

Landschaftsveränderungen in Montanregionen

Mindestens 900 Jahre „human impact“ im Erzgebirge

Klaus Cappenberg,
Matthias Schubert
& Christiane Hemker

Archäologisch sind in Mitteleuropa Eingriffe des Menschen in Natur und Landschaft bereits für den Zeitpunkt der Sesshaftwerdung im 6. Jahrtausend v. Chr. im Zuge der sogenannten neolithischen Revolution nachweisbar.¹ Oft wurden dabei die Rodungsaktivitäten durch zunehmende Erosionsprozesse in Form kolluvialer oder alluvialer Ablagerungen erfasst.² Neben der zunehmenden Landnutzung im agrarischen Kontext treten bereits ab dem Neolithikum auch bergbaubedingte Landschaftseingriffe auf.³ Zu Beginn der Metallzeiten gewann die Holzkohle als Energieträger steigende Bedeutung, um die energieintensiven Aufbereitungsprozesse (Probieren, Rösten, Verhütten) der abgebauten Erze durchführen zu können. Neben der Nutzung als Baumaterial für den Betrieb der Bergwerke spielt Holz auch bei der Gewinnung von Pottasche, beispielsweise als Flussmittel für die Glasherstellung und zur Seifengewinnung, eine wichtige Rolle.⁴ Flankiert wurde der Holzeinschlag⁵ durch den steigenden Flächenverbrauch für erforderliche Infrastrukturmaßnahmen wie dem Ausbau des Wegenetzes in Form von mehr oder weniger befestigten Land- oder Wasserwegen. Ganz allgemein gilt dies natürlich auch für den Bau von Häusern und Gebäuden, der vor allem mit dem hochmittelalterlichen Landesausbau einsetzte.⁶

Die montanarchäologischen Forschungen im sächsischen Ostergebirge haben in den vergangenen Jahren hinsichtlich des Einflusses des Bergbaus auf die Landschaft eine Vielzahl neuer Erkenntnisse geliefert. So lässt sich durch das erweiterte Methodenspektrum der Montanarchäologie erstmals im Ostergebirge eine menschliche Landschaftsgestaltung seit der frühen Bronzezeit aufzeigen und durch ¹⁴C-datierte Holzkohleschichten in den Zinnseifen von Schellerhau (Ortsteil Altenberg, Landkreis Sächsische Schweiz-Ostergebirge) belegen (Abb. 1).⁷

Archäologisch sehr viel deutlicher fassbar werden im Ostergebirge anthropogene Landschaftsveränderungen allerdings erst aufgrund von Bergbauaktivitäten im Zuge des Ersten Berggeschreys ab der zweiten Hälfte des 12. Jahrhunderts.⁸ Als montanarchäologische Nachweise dienen dazu gut erhaltene hölzerne Einbauten sowie Werkzeuge in den mittelalterlichen Bergwerken von Dippoldiswalde und Niederpöbel (beide Landkreis Sächsische Schweiz-Ostergebirge).⁹ Auch die hölzernen über- und

1 Terberger/Gronenborn 2014.

2 Kaiser u. a. 2019.

3 Raab 2005; Kerig 2018; Weiner/Schlye 2018.

4 Walter 1994, 71; Tolksdorf u. a. 2018a, 137 f.

5 Küster 1995, 233–245.

6 Higounet 1986, 248–343; Blaschke 1990, 77–104; Gräßler 1997; Kenzler 2012; Derner/Lissek 2018.

7 Tolksdorf 2018, 168 f.; Tolksdorf u. a. 2018b, 131.

8 Tolksdorf 2018, 59–108.

9 Hemker 2011; dies. 2015.

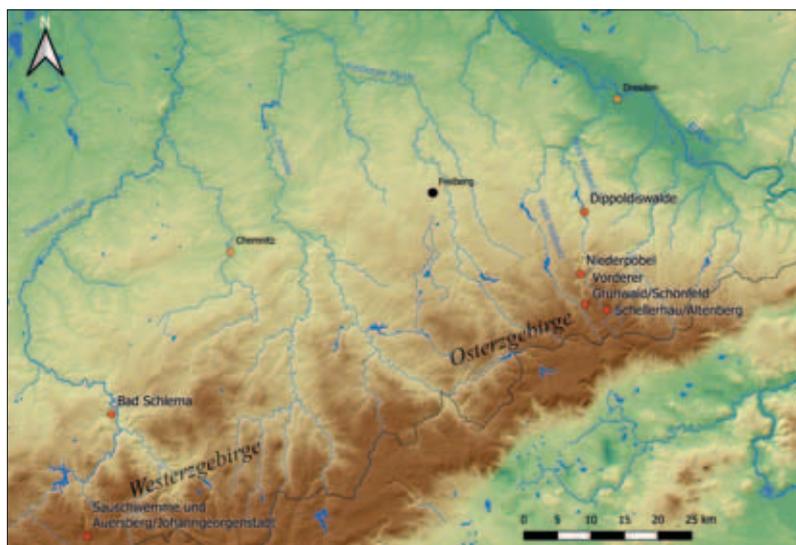


Abb. 1: Kartierung der vorgestellten Fundstellen (Dippoldiswalde, Niederpöbel, Schönfeld/Vorderer Grünwald, Schellerhau, Sauschwemme und Auersberg/Johanngeorgenstadt, Bad Schlemma).

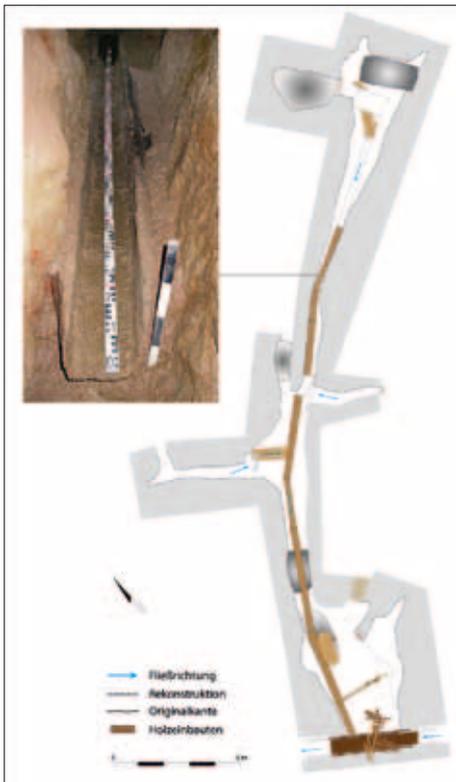


△ Abb. 2: Historische Darstellung von wasserbaulichen Maßnahmen für den Holztransport (Schwazer Bergbuch, 1554).

▷ Abb. 3: Historische Darstellung von Holzkohlemeilern (Schwazer Bergbuch, 1554).

▽ Abb. 4: Unter Tage dienten hölzerne Rinnenleitungen der Wasserhaltung. In Dippoldiswalde wurde dieses System aus Röschen, Rinnen, Wasserkästen und Sammelbecken aus der Zeit um 1220/1225 auf einer Länge von 25 m dokumentiert.

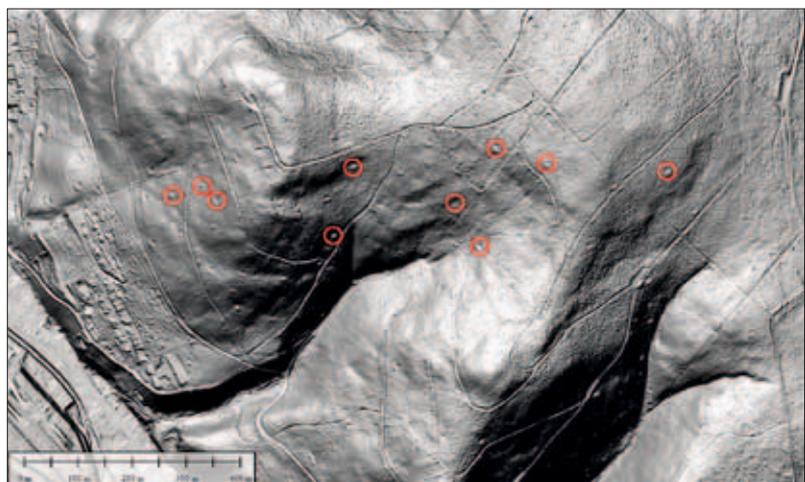
▷ Abb. 5: Niederschlag von potentiellen Meilerplattformen im digitalen Geländemodell der Landesvermessung (hier beispielhaft rot markiert).



