



GeoRS

Geopedology and Landscape Development
Research Series

VOLUME 08

Erfassung und Bewertung von vorindustriellen Meilerstandorten - Workshop 19. Februar 2019

Thomas Raab, Alexandra Raab & Franz Schopper (Hrsg.)

b-tu

Brandenburg
University of Technology
Cottbus - Senftenberg

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de



Brandenburgische
Technische Universität
Cottbus - Senftenberg



LAND
BRANDENBURG

Brandenburgisches Landesamt
für Denkmalpflege und
Archäologisches Landesmuseum



This series is edited by
Prof. Dr. Thomas Raab

©2019 Chair of Geopedology and Landscape Development
Brandenburg University of Technology Cottbus-Senftenberg
Siemens-Halske-Ring 8
03046 Cottbus
Germany

ISSN 2196 – 4122

DOI <https://doi.org/10.26127/BTUOpen-4817>

www.b-tu.de/fg-geopedologie/

Geopedology and Landscape Development
Research Series
GeoRS
Volume 08

Erfassung und Bewertung von vorindustriellen Meilerstandorten – Workshop 19. Februar 2019

Herausgeber:

Prof. Dr. T. Raab
Lehrstuhl für Geopedologie und Landschaftsentwicklung
Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg

Dr. A. Raab
Lehrstuhl VWL, insbesondere Umweltökonomie
Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg

Prof. Dr. F. Schopper
Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege und Archäologisches
Landesmuseum

Inhalt

Vorwort	II
Programm	IV
Poster	V
Historische Köhlerei und ihre Hinterlassenschaft – Ein Überblick	
T. Raab, A. Raab, F. Hirsch, A. Schneider, A. Bonhage, M. Agthe	1
Verbreitung und Eigenschaften von Meilerböden in Brandenburg	
A. Schneider, F. Hirsch, A. Bonhage, A. Raab, T. Raab	23
Meilerrelikte als Teil der archäologischen Kulturlandschaft im östlichen Harz	
A. Swieder	43
„Eine durchlöchernte Landschaft...“ Lehm- und Mergelgruben im Rheinland. Entstehung, Erkennung, archäologische Bedeutung	
R. Gerlach	71
Automatisierte Erkennung von Wölbäckern mittels DGM am Beispiel Prignitz (Nordwest Brandenburg)	
D. Noack, M. Wulf	99
Holzkohlenmeiler - vergessene Denkmäler?	
S. Codreanu-Windauer	143
Bedeutung und Schutzwürdigkeit „junger“ Bodendenkmäler aus Sicht der Landesarchäologie	
F. Schopper	159

Vorwort

T. Raab, A. Raab, F. Schopper

Während archäologische Funde mehr oder weniger große öffentliche Aufmerksamkeit erfahren, geht der Verlust wertvoller Kulturlandschaften in der Regel schleichend und oft unbemerkt vonstatten. Besonders die unauffälligen Hinterlassenschaften des historischen und prähistorischen Ackerbaus wie etwa Wölbäcker oder Ackerterrassen werden durch intensive Bodenbearbeitung zerstört. Allerdings gibt es auch Relikte einer intensiven Forstnutzung, die bisher kaum beachtet wurden: Besonders im Umfeld historischer Hüttenstandorte wurde im Mittelalter und bis zum Beginn der Industrialisierung Holz in großer Menge für die Köhlerei verbraucht. Die Holzkohle wurde in Meilern hergestellt, deren Reste vor allem aus Montangebieten bekannt sind. Im Norddeutschen Tiefland sind sie bisher kaum beachtet worden. Als Produkt frühgeschichtlicher Gesellschaften sind diese Hinterlassenschaften von Holzkohlemeilern (HKM) auch als Kulturgut und somit Bodendenkmäler einzuordnen, so dass sich in der Praxis die Frage nach dem Umgang mit diesen Kulturlandschaftsrelikten stellt.

In der Niederlausitz wird seit einigen Jahren in Kooperation zwischen BTU und BLDAM im Braunkohletagebau Jänschwalde eines der größten HKM-Areale im Norddeutschen Tiefland nicht nur archäologisch dokumentiert, sondern auch wissenschaftlich erforscht. Mehr als tausend HKM-Relikte sind gegraben und mehrere tausende sind mit Hilfe von hochauflösenden Geländemodellen und indirekter Verfahren prospektiert worden. Dies ist hinsichtlich Anzahl und Fläche eine äußerst beachtliche Dimension, und die Befunde haben in Wissenschaft und Presse reges Interesse erzeugt.

Die Niederlausitz und mit ihr die außergewöhnliche HKM-Landschaft stehen aufgrund der Energiewende vor tiefgreifenden ökonomischen, sozialen und ökologischen Umbrüchen. Die Fortführung des Tagebaus Jänschwalde in den nächsten Jahren wird einen Teil der HKM-Landschaft zerstören. Daneben werden große Flächen dieser HKM-Landschaft in den überwiegend mit Kiefern bestanden Monokulturen der angrenzenden Areale zunächst erhalten bleiben. Aufgrund der Förderung von Mischwäldern und eines damit verbundenen Waldumbaus wird es aber zu weiteren Eingriffen in die Kulturlandschaft kommen. Ebenso ist durch die Förderung der Windenergie ein erhöhter Nutzungs-

druck auf die Forste entstanden, der zunehmend zu Konflikten mit der Bodendenkmalpflege führen wird. Für diese Herausforderung fehlen bisher planerische Grundlagen und innovative Lösungsansätze, die im Rahmen des Vorhabens erarbeitet werden sollen.

An dieser Stelle setzt das von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderte Projekt „Bewahrung von vorindustriellen Meilerstandorten in Brandenburg – Ein Beitrag zur modellhaften Sicherung und nachhaltigen Nutzung einer durch anthropogene Umwelteinflüsse gefährdeten historischen Kulturlandschaft“ an. Ziel des Projekts ist es, vorindustrielle Meilerstandorte im Land Brandenburg möglichst flächenhaft zu erfassen und deren Denkmalwert zu ermitteln, um einen Beitrag zum Schutz dieser bisher kaum beachteten Bestandteile der historischen Kulturlandschaft zu leisten. In der Modellregion Niederlausitz wird ein auf GIS-Methoden basiertes Verfahren entwickelt, mit dessen Hilfe Strategien und Konzepte erarbeitet werden, die auch in anderen Regionen die Bewahrung historischer HKM-Landschaften und anderer vorindustrieller Kulturlandschaftsrelikte erlaubt. Wesentliches Element des Verfahrens ist eine Musteranalyse, mit der das Mosaik an HKM-Standorten und die Bezüge ganzer HKM-Gruppen zu weiteren Kulturrelikten und v. a. auch Hinterlassenschaften der historischen Landnutzung dargestellt werden. So lassen sich Kategorien für die Schutzwürdigkeit einzelner Standorte oder ganzer HKM-Areale ableiten, auf deren Grundlage die Ausweisung von Schutzgebieten erfolgen kann. Aufgrund der Zusammenarbeit von Behörden und einer Universität sowie durch die Einbindung lokaler und regionaler Akteure der unterschiedlichen Fachdisziplinen können hier Nutzungs- und Interessenkonflikte im Schnittbereich von Denkmal-, Natur- und Umweltschutz praxisnah vermieden werden.

Dieser Band umfasst die Vorträge eines Workshops, der im Rahmen des o. g. DBU-Projekts am 19. Februar 2019 an der BTU in Cottbus durchgeführt wurde. Wir danken allen Autorinnen und Autoren für ihre spannenden und interessanten Abhandlungen, die einen wichtigen Beitrag zum Gelingen des Projekts leisten.

Cottbus, März 2019

Dr. Alexandra Raab

Prof. Dr. Thomas Raab

Prof. Dr. Franz Schopper



Programm

Dienstag den 19. Februar 2019

9:30	Registrierung und Kaffee	
10:00	Thomas Raab et al. (BTU)	Historische Köhlerei und ihre Hinterlassenschaft – Ein Überblick
10:30	Anna Schneider et al. (BTU)	Verbreitung und Eigenschaften von Meilerböden in Brandenburg
11:00	Anna Swieder (MLU)	Meilerrelikte als Teil der Kulturlandschaft im östlichen Harz
12:00	Mittagspause	
13:00	Franz Schopper (BLDAM)	Bedeutung und Schutzwürdigkeit „junger“ Bodendenkmäler aus Sicht der Landesarchäologie
13:30	Silvia Codreanu-Windauer (BLfD)	Holzkohlemeiler und Landnutzungsrelikte in Bayern – vergessene Denkmäler?
14:00	Kaffeepause und Postersession	
15:00	Renate Gerlach (LVR)	„Eine durchlöcherterte Landschaft...“ Lehm- und Mergelgruben im Rheinland. Entstehung, Erkennung, archäologische Bedeutung
15:30	Monika Wulf (ZALF)	Automatisierte Erkennung von Wölbäckern mittels DGM am Beispiel Prignitz (Nordwest Brandenburg)
16:00	Abschlussdiskussion	

Poster

Wirtschaften in Feld und Wald „Wald- und Feldflur im archäologischen Fundbild“

Marcus Schneider

Holzkohleherstellung und -nutzung in den Tagebauen der Nördlichen Oberlausitz

Peter Schöneburg & Andrea Renno

Woodland usage and fuel wood ecology: Linking historical information and kiln charcoal analyses in the northern Vosges

Hannes Knapp, Xavier Rochel & Vincent Robin

Kulturhistorische Landschaftselemente im Geländere relief. Visualisierung mit dem DGM1 – aber wie?

Karl-Heinz Gertloff

GIS-gestützte Kartierung und Geländeuntersuchungen von Wölbäckern im Naturpark Dahme-Heideseen

Claudia Trouillier & Olaf Juschus

Von der manuellen Kartierung über Crowdsourcing zum maschinellen Lernen

Ralf Hesse & Wouter B. Verschoof-van der Vaart

Historische Köhlerei und ihre Hinterlassenschaft – Ein Überblick

T. Raab, A. Raab, F. Hirsch, A. Schneider, A. Bonhage, M. Agthe

Einleitung

Im Rahmen von archäologischen Ausgrabungen des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologischen Landesmuseums (BLDAM) wurde seit Anfang der 1990er Jahre im Vorfeld des aktiven Braunkohlentagebaus Jänschwalde (Niederlausitz, Südbrandenburg) eine große Anzahl von Holzkohlemeilerrelikten (HKM) entdeckt (Lipsdorf 2001; Rösler et al. 2012; Rösler 2013a). Inzwischen sind etwa 1300 Grundrisse ehemaliger Rundmeiler (mündl. Mitteilung H. Rösler, Stand: März 2018) dokumentiert und prospektiert (Abb. 1, 2). Damit dürfte es sich hierbei um das größte archäologisch untersuchte HKM-Areal Deutschlands, mit großer Wahrscheinlichkeit sogar Europas, handeln (Rösler 2013a; Raab et al. 2015). Darüber hinaus hat die Auswertung von schattenplastischen Reliefkarten, basierend auf hochauflösenden LiDAR-Daten (light detection and ranging) ergeben, dass HKM im gesamten ehemaligen Königlich Tauerischen Forstrevier zu finden sind (Raab A. et al. 2017). Archivalische Forschungen belegen, dass die hier produzierte Holzkohle größtenteils dem Eisenhüttenwerk in Peitz gedient hat, wo man von 1554 bis 1856 Raseneisenerz verhüttete und Roheisen weiterverarbeitete (Müller 2017).

Die Existenz eines so großen HKM-Feldes im Norddeutschen Tiefland ist bemerkenswert. Bislang war die Herstellung von Holzkohle in großen Mengen vor allem aus den europäischen Mittelgebirgen bekannt. Dort stand die Holzkohleproduktion in Zusammenhang mit der mittelalterlichen bis frühneuzeitlichen Montanwirtschaft (z. B. Zebedies & Marx 1986; Raab 2005; von Kortzfleisch 2008). Dagegen ist über die Köhlerei im Norddeutschen Tiefland wenig bekannt. Erst in jüngerer Zeit finden hier Relikte von Holzkohlemeilern als Zeugen der ehemaligen Waldnutzung zunehmend Beachtung. Nur sehr wenige HKM sind dort auch archäologisch untersucht.

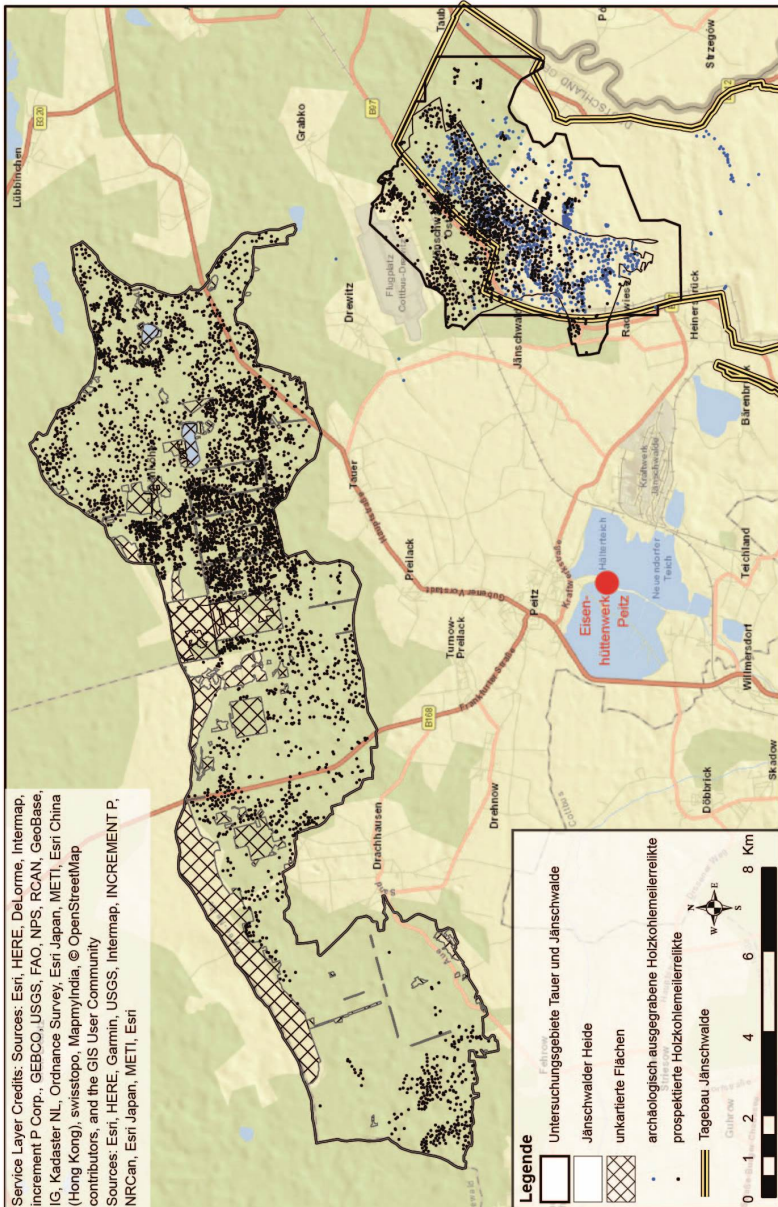


Abbildung 1: Holzkohlemerkmale im ehemaligen Königlich Tauerchen Forstrevier nördlich und östlich des Eisenhüttenwerkes in Peitz (Kartierung Stand 2018).



Abbildung 2: Ausgrabungen im Tagebauvorfeld Jänschwalde, das pro Jahr auf einer Breite von bis zu 5 km durchschnittlich 500 m nach Norden vorrückt: a) Luftaufnahme mit offen gelegten Rundmeilergrundrissen und archäologischen Suchschnitten; b) Luftaufnahme von benachbarten Meilergrundrissen; c) archäologisches Planum eines HKM-Grundrisses; d) mit Holzkohle verfüllter Meilerring, der sich deutlich im hellen Märkischen Sand abzeichnet.

Ein relativ großes Meilerareal im Norddeutschen Tiefland liegt im Serrahn (Müritzer Nationalpark, Mecklenburg-Vorpommern). Mittels Geländebegehungen wurden 1150 HKM kartiert, die gemäß ^{14}C -Analysen überwiegend in das 17. bis 19. Jahrhundert datieren (Stöckmann 2006; Schirren 2007). Ein weiteres Meilerareal im Norddeutschen Tiefland befindet sich im Naturschutzgebiet Eldena bei Greifswald (Mecklenburg-Vorpommern), wo fünf von insgesamt 28 Kohlenmeilerplätze anthrakologisch untersucht wurden (Nelle & Kwasniowski 2001). Eine ^{14}C -Datierung weist darauf hin, dass hier Holzkohle während des Spätmittelalters hergestellt wurde. Aus Schleswig-Holstein sind ältere, römischezeitliche HKM aus dem Raum Joldelund-Goldelund bekannt, die u. a. von Jöns (1997, 2000) untersucht worden sind. Mittelalterliche bis neuzeitliche Meilerplätze aus Schleswig-Holstein werden von Paysen (2009) beschrieben. Darüber hinaus wurden die historische Köhlerei und ihre Verbreitung in vielen Gebieten Europas und im Nordosten der USA untersucht (z. B. Magnusson 1993; Ågren 1998; Hennius 2005; Risbøl 2005; Bond 2007; Foard 2007; Groenewoudt 2007;

Narmo 2007; Hardy and Dufey 2012a, b; Deforce et al. 2013; Johnson und Ouimet 2014; Krebs et al. 2017; Mastrolonardo et al. 2017).

Hinterlassenschaften der historischen Köhlerei

Die Herstellung von Holzkohle in Grubenmeilern ist die älteste Form der Köhlerei. Hierbei werden Stammholz oder auch Wurzelstöcke in einer grubenartigen Vertiefung unter Luftabschluss zu Holzkohle verschwelt. Die Gruben haben meist nur einen Durchmesser von ein bis zwei Metern und können rund bis eckig sein (Deforce et al. 2018). In der Niederlausitz konnten Grubenmeiler in das 3. bis Ende des 4. Jahrhunderts datiert werden (Spazier 2007). Jüngere Ausgrabungen und Datierungen von Meilergruben bei Amberg in der Oberpfalz haben ¹⁴C-Alter zwischen 6. und 9. Jahrhundert ergeben und sind damit deutlich älter als die Eisenschlacken des 10./11. Jahrhunderts, die bisher als die ältesten Belege des dortigen Montanwesens angesehen wurden (vgl. Codreanu-Windauer 2019, dieser Band mit Abb. 4, Grabung eines Grubenmeilers bei Ebermannsdorf). In der Steiermark und in Belgien ist die Nutzung von Grubenmeilern bis in das 13. Jahrhundert nachgewiesen (Klemm et al. 2005; Deforce et al. 2018). Groenewoudt (2007) beschreibt für die Niederlande vorkommende Grubenmeiler der späten Eisenzeit und der späten Römischen Kaiserzeit sowie einige frühmittelalterlichen Ursprungs.

In späteren Phasen wurden zunehmend Rundmeiler (auch als Platzmeiler bezeichnet) in Ergänzung zu oder anstatt von Grubenmeilern zur Produktion von Holzkohle eingesetzt. Für historische Hammer- und Hüttenwerke in der Oberpfalz wird bis in die Neuzeit häufig der Einsatz sowohl von „Grubenkohle“ als auch von „Meilerkohle“ beschrieben (vgl. von Voith 1841; Götschmann 1985). Rundmeiler sind meist auf ebenem bis schwach geneigtem Gelände zu finden (Hildebrandt et al. 2007). Die Spannweite der Durchmesser von Meilerplatten reicht von 4 bis 30 m, die meisten Meilerplatten besitzen Durchmesser von 10 bis 12 m. Abbildung 3 zeigt einen Nachbau eines Rundmeilers.



Abbildung 3: Rekonstruktion eines historischen Meilers im Fichtelgebirge (Aufnahme T. Raab, 2005).

Rundmeiler mit umlaufendem Wall (Abb. 4) sind für Standorte mit Festgestein im Untergrund beschrieben wie z. B. in Belgien (Hardy & Dufey 2015) und dem Harz (Swieder 2019). Hingegen sind Rundmeiler mit umlaufendem Graben charakteristisch für Standorte mit Lockergestein. Für das Hüttenwerk in Peitz erfolgte die Produktion von Holzkohle fast ausschließlich in Rundmeilern mit umlaufendem Graben (Rösler et al. 2012; Raab et al. 2015). Der Graben ist nur an wenigen Stellen durch Stege unterbrochen, die von den Köhlern zum Betreten der Plattform genutzt wurden. Die eigentliche Funktion des Grabens ist dabei aber unklar. Laut Preußischer Holzschlag- und Kohlenordnung von König Friedrich II. aus dem Jahr 1779 war ein Graben um den eigentlichen Meiler vorgeschrieben, der dem Schutz vor Waldbrand dienen sollte. Jüngere Untersuchungen aus Zentralpolen, bei denen die Meilerplattform ringartig von mehreren Gruben anstatt eines Grabens umgeben ist (Rutkiewicz et al. 2017), unterstreichen einerseits die Bedeutung regionaler Faktoren und andererseits die eingeschränkte Übertragbarkeit von historischen Vorschriften. Dies bestätigt sich ebenfalls für die sogenannten Podestmeiler. Laut historischer Quellen ist an Standorten mit feuchtem Untergrund ein Podest aus mineralischem oder organischem Material nötig (von Berg 1860). Diese sogenannten Podestmeiler wurden z. B. von Hildebrandt et al. (2007) beschrieben. Hohe Rundmeiler, die aus der wiederholten Nutzung eines Meilerplatzes ohne komplette Beräumung

resultieren, ähneln morphologisch den Relikten von Podestmeilern. Ob es sich bei den hohen Rundmeilern und den Podestmeilern um denselben genetischen Typ eines Meilers handelt, ist bisher noch nicht geklärt. Dagegen kann man bei Meilerrelikten am Hang aufgrund der Architektur und Stratigraphie der Plattform häufig zwischen zwei genetischen Phasen differenzieren (Abb. 5; Stolz & Grunert 2010, 2012, Hirsch et al. 2017; Schneider et al. 2018). Bei zu steilem Relief war die Anlage von Plattformen vor Errichtung der Meiler notwendig. Da dieser Bau aufwändig war, wurden diese Plattformen oft mehrmals genutzt. Weiteres zum Prozess der Köhlerei und dem Aufbau von Meilern sind im Beitrag von Swieder (2019, dieser Band) dargestellt. Langmeiler datieren in Österreich in das 17. bzw. 18. Jahrhundert (Klemm et al. 2005). Die Langmeiler können bis zu 30 m lang und etwa 5 m breit sein. Für die Holzkohleproduktion in Langmeilern wird das Holz nicht gespalten und meist liegend aufgestapelt.

Obwohl seit Aufgabe der im großen Maßstab betriebenen Köhlerei mehr als 200 bis 300 Jahre vergangen sind, sind die Hinterlassenschaften auch heute noch in der Landschaft teilweise gut erhalten. Die Morphologie der HKM kann dabei oft Hinweise auf den verwendeten Meilertyp liefern (Abb. 4), wobei Mehrfachnutzungen, lokale Gepflogenheiten der Köhler oder Überprägung der Meilerrelikte durch spätere Landschaftseingriffe wie zum Beispiel die Nutzung des Waldpfluges diese Interpretationen erschweren können. Des Weiteren sind für die Identifikation des Meilertypes oder die Differenzierung verschiedener Nutzungsphasen in der Regel aufwendige archäologische Grabungen nötig.

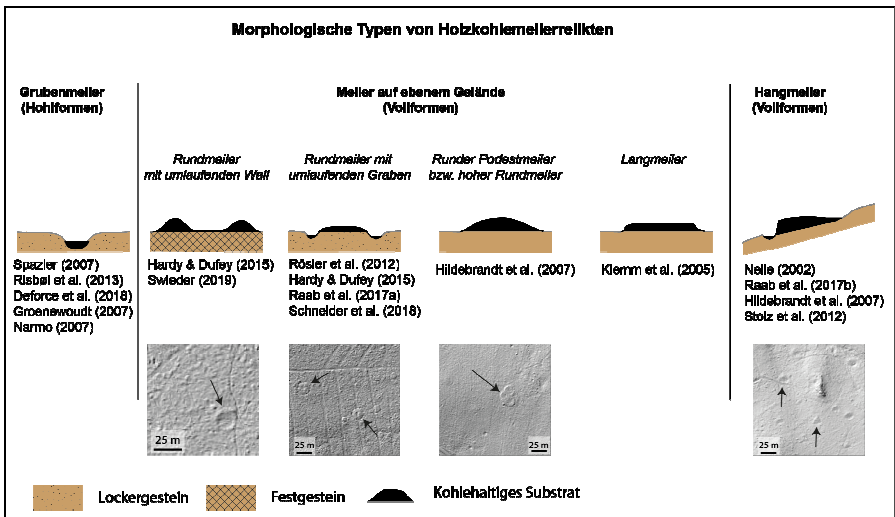


Abbildung 4: Skizzen verschiedener morphologischer Typen von Holzkohlemeilerrelikten und ihre Abbildung auf schattenplastische Reliefkarten (SRM).

Böden auf Meilerrelikten

Böden auf Meilerrelikten unterscheiden sich von ‚natürlichen‘ Böden in der direkten Umgebung meist deutlich hinsichtlich der Horizontabfolge und Substratzusammensetzung. Aufgrund einer unvollständigen bzw. nicht durchgeführten Beräumung der Meilerplattform nach dem Brand bleiben Holzkohlereste, Asche sowie durch Hitze geprägtes organisches oder mineralisches Material, welches zur Abdeckung des Meilers verwendet wurde, zurück (Abb. 5). Dieses heterogene, gewöhnlich schwarze oder zumindest auffällig dunkle Meilersubstrat ist meist zwischen 10 bis 40 cm mächtig. An der Basis sind manchmal Hinweise auf eine Kappung der Bodenprofile zu finden, die durch die Vorbereitung der Meilerplattform entstanden sind (Hardy & Dufey 2015). Oft weisen aber auch unter dem Meilersubstrat begrabene Oberböden darauf hin, dass der Meiler ohne intensivere vorbereitende Beräumungsmaßnahmen errichtet wurde (Hirsch et al. 2017). Rötlich gefärbtes Substrat zeigt eine sogenannte Frittung bzw. Verziegelung der fossilen Oberböden durch Hitze einwirkung während des Meilerbrandes an. Zusätzlich weist das Fehlen von Humus im Übergangsbereich zwischen Meilersubstrat und fossilem Oberboden auf einen hitzeinduzierten Abbau organischer Bodensubstanz während des Meilerbrandes hin. Problematisch gestaltet sich die feldbodenkundliche Ansprache des

dunklen Meilerssubstrates. Die hohen Kohlenstoffgehalte, die sich aus organischer Bodensubstanz und pyrogenen Kohlenstoffverbindungen zusammensetzen, erschweren die Differenzierung von Horizonten und Horizontgrenzen. Zudem werden technogene bzw. anthropogene Horizonte in der derzeit gültigen Fassung der Bodenkundlichen Kartieranleitung (Ad-hoc-AG Boden 2005) nur bedingt berücksichtigt, was ebenfalls die bodensystematische Beschreibung erschwert (Hirsch et al. 2018).

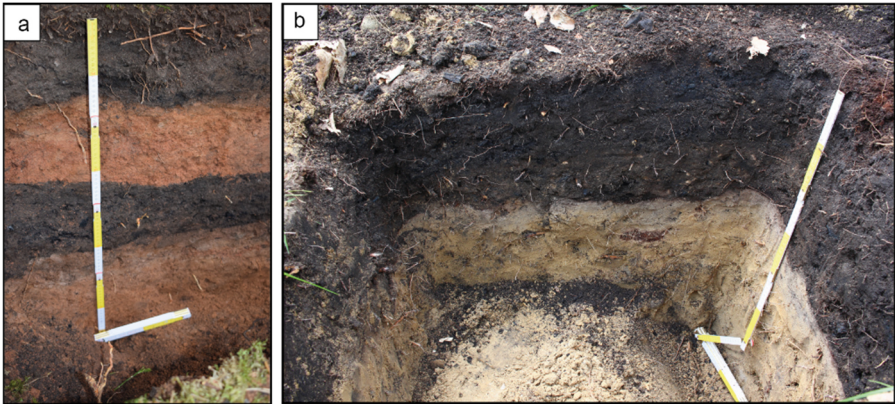


Abbildung 5: Bodenprofile auf Meilerplattformen. a) Bodenprofil eines Hangmeilers bei Weiherhammer (Oberpfalz, Bayern). Aufgrund der beiden dunklen Meilerssubstratschichten lässt sich eine zumindest zweimalige Nutzung der Plattform rekonstruieren. Im Untergrund steht Rotliegendes an, was die rötliche Farbe der mineralischen Horizonte bedingt. b) Bodenprofil einer Meilerplattform aus dem Tauerischen Forst (Niederlausitz, Brandenburg) mit nur einer Meilerssubstratschicht.

Holzkohlemeilerrelikte als Gegenstand der Forschung

Historische Köhlerei und deren Relikte sind seit vielen Jahrzehnten Gegenstand sowohl heimatkundlicher Untersuchungen als auch verschiedener wissenschaftlicher Forschungsdisziplinen. Insbesondere im Kontext von montanarchäologischen und technikgeschichtlichen Forschungen wurde die Köhlerei und damit zusammenhängend der Holz- bzw. Waldverbrauch untersucht (z. B. Bergbau- und Industriemuseum Ostbayern 1987; Steuer & Zimmermann 1993; Jockenhövel 1996; Ågren 1998).

Zahlreiche Studien nutzen HKM auch als Archive, um mittels Holzkohleanalyse (Anthrakologie) die Waldgeschichte und Waldnutzungsgeschichte zu rekonstruieren (Hillebrecht 1982; Nelle 2002; Ludemann et al. 2004; Nölken 2005; Hildebrandt et al. 2007; Ludemann 2010; Knapp et al. 2013; Nelle et al. 2015;

Dupin et al. 2017). Die Dendroanthrakologie, eine Kombination aus Altersbestimmung und Holzkohlenanalyse, ist eine Methode, die Holzkohlefragmente aus HKM für Datierungen nutzt. Beispiele für die Anwendung dieser Methode sind Untersuchungen von Backmeroff (2001), Backmeroff & Di Pasquale (2001) sowie Raab A. et al. (2015, 2017).

Um den Holz- bzw. Holzkohleverbrauch der vorindustriellen Hüttenwerke und die räumliche Ausdehnung der zur Köhlerei genutzten Waldflächen zu bestimmen, wurden über viele Jahre HKM im Rahmen von Geländebegehungen erfasst und kartiert (z. B. Zenger 1972; Schirren 2007; von Kortzfleisch 2008). Seit einigen Jahren haben der vergleichsweise einfache Zugang zu hochauflösenden LiDAR-Daten, deren technische Weiterentwicklungen sowie verbesserte Auswertungsmöglichkeiten einen neuen Impuls für die Untersuchung historischer Holzkohlemeilerlandschaften gegeben (Hesse 2010, 2013; Deforce et al. 2013; Risbøl et al. 2013; Johnson & Ouimet 2014; Raab A. et al. 2015, 2017; Schneider et al. 2014; Withanara et al. 2018). Aus den LiDAR-Daten erstellte schattenplastische Reliefkarten (Shaded Relief Maps, SRM) ermöglichen die Kartierung von HKM. Darüber hinaus erlaubt die digitale Kartierung eine weitere Auswertung unter Verwendung von Geographischen Informationssystemen (GIS, z. B. Schmidt et al. 2016).

Jüngste Forschungen befassen sich vermehrt mit dem „Vermächtnis“ – den sogenannten *legacy effects* – der Köhlerei. Untersucht werden der Aufbau und Eigenschaften von Meilerböden (u. a. Borchard et al. 2014; Heitkötter & Marschner 2015; Hardy & Dufey 2015; Hardy 2017; Raab T. et al. 2017; Hirsch et al. 2018; Abdelrahmen et al. 2018), ihre Rolle als Kohlenstoffspeicher (Mastrolonardo et al. 2018), sowie der Einfluss von Meilerböden auf eine Wiederbewaldung (Kappes et al. 2012; Carrari et al. 2017a, b, 2018).

Meilerrelikte als Kulturlandschaften

Mit dem nach wie vor sehr hohen Flächenverbrauch – gemäß der aktuellen Berechnung des Statistischen Bundesamtes (Stand 2017) gehen in Deutschland 66 ha Boden pro Tag unwiederbringlich verloren – sind zunehmend auch Bodendenkmäler von Zerstörung oder Schädigung betroffen. Während archäologische Funde mehr oder weniger große öffentliche Aufmerksamkeit erfahren, geht der Verlust wertvoller Kulturlandschaften in der Regel schleichend und oft unbemerkt vonstatten. Besonders die unauffälligen Hinterlassenschaften des historischen und prähistorischen Ackerbaus wie etwa Wölbäcker oder Ackerterrassen werden durch intensive Bodenbearbeitung zerstört (siehe hierzu

auch Beitrag von Noack & Wulf 2019 in diesem Band). Allerdings sind HKM als Hinterlassenschaft einer intensiven Forstnutzung bisher kaum beachtet worden. Besonders im Norddeutschen Tiefland wurde ihre große Verbreitung bisher kaum zur Kenntnis genommen (siehe Beitrag von Schneider et al. 2019 in diesem Band).

Die Vielzahl der HKM zeigt den Umgang vergangener Generationen mit der natürlichen Ressource Holz. Durch sie werden umfangreiche Eingriffe in die betroffenen Wälder und Forsten erkenn- und messbar, so dass sich nachhaltige oder auch übernutzende Wirtschaftsweisen rekonstruieren lassen. HKM stellen nicht nur Zeugnisse historischer Landnutzung dar, sie sind auch als Kulturgut einzuordnen. Neben der Bedeutung für die Landnutzungsgeschichte ist daher in der Praxis auch die Frage nach dem denkmalpflegerischen Schutz und Umgang mit diesen Kulturlandschaftsrelikten zu stellen.

Das DBU-Projekt „Historische Meilerlandschaft Brandenburg“

Um die Frage nach dem Umgang mit HKM als Kulturlandschaftsrelikte zu klären, fördert die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) seit 2018 das Projekt „Bewahrung von vorindustriellen Meilerstandorten in Brandenburg – Ein Beitrag zur modellhaften Sicherung und nachhaltigen Nutzung einer durch anthropogene Umwelteinflüsse gefährdeten historischen Kulturlandschaft“. Ziel des Projekts ist es, vorindustrielle Meilerstandorte im Land Brandenburg möglichst flächenhaft zu erfassen und deren Denkmalwert zu ermitteln, um dadurch einen Beitrag zum Schutz dieser bisher kaum beachteten Bestandteile der historischen Kulturlandschaft zu leisten.

Bedeutung von Meilerlandschaften für das Umwelt- und Kulturerbe

HKM-Areale sind zwar aus dem Umfeld historischen Bergbaus in Montangebieten bekannt, sie stehen bisher aber nicht im Fokus der Denkmalpflege, obwohl es sich um schützenswerte Bestandteile der Kulturlandschaft handelt. Zugleich unterliegen diese Landschaften anhaltenden anthropogen induzierten Umweltveränderungen. Die Niederlausitz und mit ihr die außergewöhnliche HKM-Landschaft stehen aufgrund der Energiewende vor tiefgreifenden ökonomischen, sozialen und ökologischen Umbrüchen. Durch die Fortführung des Tagebaus Jämschwalde ist in den letzten Jahren ein Teil der HKM-Landschaft zerstört worden. Daneben werden große Flächen dieser HKM-Landschaft in den überwiegend mit Kiefern bestanden Monokulturen der angrenzenden Areale zunächst erhalten bleiben. Aufgrund der Förderung von Mischwäldern und eines

damit verbundenen Waldumbaus wird es aber zu weiteren Eingriffen in die Kulturlandschaft kommen. Ebenso ist durch die Förderung der Windenergie ein erhöhter Nutzungsdruck auf die Forste entstanden. Aufgrund des anhaltenden Baus von Windrädern mit einem entsprechenden Flächenverbrauch durch Zuwegung und Standflächen gehen nicht nur Flächen für die forstwirtschaftliche Nutzung verloren, sondern es wird zunehmend zu Konflikten mit der Bodendenkmalpflege kommen. Für diese Herausforderung fehlen bisher planerische Grundlagen und innovative Lösungsansätze, die im Rahmen des DBU-Projekts erarbeitet werden sollen. Diese Bearbeitung erfordert eine interdisziplinäre Sichtweise und Kooperation der zuständigen Fach- und Genehmigungsbehörden (v. a. Landesdenkmalamt, Forstverwaltung, Natur- und Bodenschutzbehörden der Landkreise) mit einschlägig ausgewiesenen Hochschulen, die vor Ort ihre Kompetenzen aus der grundlagenbasierten und anwendungsorientierten Forschung sowie der Landnutzungspraxis bündeln.

Das Projekt unterstützt den ressourcenschonenden (hier: denkmal schonenden) Umgang mit historischen HKM-Landschaften, da es wichtige Daten für die Landesplanung bereitstellt, bei der neben den ökonomischen Faktoren auch ökologische und im Besonderen auch archäologische bzw. kulturgeschichtliche Aspekte eine Rolle spielen. Mit der Erfassung und Bewertung der HKM-Relikte werden Lösungen gesucht, wie mit weitflächig verbreiteten Bodendenkmälern an Forststandorten zu verfahren ist. Im Besonderen sollen Nutzungskonflikte identifiziert und mögliche Auswirkungen auf die Relikte der historischen Landnutzung abgeschätzt werden. Die in den letzten Jahren bekannt gewordene Anzahl von HKM-Relikten rückt die Bedeutung für die vorindustrielle Landschaftsentwicklung und damit als kulturelles Erbe in ein anderes Licht. Zugleich muss die staatliche Bodendenkmalpflege Antwort darauf geben, welche Schutzwürdigkeit diese HKM-Relikte besitzen. Darüber hinaus sind die ökologischen Folgen von HKM-Relikten (u. a. Veränderung von Bodeneigenschaften und Standortqualität) bisher nicht bekannt, so dass auch Fragen zu speziellen Umweltbelastungen in HKM-Landschaften zu betrachten sind.

Literatur

- Abdelrahmen, H., Hofmann, D., Berns, A.E., Meyer, N., Bol, R., Borchard, N. (2018): Historical charcoal additions alter water extractable, particulate and bulk soil C composition and stabilization. - *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. Doi:10.1002/jpln.201800261
- Ad-hoc-AG Boden (2005): *Bodenkundliche Kartieranleitung*. 5. Aufl., Hannover.
- Ågren, M. (1998): *Iron-making societies. Early industrial development in Sweden and Russia, 1600-1900*. Berghan Books, Providence, Oxford.
- Backmeroff, C.E. (2001): Historical land-use and upper timberline dynamics determined by a thousand-year larch chronology made up of charcoal fragments from kilns and ancient trees. In: Kaennel, D.M., Bräker, O.U. (Eds.), *International Conference Tree rings and people. Abstracts*, September 22-26, Swiss Federal Research Institute, Davos.
- Backmeroff, C.E., Di Pasquale, G. (2001): Dendrochronological dating of charcoal kilns: a new method for dating historical land use at the upper timberline. In: Kaennel, D.M., Bräker, O.U. (Eds.), *International Conference Tree Rings and People, Abstracts*, September 22-26, Swiss Federal Research Institute, Davos.
- Bergbau- und Industriemuseum Ostbayern (Hrsg., 1987): *Die Oberpfalz - Ein europäisches Eisenzentrum. 600 Jahre Grosse Hammereinung*. - Schriftenreihe des Bergbau- und Industriemuseum Ostbayern, Amberg.
- Bond, J. (2007): Medieval charcoal-burning in England. In: Klápšte, J., Sommer, P. (Eds.): *Arts and crafts in medieval rural environment, Ruralia VI*, 22-29 September 2005, Hungary: 277-294.
- Borchard, N., Ladd, B., Eschemann, S., Hegenberg, D., Mösel, B.M., Amelung, W. (2014): Black carbon and soil properties at historical charcoal production sites in Germany. - *Geoderma* 232-234: 236-242. Doi:10.1016/j.geoderma.2014.05.007
- Carrari, E., Ampoorter, E., Bottalico, F., Chirici, G., Coppi, A., Travaglini, D., Verheyen, K., Selvi, F. (2017a): The old charcoal kiln sites in Central Italian forest landscapes. - *Quaternary International* 458: 214-223. Doi:10.1016/j.quaint.2016.10.027

- Carrari, E., Ampoorter, E., Verheyen, K., Coppi, A., Selvi, F. (2017b): Former charcoal platforms in Mediterranean forest areas: a hostile microhabitat for the recolonization by woody species. -iForest 10: 136-144.
- Carrari, E., Ampoorter, E., Bussotti, F., Coppi, A., Nogales A.G., Pollastrini, M., Verheyen, K., Selvi, F. (2018): Effects of charcoal hearth soil in forest regeneration: Evidence from a two-year experiment on tree seedlings. - Forest Ecology and Management 427: 37-44. Doi:10.3832/ifor1701-009
- Codreanu-Windauer, S. (2019): Holzkohlemeiler – vergessene Denkmäler? In: Raab, T., Raab, A., Schopper, F. (Hrsg.): Erfassung und Bewertung von Meilerstandorten – Workshop 19. Februar 2019. Geopedology and Landscape Research Series (GeoRS) 8: 143-155.
- Deforce, K., Boeren, I., Adriaenssens, S., Bastiaens, J., De Keersmaeker, L., Haneca, K., Tys, D., Vandekerkhove, K. (2013): Selective woodland exploitation for charcoal production. A detailed analysis of charcoal kiln remains (ca. 1300-1900 AD) from Zoersel (northern Belgium). - Journal of Archaeological Science 40/1: 681-689. Doi: 10.1016/j.jas.2012.07.009
- Deforce, K., Vanmontfort, B., Vandekerkhove, K. (2018): Early and High Medieval (c. 650 AD-1250 AD) charcoal production and its impact on woodland composition in the Northwest-European Lowland: a study of charcoal pit kilns from Sterrebeek (Central Belgium). - Environmental Archaeology. Doi:10.1080/14614103.2018.1538087
- Dupin, A., Girardclos, O., Fruchart, C., Laplaige, C., Nuninger, L., Dufraisse, A., Gauthier, E. (2017): Anthracology of charcoal kilns in the forest of Chailluz (France) as a tool to understand Franche-Comte forestry from the mid-15th to the early 20th century AD. - Quaternary International 458: 200-213. Doi:10.1016/j.quaint.2017.03.008
- Foard, G. (2007): Medieval woodland, agriculture and industry in Rockingham Forest, Northamptonshire. - Medieval Archaeology 45: 41-95.
- Friedrich II. Preußen, König (1779): Verordnung, wie es mit dem Holzschlag zu Kohlen und Köhlereyen bei den königlichen Eisen=Blech=Kupfer= und auch anderen Hütten= und Hammerwerken gehalten werden soll. De Dato Berlin, den 18. Januar 1779. Brandenburger Landeshauptarchiv, Pr. Br. Rep. 2A III F Regierung Potsdam, Nr. 487 Generalia. Holzkohlen-S. Kohlenschwelen in

den kgl. Forsten und Holzschlag für Köhlereien bei den kgl. Hütten- und Hammerwerken, Quelle (1738-1849), F.5-12.

Groenewoudt, B. (2007): Charcoal Burning and Landscape Dynamics in the Early Medieval Netherlands. In: Klápšte, J., Sommer, P. (Eds.): Arts and Crafts in Medieval Rural Environments, Rurality VI, 22-29 September 2005, Hungary: 327-337.

Götschmann, D. (1985): Oberpfälzer Eisen. Bergbau- und Eisengewerbe im 16. und 17. Jahrhundert. Schriftenreihe des Bergbau- und Industriemuseums Ostbayern in Theuern, Band 5.

Hardy, B. (2017): Pre-industrial charcoal kiln sites in Wallonia, Belgium: spatial distribution, effects on soil properties and long-term fate of charcoal in soil. Thesis. Université catholique de Louvain.

Hardy, B., Dufey, J. (2015): Les aires de faulde en forêt wallonne: repérage, morphologie et distribution spatiale. - Forêt.Nature 135: 20-30. <https://www.foretwallonne.be/component/content/article/93-anciens-sommaires/2591-foret-nature-135?highlight=WyoYXJkeSjd&Itemid=710>

Hardy, B., Dufey, J.E., (2012a): Estimation des besoins en charbon de bois et en superficie forestière pour la sidérurgie wallonne préindustrielle (1750-1830). Première partie: Les besoins en charbon de bois. - Revue forestière française LXIV: 477-487.

Hardy, B., Dufey, J.E. (2012b): Estimation des besoins en charbon de bois et en superficie forestière pour la sidérurgie wallonne préindustrielle (1750-1830). Deuxième partie: Les besoins en superficie forestière. - Revue forestière française LXIV: 799-806.

Heitkötter, J., Marschner, B. (2015): Interactive effects of biochar ageing in soils related to feedstock, pyrolysis temperature, and historic charcoal production. - Geoderma 245-246: 56-64. Doi: 10.1016/j.geoderma.2015.01.012

Hennius, A., Svensson, J., Ölund, A., Göthberg, H. (2005): Kol och tjära - Arkeologi i norra Upplands skogsmarker (Rapport 2005:02). Uppsala. Avdelningen för arkeologiska undersökningar, Upplandsmuseet.

- Hesse, R. (2010): LiDAR-derived local relief models - a new tool for archaeological prospection. - *Archaeological Prospection* 17: 67-72. Doi:10.1002/arp.374
- Hesse, R. (2013): The changing picture of archaeological landscapes: lidar prospection over very large areas as part of a cultural heritage strategy. In: Opitz, R.S., Cowley, D.C. (Eds.): *Interpreting Archaeological Topography. 3D Data, Visualisation and Observation Occasional Publication of the Aerial Archaeological Research Group*. Oxbow Books, Oxford: 171-183.
- Hildebrandt, H., Heuser-Hildebrandt, B., Wolters, S. (2007): Kulturlandschaftsgenetische und bestandsgeschichtliche Untersuchungen anhand von Kohlholzspektren aus historischen Meilerplätzen, Pollendiagrammen und archivalischen Quellen im Naturpark Pfälzerwald, Forstamt Johanniskreuz. In: Domrös, M. (Ed.), *Mainzer Geographische Studien*. Geographisches Institut der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Mainz.
- Hillebrecht, M.-L. (1982): Die Relikte der Holzkohlewirtschaft als Indikatoren für Waldnutzung und Waldentwicklung. Untersuchungen an Beispielen aus Südniedersachsen. *Göttinger geographische Abhandlungen* 79. Erich Goltze, Göttingen.
- Hirsch, F., Raab, T., Ouimet, W.B., Dethier, D., Schneider, A., Raab, A. (2017): Soils on historic charcoal hearths - terminology and chemical properties. - *Soil Science Society of America Journal* 81: 1427-1435. Doi:10.2136/sssaj2017.02.0067
- Hirsch, F., Schneider, A., Bauriegel, A., Raab, A., Raab, T. (2018): Formation, classification, and properties of soils at two relict charcoal hearth sites in Brandenburg, Germany. - *Frontiers in Environmental Science*. Doi:10.2136/sssaj2017.02.0067
- Jockenhövel, A. (1996): Bergbau, Verhüttung und Waldnutzung im Mittelalter. Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Ergebnisse eines internationalen Workshops (Dillenburg, 11.-15. Mai 1994). *Wirtschaftshistorische Museum "Villa Grün"*. Franz Steiner Verlag, Stuttgart.
- Johnson, K., Ouimet, W.B. (2014): Rediscovering the lost archaeological landscape of southern New England using airborne light detection and

- ranging (LiDAR). - *Journal of Archaeological Science* 43: 9-20.
Doi:10.1016/j.jas.2013.12.004
- Jöns, H. (1997): Frühe Eisengewinnung in Joldelund, Kr. Nordfriesland: Ein Beitrag zur Siedlungs- und Technikgeschichte Schleswig-Holsteins. Teil 1: Einführung, Naturraum, Prospektionsmethoden und archäologische Untersuchungen. Dr. Rudolf Habelt, Bonn.
- Jöns, H. (2000): Die Ergebnisse der interdisziplinären Untersuchungen zur frühgeschichtlichen Eisengewinnung in Joldelund. „Neue Antworten“ auf „alte Fragen“ zur Entwicklung und Wirtschaftsstruktur kaiserzeitlicher Eisengewinnungsplätze und Siedlungen in Norddeutschland. In: Haffner, A., Jöns, H., Reichstein, J. (Eds.): Frühe Eisengewinnung in Joldelund, Kr. Nordfriesland. Ein Beitrag zur Siedlungs- und Technikgeschichte Schleswig-Holsteins 2: Naturwissenschaftliche Untersuchungen zur Metallurgie- und Vegetationsgeschichte, Bonn: 263-279.
- Kappes, H., Clausius, A., Topp, W. (2012): Historical small-scale surface structures as a model for post-mining land reclamation. - *Restoration Ecology* 20: 322-330. Doi:10.1111/j.1526-100X.2011.00800.x
- Klemm, S., Nelle, O., Grabner, M., Geihofer, D., Schnepf, E. (2005): Interdisziplinäre Untersuchungen von Kohlstätten aus Mittelalter und Neuzeit in der Eisenerzer Ramsau, Steiermark. - *Archaeologia Austriaca* 89: 269-329.
- Knapp, H., Robin, V., Kirleis, W., Nelle, O. (2013): Woodland history in the upper Harz Mountains revealed by kiln site, soil sediment and peat charcoal analyses. - *Quaternary International* 289: 88-100.
Doi:10.1016/j.quaint.2012.03.040
- Krebs, P., Pezzatti, G.B., Stocker, M., Bürgi, M., Conedera, M. (2017): The selection of suitable sites for traditional charcoal production: ideas and practice in southern Switzerland. - *Journal of Historical Geography* 57: 1-16.
Doi:10.1016/j.jhg.2017.04.002
- Lipsdorf, J. (2001): Köhler über der Kohle. Ausgrabungen von Holzkohlemeilern am Tagebau Jänschwalde. Ausgrabungen im Niederlausitzer Braunkohlenrevier 2000. *Arbeitsberichte Bodendenkmalpflege Brandenburg* 8: 213.223.

- Ludemann, T. (2010): Past fuel wood exploitation and natural forest vegetation in the Black Forest, the Vosges and neighbouring regions in western Central Europe. - *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 291: 154-165. Doi:10.1016/j.palaeo.2009.09.013
- Ludemann, T., Michiels, H.-G., Nölken, W. (2004): Spatial pattern of past woodland exploitation, natural wood supply and growth conditions: indications of natural tree species distribution by anthracological studies of charcoal-burning remains. - *European Journal of Forest Research* 123: 283-292. Doi:10.1007/s10342-004-0049-z
- Magnusson, G. (1993): Early iron manufacturing in Sweden. In: Steuer, H., Zimmermann, U. (Eds.): *Montanarchäologie in Europa. Berichte zum Internationalen Kolloquium »Frühe Erzgewinnung und Verhüttung in Europa« in Freiburg im Breisgau vom 4. bis 7. Oktober 1990.* Jan Thorbecke, Sigmaringen: 477-496.
- Mastrolonardo, G., Francioso, O., Certini, G. (2018): Relic charcoal hearth soils: A neglected carbon reservoir. Case study at Marsiliana forest, Central Italy. - *Geoderma* 315: 88-95. Doi:10.1016/geoderma.2017.11.036
- Müller, F. (2017): Der Wandel der Kulturlandschaft im Raum Peitz infolge des mehrhundertjährigen Betriebes des dortigen Hüttenwerkes (Mitte 16. bis 19. Jahrhundert). *Geopedology and Landscape Research Series (GeoRS)* 5. <https://opus4.kobv.de/opus4-btu/frontdoor/index/searchtype/series/id/9/docld/4144>
- Narmo, L.E. (2005): Iron production in medieval Norway. In: Klápšte, J., Sommer, P. (Eds.): *Arts and Crafts in Medieval Rural Environments, Ruralia VI*, 22-29 September 2005, Hungary: 207-217.
- Nelle, O. (2002): Zur holozänen Vegetations- und Waldnutzungsgeschichte des Vorderen Bayerischen Waldes anhand von Pollen- und Holzkohleanalysen. - *Hoppea* 63: 161-361.
- Nelle, O., Jansen, D., Evers, K., Weber, R., Schwabe, M. (2015): Relikte der Köhlerei - Potenzial für die Landschaftsgeschichte im Teilgebiet Serrahn des Müritz-Nationalparks. In: Kaiser, K., Kobel, J., Küster, M., Schwabe, M. (Eds.): *Neue Beiträge zum Naturraum und zur Landschaftsgeschichte im Teilgebiet Serrahn des Müritz-Nationalparks.* Geozon Science Media, Berlin: 137-147.

