Center, Dänemark) (M. KLAMM, LDA)

7. Punktuelle Strukturen stellen Reste frühneuzeitlicher Holzkohlemeiler, ca. 16./17./18. Jh. dar. Damals war der Berg bewaldet und wurde für die Holzkohleherstellung wahrscheinlich weitgehend abgeholzt. Im Mittelalter und in der frühen Neuzeit bestand ein hoher Bedarf an Holzkohle, auch bedingt durch die bergbaulichen Tätigkeiten des Kupferschieferbergbaues im Mansfelder Land. Daher begann man die Wälder zur Holzkohlegewinnung zu nutzen, die man in Holzkohlemeilern herstellte (Abb. 11). Es wurde ein Plateau geschaffen, auf dem die Holzscheite aufgeschichtet, mit Erde bedeckt

und angezündet wurden (HILLEBRECHT 1982) (Abb. 12). Die Luftzufuhr war gering und wurde durch die Köhler ständig kontrolliert, so dass der Holzstapel nicht verbrannte, sondern langsam verkohlte. Die Holzkohle hat einen hohen Energiewert und wurde überall dort benötigt, wo hohe Brenntemperaturen erreicht werden sollten. Holzkohlemeiler mit Stapelholz wurden überwiegend in der frühen Neuzeit angelegt. Durch die Holzkohlegewinnung wurden die Wälder stark gelichtet. Im Zusammenhang mit der beginnenden Forstwirtschaft im 18. Jh. wurden die Wälder wieder aufgeforstet,

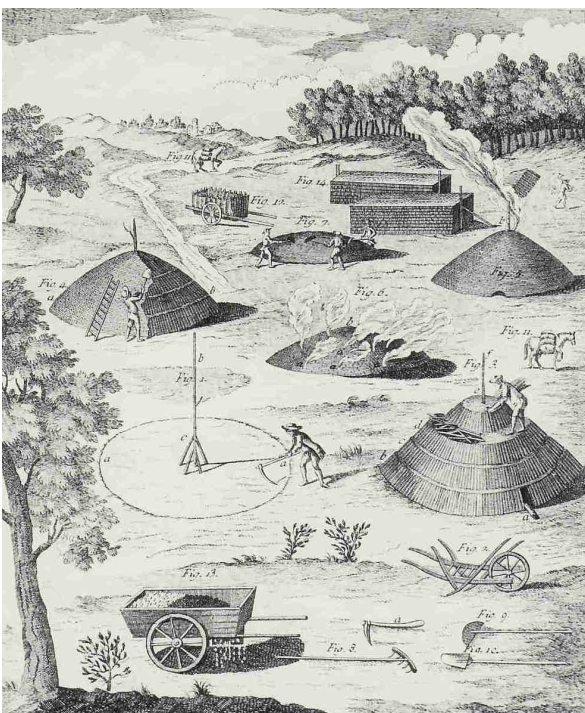


Abb. 11 Holzköhlerei nach DUHAMEL DU MONCEAU, 17. Jh. (Wikimedia commons)



Abb. 12 Mittelalterlicher/neuzeitlicher Holzkohlemeiler im Randbereich des untersuchten Grabhügels. Deutlich erkennbar ist die schwarze Holzkohleschicht, die den Untergrund des Meilerplatzes bildet (M. KLAMM, LDA)

um dem damals drohenden Holzmangel begegnen zu können.

8. Neuzeitliches Wallsystem zur Feld-Wald-Abgrenzung. Die Wälle wurden im Zuge der Forstbewirtschaftung zum Schutz der neu aufgeforsteten Wälder angelegt. An der Grenze zwischen Feld und Wald liegt ein schwach erkennbarer, vielleicht 50 cm hoher Wall. Im 18./19. Jh. wurden viele Wälder von einem Grenzwall mit vorgelagertem Graben umgeben, um die Besitz- und Nutzungsverhältnisse deutlicher zu kennzeichnen. Dies diente auch einem besseren Schutz der stark aufgelichteten Wälder bzw. der Aufforstungen. Denn die Wälder wurden früher in vielfältiger Weise genutzt (Waldweide, Gewinnung von Bau- und Brennholz, Holzkohle, Reisig sowie Laubheu), und junge Schösslinge hatten wegen der Beweidung keine Chance zum Auf-