untertägigen Relikte von Anlagen zur Wasserführung – die sogenannten Wasserkünste – bieten weitere Anhaltspunkte (Abb. 2 und 4).¹⁰

Holz gilt als hervorragender Datenträger für umwelthistorische Informationen: Neben der Holzartenbestimmung und der Datierung des Fällzeitpunkts eines Baums bieten beispielsweise Untersuchungen zur mikroskopischen Anatomie und zur Spätholzdichte darüber hinaus klimahistorische Informationen sowie Hinweise auf die Herkunft und/oder den Standort und die Standortgeschichte des Baums.¹¹ Im digitalen Geländemodell (DGM) lässt sich der mittelalterliche Bergbau obertägig in Form von Pingenzügen und Seifen sowie den Be- und Entwässerungsgräben der Wasserkünste gut erfassen. Als weitere Quellen können die Plattformen von historischen Holzkohlemeilern häufig im DGM identifiziert werden (Abb. 3 und 5). Ihre mittels Sondierungen und Bohrungen gesammelten und ¹⁴C-datierten anthrakologischen Spektren lassen Rückschlüsse auf den zeitlichen Verlauf von Änderungen der Waldzusammensetzung zu.¹² Alluviale und kolluviale Ablagerungen sowie Pollenspektren ergänzen die genannten Quellen. Sie dienen zudem als Proxy zur Abbildung von Rodungsaktivitäten sowie dadurch hervorgerufener Erosionserscheinungen. Zudem lassen sich daran überregionale Änderungen von Vegetationsspektren wie etwa dem Übergang von Waldanzeigern zu denen für Rural- oder Segetalgesellschaften erkennen.¹³

In der sächsischen Montanarchäologie wird stets auch die historische Kartographie zur Indizierung anthropogen bedingter Landschaftsveränderungen herangezogen. Maßstäblich erst ab der Mitte des 16. Jahrhunderts mit der Ersten Kursächsischen Landesaufnahme durch Humelius und Oeder vorliegend, diente dieser sogenannte Ur-Oeder





vorrangig der Erfassung der kurfürstlichen Wälder, enthält aber auch Kartierungen von Dörfern, Siedlungen sowie unter anderem auch von Bergbaustrukturen.¹⁴ Flächendeckend wurden diese Arbeiten erst etwa 200 Jahre später von Friedrich Ludwig Aster und Kollegen im Rahmen der kursächsischen topographischen Landesaufnahme, den sogenannten sächsischen Meilenblättern fortgeführt. Deren detaillierte Darstellung ist eine hervorragende Quelle zur Nutzung der Landschaft zwischen 1780 und 1825. Vergleicht man Ur-Oeder und Meilenblätter, lassen sich häufig Landschaftsveränderungen feststellen (Abb. 6 und 7).

Im Folgenden sollen einige montanarchäologische Fundstellen im sächsischen Erzgebirge vorgestellt werden, wo aufgrund der dort durchgeführten landschaftsarchäologischen Studien entsprechende Umweltveränderungen nachgewiesen werden konnten (Abb. 1).

Aus den Bergwerken von Dippoldiswalde und Niederpöbel liegen bislang insgesamt fast 3400 Hölzer vor, die einer Spezies zugewiesen werden konnten.¹⁵ Generell vorherrschend sind Weißtanne (*Abies alba*, n=2103), Fichte (*Picea abies*, n=444) und Rotbuche (*Fagus sylvatica*, n=333). Die dendrochronologisch erfassten Hölzer mit Waldkante (n=1014) zeigen für Dippoldiswalde¹⁶ eine kontemporäre Nutzung von Tanne und Buche, welche im Median an den Beginn des 13. Jahrhunderts datieren. Der Median der Fichte liegt im Vergleich zu Buche und Tanne leicht versetzt in der Mitte des 13. Jahrhunderts und könnte eine weitere Ausbauphase der Bergwerke andeuten. Die übrigen dokumentierten Baumarten wie Ahorn (*Acer*), Kiefer (*Pinus*), Eiche (*Quercus*) und Ulme (*Ulmus*) lassen aufgrund ihrer geringen Anzahl keine Aussage zu etwaigen Nutzungsphasen zu.

Das über die Anzahl der Jahrringe ermittelte Mindestalter der Hölzer in Dippoldiswalde weist zum Ende der bergbaulichen Initialphase für die hölzernen Einbauten im späten 12. Jahrhundert eine gleichmäßig streuende Altersstruktur der gefällten Bäume auf (Abb. 8). Tendenziell sind ältere Buchenhölzer mit einer Spannweite von ca. 35 bis zu 275 Jahren zu beobachten. Ähnlich stellt sich die Mindestaltersverteilung der Eichen dar. Die verwendeten Tannenhölzer haben ein geringfügig jüngeres Lebensalter und liegen zwischen 25 und ca. 200 Jahren; zum Ausbau der Bergwerke scheinen geringfügig jüngere Tannenhölzer benutzt worden zu sein. Die Altersstruktur der Kiefernholz zeigt eine Lücke auf, die interessanterweise wie bei der Buche einen chronologischen Bezug zu haben scheint: Etwa um 1225, also zu der Zeit, als Buchenhölzer in breiter Altersspannweite die Einbauten dominierten, wurden zunächst einige wenige relativ alte Kiefernholz verbaut (150 bis 200 Jahre), ca. 50 Jahre später, gegen 1275, wurden nur noch relativ junge Hölzer zum Verbau genutzt (20 bis 50 Jahre). Diese Lücke in der Altersverteilung der Kiefern wird durch 60 bis 170 Jahre alte Fichtenholz belegt, wie im Diagramm ersichtlich.

Abb. 6 und 7: Ausschnitt des Pöbeltals im Ost- erzgebirge auf der Öder-Zimmermann-Karte, (1586 bis 1634) (links) und den Freiburger Meilenblättern (1819 bis 1834, Nachträge bis 1876) (rechts). Auf die mittelalterliche und frühneuzeitliche Montanlandschaft weisen im Meilenblatt nur noch einige Flurnamen hin.

Die Bergwerke von Dippoldiswalde und Niederpöbel und ihr Umfeld. Holzarchive des 12.–13. Jahrhunderts

10 Hemker/Hoffmann/Scholz 2012, 92–94; Hemker/ Schubert 2018; Schröder 2018, 44f.

11 Schweingruber 1983.

12 Tolksdorf 2018, 95, Abb. 52.

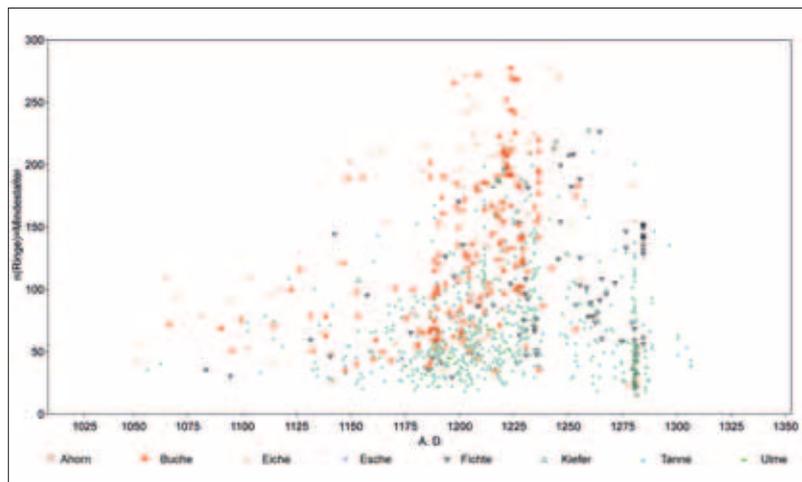
13 Zum Beispiel Tolksdorf 2018, 99, Abb. 56.

14 Exner (in Vorbereitung).

15 Stand Februar 2020.

16 Ca. 375 m ü. NN.

Abb. 8: Verteilung der Mindestlebensalter der in Dippoldiswalde hauptsächlich benutzten Holzarten mit Waldkante und ihre Datierung (n=1014).