- Nelle, O., Kwasniewski, J. (2001): Untersuchungen an Kohlenmeilerplätzen im NSG Eldena (Vorpommern) - Ein Beitrag zur Erforschung der jüngeren Nutzungsgeschichte. In: Billwitz, K. (Ed.): Geoökologische und landschaftsgeschichtliche Studien in Mecklenburg-Vorpommern. Greifswalder Geographische Arbeiten 23: 209-225.
- Noack, D., Wulf M. (2019): Automatisierte Erkennung von Wölbäckern mittels DGM am Beispiel Prignitz (Nordwest Brandenburg). In: Raab, T., Raab, A., Schopper, F. (Hrsg.): Erfassung und Bewertung von Meilerstandorten – Workshop 19. Februar 2019. Geopedology and Landscape Research Series (GeoRS) 8: 101-142.
- Nölken, W. (2005): Holzkohleanalytische Untersuchungen zur Waldgeschichte der Vogesen. Dissertation Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br. http://www.freidok.uni-freiburg.de/volltexte/2192/pdf/Noelken_Dissertation.pdf
- Paysen, A. (2009): Nachhaltige Energiewirtschaft? Brenn- und Kohlholznutzung in Schleswig-Holstein in Mittelalter und Neuzeit. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Raab, A., Takla, M., Raab, T., Nicolay, A., Schneider, A., Rösler, H., Heußner, K.-U., Bönisch, E. (2015): Pre-industrial charcoal production in Lower Lusatia (Brandenburg, Germany): Detection and evaluation of a large charcoal-burning field by combining archaeological studies, GIS-based analyses of shaded-relief maps and dendrochronological age determination. - Quaternary International 367: 111-122. Doi: 10.1016/j.quaint.2014.09.041
- Raab, A., Bonhage, A., Schneider, A., Raab, T., Rösler, H., Heußner, K.-U., Hirsch, F. (2017): Spatial distribution of relict charcoal hearths in the former royal forest district Tauer (SE Brandenburg, Germany). - Quaternary International. Doi:10.1016/j.quaint.2017.07.022
- Raab, T. (2005): Erfassung und Bewertung von Landschaftswandel in (prä-)historischen Montangebieten am Beispiel Ostbayerns. - Regensburger Beiträge zur Bodenkunde, Landschaftsökologie und Quartärforschung 7. <http://mediatum.ub.tum.de/doc/632843/632843.pdf>
- Raab, T., Hirsch, F., Ouimet, W.B., Johnson, K., Dethier, D., Raab, A. (2017): Architecture of relict charcoal hearths in northwestern Connecticut, USA. - Geoarchaeology, 4, 85-89. Doi:10.1002/gea.21614

- Raab, T., Raab, A., Nicolay, A., Takla, M., Rösler, H., Bönisch, E. (2013): Detection of hidden pre-industrial charcoal kilns by high-resolution LIDAR. - Geophysical Research Abstracts, EGU2013, 15, 2304.
- Risbøl, O. (2005): Protoindustrial iron production in Osterdalen and challenges in managing this heritage. In: Holm, I., Innselset, S., Øye, I. (Eds.): 'Utmark'. The Outfield as industry and ideology in the Iron Age and the Middle Ages. – University of Bergen Archaeological Series (UBAS) – International 1: 53-65.
- Risbøl, O., Bollandsås, O.M., Nesbakken, A., Ørka, H.O., Næsset, E., Gobakken, T. (2013): Interpreting cultural remains in airborne laser scanning generated digital terrain models: Effects of size and shape on detection success rates. - Journal of Archaeological Science 40: 4688-4700. Doi:10.1016/j.jas.2013.07.002
- Rösler, H. (2013a): Regenerative Energiegewinnung mit Folgen. Die Holzkohlemeiler von Jänschwalde. Ausgrabungen im Niederlausitzer Braunkohlerevier 2009/2010. Arbeitsberichte zur Bodendenkmalpflege in Brandenburg 25: 250-266.
- Rösler, H. (2013b): Standort 3 - Tagebauvorfeld Jänschwalde. Archäologie im Tagebau Jänschwalde. In: Raab, T., Hirsch, F., Raab, A., Schopper, D., Freytag, K. (Eds.): Arbeitskreis Geoarchäologie - Jahrestagung 2013, 2.-4.5. 2013 BTU Cottbus. Tagungsband und Exkursionsführer, Cottbus. – Geopedology and Landscape Development Research Series (GeoRS) 2: 81-88. <https://opus4.kobv.de/opus4-btu/frontdoor/index/index/docId/4061>
- Rösler, H., Bönisch, E., Schopper, F., Raab, T., Raab, A. (2012): Pre-industrial charcoal production in southern Brandenburg and its impact on the environment. In: Kluiving, S., Guttman-Bond, E. (Eds.): Landscape Archaeology between Art and Science. Amsterdam University Press, Amsterdam: 167-178.
- Rutkiewicz, P., Malik, I., Wistuba, M., Sady, A. (2017): Charcoal kilns as a source of data on the past iron industry (an example from the River Czarna valley, Central Poland). - Environmental & Socio-economic Studies 5: 12-22. Doi:10.1515/enviro-2017-0012
- Schirren, C.M. (2007): Holzkohlemeiler: Bodendenkmale und Quellen zur Wald- und Wirtschaftsgeschichte. - Bodendenkmalpflege in Mecklenburg-Vorpommern, Jahrbuch 55: 235-250.

- Schmidt, M., Möldner, A., Schönfelder, E., Engel, F., Fortmann-Valtink, W. (2016): Charcoal kiln sites, associated landscape attributes and historic forest conditions: DTM-based investigations in Hesse (Germany). - *Forest Ecosystems* 3: 3.8. Doi:10.1186/s40663-016-0067-6
- Schneider, A., Hirsch, F., Bonhage, A., Raab, A., Raab, T. (2019): Verbreitung und Eigenschaften von Meilerböden in Brandenburg. In: Raab, T., Raab, A., Schopper, F. (Hrsg.): Erfassung und Bewertung von Meilerstandorten – Workshop 19. Februar 2019. *Geopedology and Landscape Research Series (GeoRS)* 8: 22-41.
- Schneider, A., Hirsch, F., Raab, A., Raab, T. (2018): Bodenkundlich-geomorphologische Untersuchungen von Meilerplätzen um Weiherhammer. - *Beiträge zur Archäologie in der Oberpfalz und in Regensburg* 12: 433-448.
- Schneider, A., Takla, M., Nicolay, A., Raab, A., Raab, T. (2014): A template-matching approach combining morphometric variables for automated mapping of charcoal kiln sites. *Archaeological Prospection* 22: 45-62. Doi:10.1002/arp.1497
- Spazier, I. (2007): Das Eisenverhüttungszentrum Wolkenberg. - Veröffentlichung zur brandenburgischen Landesarchäologie 39/40: 89-229.
- Steuer, H., Zimmermann, U. (1993): Montanarchäologie in Europa. Berichte zum Internationalen Kolloquium "Frühe Erzgewinnung und Verhüttung in Europa" in Freiburg im Breisgau vom 4. bis 7. Oktober 1990. Jan Thorbecke, Sigmaringen.
- Stöckmann, M. (2006): Kulturhistorisch-ökologische Raumstrukturen als Grundlage landschaftsplanerischer Zielstellungen am Beispiel Mecklenburg-Vorpommerns. Institut für Management ländlicher Räume der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät. Universität Rostock, Rostock.
- Stolz, C., Grunert, J. (2010): Late Pleistocene and Holocene landscape history of the central Palatinate forest (Pfälzerwald, south-western Germany). - *Quaternary International* 222/1-2: 129-142. Doi:10.1016/j.quaint.2009.08.022

- Stolz, C., Grunert, J. (2012): Observation on the inclination of clasts in periglacial cover-beds in the Rhenish Massif (Germany). - Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Suppl.-Bd. 56: 55-76. Doi:10.1127/0372-8854/2012/S-00081
- Swieder, A. (2019): Meilerrelikte als Teil der archäologischen Kulturlandschaft im östlichen Harz.). In: Raab, T., Raab, A., Schopper, F. (Hrsg.): Erfassung und Bewertung von Meilerstandorten – Workshop 19. Februar 2019. Geopedology and Landscape Research Series (GeoRS) 8: 42-72.
- von Berg, C. (1860): Anleitung zum Verkohlen des Holzes. Ein Handbuch für Forstmänner, Hüttenbeamte, Technologen und Cameralisten. Eduard Bernim, Darmstadt.
- von Kortzfleisch, A. (2008): Die Kunst der schwarzen Gesellen. Köhlerei im Harz. Papierflieger, Clausthal-Zellerfeld.
- von Voith, I. (1841): Das königliche Berg- und Hüttenamt Bodenwöhr: statistisch-historisch-topographisch beschrieben.
- Withanara, C., Ouimet, W.B., Johnson, K.M. (2018): Using LiDAR and GEOBIA for automated extraction of 18th-late 19th century relict charcoal hearths in souther New England. - GIScience & Remote Sensing. Doi:10.1080/15481603.2018.1431356
- Zebedies, A., Marx, P. (1986): Die Köhlerei in der Nordeifel - insbesondere im Kermeter - vom Ausgang des Mittelalters bis zum Ende des 20. Jahrhunderts. Landschaftsverband Rheinland, Düren.
- Zenger, H. (1972): Köhlerei um Weiherhammer. - Oberpfälzer Heimat, 41-52.

Verbreitung und Eigenschaften von Meilerböden in Brandenburg

A. Schneider, F. Hirsch, A. Bonhage, A. Raab, T. Raab

1. Hintergrund und Ziele der Studie

Während Vorkommen und Verbreitung von Meilerplätzen in vielen Regionen der europäischen Mittelgebirge schon relativ lange bekannt und dokumentiert sind, lagen für das Norddeutsche und Nordosteuropäische Tiefland bis vor wenigen Jahren nur sehr wenige Untersuchungen zu diesen Relikten der historischen Köhlerei vor. Mit der archäologischen Dokumentation von Holzkohlemeilerrelikten (HKM) im Vorfeld des Tagebaus Jänschwalde (vgl. Raab, dieser Band) wurde erstmals ein Meilerareal im Norddeutschen Tiefland auf einer zusammenhängenden Fläche von mehreren Zehner Quadratkilometern prospektiert und dokumentiert. Dass Kartierungen von Meilerfeldern lange Zeit stark auf die Mittelgebirgsregionen konzentriert waren, ist zu großen Teilen sicherlich auch durch die Unterschiede in der Morphologie der HKM begründet: Während in stark reliefiertem Gebieten die als Hangplattformen angelegten Meilerplätze deutlich hervortreten, sind im flachen Gelände die nur wenige Dezimeter erhöhten Plattformen und die nahezu vollständig verfüllten Gräben der Meilerstellen kaum zu erkennen. Eine großflächige Prospektion und Kartierung von HKM in ebenem Gelände wurde daher erst mit der Verfügbarkeit hochaufgelöster digitaler Geländemodelle möglich.

Durch die archäologischen Grabungen im Tagebauvorfeld Jänschwalde und nachfolgende Untersuchungen im Tauerschen Forst (Raab et al., 2015; Raab et al., 2017; Rösler et al., 2012) wurden in der Umgebung des Eisenhüttenwerks Peitz insgesamt ca. 6000 HKM kartiert, der stratigraphische Aufbau der HKM konnte am Beispiel mehrerer hundert Standorten charakterisiert werden, und durch dendrochronologische Datierung größerer Kohlestücke wurde die Altersstellung von mehr als 200 HKM bestimmt. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass Meilerplätze in der Region vorherrschend nur einmalig (oder mehrmals innerhalb kurzer Zeiträume) genutzt wurden, während für HKM in Kohleproduktionsgebieten der Mittelgebirge überwiegend eine Mehrfachnutzung der Standorte, häufig deutlich abgebildet in einem mehrschichtigen Aufbau der HKM, beschrieben ist. Diese einmalige Nutzung der Standorte trägt noch über

den hohen Holzkohlebedarf des Eisenhüttenwerks zu einer sehr hohen räumlichen Dichte von HKM im Tauerschen Forst bei, so sind bei HKM-Dichten von mehreren Hundert Standorten pro km² beträchtliche Anteile der Bodenoberfläche von den Relikten der Köhlerei bedeckt.

Neben der Frage nach der denkmalpflegerischen Bewertung dieses HKM-Areals werfen die Befunde die Frage auf, inwieweit die Bodeneigenschaften der HKM aus boden- und standortkundlicher Sicht auch flächenhaft relevant sind, und inwieweit Befunde aus dem Tauerschen Forst auch für andere Gebiete im norddeutschen Tiefland zutreffen. Um die Verbreitung von größeren „Meilerfeldern“ im norddeutschen Tiefland auch über die Umgebung des Peitzer Hüttenwerkes hinaus zu erfassen, wurde daher für eine Kartierung von Meilerrelikten auf Basis von DGMs für alle Waldflächen des Bundeslands Brandenburg unternommen (die aus historischer Sicht teils nicht sinnvolle Abgrenzung des Untersuchungsgebietes entlang der heutigen Landesgrenzen erfolgte dabei aus Gründen der Datenverfügbarkeit). Zur Bewertung der Bodeneigenschaften der HKMs wurden mehrere (in vorangehenden Arbeiten bereits dokumentierte und datierte) Meilerstandorte im Tauerschen Forst untersucht.

2. Methodik

2.1 Kartierung von Meilerrelikten aus digitalen Geländemodellen

Die flächige Erfassung der HKM erfolgte in mehreren Schritten: Zunächst wurden HKM-Vorkommen für alle Waldflächen Brandenburgs prospektiert, dafür wurde die von der Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg in einem Web Map Service (WMS) verfügbare Visualisierung des DGM1 in einem Maßstab von 1:4000 verwendet. Auf Basis der Ergebnisse dieses ersten Schritts wurden Gebiete mit hohen Dichten von HKM ausgewählt, in diesen Gebieten wurden einzelne HKM in einer Kombination von automatisierter Kartierung und manueller Nachbearbeitung (Schneider et al., 2015) erfasst. Beides erfolgte auf Basis des DGM2, zur Visualisierung für die manuelle Bearbeitung wurde eine PCA-Schummerungskarte (Devereux et al., 2008), dargestellt im Maßstab 1:3000, verwendet. In Gebieten mit geringerer HKM-Dichte wurden die Standorte, ebenfalls im Maßstab 1:3000, auf Basis des DGM1-WMS manuell kartiert. Für alle Gebiete wurde die Kartierung schließlich auf Basis der Darstellung des DGM1-WMS im Maßstab 1:2500 bis 1:1500 noch einmal überarbeitet. In allen Schritten wurden die HKM als kreisförmige Polygone erfasst, lediglich sehr kleine Formen wurden als Punkte aufgenommen und später, unter

Annahme eines Durchmessers von 8 m, in Polygone umgewandelt. Für das Gebiet des Tauerschen Forstes wurde der bei Raab et al. (2015) beschriebene, aus Schummerungskarten aus dem DGM1 kartierte HKM-Datensatz übernommen. Ergänzend zur Kartierung der HKM wurden historische Industriestandorte (Eisen- und andere Metallwerke, Glashütten, Teeröfen) in GIS erfasst, als Grundlage dienten dabei v. a. historische Karten (Schmettausches Kartenwerk, 1776-1787; Preußische Uraufnahme 1830-1865) und Beschreibungen der historischen Landestopographie und Industrie (z. B. Cramer, 1872; Bratring, 1804-1809; Büsching, 1775).

2.2 Bodenkundliche Untersuchung

Zur Charakterisierung der Bodeneigenschaften wurden für die untersuchten HKM Bodenprofile im zentralen Bereich der Meilerplattform und, als Referenz, in einem ungestörten Bereich in einigen Metern Entfernung zum HKM angelegt, teils wurden ergänzend auch Profile im Meilergraben und im Randbereich der Plattform untersucht. Nach sedimentologisch-bodenkundlicher Beschreibung der Profile nach KA5 (Ad-hoc-AG Boden, 2005) wurden horizont- bzw. schichtweise Mischproben und ungestörte Bodenproben in Stechzylindern zur laboranalytischen Bestimmung bodenchemischer und -physikalischer Kenngrößen entnommen. Im Folgenden vorgestellt werden Ergebnisse der Bestimmung der Korngrößenverteilung der Feinfraktion (in den Fraktionen 0,063 – 2 mm über Nasssiebung, in den Fraktionen < 0,063 mm in Anlehnung an die Pipettanalyse nach DIN ISO 11 277), des pH-Werts (potentiometrisch im Verhältnis 1:2 in 0.01 M CaCl₂), der Lagerungsdichte (Proben mit definiertem Volumen von 100 cm³, nach Trocknung bei 105°C, (Hartge and Horn, 2009)), der Gehalte an organischer Substanz (mittels loss on ignition / LOI bei 550 °C), der Hydrophobizität (mittels water drop penetration time tests, (Dekker and Jungerius, 1990)), und der gesättigten Wasserleitfähigkeit (an ungestörten Proben mit 100 cm³ Volumen am Permeameter (Eijkelkamp Soil & Water)). Darüber hinaus wurden an einigen Profilen Farbtracerversuche mit Brilliant Blue FCF zur Visualisierung der Fließwege des infiltrierenden Wassers durchgeführt (zur genaueren Beschreibung der Vorgehensweise vgl. Schneider et al. (2018)). Für ein Langzeitmonitoring von Bodenfeuchte und Temperatur wurden in zuvor wie beschrieben dokumentierte Profile Sensoren zur Bestimmung des volumetrischen Wassergehalts, der Bodenwasserspannung und der Bodentemperatur eingebracht, der aufgebaute Messtransect wurde am im Folgenden beschriebenen Standort über ein Jahr hinweg (Mai 2017 – April 2018) betrieben.

3. Ergebnisse

3.1 Erhaltung, Anzahl und Verbreitung der erfassten Meilerrelikte

Zur Interpretation von Anzahl und Verteilung der aus den DGMs kartierten Meilerstellen (Abb. 1) ist eine Abschätzung der Kartierungsgenauigkeit bzw. der Erfassungsraten nötig. Zu beachten ist dabei zunächst die grundsätzliche, für alle untersuchten Gebiete vorliegende Unterschätzung der HKM-Anzahl, da vor allem kleine Standorte aufgrund der begrenzten Auflösung im DGM nicht vollständig abgebildet werden. Vergleiche von Kartierungen aus DGMs mit archäologischen Grabungen im Tagebauvorfeld Jänschwalde und Geländekartierungen im Tauerischen Forst bieten eine sehr gute Grundlage für eine Bewertung der Erfassungsraten. Sie zeigen, in guter Übereinstimmung für verschiedene Teilgebiete, dass in einer Kartierung auf Basis von aus dem DGM1 abgeleiteten Schummerungskarten je nach Vorgehensweise bei der Kartierung ca. 50 % der tatsächlich vorhandenen HKM nicht erfasst werden; dass kleine HKM in den Ergebnissen der DGM-basierten Kartierung unterrepräsentiert sind; dass aber die Verteilungsmuster der erfassten HKM dennoch die tatsächliche räumliche Verteilung (also z. B. Vorkommen von Mikroclustern, räumlich verteilte Dichte von HKM) wiedergeben (Raab et al., 2017; Bonhage et al., 2018). Die Validierung der hier verwendeten Kartierungsmethoden im Vergleich mit den Befunden einer detaillierten Geländekartierung im Tauerischen Forst zeigt, dass sowohl auf Basis der Schummerungskarten aus dem DGM1 als auch auf Basis der PCA-Visualisierung aus dem DGM2 ca. 50 % der HKM erfasst werden. Durch die Aggregation der Höhendaten im DGM2 werden Kleinformen zwar weniger deutlich abgebildet, dieser Effekt scheint aber durch die gleich hohe zugrundeliegende Punktdichte nur gering zu sein und kann offenbar durch die optimierte Visualisierung ausgeglichen werden.

Weiterhin ist zu bedenken, dass Störungen der Geländeoberfläche durch nachfolgende Nutzung die Erfassung der HKM für teils große Gebiete unmöglich machen oder sehr stark einschränken. Neben der offensichtlichen, vollständigen Zerstörung der Oberflächenformen durch Überbauung oder Ackernutzung sind im Land Brandenburg vor allem auch starke und großflächige Störungen durch die militärische Nutzung von Wald- und Heideflächen verbreitet. Häufig liegen v. a. große, lange genutzte Truppenübungsplätze im Bereich der erfassten Meilerfelder (z. B. in der Kyritz-Ruppiner Heide, der Lieberoser Heide oder der Jänickendorfer Heide), die DGMs zeigen dort sehr starke Störungen von großen

Teilen der Bodenoberfläche. Aber auch ohne solche großflächigen Überprägungen erscheinen Einzelformen in einigen Gebieten (z. B. in den Waldgebieten nördlich von Berlin, z. B. Abb. 2f) deutlich gestört und sind damit im DGM nicht mit Sicherheit als HKMs auszumachen. Unterschiedlich hohe Erfassungsraten über das Untersuchungsgebiet hinweg sind auch aufgrund der variierenden Qualität der Abbildung von Oberflächenstrukturen im DGM anzunehmen. Besonders in den nördlichsten und südlichsten Bereichen des Untersuchungsgebiets lassen sich Kleinreliefformen im DGM teils nur schlecht erkennen, Geländebefunde bestätigen die undeutliche Abbildung von Strukturen.

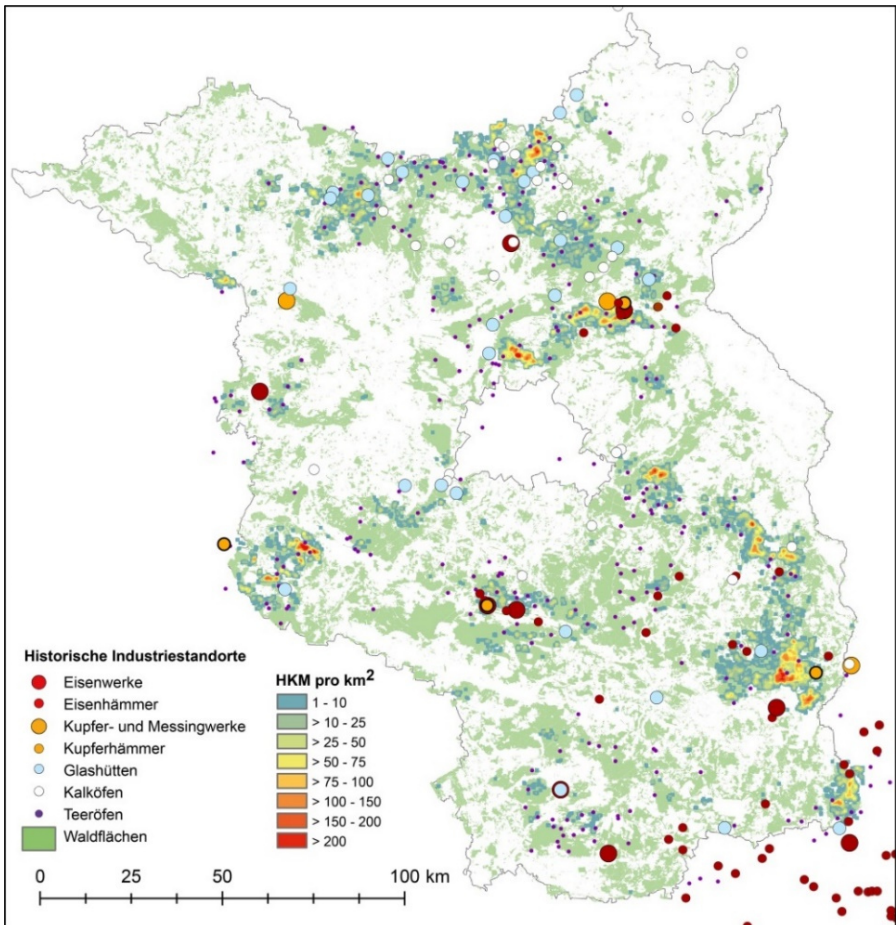


Abbildung 1: Anzahl der erfassten HKM pro km² im Vergleich zur Lage historischer Industriestandorte und Teeröfen in Brandenburg.

Für das gesamte Gebiet Brandenburgs wurden, zusätzlich zu den beinahe 6000 kartierten HKM im Tauerischen Forst (Raab et al., 2015) mehr als 41000 weitere Meilerstellen kartiert. Relikte von Holzkohlemeilern kommen, wenn auch teils in geringen Zahlen, in fast allen größeren Waldgebieten des Landes vor (Abb. 1). Große Bereiche ohne erfasste HKM treten dementsprechend nur in den Agrarlandschaften der Prignitz und der Uckermark auf. Die räumliche Dichte der erfassten HKM variiert jedoch deutlich, teils sind über große Flächen nur einzelne Standorte erkennbar, in mehreren Gebieten wurden jedoch auch Dichten von mehr als 100 HKM pro km² (maximal bis zu ca. 400 HKM pro km²) erfasst. Solche hohen HKM-Dichten treten im Tauerischen Forst und in den Waldgebieten südlich der historischen Industriestandorte in Eberswalde sowie im Umfeld historischer Glashütten im Norden Brandenburgs auf. Teils treten hohe Zahlen und räumliche Dichten von HKM allerdings auch in Gebieten auf, in denen kein direkter Bezug zu historischen Industriestandorten erkennbar ist, so in den Waldgebieten nördlich von Berlin und entlang des Berliner Urstromtals. Für die Meilerfelder nordwestlich von Bad Belzig und südlich von Forst ist auch eine Holzkohleproduktion für Verbraucher außerhalb der heutigen Grenzen Brandenburgs anzunehmen.

Hinsichtlich des Umgebungsreliefs lässt sich keine deutliche Präferenz für bestimmte Meilerstandorte erkennen. Der überwiegende Teil der erfassten Meilerrelikte liegt zwar in ebenem Gelände, auch innerhalb von Landschaftsausschnitten mit bewegterem Relief, z. B. in Binnendünengebieten südlich von Eberswalde oder östlich von Luckenwalde (Abb. 2d), kommen aber teils hohe Dichten von Meilerrelikten vor. Als Hangplattformen angelegte Meilerstellen wurden allerdings nur in wenigen Einzelfällen kartiert, in der Regel sind größere HKM als leicht erhöhte Plattformen mit meist deutlich erkennbarem umlaufenden Graben ausgebildet, bei kleineren HKM ist im DGM sowie im Geländebefund häufig kein umlaufender Graben erkennbar (Abb. 2c, e). Eine Bindung der Meilerstandorte an aus Oberflächengewässern verfügbares Wasser zeigt sich in den Kartierungsergebnissen nicht. Zwar nimmt die Meilerdichte grundsätzlich mit der Nähe zu Gewässern zu, allerdings finden sich auch in Gebieten in mehreren Kilometern Entfernung von Oberflächengewässern (wie z. B. in großen Teilen des Tauerischen Forsts) noch viele HKM.

Die Größe der erfassten HKM variiert stark, die größten Meilerplattformen mit Durchmessern von bis zu 30 m wurden im Tauerischen Forst erfasst (dieser Durchmesser gibt die Abmessung der ursprünglichen Plattform, also des Bereichs innerhalb des umlaufenden Grabens an, die eigentliche Aufstandsfläche

des Meilers war in vielen Fällen wohl kleiner). Allgemein konzentrieren sich besonders große HKM vor allem auf große Holzkohleproduktionsgebiete wie um das Eisenhüttenwerk in Peitz, in den Wäldern südlich des Industriestandorts Eberswalde oder in den Waldflächen südlich von Forst im Südosten des Landes. Auch in diesen Gebieten kommen allerdings gleichermaßen HKM mit deutlich geringeren Durchmessern vor (Abb. 2a). Im Mittel beträgt der Durchmesser der erfassten HKM allerdings nur 10,7 m, insgesamt überwiegen kleine HKM also stark. In vielen Gebieten, v. a. im Berliner Urstromtal (Abb. 2b) und im Westen Brandenburgs (Abb. 2c), kommen mit wenigen Ausnahmen nur kleine HKM mit Durchmessern von bis zu 12 m vor. Besonders für solche kleinen HKM ist davon auszugehen, dass die tatsächliche Anzahl der Standorte die der aus dem DGM erfassbaren HKM noch weit übersteigt.

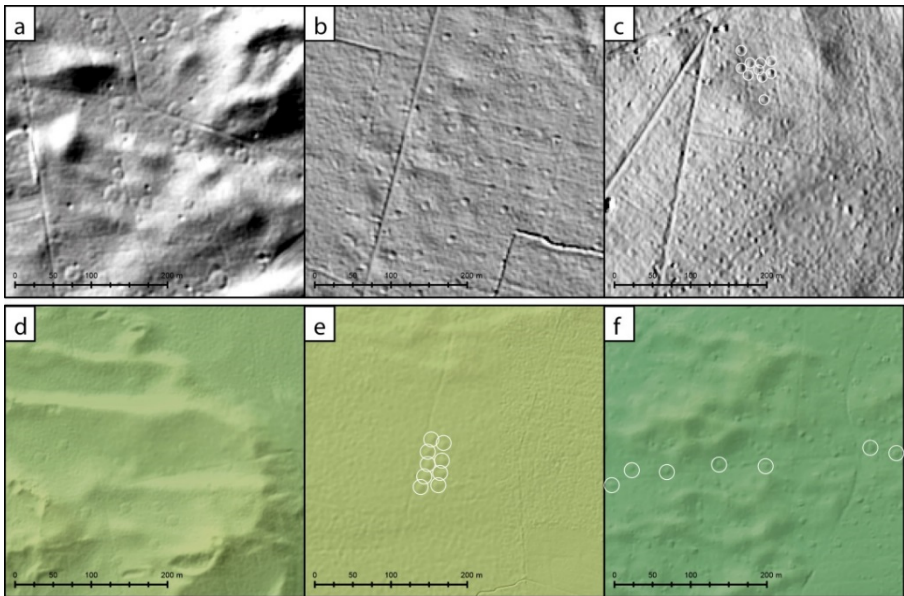


Abbildung 2: Beispiele für HKM in unterschiedlicher Größe und räumlicher Verteilung in der aus dem DGM2 abgeleiteten Schummerungskarte (oben) und dem DGM1-WMS (unten, Geobasisdienste: © GeoBasis-DE/LGB). a) HKM mit unterschiedlichen Durchmessern in ungleichmäßiger Verteilung, teils mit deutlich erkennbaren benachbarten Gruben, b) relativ kleine, innerhalb einzelner Jagen regelmäßig angeordnete HKM, c) große Gruppe von sehr kleinen HKM, d) HKM mit unterschiedlichen Durchmessern in ungleichmäßiger Verteilung in einem Binnendünengebiet, e) Gruppe von großen HKM in regelmäßiger Anordnung, f) relativ kleine, unregelmäßig geformte bzw. gestörte HKM in großer räumlicher Dichte. Im Geländebefund verifizierte HKM sind weiß umrandet dargestellt.

Innerhalb der Meilerfelder treten verschiedenste Verteilungsmuster der einzelnen HKMs auf (Abb. 2) – teils in nahezu gleichmäßiger Verteilung über die Flächen, teils mit Vorkommen von “Mikroclustern” (Gruppen von 2 bis 4 HKM, vgl. (Raab et al., 2017), teils auch als isoliert liegende Gruppe von 8 oder mehr nebeneinanderliegenden HKM. Eine Abhängigkeit dieser Art der räumlichen Verteilung von naturräumlichen Strukturen konnte bisher nicht festgestellt werden, auch Zusammenhänge zwischen HKM-Größe und –Anordnung lassen sich nicht erkennen. Die Anordnung der HKM scheint also vielmehr von zeitlichen oder regionalen Unterschieden in der Köhlereipraxis bestimmt zu sein.

Die von den HKM bedeckte Bodenoberfläche korreliert aufgrund der unterschiedlichen Größe der Standorte nicht direkt mit der Anzahl der HKM pro km². So sind in den Meilerfeldern westlich von Bad Belzig oder nördlich von Berlin, in denen relativ kleine HKM in sehr hoher räumlicher Dichte (> 350 Standorte pro km²) erfasst wurden, ca. 3 % der Bodenoberfläche von den kohlereichen HKM-Substraten bedeckt. Die höchsten Flächenanteile der HKM-Böden ergeben sich in den Gebieten mit hoher Anzahl großer Meilerplätze im Tauerischen Forst und südlich von Eberswalde, hier sind stellenweise mehr als 4 % der Bodenoberfläche von Meilerrelikten bedeckt. Wie in Bezug auf die Anzahl der HKM muss auch für diesen Anteil wegen der begrenzten Erfassungsraten bei der Kartierung aus DGMs von in der Realität noch bis zu doppelt so hohen Werten ausgegangen werden.

3.2 Eigenschaften von Meilerböden im Tauerischen Forst

Die Eigenschaften von Meilerböden werden hier am Beispiel eines ausgewählten Meilerstandorts im Tauerischen Forst vorgestellt, dessen Bodenaufbau und -eigenschaften charakteristisch für Meilerrelikte auf sandigem Substrat sind. An anderen Standorten bestimmte Eigenschaften werden zur vergleichenden Diskussion hinzugezogen. Der Standort (HKM 29239) liegt im Tauerischen Forst, östlich des Kleinsees (Abb. 3a, b), unter von Traubeneichen (*Quercus petraea* Liebl.) und Kiefern (*Pinus sylvestris* L.) dominiertem Mischwald. Die Meilerplattform hat einen Durchmesser von 18,5 m, die dendrochronologische Untersuchung von aus der Grabenfüllung entnommenen Kohlestücken (K.-U. Heußner, DAI Berlin, Labornr. C87058 bis C87068) zeigt, dass im Meiler Holz von im Zeitraum zwischen 1729 und 1736 AD gefällten Kiefern verkohlt wurde.

Der ungestörte Waldboden außerhalb der Meilerplattform (Profil 1, Abb. 3 c, d) ist als Braunerde ausgebildet, eine sehr schwache, beginnende Podsolierung zeigt sich nur in den obersten Zentimetern des Bodenprofils. Im ca. 13 cm

mächtigen Ah-Horizont finden sich vereinzelt Holzkohlestücke > 2mm, die vermutlich von der Meilerplattform aus nach Beenden des Meilerbetriebs dorthin verlagert wurden. Die Textur ist, wie auch in allen weiteren am Standort untersuchten Profilen, sandig; Mittelsand dominiert. Im Bodenprofil im zentralen Bereich der Meilerplattform (Profil 3, Abb. 3 c, d) ist der natürlich entwickelte Boden von einer 28 cm mächtigen, dunkelgrauen und kohlereichen technogenen Substratschicht überdeckt. Diese „Meilerschicht“ ist stark durchwurzelt, besonders im untersten Dezimeter wurde eine hohe Dichte an Feinwurzeln beobachtet. Anzeichen auf eine Kappung des unterliegenden Bodenprofils, wie sie häufig für Meilerstellen in anderen Regionen beschrieben wird, liegen nicht vor – die Mächtigkeit des fAh-Horizonts ist ähnlich der des Ah-Horizonts im Referenzprofil, in den obersten Zentimetern des fAh-Horizonts sind zudem auch Anzeichen einer beginnenden Podsolierung zu erkennen. Diese Befunde decken sich gut mit denen von anderen Meilerstellen im Gebiet (Hirsch et al., 2018), für das Holzkohleproduktionsgebiet um Peitz ist also eine Kappung der unterliegenden Böden an Meilerplätzen nicht charakteristisch, und die auf der Meilerstelle verbleibende technogene Substratschicht hat meist Mächtigkeiten zwischen 20 und 40 cm.

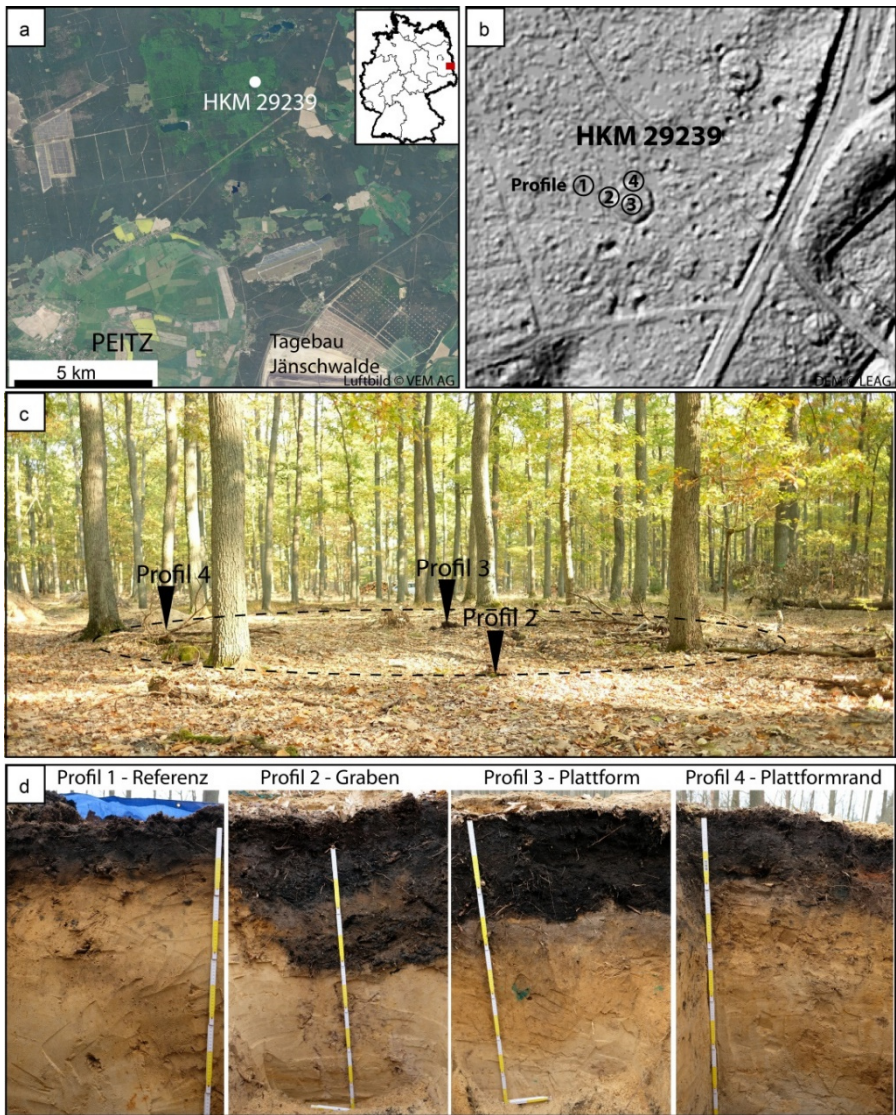


Abbildung 3: Lage des hier vorgestellten HKM29239 im Tauerischen Forst, nordöstlich des Kleinsees (a), der HKM in der Schummerungskarte (b) und im Geländebefund (c) sowie Position und Fotos der untersuchten Profile (b, c und d).

Das im Randbereich der Meilerplattform angelegte Profil (Profil 4, Abb. 3 c,d) zeigt einen ähnlichen Aufbau, die kohlereiche technogene Schicht ist hier allerdings nur 19 cm mächtig, enthält weniger grobe Kohlestücke und ist schlierenartig mit mineralischem Substrat durchsetzt. Die Unterschiede im Profilaufbau sprechen dafür, dass Profil 3 im Bereich der Aufstandsfläche des ehemaligen Meilers, Profil 4 hingegen außerhalb dieser Fläche liegt. Ein ca. 1,5 m breiter, ringförmig zwischen dem eigentlichen Meiler und dem Graben verlaufender „Arbeitsbereich“ wurde in den archäologischen Grabungen im Tagebauvorfeld Jänschwalde vielfach festgestellt. Das im umlaufenden Meilergraben angelegte Profil (Profil 2, Abb. 3 c,d) zeigt einen ursprünglich bis in eine Tiefe von ca. 50 cm in den Boden eingeschnittenen Graben, der in mehreren Schichten beinahe vollständig verfüllt ist. An der ursprünglichen Grabensohle liegt zunächst eine sehr lockere, von großen Kohlebrocken dominierte Schicht, darauf folgt sandiges Substrat mit nur wenigen Holzkohlefragmenten, zuoberst liegt wiederum eine Schicht mit höherem Anteil an Kohlestücken. Form, Tiefe und die beschriebene Mehrschichtigkeit der Grabenverfüllung wurden ähnlich auch an anderen untersuchten Standorten vor allem im Tagebauvorfeld Jänschwalde beobachtet. Im Grabenprofil zeigt sich, noch deutlicher als in Profil 3, eine starke Konzentration der Durchwurzelung auf das Substrat der Grabenfüllung, die Durchwurzelung im angrenzenden mineralischen Substrat ist dagegen sehr gering.

Obwohl die grauschwarze Färbung der „Meilerschicht“ und der Grabenfüllung einen sehr hohen Gehalt an (pyrogener) organischer Substanz nahelegt, ist die Zusammensetzung des technogenen Substrats (Tab. 1) von mineralischem Material dominiert. In den obersten Dezimetern von Meilerschicht und Grabenfüllung beträgt der Anteil grober Kohlestücke (> 2mm) am Gesamtgewicht ca. 5 %, der durch Glühverlust bestimmte Anteil an (pyrogener und pedogener) organischer Substanz an der Fraktion < 2mm liegt bei ca. 13 %. Im zentralen Bereich der Meilerplattform zeigte sich schon im Geländebefund in den untersten Zentimetern der Meilerschicht eine starke Konzentration von Kohlestücken, die Analyse der Bodenproben bestätigt deutlich höhere Anteile an Kohlefragmenten in diesem Bereich. Im Profil im Randbereich der Meilerplattform ist sowohl der Anteil großer Kohlestücke als auch der Anteil organischer Substanz < 2 mm im Vergleich zum Ah-Horizont des Referenzprofils nur geringfügig höher. Für den unter der Meilerschicht begrabenen fAh-Horizont zeigt der geringe Glühverlust im Vergleich zum Ah-Horizont des Referenzprofils geringere Gehalte an organischer Substanz an. Da der Feldbefund nicht auf eine Kappung

dieses Horizonts hinweist, sind ein Verglühen der organischen Substanz während des Meilerbetriebs und eine verringerte Zufuhr von organischer Substanz nach der Überdeckung die wahrscheinlichsten Gründe für diesen Unterschied. Untersuchungen an anderen HKM in der Region zeigen ähnliche Unterschiede zwischen den Kohlenstoffgehalten von Meilerschicht, fossilisiertem Ah-Horizont und unbeeinflussten Ah-Horizonten, allerdings meist etwas geringere Gehalte an organischer Substanz bzw. Kohlenstoff (Hirsch et al., 2018; Bonhage et al., 2018). Hinsichtlich der pH-Werte (Tab. 1) zeigt sich am hier vorgestellten Standort, wie auch an anderen HKM in der Region, keine Unterschiede zwischen dem Meilerstandort und dem unbeeinflussten Waldboden. Die Korngrößenverteilung in der Meilerschicht zeigt im Vergleich zum Ah-Horizont des Referenzprofils höhere Sand- und geringere Tonanteile, diese auch bei Hirsch et al. (2018) beschriebene Abweichung lässt sich mit der Verwendung von aus größeren Tiefen (Bv- und Cv-Horizonte) entnommenem Substrat zur Abdeckung des Meilers erklären. Im Substrat der Grabenfüllung und im Randbereich der Meilerplattform ist ein solcher Unterschied allerdings nicht zu erkennen.

Tabelle 1: Bodeneigenschaften am HKM 29239, Waldschule Kleinsee.

Profil / Horizont	Tiefe [cm]	Sand [%]	Schluff [%]	Ton [%]	pH in CaCl ₂	Kohlestücke >2 mm [% des Gesamtgewichts]	LOI <2 mm [%]
Referenzprofil außerhalb der Meilerplattform (Profil 1)							
Ah	0-4	86.2	11.0	2.8	3.1	0.3	6.4
Ah	4-8	89.8	7.1	3.1	3.2	0.2	4.4
Bv-Ah	8-15	92.3	4.9	2.8	3.6	0	1.9
Ah-Bv	15-22	93.6	4.4	2.1	4.3	0	1.1
Ah-Bv	22-32	94.0	4.8	1.3	4.3	0	0.7
Bv	32-42	95.7	3.3	1.0	4.4	0	0.4
Bv	42-52	94.7	4.0	1.3	4.3	0	0.3
Bv	52-59	95.7	3.6	0.8	4.2	0	0.3
Bv	59-69	95.4	3.6	1.0	4.4	0	0.3
Cv+rGo	69-79	95.7	3.5	0.8	4.3	0	0.2
Cv+rGo	79-89	96.2	2.8	1.0	4.3	0	0.2
Cv+rGo	89-99	94.7	4.3	1.0	4.2	0	0.2
Meilergraben (Profil 2)							
Grabenfüllung	0-17	88.9	8.2	2.8	2.8	5.2	13.0
Grabenfüllung	17-30	89.9	7.6	2.5	4.0	0.3	2.1
Grabenfüllung	30-44	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.
II fBv	44-64	97.5	1.8	0.8	4.2	0	0.2
Meilerplattform (Profil 3)							
Meilerschicht	6-20	94.4	4.3	1.3	3.0	5.1	13.1
Meilerschicht	20-28	93.4	4.6	2.0	3.5	29.3	32.8
II fAh	28-43	91.5	5.9	2.6	4.0	0	2.0
II fBv-Ah	43-56	92.1	5.4	2.6	4.2	0	0.9
II fBv	56-69	91.6	6.4	2.0	4.1	0	0.7
Randbereich der Meilerplattform (Profil 4)							
Meilerschicht	0-8	86.1	10.4	3.5	2.9	1.1	7.7
Meilerschicht	8-16	92.1	5.3	2.5	3.3	0.8	4.7
Meilerschicht	16-19	90.1	6.9	3.0	3.7	0.2	2.7
II fAh	19-29	90.0	7.2	2.8	4.0	0	1.5
II fBv-Ah	29-55	91.8	6.1	2.0	4.2	0	0.8
II fBv	55-94	93.6	4.6	1.8	4.2	0	0.4

Die Lagerungsdichte (Abb. 4) zeigt in allen untersuchten Horizonten eine hohe räumliche Variation, im Ah-Horizont des Referenzprofils ist diese Heterogenität noch höher als im technogenen Substrat des Meilerstandorts. Im Mittel ist die Dichte des technogenen Substrats, wie durch die Beimengung der sehr porösen Kohlefragmente zu erwarten, geringer als die des unbeeinflussten Oberbodens, die geringsten Lagerungsdichten wurden in den kohlereichen Schichten der Grabenfüllung und im Randbereich der Meilerplattform festgestellt. Wie auch für andere Standorte beschrieben (Schneider et al., 2018) weisen die Lagerungsdichten im fAh-Horizont der Profile im zentralen und im

Randbereich der Meilerplattform auf eine geringfügige Verdichtung des begrabenen Bodens (vermutlich durch die Auflast des Meilers und die Bearbeitung des Standorts) hin, signifikante Unterschiede sind aufgrund der hohen Variation der Werte allerdings nicht auszumachen.

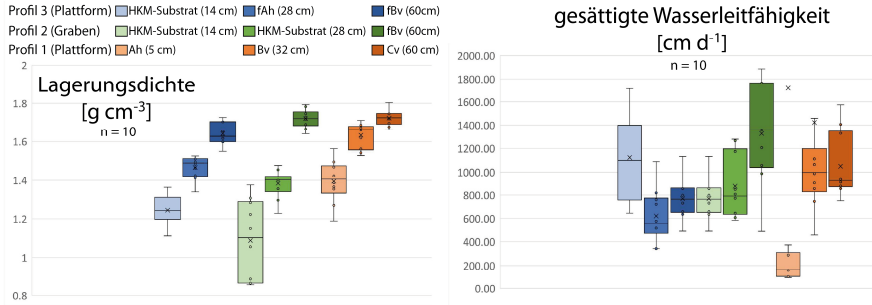


Abbildung 4: Lagerungsdichte und gesättigte Wasserleitfähigkeit von ungestörten Bodenproben aus Horizonten der Profile 1,2 und 3 bei HKM29239. Die Tiefenangabe bezeichnet die Oberkante der ca. 4 cm hohen Stechzylinder.

Verbunden mit der geringen Lagerungsdichte und somit hohen Porosität des technogenen Substrats ist auch die gesättigte Wasserleitfähigkeit (Abb. 4) innerhalb der Meilerschicht sehr hoch, allerdings treten auch in allen untersuchten Horizonten der unbeeinflussten Böden sehr hohe gesättigte Wasserleitfähigkeiten auf. Die Farbtracerversuche zur Visualisierung der Fließwege des infiltrierenden Wassers zeigten für alle untersuchten Profile, wie für das sandige Substrat zu erwarten, relativ starken präferentiellen Fluss. Am hier beschriebenen Standort war die Konzentration des infiltrierenden Wassers auf wenige Fließwege im Ah-Horizont des Referenzprofils am auffälligsten, die technologische Schicht des Meilerstandorts schien dagegen relativ großflächig durch das infiltrierende Wasser befeuchtet. Versuche an weiteren HKM im Tagebauvorfeld Jänschwalde (Schneider et al., 2018) ergaben allerdings ein gegensätzliches Bild, mit deutlich stärkerem präferentiellen Fluss durch die kohlereiche Schicht und somit Befeuchtung von geringeren Flächenanteilen des Bodenprofils an den Meilerstandorten. Da die Versuche am Standort Waldschule bei relativ hoher Bodenfeuchte im Frühjahr, die übrigen Versuche aber bei deutlich trockeneren Bodenbedingungen im Herbst durchgeführt wurden, ist ein Einfluss der Bodenfeuchte vor einem Infiltrationsereignis auf die Infiltrationsmuster anzunehmen. Messungen zur Hydrophobizität des Substrats deuten außer-

dem darauf hin, dass die sich während längerer Trockenphasen aufbauende Benetzungshemmung die Infiltrationsmuster beeinflusst: Für die aus trockenem Boden entnommenen Proben wurde eine sehr hohe Hydrophobizität im HKM-Substrat festgestellt, während die aus feuchtem Boden entnommen Proben vom Standort Waldschule kaum Benetzungshemmung zeigten. Dieser Effekt tritt auf, obwohl die Messungen für alle Substrate an der lufttrockenen Oberfläche ungestörter Proben vorgenommen wurden. Insgesamt zeigen die Ergebnisse der Farbtracerversuche, dass die Infiltration auf Meilerböden sehr stark räumlich und auch zeitlich variiert – bei trockenen Bedingungen wurden durch starken präferentiellen Fluss häufig nur geringe Teile der Profilfläche befeuchtet, während bei feuchten Bedingungen weitaus größere Bereiche des technologischen Substrats vom infiltrierenden Wasser erreicht wurden. Dieser Effekt muss in der Interpretation von Feuchtemessungen und Wasserretentionsvermögen der Meilerböden berücksichtigt werden: Da bei starkem präferentiellem Fluss nur Flächen- bzw. Volumenanteile des Bodenprofils befeuchtet werden, wird unter Umständen selbst bei einem hohen Wasserretentionsvermögen des Bodens nur wenig Wasser im Profil gespeichert.

Die hohe Porosität der „Meilerschicht“ lässt zunächst ein hohes Potential dieser Böden zur Aufnahme und Speicherung von Niederschlagswasser vermuten. Allerdings ist zu bedenken, dass große Anteile des Gesamtporenvolumens der sehr heterogenen Schicht durch schnell dränende, grobe Poren (zwischen großen Holzkohlestücken und der Bodenmatrix) und auch durch die unter Feldbedingungen kaum befeuchteten sehr feinen Poren innerhalb von Kohlestücken gebildet werden können. Auf hohe Gehalte an pflanzenverfügbarem Wasser kann daher aus der lockeren Lagerung nicht zwingend geschlossen werden. Die ersten Ergebnisse von Messungen zur Wasserretention und Porengrößenverteilung in den Bodenprofilen am HKM 29239 belegen dies: Obwohl die Meilerschicht in Profil 1 im Vergleich zum Ah-Horizont des Referenzprofils deutlich lockerer gelagert ist, wurden im Labor auch nach langer Aufsättigung nur ca. 45 % des Volumens der ungestörten Proben (und damit nicht mehr als im Ah-Horizont des Referenzprofils) mit Wasser gefüllt. Der Wassergehalt in der Meilerschicht nimmt außerdem mit zunehmendem Unterdruck sehr schnell ab und ist schon bei sehr schwachem Unterdruck (30 hPa) mit nur 32 % geringer als im Ah-Horizont des Referenzprofils mit noch 39 %. Insgesamt ist die Menge des pflanzenverfügbar gespeicherten Wassers (bzw. der nutzbaren Feldkapazität, bestimmt aus der Differenz der Wassergehalte zwischen pF 1,8 und pF 4,2) da-

mit in der Meilerschicht geringer (ca. 22 Vol%) als im Ah-Horizont des unbeeinflussten Waldbodens (ca. 30 Vol%). Die Wasserretention im Substrat der Grabenfüllung ähnelt der in der Meilerschicht. Inwieweit diese Ergebnisse auf andere HKM übertragbar sind ist bisher allerdings noch unklar – durch die sehr heterogene Struktur des HKM-Substrats ist von einer starken Heterogenität der Porengrößenverteilung auch zwischen Standorten auszugehen, außerdem können schon geringe Belastungen der lockeren Schicht nach Aufgabe des Meilerplatzes Porenvolumen und -größenverteilung deutlich verändern.

Tabelle 2: Monatsmittelwerte der Bodenfeuchte und -temperatur für das Referenzprofil (Profil 1) und das Bodenprofil auf der HKM-Plattform (Profil 3) in 15 cm und 80 cm Tiefe.

Tiefe [cm]		15 cm		80 cm		15 cm		80 cm	
Profil		Referenz	HKM	Referenz	HKM	Referenz	HKM	Referenz	HKM
		Bodenwassergehalt [Vol%]				Bodentemperatur [°C]			
2017	Mai	13.6	19.7	4.5	7.4	12.1	12.8	9.7	9.6
	Juni	12.5	17.4	3.8	6.6	15.5	15.8	13.1	12.8
	Juli	15.6	22.7	5.1	8.5	16.7	16.9	14.7	14.4
	August	12.6	20.2	4.2	7.1	17.3	17.5	15.9	15.6
	September	10.7	19.2	3.9	6.4	13.7	13.7	14.0	14.1
	Oktober	14.1	28.5	3.6	7.3	11.7	11.6	12.4	12.5
	November	16.5	26.2	5.6	9.7	7.4	6.8	9.4	9.7
	Dezember	17.0	26.8	6	10	4.0	3.4	6.2	6.5
2018	Januar	17.4	27.1	6	10	3.3	3.0	4.8	5.2
	Februar	15.4	21.7	5.5	9.1	1.3	1.0	3.6	4.1
	März	14.4	17.3	5.5	8.9	0.7	0.4	2.2	2.6
	April	16.3	22.6	5.8	9.4	10.0	10.6	7.2	7.1

Im Gegensatz zu diesen Laborbefunden zeigen die Ergebnisse des Bodenfeuchtemonitorings für das HKM-Substrat fast über das gesamte Jahr hinweg höhere Bodenwassergehalte als für den Ah-Horizont des Waldbodens (Tab. 2), zugleich sind die im Meilerprofil gemessenen Wasserspannungen geringer. Auch diese Abweichung zwischen Labor- und Monitoringbefund kann bislang, ohne unterstützende Daten von weiteren Standorten, noch nicht erklärt werden. Am höchsten sind die gemessenen Wassergehalte im Profil im Meilergraben, dies ist evtl. auch durch die tiefere Position der Bodenoberfläche bedingt. In allen Profilen reagieren die gemessenen Wassergehalte im obersten instrumentierten Horizont ähnlich schnell auf Niederschlagsereignisse, während längerer Trockenperioden im Frühjahr und Sommer nimmt der in der Meilerschicht gemessene Wassergehalt stärker ab als der des Ah-Horizonts im Referenzprofil.