wachsen. Der Beginn der forstwirtschaftlichen Pflege der Wälder im 18. Jh. legte den Grundstein für deren Regenerierung. Der Erholung der Wälder kam auch der Umstand zugute, dass seit dem 19. Jh. die Industrie zunehmend auf fossile Energieträger (zunächst vor allem Stein- und Braunkohle) zurückgriff und der Bedarf an Holzkohle dadurch stark zurückging. Der Grenzwall schneidet die Hohlwege von und nach Memleben ab, die zu diesem Zeitpunkt bereits aufgegeben waren. Im Wald haben sich die Hohlwegrelikte als Oberflächenformen erhalten, während sie im anschließenden Acker durch das Pflügen unkenntlich geworden sind.

9. Temporär Wasser führende Erosionsrinne, erkennbar am unteren Bildrand des Laserscans. Der Graben ist zumeist trocken, doch bei heftigen, kurzzeitigen Starkregen,



Abb. 13 Zugewachsener Steinbruch des 20. Jh. am Nordrand des Eichberges (M. KLAMM, LDA)

so wie sie im mitteldeutschen Trockengebiet durchaus üblich sind, kann es passieren, dass das Oberflächenwasser in der Rinne abläuft, deren Eintiefungsspuren deutlich auf dem Laserscan zu erkennen sind.

10. Neuzeitlicher Steinbruch, auf Karten des 20. Jh. verzeichnet (Abb. 13). Die Gegend um Wangen und Memleben bis nach Nebra ist durch die Gesteine des unteren und mittleren Buntsandsteins geprägt, die die älteste Formation des Erdmittelalters, der Trias (etwa 252 bis 200 Millionen Jahre alt) bilden. Im Unstruttal zwischen Memleben, Wangen und Nebra wurde der Sandstein beidseitig des Flusses bis in das frühe 20. Jh. in großem Umfang abgebaut und weithin gehandelt. Der Transport erfolgte auch auf dem Wasser. Auch in dem kleinen Steinbruch am Eichberg wurden Gesteine des unteren Buntsandsteins abgebaut, wohl noch bis in die erste Hälfte des 20. Jh. Da die Wegführung aus dem Steinbruch hangabwärts in Richtung Memleben noch erkennbar ist, ist es gut möglich, dass sich in diesem Steinbruch vorrangig die Bewohner des Ortes mit dem benötigten Gestein versorgt haben.

Die archäologischen Geländestrukturen sind im Rahmen eines kleinen Wanderweges erschlossen, vor Ort ausgeschildert und in einem Faltblatt (Geo-Naturpark Saale-Unstrut-Triasland (2012/2013) sowie in einem kleinen Beitrag im Saale-Unstrut-Jahrbuch (KLAMM 2009) beschrieben.

3. Literatur

AGRICOLA, G. (1556/2006), *De Re Metallica Libri XII* (Basel 1556, Unveränderter Nachdruck der Ausgabe 1928, Wiesbaden 2006).
 Geo-Naturpark Saale-Unstrut-Triasland (Hrsg.) (2012/2013), *Archäologisch-historischer Wanderweg Memleben* (Naumburg 2012, Nachdruck 2013).
 HILLENBRECHT, M.-L. (1982): *Die Relikte der Holzkohlewirtschaft als Indikatoren für Waldnutzung und Waldentwicklung – Untersuchungen an Beispielen aus Südniedersachsen*. Göttinger Geographische Abhandlungen, 79, Göttingen.

KLAMM, M. (2009): *Der archäologisch-historische Wanderweg am Eichberg bei Memleben im Burgenlandkreis*. Saale-Unstrut-Jahrbuch, 14. Jg., 151-158.

SCHELLE, H. (2000): *Tagebuch eines Bauernlebens* (Rosenheim 2. Aufl.).