Für die Bergwerke von Niederpöbel¹⁷ zeigt sich für die dort verwendeten Hölzer ein leicht divergierendes Bild. Sie weisen eine recht locker streuende Initialphase des Bergbaus in der zweiten Hälfte des 12. Jahrhunderts auf, eine Verdichtung der Datierungen ist gegen 1260 zu beobachten. Die Buche, deren Median der Datierungsverteilung für Dippoldiswalde dem der Tanne gleicht, kann für die Zeit des aktiven Bergbaus in Niederpöbel nicht beobachtet werden. Die Verteilung der Altersstruktur der verwendeten Berghölzer zeigt für Tanne und Fichte ein tendenziell ähnliches Bild wie das der Dippoldiswalder Hölzer, Kiefern und Eichen fehlen hingegen (Abb. 9).

Einschränkend muss darauf hingewiesen werden, dass das über die Anzahl der Jahrringe ermittelte Mindestalter der Hölzer nicht unbedingt dem eigentlichen Alter der Bäume entspricht, die Verteilung der Altersstruktur kann sich daher verschieben. Archäologische Holzproben bilden eher selten das wahre Lebensalter von Bäumen ab. Hierzu muss der Kernbereich des Baums, das Mark, vorhanden sein. Daher wird das Mindestbaumalter für die Darstellung der Alterstendenzen der eingebauten Berghölzer herangezogen. Mehrere archäologisch gewonnene Hölzer können zudem vom selben Baum stammen, was zu Mehrfachzuweisungen des kalendarischen Alters und der Baumart führen kann. Auch die Wiederverwendung von altverbautem Holz ist aus dem gleichen Grund als quellenkritischer Faktor zu berücksichtigen. Der Fundanteil der beiden hier vorgestellten Fundstellen ist zudem unterschiedlich stark besetzt, die absolut datierbare Anzahl an Hölzern in Niederpöbel ist etwa zehnmal kleiner als in Dippoldiswalde. Als wichtiger Faktor ist zudem zu berücksichtigen, dass Dippoldiswalde und Niederpöbel mit ca. 375 m und 500 m Höhe NN auf deutlich unterschiedlichen Höhenstufen liegen, so dass der Bewuchs aufgrund geänderter Klimaparameter grundsätzlich abweichenden kann.

Zusammenfassend lassen sich diesbezüglich für die Bergwerke von Dippoldiswalde und Niederpöbel chronologische und artenspezifische Unterschiede aufzeigen. Die Gruben in Dippoldiswalde datieren rund ein halbes Jahrhundert früher als die Bergwerke in Niederpöbel. Die Weißtanne wurde an beiden Standorten genutzt, die Fichte in Dippoldiswalde erst in einer zweiten Nutzungsphase zwischen 1230 und 1270. Diese Phase fällt interessanterweise in Niederpöbel in das Ende der locker streuenden Initialphase und den Beginn eines deutlichen Holzniederschlags, der mit der Intensivierung des Bergbaubetriebs einhergeht. Im Unterschied zu Niederpöbel zeigt sich in Dippoldiswalde ein differenzierteres Artenspektrum. Die Veränderung der Zusammensetzung kann beispielsweise auf technische Änderungen zurückzuführen sein, für die andere Holzarten benötigt werden. Auch kann sich das zur Verfügung stehende Holzangebot, etwa durch vorhergehende Einschläge, geändert haben.

17 Ca. 500 m ü. NN.

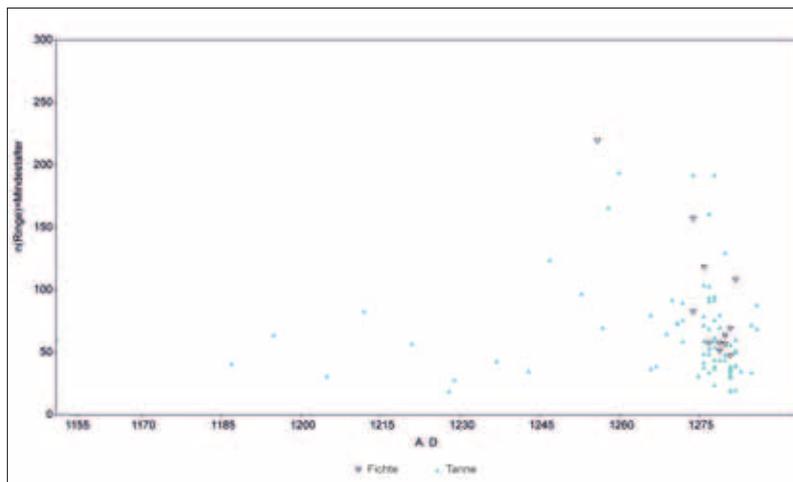


Abb. 9: Verteilung der Mindestlebensalter der in den Bergwerken von Niederpöbel aufgefundenen Holzarten mit Waldkante und ihre Datierung (n=98).

Für Dippoldiswalde kann auf Grundlage der Daten eine Überbeanspruchung der Laubbaumarten zu Beginn des Bergbaus vermutet werden, während sich in Niederpöbel eine extensive Nutzung von Laubbäumen erst in einer späteren Phase des Bergbaus nachweisen lässt. Möglicherweise lässt sich die vermutete Überbeanspruchung der Laubbaumressourcen in Dippoldiswalde in Teilen mit dem Tragedy of the Commons-Modell des US-amerikanischen Mikrobiologen und Ökonomen Garrett Hardin erklären:¹⁸ Die durch das Bergrecht eingeräumte Nutzbarkeit des Walds dürfte in der Umgebung der Bergwerke zu einer raschen Abholzung geführt haben. Eine nachhaltige, schonende Nutzung oder gar Bewirtschaftung des nahegelegenen Walds barg die Gefahr, dass sich andere Grubenbetreiber an dessen Holz bedienten, auch wenn die rechtlichen Regelungen bekannt waren.

Die beschriebenen Beispiele von Holzartennutzung in den Bergbauarealen von Dippoldiswalde und Niederpöbel zeigen während der Betriebslaufzeiten einen Wechsel der verbauten Holzarten und der individuellen Baumalter. Es konnte nachgewiesen werden, dass dort ein Umstieg von langsam wachsenden, prinzipiell alten Laubbäumen – vermutlich noch aus dem vorhandenen Urwald – auf schneller nachwachsende Nadelbäume, die grundsätzlich keine sehr hohen Individualalter erreicht haben, stattgefunden hat, der damit den menschlichen Einfluss auf die Bewaldung widerspiegelt. Ob es sich bei den schneller nachwachsenden Nadelbäumen bereits um eine frühe Form von aktivem Waldmanagement gehandelt hat, muss dahingestellt bleiben. Vielmehr ist die Wiederbewaldung offengelassener Flächen durch schnellwachsende Arten wahrscheinlich, die an die durch den Menschen geschaffene neue ökologische Nische besser angepasst waren. Dieser nachgewachsene Wald wird genauso wie der primäre Urwald vom Holzeinschlag betroffen gewesen sein und schlägt sich innerhalb der untertägigen Holzfunde in einem veränderten Artenspektrum nieder.

Im Bereich der Bergwerke von Niederpöbel konnten aus umliegenden Holzkohlemeilern anthrakologische Spektren gewonnen und analysiert werden (Abb. 10).¹⁹ Sie können als sogenannte ultralokale Quellen zur Bestimmung der Holzartenzusammensetzung des umliegenden Walds genutzt werden.²⁰ Ergänzt durch ¹⁴C-Datierungen lässt sich so der Wandel in der Waldnutzung und somit auch der umgebenden Bewaldung rekonstruieren.

Die Darstellung der 2-Sigma-Reichweiten der datierten, kurzlebigen Holzkohleproben als Kerneldichteschätzung ergibt zwei besonders wahrscheinliche Bereiche von intensiver Köhlerei, die sehr gut mit den von J. F. Tolksdorf rekonstruierten Waldnutzungsphasen in der Umgebung der Bergwerke von Niederpöbel korrespondieren (Abb. 11).²¹ In Phase 1, der

¹⁸ Hardin 1968.

¹⁹ Tolksdorf u. a. 2015, 496, Abb. 6.

²⁰ Tolksdorf/Schröder 2016, 175–177.

²¹ Tolksdorf u. a. 2015, 498.