Diese stärkere Austrocknung steht evtl. in Zusammenhang mit der hohen Durchwurzelungsdichte der Meilerschicht.

Weitere, möglicherweise für mikrobielle oder pflanzenphysiologische Prozesse relevante Unterschiede zwischen HKM- und Referenzprofil zeigen sich im Monitoring der Bodentemperaturen (Tab. 2). In einer Tiefe von 15 cm wurden innerhalb des HKM-Substrats sowohl eine stärkere Erwärmung als auch eine stärkere Abkühlung, also insgesamt eine höhere Temperaturamplitude aufgezeichnet. In 80 cm Tiefe tritt jedoch ein umgekehrter Effekt auf, hier werden Schwankungen der Lufttemperatur im HKM-Profil stärker abgeschwächt. Diese stärkere Dämpfung der Temperaturamplituden ist durch die geringe Wärmeleitfähigkeit und somit „isolierende“ Wirkung des locker gelagerten HKM-Substrats begründet (Schneider et al. 2019), die größeren Amplituden innerhalb des Substrats sind auf Basis der vorliegenden Befunde allerdings noch nicht vollständig zu erklären.

4. Zusammenfassende Bewertung der Bodeneigenschaften

Insgesamt zeigt sich, dass Veränderungen der Bodeneigenschaften durch die Relikte der Köhlerei in vielen Waldflächen Brandenburgs auftreten und teils erhebliche Teile der Bodenoberfläche betreffen. An den ehemaligen Meilerstandorten ist die Stratigraphie des Bodens deutlich durch die den natürlich entwickelten Waldboden überlagernde, kohlereiche „Meilerschicht“ verändert, diese technogenen Substratschichten sind auch nach mehreren Jahrhunderten noch deutlich von der Umgebung und vom unterliegenden Bodenprofil abgegrenzt erhalten. Prägendste Merkmale der „Meilerböden“ sind ihr stark erhöhter Kohlenstoffgehalt und ihre sehr geringe Lagerungsdichte. Hinsichtlich der pH-Werte zeigen sich keine Unterschiede zu den unbeeinflussten Waldböden. Die geringe Lagerungsdichte geht mit extrem hoher gesättigter Wasserleitfähigkeit einher, die allerdings aufgrund der ebenfalls sehr hohen Werte in den unbeeinflussten Waldböden kaum von standortkundlicher Relevanz ist. Stark ausgeprägter und im Jahresverlauf variierender präferentieller Fluss kann besonders nach Trockenperioden eine schnelle Ableitung von infiltrierendem Wasser entlang weniger Fließwege in tiefere Bodenschichten bewirken. In Bezug auf das für Pflanzen verfügbare Wasser zeigen die bisherigen Ergebnisse kein eindeutiges Bild - der Porenraum der technogenen Substratschichten ist zwar sehr hoch, dies scheint aber zu großen Teilen durch (schnell dränende) grobe Poren und die (vom infiltrierenden Wasser kaum erreichten) internen Poren von Koh-

lefragmenten bedingt zu sein. Die Bodentemperatur innerhalb des HKM-Substrats schwankt im Vergleich zum Ah-Horizont des Waldbodens stärker, der oberste Bereich des Bodens erwärmt sich damit im Frühjahr schneller und stärker und kühlt im Herbst schneller und stärker aus. In tieferen Bereichen waren am hier untersuchten Standort hingegen die Bodentemperaturen im Sommer niedriger, im Winter höher. Die Temperaturunterschiede zwischen HKM und umliegenden Böden sind (auch wegen der insgesamt geringen Schwankungen der Bodentemperatur unter Wald) gering, ob sie sich auf mikrobielle oder pflanzenphysiologische Prozesse auswirken ist noch unklar.

Zu beachten ist in der Interpretation aller vorgestellten Bodenparameter, dass stets relative, also auf ein bestimmtes Bodengewicht oder Bodenvolumen bezogene Werte gemessen und verglichen werden. Aufgrund der im Vergleich zu den unbeeinflussten Waldböden auf den HKM sehr hohen Mächtigkeit der Oberböden (also HKM-Substrat und fAh mit insgesamt ca. 40 cm Mächtigkeit, im Vergleich zum Ah der Referenzböden mit ca. 10 bis 15 cm Mächtigkeit) können aber die absoluten Gehalte an pflanzenverfügbarem Wasser und auch an Nährstoffen auf den HKM auch bei geringen Unterschieden in den relativen Werten deutlich höher sein. Die festgestellten Unterschiede zwischen HKM- und unbeeinflussten Böden auf sandigem Substrat können somit als überwiegend (schwach) positiv eingestuft werden. Inwieweit aber noch weitere, hier nicht untersuchte Bodenparameter die Standorteigenschaften beeinflussen und ob sich die geringen Unterschiede in den Bodeneigenschaften tatsächlich merklich auf biologische Prozesse auswirken ist noch unklar, hier besteht vor allem in Bezug auf Wechselwirkungen zwischen Bodeneigenschaften, mikrobiellen Prozessen und dem Pflanzenwachstum noch erheblicher Forschungsbedarf.

5. Literatur

- Ad-hoc-AG Boden. 2005. Bodenkundliche Kartieranleitung, Hannover.
- Bonhage, A., F. Hirsch, A. Schneider, A. Raab, and T. Raab. 2018. Multiproxy analysis of a relict charcoal hearth field in Brandenburg (Germany). *Geophysical Research Abstracts* 20:EGU2018-7065.
- Bratring, F.W.A. 1804-1809. Statistisch-Topographische Beschreibung der gesamten Mark Brandenburg.
- Büsching, A.F. 1775. Vollständige Topographie der Mark Brandenburg.
- Cramer, H. 1872. Beiträge zur Geschichte des Bergbaues in der Provinz Brandenburg.
- Dekker, L.W., and P.D. Jungerius. 1990. Water repellency in the dunes with special reference to The Netherlands. *Catena, Supplement*(18):173–183.
- Devereux, B.J., G.S. Amable, and P. Crow. 2008. Visualisation of LiDAR terrain models for archaeological feature detection. *Antiquity* 82(316):470–479.
- Hartge, R., and R. Horn. 2009. Die physikalische Untersuchung von Böden. Praxis Messmethoden Auswertung. Schweizerbart Verlag, Stuttgart.
- Hirsch, F., A. Schneider, A. Bauriegel, A. Raab, and T. Raab. 2018. Formation, Classification, and Properties of Soils at Two Relict Charcoal Hearth Sites in Brandenburg, Germany. *Frontiers in Environmental Science* 6:94. doi:10.3389/fenvs.2018.00094.
- Raab, A., A. Bonhage, A. Schneider, T. Raab, H. Rösler, K-U. Heußner, and F. Hirsch. 2017. Spatial distribution of relict charcoal hearths in the former royal forest district Tauer (SE Brandenburg, Germany). *Quaternary International*. doi:10.1016/j.quaint.2017.07.022.
- Raab, A., M. Takla, T. Raab, A. Nicolay, A. Schneider, H. Rösler, K.U. Heußner, and E. Bönisch. 2015. Pre-industrial charcoal production in Lower Lusatia (Brandenburg, Germany): Detection and evaluation of a large charcoal-burning field by combining archaeological studies, GIS-based analyses of shaded-relief maps and dendrochronological age determination. *Quaternary International* 367(0):111–122. doi:10.1016/j.quaint.2014.09.041.

- Rösler, H., E. Bönisch, F. Schopper, T. Raab, and A. Raab. 2012. Pre-industrial charcoal production in southern Brandenburg and its impact on the environment. p. 167–178. In S. Kluiving and E. Guttman-Bond (eds.) *Landscape Archaeology between Art and Science*. Amsterdam University Press, Amsterdam.
- Schneider, A., F. Hirsch, A. Raab, and T. Raab. 2018. Dye Tracer Visualization of Infiltration Patterns in Soils on Relict Charcoal Hearths. *Frontiers in Environmental Science* 6:143. doi:10.3389/fenvs.2018.00143.
- Schneider, A., F. Hirsch, A. Raab, and T. Raab. 2019. The temperature regime of a charcoal-enriched land use legacy soil. *Soil Science Society of America Journal*. doi: 10.2136/sssaj2018.12.0483
- Schneider, A., M. Takla, A. Nicolay, A. Raab, and T. Raab. 2015. A Template-matching Approach Combining Morphometric Variables for Automated Mapping of Charcoal Kiln Sites. *Archaeological Prospection* 22(1):45–62. doi:10.1002/arp.1497.

Meilerrelikte als Teil der archäologischen Kulturlandschaft im östlichen Harz

A. Swieder

Der größtenteils von Fichten- und Buchenwäldern bedeckte Ostharz ist eine Region mit großem historischem Potential. Sie birgt noch heute zahlreiche Bodendenkmale und Kulturlandschaftselemente, die sich im schützenden Wald obertäglich erhalten haben. Diese lassen sich mit Hilfe digitaler Geländedaten, die durch eine lasergestützte Erfassung der Erdoberfläche generiert wurden, visualisieren. Neben Überresten des Bergbaus können so auch Wüstungen, alte Äcker und Wegeverbindungen, Burgen und Erdwerke oder Meilerstellen sichtbar gemacht werden. Sie lassen sich nicht nur lagegenau verorten, sondern auch zerstörungsfrei in ihrer exakten Ausdehnung dokumentieren. Die ältesten Kulturlandschaftsrelikte sind an den Harzrändern zu finden, da diese Bereiche zuerst genutzt und erschlossen wurden. Grundsätzlich lassen sich jedoch verschiedenste Befundkategorien mit unterschiedlichsten Zeitstellungen über das gesamte Gebiet verbreitet nachweisen.

Methode

Die gängigen Methoden der Archäologie stoßen bei der Dokumentation solcher Bodenstrukturen schnell an ihre Grenzen. Die Luftbildarchäologie bietet auf beackerten Flächen sehr gute Ergebnisse, aber unter Wald ist sie meist nur wenig aussagekräftig (weiterführend vgl. Schwarz 2003). Auch Begehungen vor Ort oder Ausgrabungen sind aufgrund der enorm großen Anzahl von Fundstellen nur exemplarisch zu realisieren.

Eine erst seit wenigen Jahren angewandte Methode zur Erfassung noch obertäglich erhaltener Bodendenkmale – vor allem unter Bewuchs – ist das LiDAR (Light Detection and Ranging) bzw. ALS (Airborne Laser Scanning). Diese Geländeaufnahme basiert auf der Aussendung gepulster Laserstrahlen von einem Flugzeug, Helikopter oder einer Drohne aus. Die Laserstrahlen werden von Erdboden, Vegetation und Bebauung reflektiert. Aus den gemessenen Daten kann nach Eliminierung des Bewuchses und der Bebauung durch rechnerische Verfahren ein DGM (digitales Geländemodell) berechnet werden. Dieses ist auf ein Abbild der reinen Geländeoberfläche reduziert (Bofinger u. a. 2007; Sittler u. a. 2015). Verschiedene Visualisierungsverfahren, wie zum Beispiel das „shaded

relief“ (Schummerungsmodell), können dann zur Darstellung von Gelände-merkmalen angewandt werden.

Die für den vorliegenden Beitrag genutzten Daten wurden vom Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt (LVermGeo) erhoben und dem Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt (LDA) im Jahr 2010 zur Verfügung gestellt (vgl. Swieder 2014; Swieder 2016; Swieder 2017). Sie entstammen Laserbefliegungen des Landesbetriebs für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW) zusammen mit dem LVermGeo, welche durch die Firmen TOPOSYS und BSF durchgeführt wurden (Tab. 1). Die Ausgabe der Daten erfolgte als .xyz-Dateien, aus denen ein DGM mit einer Rasterauflösung von 1 m x 1 m berechnet werden konnte. Es können damit auch geringste Höhenunterschiede dargestellt werden. Die Genauigkeit beträgt dabei in ebenem und unbebautem Gelände ca. ± 15 cm und in stark re- liefiertem Gelände mit dichter Vegetation ca. ± 30 cm¹.

Tabelle 1: Die Parameter der LiDAR-Befliegungen des Ostharzes. Die unterschiedlichen Werte ergeben sich aus der Verwendung verschiedener Laserscansysteme zweier Firmen in mehreren Befliegungskampagnen.

Flugparameter	Wert
Mittlere Flughöhe	600 / 700 / 850 m ü. NN
Scanfrequenz	50 Hz
Impulsfrequenz	100 / 125 Hz
Punktabstand	3 pkt/m ²
Fluggeschwindigkeit	220 / 232 km/h
Streifenbreite	482 / 586 m
Überdeckung	59 / 87 / 123 m

¹ Diese Daten entstammen dem Vortrag „Aktualisierung des digitalen Geländemodells von Sachsen-Anhalt“ von O. Wießner (LVermGeo) im Rahmen eines Fachkolloquiums zum Thema „Nutzung von Laserscanhöhendaten für angewandte umwelt- und geowissenschaftliche Fragen in Sachsen-Anhalt“ am 27. Februar 2014 in Halle (Saale).

Die „Primärerfassung“ geschieht über das DGM, indem in einem geografischen Informationssystem (GIS) jede einzelne erkennbare Struktur als Polygon vektorisiert wird. Um die Interpretation der Strukturen abzusichern und die Zusammenhänge auswerten zu können, werden auch Orthofotos und Schrägluftaufnahmen, historische und topografische Karten, Informationen aus historischen Text- und Bildquellen, bekannte Lesefunde und Ergebnisse von Ausgrabungen sowie eigene Geländebegehungen im Rahmen der Bearbeitung herangezogen.

Arbeitsgebiet

Das untersuchte Gebiet umfasst auf einer Fläche von etwa 1500 km² den gesamten Ostharz. Diese Region erstreckt sich im Westen von der Landesgrenze zu Niedersachsen und Thüringen bis zur Mansfelder Gegend im Osten sowie im Norden von der Linie Ilsenburg–Ballenstedt bis an die Sangerhäuser Mulde im Süden (Abb. 1). Sie ist stark reliefiert und in sich in verschiedene Landschaftseinheiten gegliedert: im Westen der Hochharz mit der Gegend um den Brocken; weiter östlich der Mittelharz, der sich vor allem im Bereich der Flüsse Ilse, Kalte und Warme Bode erstreckt; und ganz im Osten der Unterharz vor allem um die Selke und die Wipper.

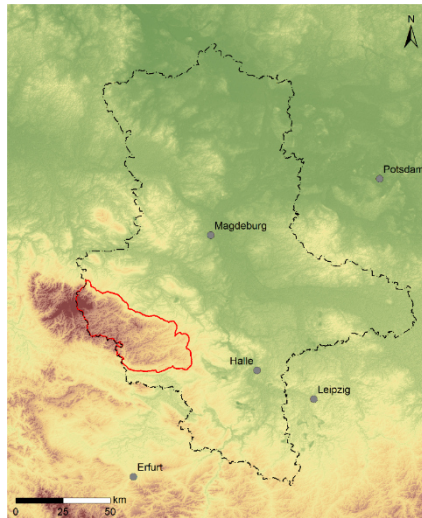


Abbildung 1: Sachsen-Anhalt mit dem Arbeitsgebiet des östlichen Harzes (rot) (Kartengrundlage: GTOPO30/SRTM mit frdl. Genehmigung des U.S. Geological Survey (GSGS), der National Aeronautics and Space Administration (NASA) und der National Geospatial-Intelligence Agency (NGA), public domain).

Der östliche Harz ist größtenteils noch heute von dichten Wäldern bedeckt. Etwa 65 % liegen unter Wald; für das gesamte Land Sachsen-Anhalt sind es lediglich ca. 23 %. Diese ausgedehnten Waldflächen bergen tausende Kulturlandschaftsrelikte, die noch obertägig erhalten sind. Einige von ihnen sind bereits bekannt, aber die allermeisten bisher gänzlich unbekannt. Aufgrund dieser hohen Dichte von Bodendenkmalen in unseren Wäldern können sie als kulturgeschichtliche Archive der Gesellschaft verstanden werden. Das Selketal bildet vor diesem Hintergrund eine der historischen Kernregionen im Arbeitsgebiet.

Grundlegendes zu Köhlerei und Meileraufbau

Um die gewünschten Metalle von der Gangart in den Erzen zu isolieren, mussten in den Verhüttungsöfen je nach Metall unterschiedlich hohe Schmelztemperaturen erreicht werden. Im Falle von Kupfer wird erst bei Temperaturen ab ca. 1085 °C das Metall aus dem Erz herausgeschmolzen. Die Verhüttung von Eisen unterscheidet sich dadurch, dass die benötigte Schmelztemperatur des Eisens (ca. 1538 °C) verfahrensbedingt (vor der frühen Neuzeit) nicht erreicht werden konnte und somit nicht das Metall, sondern das taube Gestein in Form von Schlacken herausgeschmolzen wurde. Die zurückbleibende eisenreiche Luppe musste dann ausgeschmiedet werden, um nutzbares Schmiedeeisen zu gewinnen (Kriete 2016, 269; vgl. auch Neukirchen 2016, 15–17). Für diese Prozesse wurde Holzkohle benötigt, die vor der Nutzung von Steinkohlenkoks lange Zeit das einzige Reduktionsmittel und der einzige Brennstoff, der die benötigten Temperaturen erreichte, war. Um sie in großen Mengen herzustellen, nahm unter „den forstlichen technischen Gewerben [...] unstreitig die Köhlerei [...] den ersten Platz ein“ (Zimmermann 1834, 295) und der Harzwald bildete somit „den mächtigsten Hebel der harzer Industrie“ (Zimmermann 1834, 279).

Holzkohle ist grundsätzlich auf vier Arten herstellbar: in offener Verkohlungs-, im Grubenmeiler, im stehenden (bzw. liegenden) Meiler und über die Retortenverkohlungs-. Bei der Meilerverkohlungs- werden also Gruben- und stehende Meiler unterschieden. Der Grubenmeiler wurde seit der Eisenzeit und bis in das Hochmittelalter oder sogar in die frühe Neuzeit hinein genutzt. Er hat aber eine eher geringe Effektivität. Der stehende Meiler hat demgegenüber eine höhere Wirkungskraft bei der Verkohlungs- und wurde bereits in der Antike genutzt. Sein Standort ist meist an einen Zugang zum Wasser für das Ablöschen und eine windgeschützte Lage gebunden, um ein unkontrolliertes Abbrennen des Meilers zu verhindern. Wegen des geringeren Transportgewichtes ist eher von ei-

nem Holzkohletransport zum Endverbraucher als von einem Kohlholztransport zur Meilerstelle auszugehen (Paysen 2009, 99–105). Dem stehenden Meiler sehr ähnlich ist der liegende Meiler.

Formentypologisch sind im Gelände verschiedene Arten stehender Meiler zu unterscheiden: Hangmeilerplätze, Podestmeilerplätze und Ringmeilerplätze. Eine podestförmige Erhöhung war insbesondere an feuchten Standorten wichtig, damit der Kohlplatz trocken blieb (Heuser-Hildebrandt 2002, 307), offensichtlich aber auch bei sehr trockenen Standorten, wo durch einen kreisförmig umlaufenden Graben ein mögliches Übergreifen des Feuers auf die Umgebung verhindert wurde (vgl. für Brandenburg z. B. Raab u. a. 2015, 112). Die Ringmeilerplätze mit einem runden Außenwall sind neben den Hangmeilern im Harz besonders häufig anzutreffen.

Der Aufbau eines stehenden Meilers geschieht dergestalt, dass zuerst die Anlage einer Kohlplatte erfolgt, auf der vor der Aufschichtung des eigentlichen Meilers ggf. ein Rost konstruiert wird (für einen gleichmäßigen Luftzug unter dem Meiler). Dann errichtet man den zentralen Feuerschacht (Quandel) zum späteren Anzünden des Meilers. Das zu verkohlende Holz wird konzentrisch in zwei bis drei Stockwerken um den Quandelschacht herum gestapelt (Abb. 2). Selten wird aus statischen Gründen dabei eine Höhe über 3 m erreicht. Der Meiler wird dann mit einem Gründach aus Nadelholzzweigen, Moos, Farnkraut, Reisig oder Stroh und einem Erddach aus Grassoden sowie der Stübbe (holzkohle- und aschehaltige Erde von vorangegangenen Meilerbränden) abgedeckt. Diese Meilerabdeckung verhindert, dass zu viel Sauerstoff in das Innere des Meilers vordringen kann, sodass keine vollständige Verbrennung des Holzes stattfindet. Nach dem Anzünden des Quandels kann der Meiler dann kontrolliert verkohlen (Paysen 2009, 103 f.).

Nach der Verkohlung wird der Meiler abgedeckt und die Stübbe offenbar kreisförmig um den Meiler herum deponiert. Nach Ausräumung des Meilers und Entnahme der hergestellten Holzkohle verbleibt dieser Stübbering im Gelände und hat sich oft bis heute erhalten.



Abbildung 2: Aufbau eines noch nicht abgedeckten Platzmeilers in der Dübener Heide bei Battaune, um 1930 (© SLUB/Deutsche Fotothek, A. Engelmann).

Meiler im Harz in den digitalen Geländedaten

Die Abertausend Meilerplätze, die sich im Harz nachweisen lassen, belegen die große Bedeutung des Energieträgers Holzkohle im Verhüttungsprozess. Vor allem in der Zeit der beginnenden Industrialisierung und zunehmenden Nutzung von Eisen wurden enorm große Massen an Holz verkohlt, um genug Holzkohle für die umliegenden Hütten und auch Salinen zu produzieren. Dies hat zu einer großflächigen Entwaldung des Gebirges geführt. Bislang sind im Ostharp über 16.000 ehemalige Meilerstandorte identifiziert worden, die sich von den Gebirgsrändern bis in den Hochharz um den Brocken herum finden.

Während sie im Gelände leicht zu übersehen sind, zeichnen sie sich im DGM in der Regel hervorragend ab. Im Wald kann man sie mit geschultem Auge als kleine Stufe im Hang oder leichten Ringwall in der Ebene erkennen (Abb. 3; vgl. Hillebrecht 1982, 21 f.). Nach Entfernung der Laubdecke lassen sie sich aber leicht und ohne Zweifel als Meiler ansprechen, da sich bereits nah an der Oberfläche regelhaft zahlreiche Holzkohlestücke in einem dunkelbraunen bis schwarzen Boden finden.



Abbildung 3: Standort eines im Durchmesser etwa 20 m großen Ringmeilers im Bereich der Wüstung Schwiederschwende bei Breitung (13.04.2017, Foto Verf.).

Im DGM sind zumindest die Bereiche der stehenden Meiler sehr gut erkennbar. Eindeutige Grubenmeiler konnten in den digitalen Geländedaten allerdings bislang nicht festgestellt werden, da sie nur einen geringen Durchmesser haben und sich morphologisch nicht von Gruben mit anderer Funktion unterscheiden. Die Standorte stehender Meiler zeichnen sich bei den Hangmeilern durch eine leichte Stufe in der Böschung mit einer flachen haldenartigen Struktur hangabwärts aus. Die Platz- bzw. Ringmeiler zeigen deutlich den umlaufenden Stüßbering. Die häufig sehr großen Ringmeiler mit einem Durchmesser des Außenrings von bis zu 26 m scheinen für den Harz charakteristisch zu sein. Der Meiler selbst lässt sich in vielen Fällen anhand der in Resten erhaltenen, leicht aufgewölbten Kohlplatte erahnen und wird im Durchmesser max. 15 m groß gewesen sein (Abb. 4–5). Wahrscheinlich datieren diese großen Platzmeiler in das 18.–19. Jh., als in der Zeit der Industrialisierung ein großer Bedarf an Holzkohle bestand und sie vor der zunehmenden Nutzung von Steinkohlenkoks der primäre Brennstoff war.



Abbildung 4: Ein für den Osthartz typischer Ringmeiler mit der mittig noch in Resten erhaltenen Kohlplatte auf den Ramsenköpfen nördlich von Rotha (DGM1 © GeoBasis-DE / LVermGeo LSA, 2010, 6006223/18).

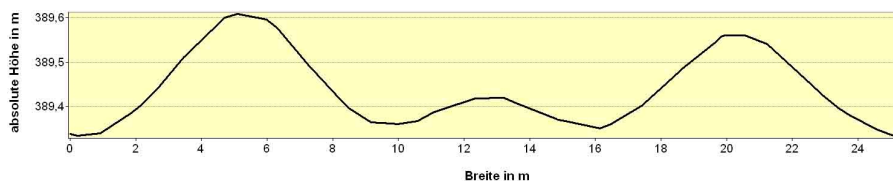


Abbildung 5: Überhöht dargestellter Profilschnitt durch den in Abb. 4 gezeigten Meiler bei Rotha (Grafik Verf.).

Meiler treten in aller Regel in Gruppen bzw. in flächiger Verteilung auf und haben relativ regelmäßige Abstände zueinander. So kann es mitunter schwierig sein, im DGM eine einzelne Geländestufe als Meiler zu identifizieren. Im Kontext der sie umgebenden Meiler bzw. in ihrem räumlichen Bezug zu anderen Meilern lassen sie sich jedoch recht unstrittig als solche ansprechen, auch ohne eine Überprüfung im Gelände. Eine Begehung kann aufgrund der großen Anzahl

ohnehin nur im Einzelfall stattfinden (siehe oben). In einigen Regionen des Ostharzes lassen sich aufgrund der Geländerelevierung Meilerstrukturen allerdings generell schwieriger erkennen. Besonders im Karstgebiet am Südharrand, zum Beispiel um Questenberg, sind sie aufgrund der unruhigen Oberfläche in vielen Fällen nicht sicher zu identifizieren.

Die Meiler in Hanglage sind für gewöhnlich kleiner (Durchmesser < 10 m) als die häufig auf ebenen Plateaus gelegenen Ringmeiler (Durchmesser < 26 m). Dies ist darin begründet, dass es an den mitunter sehr steilen Hängen, die für die Köhlerei genutzt wurden, viel mühsamer und arbeitsaufwändiger war, eine ebene Fläche für den Aufbau des Meilers herzurichten. Da am Hang viel mehr Erdmaterial bewegt werden musste, versuchte man sicherlich die Fläche so klein wie möglich bzw. gerade so groß wie eben notwendig zu halten. Meiler in starker Hanglage mit 60 % Steigung und mehr sind im Ostharz keine Seltenheit. Es zeigt sich hier, dass die seit dem 18. Jh. vielfach veröffentlichten Anleitungen zum Verkohlen von Holz² wohl häufig nur theoretische Leitfäden waren, die in der Praxis nicht unbedingt Anwendung fanden – wie die tausenden Hangmeiler im Harz belegen. So schreibt beispielsweise F. Klein 1836: „Niemals rätlich aber ist, eine Kohlplatte an einem Bergabhänge anzulegen, wo man entweder durch Aus- oder Abgraben der Erde [...] vorerst eine ebene Fläche zu Stande bringen müßte. Immer wird sich ein von Natur aus geeignetes Plätzchen, das ohne viele Kosten hergerichtet werden kann, auffinden lassen.“ (Klein 1836, 47).

Nur in Ausnahmefällen treten offenbar Hangmeiler auf, die eine deutlich länglich-ovale Form aufweisen (Abb. 6). Vermutlich sind hier Meiler mit einer daneben angelegten Arbeitsplattform zu fassen. Diese wurde vielleicht als Ablagefläche für das aufzuschichtende Holz oder zur Anlage einer kleinen, temporären Kote für den Köhler genutzt. Gegen die Interpretation als Meiler mit Arbeitsplattform spräche jedoch, dass von diesem Befundtypus bislang nur so wenige Beispiele belegt sind. Möglich wäre zum Beispiel auch, dass sich an diesen morphologisch nicht eindeutigen Stellen die Reste zweier direkt nebeneinander angelegter Meiler fassen lassen. Ob beide zeitgleich oder nacheinander errichtet wurden ließe sich dann nicht sagen.

² Vgl. z. B. Duhamel de Monceau 1762; Freytag 1831; Dietrich 1847; Berg 1860.

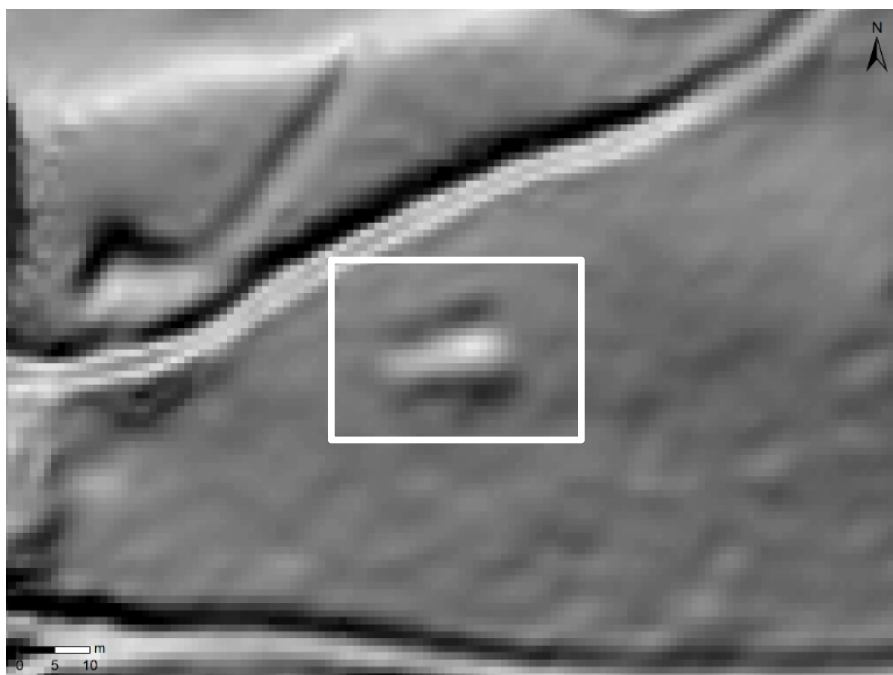


Abbildung 6: Langovaler Meiler an der Grillenburg bei Grillenberg (DGM1 © GeoBasis-DE / LVermGeo LSA, 2010, 6006223/18).

Besonders bei den Hangmeilern fällt auf, dass sie in einigen Fällen durch deutlich erkennbare Wegführungen miteinander verbunden sind (Abb. 7). Sie laufen meist ungefähr isohypsenparallel und sind im DGM nur abschnittsweise zu erkennen. Diese Wege können zum Transport des Holzes an den Meiler, zum Abtransport der hergestellten Holzkohle und als schneller Verbindungsweg von mehreren zeitgleich schwelenden Meilern gedient haben. Da die Wege teilweise doch sehr deutlich ausgeprägt sind, werden sie nicht nur einmalig, um von einem ausgeräumten Meiler weiter zum nächsten Standort, an dem ein neuer Meiler aufgebaut werden sollte, zu ziehen, sondern in jedem Fall mehrfach genutzt worden sein. In diesen Fällen kann also eine Gleichzeitigkeit der Wege und der durch sie verbundenen Meiler postuliert werden.

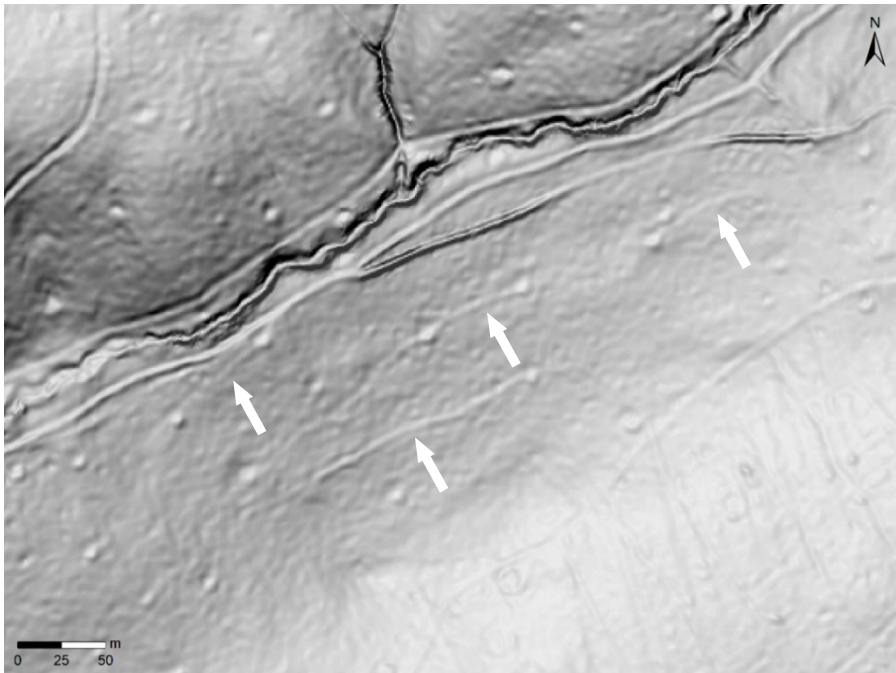


Abbildung 7: Durch Altwege (Pfeile) miteinander verbundene Meiler in Hanglage am Langen Hey süd-östlich von Dankerode (DGM1 © GeoBasis-DE / LVermGeo LSA, 2010, 6006223/18).

Flur- oder Forstortsnamen weisen noch heute häufig auf alte Köhleregebiete hin. In vielen Fällen lassen sich in diesen Bereichen im DGM zahlreiche Meilerstellen feststellen. Es sind dies Namen, die Begriffe wie „Kohl“, „Kohlen“, „Köhler“ oder „Brand“ enthalten. So gibt es zum Beispiel den „Kohlenberg“ an der Rappbodetsperre. Der Flurname „Kohlberg“ hat sich südlich von Rammelburg (Abb. 8), zwischen Frankenteich und Faulem Pfützenteich bei Straßberg und noch einmal bei Güntersberge erhalten. Nordwestlich von Ilsenburg liegt das „Köhlerholz“. Des Weiteren finden sich die Flur „Brandkopf“ zum einen bei Altenbrak und zum anderen im Krummschlachtal bei Schwenda sowie der „Große Brandkopf“ und der „Kleine Brandkopf“ südwestlich von Breitenstein und auch nordöstlich von Uftrungen. Die Flur „Brandholz“ liegt zwischen Gorenzen und Pölsfeld, bei Bräunrode, am Sternhaus bei Mägdesprung, südöstlich von Horla sowie zwischen Allrode und Friedrichsbrunn. Zudem lassen sich der „Brandhai“ bei Breitenstein und der „Feuerholzhai“ am Albrechtshaus bei Stiege dieser Gruppe zuordnen. Vermutlich ebenfalls auf die Köhlerei verweisen die Namen

„Brandlohlen“ zwischen Braunschwend und Rotha sowie „Kohlleibe“ bei Breitung. Daneben wird auch die Flur „Königs Kollen“ (Königskohlen?) an der Plessenburg südlich von Ilsenburg mit der Köhlerei in Verbindung gebracht. Nicht zuletzt ist in diesem Zusammenhang die „Kohlenstraße“ als bedeutender Transportweg für Holzkohle zu den Kupferhütten um Eisleben und Mansfeld zu nennen. Weitere „Kohlenstraßen“ verlaufen von Königerode nach Hettstedt sowie zwischen Stolberg und Uftrungen. Der Forstortsname „Kohlwege“ findet sich südlich von Burg Anhalt bei Harzgerode (vgl. Kortzfleisch 2008, 23; 61).

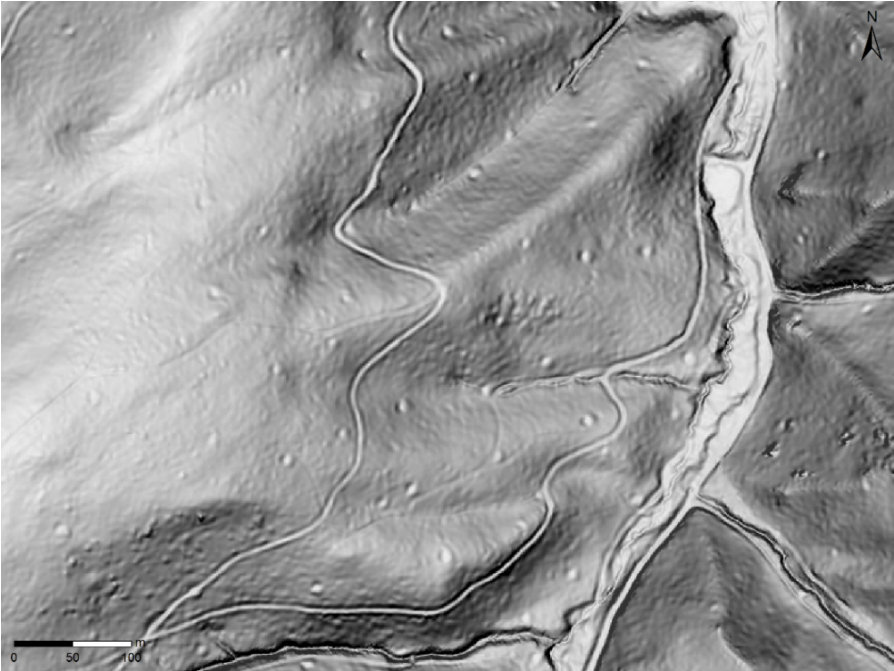


Abbildung 8: Hangmeiler am „Kohlberg“ südlich von Rammelburg (DGM1 © GeoBasis-DE / LVermGeo LSA, 2010, 6006223/18).

Archäologische Ausgrabungen an Meilern im Harz

Bisher wurden nur wenige Meiler durch Ausgrabungen näher untersucht. Im Sommer 2010 konnten in einer einmonatigen Rettungsgrabung bei Elbinge-
rode im Rahmen der Tagebauerweiterung mehrere Meiler unter der Leitung
von K. Bulka (LDA)³ untersucht werden. Auf der Fläche 1,1 am Galgenberg ließ
sich ein Meilerplatz (Bef. 10) mit zwei Nutzungsphasen dokumentieren
(Abb. 9). Der unten liegende, ältere Grubenmeiler besaß eine in etwa gerundet-
rechteckige Grube mit einer Fläche von 3,9 m x 2,5 m. Die Grubenwandung war
bis zu einer Mächtigkeit von 10 cm durch Hitzeeinwirkung rötlich verziegelt
(Abb. 10). Nach der ersten Nutzung hat man die Grube verfüllt, mit einer dün-
nen Lehmschicht überdeckt und darüber einen zweiten Meiler zur erneuten
Nutzung errichtet. Diese zweite Nutzungsphase zeichnete sich im Befund aller-
dings weniger deutlich ab. Auf der Fläche 2,1 am Kleinen Schmidtskopf gelang
es einen vollständigen Verhüttungskomplex mit Rennfeueröfen, Schlackehalde
und Meilern zu dokumentieren, wenn auch eine Gleichzeitigkeit der Meiler und
der Öfen wegen fehlender datierender Funde nicht zweifelsfrei festgestellt wer-
den konnte. Die zwei Grubenmeiler (Bef. 20; 22) wiesen eine homogene dun-
kelbraunschwarze Verfüllung auf, die an der Grubensohle allerdings stark von
Tiergängen gestört war (Abb. 11). Mittels einer nachträglich durchgeführten
Radiokohlenstoffuntersuchung kann der nebenliegende Verhüttungsplatz in
den Zeitabschnitt 783–930 cal AD (68 %; 1 σ) bzw. 779–945 cal AD (95 %; 2 σ)
eingeordnet werden (Lab.-Nr. MAMS 14431). Da die Fundstelle als zusammen-
hängender Komplex gedeutet wird, datieren wohl auch die beiden Grubenmei-
ler in diese Zeit (Fundstellenarchiv LDA, Doku A4192; A5038). Hier sind also
die vor allem für das Frühmittelalter typischen Grubenmeiler zu fassen, die bei
der rein obertägigen Arbeit – sei es im Gelände oder im DGM – bisher so selten
nachgewiesen werden konnten.

³ Im April 2011 fanden noch einmal Nacharbeiten einschließlich neuer Einmessungen und Bepro-
bungen durch T. Schunke (LDA) statt, der mir dankenswerterweise die Daten aus den Dokumen-
tationen A4192 und A5038 zur Verfügung gestellt hat.

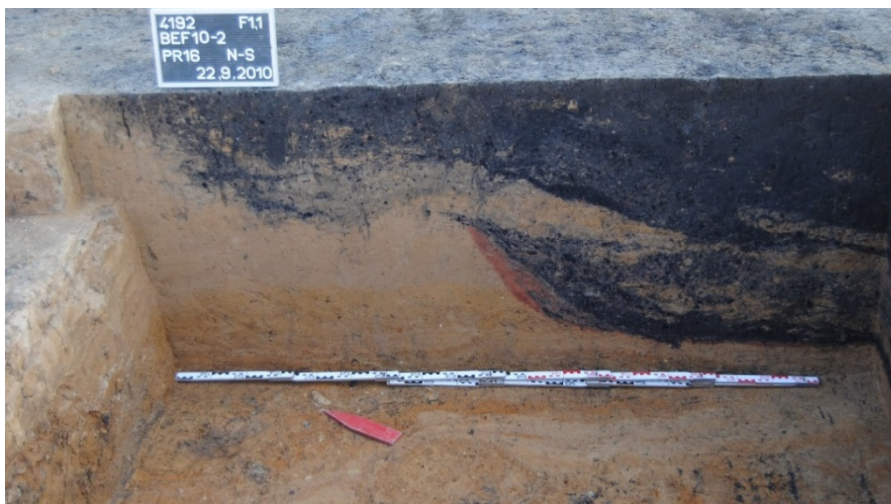


Abbildung 9: Älterer Grubenmeiler und darüber liegender jüngerer Meiler (Bef. 10) in Fläche 1,1 im Bereich des Tagebaus Elbingerode (Fundstellenarchiv LDA, Doku A4192, K. Bulka).

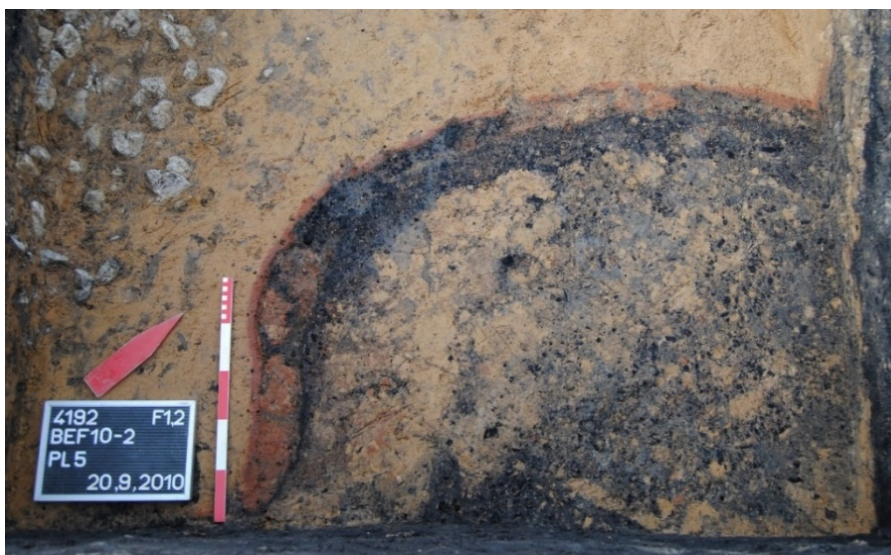


Abbildung 10: Gerundet rechteckige Form des älteren, unteren Grubenmeilers (Bef. 10-2) Fläche 1,1 im Bereich des Tagebaus Elbingerode (Fundstellenarchiv LDA, Doku A4192, K. Bulka).



Abbildung 11: Grubenmeiler nahe von zwei Öfen (Bef. 22) in Fläche 2,1 im Bereich des Tagebaus Elbingerode (Fundstellenarchiv LDA, Doku A4192, K. Bulka).

Weitere Meiler wurden bei einer vierwöchigen Grabungskampagne unter der Leitung von B. Duchniewski (LDA) aus Anlass des Ausbaus der Förderfläche im Kalksteintagebau Hornberg 1 südlich von Elbingerode untersucht⁴. Im Jahr 2013 konnten neben mehreren, leider schlecht erhaltenen Meilerstellen (Bef. 3; 14; 28–29; 32–34) auch Rennöfen, Schlackehalden und Abbauschächten als Teil einer größeren Produktionsstätte festgestellt werden. Sechs Befunde lassen sich als Gruben- und einer als Platzmeiler ansprechen. Erstere waren als bis zu 1 m tiefe, annähernd muldenförmige Eintiefungen ausgeprägt (Abb. 12). Der einzelne vermutliche Platzmeiler wies hingegen einen irregulären Querschnitt auf und war unter anderem durch einen sehr tief angesetzten Baggerschnitt in seiner archäologischen Substanz nur noch wenig erhalten (Abb. 13). Beiden Meilerarten gemein war die tiefschwarze, stark holzkohlehaltige und mit Holzkohlestückchen durchsetzte Verfüllung. Aufgrund einzelner geborgener Frag-

⁴ Ich danke B. Duchniewski für die Erlaubnis, Auszüge aus seiner Grabungsdokumentation in diesem Beitrag verwenden zu dürfen.

mente von grauer Irdenware (in Bef. 33 und 34) ist eine Datierung in das Mittelalter anzunehmen (Fundstellenarchiv LDA, Doku A6695; vgl. auch Duchniewski 2014, 53).

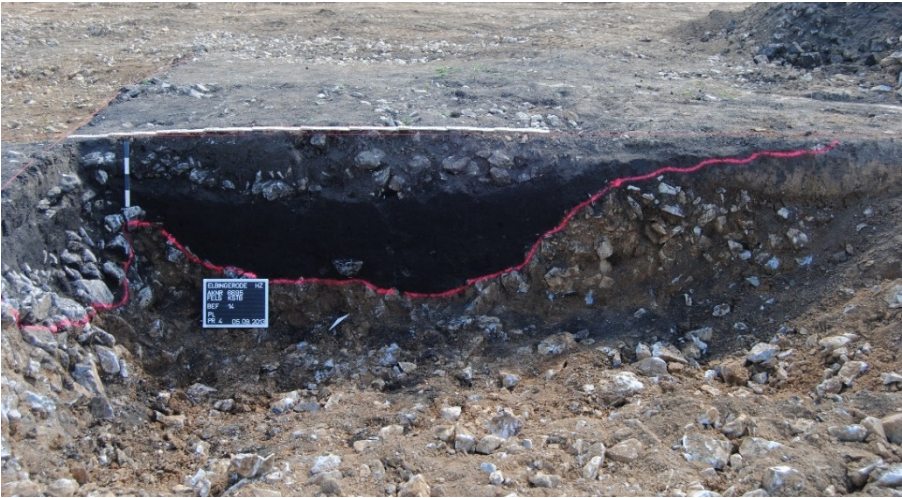


Abbildung 12: Im Zuge einer Rettungsgrabung am Kalksteintagebau Hornberg 1 bei Elbingerode geschnittener Grubenmeiler (Bef. 14, Profil 4; Blick nach Südsüdosten) (Fundstellenarchiv LDA, Doku A6695, B. Duchniewski).



Abbildung 13: Im Zuge einer Rettungsgrabung am Kalksteintagebau Hornberg 1 bei Elbingerode dokumentierter Platzmeiler (Bef. 33, Profil 1, Blick nach Westen) (Fundstellenarchiv LDA, Doku A6695, B. Duchniewski).

Kürzlich konnten zwei weitere Meilerstandorte in einer kleinen Forschungsgrabung im Rahmen einer Kooperation der Brandenburgisch Technischen Universität Cottbus – Senftenberg und dem LDA archäologisch untersucht werden. Es wurden ein Hangmeiler bei Pölsfeld (A12583) und ein Ringmeiler mit Bezug

zu einem Altweg bei Obersdorf (A12582) gegraben. Die Analytik der entnommenen Boden- und Holzkohleproben⁵ sowie die Restaurierung der gefundenen Eisenfragmente und damit auch die abschließende Auswertung der Befunde stehen noch aus.

Weitere Methoden und Analysemöglichkeiten

Neben der Ausgrabung von Meilerplätzen, die eine sehr detaillierte Befunddokumentation ermöglicht, aber die Befunde eben auch unwiederbringlich zerstört, eignen sich über die Auswertung des DGM hinausgehend weitere noninvasive Methoden sehr gut für die Erforschung von Meilern. Im Luft- oder Satellitenbild beispielsweise lassen sie sich auf Acker- oder Wiesenflächen bei günstigem Bewuchs mitunter feststellen. Hier zeichnen sie sich als schwarze Flecken aus (Abb. 14). Durch die Bearbeitung des Bodens mit dem Pflug wurde das stark holzkohlehaltige Material an die Oberfläche befördert und in der Breite verteilt. Der Durchmesser der Verfärbung gibt daher nicht die ursprüngliche Größe des Meilers wieder. Durch die Berücksichtigung der Meiler im offenen Gelände kann das Bild ihrer Verteilung, das über die Analyse der heutigen Waldflächen im DGM gewonnen wurde, verdichtet bzw. vervollständigt werden (Abb. 15–16).

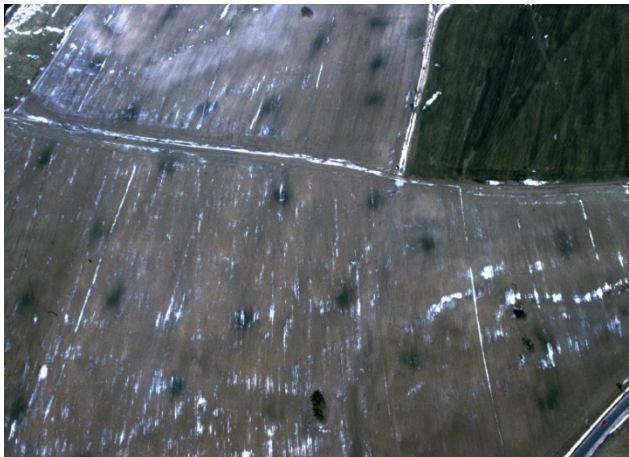


Abbildung 14: Schrägluftbild mit Spuren von Meilerplätzen zwischen Königerode und Harzgerode (27.03.1996, R. Schwarz, LB-Nr. 1551, Dia-Nr. 2144-08).

⁵ Die Radiokohlenstoffanalysen erfolgen in der Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie gGmbH (Mannheim) unter den Labornummern MAMS 39030 (Pölsfeld) und MAMS 39029 (Obersdorf).

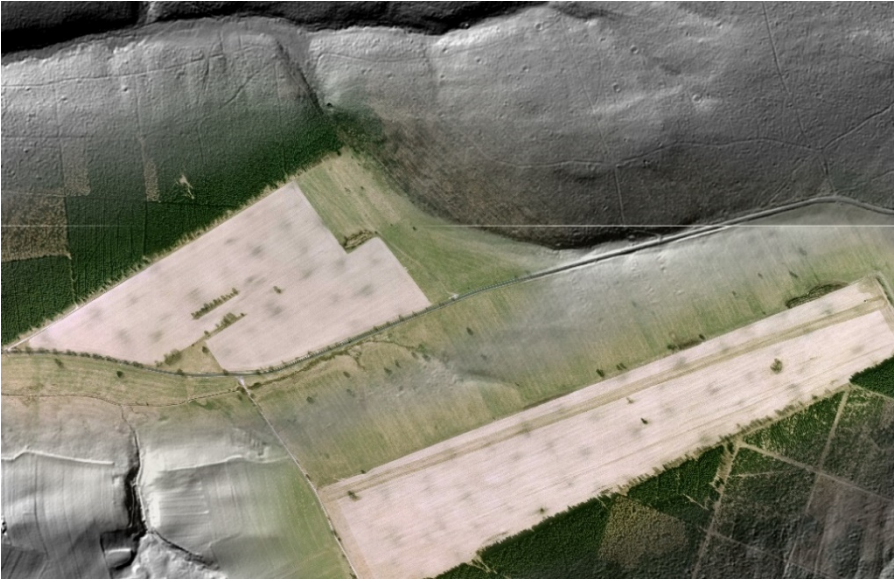


Abbildung 15: Meiler bei Allrode im Orthofoto und im DGM (DGM1 und TK10 DOP40 2001–2004 © Geo Basis-DE / LVermGeo LSA, 2010, 6006223/18).

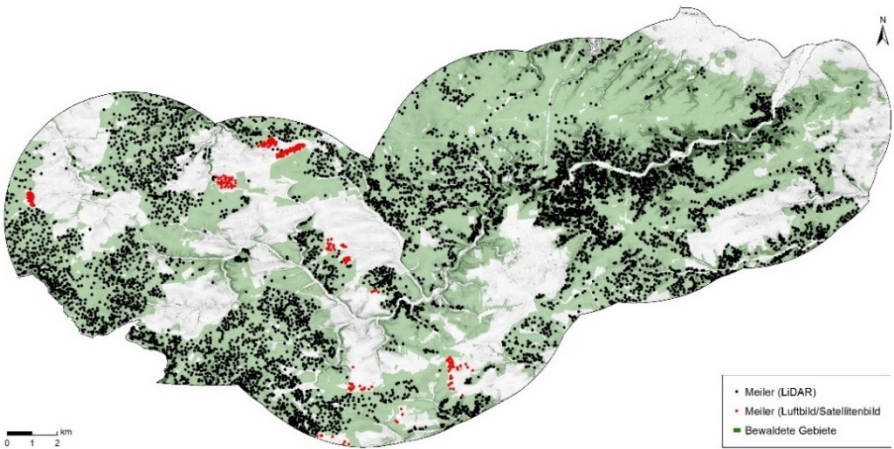


Abbildung 16: Das Gebiet des Selketals mit den über die Auswertung des DGM und von Orthofotos bzw. Satellitenbildern erfassten Meilerplätzen (DGM1 © GeoBasis-DE / LVermGeo LSA, 2010, 6006223/18).

Mit der Aufnahme aller Meiler eines größeren Gebietes sind dann auch verschiedene Analysen möglich. So können beispielsweise Thießen-Polygone um die einzelnen Meiler für eine Modellierung möglicher Einzugsgebiete zur Beschaffung der Hölzer berechnet werden (Abb. 17). Im Osthartz liegt die Größe dieser postulierten Einzugsgebiete in konzentrierten Bereichen zwischen 80 m^2 und 300 m^2 .

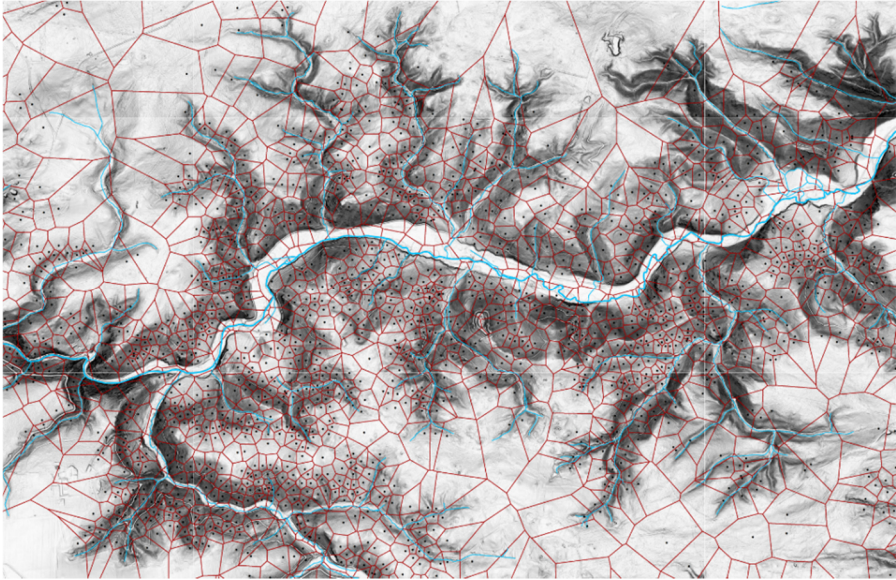


Abbildung 17: Thießen-Polygone um die Meilerstellen im Selketal (DGM1 © GeoBasis-DE / LVermGeo LSA, 2010, 6006223/18).

Auch der Abstand der Meiler zum nächsten Fließgewässer lässt sich untersuchen: Hier zeigt sich, dass er in den allermeisten Fällen unter 200 m blieb, um die Zugänglichkeit zum Löschwasser zu gewährleisten (Abb. 18). Besonders die Hangmeiler befinden sich bevorzugt an beiden Seiten von Fluss- und Bachtälern. Häufig liegen sie im Quellbereich des Gewässers oder fast direkt im Bachbett.

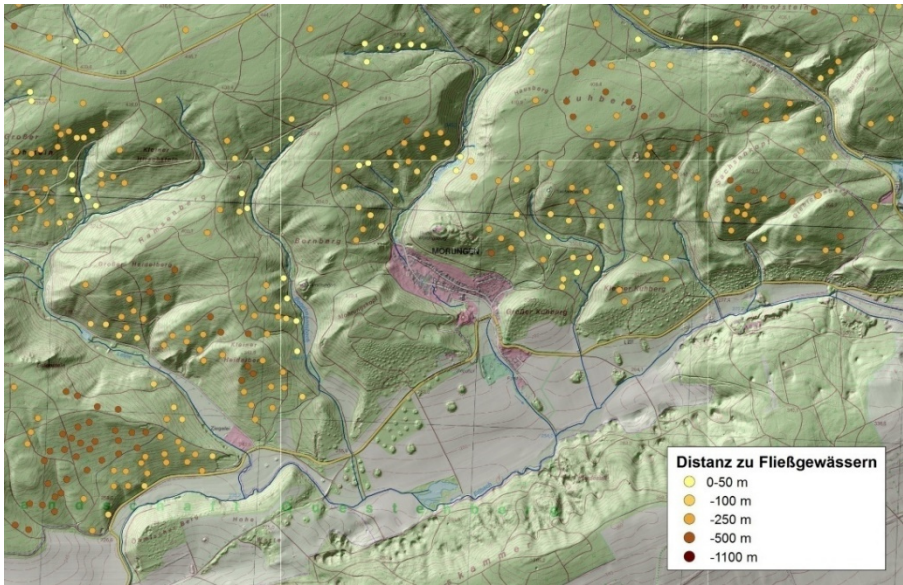


Abbildung 18: Abstand der Meiler um Morungen zum nächsten Fließgewässer (DGM1 © GeoBasis-DE / LVermGeo LSA, 2010, 6006223/18).

Des Weiteren bietet auch die Verteilung der Meiler aufgliedert nach ihrer Größe einige Aussagemöglichkeiten: Für das Selketal zeichnet sich ab, dass die kleineren Meiler bis 10 m Durchmesser vor allem am nordöstlichen Harzrand zu finden sind. Zum Harzinneren hin nimmt ihre Größe zu, sodass im westlichen Untersuchungsgebiet die Meilerstellen Durchmesser von bis zu 26 m erreichen (Abb. 19). Vielleicht liegt ein Grund dieser Verteilung in dem oft postulierten höheren Alter kleinerer Meiler. Nachdem man in den frühen Zeiten der Holzkohleherstellung vor allem die leicht zugänglichen Wälder am Rand und im Vorland des Harzes nutzte, wurde dort der Rohstoff Holz im Laufe der Zeit immer knapper. Mit zunehmendem Holzkohlebedarf nutzte man immer tiefer im Gebirge liegende Wälder für die Verkohlung und errichtete auch immer größere Meiler, die dann tendenziell jünger wären. Dieser Interpretationsansatz bedarf jedoch weiterer Überprüfung, vor allem mittels naturwissenschaftlicher Datierungen der Meiler.

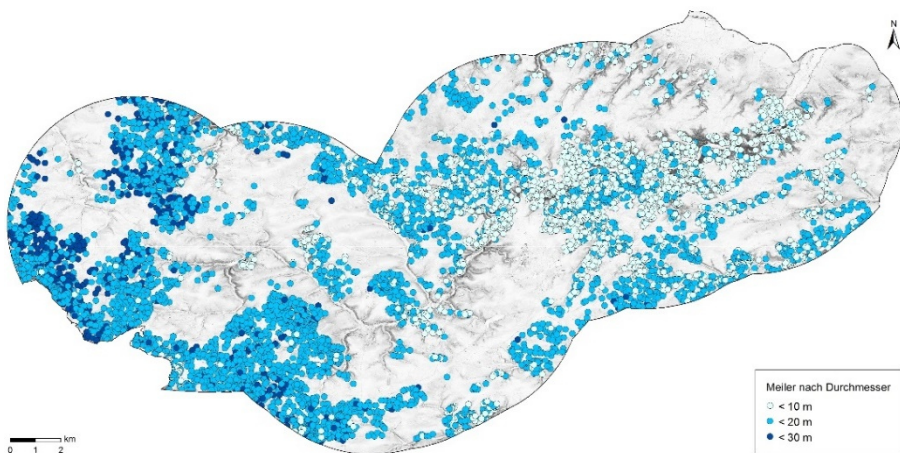


Abbildung 19: Die Größenverteilung der Meilerplätze im Selketal zeigt einen Verlauf von kleineren Meilern am Harzrand im Osten hin zu größeren Meilern im Westen (DGM1 © GeoBasis-DE / LVermGeo LSA, 2010, 6006223/18).

Datierung der Harzer Meiler

Generelle Aussagen über das genaue Alter der Harzer Meiler zu treffen ist schwierig. Neben den wenigen durch Ausgrabungen (siehe oben) untersuchten Fundstellen, gab es einige Meiler die ausschließlich anthrakologisch beprobt wurden. Im Hochharz wurde am Renneckenberg östlich des Brockens auf etwa 700 m Höhe die Holzkohle mehrerer Meilerstandorte analysiert. Neben der Holzartenbestimmung, die vor allem eine Nutzung von *Picea/Larix*-type (Fichte/Lärche), aber auch *Fagus* (Buche), *Sorbus* (Eberesche) und *Salix* (Weide) belegt, wurden zudem ^{14}C -Daten ermittelt. Die dort untersuchten Meiler datieren größtenteils in die Neuzeit (vgl. Knapp u. a. 2013; Knapp u. a. 2015).

Neben einer naturwissenschaftlichen, absoluten Datierung ist in einigen Fällen auch eine stratigrafische, relative Datierung möglich. Wenn sich zwei Strukturen deutlich überlagern und das Alter von einem der Objekte bekannt ist, kann dieses Datum als *terminus post quem* oder *terminus ante quem* für das andere Objekt herangezogen werden. Wenn das Alter beider Befunde unbekannt ist, lässt sich zumindest festlegen, welcher von beiden der ältere und welcher der jüngere ist. Beispielsweise wird südlich von Breitenstein ein Meiler in Hanglage von einem Kunstgraben geschnitten (Abb. 20). Der Meiler muss somit älter sein

als der Kunstgraben, der den Meiler in seinem südwestlichen Bereich stark beschädigt hat. Der Kunstgraben ist Teil des Unterharzer Wasserwirtschaftssystems und gehört zum Komplex des Silberhütter Kunstgrabens. Das Wasser aus den Kunstgräben trieb einerseits die Wasserräder zur Wasserhebung in den Gruben an und leitete andererseits die aus der Tiefe gehobenen Grubenwässer von den Schächten ab. Dies ermöglichte seit dem 16. Jh. einen Abbau in Schächten und Stollen in größeren Tiefen unabhängig vom eindringenden Niederschlags- und Grundwasser (Krause 1987). Der Grabenabschnitt bei Breitenstein wurde um 1730 fertiggestellt, was somit einen *terminus ante quem* für die zeitliche Einordnung des Meilers darstellt.

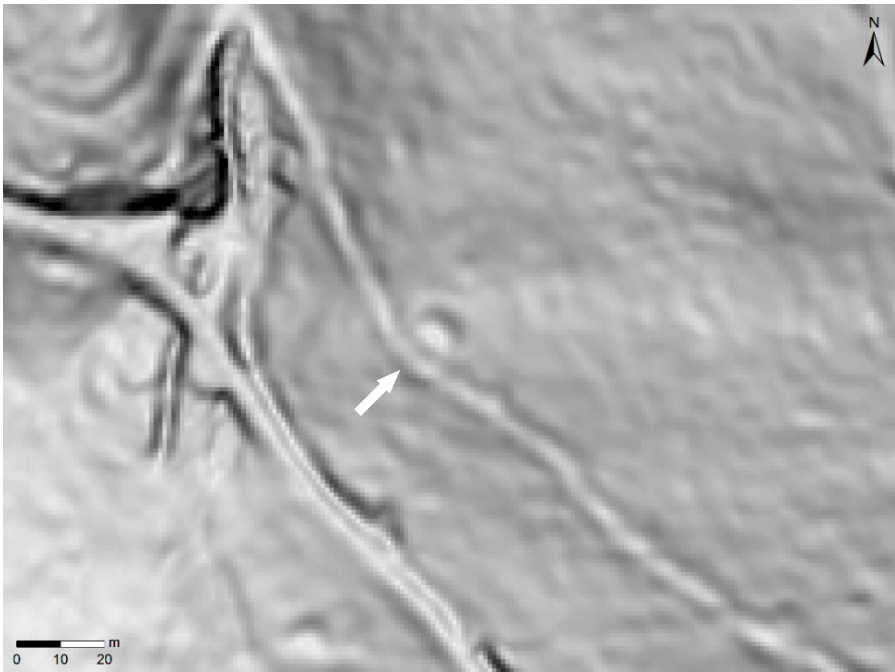


Abbildung 20: Hangmeiler südlich von Breitenstein, der von einem um 1730 errichteten Kunstgraben (Pfeil) geschnitten wird (DGM1 © GeoBasis-DE / LVermGeo LSA, 2010, 6006223/18).

Manchmal gelingt auch der stratigrafische Nachweis über die zeitliche Abfolge verschiedener Meiler. Südöstlich von Elend befinden sich beispielsweise zwei Meiler im Quellbereich eines Zuflusses des Spielbachs, von denen der eine den anderen deutlich überlagert (Abb. 21). Die beiden Meilerstandorte sind in leichter Hanglage und haben einen äußeren Durchmesser von etwa 22 m. Da

der westlich gelegene Meiler deutlich über dem östlichen liegt, muss ersterer auch in eine jüngere Zeit datieren. Wann genau nach Aufgabe des ersten Meilers der zweite angelegt wurde, lässt sich allein aus der Stratigrafie heraus jedoch nicht feststellen.

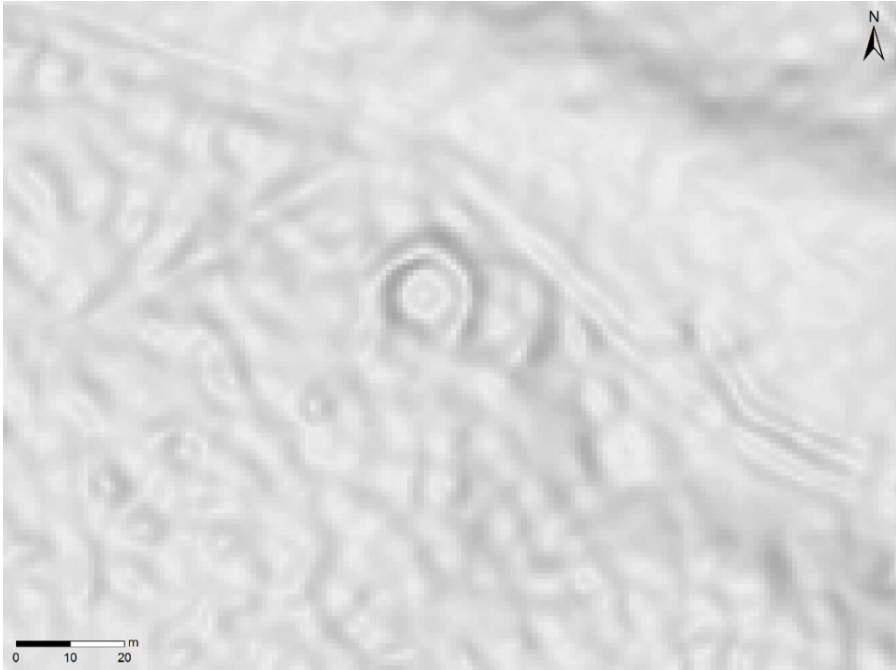


Abbildung 21: Zwei Meiler zwischen Spielbach und Kalter Bode bei Elend, die einander überlagern (DGM1 © GeoBasis-DE / LVermGeo LSA, 2010, 6006223/18).

Regionale Vergleiche und Fazit

Jüngere Studien der letzten 5–10 Jahre in anderen Mittelgebirgsregionen zeigen, dass besonders die typischen Hangmeiler ein verbindendes Element darstellen – so zum Beispiel im Reinhardswald und Kellerwald-Edersee in Hessen (Schmidt u. a. 2016), in Baden-Württemberg im Schwarzwald (Ludemann 2012), in Bayern im Spessart (Nelle u. a. 2013) oder in Nordrhein-Westfalen im Schwalenberger Wald (Gerking 2015). Von diesen walddreichen Mittelgebirgen aus wurden die umliegenden Hüttenbetriebe dann mit Holzkohle versorgt. So war es auch im Harz, denn die „Waldungen [hier im Fürstentum Anhalt-Harzgerode; Anm. Verf.] kommen sowohl den Hartzgerodischen, als auch benachbarten Schmelz-Hütten wohl zu statten, und werden die Kohlen, welche man in

diesen Landen brennet, nach Leimbach (bei Mansfeld; Anm. Verf.) und andern Hütten verführet“ (Rohr 1736, 347).

Den Harzer Befunden ähnelnde Ringmeiler finden sich dagegen nur in wenigen anderen Regionen. Sehr gute Parallelen liegen aus Gävle in Schweden (Žutautas 2017, 7 Fig. 2; 15 Fig. 6), der Gegend nördlich von Oslo in Norwegen (Risbøl u. a. 2013, 4691 Fig. 2a) und auch dem belgischen Wallonien bei Theux und Laneuville-au-Bois vor (Hardy/Dufey 2015, 27 Fig. 13; 14).

Die detaillierte Aufnahme der vielen tausend Harzer Meiler, die Auswertung der Datenbasis und ein Vergleich mit anderen Regionen bieten großes Potential und sind bislang noch weitestgehend ein Desiderat der Forschung. Die Bedeutung der Köhlerei für die wirtschaftliche und naturräumliche Entwicklung der Region kann dadurch präzisiert und hervorgehoben werden. So bilden die Meiler in ihrer Gesamtheit, aber auch als Einzelobjekte einen wichtigen Bestandteil der Kulturlandschaft des Ostharzes, die wie andere Bodendenkmale durch den zunehmenden Einsatz von schwerem Gerät in der modernen Forstwirtschaft in Gefahr sind. Nur durch ein genaues Kenntnis der Standorte und die Herausarbeitung ihres kulturgeschichtlichen Wertes können sie auch in Zukunft geschützt und erhalten werden.

Literatur

Berg 1860

C. H. E. Frhr. v. Berg, Anleitung zum Verkohlen des Holzes. Ein Handbuch für Forstmänner, Hüttenbeamte, Technologen und Cameralisten (Darmstadt 1860).

Bofinger u. a. 2007

J. Bofinger/S. Kurz/S. Schmidt, Hightech aus der Luft für Bodendenkmale. Airborne Laserscanning (LIDAR) und Archäologie. Denkmalpfl. Baden-Württemberg 36,3, 2007, 153–158.

Dietrich 1847

V. Dietrich, Das Ganze der Verkohlung in stehenden Meilern oder die sogenannte italienische Köhlerei nach den 30jährigen praktischen Erfahrungen und Betriebsresultaten zu Hieslau in Obersteiermark (Gratz 1847).

Duchniewski 2014

B. Duchniewski, Montanarchäologie im Harz. Arch. Dt. 2014,2, 53.

Duhamel de Monceau 1762

H.-L. Duhamel de Monceau, Die Kunst des Kohlenbrennens oder die Art und Weise aus Holz Kohlen zu machen. In: J. H. G. v. Justi (Bearb.), Schauplatz der Künste und Handwerke, oder vollständige Beschreibung derselben, verfertigt oder gebilliget von denen Herren der Academie der Wissenschaften zu Paris 1 (Berlin, Stettin, Leipzig 1762) 1–44.

Freytag 1831

F. Freytag, Von der vortheilhaftesten Verkohlung des Holzes in Meilern, mit besonderer Rücksicht auf das in der Grafschaft Stolberg-Wernigerode übliche Verfahren (Quedlinburg, Leipzig 1831).

Gerking 2015

W. Gerking, Köhlerei im Schwalenberger Wald und seinen Nebenforsten. In: S. Hesse/S. König (Hrsg.), Von der Weser in die Welt. Festschr. H.-G. Stephan. Alteurop. Forsch. NF 7 (Langenweißbach 2015) 115–121.

Hardy/Dufey 2015

B. Hardy/J. Dufey, Les aires de faulde en forêt wallonne: repérage, morphologie et distribution spatiale. Forêt Nature 135, 2015, 19–30.

Heuser-Hildebrandt 2002

B. Heuser-Hildebrandt, Untersuchungen zur Kulturlandschaftsentwicklung anhand von Holzkohlenspektren historischer Meilerplätze. Archiv Hess. Gesch. u. Altkde. N.F. 60, 2002, 307–332.

Hillebrecht 1982

M.-L. Hillebrecht, Die Relikte der Holzkohlewirtschaft als Indikatoren für Waldnutzung und Waldentwicklung. Untersuchungen an Beispielen aus Südniedersachsen. Göttinger Geogr. Abhandl. 79 (Göttingen 1982).

Klein 1836

F. Klein, Ueber Verkohlung des Holzes in stehenden Meilern (Gotha 1836).

Knapp u. a. 2013

H. Knapp/V. Robin/W. Kirleis/O. Nelle, Woodland history in the upper Harz Mountains revealed by kiln site, soil sediment and peat charcoal analyses. Quaternary Internat. 289, 2013, 88–100.

Knapp u. a. 2015

H. Knapp/O. Nelle/W. Kirleis, Charcoal usage in medieval and modern times in

the Harz Mountains Area, Central Germany: Wood selection and fast overexploitation of the woodlands. *Quaternary Internat.* 366, 2015, 51–69.

Kortzfleisch 2008

A. v. Kortzfleisch (Red.), *Die Kunst der schwarzen Gesellen. Köhlerei im Harz (Clausthal-Zellerfeld 2008)*.

Krause 1987

K.-H. Krause, Über alte bergbauliche Wasserwirtschaftsanlagen im mittleren Unterharz. *Harz 1987 (Wernigerode 1987)* 61–68.

Kriete 2016

C. Kriete, Eisenzeitliche und frühmittelalterliche Eisenverhüttung im Bereich des Elbingeröder Komplexes – Versuch einer Provenienzanalyse. *Jahresschr. Mittelalt. Vorgesch.* 95, 2016, 269–291.

Ludemann 2012

T. Ludemann, Airborne laser scanning of historical wood charcoal production sites – a new tool of kiln site anthracology at the landscape level. *Saguntum Extra* 13, 2012, 247–252.

Nelle u. a. 2013

O. Nelle/Y. Dannath/A. Paysen/A. Larsen, Historische Köhlerei im Spessart: Kohlholzspektrum und Waldnutzung am Beispiel des Kirschgrabens, Heimbuchenthal. *Hoppea* 74, 2013, 121–134.

Neukirchen 2016

F. Neukirchen, *Von der Kupfersteinzeit zu den Seltenen Erden. Eine kurze Geschichte der Metalle (Berlin, Heidelberg 2016)*.

Paysen 2009

A. Paysen, *Nachhaltige Energiewirtschaft? Brenn- und Kohlholznutzung in Schleswig-Holstein in Mittelalter und früher Neuzeit. Diss. Christian-Albrechts- Univ. Kiel (Kiel 2009)*.

Raab u. a. 2015

A. Raab/M. Takla/T. Raab/A. Nicolay/A. Schneider/H. Rösler/K.-U. Heußner/E. Bönisch, Pre-industrial charcoal production in Lower Lusatia (Brandenburg, Germany): Detection and evaluation of a large charcoalburning field by combining archaeological studies, GIS-based analyses of shaded relief maps and dendrochronological age determination. *Quaternary Internat.* 367, 2015, 111–122.

Risbøl u. a. 2013

O. Risbøl/O. M. Bollandås/A. Nesbakken/H. O. Ørka/E. Næsset/T. Gobakken, Interpreting cultural remains in airborne laser scanning generated digital terrain models: effects of size and shape on detection success rates. *Journal Arch. Scien.* 40, 2013, 4688–4700.

Rohr 1736

J. B. v. Rohr, Geographische und Historische Merckwürdigkeiten des Vor- oder Unter-Hartzes, Welche von denen Fürstenthümern Blanckenburg und Hartzgerode, dem Stifft Quedlinburg, den Grafschafften Manßfeld, Stollberg und deren Städten, Flecken, Schlössern, ehemahligen Clöstern, alten Ruderibus, Bergwercken, notablen Bergen, Flüssen, Seen auch andern Naturalibus, sowohl in Ansehung derer ehemahligen als itzigen Zeiten mancherley besonders in sich fassen (Frankfurt, Leipzig 1736).

Schmidt u. a. 2016

M. Schmidt/A. Mölder/F. Engel/E. Schönfelder/W. Fortmann-Valtink, Welche Auswirkungen hatte die frühindustrielle Köhlerei auf hessische Wälder? Eine vergleichende Untersuchung im Reinhardswald und im Nationalpark Kellerwald-Edersee. *Jahrb. Naturschutz Hessen* 16, 2015/2016 (2016) 21–27.

Schwarz 2003

R. Schwarz, Pilotstudien. Zwölf Jahre Luftbildarchäologie in Sachsen-Anhalt (Halle [Saale] 2003).

Sittler u. a. 2015

B. Sittler/R. Riedinger/P. Spatz, Agrarmorphologische Bodendenkmäler als Zeugen historischer und neuzeitlicher Landnutzung im Oberrheingraben. *Ber. Naturforsch. Ges. Freiburg im Breisgau* 105, 2015, 177–207.

Swieder 2014

A. Swieder, Landschaftsarchäologie im Osthartz anhand von Laserscan-Daten. *Hallesches Jahrb. Geowiss., Beih.* 34. Nutzung von Laserscanhöhendaten für angewandte Umwelt- und geowissenschaftliche Fragen in Sachsen-Anhalt (Halle 2014) 41–52, zuletzt aktualisiert am 03.12.2014 <<http://public.bibliothek.uni-halle.de/index.php/hjgb/article/view/1620>> (15.12.2014).

Swieder 2016

A. Swieder, How Mining Changes Mountain. Medieval and Early Modern Landscapes in the Harz Mountain's Forests. In: P. Kołodziejczyk/B. Kwiatkowska-Kopka (Hrsg.), *Cracow landscape monographs 2. Landscape as impulsion for*

culture: research, perception & protection. Landscape in the past & forgotten landscapes (Kraków 2016) 81–90.

Swieder 2017

A. Swieder, LiDAR for landscape archaeology in the forests of the Harz Mountains. In: W. Irlinger/G. Suhr (Hrsg.), *Archaeological Sites in Forests. Strategies for their Protection*. Schrr. Bayer. Landesamt Denkmalpfl. 14 (München 2017) 91–96.

Zimmermann 1834

C. Zimmermann, *Das Harzgebirge in besonderer Beziehung auf Natur- und Gewerbekunde geschildert. Ein Handbuch für Reisende und Alle, die das Gebirge näher kennen zu lernen wünschen, mit Nachweisen über Naturschönheiten. Erster Theil* (Darmstadt 1834).

Žutautas 2017

V. Žutautas, *Charcoal Kiln Detection from LiDAR-derived Digital Elevation Models Combining Morphometric Classification and Image Processing Techniques*. Masterarbeit Univ. Gävle (Gävle 2017).

„Eine durchlöcherter Landschaft...“ Lehm- und Mergelgruben im Rheinland. Entstehung, Erkennung, archäologische Bedeutung

Bäuerlicher Kleinbergbau: Lehm- Mergel- und andere Gruben in den rheinischen Lößbörden

R. Gerlach

Das Phänomen der abflusslosen Hohlformen in der rheinischen Lößlandschaft

Die rheinischen Lößbörden gehören zu den fruchtbarsten Landstrichen Europas und wurden daher seit der ersten bäuerlichen Besiedlung durch die Linear-Bandkeramiker vor rund 7300 Jahren kontinuierlich agrarisch genutzt. Der Boden ist dementsprechend durchsetzt mit archäologischen Relikten nahezu aller Zeitstellungen. Mit zu den zahlreichsten und bis heute auch folgenreichsten Eingriffen zählen die Überreste eines in historischer Zeit alltäglichen bäuerlichen Kleinbergbaus, welcher noch vereinzelt bis in die 50er Jahre des 20. Jahrhunderts betrieben wurde. Dieser Kleinbergbau war seither weitgehend in Vergessenheit geraten und seine Relikte, u. a. die vielen abflusslosen Hohlformen, wurden daher lange nicht adäquat erkannt und untersucht.

In den Fokus der Landesarchäologie (LVR-Amt für Bodendenkmalpflege im Rheinland) gerieten die Spuren des bäuerlichen Kleinbergbaus, die man zuvor nur sporadisch dokumentiert hatte, vor allem seit vermehrt große Flächen und Bodenprofile, z. B. im Rahmen der Braunkohlentagebaue, auf Verursachergrabungen und bei der Begleitung von Gasleitungsgräben untersucht wurden. Die archäologische und geoarchäologische Begleitung kilometerlanger Schnitte und etliche Hektar großen Flächen erlauben seither auch jenseits bereits bekannter und evaluierter Fundstellen Einblicke in den Boden. Dabei entdeckte man unter anderem eine große Anzahl von Abbaugruben und Schächten im Untergrund (Gerlach 2001, Baumewerd-Schmidt & Gerlach 2001).

Etliche von ihnen, wenn auch längst nicht alle, waren auch an der Oberfläche als abflusslose Hohlformen zu erkennen, nämlich dann, wenn sie nicht oder nur unvollständig verfüllt waren.



Abbildung 1: Wiederverfüllte Materialentnahmegrube südlich von Köln in einer Gastrasse (Baumewerd-Schmidt und Gerlach 2002, 149).

Solche abflusslosen Hohlformen, mit Durchmessern zwischen einigen wenigen Dezimetern bis 200 m, sind zahlreich in der Lößlandschaft zu beobachten. Das ganze Ausmaß des geradezu wie ein Schweizer Käse anmutenden Mikroreliefs wird zwar seit einigen Jahren erst auf Basis der Digitalen Geländemodelle deutlich, viele der Depressionen waren aber bereits auf den topographischen Karten 1:25.000 unschwer auszumachen und so zogen diese Geländedepressionen immer wieder mal die Aufmerksamkeit der Geowissenschaften als auch der Archäologie auf sich. Die dabei entstandenen Erklärungsmodelle zu ihrer Genese und/oder Funktion wurden stark von den jeweiligen disziplinären Paradigmen bestimmt.

Ansichten zur Genese der Löcher

Im Rahmen der geowissenschaftlichen Betrachtung neigte man dazu eine natürliche Ursache für die Existenz der abflusslosen Hohlformen anzunehmen. Da es sich in den rheinischen Lössbörden nicht um Toteislöcher oder um Dolinen handeln konnte, interpretiert man die Hohlformen als Pingos - fossile Hinterlassenschaften eines Dauerfrostbodens aus der letzten Kaltzeit -, auch Pseudo-Sölle genannt (Schneider 1969). Eine Interpretation, die wesentlich auf einer Untersuchung in den nördlichen Niederlanden gründete (Maarleveld et al. 1955). Zwar schloss man „hier und da“ eine anthropogene Entstehung als Materialentnahmegrube nicht aus, allein aufgrund der großen Menge hielt man dies aber für die Masse der Depressionen für ausgeschlossen (Mückenhausen et al. 1976, 209).

In England erkannte hingegen der Geograph H.C. Prince Anfang der 1960er Jahre (Prince 1962), dass die vielen Löcher in der Landschaft von Norfolk zumeist erst in historischer Zeit als Materialentnahmegruben, vor allem um den unterlagernden Kreidekalk zu gewinnen, entstanden waren. Eine Erkenntnis, die nachfolgend zugunsten der natürlichen Dolinen-Genese von Seiten der Geomorphologie wieder negiert wurde (Prince 1979).

In den zentralbelgischen Lössgebieten, die mit den rheinischen Lössbörden direkt vergleichbar sind, wurden abflusslose Hohlformen zunächst als Folge natürlicher Tunnelerosion im Löss interpretiert. Vor einigen Jahren erbrachte eine neue geowissenschaftliche Untersuchung von abflusslosen Hohlformen, die unter einem Wald sehr gut erhaltenen waren, dass es sich um ehemalige Materialentnahmegruben handelt in denen unterschiedliche Rohstoffe gewonnen wurden (Lehm, Sand, Mergel) (Gillijns et al. 2005).

Aber auch die Archäologie hatte ihre „Vorurteile“. Hier herrschte zwar die Grundüberzeugung, dass es sich um artifizielle Formen handeln musste, welche man aber undifferenziert als „Mergelgruben“ ansprach.

Inzwischen konnten aufgrund großer Flächengrabungen und linearer Projekte die abflusslosen Hohlformen im Rheinland geoarchäologisch intensiver untersucht werden, mit dem Ergebnis, dass alle bislang untersuchten Löcher als künstlich geschaffene Gruben identifiziert werden konnten, die in erster Linie der Gewinnung von Lehm, Mergel und/oder Sand und Kies dienten.

Den zumeist oberflächennah anstehenden (Löss-) Lehm gewann man ganz überwiegend in offenen Gruben. Vor allem ab dem Beginn des 19. Jahrhunderts

nutzte man die verlehmtten Horizonte der Parabraunerde für die Feldziegeleien. Anderenorts, in erster Linie an Hängen, wurde auch unterlagernder Sand und Kies sowie Mergel in offenen Gruben abgebaut. Eine strikte Trennung nach Material ist aber bei den meisten der offen gegrabenen Gruben kaum möglich, denn oft wurden mehrere Materialien in einem solchen „Mini-Tagebau“ genutzt; zum Beispiel konnte man nach dem Entfernen der lehmigen Horizonte auch den darunterliegenden kalkhaltigen Löß für die Düngung gewinnen, oder Sand und Kies entnehmen. Eine Sonderform und Sondernutzung stellen die „Maare“ in den Staunässegebieten dar, die primär wahrscheinlich der Entwässerung dienten (s. u.).

Der Schachtabbau – welcher aufgrund von „Bergsenkungen“ ebenfalls sehr häufig Depressionen zurücklässt (s. u.) - hatte hingegen immer Mergel oder tiefer liegenden Sand und Kies zum Ziel (Gerlach 2013). Zusätzlich weist die hin und wieder auftretende Vergesellschaftung der abflusslosen Hohlformen mit Flurnamen wie „Mergelskuhle“ oder „Lehmkaule“ bereits auf ihre primäre Funktion hin (s. Abb. 2).

Daher werden abflusslose Hohlformen in der rheinischen Bodendenkmalpflege heute ganz allgemein als „Materialentnahmegruben“ in einer eigenen „Materialentnahmegruben-Datenbank“ (MatDat) erfasst (s. u.).

Vor allem die durch den offenen Abbau entstandenen Löcher wurden – das sie in der Feldflur störten - mindestens teilweise mit mehr oder minder allochthonem Bodenmaterial wieder verfüllt. Bei der Verfüllung gelangten auch immer wieder archäologische Artefakte von benachbarten Fundstellen in die Gruben. Das hatte zur Folge, dass so manche dieser Gruben anhand der translozierten Funde (inklusive Holzkohlen für AMS-Datierungen) „falsch“ datiert wurde. Die Funde ergeben in solchen Fällen nur einen terminus post quem (Gerlach 2001).

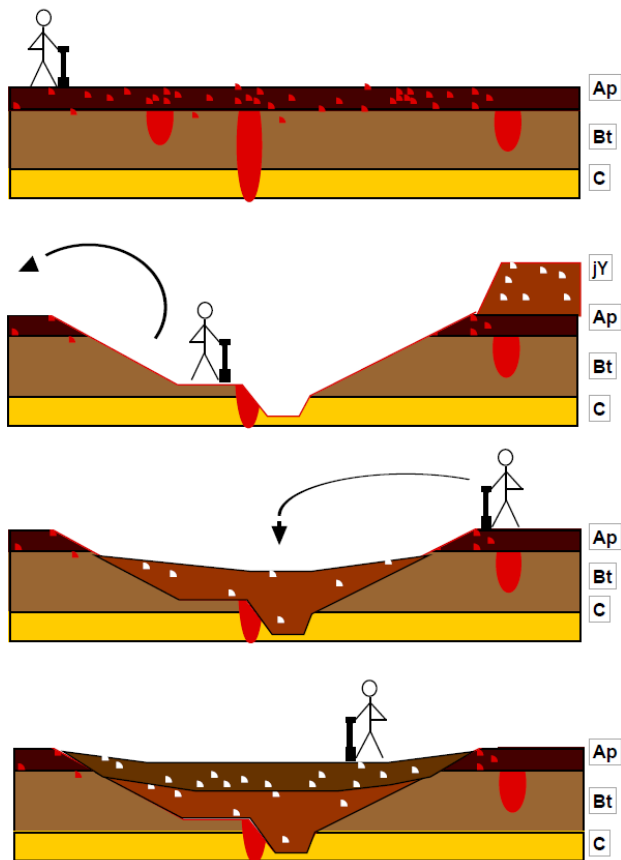


Abbildung 2: Befundzerstörung (rot=in situ Befunde und Artefakte) durch Lehmentnahme (Bt-Horizont) und Schaffung einer Scheinfundstelle durch Eintrag allochthonen Bodenmaterials mit verlagerten Funden (=weiß) (Baumewerd-Schmidt und Gerlach 2002, 149).

Es ist vor allem der völlig unverwitterte, frische Charakter des eingefüllten Bodenmaterials, welcher zeigt, dass die Befunde ganz überwiegend aus einem frühneuzeitlichen bis neuzeitlichen Zeitraum stammen. Ältere Befundfüllung aus dem Neolithikum, den Metallzeiten oder der römischen Epoche weisen in den rheinischen Lößböden immer eine deutlich erkennbare, charakteristische Bodenverwitterung auf. Es gibt nur wenige Beispiele von abflusslosen Hohlformen, die eindeutig in eine ältere Zeit (s. u. die spät-römischen Maare) zu datieren sind.

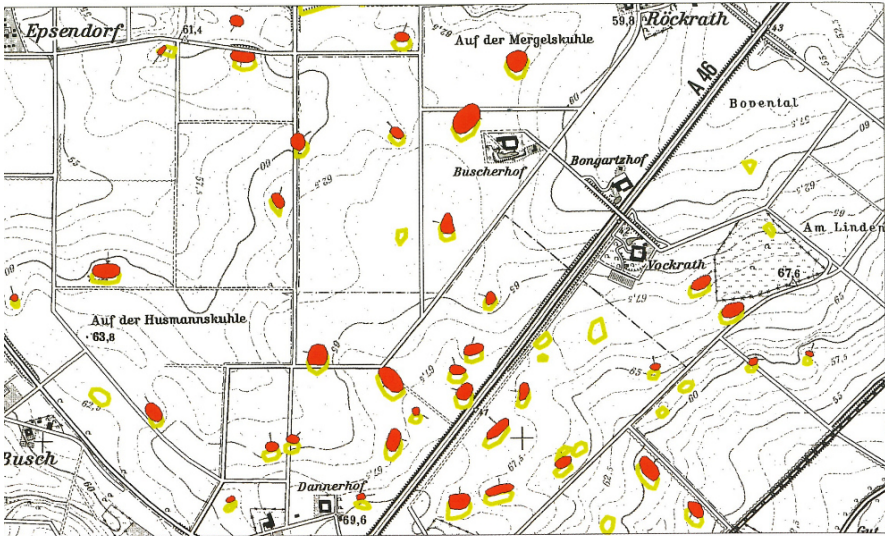


Abbildung 3: Ehemalige Materialentnahmegruben sind teilweise als abflusslose Hohlformen erkennbar. Flurnamen wie „Mergelskuhle“ (am Nordrand) geben Hinweise auf die Funktion. Ausschnitt aus der Topographischen Karte 1:25.000 Blatt Korschenbroich. gelb= abflußlose Hohlformen nach der Preußischen Neuaufnahme (1893), rot= Hohlformen auf der modernen Topographischen Karte. (Bezirksregierung Köln, Geobasis NRW und Materialentnahmegruben-Datenbank LVR-Amt für Bodendenkmalpflege im Rheinland) (Eckmeier & Gerlach 2002, 154).

Die Kartierung der „Löcherlandschaft“ (Materialentnahmegruben-Datenbank, MatDat)

Die Entdeckung der massenhaften Existenz solcher Gruben hat für die Archäologie zwei Seiten: Zum einen stellen sie Relikte der alten Kulturlandschaft dar und verraten etwas über ein nahezu völlig vergessenes Alltagsgewerbe, zum anderen stören und zerstören sie aber auch ältere Fundstätten und nicht selten ist das eingefüllte Bodenmaterial mit Funden wie urgeschichtlicher Keramik, römischen Ziegeln oder alter Holzkohlen angereichert, die einen älteren Fundplatz vortäuschen können (Baumewerd-Schmidt & Gerlach 2002). Insbesondere diese Gefahr von Scheinfundstellen und die untergründige Zerstörung echter Fundplätze hat dazu geführt, dass im Sachbereich Geoarchäologie des LVR-Amtes für Bodendenkmalpflege im Rheinland eine Materialentnahmegruben-Datenbank, kurz MatDat, aufgebaut wurde (Eckmeier & Gerlach 2002).

Dabei machte man sich die Tatsache zunutze, dass zumindest ein Teil der Entnahmelöcher noch im Relief und auf der Karte erkennbar ist. Dafür werden verschiedene Kartenwerke in digitalisierter Form mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems (GIS) ausgewertet: Deutsche Grundkarten mit Höhenlinien 1:5.000, Topographische Karten 1:25.000 und ihre historischen Vorgänger (Preußische Uraufnahme um 1840, Preußische Neuaufnahme um 1890, diverse Kartenstände aus dem 20. Jh.) sowie bodenkundliche und geologische Karten des Geologischen Dienstes NRW in verschiedenen Maßstäben und natürlich die Digitalen Geländemodelle.

Es werden folgende Merkmale kartiert:

1. Abflusslose Hohlformen. Diese Löcher sind auf den Lößflächen – anders als auf der Niederterrasse und in der Aue, wo es auch natürliche Hohlformen gibt - infolge einer unvollständig verfüllten offenen Abbaugrube oder infolge einer inzwischen eingebrochenen bergmännisch angelegten Mergelkammer zurückgeblieben. Gerade letztere kommen in der Lößlandschaft häufig vor. Je nach Bedarf und Geologie konnten mehrere Rohstoffe (Lehm, Mergel, Sand und Kies) abgebaut werden, daher wurde der neutrale Oberbegriff „Materialentnahmegrube“ gewählt.
2. Neben diesen rein morphologischen Formen werden auch die auf den verschiedenen Kartenständen vermerkten Ziegeleien, Kies-, Lehm- und Sandgruben inklusive der Braunkohlentagebaue sowie bereits umgelagerte Böden (nach bodenkundlichen Karten des Geologischen Dienstes NRW) kartiert.
3. Hinzu kommen Kartierungen von Hohlwegen aus alten Kartenständen, die heute bereits zum Teil verfüllt und durch Flurbereinigungsmaßnahmen (Verlagerung von Wegen) unsichtbar geworden sein können. Im Sinne der Archäologie sind sie wie die alten Abbaulöcher Kulturlandschaftsrelikte und Bodenstörungen zugleich.

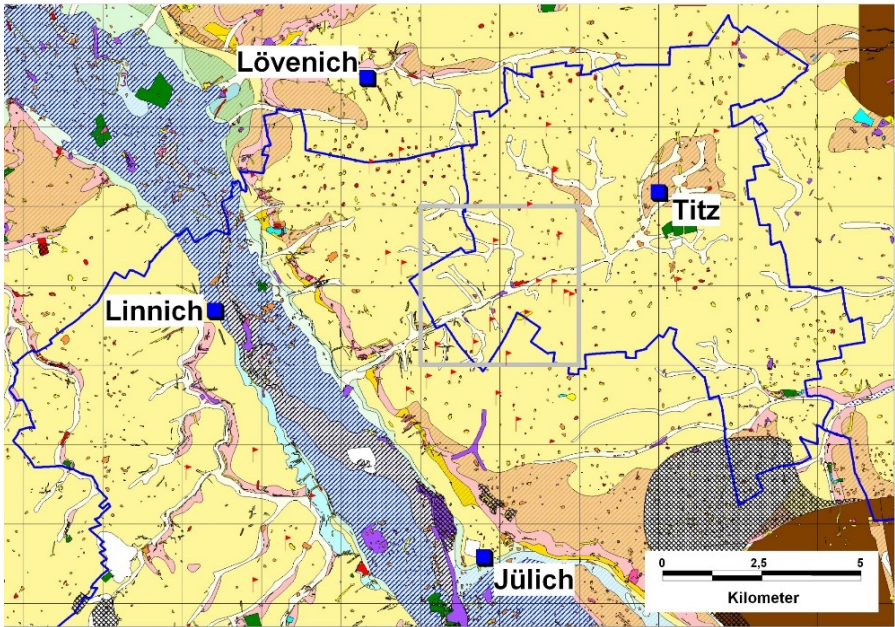


Abbildung 4: Ausschnitt aus der Materialentnahmegruben-Datenbank (MatDat) des LVR-Amt für Bodendenkmalpflege im Rheinland für den nördlichen Teil des Kreises Düren (blau= Gemeindegrenzen). Kartengrundlage: Geologische Karte 1:100.000 (Geologischer Dienst NRW), gelb= Löß mit über 2 m Mächtigkeit über der Hauptterrasse. Kartiert wurden abflusslose Hohlformen, bekannte Abgrabungen (am Westrand sind im N und S die Ausläufer der Tagebaue Garzweiler und Hambach zu sehen = braun und schraffiert), Hohlwege und Bodenaufträge (s. Text). Die verschiedenen Farben verweisen auf die unterschiedlichen Kartenstände und Grubenarten. Rote Fähnchen= Fundmeldungen von Schachteinbrüchen (Schulze-Rettmer 1972). Gitterlinien= Blattschnitt der Deutschen Grundkarte 1:5.000 (DGK)

Diese Basiskartierung zeigt zwar bereits einen Großteil der bergbaulichen Relikte (Abb. 4), die mit Abstand beste Quelle um alte Abgrabungen in der Lößlandschaft in Form der abflusslosen Hohlformen zu erkennen, sind jedoch digitale Geländemodelle (DGM) (Herzog 2002, Gerlach & Herzog 2004) (s. Abb. 5).

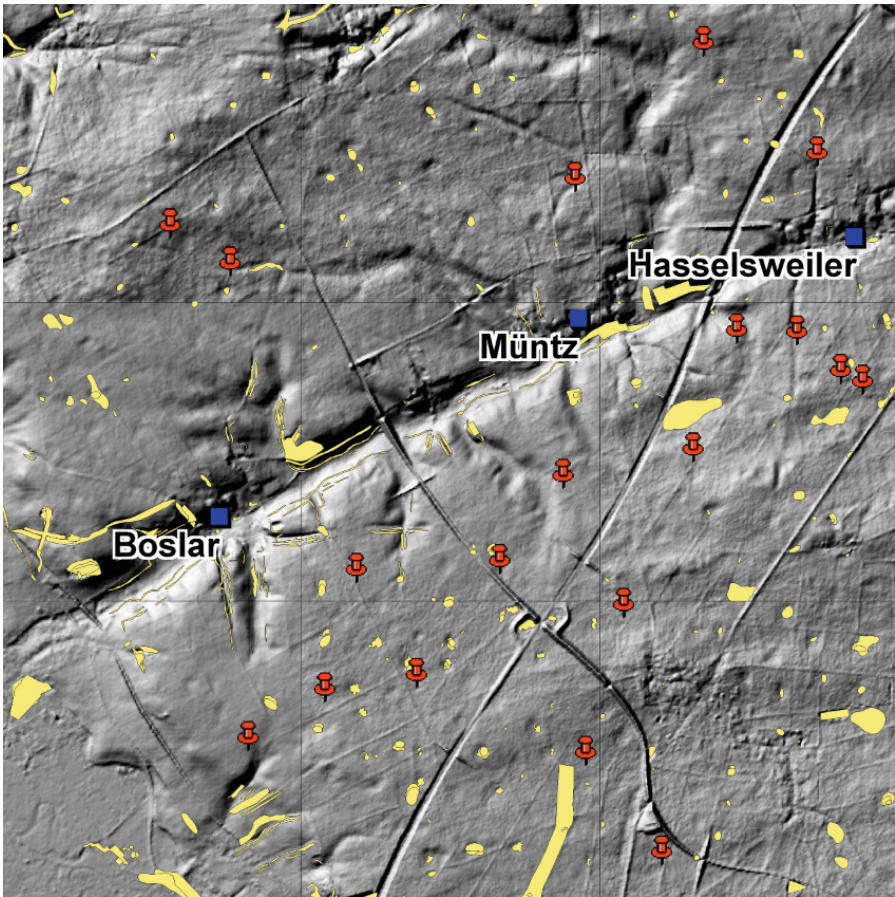


Abbildung 5: Digitales Geländemodell DGM 10 (Bezirksregierung Köln, Geobasis NRW). Ausschnitt von 6 x 6 km Kantenlänge aus der Abb. 4. Gegenüber der Basiskartierung der MatDat (gelb) sind weitaus mehr abflusslose Hohlformen erkennbar. Rote Nadeln= Fundmeldungen von Schachteinbrüchen (Schulze-Rettmer 1972, s. Abb. 14). In den meisten Fällen sind diese noch nicht mit größeren Löchern verbunden, da die Kavernen im Untergrund noch intakt sind. (Gerlach 2013, 178, Grafik: J.C. Fink LVR-ABR).

Dafür eignet sich bereits das DGM10 mit dem 10 m Raster von Lage- und Höhenpunkten (Bezirksregierung Köln, Geobasis NRW), da die gesuchten Depressionen bei dieser Auflösung am besten zu erkennen sind. Bei einer Darstellung als Schattenrelief-Karte kommen selbst Abbaustellen an Hängen zum Vorschein die auf den topographischen Karten nicht zu erfassen sind (Herzog 2002). Häufig zeigt sich auch, dass der tatsächliche Umriss einer auf der Topographischen Karte 1:25.000 runden Hohlform eher eckig ist und es regelrechte

Ein- und Ausfahrten gibt. Legt man die historischen Karten darunter lassen sich häufig Reihungen an alten Wegen erkennen, die man für den Transport brauchte. Weder die heutige Nutzung, noch die Bodenkarte zeigen in der Regel die Störungen des Untergrundes an, die erst auf dem digitalen Geländemodell sichtbar werden (s. Abb. 6).



Abbildung 6: DGK 1:5.000 (2 x 2 km Kantenlänge) aus der Lößlandschaft bei Baesweiler. Während sowohl das Luftbild (Bezirksregierung Köln, Geobasis NRW) als auch die Bodenkarte 1: 50.000 (Geologischer Dienst, NRW) kaum Störungen erkennen lassen, zeigt erst das digitale Geländemodell DGM 10 (Bezirksregierung Köln, Geobasis NRW) wie durchlöchert die Oberfläche in Wirklichkeit ist.

Bei all den Versuchen anhand von abflusslosen Hohlformen den Kleinbergbau in der Lößlandschaft räumlich zu erfassen, muss beachtet werden, dass dies notwendigerweise unvollständig bleibt, denn es gibt etliche Materialentnahmegruben, die nicht im Relief erkennbar sind: weil sie komplett verfüllt worden sind, so dass keine Hohlformen zurückblieben, in Hänge gegraben wurden, aus weiten, flachen Abbaufeldern (Ziegeleien) bestehen oder - wie im Falle der Mergelschächte - noch nicht eingebrochen sind. Eine Schätzung aufgrund von Grabungsergebnissen ergab, dass nur etwa ein Viertel der tatsächlich vorhandenen Abbauspuren vorher im Relief erkennbar war.

Die Materialentnahmegruben-Datenbank zeigt also nur einen kleinen Teil der tatsächlichen Bodenstörungen; keine Kartierung in der MatDat heißt keinesfalls, dass hier eine ungestörte Oberfläche vorliegt. Da die MatDat aus vorhandenen Karten heraus kartiert wird, liegen zunächst auch keine Informationen über die Tiefe des Eingriffes bzw. der Störung und die Mächtigkeit einer eventuellen Bodenverfüllung vor.

Aufgrund von Grabungsergebnissen und den schriftlichen Quellen (s. u.) wissen wir aber, dass die Eingriffstiefen von max. 2 m bei einem offenen Abbau und bis zu 20 m bei einem Schachtbergbau reichen konnten. Dies ist abhängig von

dem gewünschten Material, der Tiefe der Lagerstätte und der daraus resultierenden Abbautechnik.

Obertägiger Abbau: Lehm für die Ziegeleien und oberflächennaher Mergelabbau

Primäres Gewinnungsziel eines obertägigen Abbaus mit einer Eingriffstiefe von bis zu 2 m war zumeist der Lößlehm.

Lehm wurde zwar seit Beginn des Hausbaus für den Fachwerkbau benötigt, erlangte aber in unserer Region erst seit Beginn des 19. Jahrhunderts mit dem vermehrten Aufkommen des Ziegelbaus den Status eines Massenrohstoffs, den man nun nicht mehr allein rund ums eigene Haus, sondern in größeren Abbaustellen auf dem Feld oder in der Gemarkung gewinnen musste. Gewaltige Ausmaße nahm der Bedarf an Ziegellehm mit der Industrialisierung und Verstädterung seit dem letzten Drittel des 19. Jahrhunderts an. Auch auf dem Land wurden nun die Gebäude mit Ziegeln errichtet (Doege 1997, Immenkamp 2001). Wegen der Transportkosten war sowohl der Abbau wie die Produktion bis nach dem Zweiten Weltkrieg ein Nahgewerbe, so dass es tatsächlich Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts „Ziegeleien überall“ gab (Momburg 2000). Dabei wurde im ländlichen Raum noch bis zum Ersten Weltkrieg auf die alte Tradition der saisonalen Feldbrandziegelei zurückgegriffen (Doege 1997, Seeling 1963).

In der Lößlandschaft dienten die obersten 1-2 m der Lößdecke, die infolge der Verwitterung (Bodenbildung: Bt- und Bv-Horizonte) mit Ton und Eisenoxiden angereichert waren, als Rohstoff. Die Tongehalte und Eisenoxide führten zu einem dichten roten Backstein. Der humose Oberboden war gar nicht und der unverwitterte, hellgelbe kalkhaltige Löß (Mergel) unter dem verlehmtten Horizont nur eingeschränkt für die Ziegelherstellung geeignet. Nach der Lehmgewinnung auf dem Feld wurde das Loch in beinahe allen Fällen zuerst mit Umgebungs- oder Fremdbodenmaterial und zuoberst mit dem zurückgelegten Mutterboden zugeschoben. Dabei wurde der Acker höchstens eine Saison lang beansprucht und war schon im nächsten Jahr wieder nutzbar. Aufgrund eines Massendefizits oder nach der Setzung der lockeren Einfüllung konnte eine Mulde zurückbleiben.

Manchmal wurde dann auch der unter dem Lößlehm anstehende kalkhaltige Mergel in der einmal geöffneten Grube gewonnen. Wegen der tieferen Lage der

Lagerstätte (ab ca. 2 m unter der Oberfläche) kam dies aber seltener vor. Südlich von Erkelenz-Lövenich sind solche offenen Mergelkuhlen in den Hang hinein gegraben worden (Frohnhofen 1959). Die auffällige Häufung von Hohlformen südlich der heutigen Gemeindegrenze (s. Abb. 4) entstand in einem ehemaligen Waldgebiet. So devastierte man nicht die wertvolle Feldflur. Obertägige Abgrabungen lassen sich auch anderenorts an Lößhängen finden. Das Austreten des kalkhaltigen Lösses am Hang sowie das Gefälle erleichterten grundsätzlich den Abbau wie den Abtransport des Materials.