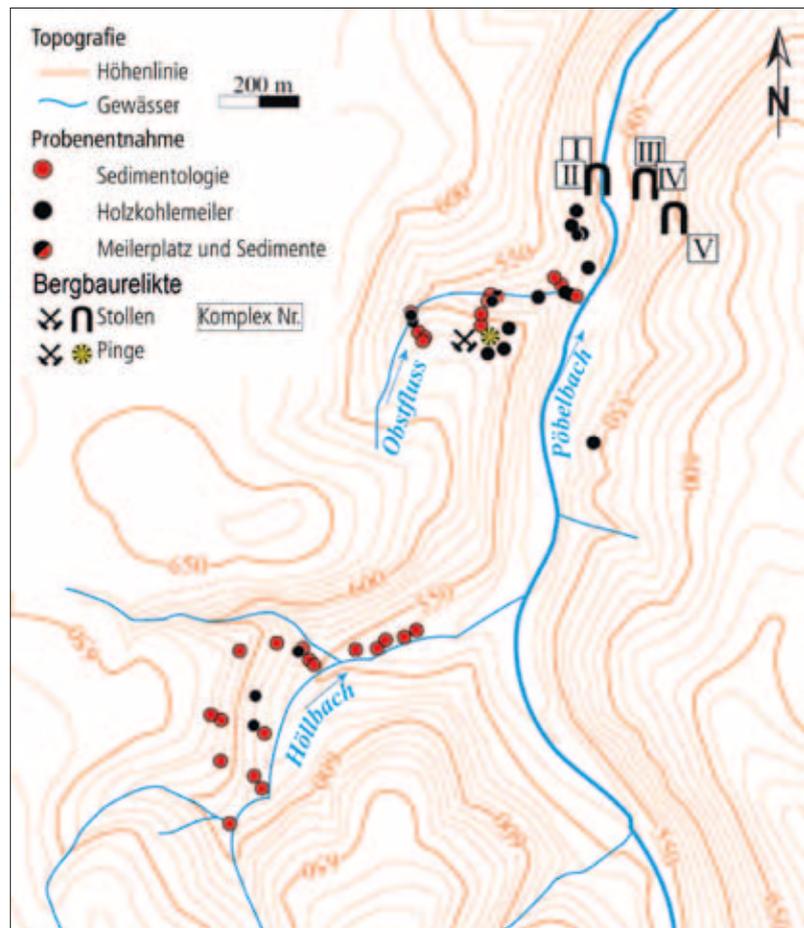


Abb. 10: Die hochmittelalterlichen Bergwerke von Niederpöbel und im Umfeld befindliche Holzkohlemeiler.

Initialphase des Niederpöbler Bergbaus zwischen 1180 und 1240, dominierte die Tanne als Bauholz unter Tage, während die Buche umfangreich zur Verkohlung herangezogen wurde (Abb. 12 und 13). Phase 2, zwischen 1240 und 1290, die letzte Ausbauphase des Bergbaus in Niederpöbel, zeigt sinkende Buchenanteile für die Köhlerei, gleichzeitig Hinweise auf Auflichtungseffekte durch Pioniergehölze. Phase 3, die Jahre 1290 bis 1490 umfassend, birgt keine Hinweise auf Bergbau, aber eine fortdauernde, intensive Nutzung des Walds zur Köhlerei; jetzt wurden allerdings auch zuvor überwiegend als Bauholz genutzte Tannenhölzer verkohlet. Die letzte Phase 4, zwischen 1530 und 1560, zeigt die Beschickung der Holzkohlemeiler mit Buche und Fichte – hier kann eine Wiederaufnahme der Köhlerei auch unter Einbeziehung bauwirtschaftlich wertvoller Hölzer mit großen Stämmen konstatiert werden.

Die Analyse des Köhlereiverhaltens in Niederpöbel ergibt gleichzeitig Hinweise auf wechselnde Landschafts- und Waldnutzung. Die Zusammenschau der oben vorgestellten Ergebnisse zeigt zu Beginn der montanwirtschaftlichen Nutzung des Areals eine selektive Nutzung der Holzressourcen – die Tannen gingen ins Bergwerk, die Buchen wurden zu Holzkohle verarbeitet. Nach einem Rückgang der Verkohlung von Buchenholz in einer Zwischenphase ist kurz vor Ende der extensiven montanwirtschaftlichen Nutzung des Gebiets wieder ein Anstieg der Verkohlung von Buchenholz, nun jedoch ergänzt durch Fichte, zu beobachten. Buchenholz wurde jetzt auch unter Tage verwendet.

Legt man die Holzartennutzung als Proxy für den umgebenden Wald zugrunde, lässt sich ein Wechsel der Vegetation postulieren. In der Initialphase des Bergbaus wurde der ursprüngliche Wald aufgelichtet und durch Pioniergehölze ersetzt. Der Bergbau endete und die Artenzusammensetzung des Walds näherte sich wieder ihrem ursprünglichen

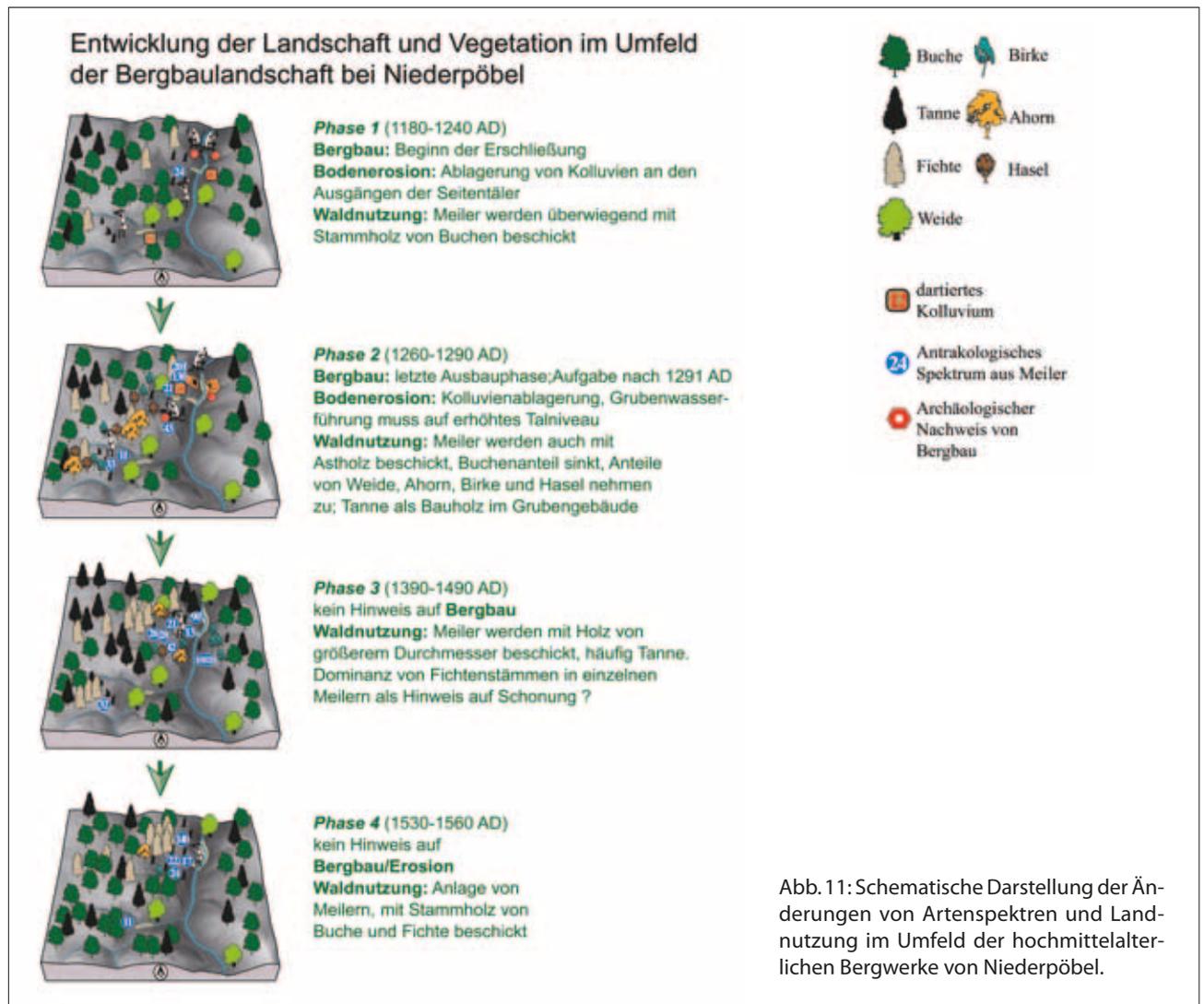


Abb. 11: Schematische Darstellung der Änderungen von Artenspektren und Landnutzung im Umfeld der hochmittelalterlichen Bergwerke von Niederpöbel.