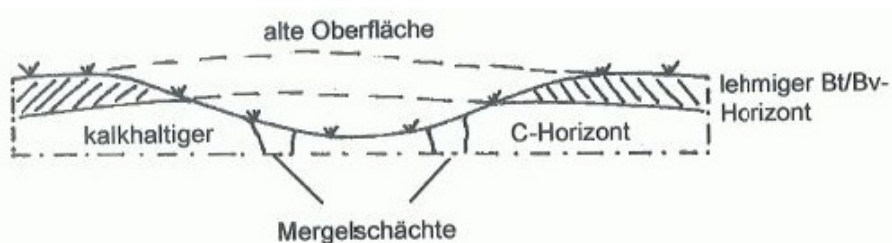


Abbildung 7: Lehmgrube bei Pulheim-Geyen, von deren Basis noch Mergelschächte ausgehen. (Baume-werd-Schmidt & Gerlach 2001, 15f).

Es ist auch dokumentiert, dass zunächst die Lehmdecke abgegraben wurde und dann der Mergel im Schachtabbau von der Sohle der Lehmgrube aus vorangetrieben wurde (Abb. 7).

Um den wertvollen Ackerboden aber nicht übermäßig zu beanspruchen, wurde der Mergel zumeist im reinen Schachtabbau mit abgehenden Kammern/Kavernen gewonnen (s. u.).

Entwässerungslöcher: Die Maare

Eine Sonderform der Löcher stellen die wassergefüllten oder versumpften Senken in den Gebieten mit Staunässeböden (Pseudogley) dar, die als Maar bezeichnet werden (Singular: die Maar, Dittmaier 1963, 192 f.). Die landwirtschaftlich nur eingeschränkt nutzbaren Staunässeböden haben sich dort gebildet wo eine geringmächtige Lößdecke (unter 2 m Mächtigkeit) auf stark verdichteten Hauptterrassenschottern aufliegt. Ab dem frühen Mittelalter wurden diese Areale überwiegend nur noch forstlich genutzt (Waldweide, Holzentnahme, Jagd, etc.). Allerdings deutet die Existenz römischer Villen in den Waldarealen daraufhin, dass es hier in römischer Zeit noch intensivere agrarische Aktivitäten gegeben haben muss. Ab dem 19. Jahrhundert wurden dann Teile der Wälder gerodet. Restbestände sind aber bis heute erhalten wie der Reichswald (mit dem Propsteierwald) östlich von Aachen, der Hambacher Forst im gleichnamigen Braunkohletagebauegebiet oder der Kottenforst westlich von Bonn.

Die hier auf den Staunässeböden liegenden „nassen“ Depressionen lassen sich morphologisch kaum von den Lehmentnahmegruben im „trockenen“ Parabraunerde-Löß unterscheiden, wenn sie auch im Durchschnitt etwas kleiner ausfallen. Daher wurden sie auch von Seiten der Archäologie wie die Löcher in den Parabraunerden unter dem Begriff „Mergelgrube“ subsumiert. Eine dieser Gruben bei Würselen-Broichweiden steht sogar als „römische Mergelgrube aus dem 1. Jahrhundert n. Chr.“ unter Bodendenkmalschutz. Hier im Staunässegebiet des ehemaligen Reichswaldes ist aber eine Mergelgewinnung gar nicht möglich, da der auf den Sanden und Kiesen der Hauptterrasse mit 1,3 bis 2 m Mächtigkeit auflagernde Löß durch die intensive Bodenbildung schon lange vollständig entkalkt ist.

Die Staunässesituation hat dazu geführt, dass sich am Grunde der Grube (ca. 60 m Durchmesser) ein kleines Niedermoor, bzw. eine Mudde gebildet hat. Darin hatten sich auch Baumstammreste erhalten. 1969, im Jahr der Entdeckung der

Grube wurden pollenanalytische, dendrochronologische und radiometrische Untersuchungen (^{14}C Datierung) am Institut für Ur- und Frühgeschichte durchgeführt. Die Daten sind kongruent und datieren die organischen Reste in die Spätantike (KN-511: 331-573 calAD, 94,7 %). Einer der im Sumpf erhaltenen Baumstämme konnte dendrochronologisch auf ein Absterbealter um 503 n. Chr. datiert werden (Gerlach und Meurers-Balke 2018).

Auch die pollenanalytische Datierung einer organischen Füllung am Grunde eines der vielen Maare im Kottenforst bei Bonn (ca. 20 m Durchmesser) ergab ein spätantikes Alter. Da sich in Staunässegebieten ein Loch binnen kurzer Zeit mit Wasser füllt, liegen Anlage des Loches und Ablagerungen der organischen Reste unter Wasser zeitlich ganz nahe beieinander. Aufgrund des kleinen Einzugsgebietes beider Löcher spiegelt sich im Pollenspektrum in erster Linie die Vegetation der unmittelbaren Umgebung wieder. Demnach lagen die Löcher in beiden Fällen inmitten eines Ackers (Broichweiden) oder in einem Grünland (Kottenforst), also inmitten des landwirtschaftlichen Nutzlandes spätantiker Bauernhöfe. Welche Funktionen diese Löcher wahrscheinlich hatten, zeigt ein Blick in die heimatkundliche Überlieferung: Sie dienten zur Entwässerung der Umgebung, indem sich das Wasser in den Löchern sammelte und von dort ggf. einem Entwässerungssystem zugeführt werden konnte. Daneben sind weitere korrespondierende und/oder nachfolgende Nutzungen möglich, wie z. B. Einlagerung von Holz/Holzgegenständen in den entstehenden Teichen, Viehtränken, etc. und natürlich auch die Verwendung des ausgegrabenen Lehms.

Dieser Art von abflusslosen Hohlformen, die an Pseudogleyböden gebunden ist, kommt aufgrund ihrer Funktion als Pollenfalle eine ganz besondere archäologische Bedeutung zu. Sie stellt das rheinische Äquivalent zu den norddeutschen Kesselmooren dar. Anders als diese sind sie aber nicht natürlich, sondern anthropogen entstanden. In ihnen hat sich die Nutzungsgeschichte der unmittelbaren Umgebung erhalten. Im Falle der beiden untersuchten Hohlformen aus dem Rheinland ist das umso wertvoller als dass sie Einblicke in die „Dark Ages“ zwischen Spätantike und Frühmittelalter bieten (Gerlach und Meurers-Balke 2018).

Untertägiger Schachtabbau: Mergel- und Sandbrunnen

Weitere abflusslose Hohlformen in den rheinischen Lößböden gehen auf den Einsturz unterirdischer Kammern zurück. Ein solcher Schacht- und Kavernenabbau hatte nun ganz überwiegend die Gewinnung von Mergel zum Ziel. Dessen Abbau ist an mächtigere Lößlager gebunden, wo noch unter den B-Horizonten der unverwitterte Löß vorhanden ist.

Der Aufwand lohnte sich, denn in der vorindustriellen Landwirtschaft, in der es noch keinen Kunstdünger gab, musste die Bodenfruchtbarkeit mit natürlichem Dünger mehr recht als schlecht aufrechterhalten werden. Neben Fäkalien und Ernterückständen, Asche und Hausmüll, war das Aufbringen von Kalk oder kalkhaltiger Erde üblich. Kalkhaltiges Material wurde bereits vorrömisch u. a. von den Ubiern bei Köln zur Bodenverbesserung genutzt. Nachrömisch scheint diese Technik bei uns weitgehend in Vergessenheit geraten zu sein. Sie wurde wohl erst wieder im 18. Jahrhundert gebräuchlich (Gerlach und Meurers-Balke 2018). Diverse landwirtschaftliche Beschreibungen (von Schwerz 1836) und Statistiken aus dem 19. Jahrhundert berichten von dem (über-) reichlichen Gebrauch und damit auch Abbau von Mergel in den Lößböden (Seeling 1979).

Dieser Abbau unterlag, wie der bäuerliche Abbau von Lehm, keiner gesetzlichen Grundlage und konnte frei von statten gehen: „Mergel war wie Sand, Torf und Raseneisenerz kein regales Mineral, das der Aufsicht und Genehmigungspflicht der Bergbaubehörde unterstand. So erklärt sich, daß es so gut wie keine Aufzeichnungen über die Lage der Mergelgruben gibt.“ (Seeling 1979, S.101).

Unter Mergel versteht man in der Lößlandschaft den im Untergrund bei natürlicher Bodenentwicklung ab ca. 2 m Tiefe anstehenden unverwitterten kalkhaltigen Löß. Mergel der aufgrund starker Erosion bereits direkt an den Hängen austrat oder in nur noch in geringer Tiefe vorlag, wurde wie der Lehm in offenen Gruben abgebaut (s.o.). Ab 2 m Tiefe lohnte sich aber der untertägige Abbau. Ausgehend von einem brunnenartigen Schacht mit rund 80 cm Durchmesser - weswegen auch der Begriff Lößbrunnen oder Lößpütz üblich ist - wurde der Mergel in drei bis fünf, sternförmig vom Schacht abgehenden Stollen, die bis zu 2 m hoch und 5-6 m, manchmal auch bis zu 35 m lang waren, abgebaut und mit Eimern, an einem Strick oder mit einer Haspel, hochgezogen. Je nach

Mächtigkeit der Lößdecke wurden die Schächte bis zu 18 m tief gegraben. Geringere Eingriffstiefen von 2 bis 6 m waren aber wohl die Regel (Frohnhofen 1959, Seeling 1979, Schulze-Rettmer 1972) (s. Abb. 8a).

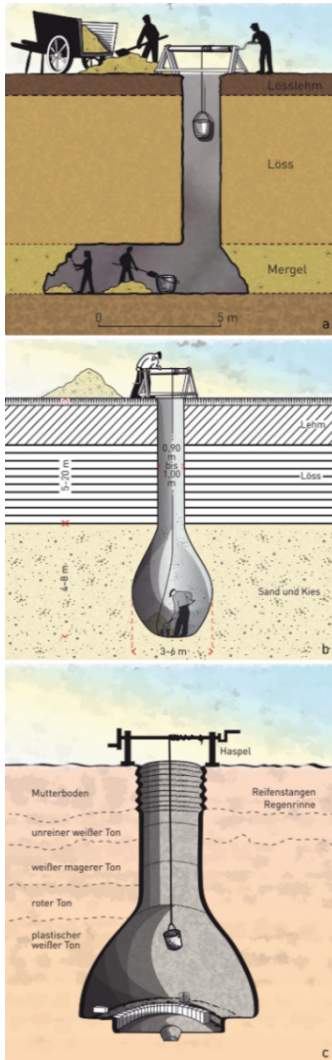


Abbildung 8: Verschiedene überlieferte Arten des bäuerlichen Schachtbergbaus auf mineralische Rohstoffe

- a) Abbau in einem Mergelpütz bei Erkelenz (Frohnhofen 1959),
 - b) Sandbrunnen bei Kirchtroisdorf, Bergheim (Haberey 1951, 122),
 - c) Tonabbau im Glockenschachtverfahren (Kügler 1995, 255).
- (aus Gerlach 2013, 177; Grafik: J. C. Fink LVR-ABR).

Diese Angaben entstammen den wenigen, dafür aber höchst anschaulichen Beschreibungen des Kleinbergbaus, die überwiegend auf mündlicher Überlieferung beruhen. Das Gewerbe war noch in den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts bekannt, aber schon in den 1970er Jahren nahezu vergessen. Von der Existenz unterirdischer Mergelkammern wusste man damals nur noch gerüchteweise (Seeling 179, 102). Sowohl bei Hans Frohnhofen (1959) für den Raum Erkelenz als auch bei Hans Seeling (1979), für die Umgebung von Glehn, Holzheim, Rommerskirchen, Erkelenz und Königshoven, werden der Abbau, dessen Technik und die noch lebenden Protagonisten ausführlich vorgestellt. Auch im Archiv des LVR-Amtes für Bodendenkmalpflege im Rheinland sind einige wenige Augenzeugenberichte von ehrenamtlichen Mitarbeitern hinterlegt. Darunter ist auch der Bericht des Archäologen Waldemar Haberey (1951) über Sandbrunnen. Im Lößgebiet wurden demnach nicht nur der wertvolle Mergel, sondern auch Sand und Kies untertägig abgebaut. Noch 1951 gewann ein Bauunternehmer aus Kirchtroisdorf bei Bergheim bergmännisch mit einer handgegrabenen Schachtanlage seinen Sand und Kies. Dabei musste man bis zu 20 m unter den Löß in den liegenden Sand und Kies graben. Wegen der größeren Einsturzgefahr fielen die Kavernen bedeutend kleiner als beim Abbau von Löß aus (Abb. 8b). Auch Ton konnte mit dieser Art des Schachtbergbaus gewonnen werden (s. Abb. 8c).

Aus dem Jahr 1972 stammt ein Interview mit dem letzten Mergelbrunnenbauer im Bereich der Jülicher Lößbörde, Adolf Krichel aus Hasselsweiler (Gemeinde Titz), der bis in die 1930er Jahre hinein tätig war (Schulze-Rettmer 1972). Bereits sein Vater und Großvater hatten den gleichen Beruf. Mit der Schaufel wurde ein Schacht bis zur Lagerstätte gegraben und von dort – wegen der Einsturzgefahr – binnen einer Woche Stollen bis zu einer Länge von 35 m gegraben. In den Stollen sorgte Kerzenlicht für die Beleuchtung. Tatsächlich wurden Kerzennischen in allen gegrabenen Lößkammern gefunden (s. Abb. 10 und 11). Erstaunlicherweise erledigte der professionelle Mergelbrunnenbauer diese Arbeit weitgehend allein.

In den 1970er Jahren wurden vermehrt alte Mergelkammern im Bereich der Braunkohletagebaue, vor allem im Tagebau Frimmersdorf, dokumentiert. So wurden alleine durch ein engmaschiges Bohrraster (5 m Raster) auf einer Baggertransport-Trasse rund 30 Mergelkeller entdeckt. Unter anderem deckte man bei der anschließenden Ausgrabung der Kammern mit dem Bagger ein tonnenförmiges glattes Gewölbe mit den Strichlisten der abgegrabenen Eimer und dem Namen von Peter Josef Schimmelpfennig und den Jahreszahlen 1894 und 1900 auf

(nach Seeling 1979, 107). Dies wirft bereits ein Licht auf die Standfestigkeit der Abbaustollen. Es konnte noch die Tochter von Peter Josef Schimmelpfenning aus Bedburg-Königshoven, Anna Wingerath ausfindig gemacht werden. Sie hatte ihrem bis zum Ersten Weltkrieg als Mergelbrunnenbauer tätigen Vater assistiert: "Nachdem der Mergel gewonnen war, ließen wir die im Löß nicht einfallenden Mergelkammern unverfüllt, und der Schacht wurde über einem Holzeinbau oberflächlich zugeschaufelt. Später gab es dann beim Bestellen der Felder manchmal Schwierigkeiten, wenn ein ganzes Fuhrwerk in die Mergellöcher einbrach. Einmal musste sogar ein Pferd erschossen werden..." (zitiert nach Seeling 1979, 107) (s. Abb. 9).

Heute gibt es wahrscheinlich niemanden mehr, der aus eigener Anschauung über dieses Gewerbe berichten kann.

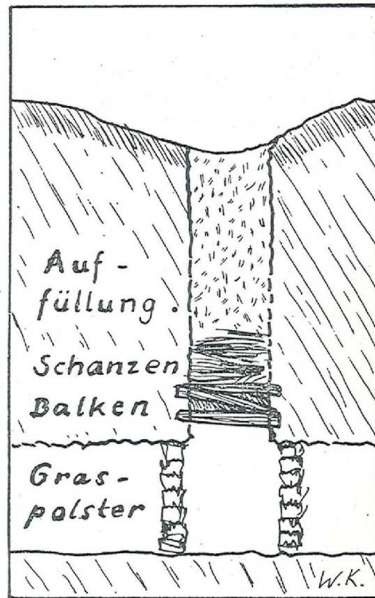


Abbildung 9: Verbau der Mergelschächte bei Erkelenz (Frohnhofen 1959).

Wie standfest und gut erhalten die Kammern aber trotz der großen Gefahr des Einsturzes noch bis heute sein können, zeigen die Bilder und Zeichnungen einer an der Baggerkante des Tagebaus Garzweiler archäologisch dokumentierten Mergelkammer (Arora 1998) (Abb. 10 und 11).

An den Abbauwänden des Braunkohletagebaus Garzweiler sind auch aktuell immer wieder neben bereits zu geschwemmten Mergelkammern etliche offene Kavernen zu erkennen. Auch bei archäologischen Ausgrabungen werden sie hin und wieder angetroffen (Abb. 12).

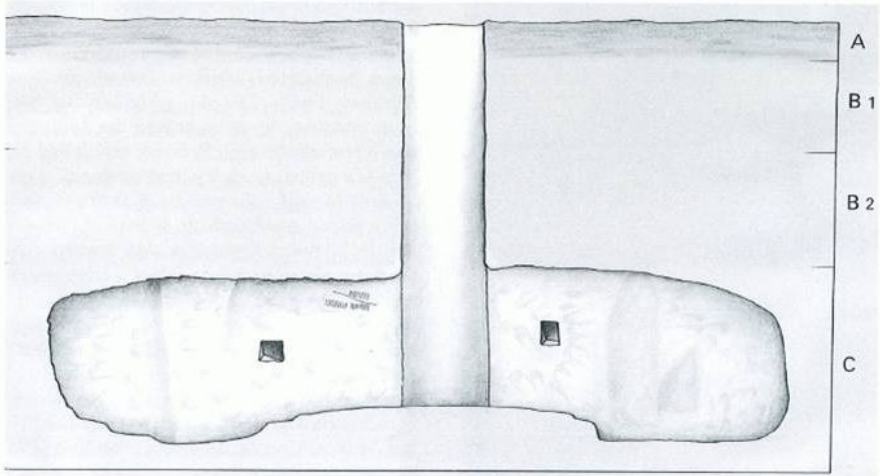


Abbildung 10: Schnitt durch eine Mergelgrube, dokumentiert an der Abbauwand des Braunkohletagebaus bei Jüchen (Arora 1997, 145).



Abbildung 11: Mergelkammer mit einer Kerzennische, an der Abbauwand des Braunkohletagebaus bei Jüchen (Arora 1997, 146).



Abbildung 12: Ausgrabung eines untertägigen Mergelabbaus bei Pulheim-Geyen (NW 2014/1061). Von dem Schacht gingen zwei noch intakte Mergelkammern ab. An der Kammerwand zeigten sich drei Kerzennischen mit Rußspuren. (Foto: Kai Sommer, Wurzel-Archäologie).

Unterirdische Gangsysteme und Keller

Nicht nur die Mergelkammern können kollabieren, auch in den Löß gegrabene Fluchtgänge und unterirdische Keller hinterlassen entsprechende Einsenkungen an der Oberfläche, wenn sie einstürzen.

An den Abbaukanten und auf Ausgrabungen konnte immer wieder die Existenz solcher Gänge und Keller, die von Häusern und von Ortslagen ausgehen, beobachtet werden. Solche Gänge und /oder Keller können Fluchtwege und – räume sein oder auch als Vorratskammern dienen. Sie wurden u. a. in Bedburg-Königshoven, (Alt-)Garzweiler und Grevenbroich archäologisch dokumentiert. Anhand der Keramik in den Verfüllungen werden sie in das Hochmittelalter datiert (Arora & Franzen 1987 und 1988).

Bei einem, vor wenigen Jahren inmitten der dichten Bebauung im Ortskern von Jüchen-Hochneukirch eingestürzten unterirdischen Hohlraum, dem ein Fischteich im Hinterhof eines Hauses zum Opfer fiel, liegt die Ursache aller Voraus-sicht nach in einem kollabierten Erdkeller oder -gang, den es hier nach Augen-zeugenangaben noch im Zweiten Weltkrieg gegeben hat (RP-Online, Jüchen: Vom Erdboden verschluckt. 8.7.2009).

(<https://rp-online.de/nrw/staedte/rhein-kreis/sport/vom-erdboden-verschluckt-aid-12210925>).

Aus Alsdorf bei Aachen gibt es Berichte, dass die dortigen Bergleute während des Zweiten Weltkriegs sogar neue Lößkeller als Schutzbunker anlegten, deren Existenz heute z. T. noch bekannt ist (<http://www.alsdorf-online.de/geschichte/pdf/kapitel-12.01.pdf>).

Gefahrenpotential des Kleinbergbaus

Es liegt auf der Hand, dass von diesen Schächten, Kammern und Gängen eine konkrete Gefährdung für Leib und Gut ausgehen kann, zumal dieses weitverbreitete Phänomen – anders als beim historischen Bergbau im Ruhrgebiet – inzwischen weitgehend unbekannt ist.

Hin und wieder sind allerdings Meldungen über Erdeinbrüche, die Landmaschinen, aber auch Wohngebäude betrafen, in der lokalen Presse zu finden.

Grundsätzlich können die in den Löß gegrabenen Hohlräume durchaus standfest und stabil sein, so sind in den Mitteldeutschen Lößregionen ganze Ortschaften, z. B. die sächsische Kleinstadt Lommatzsch durch mittelalterliche Lößkeller und -gänge unterhöhlt (Engel & Franke 1998). Mangelnde Kenntnis, Pflege und Sicherung sowie höhere Belastung durch Bauten und Verkehr führen aber inzwischen auch hier zu Sicherheitsproblemen. Schadensfälle sind dabei immer „eindeutig auf Wasserzutritt zurückzuführen“ (Engel & Franke 1998, 68). Wasserzutritt führt auch in den rheinischen Regionen zum Einstürzen der Kammern. „Kein Mensch kennt die Lage der Mergelkeller an Böschungen oder mitten im freien Felde, die bevorzugt im Frühjahr nach der Schneeschmelze oder nach langen Regenfällen einstürzen. Das dann getaute und versickernde Wasser sucht sich zuerst einen Abfluss im umgesetzten und lockeren Boden und bereitet dem mit Pferd, Traktor und Pflug ahnungslos ackernden Landwirt heimtückische Fallgruben.“ (Seeling 1979, 101f.).

Strenger Frost führt ebenfalls zum Einbruch der gefrorenen Kammerwände. Am Gillbach, bei Rommerskirchen brachte der kalte Winter 1939/1940 etliche

Mergelkammern zum Einbruch (Seeling 1979). Dies konnte aktuell im Januar 2010 nachvollzogen werden, als sich ein Mergelschacht auf einem Acker bei Pulheim-Geyen, am Rande des Pulheimer Baches öffnete. Teile der Mergelkammer blieben aber im Untergrund als Hohraum bestehen (Abb. 13).



Abbildung 13: Eingebrochener Mergelschacht bei Pulheim-Geyen, Januar 2010. Hinter dem Zollstock ist der Gewölbeansatz der noch teilweise intakten Kammer zu erkennen. (Foto: Horst Engel, Pulheimer Bachverband).

Die Konstruktion der Mergelkammern bringt es mit sich, dass zuerst die Schächte mit vergleichsweise geringem Schaden einbrechen. Die dazugehörigen unterirdischen Kammern können noch lange danach stabil bleiben. Zwischen 1966 und 1971 Jahre protokollierte ein ehrenamtlicher Archäologe anhand eingestürzter Schächte auf den Äckern zwischen Jülich und Titz 26 neuzeitliche Mergel- und Sandschächte (siehe Abb. 14) (Schulze-Rettmer 1972 und 1975).



Abbildung 14: Notdürftig gesicherter Schachteinbruch bei Jülich-Boslar (Schulze-Rettmer 1972).

Die dazugehörigen Hohlräume dürften noch im Untergrund schlummern, zumindest lässt sich noch kein Bezug zu größeren Hohlformen, die auf ein vollständiges Einbrechen schließen lassen, erkennen (s. Abb. 5).

Es steht allerdings zu befürchten, dass künstliche Wassereinträge, ebenso wie der Klimawandel mit seiner Zunahme von Extremereignissen in nächster Zeit zu einer verstärkten Einsturzgefahr von noch intakten Mergelkammern führen werden.

Aktuelle Einbrüche passieren zumeist in einem Umfeld, in dem sich bereits kollabierte Mergelkammern und damit abflusslose Hohlformen befinden. Eine echte Prognose, wo sich noch intakte Hohlräume im Untergrund befinden bei denen die Gefahr einer zukünftigen Bergsenkung besteht, ist aber nicht möglich. Angesichts der weiten Verbreitung von Löchern muss man nach dem jetzigen Kenntnisstand davon ausgehen, dass potentiell die gesamte Lösslandschaft mit Lössmächtigkeiten von mehr als 2 m von diesem Kleinbergbau betroffen sein kann.

Das LVR-Amt für Bodendenkmalpflege im Rheinland beschäftigt sich weiter mit diesem nicht nur archäologisch spannenden Thema. Zum Beispiel mit der

Frage, ob sich anhand der Morphologie der Löcher obertägiger und untertägiger Abbau unterscheiden lassen oder ob sich das Verbreitungsgebiet der Mergelschächte unter Berücksichtigung des Reliefs, alter Gemarkungsgrenzen und der Lößmächtigkeit eventuell eingrenzen lässt (s. u.).

Der beste Schutz vor den aktuellen Folgen des historischen Kleinbergbaus beginnt mit dem Wissen um das Phänomen. Nur mit der vollen Kenntnis über diese Hinterlassenschaften ist die Planung für die Zukunft möglich. Erst dann können auch – falls notwendig – geeignete Maßnahmen zur Baugrunderkundung und -sicherung ergriffen werden.

Fazit und Ausblick

Die anfänglich auf einem archäologisch-quellenkritischen Ansatz beruhende Beschäftigung mit den abflusslosen Hohlformen in der Lößlandschaft (Scheinfundstellen und Befunderstörung) hat sich rasch als vielfältiger erwiesen. Die Löcher sind Zeugen eines weitverbreitenden bäuerlichen Alltagsgewerbes, das im Rheinland bislang archäologisch kaum bekannt und kaum erforscht war. Von geowissenschaftlicher Seite wurde es im Rheinland zunächst als ein natürliches Phänomen angesehen (Pingos).

Wenn auch die Morphologie der abflusslosen Hohlformen recht ähnlich ist, kann ihre Entstehung höchst unterschiedlich sein, ebenso wie ihr primärer Nutzen. Die Löcher können offene Lehmgruben gewesen sein, oder sind kollabierte Schacht- und Kammerabbauten mit denen man tiefer liegende oder wertvollere Rohstoffe wie Mergel oder Sand und Kies fördert, oder sie dienten einfach als Drainage.

Ihre Verteilung ist zwar in der Lößlandschaft ubiquitär aber nicht gleichmäßig: Es deuten sich Häufungen dort an, wo sich für die beabsichtigte Nutzung besonders günstige Bedingungen boten. So braucht man für die Mergelschächte entsprechend mächtige Lößlager mit unverwittertem Löß im Untergrund. Drainagegruben wurden dort angelegt wo Staunässe herrschte. Aber auch der Transport spielte eine Rolle: Häufig reihen sich die Gruben längs von Altwegen auf. Eine Anlage im oberen Hangbereich erleichterte den Abtransport mit Karren, da man das Gefälle nutzen konnte. Ebenso lassen sich Konzentrationen an den Flurrändern beobachten. Manche Konzentration ehemals offener Gruben liegt dort, wo auf historischen Karten ein Wald verzeichnet ist. So devastierte man nicht das wertvolle Ackerland.

Alle diese Muster, die wohl auf einer Mischung aus natürlichen und kulturell-ökonomisch Gründen beruhen, zu detektieren wird eine zukünftige Aufgabe für die Landesarchäologie sein.

Literatur

Arora, S. K. und Franzen, J. (1987): Ein mittelalterliches Fluchtgangsystem aus Königshoven, Stadt Bedburg, Erftkreis.- Rheinisches Amt für Bodendenkmalpflege (Hrsg.): Dörfer und Städte; Bonn.

Arora, S. K. und Franzen, J. (1988): Unterirdische Gänge in hochmittelalterlichen Siedlungen im Abbaubereich Garzweiler.- Archäologie im Rheinland 1987; Bonn.

Arora, S. K. (1998): Eine Mergelgrube am Dorninger Weg.- Archäologie im Rheinland 1997, Bonn.

Baumewerd-Schmidt, H., Gerlach, R. (2001): Von Restfundstellen und Scheinfundstellen. Ergebnisse einer Grabenbetreuung in der Lößlandschaft.- Archäologische Informationen, 24/1: 13-19; Bonn.

Baumewerd-Schmidt, H., Gerlach, R. (2002): Die ausgezielte Landschaft. Ausmaß, Folgen und Konsequenzen.- Archäologie im Rheinland 2001: 149-152; Stuttgart.

Dittmaier, H. (1963): Rheinische Flurnamen.- Bonn.

Doege, C. (1997): Bauhandwerker und Ziegler im Rheinland.- Köln.

Eckmeier, E., Gerlach, R. (2002): Achtung: Löcher in der Landschaft. Die Materialentnahmegruben- Datenbank.- Archäologie im Rheinland 2001: 152-154; Stuttgart.

Engel, J., Franke, D. (1998): Erhaltung und Sanierung historischer unterirdischer Hohlräume im Lockergestein.- Bauingenieur, Band 73/2, S, 65-70; Düsseldorf.

Frohnhofen, H. (1959): Mergeln im Lövenicher Feld. - Heimatkalender der Erkelenzer Lande 1959.

Gerlach, R. (2001): Keinesfalls Ausnahmen. Materialentnahmegruben als Befundzerstörer.- Archäologische Informationen, 24/1: 29-38; Bonn.

Gerlach, R. (2013): Bäuerlicher Kleinbergbau in der Lößlandschaft des Rheinlandes.- Archäologie im Rheinland 2012: 176-178; Darmstadt.

Gerlach, R., Herzog, I. (2004): Achtung Löcher in der Landschaft!“ Wie ein archäologisches Problem mit Hilfe von Karten und digitalen Geländemodellen eingegrenzt werden kann.- Verband Deutscher Vermessungsingenieure – Schriftenreihe, Bd. 23: 55-98; Wiesbaden.

Gerlach, R. und Meurers-Balke, J. (2018): Mergeln in der Römerzeit? Von abflusslosen Hohlformen, kalkholden Unkräutern und rheinischen „Kesselmohren“- in: Aufleger, M. und Tutlies, P. (Hrsg.): Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile. Festschrift für Jürgen Kunow.- Materialien zur Bodendenkmalpflege im Rheinland 27: 305-316.

Gillijns, K., Poesen, J., Deckers, J., (2005): On the characteristics and origin of closed depressions in loess-derived soils in Europe – a case study from central Belgium.-Catena, 60: 43-48.

Haberey, W. (1951): Sandbrunnen.- Bonner Jahrbuch 151; S.122; Bonn.

Herzog, I. (2002): Materialentnahmegruben in digitalen Geländemodellen erkennen.- Archäologie im Rheinland 2001: 155-157; Stuttgart.

Immenkamp, A. (2001) (Hrsg.): Ziegelei Lage - Museumsführer; Essen.

Kügler, M. (1995): Pfeifenbäcker im Westerwald.- 423 S.; Bonn.

Maarleveld, G.C. und van den Toorn, J.C. (1955): Pseudosölle in Noord-Nederland.- Tijdschrift van het Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap, 72,4:344-360.

Momburg, R. (2000): Ziegeleien überall. Die Entwicklung des Ziegeleiwesens im Mindener Lübbecke Land.- Mindener Beiträge, Bd. 28; Minden.

Mückenhausen, E., Schegiewal, A.D., Schröder, D. (1976): Fossile Pingos und Pingo-ähnliche Gebilde (Hohlformen) - Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung, 17: 207-220.

Prince, H. C. (1962): Pits and Ponds in Norfolk. - Erdkunde, 16 (1): 10-31.

Prince H. C. (1979): Discussion – Marl pits or dolines of the Dorset Chalklands?- Transactions of the Institute of British Geographers, NS 4: 116-117.

Schneider, Friedrich Karl (1969): Fossile Pingos in der Niederrheinischen Bucht.- Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen, 17, S. 333-342; Krefeld.

Schulze-Rettmer, R. (unveröffentlicht, 1972): Fundmeldung zu Jülich, Kreis Düren, betr.: Neuzeitliche Mergelgruben/Sandbrunnen.- Fundmeldung im Archiv des LVR-Amtes für Bodendenkmalpflege im Rheinland, Bonn.

Schulze-Rettmer, R. (1975): Jülich (Fundmeldung). - Bonner Jahrbuch 175, S. 363; Bonn.

von Schwerz, J.N. (1836): Beschreibung der Landwirtschaft in Westfalen und Rheinpreußen, II. Teil.- Stuttgart 1836 (Faksimiledruck o. J. um 1980 durch Rheinischer Landwirtschafts-Verlag, Münster/Bonn) Digitale Version:
http://www.digitalis.uni-koeln.de/Schwerz/schwerz_index.html

Seeling, H. (1963): Feldbrand und Wallonen-Ziegler im Kreise Neuss.- Almanach für den Kreis Neuss 1981, S. 139-149.

Seeling, H. (1979): Mergelkammern und Sandbrunnen im Erftland.- Almanach für den Kreis Neuss 1979, S. 96-11.

Automatisierte Erkennung von Wölbäckern mittels DGM am Beispiel Prignitz (Nordwest Brandenburg)

D. Noack, M. Wulf

1. Einleitung

„Wölbäcker (Hochäcker) bestehen aus parallelen, langgestreckten (Langstreifenflur) und in der Mitte erhöhten Ackerbeeten (Ackerstreifen), die in der Breite meist nur 8 bis 20 Meter messen und gegenüber den dazwischen liegenden Furchen (die ebenfalls mehrere Meter breit sind) um bis zu 1 m erhöht sind“ (Wiegand 2005, 119). Sie sind im Wesentlichen durch die Anwendung eines Pfluges mit fest stehendem Streichbrett entstanden. Die Erdschollen wurden durch das Pflügen zur Ackermitte aufgehäuft und es entstand ein typisches Muster abwechselnd gewölbter Rücken und tieferer Senken (Abb. 1).



Abbildung 1: Wölbäcker östlich der Gemeinde Groß Pankow (Prignitz)

Weil das Wenden des Pfluges mit den Tieren ein anstrengender Vorgang war, wurde dieser weitgehend vermieden (Küster 2010), indem die Ackerstreifen sehr lang angelegt waren (mindestens mehrere 100 m, Haasis-Berner 2012; Wenzel 2013). Diese Langstreifenfluren waren in ganz Mitteleuropa verbreitet (Trächsel 1962; Wöbse 1992; Wiegand 2005), in Deutschland insbesondere im

15. bis 17. Jahrhundert (Klamm 1993; Konold 1997; Abb. 2). Die Zusammenlegung von Langstreifenfluren, intensive Bodenbearbeitung mit modernen Geräten oder auch anderweitige Nutzung haben die ehemaligen Vorkommen stark reduziert. Gleichwohl gibt es eine Reihe von Dokumentationen ehemaliger und aktueller Vorkommen in Deutschland (Abb. 2) und die Entdeckung weiterer Vorkommen wird maßgeblich durch das Airborne Laser Scanning unterstützt (Schellberg et al. 2010; Gertloff 2011).

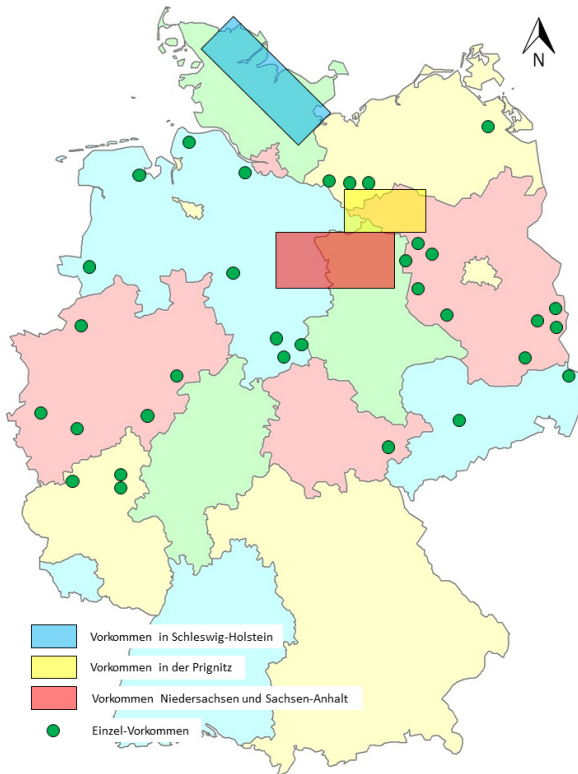


Abbildung 2: Vorkommen von Wölbäckern in Deutschland (nur Vorkommen nördlich der Rhein-Main-Linie) nach folgenden Literaturangaben; Andrae & Willerding 1989, Antony et al. 1989, Arbeitsgemeinschaft Heimatgeschichte Gottsbüren 2006, Arnold 2011, Balde 1976, Benthien 1960, Böhnisch 1960 und 1961, Born 1967 und 1979, Deumlich 2009, Ehlers 2011, Frank 1912, Heiland 1960, Hierold & Nagel 2001, Hirsekorn 2001, Hofmann & Voigtländer 1972, Jäger 1954, Janssen 1975 und 1979, Käubler 1955, 1956, 1962a,b, 1967 und 1972, Krausch 1959 und 1960, Landschaftsverband Westfalen-Lippe 2012, Linemann 1989, Linke 1979, Meibeyer 1969 und 1971, Mortensen & Scharlau 1949, Niemeier 1967, Oberbeck 1955, 1957 und 1958, Pagel & Teichmann 1963, Wegewitz 1951, Woithe 2003, Woithe & Rösler 2001, Wulf 2001 und Zoller 1961/63.

Neben der damaligen Pflugtechnik, wurden die Ackerrücken offenbar auch gezielt durch den Einsatz von Spaten erhöht (Bönisch 2013) und es wurde mancherorts zusätzlicher Dünger in Form von Plaggen (Landschaftsverband Westfalen-Lippe 2012) und Tierexkrementen (Bayerisches Landesamt für Umwelt, Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege 2013) aufgebracht. Das 10 bis 14 cm tief eindringende Streichbrett lockerte und durchlüftete den Oberboden, förderte die Bildung von Humus und erhöhter Mineralstoffzufuhr und steigerte die Erträge (Kaiser 2014). Wölbäcker zeichnen sich deshalb durch (stark) humose und fruchtbare Ackerkrumen aus (Wiegand 2005), was sich unter anderem durch besseres Wachstum von Bohnen, Kartoffeln, Kohl und Rüben auf den Rücken als auf dem flachen Feld äußert. Tatsächlich ist zumindest aus Bayern bekannt, dass Wölbäcker heute wieder im ökologischen Gartenbau empfohlen werden (Bayerisches Landesamt für Umwelt, Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege 2013). Darüber hinaus wird seit 2017 ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördertes Projekt (Entstehung und Bewirtschaftung von Wölbäckern in Sachsen-Anhalt) an der Universität Halle durchgeführt, weil die günstigen Eigenschaften der Böden bekannt sind, aber wenig über die Ursachen, die dazu geführt haben. Im Projekt soll deshalb mit modernen Analysemethoden geklärt werden, wie die Böden einst gedüngt wurden, bis dahin, dass Aussagen zu den verwendeten Tierexkrementen gemacht werden sollen. Weitere Informationen dazu siehe Universität Halle (2017) im Literaturverzeichnis.

Tatsächlich gibt es kontroverse Auffassungen über die Motivation der Anlage von Wölbäckern in der damaligen Zeit. Eine gängige Auffassung ist, dass in nassen Jahren der Ertrag auf den Rücken gesichert war, während in trockenen Jahren dieses für die Senken galt. Eine andere verbreitete Ansicht ist, dass auf den früher relativ nasser Böden die Rücken vergleichsweise trocken blieben, während die Senken als Drainagen dienten (Wiegand 2005). Die letztere Annahme erscheint vor allem vor dem Hintergrund einer zunehmenden Entwaldung bzw. bereits im Mittelalter vollzogenen Reduzierung der Waldfläche sehr plausibel, da der Grundwasserspiegel in einer relativ waldfreien Landschaft erhöht war. Man war damals also gezwungen die Ackerkulturen auf erhöhten Ackerbeeten anzulegen (Woithe 2003). Ob auch standörtliche Gründe eine Rolle für die Anlage spielten ist insofern schwer einzuschätzen, da Wölbäcker auf vielen verschiedenen Böden lokalisiert wurden. Allerdings ist die Zahl der Vorkommen auf sehr nassen Standorten, z. B. auf Niedermooren, auffallend gering (Wulf 2001; Noack 2019).

Wölbäcker waren in den 1960er und 1970er Jahren Gegenstand zahlreicher beschreibender Untersuchungen (siehe Wulf 2001 und darin zitierte Publikationen) und sind es seit einigen Jahren wieder. Wesentlicher Grund hierfür sind die neuen technischen Möglichkeiten durch das Laserscanning, auch LiDAR (= Light Detection And Ranging) als eine Methode der Fernerkundung, insbesondere des sogenannten Airborne Laser Scanning (ALS), bei dem die Scaneinheit auf einem Flugobjekt, meist Helikopter oder Flugzeug, angebracht ist. Die Methode liefert Informationen zu Geländehöhen und dient der Erstellung von Oberflächenmodellen in Form von digitalen Höhenmodellen (DGH) oder digitalen Geländemodellen (DGM), international üblicherweise als digitales Terrainmodell (DTM) bezeichnet. Die Bereitstellung hochauflösender DGM macht es möglich Geländestrukturen zu erkennen, die nur kleine Höhenunterschiede von ca. 30 cm aufweisen. Damit wurden bereits vielerorts Wölbäcker detektiert, aber der Ansatz einer automatisierten Detektion ist bislang nicht konsequent verfolgt worden.

1.1 Ziel der Studie

Das vorrangige Ziel der Studie von Noack (2019) war die Entwicklung einer Methode, welche die automatisierte Detektion von Wölbäckern in der Prignitz (Nordwest-Brandenburg) erlaubt. Die Wahl des Gebietes hat mit umfangreichen Vorarbeiten von Wulf (2001) zu tun, weil nur mit Hilfe einer genügend großen Menge bekannter Wölbäcker-Vorkommen geprüft werden kann, inwieweit die Methode zuverlässig anzuwenden ist.

Sofern die Methode vielversprechend ist, bietet sie die Chance Wölbäcker-Vorkommen größerer Räume zu detektieren und weiteren wissenschaftlichen Fragen nachgehen zu können. Wie oben bereits angeklungen ist, sind einige Fragen noch ungeklärt. Dazu gehören zum Beispiel folgende

- (i) Im Falle größerer Gebiete: Gibt es gehäufte Vorkommen von Wölbäckern innerhalb einer Region und wie lässt sich ein solches Muster erklären?
- (ii) Zeigen Wölbäcker-Vorkommen eine Präferenz für bestimmte Standorte?
- (iii) Lassen sich auf Wölbäckern, die heute mit Wald bestockt sind, bestimmte Hauptbaumarten finden?

Auf diese drei Fragen soll hier ebenfalls kurz eingegangen werden, nicht aber auf weiterführende Fragen, die im Rahmen anderer Projekte bearbeitet wer-

den, z. B. Fragen zum Stoffhaushalt von Wölbäckern und eventuell daraus resultierenden Effekten auf das Baumwachstum bzw. die Waldvegetation. Diese Aspekte werden allerdings im Abschnitt Schlussfolgerungen und Ausblick kurz aufgegriffen.

1.2 Untersuchungsgebiet

Die Prignitz in ihren Grenzen wie in Abbildung 3 dargestellt (Grenzfestlegung im Rahmen der Habilitation von Wulf 2004), umfasst 2.860 km² (= 286.000 ha) und wird fast zur Hälfte ackerbaulich genutzt (Tab. 1).

Tabelle 1: Nutzungsformen in der Prignitz nach Noack (2019).

Nutzungsform	Fläche [km ²]	Fläche [%]
Acker	1365	47,7
Wald/Forst	701	24,5
Grünland	637	22,3
Gewässer	31	1,1
Siedlungen und versiegelte Flächen	126	4,4
Summe	2860	100

Trotz der intensiven agrarischen Nutzung haben sich relativ viele kleinere Waldflächen erhalten und wurden als historisch alte Waldgebiete ausgewiesen (Wulf 2004). Es handelt sich dabei um Waldflächen, die nachweislich mindestens seit 200/250 Jahren als Waldfläche existieren. Dabei ist es unerheblich, ob die Vegetation der potenziell natürlichen Vegetation mehr oder weniger entspricht oder von dieser weit entfernt ist. Entscheidend ist die langfristige Kontinuität der Nutzung als Wald- bzw. Forstfläche. Von den 24,5 % Wald-/Forstfläche sind lediglich 21 % historisch alt und wiederum nur etwa 3,5 % historisch alte und zugleich naturnahe Waldfläche (Wulf 2004). Insbesondere in diesen letztgenannten Flächen finden sich vor allem Wölbäcker (vgl. Kapitel 2.1), aber auch in alten Wäldern, die nach 1890 etabliert wurden.

2. Stand der Forschung

Der Fokus der hier vorgestellten Arbeit liegt auf der Entwicklung einer Methode und nicht auf der Erforschung von Wölbäckern im Speziellen. Deshalb bezieht sich dieser Abschnitt ausschließlich auf die Prignitz und das vorhandene umfangreiche Material, welches zur Überprüfung einer Methode geeignet ist.

2.1 Untersuchungen in der Prignitz

Im Rahmen Ihrer Habilitation hat Wulf (2004) von 1995 bis 1998 rund 500 Waldflächen begangen und dabei in 73 Flächen erkennbare Wölbäcker gefunden (Abb. 3), die in Tabelle 2 morphologisch kurz charakterisiert sind.

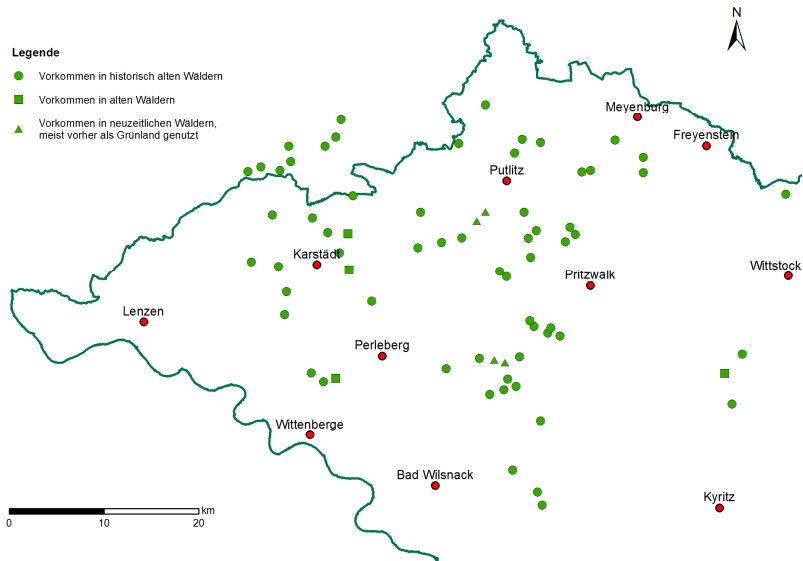


Abbildung 3: Vorkommen von Wölbäckern in der Prignitz nach Wulf (2001).

Tabelle 2: Morphologische Kennwerte der Wölbäcker in der Prignitz nach Wulf (2001).

Mittlere Wölbungsbreite [m]	7,9 ± 2,6
Mittlere Wölbungshöhe [cm]	56 ± 21
Mittlere Talbreite [m]	3,0 ± 1,2

In einem der größeren dieser 73 Waldflächen wurden die Wölbäcker systematisch flächendeckend untersucht und zwar in der Natteheide, die etwa 8 km südwestlich von Wittstock liegt (Nagel 1999; Hierold & Nagel 2001).

Es sei noch darauf hingewiesen, dass aufgrund der Zielsetzung der Habilitation von Wulf (2004) vornehmlich Laubholz- und Mischbestände mit hohem Laubholzanteil aufgesucht wurden, so dass keine flächendeckende terrestrische Erhebung sichtbarer Wölbäcker für die Prignitz vorliegt. Der Datensatz ist also einerseits nicht vollständig, andererseits aber groß genug, um die unten näher vorgestellte Methode (siehe Abschnitt 3.2) zu validieren.

2.2 Airborne Laser Scanning in der Landschaftsforschung

Für die genaue Funktionsweise des ALS sei auf Gaveau & Hill (2003) verwiesen. Hier soll auf den großen Vorteil des ALS für archäologische Neuentdeckungen eingegangen werden. Dieser liegt in der Detailgenauigkeit, vor allem in bewaldeten Flächen aufgrund der hohen Durchdringungstiefe der Laserstrahlen. Dadurch war es möglich mittelalterliche Grenzbefestigungen (Landwehre), Altäcker und Grabhügel der Bronzezeit im östlichen Ruhrgebiet (Pfeffer 2014) sowie vor- und frühgeschichtliche Burgwälle und Wegeführungen (Hohlwege) im Ostharz (Swieder 2014) zu lokalisieren. Daten des ALS sind also sehr gut geeignet, um potenzielle Bodendenkmäler ausfindig zu machen. Das gilt auch für solche, die sich unter einer geschlossenen Walddecke befinden wie es Sittler (2004) zuerst beispielhaft für Wölbacker-Vorkommen bei Rastatt (Baden-Württemberg) gezeigt hat.

Für die Gemeinde Karstädt im Landkreis Prignitz wurde im Jahr 2015 eine topographische Karte (Maßstab 1:25.000) mit flächenhaften Wölbacker-Vorkommen auf der Webseite des Ministeriums für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft (MLUL) des Landes Brandenburg veröffentlicht (siehe Landkreis Prignitz, Sachbereich Denkmalschutz 2015). Der Sachbereich Denkmalschutz des Landkreises hat die Karte im Wesentlichen mit Hilfe des DGM 1, welches im Brandenburg Viewer geöffnet werden kann (<https://bb-viewer.geobasis-bb.de/>), erstellt, vereinzelt fanden aber auch Besichtigungen der Strukturen im Gelände statt. Ein vergleichbarer Ansatz wurde auch durch die Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg (LGB, Dezernat 22) gewählt, ist aber nur durch mündliche Mitteilungen zwischen Noack (2019) und der LGB bekannt. Wenn man die Ergebnisse vergleicht, fällt auf, dass sich in beiden unabhängig voneinander durchgeführten Erfassungen die Wölbacker-Vorkommen nur geringfügig überlagern und auch die Vorkommen von Wulf (2001) größtenteils nicht beinhalten. Ein möglicher Erklärungsansatz kann in der Praxis der Schräglightschummerungen liegen, weil die Erkennung von Objekten maßgeblich von deren Schattenwurf abhängt, der wiederum in engem

Zusammenhang mit der Beleuchtungsrichtung (Azimut) und -höhe über dem Horizont steht. Bei der Anwendung dieser Methode auf große Gebiete kann es dazu führen, dass die Oberflächenbeschaffenheit fehlinterpretiert oder potentielle Bodendenkmäler gar nicht erst als solche erkannt werden, wie das Beispiel eines kleinen Waldes mit Wölbäckern in der Gemeinde Tüchen (Prignitz) zeigt (Abb. 4).

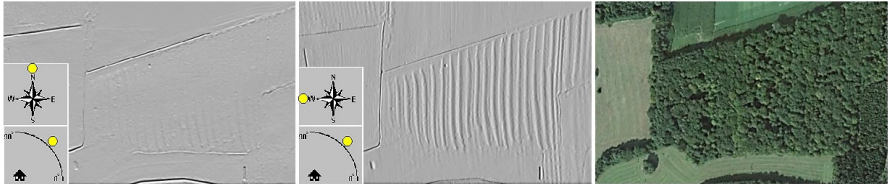


Abbildung 4: Reliefschattierung mit Beleuchtungsrichtung Nord-Süd (links) und Ost-West (Mitte).

Zur Vermeidung solcher Fehler ist ein häufiges Abändern der Beleuchtungsrichtung notwendig, so dass diese konventionelle Visualisierungstechnik für archäologische Dokumentationen als nicht optimal gilt (Devereux et al. 2008). In den vergangenen Jahren wurden deshalb weitere Darstellungsalgorithmen wie die sky-view factor Methode (Zakšek et al. 2011), die openness - Berechnung (Yokoyama et al. 2002; Doneus 2013) oder die Erstellung eines local relief (Hesse 2010) erarbeitet, die zusammen mit weiteren Berechnungsverfahren in einer LiDAR Visualisierungstoolbox, eine im Rahmen des EU-Projektes „ArchaeoLandscapes Europe“ entwickelte Open Source Software, implementiert wurden (Hesse 2016).

2.3 (Halb-) automatisierte Verfahren in der Landschaftsforschung

Die oben erwähnten Techniken haben die visuelle Auswertung des Reliefs zum Ziel und sind wegen ihrer intuitiven Erfassbarkeit weit verbreitet, haben aber den Nachteil, dass die Interpretation der Muster von den Erfahrungen des Beobachters abhängen und letztlich auch manuell digitalisiert werden müssen (Schneider et al. 2015). Damit bleibt die Vorgehensweise subjektiv und nicht exakt reproduzierbar (Lang & Blaschke 2007). Ein erster Ansatz zur automatisierten Auswertung von LiDAR Daten wurde von Heinzl & Sittler (2010) mit den von Sittler (2004) publizierten Daten in der Programmierumgebung HDevelop vorgenommen. Der Algorithmus ergab bei Testläufen eine über 80%ige Erkennung von Wölbäckern, selbst wenn die Höhenunterschiede zwischen Rücken und Senken nur 15 cm betragen. Weitere Arbeiten in dieser Richtung sind

nicht bekannt. Allerdings gibt es mehrere Arbeiten, welche die von der Beleuchtungsquelle unabhängige Methode der openness zur Vorauswahl von potenziellen Bodendenkmalen angewendet haben, z. B. Pregesbauer (2013) zur Erkundung von Grabhügeln ehemaliger Wikingersiedlungen in Schweden und Meyer (2015) zur Suche nach Burgen (Motten), Hügelgräbern und Wölbäckern in Westfalen-Lippe.

Halbautomatisierte Verfahren, wie oben erwähnt, haben den Vorteil, dass sie auf andere Gebiete übertragbar sind und damit eine effektivere Suche nach Zielobjekten ermöglichen. Bemerkenswert bleibt aber, dass trotz der dokumentierten Erfolgsaussichten von den Autoren wiederholt darauf hingewiesen wird, dass derartige Verfahren bisher recht selten zum Einsatz kommen (Trier et al. 2015; Sevara et al. 2016). Insofern ist mit der vorliegenden Arbeit auch der Wunsch verbunden, solche Ansätze bekannter zu machen, um im Rahmen des Bodendenkmalschutzes mehr zum Einsatz zu kommen.

3 Methodisches Vorgehen

3.1 Datengrundlagen und Werkzeuge

Das flugzeuggestützte Laser Scanning des Reliefs erfolgte in der Zeit von 2008 (DGM1 Prignitz) und 2009/2010 (DGM1 Dosse) durch das Unternehmen TopoSys® und der TerraTec AS im Auftrag der LGB (Tab. 3). Die Daten wurden als Raster-Datensätze im ASCII-Format bereitgestellt. Ergänzend wurden Geofachdaten des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS) genutzt und die digitalen Vektordaten der Bodenübersichtskarte (BÜK 200) des Landes Brandenburg. Datensätze zur Biotop- und Landnutzungskartierung sowie des Datenspeicher Wald, Version 2 wurden für die Auswertung der Vegetationsverhältnisse auf den Wölbäckern genutzt. Digitale Orthophotos (DOP) wurden als Hintergrundkarten verwendet.

Tabelle 3: Übersicht der verwendeten Daten.

Datensatz	Format	Stand	Quelle
DGM1 Prignitz	Grid	2008	LGB
DGM1 Dosse	Grid	2009/2010	LGB
ATKIS-Layer	Shapefile	2016	BKG
BÜK 200	Shapefile	2011	BGR
BTLN (CIR Biotoptypen)	Shapefile	2009	MLUL
Wölbackerstandorte	KML	2001	Wulf
Waldflächen/Bestockung	Shapefile	2011	DSW2, ZALF
DOP	GeoTIFF	2018	ESRI et al. 2018

Die Bildanalyse wurde mit der Software eCognition durchgeführt, Datenaufbereitungen und -analysen erfolgten mit ArcGIS (Version 10.3) und den darin enthaltenen Werkzeugen zur räumlichen Analyse (z. B. spatial analyst). ArcMap wurde für die Darstellung der Ergebnisse genutzt. Mit der Relief Visualisation Toolbox (Open Source RVT, Version 1.3) wurde die DGM-Visualisierung generiert, welche von Kokalj et al. (2016) entwickelt wurde. Für die Auswertung bzgl. der Standortverteilung kam das Geostatistikprogramm R zum Einsatz.

3.2 Identifikation von Wölbäckern

Zunächst wurde eine auf dem DGM (④) basierende Berechnung zur Visualisierung des Reliefs (①) unter Anwendung des openness-Algorithmus (② und ③) vorgenommen (Abb. 5). Unter Hinzunahme des DGM wurde eine sogenannte Bandkombination (= layer stack, ⑤) vollzogen, d.h. beide openness-Raster plus DGM wurden als Layer (= Schicht) gestapelt und gingen in die Segmentierung (⑥) ein. Parallel wurden ausgewählte thematische ATKIS-Layer (⑨) und abgeleitete Oberflächenparameter (⑦) in Bezug auf die Hangneigung (⑧) zur Festlegung von Ausschlussflächen (⑩) berücksichtigt. Als erstes Ergebnis entstanden Objektprimitive (= Bildprimitive, ⑪), die sich mit Hilfe von Vorkenntnissen zu den Wölbäcker-Charakteristika (⑫) klassifizieren (⑬) ließen. Die extrahierten Objekte wurden innerhalb ausgewählter Bereiche des UG getestet und auf ihre Genauigkeit überprüft (⑭). Dazu wurden die abgeleiteten

Ergebnisse mit bekannten Wölbacker-Vorkommen verglichen. Im Falle unzureichender Übereinstimmung wurde die Regelbasis angepasst, die Klassifizierung erneut vorgenommen und solange wiederholt, bis zufriedenstellende Ergebnisse erzielt wurden und eine Übertragung auf das gesamte UG erfolgen konnte (15). Die finalen Daten wurden exportiert (16) und für die Analyse zur räumlichen Verteilung im UG und der Präferenz bestimmter Standorte verwendet. Darüber hinaus wurden die Vegetationsverhältnisse der auf diese Weise detektierten Wölbacker mit Hilfe verschiedener Quellen untersucht.

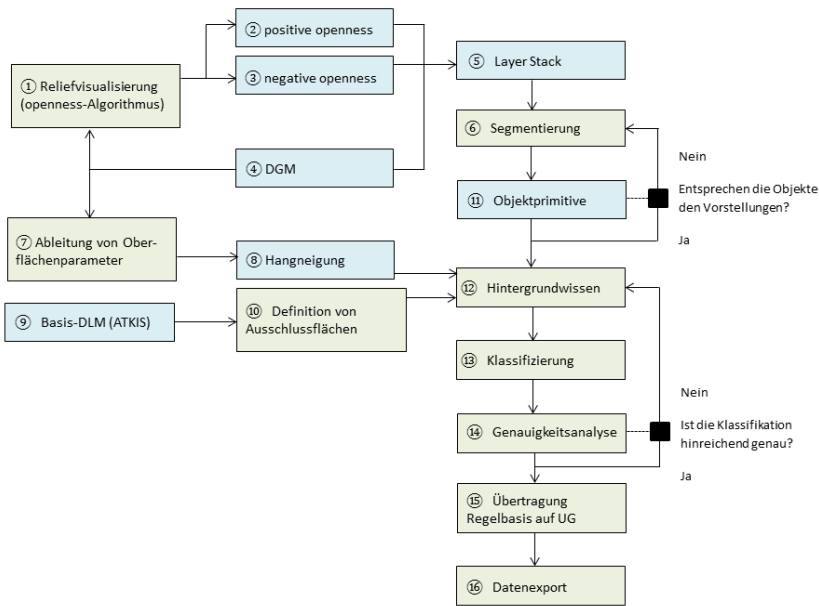


Abbildung 5: Workflow zum methodischen Vorgehen (nach Noack (2019), verändert).

An dieser Stelle kann keine tiefgehende Darstellung aller technischen Details zu den oben aufgeführten einzelnen Schritten erfolgen. Allerdings folgen einige Anmerkungen zu ausgewählten Punkten, um das Vorgehen möglichst nachvollziehbar zu halten.

3.2.1 Openness (①, ② und ③)

Im Zuge des openness Algorithmus wird eine diffuse Beleuchtung mit homogener Helligkeit durch eine auf den Pixel zentrierte Sphäre simuliert (Doneus 2013). Bei gegebener Topographie werden die Radiallinien so angepasst, dass die jeweils höchsten Punkte erhabener Geländeoberflächen gerade berührt werden, was letztlich die Bestimmung des maximalen Zenitwinkels ermöglicht, wie in Abbildung 6 links dargestellt. Durch wiederholte Vorgänge der Anpassung der Radiallinien ergibt sich ein Mittelwert, aus dem die positive openness abgeleitet wird, die im Prinzip konvexe Oberflächenformen repräsentiert. Wenn man sich bei den Berechnungen auf den Nadir (= der dem Zenit genau gegenüberliegende Punkt) bezieht, so ergibt der Mittelwert aller maximalen Winkel die negative openness (Abb. 6, rechts) und damit prinzipiell konkave Oberflächenformen (Hesse 2016).

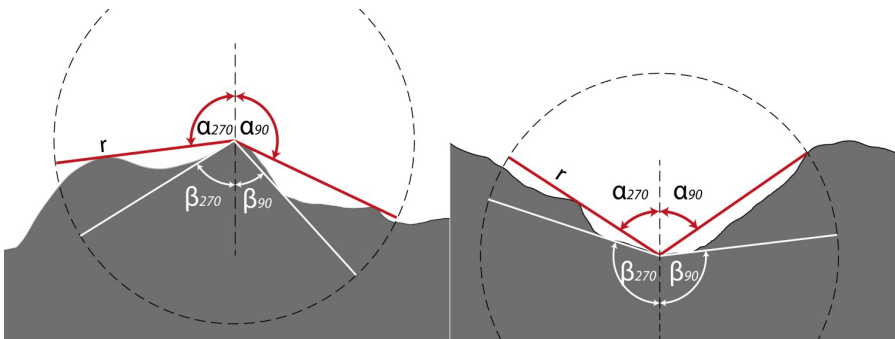


Abbildung 6: Vergleich der Berechnungsprinzipien der positive openness (α , rote Linie) und negative openness (β , weiße Linie) nach Yokoyama et al. (2002).

Für beide Kenngrößen liegen die Werte zwischen 0° und 180° , wobei der Algorithmus eine Art Trendbereinigung darstellt, welcher die Hangneigung außer Acht lässt. Das heißt, ein Wert von 90° entspricht einer Oberfläche ohne Wölbungen oder Vertiefungen und bezieht sich sowohl auf eine geneigte und als auch eine horizontale Ebene (Kokalj 2017). Innerhalb abgrenzbarer Landschaftselemente entstehen relativ homogene Darstellungen, zum Beispiel die charakteristischen Relieferhebungen und -vertiefungen bei Wölbäckern (Abb. 7), weshalb diese Visualisierungstechnik für halbautomatische Detektionen besonders gut geeignet ist (Zakšek et al. 2011; Doneus 2013).

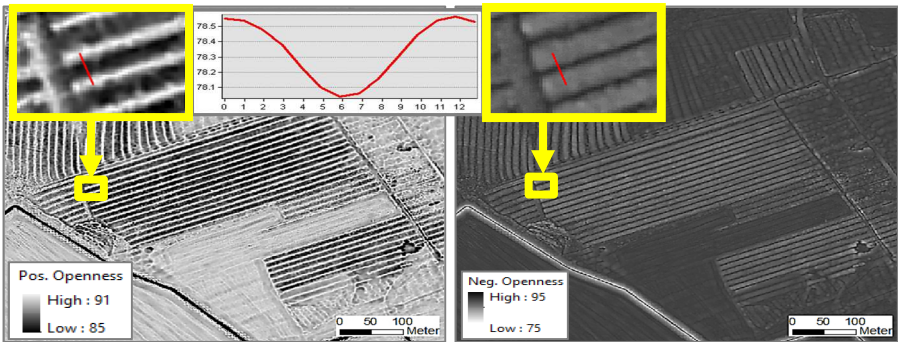


Abbildung 7: Visualisierung von Wölbäckerstrukturen mit positive (li.) und negative (re.) openness.

Abbildung 6 gibt das Rücken-Senken-Relief von Wölbäckern östlich der Ortschaft Bullendorf bei Groß Pankow wieder. In Anlehnung an gängige Darstellungen in der themenspezifischen Literatur und wegen der besseren Lesbarkeit wird die negative openness in einer invertierten Graustufenskala abgebildet. Das heißt, Rücken erscheinen deutlich heller als die Senken, um der intuitiven Wahrnehmung zu entsprechen.

3.2.2 Segmentierung (⑥)

Die Segmentierung ist ein initialer Schritt der objektorientierten Bildanalyse (OBIA), bei welcher nicht mehr einzelne Rasterzellen (= Pixel), sondern Pixelgruppen erfasst werden. Wie Blaschke & Strobl (2001) beschreiben, handelt es sich bei diesem Ansatz um einen Paradigmenwechsel bzgl. der Auswertung von hochaufgelösten Fernerkundungsdaten. Dabei werden Pixel mittels eines Homogenitätskriteriums (= Schwellenwert kleinstmöglicher Heterogenität) derart fusioniert, dass mehrere, sich nicht überlappende Bereiche (= Objektprimitive) entstehen (Abb. 8). Das Verfahren hat den entscheidenden Vorteil, dass bei der Objektabgrenzung aus hochgenauen Geländedaten eine Rasterzelle mit hoher Wahrscheinlichkeit der gleichen Kategorie wie sein Nachbar angehört und somit der Nachteil des salt and pepper-Effekts bzw. die Störung einer Klassifizierung durch unzusammenhängende Rasterzellen (Pixelrauschen) unterbunden wird (Blaschke 2000; Dräguț & Eisank 2011).

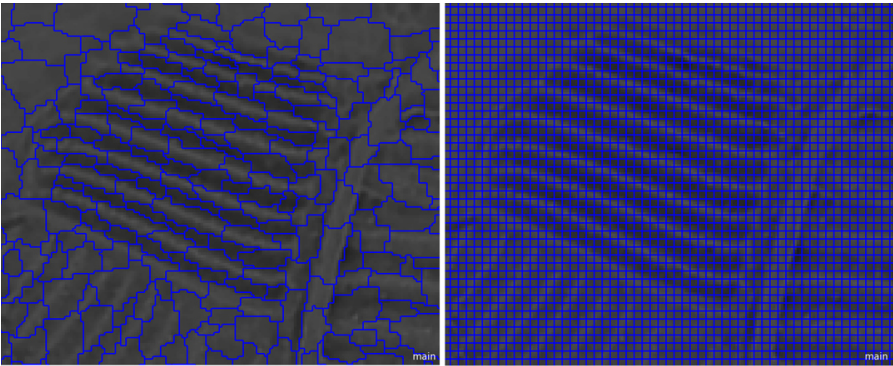


Abbildung 8: Vergleich der Basiseinheiten zur Klassifikation der Kulturlandschaftselemente. Durch die Segmentierung entstandene Objektstrukturen (li.) und DGM-Rasterzellen (re.).

Alle Einzelheiten des Verfahrens zu erläutern würde den hier vorgegebenen Rahmen sprengen. Es sei aber erwähnt, dass die Festlegung geeigneter Parameter für die Segmentierung ein langwieriger und iterativer Vorgang war. Da es keine Standards bzgl. der Segmentierungsparameter gibt, wurde mittels trial-and-error gearbeitet, wie es gängige Praxis ist (Im et al. 2014). Nach jedem Vorgang wurden die Objektprimitive visuell geprüft und der Vorgang der Anpassung solange wiederholt, bis die Ergebnisse zufriedenstellend waren. Dabei wurde die Findung der finalen Parametrisierung maßgeblich dadurch erschwert, dass die Wölbäcker durch Erosion und Zerschneidungen oft unregelmäßig strukturiert sind und deshalb in ihrer Ausprägung stark variieren können.

3.2.3 Festlegung von Ausschlussflächen (10)

Da ein großes Gebiet zu bearbeiten war, ist es sinnvoll von vornherein Flächen auszuschließen, die definitiv keine Wölbäcker aufweisen können. Dazu zählen alle bodenversiegelten Areale und Linienstrukturen, wie beispielsweise Achsen für Gewässer, Hochwasserschutzanlagen (Deiche), Trassen schienengebundener Verkehrswege und Straßen. Die Summe aller Ausschlussflächen beträgt im UG ca. 229,4 km² (= 7,7 % des Bearbeitungsgebietes; Abb. 9).

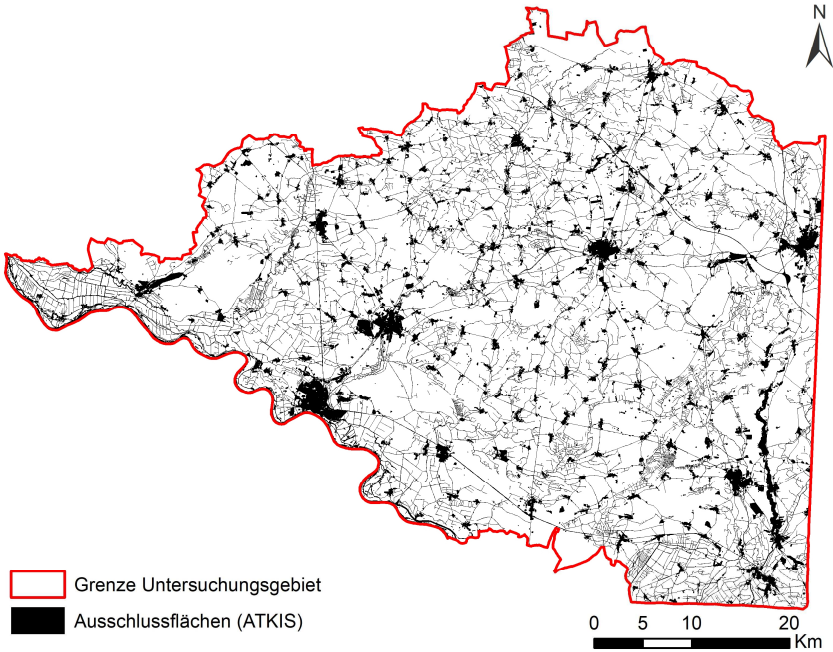


Abbildung 9: Anteil der Ausschlussflächen am UG (Noack 2019, Geodaten: BKG 2008; Wulf 2001).

3.2.4 Semantische Modellierung (12)

Zur Durchführung des OBIA-Verfahrens sind wissensbasierte Regelsätze eine Voraussetzung, wobei diese, einem Vorschlag von Argialas (1995) und Dehn et al. (2001) folgend, durch die Erstellung semantischer Modelle realisiert werden können (Abb. 10).

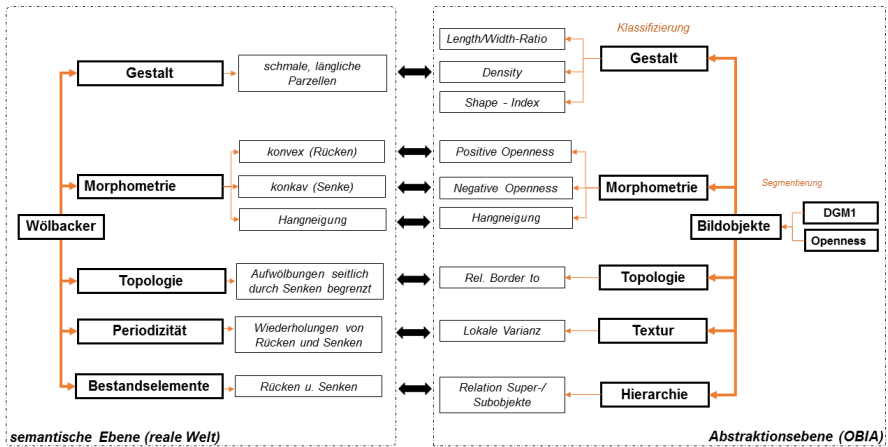


Abbildung 10: Semantisches Modell zur strukturellen Gegenüberstellung der Wölbäckermerkmale und Definition digitaler Objekte.

Viele der in Abbildung 10 wiedergegebenen Begriffe wurden weiter oben bereits erläutert, weshalb hier nur noch kurz auf drei Klassifizierungsparameter des OBIA-Verfahrens Bezug genommen wird. Wölbäcker sind schmale, langgestreckte Streifenfluren (Kittler 1963; Ewald 1969), deren Eigenschaften (Form) in der Objektgeometrie über das Verhältnis von Länge zu Breite (length/width ratio) und der niedrigen Kompaktheit der Objektprimitive (density, shape-Index) ausgedrückt werden können. Bezüglich der Topologie ist bereits erwähnt worden, dass Rücken und Senken benachbart sind und sich diese regelmäßige Beziehung über die gemeinsame Kantenlänge (Rel. Border to) darstellen lässt. Die periodische Wiederholung konvexer und konkaver Oberflächen lässt sich als Frequenz der Wölbäcker-Rücken und -Senken auffassen und kann durch statistische Kenngrößen, z. B. lokale Varianz, parametrisiert werden (Iwahashi & Kamiya 1995).

3.2.5 Klassifizierung (13)

Die durch die Segmentierung erzeugten Bildelemente wurden anschließend klassifiziert. Dabei wurden auf jeder der drei Segmentierungsebenen jeweils zwei Klassen angelegt (Abb. 11).

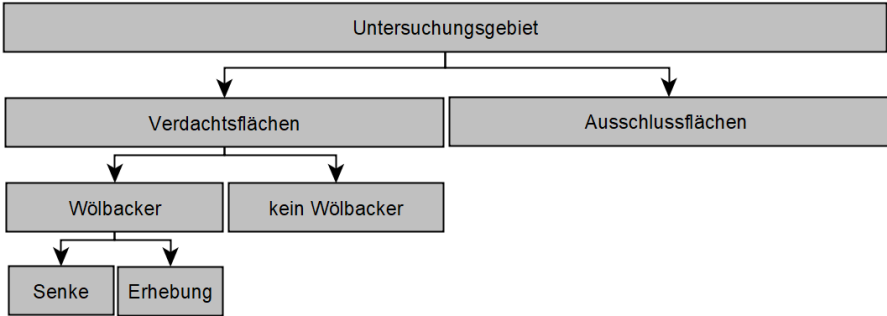


Abbildung 11: Segmentierungsebenen und verwendete Objektclassen.

Weiter oben wurde bereits dargestellt, welche Flächen von vornherein für die halbautomatische Detektion von Wölbackern ausgeschlossen wurden. Für die verbliebenen Verdachtsflächen war im Vorfeld klar, dass eine weiche Klassifikation zu wählen ist, um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass Wölbacker nicht immer exakt die gleichen Ausprägungen haben. Deshalb wurde ein Ansatz gewählt, welcher der fuzzy-Logik folgt und damit einen Wahrscheinlichkeitswert der Zugehörigkeit zu einer bestimmten Klasse liefert. Ausgewählte Referenzflächen mit Wölbackern wurden als Grundlage benutzt, um die Häufigkeitsverteilung digitaler Parameter zu ermitteln (Abb. 12). Auch dies war kein einmaliger Schritt, sondern musste mehrfach nach Anpassungen wiederholt werden, kann aber aus Platzgründen nicht im Detail erläutert werden.

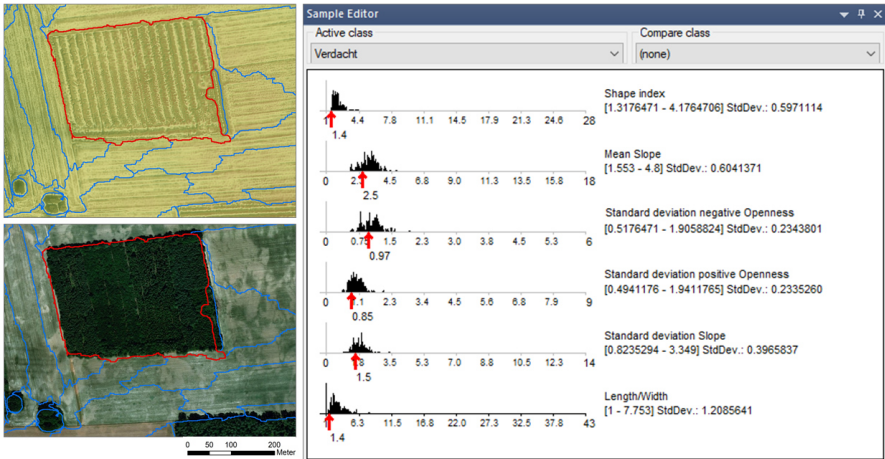


Abbildung 12: Häufigkeitsverteilung statistischer Kenngrößen für Referenzflächen der Klasse „Verdacht“ im sample editor (re.) mit markiertem Wölbacker (li., Geodaten: Esri et al. 2018; LGB 2018).

Im weiteren Vorgehen wurden die Funktionen der einzelnen Parameter logisch verknüpft, und zwar über den and(*)-Operator im eCognition Developer, da empirische Versuche erkennen ließen, dass damit die Verdachtsflächen am zuverlässigsten eingegrenzt wurden wie beispielhaft in Abbildung 13 dargestellt. Es folgten weitere Schritte zur Verfeinerung, die hier wiederum nicht im Detail dargestellt werden können.



Abbildung 13: DOP (li.), DGM (mi.) und Klassifikation „Ausschluss“ und „Verdacht“ nach optimalster Anpassung in eCognition (re.) (Noack 2019, Geodaten: Esri et al. 2018; LGB 2018).

3.2.6 Genauigkeitsanalyse (14)

Aus dem oben Gesagten lässt sich ableiten, dass es sicher keine absolut verlässliche Klassifizierung für Wölbäcker geben kann, da die Strukturen nie exakt gleich sind und es in der Landschaft an verschiedenen Stellen Störungen in der Regelmäßigkeit von Mustern gibt. Gleichwohl ist es das Bestreben der vorgelegten Arbeit, einen Algorithmus anzubieten, der hinreichend akkurat und damit praxistauglich ist.

Die Qualitätskontrolle erfolgte durch den Vergleich von klassifizierten Geoobjekten mit den verfügbaren Referenzdaten (auch als Bodenwahrheit = ground truth bezeichnet) von Wulf (2001) in ausgewählten Testgebieten. Allerdings mussten zuvor die Wölbäckerstrukturen mittels ArcGIS manuell digitalisiert werden, da die Vorkommen in Wulf (2001) nur als Punktinformation vorlagen. Außerdem wurden die von der LGB und Gemeinde Karstädt kartierten Flächen zur Orientierung herangezogen. In Abbildung 14 sind die Referenzen beispielhaft für das Testgebiet der Natteheide dargestellt.

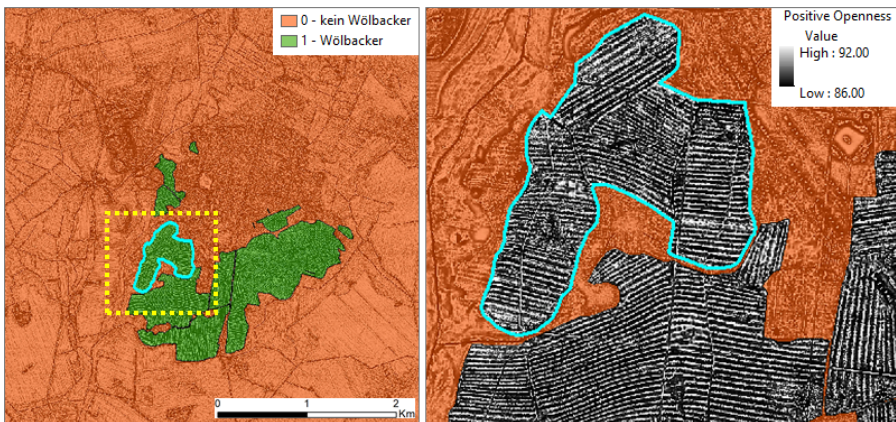


Abbildung 14: Manuelle Abgrenzung von Wölbäckerflächen als ground truth innerhalb des Testgebiets der Natteheide.

Nach erfolgter Klassifikation gilt es die Güte derselben zu bestimmen, was üblicherweise mit einer sogenannten Konfusions- bzw. Fehlermatrix realisiert wird und sich auch bei der Analyse von Daten aus der Fernerkundung bewährt hat (De Lange 2013). Die Gesamtgenauigkeit (= overall accuracy, OA) misst den prozentualen Anteil korrekter Klassenzuordnungen, berücksichtigt aber im Detail nicht die Benutzer- und Herstellergenauigkeit (user's accuracy, UA bzw. producer's accuracy, PA). Die Benutzergenauigkeit gibt an, wie zuverlässig ein

als Wölbacker klassifiziertes Element der Bodenwahrheit entspricht. Die Hersteller Genauigkeit lässt eine Aussage darüber zu, inwieweit die Zielobjekte „Wölbacker“ und „Nicht-Wölbacker“ richtig kategorisiert wurden. Diese beiden Parameter können über den kappa index of accuracy (KIA) verglichen werden, der Werte zwischen -1 und 1 erreicht (Landis & Koch 1977). Ein KIA-Wert von 1 entspricht einer vollständigen Übereinstimmung von ground truth und den durch die OBIA-Methode detektierten Wölbacker.

3.3 Verteilungsmuster der Wölbacker

Um zu prüfen, ob die Wölbacker im UG keine zufällige Verteilung aufweisen, wurde eine der Prüfstatistik entlehnte Punktmusteranalyse durchgeführt. Dazu wurde die theoretische Zufallsverteilung, welche über die Poisson Verteilung definiert ist, mit der empirischen Verteilung verglichen. Die empirische Verteilung wurde mit Hilfe der Kernel Density-Function nach Ripley (1977) bestimmt, weil sie gegenüber anderen Ansätzen den Vorteil hat, dass sie die Distanzen zwischen allen Wölbacker-Fundpunkten einbezieht und somit kleinräumige Verteilungen erfasst ohne den Gesamtkontext des UGs auszublenden (O’Sullivan & Unwin 2010).

Bei der k-Funktion wird um jeden Fundpunkt ein Kreis mit einem bestimmten Radius geschlagen und die darin befindlichen benachbarten Fundpunkte gezählt (Abb. 15). Wenn das für alle Fundpunkte abgeschlossen ist, wird die durchschnittliche Zahl an Fundpunkten pro Kreis über alle Kreise gemittelt, dann der Radius schrittweise vergrößert und der Vorgang solange wiederholt, bis der Kreis das gesamte UG abdeckt (Bailey & Gatrell 1995). Der unregelmäßige Umriss des UG kann spezifische Randeffekte hervorrufen, so dass am Ende noch entsprechende Korrekturen der Ergebnisse vorgenommen wurden (Baddeley et al. 2015).

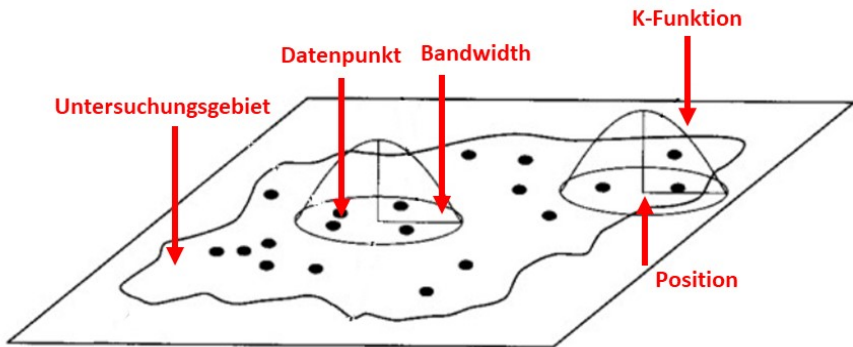


Abbildung 15: Prinzip der Kernel Density-Function Methode nach Bailey & Gatrell (1995).

3.4 Böden und Vegetation der Wölbäcker

Als Grundlage für Aussagen zu den Böden auf denen Wölbäcker vorkommen diente die Bodenübersichtskarte des Landes Brandenburg im Maßstab von 1: 200.000 (BÜK 200). Die von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Kooperation mit den Staatlichen Geologischen Landeseinrichtungen veröffentlichten Kartenwerke wurden generalisiert, inhaltlich aggregiert, nach wichtigen Substratgruppen gegliedert und bieten eine deutschlandweit einheitliche Grundlage (Krug et al. 2010). Für das UG wurden die beiden Kartenblätter CC 3134 Wittenberge und CC 3126 Hamburg-Ost herangezogen. Für die Datenzusammenstellung wurden die OBIA - Klassifikationen mit den Vektorgeometrien der BÜK 200 überlagert und anschließend deren Flächenanteile ausgewertet.

Um Aussagen über die Vegetation der Wölbäcker zu machen, wurde auf die landesweit verfügbare Biotoptypenkartierung zurückgegriffen (Zimmermann 2003; 2007). Zusätzlich stand der Datenspeicher Wald zur Verfügung, der Auskunft über wichtige Baumarten gibt (DSW 2; Redmann & Regenstein 2010). Die Verknüpfung der digitalen Forstgrundkarte mit den digitalen Wölbäcker-Vorkommen nach der OBIA-Klassifikation erlaubte eine flächenscharfe Auswertung der Hauptbaumanteile.

Außerdem wurden die nach OBIA-Methode ermittelten Wölbäcker-Vorkommen mit der am ZALF vorliegenden digitalen Schmettauschen Karte (1767-1787) und der Preußischen Landesaufnahme (1879–1902) verschnitten, um

Aussagen zu den Anteiligen Vorkommen in historisch alten bzw. alten Waldstandorten machen zu können.

4 Ergebnisse

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Aussagen sich nur auf die Wölbacker-Vorkommen beziehen, die nach der vorgestellten OBIA-Methode ermittelt wurden. Wölbacher, die durch Geländebegehungen seitens der LGB oder des Landkreises Prignitz (siehe Anmerkung oben im Abschnitt 2.2) gefunden wurden, wurden nicht berücksichtigt.

4.1 Lokalisierung von Wölbacker-Vorkommen

Die große Datenmenge und entsprechender Rechenaufwand erforderten die Aufteilung des UG in kleinere Raumeinheiten, insgesamt in 146 Kacheln (= subsets), von denen jede eine räumliche Ausdehnung von 5100 x 5100 Pixel hat bzw. 26 km² umfasst. Durch die subset-Grenzen können Objekte zerschnitten werden, weshalb ein Überlappungsbereich von 100 m angelegt wurde. Nach Abschluss der Bildanalysen wurden die Ergebnisse zusammengefügt und die Geometrien zur weiteren Analyse im GIS als Polygon-Shapefile exportiert.

Um die Ergebnisse bewerten zu können, wurden drei Testgebiete zur Kalibrierung (Nr. 1 bis 3) und drei weitere Testgebiete (Nr. 4 bis 6) zur Validierung ausgewählt (Abb. 16).

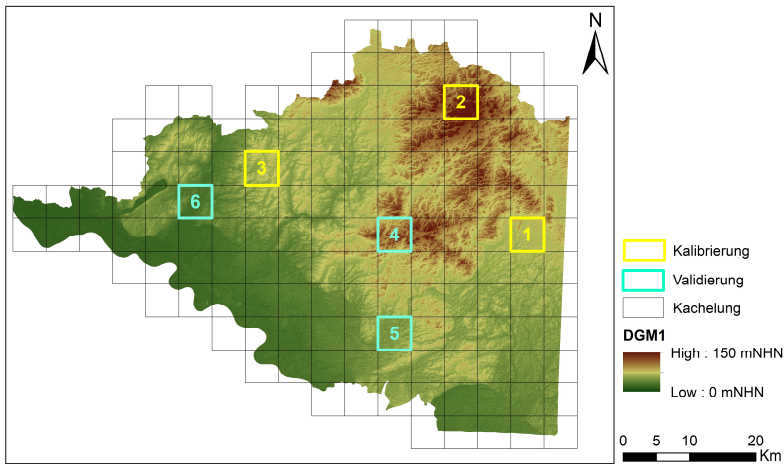


Abbildung 16: Subset-Einteilung des UGs mit Übersicht über die Lage der Testgebiete (Noack 2019; Geodaten: LGB 2018).

Die Ergebnisse in Tabelle 4 weisen auf eine hohe Gesamtgenauigkeit (OA) für die Kalibrierung und Validierung hin, die zwischen rund 94 und 99 % liegt. Die Kappa-Indizes (KIA) mit Werten zwischen rund 56 und 79 % bestätigen, dass nach Landis & Koch (1977) eine akzeptable bis gute Klassifikationsgüte erreicht wurde, lediglich das Testgebiet 5 ist im Ergebnis als mittelmäßig zu bewerten.

Tabelle 4: Klassifikationsgenauigkeit des Regelwerks.

Gebiet	PA [%]		UA [%]		OA [%]	KIA [%]
	Wölbäcker	Kein Wölbäcker	Wölbäcker	Kein Wölbäcker		
Kalibrierung						
Testgebiet 1	80,1	98,0	81,2	97,9	96,3	78,6
Testgebiet 2	74,8	99,5	59,4	99,8	99,3	65,8
Testgebiet 3	65,9	99,2	94,4	93,6	93,7	74,1
Validierung						
Testgebiet 4	67,5	98,8	62,4	99,1	98,0	63,8
Testgebiet 5	79,6	97,3	44,9	99,4	96,8	55,9
Testgebiet 6	73,6	97,7	75,2	97,5	95,6	72,0

Aus Tabelle 4 wird auch deutlich, dass die Gruppe „kein Wölbäcker“ in allen Fällen recht hohe Benutzer- sowie Herstellergenauigkeiten von über 98 % aufweist, was sich u. a. durch die Berücksichtigung der ATKIS-basierten Ausschlussflächen erklären lässt.

Bezüglich der PA-Werte für „Wölbäcker“ zeigen die Testgebiete 1 bis 3 hohe Prozentwerte der korrekten Erfassung von Referenzflächen. Vergleichbar hohe positive Werte ergaben sich bei Anwendung des Regelwerkes auf die zu validierenden Gebiete 4 bis 6.

Vergleicht man allerdings die UA-Werte für die Zielklasse „Wölbäcker“ fällt auf, dass diese für die drei Testgebiete 1, 3 und 6 höher ausfallen als deren PA-Wert. Daraus lässt sich schließen, wie auch durch die abgeleiteten Überlassungsfehler (commission error) bestätigt (Tab. 5), dass die Zielklasse innerhalb dieser Gebiete unterschätzt wurde. Das heißt, Objekte, die als Wölbäcker zu klassifizieren gewesen wären, wurden nicht erkannt.

Tabelle 5: Über- und Unterlassungsfehler der Klassifizierungen.

Gebiet	Commission [%]		Ommission [%]	
	Wölbacker	Kein Wölbacker	Wölbacker	Kein Wölbacker
Kalibrierung				
Testgebiet 1	18,8	2,1	19,9	2,0
Testgebiet 2	40,7	0,2	25,2	0,5
Testgebiet 3	5,6	6,4	34,1	0,8
Validierung				
Testgebiet 4	37,6	0,9	32,6	1,2
Testgebiet 5	55,1	0,6	20,4	2,7
Testgebiet 6	24,8	2,5	26,4	2,3

Grundsätzlich lässt sich aus den Ergebnissen schließen, dass die automatisierte Erfassung von Wölbackern anhand des erarbeiteten Regelwerkes plausibel und verlässlich anwendbar ist. Insbesondere die OA-Werte von über 95 % für die Kalibrierung und die Validierung sowie die Kappa-Indizes von deutlich über 60 % sprechen für eine Übertragbarkeit der Methode auf das gesamte UG.

Ungeachtet dessen, gibt es ein paar Fehlklassifikationen, die für alle Testgebiete zusammenfassend in Abbildung 17 dargestellt sind. Daraus wird deutlich, dass sich die größten Diskrepanzen innerhalb des Testgebiets Nr. 5 ergaben. Der relativ hohe Anteil Falsch-Positiver Klassifizierungen von rund 55 % spiegelt sich auch in einem mittelmäßigen KIA-Wert von nur rund 56 % wider.

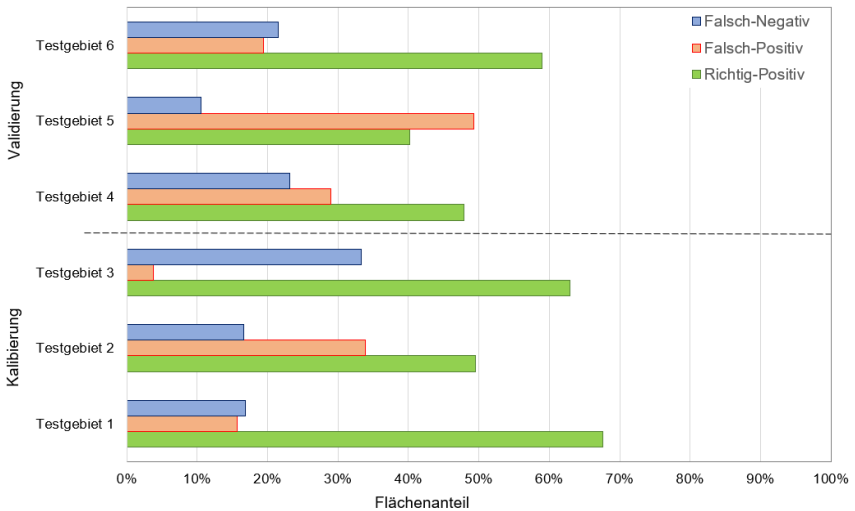


Abbildung 17: Prozentuale Auswertung des Verschnitts von ground truth – Flächen mit Flächen nach der OBIA-Klassifizierung.

Für einen Teilbereich des Testgebietes 6 sind die Ergebnisse der Zuweisungen beispielhaft in Abbildung 18 dargestellt.

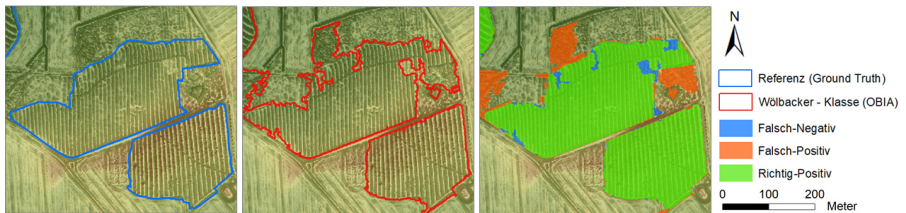


Abbildung 18: Manuell erstellte Umrisse der Bodenreferenz für Wölbacker (li.), Wölbacker – Klassifizierung der OBIA (mi.) und deren Überlagerung (re.).

Um im Einzelfall die Fehlklassifikationen zu verstehen sind sicher unter anderem vor Ort Begehungen notwendig. Aber in vielen Fällen lässt sich doch erkennen, dass es sich bei den Falsch-Positiv Zuweisungen oftmals um schmale, linienförmige Objekte wie z. B. kleinere, unbefestigte Wege- und Straßenstrukturen sowie Grabentrassen handelt, welche in dieser Form nicht in der Ausschluss-Klasse enthalten waren. Die unten stehenden Abbildungen 19 und 20

geben einige Beispiele zu Fehldetektionen innerhalb der Testgebiete Nr. 2 (Brügge) und Nr. 5 (Vehlin) wider.

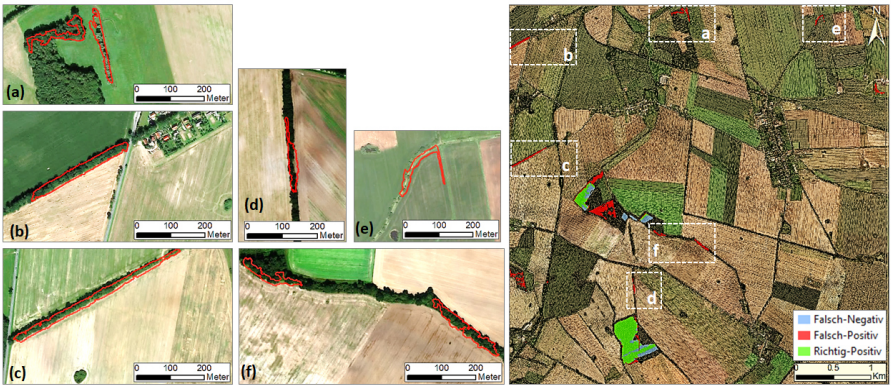


Abbildung 19: Ausschnitte von Fehldetektionen innerhalb des Testgebietes Nr. 2 (Noack 2019; Geodaten: Esri et al. 2018).

Auf den digitalen Orthophotos ist auch zu erkennen, dass Fehlklassifikationen bzw. Ungenauigkeiten maßgeblich infolge von Verwallungen innerhalb bewaldeter Gebiete auftreten können.

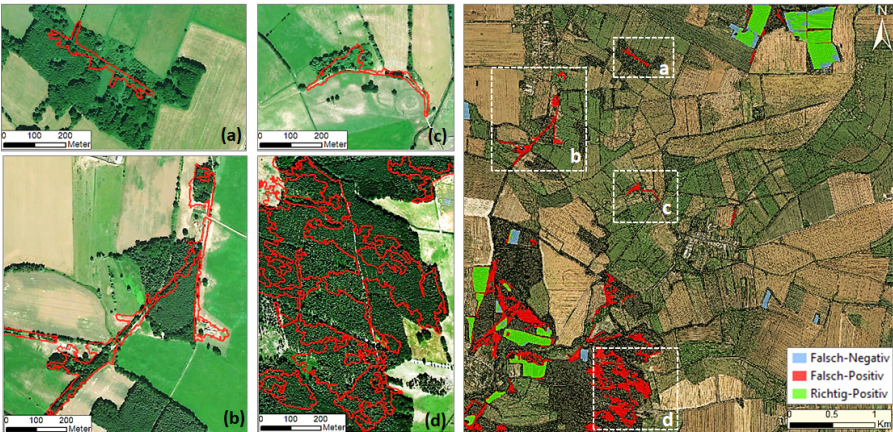


Abbildung 20: Ausschnitte von Fehldetektionen innerhalb des Testgebietes Nr. 5 (Noack 2019; Geodaten: Esri et al. 2018).

4.2 Verteilungsmuster der Wölbäcker in der Prignitz

Die Wölbäcker-Vorkommen sind im UG nicht gleichmäßig verteilt. Abbildung 21 verdeutlicht eine höhere Dichte der Vorkommen im zentralen und nord-westlichen Teil der Prignitz und im östlichen Teil eine geringere Dichte.

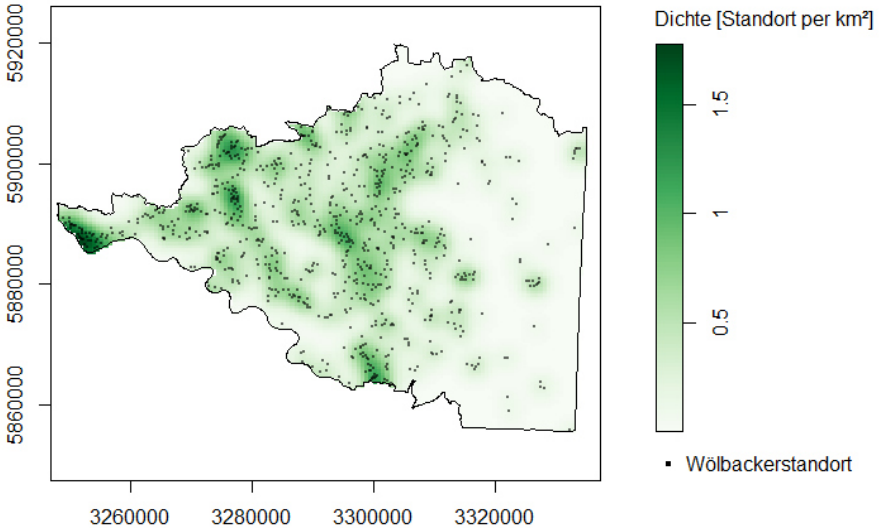


Abbildung 21: Verteilung der Wölbäcker-Vorkommen (als Punkte dargestellt) in der Prignitz (Noack 2019).

4.3 Böden und Vegetation der Wölbäcker in der Prignitz

Gut 75 % der Wölbäcker-Vorkommen befinden sich auf Braun- und Fahlerden, die sich zumeist aus mehr oder weniger lehmigen Decksandschichten entwickelt haben (Tab. 6). Ferner kommen Wölbäcker mit gut 20 % auf Grund- und Stauwasser (Gleye und Pseudogleye) beeinflussten Standorten vor, während vermoorte Standorte einen geringen Anteil von knapp 2 % ausmachen.

Tabelle 6: Vorherrschende Bodentypen der Wölbäcker nach BÜK 200.

Bodentyp(en)	Fläche	
	[km ²]	[%]
Braunerde, Braunerde-Parabraunerde, Fahlerde, Fahlerde-Braunerde, Braunerde-Fahlerde	25,6	38,7
Podsol-Braunerde und -Regosol, Regosol, podsoliger Regosol und Braunerde, Podsol-Gley-Braunerde	24,7	37,2
Pseudogley-Braunerde und -Fahlerde, vergleyte Braunerde-Fahlerde, Gley-Fahlerde und -Braunerde	7,2	10,9
Vega-(Pseudogley-)Gley, (Gley-)Vega, Auengley, Pseudogley bis Fahlerde-Pseudogley	4,3	6,5
Gley, Anmoor- und Humusgley, Kalk(humus-)gley	3,3	5,0
Niedermoor, Erdniedermoor aus Niedermoortorf	1,1	1,7
Gesamt	66,2	100

Der relativ hohe Anteil von Wölbäcker-Vorkommen auf feuchten/nassen Standorten (Vega, Gley und Pseudogley) erklärt sich vor allem durch Fundorte, die außerhalb von Waldflächen liegen, insbesondere in der Elbniederung in der Lenzer Wische. Diese Vorkommen wurden während des Juni-Hochwassers 2013 durch das Qualmwasser, welches zur Vernässung des Deichhinterlandes führte, besonders gut sichtbar (Abb. 22). Der Deichbau wurde in dieser Region um 1300 vollendet, die Anlage der Äcker dürfte danach erfolgt sein und die Struktur aus Rücken und Senken trug dazu bei anfallendes Qualmwasser zügig aus der bewirtschafteten Fläche in naheliegende Vorfluter abzuleiten (Enders 1962). Bemerkenswert ist, dass diese Strukturen bis heute erhalten sind, möglicherweise aus dem guten Grund, dass die Senken für die Drainage der erhöhten Rücken und deren Bewirtschaftung unerlässlich sind.

Die nachstehenden Fotos wurden durch das Brandenburgische Landesamt für Umwelt (LfU) vom ehemaligen DDR-Grenzturm direkt an der Elbe, etwa 1 km südlich von Lenzen, aufgenommen.

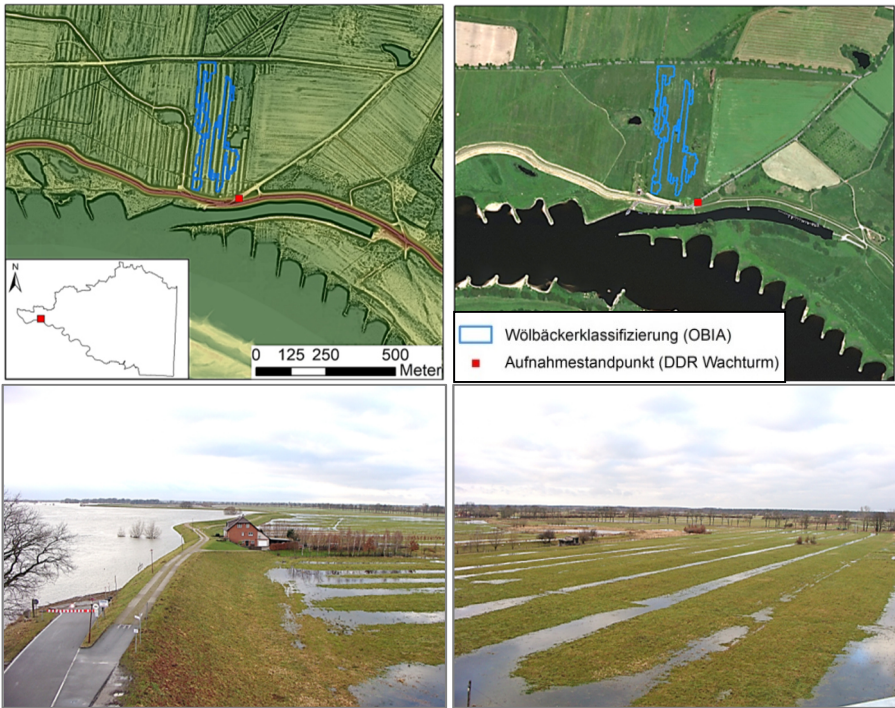


Abbildung 22: Lage eines elbnahen Wölbäckers auf Höhe der Fähre bei Lenzen (oben) und dessen Zustand während des Sommerhochwassers 2013 (unten) aufgenommen von L. Jacob 2013.

Die mit dem Regelwerk ermittelten Wölbäcker-Vorkommen befinden sich mit fast 92 % weit überwiegend in Wäldern und Forsten, nur knapp 7 % sind mit Gras- und Staudenfluren bedeckt und gut 1 % wird heute als Ackerfläche genutzt. Von den Wald- und Forstflächen sind etwa je zur Hälfte historisch alte sowie alte Waldstandorte, d. h. in Wald- bzw. Forstflächen die kontinuierlich als solche seit etwa 1780 bzw. 1880 genutzt werden. Deutlich geringer ist der Anteil der Wölbäcker-Vorkommen in neuzeitlichen Wald- bzw. Forstflächen, die erst nach 1890 etabliert wurden (Abb. 23).

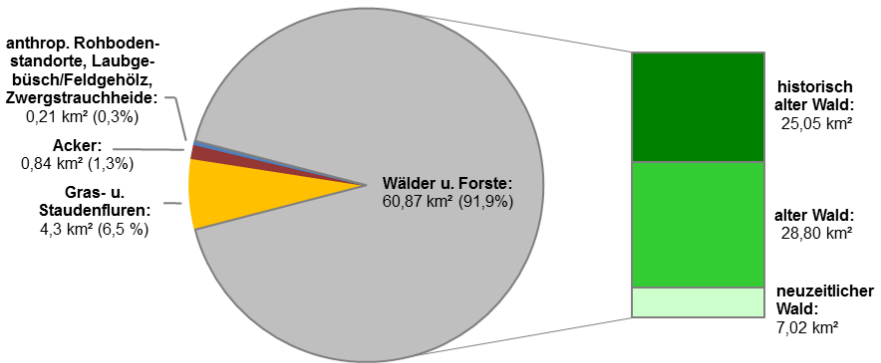


Abbildung 23: Biotypen der Wölbäcker-Vorkommen (li.) und deren Anteile an Wäldern bzw. Forsten unterschiedlicher Habitatkontinuität.

Ein genauerer Blick auf die Hauptbaumarten verdeutlicht, dass Wölbäcker überwiegend mit Kiefern- und Kiefern-Mischwäldern (rund 55 %) bestockt sind, während reine Laubholzbestände nur auf knapp 9 % der Wölbäckerfläche vorkommen (Tab. 7). Einen größeren Anteil machen noch andere Mischbestände mit knapp 20 % aus.

Tabelle 7: Bestockungsverhältnisse der Wölbäcker in der Prignitz nach Angaben aus dem DSW.