Zustand an, zu erkennen an den anthrakologischen Spektren der dem Bergbau folgenden intensiven Köhlerei. Diese hat letztendlich dazu geführt, dass der Wald seine Fähigkeit zur Bewahrung seines ursprünglichen ökologischen Gleichgewichts verlor. Damit war spätestens in der frühen Neuzeit der Weg zu einer planmäßigen Aufforstung des Geländes mit Fichten frei. Das Bauholzspektrum von Niederpöbel stellt einen für die natürliche Vegetation des Standorts zu erwartenden Walddurchschnitt dar. Insofern kann eine intentionelle Auswahl der Holzarten nicht sicher belegt, sondern nur hypothetisch erwogen werden.

Neben den zahlreichen Holzfunden unter Tage konnte für die Gruben von Niederpöbel auch eine sehr gut erhaltene Rösche zur Wasserableitung obertägig dokumentiert werden. Diese zu Befundkomplex IV von Niederpöbel gehörige Struktur war von einer ca. 6 m starken Überdeckung von Hangschutt und Bachgeröllen gekennzeichnet (Abb. 14).²² Die Rösche wurde um das Jahr 1276, also in der Hauptperiode des Niederpöbeler Bergbaus,²³ errichtet, um eine gesicherte Wasserableitung aus dem Mundloch des Stollens zu gewährleisten. Offenbar hatte sich das Bett des Pöbelbachs durch bergbaubedingte Ablagerungen so stark erhöht, dass dadurch kein Wasser mehr aus dem Stollen in den Bach geleitet werden konnte. Mit dem Bau eines Röschengrabens wurde daher das Wasser weiter bachabwärts zu einer tiefergelegenen Stelle abgeleitet. Die relativ zeitnah erfolgten Umbauten des Wasserleitungssystems aufgrund der starken Erhöhung des Bachbetts sind auf bachaufwärts stattgefundene, rasche und deutliche

²² Schröder 2015; ders. 2018, 43–45. Das Mundloch befindet sich heute etwa 1,5 m unterhalb des aktuellen Bachniveaus.

²³ Schröder 2018, 40, Abb. 11.

Art \ Jahr	1262	1272	1280	1292	1293	1388	1390	1434	1435	1456	1470	1483	1550	1617	1641
Tanne	46	0	29	19	12	74	0	0	0	10	64	22	16	15	9
Fichte/Lärche	4	0	0	27	0	7	0	19	13	100	12	14	0	84	2
Birke	16	1	9	0	3	3	2	0	71	0	4	0	2	0	16
Buche	1	86	37	19	0	8	7	5	0	0	15	47	60	1	49
Weide/Pappel	21	1	5	3	22	17	11	0	0	0	9	0	7	0	17

Abb.12: Änderungen der verkühlerten Holzspek-
tren im Lauf der Zeit; absolute Anzahl der unter-
suchten Holzkohlefragmente nach datiertem
Meiler; Darstellung der Datierung als terminus
ante quem, da es sich um die jeweils jün-
gsten 2σ-Bereiche der ¹⁴C-Datierungen handelt.

*Die mittelalterliche Bergbausiedlung
Vorderer Grünwald – Siedlungs- und
Landschaftsrekonstruktion mittels
Fernerkundung und minimal
invasiver Methoden*

Umweltveränderungen zurückzuführen. Diese wurden durch bergbau-
bedingte Abholzungen der Talhänge, Trockenlegungen von Mooren im
Bacheinzugsgebiet und Rutschungen an den Steilhängen des Pöbeltals
hervorgerufen. Auch die köhlereibedingten Rodungen dürften einen
hohen erosionsfördernden Einfluss gehabt haben.

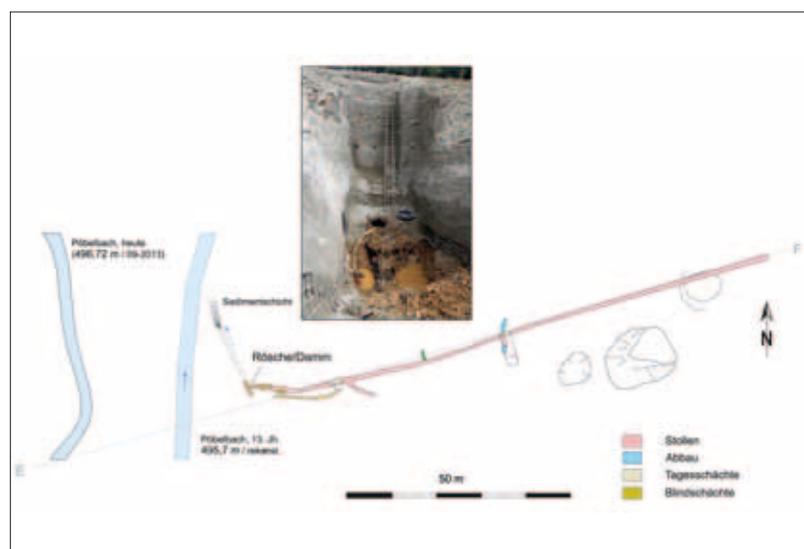
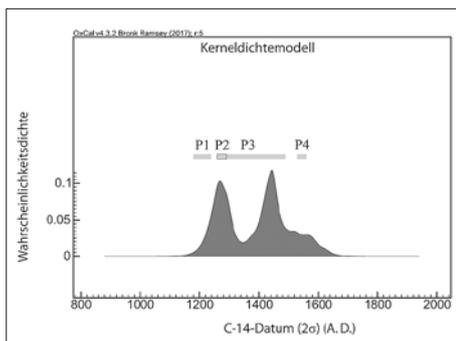
Sichtbare Hinweise auf Landschaftsveränderungen des mittelalterlichen
Bergbaus sind auch im Osterzgebirge zumeist nur noch im Wald erhalten
und können über Methoden der Fernerkundung erfasst werden (Abb. 15).
Im Verbund mit mehreren minimalinvasiven Untersuchungen wie Boh-
rungen, Sondagen, aber auch geomagnetischen Prospektionen führte
die Analyse des digitalen Geländemodells zur Entdeckung der bisher
unbekannten mittelalterlichen Bergbausiedlung im Vorderen Grünwald
im Osterzgebirge (Gemarkung Schönfeld, Ortsteil Dippoldiswalde). Die
Fundstelle belegt zugleich eine bereits im Mittelalter erfolgte Erschließung
montaner Räume ab einer Höhe von 700 m ü. NN.²⁴

Auf einem Geländerrücken gelegen hat der hier umgehende Bergbau
deutliche Spuren auf dessen Oberfläche in Form eines markanten Pingens-
zuges hinterlassen (Abb. 16). Die zeitliche Einordnung der im Umfeld dieser
Bergbaurelikte geborgenen Keramik weist diese in die Zeit von der Mitte
des 13. bis in das 14. Jahrhundert. Durch zwei kleine Sondagen konnte
die Funktion von flachen Hohlformen geklärt werden, die dem Pingens-
zug westlich vorlagert sind. Dabei handelt es sich um Grubenhäuser, die
auch aus anderen wüstgefallenen sächsischen Bergbausiedlungen wie
dem Treppenhauer bei Frankenberg oder Ulrichsberg bei Wolkenburg
bekannt sind.²⁵ Nördlich davon ließ sich durch Gelände- und geophysika-
lischer Prospektion zudem ein Areal mit erhöhter metallurgischer Aktivität
nachweisen (Abb. 15). Ein Nachweis für Landwirtschaft ist möglicherweise
ein reliktscher Pflughorizont im Nordwesten der Fundstelle, der aber auf-

24 Schubert u. a. 2018.
25 Schwabenicky 2009.

▽ Abb. 13: Kerndichte der ¹⁴C-Datierungen
von Holzkohlemeilern als Anzeiger für Aktivi-
tätsphasen der Köhlerei in Niederpöbel.

▷ Abb. 14: Die Rösche von Niederpöbel. Lage-
plan, Freilegungsarbeiten und Darstellung der
Höhenniveauunterschiede.