Bestandstypen	Fläche	
	[km ²]	[%]
Kiefernbestände (<i>Pinus sylvestris</i>)	23,9	39,2
Kiefern-Eichenbestände	5,4	8,9
Kiefern-Birkenbestände	2,6	4,3
Eichenbestände (<i>Quercus petraea</i> und <i>Q. robur</i>)	2,4	4,0
Birkenbestände (<i>Betula pendula</i>)	1,5	2,5
Kiefern-Buchenbestände	1,3	2,2
Buchenbestände (<i>Fagus sylvatica</i>)	1,3	2,1
Kiefern-Fichtenbestände	1,2	2,0
Fichten-(Kiefern-)Buchenbestände	1,2	1,9
Fichtenbestände (<i>Picea abies</i>)	1,1	1,8
(Kiefern-)Douglasienbestände (<i>Pseudotsuga menziesii</i>)	1,1	1,7
Birken-Kiefern-Eichenwald	0,9	1,4
Andere Mischbestände	11,8	19,4
Keine Bestandsangaben	5,2	8,6
Gesamt	60,9	100

5. Zusammenfassende Schlussfolgerungen

- Die mit Hilfe des OBIA-Verfahrens erzielte Klassifikations-Genauigkeit von über 90 % in den sechs Testgebieten ist mit der von Meyer (2015) angegebenen (90 % bis 100 %) vergleichbar.
- Für die gesamte Prignitz konnte die Genauigkeit nicht überprüft werden, da keine flächendeckenden Referenzdaten vorlagen. Allerdings wurden alle bis auf sieben der 61 punktuellen Vorkommen nach Wulf (2001) mit dem Verfahren erfasst.

- Innerhalb der Testgebiete handelte es sich bei den Falsch-Positiv-Klassifikationen meistens um Geländeunebenheiten sowie Wegsegmente oder Verkehrsstrassen, die in den ATKIS-Datenbeständen nicht enthalten waren.
- Das Verfahren erwies sich als besonders unzuverlässig in Gebieten mit einem recht heterogenen Geländere relief. Deshalb ist die automatisierte Detektion von Wölbäckern für die gesamte Prignitz nicht so verlässlich anwendbar wie erhofft bzw. die Methode hinsichtlich ihrer Allgemeingültigkeit eingeschränkt.
- Ungeachtet der genannten Einschränkungen trug das Verfahren dazu bei bisher unbekannte Wölbäckerstrukturen in der Prignitz aufzuspüren. Letztlich wurden dadurch Wölbäcker auf einer Gesamtfläche von rund 66 km² erfasst.
- Wölbäcker in der Prignitz finden sich vor allem im westlichen Teil und deutlich weniger im östlichen Teil. Das kann am ehesten damit erklärt werden, dass im Ostteil schon im 19. Jahrhundert ein größerer Flächenanteil von Laub- in Nadelholzbestände umgewandelt war (Wulf 2004). Im Zuge der Umwandlung ist es gut möglich, dass die Bodenoberfläche entsprechend verändert worden ist, so dass die Wölbäcker nicht mehr erkennbar sind bzw. ihre Strukturen überprägt wurden.
- Die wesentlichsten Bodentypen der Wölbäcker sind Braun- und Fahlerden. In geringem Maße kommen Wölbäcker auch auf nassen Standorten, wie z. B. Mooren vor, was gegenüber bisherigen Kenntnissen (Hierold & Nagel 2001; Wulf 2001) einen neuen Aspekt darstellt. Möglicherweise sind diese Vorkommen Versuche gewesen, Ackerbau auf den erhöhten Rücken betreiben zu können. Es bleibt zu klären, wann diese angelegt worden sind. Sofern die gut bearbeitbaren terrestrischen Flächen quasi ausgeschöpft waren, kann man sich vorstellen, dass auch versucht wurde schwerer zu bearbeitende Flächen zu erschließen. Diese müssten dann später angelegt worden sein.
- Der größte Teil der Wölbäcker-Vorkommen befindet sich in Wäldern, wobei sich alte Wälder und historisch alte Wälder (Kontinuität als Waldstandort etwa 150 bzw. 250 Jahre; Wulf 2004) mit jeweils rund 47 % bzw. 41 % etwa die Waage halten. Die Kiefer, in Rein- und Mischbeständen, ist die häufigste bestandsbildende Hauptbaumart, also ähnlich, wie es schon aus dem südlichen Brandenburger Raum von Böhnisch (1961) und Balde (1976) beschrieben wurde. Allerdings gibt es in der Prignitz auch etliche Laub-(Misch) bestände mit Wölbäckern, so dass sich insgesamt das Bild eines relativ weiten Spektrums an Hauptbaumarten ergibt, was bereits von Wulf (2001) dargestellt wurde. Eine

geringe Einschränkung ergibt sich lediglich dadurch, dass der DSW nicht alle Waldflächen abdeckt, so dass für rund 8 % der Wölbacker-Vorkommen keine Aussage zu den Hauptbaumarten möglich ist.

6. Ausblick

- Das vorgestellte Verfahren kann als wichtiges Instrument zur Voraberkundung potenzieller Wölbacker-Vorkommen eingesetzt werden und damit landschaftsplanerische Vorhaben unterstützen, insbesondere auch wenn es um die Ausweisung von Bodendenkmälern im Rahmen des Bodenschutzes des Landes Brandenburg geht (Landesumweltamt Brandenburg (LUA) 1996; Jessel 2000; Peters & Klinkhammer 2000; MLUV & Stiftung NaturSchutzFonds Brandenburg 2005; Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) 2011; Gall et al. 2013).
- Wölbäcker sind wichtiges Kulturgut in Europa und insbesondere auch in Deutschland, wie neben den zahlreichen Publikationen auch viele Links im Internet deutlich machen. Sie geben Aufschluss über frühere Bewirtschaftungs- und Sozialsysteme und die Kenntnisse ihrer Vorkommen sind in manchen Fällen unerlässlich, um aktuelle Muster und Prozesse in der Landschaft verstehen bzw. interpretieren zu können, wie Deumlich (2009) gezeigt hat. Im Jahre 2007 traten auf einem Maisschlag bei Radewege/Brielow nahe der Stadt Brandenburg sehr starke Erosionsschäden auf. Hier trafen mehrere erosionsauslösende Faktoren zusammen, nämlich Maiskultur im Jugendstadium (ungeschützte Bodenoberfläche), Häufung seltener Starkregen und zu Staunässe neigende Böden. In diesem Fall kam noch hinzu, dass Wölbackerfurchen, welche unter dem aktuellen Acker nicht erkennbar waren, aber noch ein Kleinrelief mit etwa 20 bis 30 cm Höhendifferenzen bildeten, den Oberflächenabfluss konzentrierten, so dass das Erosionsgeschehen ein enormes Ausmaß annahm (Deumlich 2009).
- Die genauere wissenschaftliche Erforschung von Wölbäckern ist deshalb von großem Interesse, weil sie - ob an der Oberfläche noch erkennbar oder nicht - weit verbreitet waren, was auch die große Zahl der Vorkommen in historisch alten Wäldern belegt. Wo jetzt Wald ist war einst Acker und möglicherweise hat die frühere Bewirtschaftung bzw. erhaltene Struktur abwechselnder Rücken und Senken einen Effekt auf die aktuelle Vegetation bzw. Produktivität der Böden. Erste Erkenntnisse zu einem Wölbacker-Vorkommen bei Frehne in der Prignitz hinsichtlich der Bodenphysik und -chemie sind von Hirsch et al. (2018) dargestellt. Hier gibt es deutliche Unterschiede zwischen den Rücken und Senken in den Bodenmerkmalen. In den Senken gibt es redoximorphe Merkmale

aufgrund eines flachen und mäßig durchlässigen Horizontes, die sich in einigen Stressmerkmalen der Baumringe ablesen lassen. Auf den Rücken fehlen die redoximorphen Merkmale, weil ein mäßig durchlässiger Horizont zwar vorhanden ist, aber in größerer Tiefe und damit auch in den Baumringen keine vergleichbaren Stressmerkmale ablesbar sind.

▪ Die charakteristischen Merkmale der abwechselnden Rücken und Senken hat - je nach Region - möglicherweise unterschiedliche Funktionen erfüllt, die nicht nur den Ertrag bzw. die Ertragssicherung betrafen, sondern auch die Festlegung von Eigentumsgrenzen bzw. Bewirtschaftungsgrenzen (Hirsch et al. 2018). Hier stehen noch einige Antworten aus und sprechen für eine weitere Erforschung von Wölbäckern.

7. Literatur

Andrae, C. & Willerding, U. (1989): Zur Entwicklung der Landwirtschaft bei Düna. - Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen 9: 74-79.

Antony, F., Benne, I. & Wildhagen, H. (1989): Böden mit Plaggenesch-Wölbacker-Vergangenheit im Bereich der nördlichen Lössgrenze westlich von Hannover. - Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 59(II): 831-836.

Arbeitsgemeinschaft Heimatgeschichte Gottsbüren (2006): Pilgerwege zum Wallfahrtsort Gottsbüren. Wölbäcker. Online Publikation <http://www.ecopfade.de/gottsb-00.html>

Argialas, D. (1995): Towards structured-knowledge models for landform representation. - Zeitschrift für Geomorphologie 11: 85-108.

Arnold, V. (2011): Celtic Fields und andere urgeschichtliche Ackersysteme in historisch alten Waldstandorten Schleswig-Holsteins aus Laserscan-Daten. - Archäologisches Korrespondenzblatt 41: 439-455.

Baddeley, A., Rubak, E. & Turner, R. (2015): Spatial point patterns: methodology and applications with R; Chapman and Hall/CRC, Boca Raton, Florida.

Bailey, T. C. & Gatrell, A. C. (1995): Interactive spatial data analysis; Longman Scientific & Technical Essex, New York.

Balde, M. (1976): Hochäcker im Walde. Eine siedlungsgeschichtliche Untersuchung im Kreise Forst/Niederlausitz. - Abhandlungen und Berichte des Naturkundemuseum Görlitz 50: 1-16.

Bayerisches Landesamt für Umwelt, Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege (Hrsg.) 2013: Heimatpflege in Bayern. - Historische Kulturlandschaftselemente in Bayern, Heft 4 -Online-Publikation <https://fundus-agricultura.wiki/?p=2912>

Benthien, B. (1960): Die historischen Flurfomen des südwestlichen Mecklenburg; Petermänken-Verlag, Schwerin.

Blaschke, T. (2000): Ohne Salz und Pfeffer. Objektorientierte Bildanalyse – eine Revolution in der Fernerkundung. - GeoBIT 2000(2): 30-32.

Blaschke, T. & Strobl, J. (2001): What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. - GIS-Zeitschrift für Geoinformationssysteme 6: 12-17.

Bönisch, E. (2013): Forschungspotenzial der Braunkohlenarchäologie zu Besiedelung, Landnutzung, Landschaftsentwicklung und Klimawandel. - GeoRS Vol. 1: 25-68.

Böhnisch, F. (1960): Der Stand der Wüstungsforschung in der Niederlausitz. - Abhandlungen und Berichte des Naturkundemuseums Görlitz 36: 10.

Böhnisch, F. (1961): Eine Fahrt zu den wüsten Dorfstellen der Kreise Guben und Fürstenberg. - Gubener Heimatkalender 1961: 80.

Born, M. (1967): Langstreifenfluren in Nordhessen? - Zeitschrift für Agrargeschichte und Agrarsoziologie 15(2): 105-133.

Born, M. (1979): Acker- und Flurformen des Mittelalters nach Untersuchungen von Flurwüstungen. - Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, Philologisch-Historische Klasse 3(115): 310-337.

Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) (2011): Archivböden. Empfehlungen zur Bewertung und zum Schutz von Böden mit besonderer Funktion als Archiv der Natur-und Kulturgeschichte; Aachen.

Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) (2008): ATKIS (Basis-DLM) Brandenburg - Webadresse https://www.geobasis-bb.de/geodaten/atk_dlm1.htm

De Lange, N. (2013): Geoinformatik: in Theorie und Praxis; Springer-Spektrum, Wiesbaden.

Dehn, M., Gärtner, H. & Dikau, R. (2001): Principles of semantic modeling of landform structures. - *Computers & Geosciences* 27: 1005-1010.

Deumlich, D. (2009): Beeinflusst historische Landnutzung die aktuelle Bodenerosion? - Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Kommission VI, Online Publikation <http://www.dbges.de>

Doneus, M. (2013): Openness as visualization technique for interpretative mapping of airborne Lidar derived digital terrain models. - *Remote Sensing* 5: 6427-6442.

Drăguț, L. & Eisank, C. (2011): Object representations at multiple scales from digital elevation models. - *Geomorphology* 129: 183-189.

Ehlers, J. (2011): *Das Eiszeitalter*; Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.

Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo and the GIS User Community (2018): The World Imagery basemap. Online verfügbar <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=588017d704814accb67b20bae75074e4>

Ewald, K. C. (1969): Agrarmorphologische Untersuchungen im Sundgau (Oberelsass) unter besonderer Berücksichtigung der Wölbäcker. - Tätigkeitsbericht der Naturforschenden Gesellschaft des Baselland 27: 9-178.

Frank, C. (1912): Die Hochäcker. - Bibliothek für Volks- und Heimatkunde. Sonderheft zu den "Deutschen Gauen" 87: 3-128.

Gall, B., Lantzsch, P. & Kersting, T. (2013): Böden als Archive der Kulturge-schichte. Darstellung an ausgewählten Beispielen im Land Brandenburg. - *Bodenschutz* 2: 40-45.

Gaveau, D. L. & Hill, R. A. (2003): Quantifying canopy height underestimation by laser pulse penetration in small-footprint airborne laser scanning data. - *Canadian Journal of Remote Sensing* 29: 650-657.

Gertloff, K.H. (2011): Detektion von Bodendenkmälern im Wald mit einem hochauflösenden Geländemodell aus Laserscannerdaten. - *ZfV - Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement* 136: 86-92.

Goodchild, M. F., Yuan, M. & Cova, T. J. (2007): Towards a general theory of geographic representation in GIS. - *International Journal of Geographical Information Science* 21: 239-260.

Haasis-Berner, A. (2012): Relikte mittelalterlicher Landnutzung. Der ehemalige Ort Mauchen (Lkr. Breisgau-Hochschwarzwald). - Denkmalpflege in Baden-Württemberg, Nachrichtenblatt der Landesdenkmalpflege 41: 54-55.

Heiland, I., (1960): Die Flurwüstungen der nördlichen Altmark- Eine historisch-geographische Untersuchung. - Jahressgabe XIV des Altmärkischen Museums Stendal 1960: 75-113.

Heinzel, J. & Sittler, B. (2010): LiDAR surveys of ancient landscapes in SW Germany: assessment of archaeological features under forests and attempts for automatic pattern recognition. - Third International Conference on Remote Sensing in Archaeology, 2009 Tiruchirappalli, Tamil Nadu, India. Archaeopress 2010: 113.

Hesse, R. (2010): LiDAR-derived Local Relief Models – a new tool for archaeological prospection. - Archaeological Prospection 17: 67-72.

Hesse, R. (2016): Visualisierung hochauflösender Digitaler Geländemodelle mit LiVT. - In: Herzog, I., Lieberwirth, U., Reinhard, J., Döhl, R., Schäfer, A., Leitte, H., Bock, H.-G., Patay-Horváth, A., Mara, H. & Hesse, R. (Hrsg.): 3D-Anwendungen in der Archäologie: 109-128.

Hierold, W. & Nagel, D. (2001): Die Wölbäcker von Natteheide (Brandenburg) – Zeugnisse historischer Landnutzung. - In: Harteisen, U., Schmidt, A., Wulf, M. (Hrsg.): Kulturlandschaftsforschung und Umweltplanung – GCA-Verlag, Reihe Forschen und Wissen - Landschaftsgestaltung, Herdecke: 101-111.

Hirsch, F., van der Maaten-Theunissen, M., van der Maaten, E., Schneider, A., Raab, A. & Raab, T. (2018): Soil physics and chemistry at two medieval ridge and furrow site in northeastern Germany. - Geophysical Research Abstracts 20: EGU2018-6261-1.

Hirse Korn, V. (2001): Äcker unter Dünen im Vorfeld des Tagebaus Cottbus-Nord. Ausgrabungen im Niederlausitzer Braunkohlenrevier. - Arbeitsberichte zur Bodendenkmalpflege in Brandenburg 2000: 155-162.

Hofmann, K. & Voigtländer, U. (1972): Die "Hochäcker" im Bezirk Neubrandenburg (Teil II). - Mitteilungen des Bezirksfachausschusses für Ur- und Frühgeschichte Neubrandenburg 19: 46-51.

Im, J., Quackenbush, L. J., Li, M. & Fang, F. (2014): Optimum Scale in Object-Based Image Analysis. - Scale Issues in Remote Sensing 2014: 197-214.

Iwahashi, J. & Kamiya, I. (1995): Landform classification using digital elevation model by the skills of Image Processing. - *Geoinformatics* 6: 97-108.

Institut für Forsteinrichtung und Standorterkundung (IFS, Hrsg.) (1960): Ergebnisse der Standortserkundung im Staatlichen Forstwirtschaftsbetrieb Perleberg (Erläuterungen zu den Standortskarten). Teil 1. - Selbstverlag, Schwerin: 156 S.

Institut für Forsteinrichtung und Standorterkundung (IFS, Hrsg.) (1961): Ergebnisse der Standortserkundung im Staatlichen Forstwirtschaftsbetrieb Kyritz (Erläuterungen zu den Standortskarten). Teil 1. - Selbstverlag, Schwerin: 124 S.

Jäger, H. (1954): Zur Wüstungs- und Kulturlandschaftsforschung. - *Erdkunde* 8: 302-309.

Janssen, W. (1975): Studien zur Wüstungsfrage im Fränkischen Altsiedelland zwischen Rhein, Mosel und Eifelnordrand; Rheinland-Verlag GmbH, Köln.

Janssen, W. (1979): Altfluren am Mittel- und Niederrhein. - *Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, Philologisch-Historische Klasse* 3(115): 338-375.

Jessel, B. (2000): Bodenbewertung für Planungs- und Zulassungsverfahren. - *Bran-denburgerische Umwelt Berichte (BUB)* 8: 95-99.

Käubler, R. (1955): Oberflächenformen als Geschichtsquelle. - *Wissenschaftliche Zeitschrift der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Reihe* 4: 681-683.

Käubler, R. (1956): Die Grenzbeschreibung von Pinnow vom Jahre 1226. - *Wissenschaftliche Zeitschrift der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Reihe* 3: 565-568.

Käubler, R. (1962a): Über Hochäcker zwischen Erzgebirge, Thüringer Wald und Ostsee. - *Berichte zur deutschen Landeskunde* 28(2): 70-73.

Käubler, R. (1962b): Zur Verbreitung von Hoch- oder Wölbäckern zwischen den deutschen Mittelgebirgen und der Ostsee. - *Wissenschaftliche Zeitschrift der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Reihe* 11(8): 937-940.

Käubler, R. (1967): Wölbäcker im Revier Schlagenthin bei Genthin. - *Hercynia* 4(2): 133-145.

Käubler, R. (1972): Fundamentaler neuzeitlicher Offenland-Wald-Wechsel in der Altmark. - *Hercynia* 9(3): 275-278.

Kaiser, R. (2014): Die Mittelmeerwelt und Europa in der Spätantike und Frühmittelalter. - *Neue Fischer Weltgeschichte Band 3*, 684 S.

Kittler, G. A. (1963): Das Problem der Hochäcker. *Zeitschrift für Agrargeschichte und Agrarsoziologie* 11(1): 141-159.

Klamm, M. (1993): Aufbau und Entstehung eisenzeitlicher Ackerfluren („Celtic Fields“). - *Göttinger Bodenkundliche Berichte* 102: 1-294.

Kokalj, Ž., Zakšek, K., Oštir, K., Pehani, P. & Čotar, K. (2016): Relief Visualization Toolbox, version 1.3 Manual. Online verfügbar <https://iaps.zrc-sazu.si/en/rvt#v>

Kokalj, Ž. H. R. & Hesse, R. (2017): Airborne laser scanning raster data visualization. A guide to good practice. Online Publikation https://iaps.zrc-sazu.si/sites/default/files/pkc014_kokalj.pdf

Konold, W. (1997): Wässerwiesen, Wölbäcker, Hackäcker: Geschichte und Vegetation alter Kulturlandschaftselemente. - *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* 27: 53-61.

Krausch, H.-D. (1959): Wandlungen des Landschaftsbildes im Kreise Guben. - *Gubener Heimatkalender* 1959: 65-81.

Krausch, H.-D. (1960): Wüstungsforschung in Brandenburg. Ein Überblick. - *Märkische Heimat* 4(3): 151-160.

Krug, D., Stegger, U. & Richter, S. (2010): Die Bodenübersichtskarte 1:200 000 – ein Gemeinschaftsprojekt von Bund und Ländern. - *Kartografische Nachrichten* 1: 19-27.

Küster, H. (2010): *Geschichte der Landschaft in Mitteleuropa. Von der Eiszeit bis zur Gegenwart*; 4. Aufl., Verlag C. H. Beck, München.

Landesumweltamt Brandenburg (LUA) (Hrsg.) (1996): *Der Landschaftsplan in Brandenburg*. - Selbstverlag, Potsdam: 72 S.

Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg (LGB) (2018): Aktualitätsübersicht - Digitales Geländemodell (DGM). Online verfügbar https://www.geobasis-bb.de/pdf-Dateien/BB_DGM_Aktualitaet_laserscan.pdf

LGB: Brandenburg-Viewer. Online-Zugang <https://bb-viewer.geobasis-bb.de/>

Landis, J. R. & Koch, G. G. (1977): The measurement of observer agreement for categorical data. - *Biometrics* 33(1): 159-174.

Landkreis Prignitz, Sachbereich Denkmalschutz (2015): Mittelalterliche Wölbäcker auf dem Gebiet der Gemeinde Karstädt (1:25.000). Online verfügbar https://mlul.brandenburg.de/media_fast/4055/Woelbaecker_Gemeinde_Karstaedt_Prignitz_TK25_DGM.pdf

Landschaftsverband Westfalen-Lippe (Hrsg.) (2012): Erhaltene Kulturlandschaftsentwicklung im Münsterland. 78 S. Online Publikation www.lwl.org/dlbw/service/publikationen/kulturlandschaft

Lang, S. & Blaschke, T. (2007): *Landschaftsanalyse mit GIS*; Ulmer-Verlag, Stuttgart.

Lienemann, J. (1989): Anthropogene Böden Nordwestdeutschlands in ihrer Beziehung zu historischen Bodennutzungssystemen. - *Probleme der Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet* 17: 77-117.

Linke, M. (1976): Archivalische Nachweise über die Nutzung natürlichen organischen Materials zur Düngung altmärkischer Wölbäcker. - *Jahrbuch für Wirtschaftsgeschichte* 176(II): 279-290.

Linke, M. (1979): Zur Verbreitung, Form und Entstehung altmärkischer Wölbäcker. - *Hercynia* 16(4): 431-439.

Meibeyer, W. (1969): Über den Profilaufbau des Pflughorizontes in Wölbäckern. - *Zeitschrift für Agrargeschichte und Agrarsoziologie* 17: 161-170.

Meibeyer, W. (1971): Wölbäcker und Flurformen im östlichen Niedersachsen. - *Braunschweiger Geographische Studien* 3: 35-66.

Meyer, F. (2015): Die automatische Suche nach Bodendenkmälern im Laserscan. - *Archäologie in Westfalen-Lippe* 2015: 250-254.

Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (MLUV, Hrsg.) und Stiftung NaturSchutzFonds Brandenburg (2005): Steckbriefe Brandenburger Böden. 8.2 Wölbäcker. Online verfügbar https://mlul.brandenburg.de/media_fast/4055/a_sb_8_2.pdf

Mortensen, H. & Scharlau, K. (1949): Der siedlungskundliche Wert der Kartierung von Wüstungsfluren. - *Nachrichten der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, I Philologisch-Historische Klasse* 11: 303-311.

Nagel, D. (1999): Wölbäcker als historische Landnutzungsform in der Prignitz (Land Brandenburg): eine kulturhistorische, boden- und vegetationskundliche Untersuchung am Beispiel der Natteheide (Ostprignitz). - Unveröffentlichte Diplomarbeit der FH Eberswalde, 84 S.

Niemeier, G. (1967): Bodenkundliche Differenzierungen in Flurwüstungen. - *Erdkunde* 21: 278-286.

Noack, D. 2019. GIS-gestützte Analyse zum Wölbäckervorkommen in der Prignitz. Unveröffentlichte MSc Arbeit an der Universität Salzburg.

Oberbeck, G. (1955): Die mittelalterliche Kulturlandschaft um Gifhorn unter besonderer Berücksichtigung der naturräumlichen Gliederung. - Dissertation der TU Braunschweig: 232 S.

Oberbeck, G. (1957): Die mittelalterliche Kulturlandschaft des Gebietes um Gifhorn. - *Schriften der Wirtschaftswissenschaftlichen Gesellschaft zum Studium Niedersachsens* 66: 1-175.

Oberbeck, G. (1958): Neue Ergebnisse der Flurformenforschung in Niedersachsen. - *Berichte zur deutschen Landeskunde* 20: 125-142.

O'Sullivan, D. & Unwin, D. J. (2010): *Geographic Information Analysis*; 2nd ed., Wiley, Hoboken, New Jersey.

Pagel, H. U. & Teichmann, J. (1963): Standortkundliche und ertragskundliche Untersuchungen in Kiefernbeständen auf Ackerhochrücken der Genthiner Ebene. - *Archiv für Forstwesen* 12(7): 717-750.

Peters, J. & Klinkhammer, B. (2000): Kulturhistorische Landschaftselemente. Systematisieren, kartieren und planen - Untersuchungen in Brandenburg. - *Naturschutz und Landschaftsplanung* 32 (5): 147-152.

Pfeffer, I. (2014): Ergebnisse der Auswertung von Karten und Geländemodellen des östlichen Ruhrgebiets. Regierungsbezirke Münster und Arnsberg. *Archäologie in Westfalen-Lippe* 2013: 197-200.

Pregesbauer, M. (2013): Object versus pixel — classification techniques for high-resolution airborne remote sensing data. - 10th International Conference on Archaeological Prospection, 29 May–2 June 2013 Austrian Academia of Sciences, Vienna, Austria: 200–202.

Redmann, M. & Regenstein, M. (2010): Datenspeicher Wald, Version 2. - *AFZ/Der Wald* 13: 10–11.

Ripley, B. D. (1977): Modelling spatial patterns. - Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological) 39(2): 172-212.

Schellberg, S., Sittler, B., Hering, S., Wattendorf, P. & Konold, W. (2010): Airborne Laser Scanning in der Kulturlandschaftsforschung. - Natur und Landschaft 85(5): 199-205.

Schneider, A., Takla, M., Nicolay, A., Raab, A. & Raab, T., (2015): A Template-matching Approach Combining Morphometric Variables for Automated Mapping of Charcoal Kiln Sites. - Archaeological Prospection 22: 45-62.

Sevara, C., Pregesbauer, M., Doneus, M., Verhoeven, G. & Trinks, I. (2016): Pixel versus object — A comparison of strategies for the semi-automated mapping of archaeological features using airborne laser scanning data. - Journal of Archaeological Science, Reports 5: 485-498.

Sittler, B. (2004): Revealing historical landscapes by using airborne laser scanning. International Archive of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science XXXVI - 8/W2: 258-261.

Swieder, A. (2014): Landschaftsarchäologie im Ostharz anhand von Laserscan-Daten. - Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, Beiheft 34: 41-52.

Trächsel, M. (1962): Die Hochäcker der Nordostschweiz. - Unveröffentlichte Dissertation der Universität Zürich.

Trier, Ø. D., Zortea, M. & Tønning, C. (2015): Automatic detection of mound structures in airborne laser scanning data. - Journal of Archaeological Science, Reports 2: 69-79.

Universität Halle (2017): Pressemitteilung online verfügbar unter https://www.landw.uni-halle.de/prof/bodenbiogeochemie/forschung/projekte/2401418_3036793/

Wegewitz, W. (1951): Wüste Dörfer im Rosengarten und im Stukenwald. - Harburger Jahrbuch 4 (1950/51): 89-151.

Wenzel, S. (2013): Mittelalterliche bis neuzeitliche Wölbäcker bei Kottenheim. - Die Eifel 108: 30-32.

Wiegand, C. (2005): Spurensuche in Niedersachsen: historische Kulturlandschaften entdecken; 2. Aufl., Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Co.KG, Hannover.

Wöbse, H. H. (1992): Historische Kulturlandschaften. - Garten + Landschaft 6/92: 9-13.

Woithe, F. (2003): Untersuchungen zur postglazialen Landschaftsentwicklung in der Niederlausitz. - Dissertation der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Online verfügbar unter <https://d-nb.info/972287671/34>.

Woithe, F. & Rösler, H. (2001): Bodenkundliche Untersuchung überdünter Wölbäcker in den Fluren von Merzdorf und Dissenchen, Tagebauvorfeld Cottbus-Nord. - Ausgrabungen im Niederlausitzer Braunkohlenrevier 2000: 197-202.

Wulf, M. (2001): Kulturlandschaftsforschung in Brandenburg. Beispiel Wölbäcker in der Prignitz. - In: Harteisen, U., Schmidt, A., Wulf, M. (Hrsg.): Kulturlandschaftsforschung und Umweltplanung – GCA-Verlag, Reihe Forschen und Wissen - Landschaftsgestaltung, Herdecke: 87-100.

Wulf, M. (2004): Auswirkungen des Landschaftswandels auf die Verbreitungsmuster von Waldpflanzen: Konsequenzen für den Naturschutz. - Dissertationes Botanicae 392: 1-306.

Yokoyama, R., Shirasawa, M. & Pike, R. J. (2002): Visualizing topography by openness: a new application of image processing to digital elevation models. - Photogrammetric engineering and remote sensing 68: 257-266.

Zakšek, K., Oštir, K. & Kokalj, Ž. (2011): Sky-view factor as a relief visualization technique. - Remote Sensing 3: 398-415.

Zimmermann, F. (2003): Biotopkartierung Brandenburg, Band 1: Kartierungsanleitung und Anlagen. - Verlag des Landesumweltamtes Brandenburg, Potsdam.

Zimmermann, F. (2007): Biotopkartierung Brandenburg, Band 2: Beschreibung der Biotoptypen. 3. Auflage. - Verlag des Landesumweltamtes Brandenburg, Potsdam.

Zoller, D. (1961/63): Gristede. Ein Beitrag zur Siedlungsarchäologie auf der Nordoldenburger Geest. - Archaeologia Geographica 10/11: 39-50.

Holzkohlenmeiler - vergessene Denkmäler?

S. Codreanu-Windauer

Abseits von gezielten Forschungen in universitären Einrichtungen, sind neue Entdeckungen in der Bodendenkmalpflege regelhaft dem Zufall zu verdanken, denn der Ort archäologischer Untersuchungen ist bedingt von den jeweiligen Bauvorhaben. In großen Städten mit ihrem so genannten „Speckgürtel“ ist dank der intensiven Bautätigkeit auch die archäologische Befundlage detailliert bekannt und gut einschätzbar. Anders verhält es sich mit den eher strukturschwachen Gegenden: Die Kenntnis archäologisch relevanter Bereiche beruht mangels eines dichteren Netzes an Grabungsflächen meist nur auf Lesefundstellen, historischem Archivmaterial, obertägig sichtbaren Denkmälern und ganz selten auf Luftbildern. Letzteres trifft besonders für die Oberpfälzer Gebiete nördlich der Donau zu, die zu einem hohen Prozentsatz bewaldet sind und aufgrund der Grenzsituation über Jahrzehnte hinweg nicht befliegen werden durften. Unter diesen Voraussetzungen erfolgte auch die Ausweisung der Denkmallisten, die die Grundlage der gesetzlichen Vollzugspraxis in der bayerischen Bodendenkmalpflege bilden.

Inzwischen hat das digitale Zeitalter auch die Denkmalpflege eingeholt: mit wenigen Mausklicks kann sich jeder Bürger im „Bayerischen Denkmalatlas“ darüber informieren, wo es Bau- und Bodendenkmäler gibt⁶ (Abb. 1). Über die Einsicht in historische Karten wie den Urkataster oder das Urpositionsblatt hinaus, ermöglicht dieses Portal mittels Button „Gelände und Gebäude“ einen Layer mit Höhenlinien und der so genannten „Schummerung“, d.h. den vereinfachten Airborne-Laserscan-Daten (ALS oder LIDAR genannt), einzublenden. Schummerungskarten mit besserer Auflösung bietet das Portal „Bayernatlas“⁷. Der interessierte Nutzer dürfte damit vielerorts auf auffällige Geländeänderungen stoßen, die u. a. historischen oder prähistorischen Ursprungs sein können, wie Grabhügel oder Befestigungsanlagen mit ihren Gräben und Wällen.

⁶ Anwählbar über www.blfd.bayern.de.

⁷ <https://geoportal.bayern.de/bayernatlas>. R. Wanninger, Startschuss für den Bayerischen Denkmal-Atlas. Denkmalpfl. Informationen 159, 2014, 95ff. – Ders, Digitale Denkmalkartierungen im Kontext der INSPIRE-Richtlinie. Denkmalpfl. Informationen 160, 2015, 82ff.

Diese sind jedoch meist ohnehin schon seit längerer Zeit bekannt und als gesetzlich ausgewiesene Bodendenkmäler im Denkmalatlas rot unterlegt. Selbst für den Laien sind aber auch unschwer Strukturen zu erkennen, die keine Denkmalsignatur tragen, in Waldgebieten besonders die auffälligen Kreisrunden, von einem Graben umgebenen historischen Meilerstandorte⁸ (Abb. 2; 3).

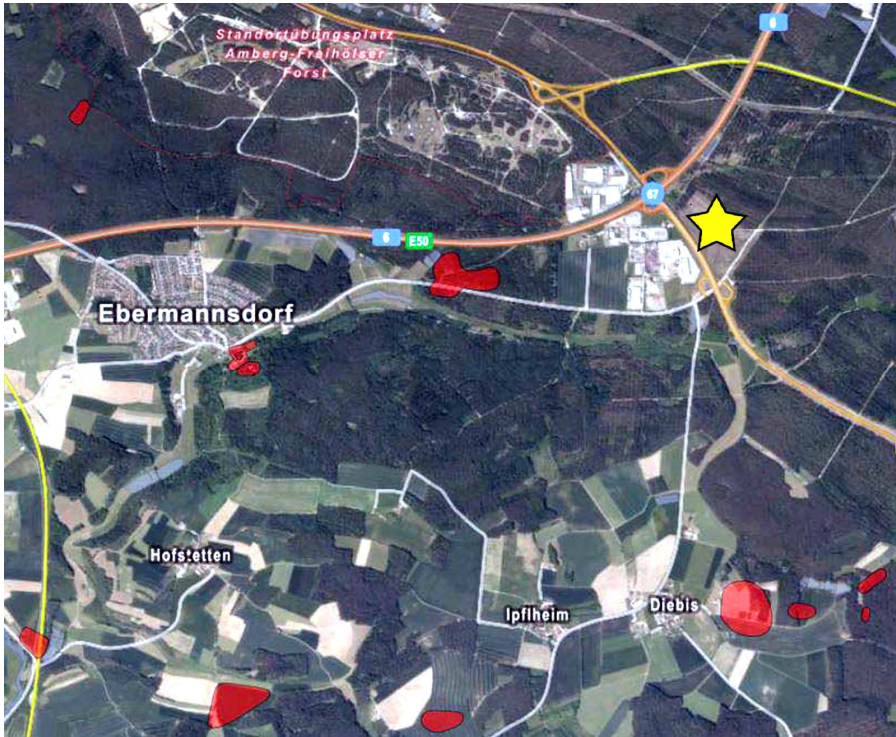


Abbildung 1: Ausschnitt aus dem Bayerischen Denkmalatlas: Bodendenkmäler (rot) rund um Ebermannsdorf. Die bekannten, eingetragenen Bodendenkmäler liegen in der Regel rund um die Waldgebiete. Stern: Lage des Untersuchungsgebietes bei Schafhof. (Graphik R. Röhrl, BLfD, Kartengrundlage: ©Bayer. Vermessungsverwaltung).

⁸ D.J. Manske, Einige Bemerkungen zur Köhlerei unter Berücksichtigung der Oberpfalz und des ostbayerischen Grenzgebirges. Oberpfälzer Heimat 41, 1997, 114ff. – Siehe zu den Rundmeilern, auch „Platzmeilern“ genannten Meilern, mit anschaulichen Fotos zum Aufbau und dem Köhlern: J. Gilch, Die Köhlerei in Ebermannsdorf. Der Eisengau 45/2016 (Sonderband) 126ff.



Abbildung 2: Kartenausschnitt Kohlberg, westlich von Mantel, Lkr. Neustadt a.d. Waldnaab. Zahlreiche Meilerstandorte sind in der Schummerung gut sichtbar (©Bayer. Vermessungsverwaltung).



Abbildung 3: Kartenausschnitt des Taxöldner Forstes nordöstlich von Wackersdorf, Lkr. Schwandorf: blau: ehem. WAA- Gelände. Im angrenzenden Wald sind zahlreiche Meilerstandorte in der Schummerung gut sichtbar. (©Bayer. Vermessungsverwaltung.)

Archäologische Untersuchungen von Holzkohlemeilern

Die im Aufsatztitel suggerierte Problematik ist erst in den letzten Jahren zum bodendenkmalpflegerischen Thema geworden, als auch Regionen vom Bau-boom erfasst wurden, in denen bislang nur wenige archäologische Untersuchungen stattfanden. Hinzu kam in den letzten drei Jahren die systematische Prospektion von so genannten Vermutungsflächen⁹, Bereichen in denen kein Bodendenkmal explizit ausgewiesen ist, in denen aber wegen ihrer topografischen Lage oder wegen auffälligen Strukturen in den digitalen Geländeaufnahmen (LIDAR oder ALS) durchaus anzunehmen ist, dass dort Bodendenkmäler vorhanden sein könnten.

Der Fokus auf die Holzkohlemeiler ist -mal angesehen von der Untersuchung von 85 Meilern im Vorgriff der Rodungsarbeiten für die damals geplanten Wiederaufbereitungsanlage (WAA) Wackersdorf 1985¹⁰ (Abb. 3)- erst relativ neu: Als Zufallsprodukt kann man die Entdeckung eines Kohlemeilers im Gemeindegebiet von Ebermannsdorf, Landkreis Amberg-Sulzbach ansehen, der 2008 bei Straßenbauarbeiten an der Staatsstraße 2165 zum Vorschein kam¹¹ (Abb. 4). Die Baumaßnahme war dort seitens des Bayer. Landesamtes für Denkmalpflege archäologisch beauftragt worden, weil es aus dem großräumigen Umfeld einige vorgeschichtliche Lesefunde gab¹². Vor dem Hintergrund der allseits bekannten, herausragenden Rolle des Raumes um Amberg und Sulzbacher als „Ruhrgebiet des Mittelalters“¹³ war das Auftauchen solch eines Befundes nicht verwunderlich. Er lag in der Untersuchungsfläche von ca. 200 m², umgeben von zwei Gruben und zwei Pfosten, die zum Betrieb bzw. der Konstruktion des Meilers gehört haben könnten. Die rundliche Meilergrube von ca. 3,5 m Durchmesser besaß eine horizontale Sohle, in deren Randbereich der anstehende Boden Verziegelungen aufwies. Da kein Fundmaterial vorhanden war, wurden aus dem Kohlenmeiler Holzkohleproben entnommen. Die ¹⁴C- Untersuchung der

⁹ Denkmalpflege Themen Nr. 7, 2016: Kriterien für die Vermutung von Bodendenkmäler. – siehe auch: Denkmalpfl. Info 165, 2017, 87f.

¹⁰ Grabung BLfD 1985 erbrachten 85 Meiler auf einer Fläche von 1,3 km². Es handelt sich um Ringmeiler von 12-25m Dm., wohl überwiegend aus dem 15./16. Jahrhundert. Am Rand von Hügel 28 Tonwanne mit 3 Gefäßen (um 1600) für Holzteergewinnung: Verh. Hist. Vereins Oberpfalz 129, 1989, 306 Nr. 329. - L. Breinl, Eine Vorrichtung zur Pechgewinnung im Kohlenmeiler aus Wackersdorf, Lkr. Schwandorf. Beitr. Arch. Oberpf. 2, 1998, 469ff.

¹¹ M-2008-63-1_0 – Ortsakten BLfD, Grabungsleitung F. Loré, Adilo, Parsberg.

¹² D-3-6537-0068 – Vorgeschichtliche Siedlung. Wegen der geringen Menge an Lesefunden, die außerdem nicht genau kartiert waren, ist das Denkmal formal inzwischen gestrichen.

¹³ Siehe hierzu ganz aktuell: M. Hensch, Erz – Feuer – Eisen. Die kleine Geschichte des frühen Montanwesens in der mittleren Oberpfalz (Berlin 2018).

beiden Proben erfolgte erst Jahre später und erbrachte Daten von 889-989 bzw. 1034-1183 AD (2 Sigma)¹⁴.



Abbildung 4: Ebermannsdorf, Grabung an der AS 23 im Jahre 2008. Schnitt durch den erfassten Grubenmeiler. (Foto Fa. Adilo).

Aktuelle überregional aufsehenerregende Befunden zur frühen Montageschichte rücken die Problematik der Kohlenmeiler nun in ein ganz neues Licht. 2014 kamen beim Bau eines Lebensmitteldiscounters in Kümmersbruck an der Vilstalstraße¹⁵ ein Grubenhaus und drei Rennöfen ans Tageslicht. Das quadratische Grubenhaus stand offenbar mit der Eisenverarbeitung in Verbindung und wurde durch einen Brand zerstört. Mangels aussagekräftigen Fundmaterials wurden drei Holzkohleproben aus dem Grubenhaus¹⁴C analysiert, mit dem Ergebnis, dass zwei eine Datierung ins Frühmittelalter zwischen 587-689 AD bzw. 687-887 AD (2 Sigma mit 95,4 % Wahrscheinlichkeit) ergaben, während eine dritte Probe kaiserzeitliche Daten lieferte¹⁶. Solch eine frühe Datierung

¹⁴ ¹⁴C-Untersuchung: Geophysikalisches Institut der Universität Erlangen, Erl-27418-27419.

¹⁵ M-2014-610-2_0-1 – Ortsakten BLfD. Grabungsbericht Fa. ASCEA Landshut; Grabungsleitung Th. Beckh. – Siehe Beitrag M. Hensch, Frühmittelalterliche Spuren von Köhlerei und Eisenerzverhüttung bei Kümmersbruck, Landkreis Amberg-Weilburg, in diesem Band.

¹⁶ ¹⁴C-Untersuchung: Geophysikalisches Institut der Universität Erlangen, Erl-19915-19917.

war auf den ersten Blick überraschend, wenn man bedenkt, dass über Jahrzehnte hinweg die auf das 10./11. Jahrhundert datierten Eisenschlacken aus der Amberger Altstadt als ältester Beleg für Montantätigkeit in Amberg galten¹⁷ und bloß von der Sulzbacher Grafenburg Hinweise für karolingerzeitliche Eisenverarbeitung vorlagen¹⁸.

Im darauffolgenden Jahr fand dann nur 500 m Luftlinie entfernt eine umfangreiche archäologische Untersuchung in Kümmersbruck am Bachweg statt. Der Fundplatz liegt an einem leicht ansteigenden Hang ca. 30 m vom mäandrierenden Krumbach entfernt, also in ähnlicher topografischer Lage wie die Fundstelle an der Vils. Dort konnten zahlreiche Schmiedeanlagen und drei unmittelbar daneben liegende Bestattungen dokumentiert werden¹⁹. Aufgrund mehrerer ¹⁴C-daten von Holzkohlen einzelner Schmiedegruben und aus dem Knochenmaterial der Skelette ist gesichert, dass dieser große und auf unterschiedliche Produkte spezialisierte Eisenverarbeitungsbetrieb in karolingische Zeit zu setzen ist²⁰.

Bei beiden Grabungen in Kümmersbruck konnte das Bayer. Landesamt für Denkmalpflege schon im Vorgriff konkreter Planungen Auflagen formulieren, da die zu bebauenden Areale jeweils in Denkmalflächen lagen²¹, wenngleich diese aufgrund von Lesefunden „nur“ als mesolithische Fundplätze geführt wurden! Letztendlich war es ein glücklicher Zufall, dass diese montanarchäologischen Befunde von besonderer wissenschaftlicher Bedeutung erfasst wurden.

¹⁷ R. Koch, Überreste mittelalterlicher Eisenverhüttung in Amberg, Opf. In: Ausgrabungen und Funde in Altbayern 1985/86, Kat. Gäubodenmuseum Straubing (Straubing 1987) 77ff.

¹⁸ M. Hensch, Burg Sulzbach in der Oberpfalz. Archäologisch-historische Forschungen zur Entwicklung eines Herrschaftszentrums des 8. Bis 14. Jahrhunderts in Nordbayern. Materialien z. Arch. Oberpfalz 3 (Büchenbach 2005) Bd. I, 106ff.; 139ff.; 359ff.; 399.

¹⁹ M-2014-245-3_0 – Ortsakten BLfD, Grabungsleitung M. Hensch, Schauhütte Archäologie, Schön-lind.

²⁰ M. Hensch, Eisen für König, Reich und Adel. Zu den mittelalterlichen Anfängen des Montanwesens in der mittleren Oberpfalz. Bayer. Archäologie 2/2016, 30ff., bes. 35f.

²¹ D-3-6537-0057 – Mesolithische Freilandstation, Siedlungen des vorgeschichtlichen Metallzeiten und des frühen Mittelalters; D-3-6537-0058 – Mesolithische Freilandstation, vorgeschichtliche Siedlung. Letztere konnte durch die Sondierung des Baugebietes räumlich eingegrenzt werden.

Beflügelt von diesen Grabungsergebnissen wurden verschiedene Bauflächen im Großraum Amberg als Vermutungsflächen deklariert und archäologisch prospektiert. Besonders erfreulich waren die Ergebnisse im Baugebiet „Drillingsfeld“ in Amberg-Eglsee, am Fuße des Erzbergs²²: Im 8,7 ha großen Baugebiet wurden 31 Sondagestreifen angelegt, von denen die meisten befundlos waren, aber es hat sich gelohnt: In geraumer Entfernung voneinander wurde ein Rennofen des 8. Jahrhunderts, ein Grubenhaus, ¹⁴C-datiert ins 9./10. Jahrhundert, ein Meiler geortet und ausgegraben²³. Der ca. 3,6 x 3 m große ovale Meiler war ursprünglich ca. 0,70 m tief in den sandigen Boden eingegraben worden (Abb. 5). Zahlreiche Holzkohlefragmente, u. a. auch Aststücke, lagen zusammen mit einigen Schlacken in der Verfüllung. Über die Holzkohlestücke kann er in den Zeitraum zwischen 686-873 AD (2 Sigma) eingeordnet werden²⁴. Hochinteressante Ergebnisse erbrachte die Analyse der Holzreste durch F. Herzig im Dendrolabor des Bayer. Landesamtes für Denkmalpflege Thierhaupten²⁵: Für die Beschickung des Kohlmeilers wurde vorwiegend Starkholz mit über 10 cm Durchmesser ausgewählt. Feststellbar war zudem, dass statt der sonst üblichen Buche zu einem hohen Prozentsatz Hainbuche und Pappel sowie in geringeren Anteilen Kiefer verkohlt wurden. Eine zweite Vermutungsfläche, das kleine Baugebiet in Kümmersbruck – Siedlerstraße, wurde 2017 sondiert und geomagnetisch untersucht. Auch da traf man in der ca. 6.000 m² umfassenden Fläche nur auf vereinzelte Befunde²⁶. Bei der nur wenige Tage andauernden Grabung wurden die Reste zweier Grubenmeiler von 2,20 x 1,35 m bzw. 3,60 x 2,20 m Größe mit Staken- bzw. Flechtwerkeinbauten dokumentiert²⁷. Nach Ausweis der ¹⁴C-Daten dürfte der größere Meiler im 6./frühe 7. Jahrhundert, der kleinere im Zeitraum zwischen der 2. Hälfte des 7. bis spätes 9. Jahrhundert angelegt worden sein²⁸.

²² M-2015-1811-1 Ortsakten BLfD, Sondagen: M. Bauer, P. Lutz, BLfD; Grabungsleitung: M. Hensch, Schauhütte Archäologie Schönling.

²³ M. Hensch, Im „Ruhrgebiet des Mittelalters“. Frühmittelalterliche Montantätigkeit in Amberg-Eglsee. Arch. Jahr Bayern 2016, 119ff. – Ders., Umweltprobleme im »Ruhrgebiet des Mittelalters«. Arch. in Deutschland 3/2017, 43.

²⁴ ¹⁴C-Untersuchung: Beta Analytic Inc. Florida, Beta-425046.

²⁵ F. Herzig, Bericht vom 11. 11. 2017, BLfD, Ref. BV – Restaurierung Archäologie und Dendrolabor, Thierhaupten.

²⁶ M-2017-1203 – Sondage R. Metzger, BLfD; Geomagnetik: J. Fassbinder, BLfD, Grabung M. Hensch, Schauhütte Archäologie, Schönling.

²⁷ S. Codreanu-Windauer, M. Hensch, Zu Recht vermutet: Frühmittelalterliche Grubenmeiler am Krumbach bei Kümmersbruck. Arch. Jahr Bayern 2017, 160ff.

²⁸ ¹⁴C-Untersuchung: REM Klaus-Tschira-Archäometrie-Zentrum an der Universität Heidelberg.



Abbildung 5: Amberg-Drillingsfeld. Freilegung des Meilers im Herbst 2015 (Foto M. Bauer, BLfD).

Eine zweite Vermutungsfläche, das kleine Baugebiet in Kümmersbruck – Siedlerstraße, wurde 2017 sondiert und geomagnetisch untersucht. Auch da traf man in der ca. 6.000 m² umfassenden Fläche nur auf vereinzelte Befunde²⁹. Bei der nur wenige Tage andauernden Grabung wurden die Reste zweier Grubenmeiler von 2,20 x 1,35 m bzw. 3,60 x 2,20 m Größe mit Staken- bzw. Flechtwerkeinbauten dokumentiert³⁰. Nach Ausweis der ¹⁴C-Daten dürfte der größere Meiler im 6./frühe 7. Jahrhundert, der kleinere im Zeitraum zwischen der 2. Hälfte des 7. bis spätes 9. Jahrhundert angelegt worden sein³¹.

Ein weiterer Zufallsfund kam bei Straßenbauarbeiten bei Lengsfeld in der Gemeinde Waldershof, Lkr. Tirschenreuth zum Vorschein. Auch dort hatte der Einsatz einer Grabungsfirma die Vermutung eines mesolithischen Fundplatzes aufgrund der topographischen Situation an einem Südhang in Bachnähe zum

²⁹ M-2017-1203 – Sondage R. Metzger, BLfD; Geomagnetik: J. Fassbinder, BLfD, Grabung M. Hensch, Schauhütte Archäologie, Schönlinde.

³⁰ S. Codreanu-Windauer, M. Hensch, Zu Recht vermutet: Frühmittelalterliche Grubenmeiler am Krumbach bei Kümmersbruck. Arch. Jahr Bayern 2017, 160ff.

³¹ ¹⁴C-Untersuchung: REM Klaus-Tschira-Archäometrie-Zentrum an der Universität Heidelberg.

Anlass. Wichtigstes Ergebnis der Grabung war die Untersuchung von zwei Gruben- und einem Rundmeiler³². Besonders aussagekräftig war das Profil eines der Grubenmeiler, denn in der Grube lagen noch die geschichteten, jedoch unverbrannten Zweige und Äste, meist von der Fichte. Offensichtlich war nach dessen Beschickung Schichtwasser in die Grube eingedrungen, so dass ein Abbrennen nicht mehr möglich war.

Der Rundmeiler besaß einen ringförmigen Graben von ca. 1,30 m Breite und 15,50 m Außendurchmesser (Abb. 6). Pfostenstellungen im Inneren könnten mit der Konstruktion des Luftschachtes in Verbindung gestanden haben, während welche am Rand mit dem Gerüst zum Aufbau der Konstruktion zusammenhängen dürften. Anhand der untersuchten Holzreste kann man davon ausgehen, dass er mit Starkholz (über 15 cm Durchmesser) von halbierten Fichtenstämmen beschickt wurde, während das Gründach aus Fichten-, Kiefer-, Ahorn-, Birken- und Eiben-Zweigen bestand. Der Rundmeiler konnte dendrochronologisch auf 1347 datiert werden, für die Grubenmeiler jedoch steht nur eine allgemein hoch- bis spätmittelalterliche Zeitstellung im Raum. Historisch gesehen dürfte es sich um Anlagen handeln, die die Bewohner des spätesten um 1391 wüst gefallenen benachbarten Ortes Weißenbach (jetzt Ödweißenbach) betrieben hatten.

Die geschilderten Meilerbefunde sind als Datierungshinweise für die Erforschung des Montanwesens allgemein sowie der Anlagentypen und Ressourcennutzung im Speziellen, von unschätzbarem Wert. Gleichzeitig legt ihre Entdeckungsgeschichte die bodendenkmalpflegerische Problematik solcher Befunde offen: Bei traditionellen Feldbegehungen sind sie nicht zu orten, da sie in der Regel fundlos sind, und in Luftbildern der Ackerflächen bzw. in den Schummerungskarten der Waldgebiete sind gerade die für die Vorgeschichte bzw. das frühe und hohe Mittelalter relevanteren Grubenmeiler auch nicht zu fassen. Sie liegen außerdem meistens vereinzelt oder weit voneinander entfernt in der Landschaft, weshalb sie bei archäologischen Prospektionen mittels der üblichen Streifen Sondagen leicht aus dem Raster fallen können. Letztendlich ist deshalb ihre Entdeckung das „große Los“ für den Archäologen.

³² M-2011-716-1- Grabung Staatsstraße 2270 bei Lengenfeld. Ortsakten BLfD: Grabungsbericht A. Pross mit bodenkundlichen Untersuchungen von B. Kopecky-Hermanns. Anthrakologisch-dendrochronologische Untersuchung: F. Herzig, Bericht vom 6. 11. 2011. BLfD, Ref. BV – Restaurierung, Archäologie und Dendrolabor, Thierhaupten.