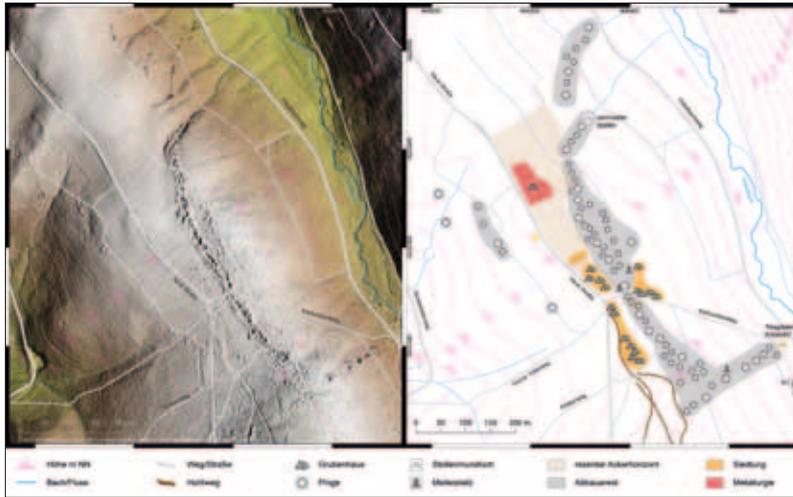


Abb. 15: Übersichtsplan der Fundstelle Vorderer Grünwald/Schönfeld auf Grundlage eines mittels LiDAR-Scan erzeugten digitalen Geländemodells und dessen Interpretation.

grund seiner Darstellung auf Flurkarten sehr viel jünger sein dürfte. Mittels kleiner Schurfe wurden kolluviale und alluviale Sedimentationsprozesse im Umfeld der Fundstelle ermittelt, die indirekt auf Erosionsprozesse im Zuge der menschlichen Nutzung dieses Bergbauareals hinweisen (Abb. 15).²⁶ Zudem sind im Umfeld etliche Meilerplätze nachweisbar, die im Rahmen des laufenden ArchaeoForest-Projekts anthrakologisch untersucht werden sollen, um den für Niederpöbel aufgezeigten Vegetationswechsel aufgrund menschlicher Aktivität methodisch und inhaltlich an der höhergelegenen Fundstelle Vorderer Grünwald nachzuvollziehen.

Das Erzgebirge zählt zu den bedeutendsten Bergbaurevieren für die Zinnversorgung Europas, dessen meist im großen Rahmen erfolgter Abbau deutliche Spuren in der Landschaft hinterlassen hat. Besonders ausgeprägt ist die Ausbeutung von Zinnseifen entlang der Fließgewässer, die mit relativ geringem technischen Aufwand gegenüber den entsprechenden primären Zinnlagerstätten wohl als erstes abgebaut wurden. Vom Ausmaß dieser stark devastierenden Abbautechnik zeugen die zahlreichen erhaltenen Relikte des Seifenbergbaus in den Wäldern des Erzgebirges. Seifenlagerstätten entstehen durch Erosionsvorgänge aus den primären Lagerstätten und bilden am Oberlauf der Flüsse zumeist ergiebige Ablagerungen von zinnhaltigen Sedimenten. Aus diesen Zinnseifen konnte das Zinnmineral Kassiterit relativ einfach und im Vergleich zum Tiefbau weniger aufwendig aus den Sedimenten gewaschen („geseift“) werden.

Zinnseifen – historischer Tagebau, der das Landschaftsbild verändert hat

²⁶ Tolksdorf 2018, 102–108.

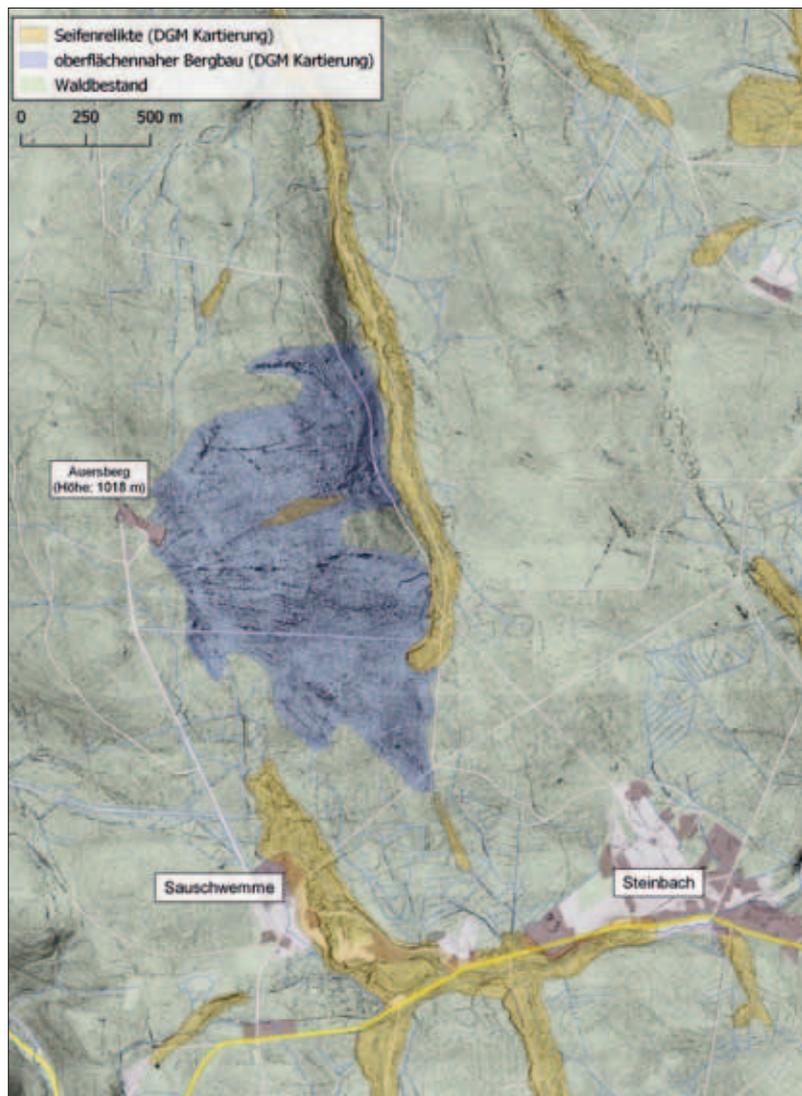


Abb. 16: Drohnenschrägaufnahme des Pingenzugs und der Grubenhäuser im Hintergrund auf der Fundstelle Vorderer Grünwald/Schönfeld (Blickrichtung nach Südwesten).



△ Abb.17: Techniken des Seifenabbaus um 1556, farblich markiert (Holzschnitt, Georg Agricola). Rot: Abgraben von zinnhaltigen Sediment; blau: Waschgraben; grün: über Holzrinnen weitere Fraktionierung und Anreicherung; lila: Zinnsubstrat in Waschkästen aufgefangen; gelb: ausgeseiftes Material (Raithalde).

▷ Abb. 18: Relikte des Zinnseifenbergbaus im Umfeld der Zinnseife Sauschwemme bei Johanngeorgenstadt und Spuren des oberflächennahen Abbaus am Osthang des Auersbergs bis auf 1000 m ü. NN.



Die technischen Arbeitsschritte des Ausseifens und die weitere Aufbereitung beschreibt erstmals Agricola in seinem Hauptwerk „de re metallica libri XII“ (Abb. 17).²⁷ Das wichtigste Element ist Wasser, das über Gräben zugeleitet zum Auswaschen des abgegrabenen zinnhaltigen Sediments genutzt wurde; die weitere Anreicherung des Zinns erfolgte teilweise über Rinnen in hölzernen Waschkästen. Spätestens seit dem Mittelalter führte dies zu erheblichen Landschaftsveränderungen, die heute als linear verlaufende tiefe Einschnitte von bis zu 12 m entlang der Flussläufe zu erkennen sind – die Gegend um Johanngeorgenstadt soll hier als Beispiel dienen. Künstlich angelegte Gräben für die gezielte Wasserführung, aufgeschüttetes ausgeseiftes Grobmaterial – sogenannte Raithalden – sowie massive Ablagerungen von Feinsediment in den Flussniederungen sind direkte Auswirkungen des Seifenbergbaus und lassen sich sowohl im Gelände als auch in den digitalen Geländemodellen sehr gut nachvollziehen (Abb. 18).

Die Revierwasserlaufanstalt Freiberg und andere wasserbauliche Maßnahmen

Sicherlich bereits seit dem Mittelalter verbrauchten die Bergwerke im Freiburger Zentralrevier gewaltige Wassermengen, sei es um die eindringenden Grubenwasser aus größeren Tiefen zu heben und fortzuführen, oder um die gewonnenen Erze zu fördern, aufzubereiten und zu verhütten. Die Versorgung mit Aufschlagwasser zum Betrieb der dafür notwendigen technischen Anlagen wie Wasserräder, Pochwerke, Erzwäschen oder Schmelzhütten erfolgte durch die Gewässer des Erzgebirges.²⁸ Für das 16. Jahrhundert ist ein weitverzweigtes System aus Röschen (wasser-

²⁷ Agricola 1928.

²⁸ Wagenbreth/Wächtler 1986, 63 und 70.

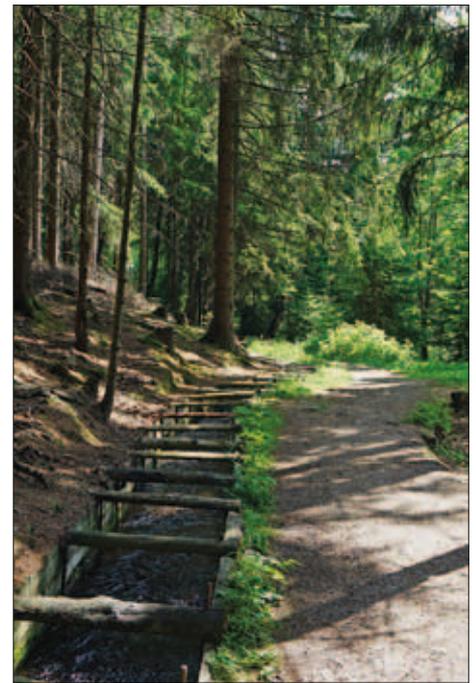
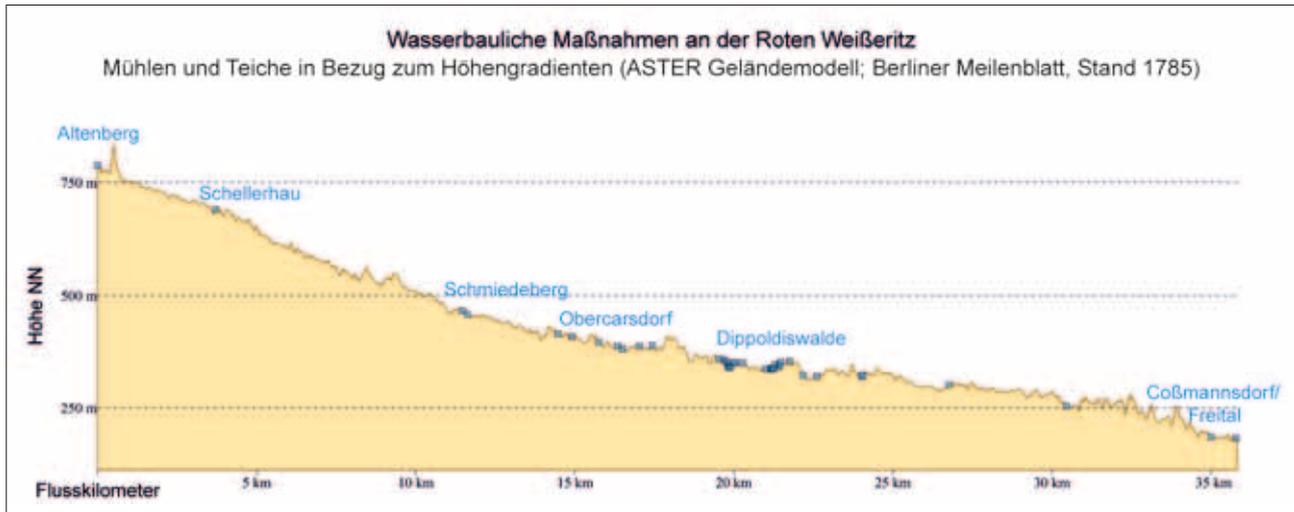


Abb. 20: Der Röhrgraben im Greifenbachtal ist einer der ältesten Kunstgräben im Erzgebirge und diente bereits um 1400 der Wasserversorgung des Ehrenfriedersdorfer Zinnbergbaus.

Abb. 19: Karte der Revierwasserlaufanstalt zur Versorgung des Freiburger Zentralreviers.

führende Stollen) und Kunstgräben belegt, das über eine Länge von rund 70 km insgesamt zehn Kunstteiche miteinander verbunden hat. Die als Revierwasserlaufanstalt bezeichneten Anlagen wurden sorgfältig gewartet, immer wieder umgebaut und erweitert, damit dem Freiburger Zentralrevier stets ausreichend Wasser bereitgestellt werden konnte.²⁹ Tatsächlich versorgt die Revierwasserlaufanstalt auch heute noch die Regionen Chemnitz, Dresden und Freiberg mit Brauch- und Trinkwasser (Abb. 19); seit Juli 2019 ist sie als technisches Denkmal Bestandteil des UNESCO-Weltkulturerbes Montanregion Erzgebirge. Montanhistorisch steht sie beispielhaft für den enormen Aufwand, mit dem solche künstlich geschaffenen Systeme betrieben wurden, damit die Freiburger Silberbergwerke weiter rentabel bleiben konnten. Teile der Revierwasserlaufanstalt sind oft auch in den historischen Kartenwerken wie den oben beschriebenen Meilenblättern verzeichnet, wobei die konkrete Funktion der Teiche und Kanäle unerwähnt bleibt. Auf Grundlage entsprechender Informationen aus dem Berliner Meilenblatt von 1785 ist es zumindest deskriptiv möglich, die künstlichen Gewässerformen entlang der Roten Weißeritz im Osterzgebirge darzustellen, um den Umfang der historischen Eingriffe des Menschen in das natürliche hydrologische System des Erzgebirges zu veranschaulichen (Abb. 21). Bei den festgestellten Teichen kann es sich sowohl um Anlagen einer bergbaulichen Wasserkunst als auch um Mühlenteiche handeln. Die Relikte der Wasserkunst lassen sich im Gelände (Abb. 20) und im digitalen Geländemodell beobachten.

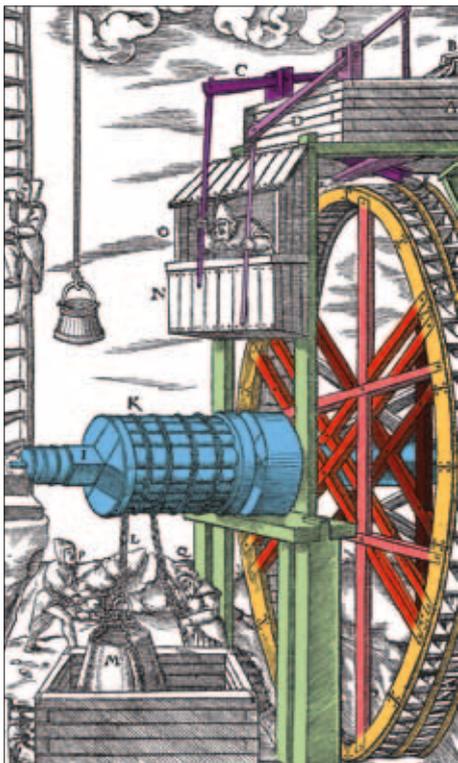
²⁹ Pforr 2007.



△ Abb. 21: Wasserbauliche Maßnahmen entlang der Roten Weißeritz gegen Ende des 18. Jahrhunderts.

▽ Abb. 22: Grundelemente eines Kehrrads aus der Zeit um 1556, farblich markiert (Holzschnitt, Georg Agricola). Blau: Welle; rot: Radstuhl aus Radarmen; gelb: Radkränze mit dazwischen angeordnetem, doppeltem Schaufelkranz; violett: Gerenne zur wechselnden Beaufschlagung; grün: Gerüst.