Abbildung 6: Lengelfeld. Blick auf das Planum eines Ringmeilers (Foto A, Pross).

Meiler im Gewerbegebiet „Schafhof-Ost“, Ebermannsdorf

Es gibt jedoch auch den umgekehrten Fall: Anhand der nun verfügbaren Airborne-Laserscan-Daten zeichnen sich in den Oberpfälzer Waldgebieten vielerorts die untrüglichen Geländemerkmale der stehenden Rundmeiler ab (Abb. 2; 3). Das nun vorliegende Wissen bringt jedoch für den denkmalpflegerischen Umgang mit diesen Montanrelikten ein neues Dilemma auf die Tagesordnung, weil die Meiler nicht als Bodendenkmal eingetragen werden und somit die rechtliche Voraussetzung für ihren Schutz nach dem Bayerischen Denkmalschutzgesetz nicht gewährleistet wird.

Wie der Bodendenkmalpfleger in der Praxis damit umgehen kann, soll exemplarisch das Beispiel Ebermannsdorf bei Amberg veranschaulichen³³.

Im dicht bewaldeten Gebiet nördlich des Ortes an der Autobahnausfahrt der A6 - Amberg-Ost wurde 2011 im Flächennutzungsplan der Gemeinde Ebermannsdorf ein 41 ha großes Gewerbegebiet ausgewiesen (Abb. 1, Stern). In der

³³ S. Codreanu-Windauer (mit Beitr. v. F. Herzog u. P. Lutz), Die Holzkohlemeiler von Ebermannsdorf – vergessene Denkmäler? Beitr. Arch. Oberpfalz 12, 2018, 417-432.

Schummerung zeigten sich zum einen recht deutlich so genannte Splitterschutzboxen aus dem 2. Weltkrieg³⁴ (Abb. 7 blau), zum anderen etliche Meilerstandorte (Abb. 7). Inzwischen wurde für einen 26 ha großen Teilbereich ein Bebauungsplan aufgestellt und von der Gemeinde ca. 12 ha Wald gerodet. In letzterem Areal sind alle sechs Splitterschutzboxen des 2. Weltkriegs und etliche Rundmeiler betroffen (Abb. 7).



Abbildung 7: Kartenausschnitt Ebermannsdorf-Schafhof von 2016. Splitterschutzboxen hellblau; die untersuchten Meiler 1-6 dunkelblau. (Graphik R. Röhl, BLfD, Kartengrundlage: ©Bayer. Vermessungsverwaltung).

Mit Unterstützung des Ebermannsdorfer Bürgermeisters wurden zunächst aus zwei Holzkohlenmeilern wurden ¹⁴C-Proben entnommen, mit Hilfe deren die Datierung ins 16./17. Jahrhundert -und damit historisch relevant!- bestätigt

³⁴ Die Splitterschutzboxen stehen im Zusammenhang mit dem Flughafen Amberg-Schafhof: K. Schriml, Im Fadenkreuz der Alliierten. Die Wahrheit über den geheimen Flugplatz Amberg-Schafhof (Regenstauf 2016).

wurde³⁵. Nach Vorliegen der Daten wurden im zwischenzeitlich vollflächig gerodeten Gelände sechs ausgewählte Kohlenmeiler lokalisiert und im Gelände markiert³⁶. Waren die Meiler im Geländemodell durch den herausgerechneten Bewuchs sehr deutlich als kreisrunde, von einem flachen Graben umgebene Erhebungen auszumachen, so erwies sich ihre Ortung im Gelände nun als sehr schwieriger, denn in einem gerodeten Areal sind durch die Spuren des Maschineneinsatzes und das herumliegende Gehölz archäologische Strukturen nicht mehr erkennbar. Nur anhand der aus dem Geländemodell gewonnenen Koordinaten der Meiler-Mittelpunkte gelang letztlich per GPS-Ortung eine sichere Lokalisierung der Meiler, um einige davon archäologisch zu untersuchen. Aufgrund der angetroffenen Situation war jedoch ein Baggerabtrag mit Feinplanum problematisch, zumal von einer sehr geringen Befundtiefe auszugehen war. Bei der Befundung von vier Meilern zeigte sich alsbald, dass nach dem Oberbodenabtrag bestenfalls noch Reste von Einzelbefunden erfasst werden konnten. Zudem waren die nur wenige Zentimeter unter dem rezenten Waldboden liegenden asche- oder holzkohlehaltige Schichten teils mit diesem vermischt. Aussagen zu dem Meilerbefund an sich brachte die Untersuchung nur partiell. Letztendlich lieferten dann nur die Holzkohleproben -eingeschränkt durch die Unsicherheit der Zugehörigkeit zum Befund auch nur in geringer Anzahl- Ergebnisse. Die holzanatomischen Analysen³⁷ ergaben, dass es sich bei allen 12 Proben um Kiefer handelt, wobei das verwendete Holz zwischen Aststärke (3 cm) und Starkholz (über 15 cm) schwankte. Demnach wurde wohl das gesamte anfallende Holz für die Verschwelung genutzt. Das Spektrum der ¹⁴C Datierungen von Mitte des 15. bis ins 18./19. Jahrhundert belegt, dass dieser Wald über die Jahrhunderte hinweg seit dem Spätmittelalter bis in die Neuzeit immer wieder zum Köhlern genutzt wurde³⁸.

Die Untersuchungen der sechs Ebermannsdorfer Meiler hat ferner zur bitteren Erkenntnis geführt, dass diese Montanrelikte nach erfolgter Rodung durch eine herkömmliche archäologische Ausgrabung nicht mehr erfolgsversprechend dokumentiert werden können, besonders bei leichten sandigen Böden, die in der

³⁵ Bei einem der Meiler liegen sie zwischen 1500 -1600 bzw. 1615-1660, beim anderen zwischen 1665-1710 bzw. 1720-1890: ¹⁴C Untersuchung: Beta Analytic Inc. Florida, Beta-434193 und 434194.

³⁶ M-2016-510-2 – durch P. Lutz, BLfD Regensburg.

³⁷ F. Herzig, Anthrakologische Untersuchung Ebermannsdorf-Schafhof., vom 13.10.2107, BLfD Referat BV – Restaurierung Archäologie und Dendrolabor, Thierhaupten.

³⁸ Codreanu (Anm. 25) 427f.

westlichen und mittleren Oberpfalz überwiegen. Dass die gewonnenen Aussagen zur Datierung und Holzartnutzung ausschließlich auf die jüngeren Rundmeiler einzuschränken sind, die historisch umso wichtigeren Grubenmeiler jedoch unerkannt zerstört werden³⁹, ist die andere denkmalpflegerisch enttäuschende Tatsache.

Der Kohlenmeiler: Montanarchäologisches Denkmal versus „Bodendenkmal“?

Gerade für die Erforschung des frühen Montanwesens ist die Erfassung von Grubenmeilern unerlässlich: weniger der archäologische Befund an sich, wie die Möglichkeit der zeitlichen Einordnung und der anthrakologischen Untersuchungen, die letztendlich wichtige Rückschlüsse auf die historische Kulturlandschaft und deren Veränderung durch die extensive Ressourcennutzung für die Montanwirtschaft erlauben, begründen deren Bedeutung⁴⁰. Dieser historische Stellenwert gilt selbstverständlich auch für die jüngeren stehenden Meiler, zumal die auch in Zusammenhang mit anderen wirtschaftlichen Nutzungen wie Pech- oder Teerproduktion stehen⁴¹. Welche Bedeutung die Erfassung solcher Befunde für die Geschichte eines Herrschafts- und Wirtschaftsraums besitzt, betonte schon vor Jahren M. Hensch in seinem leidenschaftlichen Plädoyer für die Montanarchäologie⁴².

Umso ernüchternder ist die bodendenkmalpflegerische Realität, denn es ist in der Regel dem Zufall, nur ganz bedingt dem Fachwissen/ dem Ermessen oder der örtlichen Kenntnis eines Referenten überlassen, ob mutmaßliche montanarchäologische Fundorte als so genannte „Vermutungsflächen“ archäologisch

³⁹ Nur unter äußerst günstigen Umständen sind sie in einem Gelände mit festem, steinigem Untergrund als flache Mulde erkennbar: O. Nelle, E. Guggenbichler, U. Putz, J. Schmidgall, Eine mittelalterliche Kohlemeilergrube im Vorderen Bayerischen Wald. Arch. Korrespondenzbl. 33, 203, 457ff. bes. Abb.3.

⁴⁰ Vgl. eindrucksvoll die Befunde aus Langquaid und deren Diskussion: E. Guggenbichler, O. Nelle, M.M Rind, Eisenschmelzöfen und Meilergruben von Langquaid. In: Geschichte ans Licht gebracht. Archäologie im Landkreis Kelheim 3 (1997-1999) (Büchenbach 2000) 174ff., bes. 180ff.

Die Bedeutung solcher Untersuchung gilt gleichermaßen auch für die jüngeren Meiler, vgl.: A. Schneider, Bodenkundlich-geomorphologische Untersuchung von Meilerplätzen um Weiherhammer, in diesem Band.

⁴¹ Die Bedeutung solcher Untersuchung gilt gleichermaßen auch für die jüngeren Meiler z. B. A. Schneider, F. Hirsch, A. Raab und Th.Raab, Bodenkundlich-geomorphologische Untersuchung von Meilerplätzen um Weiherhammer, Beitr. Arch. Oberpfalz 12, 2018, 433-448. - Breinl (Anm. 6).

⁴² M. Hensch, Montanarchäologie in der Oberpfalz – von der Forschung vergessen? Ber. Bayer. Bodendenkmalpflege 43/44, 2002/2003 (2005) 273ff.

prospektiert werden oder nicht. Dazu kommt der „Zufall“ baurechtlich relevanter Planungen.

Der „Fall“ Schafhof verdeutlicht jedoch auch das Dilemma der Bodendenkmalpflege in der praktischen Umsetzung der Schutzbestimmungen des Bayerischen Denkmalschutzgesetzes⁴³: Die Meiler sind laut Art. 1.1. durchaus „Denkmäler... von Menschen geschaffene Sachen... aus vergangener Zeit...“ und befinden sich gemäß Art. 1.4 im Boden. Allein die Tatsache aber, dass die historische Aussage der Meiler erst durch deren Beeinträchtigung durch Probenentnahme oder Ausgrabung gegeben ist, steht im Widerspruch zur Erhaltungsforderung von Denkmälern aus Art. 1.1. Unbestritten sind Kohlenmeiler, die „in der Regel aus vor- und frühgeschichtlicher Zeit stammen“ (Art. 1,4) von besonderer „wissenschaftlichen...Bedeutung“ ..., die „im Interesse der Allgemeinheit liegt“ (Art. 1.1), aber gerade jene unscheinbaren Grubenmeiler sind praktisch nicht zu schützen, da wir ihre Standorte nicht kennen!

Auf der anderen Seite sind durch die Schummerungskarten unzählige Standorte der in der Regel spätmittelalterlich bzw. frühneuzeitlichen Rundmeiler bekannt geworden, wie einige Kartenausschnitte aus der Oberpfalz exemplarisch zeigen (Abb. 2; 3). Allein im Gemeindegebiet von Pyrbaum dürften es hochgerechnet auf dessen Fläche von 18 km² über 7560 Kohlenmeiler jüngerer Zeitstellung sein (Abb. 8) und ähnlich dicht mit Meilern „bestückte“ Flächen sind in der Oberpfalz auch anderenorts anzutreffen. Wollte man alle in der Schummerung sichtbaren Meiler als Bodendenkmäler ausweisen, würden es unzählige neue Schutzobjekte werden - eine Forderung, die weder von Seiten der Denkmalerfassung und -inventarisierung, noch in der praktischen Umsetzung der dann gesetzlichen notwendigen Schutzbestimmungen realisiert werden könnte, und von der Politik ohnehin nicht gewünscht ist!

Im Raum bleibt daher die unbeantwortete Frage: Was sind dann Kohlenmeiler eigentlich?⁴⁴ Bodendenkmäler im Sinn des Denkmalschutzgesetzes? Elemente

⁴³ Bayer. Denkmalschutzgesetz: Art.1.1: „Denkmäler sind von Menschen geschaffene Sachen oder Teile davon aus vergangener Zeit, deren Erhaltung wegen ihrer geschichtlichen, künstlerischen, städtebaulichen, wissenschaftlichen oder volkskundlichen Bedeutung im Interesse der Allgemeinheit liegt“.

Art. 1.4: „Bodendenkmäler sind bewegliche und unbewegliche Denkmäler, die sich im Boden befinden oder befanden und in der Regel aus vor- und frühgeschichtlicher Zeit stammen“.

⁴⁴ „Meilergruben sind erhaltenswerte Bodendenkmäler“ heißt es schon 2004: O. Nelle, Meilergruben im Bayerischen Wald – Bodendenkmäler mit archivierter botanischer Information. Denkmalpfl. Informationen B 129, Nov. 2004 7ff.

der historischen Kulturlandschaft, wahrnehmbar aber letztendlich nicht schützenswert? Ein technisches, wirtschafts- und landschaftshistorisches Zeugnis im luftleeren Raum des Ermessungsspielraums der praktischen Bodendenkmalpflege?

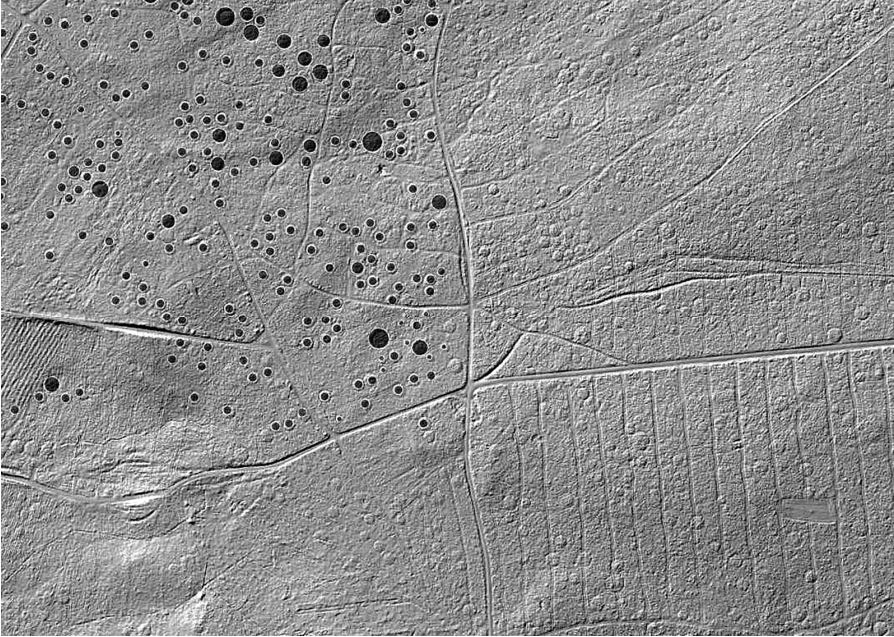


Abbildung 8: Kartenausschnitt Pruppacher Wald, nordwestlich des Marktes Pyrbaum, Lkr. Neumarkt. Unzählige Meilerstandorte sind in der Schummerung gut sichtbar, zum Teil grau markiert (©Bayer. Vermessungsverwaltung).

Bedeutung und Schutzwürdigkeit „junger“ Bodendenkmäler aus Sicht der Landesarchäologie

F. Schopper

1. Gründungsstränge von archäologischer Forschung und Denkmalpflege

Um das heutige Arbeiten von Archäologie und Bodendenkmalpflege verstehen zu können lohnt ein Blick in die Vergangenheit. Im Wesentlichen beginnend im 17. Jahrhundert speiste sich die Beschäftigung mit der Archäologie aus unterschiedlichen Quellen. Zunächst stand sie ganz im Zeichen der Renaissance. Mit ihrer Antiken-Begeisterung förderte diese die Entstehung von Fächern wie der Altphilologie, der Alten Geschichte, der Rechtsgeschichte und der Philosophie. Die Wiederentdeckung der Darstellenden Künste der Klassischen Antike und des Hellenismus sowie der antiken Mythologie war die Geburtsstunde der klassischen Archäologie. Ein weiterer früher Strang, der bis heute nachwirkt, ist die Archäologie des südöstlichen Mittelmeerraumes und Mesopotamiens. Schmiermittel waren hier nicht zuletzt die Texte des Alten Testaments, die eine „biblische“ Spurensuche herausforderten. Wieder andere Impulse setzten die sich entwickelnden Naturwissenschaften. Mindestens mit der Verbreitung von Darwins Evolutionslehre und den Entdeckungen des Neandertaler-Skelettes 1856 trat das evolutionsbiologische Interesse bei archäologischen Fragen hinzu. Alle diese Stränge vereinen sich in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts in der schillernden Gelehrtengestalt Rudolf Virchows. Als nicht nur für Brandenburg maßgeblicher Vertreter einer sich aus vielfältigen Interessen speisenden Vorgeschichtsforschung ergänzen sich bei ihm klassische und naturwissenschaftliche Bildung mit volkskundlich-heimatkundlichem Interesse zu einer prähistorisch-archäologischen Neugier (Andree 1976, Bd. 1 und 2; Betram 1987), die noch heute für viele Fachvertreter*innen in archäologischer Forschung und archäologischer Denkmalpflege prägend ist.

Auf diesen Spuren von Antikenbegeisterung, biblischer Forschung, evolutionsbiologischem Interesse und Heimatkunde wandernd hatte in den schriftlosen bis sehr schriftarmen Regionen Mittel- und Nordeuropas die archäologische Forschung und Denkmalpflege zunächst die „heidnischen Altertümer“ der Vorgeschichte, der Antike oder der Frühgeschichte als dem frühen, eigenen Erbe

im Blick. Jüngere Perioden der menschlichen Geschichte mit umfänglicherer schriftlicher und bildlicher Überlieferung standen weitgehend außerhalb des Wirkrahmens der sogenannten „Spatenwissenschaften“.

Schon die Titel der einschlägigen Publikationen sprechen zuweilen Bände. Zweifellos gilt das für den in mehreren Auflagen bis heute vielverbreitenden Band von Ludwig Lindenschmit „Die Altertümer unserer heidnischen Vorzeit“ (Abb. 1) aus dem Jahr 1864 (Lindenschmit 1864). Noch deutlicher wird es in Titel und Untertitel des Werkes von Karl Peusker „Blicke in die Vaterländische Vorzeit. Sitten, Sagen, Bauwerke und Geräthe, zur Erläuterung des öffentlichen und häuslichen Volkslebens im heidnischen Alterthume und christlichen Mittelalter der sächsischen und angrenzenden Lande“ (Peusker 1841-1844).



Abbildung 1: Umschlagbild „Die Altertümer unserer heidnischen Vorzeit“ von Ludwig Lindenschmit.

2. Zeitgrenzen und Mittelalterarchäologie

Aus dieser in das 19. Jh. zurückreichenden Forschungsgeschichte der deutschen Archäologie erklärt sich auch die noch heute im Bayerischen Denkmalschutzgesetz zu findende starke zeitliche Beschränkung des Bodendenkmalbegriffes. Aktuell definiert das Bayerische Denkmalschutzgesetz in Absatz 4 des Artikels 1 „Begriffsbestimmungen“ folgendermaßen: „Bodendenkmäler sind bewegliche und unbewegliche Denkmäler, die sich im Boden befinden oder befanden und in der Regel aus vor- und frühgeschichtlicher Zeit stammen“ (www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayDSchG-1). Dies wirkt heute anachronistisch und ist aus der frühen Entstehungsgeschichte dieses Denkmalschutzgesetzes in den 1970er Jahren des letzten Jahrhunderts erklärbar. In den moderneren Denkmalschutzgesetzen der Länder finden sich derartige Einschränkungen aus guten Gründen in der Regel nicht mehr. Für das Engagement der bayerischen Kolleginnen und Kollegen zum Schutz und der Erforschung jüngerer Bodendenkmalstrukturen ist diese Zeitschranke eine ständige Erschwernis.

Der einschränkende Wortlaut des BayDSchG überrascht auch deshalb, weil gerade das Bayerische Landesamt für Denkmalpflege schon 1966 ein Referat Mittelalterarchäologie einrichtete, das grundlegend für die im Jahre 1981 erfolgte Etablierung eines Lehrstuhles für Archäologie des Mittelalters und der Neuzeit an der Universität Bamberg wurde.

Ausgehend von archäologischen Arbeiten in und um Kirchen, Klöster und Burgen schrieb man das Methodengerüst und die Techniken der Vor- und Frühgeschichte im Austausch mit der Bauforschung für die eigenen Fragestellungen fort. Mit den großen Umbaumaßnahmen in ehemals mittelalterlichen Stadtkernen („Autofreundliche Stadt“ im Westen, sozialistische Stadtstruktur im Osten und Stadtreparatur nach 1990) waren ganze Stadtquartiere in Gefahr, die es archäologisch zu dokumentieren galt (Plate 2001) (Abb. 2).



Abbildung 2: Fürstenwalde (LOS). Keller an der Kirch-/Ecke Marktstraße. Plate 2001, Abb. 11.

Schnell zeigte sich die Notwendigkeit, zumindest frühneuzeitliche Spuren und Strukturen ebenfalls archäologisch zu betrachten (Kunow 2001). In Sachsen-Anhalt und Brandenburg stehen die Arbeiten in Magdeburg (Nickel 1960) und Frankfurt (Oder) (Huth 1975) für einen frühen Beginn der Mittelalterarchäologie (Abb. 3). Hier wurde Pionierarbeit geleistet, auch wenn teilweise dabei die frühneuzeitlichen Schichten noch als störend empfunden wurden und wenig Beachtung fanden.

Gerade die mittelalterliche Keramik galt es in den Griff zu bekommen. Eine durchaus fordernde Aufgabe, für die zunächst Formen- und Technikkataloge erarbeitet werden mussten. Während im 19. Jahrhundert die Ansprache noch sehr schwierig war, entstanden in den 1920er und 1930er Jahren erste Publikationen (Strauß 1923) zum Teil auch in regionalen Zeitschriften (Gumpert 1939). Zusammenfassende Studien und Leitfäden erschienen dann seit den 1970er und 1980er Jahren, wie etwa der mittlerweile in mehreren Auflagen von der Archäologischen Staatssammlung München herausgegebene Leitfaden zur Keramikbestimmung des Mittelalters und der Neuzeit (Bauer et al. 3. Auflage 2005).



Abbildung 3: Großflächige und über die gesamte Stadt ausgedehnte Ausgrabungen der 1950er Jahre in Magdeburg. Nickel 1960, Abb. 1.

3. Der Sprung in die Neuzeit

Schon allein um jüngeren Beifang richtig ansprechen zu können und die lokalen Varianten der Keramikproduktion richtig verstehen zu können, war ein Brückenschlag zur Volkskunde und deren Materialkenntnis unabdingbar. Pionierarbeit hat als „Fachfremder“ Werner Endres mit seinen Aufarbeitungen u. a. von Hafnerware aus dem 18. Jh. geleistet (Endres 1985).

In Brandenburg lag es von vornherein nahe, bei Stadtkernuntersuchungen die Spuren der Neuzeit zumindest bis zu den umfänglichen Zerstörungs- und Entvölkerungshorizonten des Dreißigjährigen Krieges mit zu dokumentieren. Anfangs eher selten (Huth 1975) wurden diese Funde und Befunde – über Einzelfälle und Kuriositäten hinausgehend – in die wissenschaftliche Grabungsauswertung mit einbezogen. Heute gehört die fachgerechte Behandlung derartiger Funde unzweifelhaft ebenso zum archäologischen Tagesgeschäft (z. B. Grönwald 2013, Biermann et al 2018), wie die Vorlage neuzeitlicher Friedhofs- und Grabbefunde (z. B. Schmidt/Jungklaus 2017, Döbel/Döhner/Wnuk 2016), wiederum auch unter Einbeziehung volkskundlicher Herangehensweisen etwa bei der Behandlung von Totenkronen (Lippok/Müller-Pfeilrück 2009). Spätestens mit der Entdeckung und archäologischen Ausgrabung des ersten Massengrabes von Soldaten aus dem Dreißigjährigen Krieg von der Schlacht bei Wittstock (Abb. 4) durch das BLDAM sowie im Weiteren seine fachliche Aufarbeitung und umfängliche Präsentation (Eickhoff/Grothe/Jungklaus 2013) unter der Leitung von Sabine Eickhoff ist auch die neuzeitliche Schlachtfeldarchäologie ein Arbeitsfeld der Landesarchäologie geworden (Eickhoff/Schopper 2014). Festungen und militärische Schanzen waren als teilweise beeindruckende, obertägig sichtbare Denkmalstrukturen schon vorher nicht nur in der brandenburgischen Landesaufnahme beachtet worden (Mende 1997; Mende 2001; Biermann/Gebuhr 1997; Biermann/Gebuhr 2001) (Abb. 5).



Abbildung 4: Eine der unteren Bestattungslagen des Massengrabes der Schlacht von Wittstock mit 21 Skeletten in situ. Foto: A. Grothe, BLDAM.

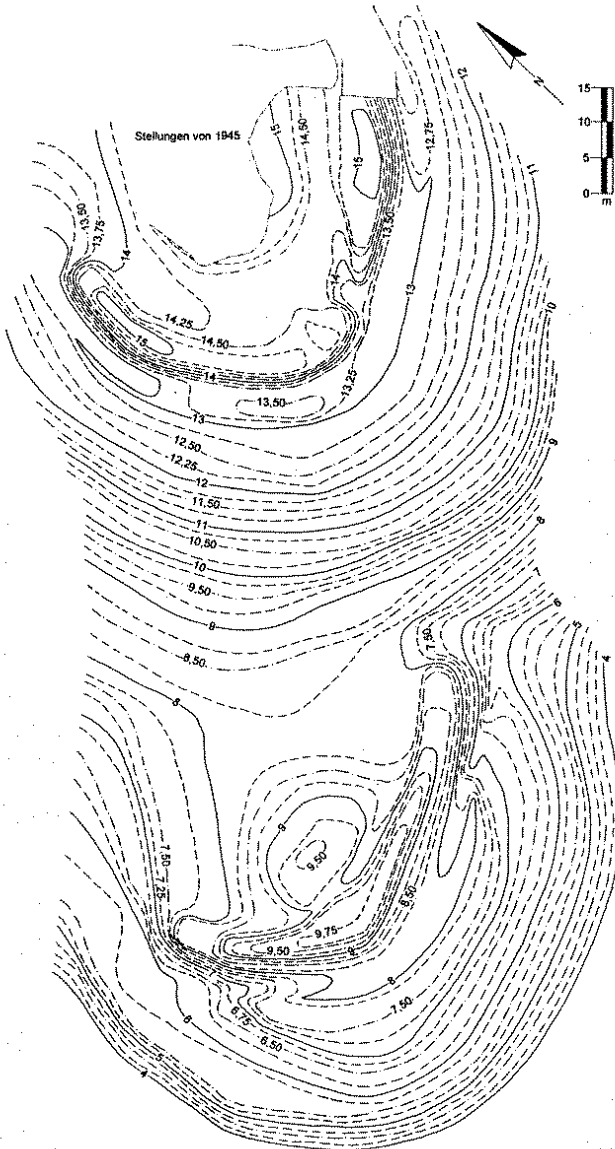


Abbildung 5: Zwei Schanzen von 1813 auf dem Weinberg bei Märkisch Wilmersdorf. Biermann/Gebuhr 1998, Abb. 6.

4. „Industriearchäologie“

Noch näher an die umfänglichen Arbeiten zu historischen Meilern in Brandenburg, die das BLDAM in enger Kooperation mit der BTU betreibt (Rösler et al. 2012), führt die sogenannte Industriearchäologie.

Die Holzkohlemeiler im Braunkohlevorfeld waren zunächst nicht Ziel der archäologischen Maßnahmen, sondern traten im Umfeld von prähistorischen Gräberfeldern und anderen vorgeschichtlichen Strukturen auf. Als „Nebenprodukte“, wie Jens Lipsdorf schreibt (Lipsdorf 2000, 213), wurden sie um die Jahrtausendwende mitdokumentiert und anschließend – weil sie ja nun einmal da waren – auch weiter betrachtet sowie in der Folge dann auch gezielt erfasst (Mülling 2005) (Abb. 6).

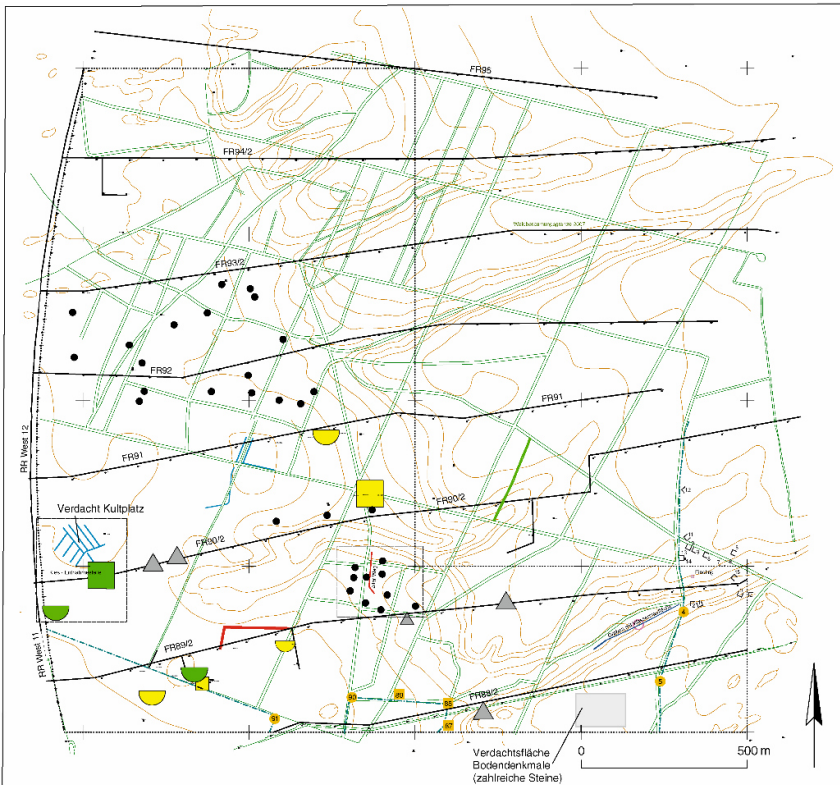


Abbildung 6: Erfassung von Holzkohlemeilern im Rahmen der archäologischen Prospektion im Tagebau Jänschwalde. Mülling 2005, Abb. 80.

Die archäologischen Dokumentationen wurden intensiviert (Abb. 7) und riesige Meilerfelder bei Grabungen untersucht sowie die Strukturen typologisch klassifiziert (Rösler 2013). Gestützt auf GIS-Anwendungen, physio-geographische Daten, LiDAR-Scans, historische Karten, geophysikalische Prospektionen und Mikrodrohnenbefliegung konnten die Kohlemeilerfelder auch außerhalb des Tagebauvorfeldes erfasst werden (Takla/Raab/Raab 2013; Schneider et al. 2016). Möglichkeiten der Holzkohleanalyse zur Erforschung der Landnutzungsgeschichte wurden ausgelotet (Jansen/Anschütz 2016). Unerlässlich ist aber auch die begonnene Einbindung der Geschichtswissenschaft zum Verständnis der Gesamtprozesse (Müller 2013).



Abbildung 7: Freigelegter Meilerring im Tagebau Jänschwalde. H. Rösler, BLDAM.

Erstmals in die Forschungsarbeiten einbezogen weitet sich der Blick auf die Kohlemeiler ständig. Verena Hoffmann konnte im Bereich der Dichtwandtrasse des Braunkohletagebaues von Welzow-Süd mittlerweile auch Torfkohlemeiler nachweisen (Hoffmann 2016). Die Disziplinbezeichnung „Industriearchäologie“ ist aber nicht allein als Archäologie früher Industrieanlagen zu verstehen, sondern fokussiert auf besondere Techniken und Produktionsweisen. Insbesondere sind die technischen Vorgänge häufig mit der Verwendung von Prozes-

senergie verbunden. Keramikherstellung, Porzellan, Ziegel, Glas, Metallverarbeitung etc. bedingen jeweils eigene Anlagenkonfigurationen. Dabei muss es sich nicht zwingend um groß dimensionierte, industrielle Fabrikationsstätten handeln. Beispiele aus Brandenburg wären die Grabung von Friedrich Plate an der Glashütte bei Zechlin im Landkreis Ostprignitz-Ruppin (Plate 2011) (Abb. 8) oder die teilweise mit Schutzkleidung durchgeführten Dokumentationen der Bleizuckerfabrik von Potsdam-Sacrow aus dem 19. Jahrhundert (Dittrich/Geßner 2013).

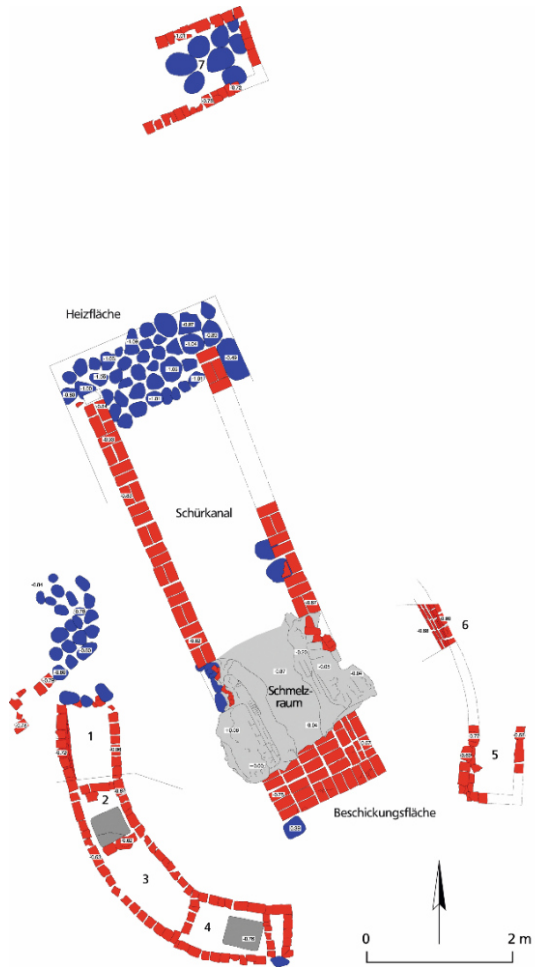


Abbildung 8: Grundriss des Glasofens der Glashütte „Grüne Hütte“ beim Flecken Zechlin. Plate 2011, Abb. 7.

Erste Ansätze der „Industriearchäologie“ sind eng mit der Montanarchäologie verbunden und konzentrierten sich zunächst auf prägende Industrieanlagen und technische Denkmale (Slotta 1982, 147ff.) vor allem aus der Zeit der frühen Industrialisierung. Von Interesse waren und sind neben den baulichen Ausführungen auch die technischen und naturwissenschaftlichen Prozesse im Betrieb.

5. Montanarchäologie

Der Ansatz der „Montanarchäologie“, ursprünglich sehr eng mit der „Industriearchäologie“ verzahnt, hat eher die Rohstoffgewinnung und das Hüttenwesen als die Endverarbeitung zu Fertigprodukten im Blick. Dazu gehört nicht nur der Bergbau selbst, sondern ebenso damit in Verbindung stehende Anlagen wie Zuwegungen, Wasserkünste, Halden etc.

Ein großer Meilenstein der Montanarchäologie waren nicht nur für Mitteleuropa die Entdeckungen im Salzbergbau von Hallstatt in Oberösterreich. Seit über 200 Jahren sind die archäologischen Hinterlassenschaften im Blick und mittlerweile ist dort Salzbergbau seit der mittleren Bronzezeit (14. Jh. v. Chr.) nachgewiesen (Kern et al. 2008; Kern 2011).

In Deutschland steigt die Bedeutung der Montanarchäologie ständig, was sich nicht zuletzt in der Gründung einer eigenen Kommission „Montanarchäologie“ beim Verband der Landesarchäologen in der Bundesrepublik Deutschland manifestiert. Besondere Anstrengungen unternimmt das Land Niedersachsen um die Welterbestätten „Rammelsberg“ und „Oberharzer Wasserwirtschaft“ und der Freistaat Sachsen gemeinsam mit den tschechischen Nachbarn zu den Hinterlassenschaften im Erzgebirge. Ergebnisse und Vermittlungskonzepte sind auch gut über das Internet greifbar (z. B.: <http://altbergbau3d.de> oder www.archaeologie.sachsen.de/3595.htm)

6. Krieg und Menschenrechtsverletzungen im Fokus der Archäologie, „Lagerarchäologie“

Ein neues eigenes Arbeitsgebiet, die „Lagerarchäologie“ umschreibt die archäologische und denkmalpflegerische Tätigkeit, die sich mit den Themenfeldern der großen Kriege (v. a. Erster und Zweiter Weltkrieg) und den Menschenrechtsverletzungen des 20. Jahrhunderts beschäftigt. Erst tastend, dann immer intensiver hat sich die Bodendenkmalpflege den Spuren des Rassenhasses in Konzentrationslagern (Antkowiak 1997, Weishaupt 2011), Zwangsarbeiterlagern (Antkowiak 2002) und Kriegsgefangenenlagern (Antkowiak 2001) gewidmet. Als zuständiger Referent des BLDAM war Jens May gefordert, sich mit der Relevanz des Einsatzes archäologischer Arbeitsweisen in Konzentrationslagern auseinanderzusetzen. Seiner Schlussfolgerung „An der wissenschaftlichen Bedeutung der Spuren und Reste, die im Boden der ehemaligen Konzentrationslager verborgen liegen, besteht wegen der für totalitäre und terroristische Systeme signifikanten ‚atypischen Quellenlage‘ kein Zweifel“ (May 2001, 626) kann man sich nur anschließen (Abb. 9).



Abbildung 9: Kleinfunde aus dem nach 1945 eingerichteten Speziallager Sachsenhausen. Weishaupt 2011, Abb. 172.

Mittlerweile ist hieraus ein breites universitär und denkmalpflegerisch adressiertes Themenfeld geworden (Theune 2014), das in fachlichem Kontakt zu den Gedenkstätten zu bearbeiten und zu vermitteln ist (Kersting et al. 2016). Mit den Waldlagern der Roten Armee sind seit kurzem auch Zeugnisse aus der Zeit direkt nach dem Zweiten Weltkrieg erstmals historisch und archäologisch wahrgenommen worden (Schopper 2016, Kersting et al. 2018).

7. Warum ist hier die Archäologie gefragt?

Warum ist es Aufgabe der Landesarchäologie, sich um diese Themen und diese Strukturen zu kümmern? Egal bei welchem der kurz angesprochenen Oberthemen man nachhakt, überall zeigt sich nach ersten vorsichtigen Schritten, dass bei intensiver Bearbeitung ganz neue Erkenntnisse jenseits der für jüngere Perioden oft reichlich fließenden schriftlichen Quellen zu erwarten sind. Diese Erkenntnisse besitzen wissenschaftliche Bedeutung und erfüllen damit eine wichtige Grundvoraussetzung für Denkmalfähigkeit und Denkmalwert.

Ein genauer Blick zeigt oft, dass die Schriftquellen doch erhebliche Lücken aufweisen. Zu den Lebensumständen der einfachen Soldaten im Dreißigjährigen Krieg sind Schriftquellen dünn. Lebensdaten einzelner Soldaten (nicht von Offizieren) sind historisch nur ausnahmsweise zu ermitteln. Zu den Konzentrations- und Arbeitslagern des 20. Jahrhunderts fehlen oft schriftliche Zeugnisse, weil Täter sie nicht anlegen wollten oder vernichtet haben.

Gerade im Verbund mit den Naturwissenschaften und ihren immer spezifischer auf archäologische Fragestellungen anwendbaren Analysemethoden kann und muss die Landesarchäologie mit den jüngeren Bodendenkmälern einmalige Zeugnisse unserer Geschichte sichern, schützen und im Einzelfall erforschen. Im praktischen Umgang werden sich zuweilen Unterschiede zu prähistorischen Denkmälern und Denkmalstrukturen auf tun. Hier tasten wir noch.

8. Literatur

Andree, C. (1976). Rudolf Virchow als Prähistoriker. Band 1. Virchow als Begründer der neueren deutschen Ur- und Frühgeschichtswissenschaft. Köln 1976.

Andree, C. (1976). Rudolf Virchow als Prähistoriker. Band 2. Briefe Virchows und seiner Zeitgenossen. Köln 1976.

Antkowiak, M. (1997). Ausgegraben und gesichert. Bauliche Reste des Konzentrationslagers Uckermark in Neu Thymen, Ot. von Fürstenberg, Landkreis Oberhavel. Archäologie in Berlin und Brandenburg 1997, 112-114.

Antkowiak, M. (2001). Kriegsgefangene in Brandenburg I. Das Stalag III A in Luckenwalde, Landkreis Teltow-Fläming. Archäologie in Berlin und Brandenburg 2001, 170-172.

Antkowiak, M. (2002). Struktur eines Rüstungsbetriebes. Barackenlager in Kleinmachnow, Landkreis Potsdam-Mittelmark. Archäologie in Berlin und Brandenburg 2002, 165-167.

Bauer, I., W. Endres, B. Kerkhoff-Hader, R. Koch, H.-G. Stephan (2005). Leitfaden zur Keramikbeschreibung (Mittelalter -- Neuzeit), Terminologie -- Typologie -- Technologie; Mit einem Beitrag von Irmgard Endres-Mayser. Prähistorische Staatssammlung München Beiheft 2 (3. Auflage 2005).

Bertram, M. (1987). Rudolf Virchow als Prähistoriker. Sein Wirken in Berlin. Berlin 1987.

Biermann, F. und R. Gebuhr (1997). Bodendenkmale der Befreiungskriege. Archäologie in Berlin und Brandenburg 1997, 26-28.

Biermann, F. und R. Gebuhr (2001). Neuzeitliche Schanzen im südlichen und östlichen Brandenburg. M. Aufleger, D. Karg, J. Kunow et al. (Hrsg.), Denkmalpflege im Land Brandenburg 1990-2000. Bericht des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologischen Landesmuseums. Worms 2001, 622-624.

Biermann, F., S. Grabow, J. Müller, P. Roskoschinski, T. Trebeß (2018). Archäologische Einblicke in den Norden der brandenburger Neustadt (Linden-, Sieber- und Petersilienstraße)." Veröffentlichungen zur brandenburgischen Landesarchäologie 48. Wünsdorf 2018, 233-284.

Dittrich, A. und K. Geßner (2013). Bittersüßes Salz. Ausgrabungen der Bleizuckerfabrik im Schlosspark Sacrow. Stadt Potsdam. Archäologie in Berlin und Brandenburg 2013, 143-147.

Döbel, S., G. Döhner und J. Wnuk (2016). Begräbnisplatz vor dem Tor. Berlins größter Armenfriedhof im 19. Jahrhundert. Archäologie in Berlin und Brandenburg 2016, 134-137.

Eickhoff, S., A. Grothe und B. Junklaus (2013). 1636 - ihre letzte Schlacht. Leben im Dreißigjährigen Krieg. Wünsdorf 2013.

Eickhoff, S. and F. Schopper, Eds. (2014). Schlachtfeld und Massengrab. Spektren interdisziplinärer Auswertung von Orten der Gewalt. Forschungen zur Archäologie im Land Brandenburg 15. Wünsdorf 2014.

Endres, W. (1985). "Der Formenschatz einer ländlichen Hafnerei im 18. Jahrhundert (Mintraching, Lkr. Regensburg)." Verhandlungen des Historischen Vereins für Oberpfalz und Regensburg 125, 387-428.

Grönwald, H. (2013). Von der Bronze- zur Neuzeit - das Zentrum von Schwedt/Oder, Lkr. Uckermark, als Archiv zur Siedlungs- und Stadtgeschichte. Veröffentlichungen zur brandenburgischen Landesarchäologie 47, Wünsdorf 2013, 263-283.

Gumpert, K. (1939). Ein bedeutender mittelalterlicher Keramik- und Glasfund in Ansbach (Mittelfranken). Jahresbericht d. hist. Vereins f. Mittelfranken 68.

Hoffmann, V. (2016). Torfkohlemeiler in der Dichtwandtrasse für den Tagebau Welzow-Süd und die Energiewende des 19. Jahrhunderts. F. Schopper (Hrsg.) Ausgrabungen im Niederlausitzer Braunkohlerevier 2013/2014. Arbeitsberichte zur Bodendenkmalpflege in Brandenburg 30. Wünsdorf 2016, 160-180.

Huth, E. W. (1975). Die Entstehung und Entwicklung der Stadt Frankfurt (Oder) und ihr Kulturbild vom 13. bis zum frühen 17. Jahrhundert auf Grund archäologischer Befunde. Berlin 1975.

Jansen, D. and A.-A. Anschütz (2016), Köhlerei in der Jänschwalder Heide - Möglichkeiten der Holzkohleanalyse zur Erforschung der Landnutzungsgeschichte. F. Schopper (Hrsg.) Ausgrabungen im Niederlausitzer Braunkohlerevier 2013/2014. Arbeitsberichte zur Bodendenkmalpflege in Brandenburg 30. Wünsdorf 2016, 155-159.

Kern, A. (2011). Ergebnisse und der Stand der Forschung in Hallstatt. M. Chytráček, H. Gruber, J. Michálek, Jan, R. Sandner, K. Schmotz, Karl. Fines Transire. Archäologische Arbeitsgemeinschaft Ostbayern/West- und Südböhmen/Oberösterreich, Band 20, Rahden/Westfalen 2011, 411-421.

Kern, A., K. Kowarik, A. W. Rausch and H. Reschreiter (2008). Salz-Reich: 7000 Jahre Hallstatt. Wien 2008.

Kersting, T., C. Theune, A. Drieschner, A. Ley und T. Lutz (Hrsg.) (2016). Archäologie und Gedächtnis. NS-Lagerstandorte. Erforschen-Bewahren-Vermitteln. Denkmalpflege in Berlin und Brandenburg, Arbeitsheft 4. Petersberg 2016.

Kersting, T., C. Unglaub, J. Wacker and S. Wolter (2018). "Zwischen Krieg und Frieden: Waldlager der Roten Armee 1945." Veröffentlichungen zur brandenburgischen Landesarchäologie 48. Wünsdorf 2018, 285-335.

Kunow, J. (2001). Neuzeitarchäologie. Einführung. M. Aufleger, D. Karg, J. Kunow et al. (Hrsg.) Denkmalpflege im Land Brandenburg 1990-2000. Bericht des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologischen Landesmuseums. Worms 2001, 620.

Lindenschmit, L. (1864). Die Altertümer unserer heidnischen Vorzeit. Mainz 1864.

Lippok, J. and Müller-Pfeifruck (2009). "Die Krone habt ihr mir bereit." Totenkronen als gegenstand interdisziplinärer Forschungen." Ethnographisch-Archäologische Zeitschrift 50, 269-293.

Lipsdorf, J. (2001). Köhler über der Kohle. Ausgrabung von Holzkohlemeilern am Tagebau Jänschwalde. J. Kunow (Hrsg.) Ausgrabungen im Niederlausitzer Braunkohlenrevier 2000. Arbeitsberichte zur Bodendenkmalpflege in Brandenburg 8. Wünsdorf 2001, 213-223.

May, J. (2001). Zur Relevanz archäologischer Untersuchungen in Konzentrationslagern. M. Aufleger, D. Karg, J. Kunow et al. (Hrsg.), Denkmalpflege im Land Brandenburg 1990-2000. Bericht des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologischen Landesmuseums. Worms 2001, 625-628.

Mende, V. (1997). Festungsstadt im Wandel. Auf den Spuren der Renaissancefestung Peitz, Landkreis Spree-Neiße. Archäologie in Berlin und Brandenburg 1997, 141-144.

Mende, V. (2001). Die Festung Peitz. Denkmalpflege im Land Brandenburg 1990-2000. M. Aufleger, D. Karg, J. Kunow et al. (Hrsg.), Denkmalpflege im Land Brandenburg 1990-2000. Bericht des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologischen Landesmuseums. Worms 2001, 621-622.

Müller, F. (2013). Landschaft im Wandel. Die Peitzer Amtscheiden unter dem Einfluss des örtlichen Hüttenwerkes. F. Schopper (Hrsg.) Ausgrabungen im Niederlausitzer Braunkohlerevier 2009/2010. Arbeitsberichte zur Bodendenkmalpflege in Brandenburg 25. Wünsdorf 2013, 274-282.

Mülling, R. (2005). Schichtgräberfeld und Kohlemeiler. Archäologische Prospektion im Tagebauvorfeld Jänschwalde. Archäologie in Berlin und Brandenburg 2005, 85-87.

Nickel, E. (1960). Ein mittelalterlicher Hallenbau am Alten Markt in Magdeburg. Ergebnisse der archäologischen Forschungen in Magdeburg 1. Deutsche Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Schriften der Sektion für Vor- und Frühgeschichte 8. Berlin 1960.

Preusker, K. (1841-1844). Blicke in die vaterländische Vorzeit. 1.-3. Bändchen. Sitten, Sagen, Bauwerke und Geräte, zur Erläuterung des öffentlichen und häuslichen Volkslebens im heidnischen Alterthume und christlichen Mittelalter der sächsischen und angränzenden Lande. Leipzig 1841-1844

Plate, C. (2001). Archäologische Untersuchungen zur Geschichte der brandenburgischen Städte. Einführung. M. Aufleger, D. Karg, J. Kunow et al. (Hrsg.), Denkmalpflege im Land Brandenburg 1990-2000. Bericht des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologischen Landesmuseums. Worms 2001, 421-436.

Plate, F. (2011). Untersuchungen auf dem Platz der ehemaligen Glashütte "Grüne Hütte" bei Flecken Zechlin, Lkr. Ostprignitz-Ruppin. Veröffentlichungen zur brandenburgischen Landesarchäologie 45, Wünsdorf 2011, 247-280.

Rösler, H., B. Eberhard, F. Schopper, T. Raab and A. Raab (2012). Pre-industrial Charcoal Production in southern Brandenburg and its impact on the environment. Landscape Archaeology between Art and Science. S. Kluiving and E. Guttman-Bond. Amsterdam 2012, 167-178.

Rösler, H. (2013). Regenerative Energiegewinnung mit Folgen. Die Holzkohlemeiler von Jänschwalde. F. Schopper (Hrsg.) Ausgrabungen im Niederlausitzer Braunkohlerevier 2009/2010. Arbeitsberichte zur Bodendenkmalpflege in Brandenburg 25. Wünsdorf 2013, 250-266.

Schmidt, K. und B. Jungklaus (2017). Ernährungswandel vom Mittelalter zur Neuzeit. Untersuchungen an Gebissen aus Strausberg, Lkr. Märkisch-Oderland. Archäologie in Berlin und Brandenburg 2017, 125-127.

Schneider, A., A. Raab, H. Rösler, M. Takla, F. Hirsch, B. Ritschl and T. Raab (2016). Geophysikalische Prospektion und Mikrodrohnenbefliegung zur Dokumentation von Meilerplätzen in der Jänschwalder Heide. F. Schopper (Hrsg.) Ausgrabungen im Niederlausitzer Braunkohlerevier 2013/2014. Arbeitsberichte zur Bodendenkmalpflege in Brandenburg 30. Wünsdorf 2016. 145-154.

Schopper, F. (Hrsg.) (2016). Zwischen Krieg und Frieden. Waldlager der Roten Armee in Brandenburg 1945. Begleitheft zur Sonderausstellung im Archäologischen Landesmuseum Brandenburg, Wünsdorf 2016.

Slotta, R. (1982). Einführung in die Industriearchäologie. Darmstadt 1982.

Strauß, K. (1923). Studien zur mittelalterlichen Keramik. Leipzig, Kurt Kabitsch, 1923.

Takla, M., T. Raab and A. Raab (2013). Mit dem GIS zur Landnutzungsgeschichte. Datengrundlage und Forschungsansatz zum Modell der frühindustriellen Holzkohleproduktion in der Jänschwalder Heide. F. Schopper (Hrsg.) Ausgrabungen im Niederlausitzer Braunkohlerevier 2009/2010. Arbeitsberichte zur Bodendenkmalpflege in Brandenburg 25. Wünsdorf 2013, 267-273.

Theune, C. (2014). Archäologie an Tatorten des 20. Jahrhunderts. TheissVerlag Darmstadt 2014.

Weishaupt, J. (2011). Lagerarchäologie. Ausgrabungen in den Gedenkstätten Sachsenhausen und Ravensbrück, Lkr. Oberhavel. Archäologie in Berlin und Brandenburg 2011, 160-164.

GeoRS

In dieser Reihe bereits erschienen

- | | | |
|---------|--|---|
| Vol. 01 | Raab, T., Raab, A.,
Gerwin, W.,
Schopper, F.
(2013): | Landschaftswandel - Landscape Change |
| Vol. 02 | Raab, T., Hirsch, F.,
Raab, A., Schopper,
F., Freytag, K.
(2013): | Arbeitskreis Geoarchäologie - Jahrestagung 2013, 2. - 4.5.2013, BTU Cottbus. Tagungsband und Exkursionsführer |
| Vol. 03 | Schneider, A.
(2014): | Spatial and temporal development of sediment mass balances during the initial phase of landform evolution in a small catchment |
| Vol. 04 | Sut, M.
(2014): | Detection and behavior of iron-cyanide complexes in soils of a former Manufactured Gas Plant site |
| Vol. 05 | Hirsch, F.
(2016): | Post-LGM-zeitliche Pedogenese und Geomorphodynamik in den spanischen Zentralpyrenäen |
| Vol. 06 | Müller, F.
(2017): | Der Wandel der Kulturlandschaft im Raum Peitz infolge des mehrhundertjährigen Betriebes des dortigen Eisenhüttenwerkes (Mitte 16. bis 19. Jahrhundert) |
| Vol. 07 | Knoop, C.
(2019): | Anaerobic treatment of municipal organic waste from separate collection: digestate properties and substance flows during two-stage digestion and subsequent aerobic treatment |

ISSN 2196 - 4122