Das Kehrrad von Bad Schlema: die größte Maschine unter Tage



Seit September 2016 wird in Bad Schlema (Erzgebirgskreis) am Fuß der historischen Bergstadt Schneeberg ein mittels Aufschlagwasser angetriebenes Kunstrad montanarchäologisch untersucht. Im Zuge von Sicherungsarbeiten durch das Sächsische Oberbergamt stieß man bei einer Teufe von 10 m auf eine riesige verfüllte Radstube, die die gut erhaltenen Relikte eines Kehrrads enthielt, dessen Durchmesser etwa 11,2 m betrug. Bei einem Kehrrad handelt es sich um ein Wasserrad mit einem doppelten Schaufelkranz und entgegengesetzt wirksamer Beschauflung (Abb. 22). Abhängig von der Aufschlagrichtung des Wassers auf die jeweilige Beschauflung war das Heben oder Senken von sogenannten Bulgen (große lederne Fördersäcke) bis in größere Tiefen möglich, um die Grubenwasser auf höhergelegene Stollensohlen heben und ableiten zu können. Dendrochronologisch datiert das Kehrrad um 1500, was zeitlich mit der Erschließung der reichen Schneeberger Silbererzfunde ab 1470 korrespondiert, welche in der zweiten Bergbauperiode innerhalb kurzer Zeit einen regelrechten Silberausch im oberen Erzgebirge auslösten. Es handelt sich um den bislang ältesten physischen Beleg dieser Technologie im montanen Kontext. Eine der größten Herausforderungen der Montanarchäologen stellte die Bergung der 8 m langen und rund 4 t schweren Welle des Kehrrads dar, die nur durch die technisch-logistisch aufwendige Unterstützung der vor Ort tätigen Bergleute der Bergsicherung Schneeberg GmbH erfolgreich durchgeführt werden konnte. Die Welle ist aus einem vor rund 500 Jahren geschlagenen Eichenstamm hergestellt worden. Sie birgt damit ein rund 300 Jahre umfassendes Archiv von Informationen zur Klima- und Waldgeschichte des Erzgebirges, welche im Rahmen des laufenden ArchaeoForest-Projekts erfasst und ausgewertet werden sollen.³⁰

Resümee

Im Erzgebirge finden sich heute sowohl ober- als auch untertägig zahlreiche Hinweise auf anthropogene Landschaftseingriffe. Vor allem seit dem Beginn des mittelalterlichen Bergbaus lassen sich deutliche Veränderungen im Vegetationsspektrum wie auch in der Orographie der erzgebirgischen Landschaft nachweisen. Die hervorragenden Erhaltungsbedingungen der Holzfunde in den Bergwerken des 12. und 13. Jahrhunderts bieten beste Voraussetzungen, um als Klimaarchive und Zeugen der Landschaftsgeschichte ausgewertet zu werden. Doch auch die re-

30 Drechsler u. a. 2018.

zente Bewaldung hilft den Montanarchäologen, indem archäologische Fundstellen vor Erosion und Beackerung geschützt und somit erhalten bleiben und so für verschiedenste, auch landschaftsarchäologische Fragestellungen herangezogen werden können. Die digitalen Geländemodelle zeigen nicht nur Hinweise auf alten Bergbau, sondern weisen über die Standorte von Holzkohlemeilern auch auf historische Waldbewirtschaftung hin. Die Zusammensetzung des Waldbestands kann mithilfe der Analyse der anthrakologischen Spektren der Meiler ermittelt werden. Darüber hinaus bilden Geländemodelle und historische Kartenwerke die menschlichen Eingriffe in die Hydrologie des Erzgebirges ab, welche der Nutzbarmachung der Wasserkraft für den Bergbau wie auch für die Landwirtschaft gedient haben. Eine Synthese finden ober- und unterirdische landschaftsverändernde Eingriffe im Erzgebirge mit dem Betrieb gewaltiger Kehräder, die eine effektive Nutzung von Wasserkraft für den Bergbau ermöglichten.

Klaus Cappenberg M.A.
Dipl.-Arch. Matthias Schubert
Dr. Christiane Hemker
Landesamt für Archäologie Sachsen
Zur Wetterwarte 7, D-01109 Dresden
klaus.cappenberg@lfa.sachsen.de
matthias.schubert@lfa.sachsen.de
christiane.hemker@lfa.sachsen.de

- Agricola, Georg: De re metallica Libri XII. Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen. Reprint mit einem Vorwort von Conrad Matschoss von 1928 (unveränderter Nachdruck, Wiesbaden 2006).
- Aurig, Rainer/Herzog, Steffen/Lässig, Simone (Hrsg.): Landesgeschichte in Sachsen. Tradition und Innovation (Studien zur Regionalgeschichte 10). Dresden 1997.
- Bartels, Christoph/Bingener, Andreas/Slota, Rainer (Hrsg.) (2006a): Das Schwazer Bergbuch, 1: Der Bochumer Entwurf von 1554. Faksimile (Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum 142,1). Bochum 2006.
- Bartels, Christoph/Bingener, Andreas/Slota, Rainer (Hrsg.) (2006b): Das Schwazer Bergbuch, 3: Der Bergbau bei Schwaz in Tirol im mittleren 16. Jahrhundert (Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum 142,3). Bochum 2006.
- Bilz, Stefanie: Potenzialanalyse historischer Karten für die Rekonstruktion von Landschaftsentwicklung und für die Denkmalinventarisierung an ausgewählten Beispielen im Erzgebirge; in: Smolnik/Goryczková 2018, 95–110.
- Blaschke, Karlheinz: Geschichte Sachsens im Mittelalter. Berlin 1990.
- Derner, Kryštof/Lissek, Petr: Das mittelalterliche Bergbauwesen im tschechischen Erzgebirge; in: Smolnik/Goryczková 2018, 209–228.
- Drechsler, Georg/Albrecht-Kramer, Liane/Reuter, Thomas/Braun, Miriam/Hönig, Heide/Schröder, Frank: Ein Kehrrad aus der Zeit um 1500. Ein Vorbericht zu den Untersuchungen eines Bergwerkes in Bad Schlema, Erzgebirgskreis; in: Smolnik/Goryczková 2018, 311–334.
- Exner, Anke: Untersuchungen zur ersten sächsischen Landesaufnahme 1586 bis 1633/34. Vergleich der Vorarbeiten anhand von Bergbausignaturen mit den Karten von Öder und Zimmermann im Osterzgebirge; in: Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege 59/60 (in Vorbereitung).
- Gräßler, Ingolf: Pässe über das Erzgebirge. Paßwege und Paßstraßen zwischen Freiburger und Zwickauer Mulde im Mittelalter; in: Aurig/Herzog/Lässig 1997, 97–108.
- Hardin, Garrett: The Tragedy of the Commons; in: Science 162, Nr. 3859, 1968, 1243–1248.
- Hemker, Christiane: Archäologie in Dippoldiswalde; in: Smolnik 2011, 117–126.
- Hemker, Christiane: Montanarchäologie im Osterzgebirge; in: Smolnik 2015, 9–22.
- Hemker, Christiane/Hoffmann, Yves/Scholz, Volkmar: Der Silberbergbau der ersten Bergbauperiode in Dippoldiswalde/Sachsen; in: Acta rerum naturalium 12, 2012, 81–100.
- Hemker, Christiane/Schubert, Matthias: Silber aus dem Erzgebirge; in: Archäologie in Deutschland 2018, Heft 5, 8–13.
- Higounet, Charles: Die deutsche Ostsiedlung im Mittelalter. Berlin 1986.
- Kaiser, Knut/Hrubý, Petr/Tolksdorf, Johann Friedrich/Alper, Götz/Herbig, Christoph/Kočár, Petr/Petr, Libor/Schulz, Lars/Heinrich, Ingo: Cut and covered. Subfossil trees in buried soils reflect medieval forest composition and exploitation of the central European uplands; in: Geoarchaeology 35, 2019, Nr. 1, 42–62.
- Kenzler, Hauke: Die hoch- und spätmittelalterliche Besiedlung des Erzgebirges. Strategien zur Kolonisation eines landwirtschaftlichen Ungunstraumes (Bamberger Schriften zur Archäologie des Mittelalters und der Neuzeit 4). Bonn 2012.
- Kerig, Tim: Bergbau in der Steinzeit; in: Archäologie in Deutschland 2018, Heft 6, 20–23.
- Küster, Hansjörg: Geschichte der Landschaft in Mitteleuropa. Von der Eiszeit bis zur Gegenwart. München 1995.
- Pffor, Herbert: Das erzgebirgische Kunstgrabensystem und die Wasserkraftmaschinen für Wasserhaltung und Schachtförderung im historischen Freiburger Silberbergbau; in: Bergbau. Zeitschrift für Rohstoffgewinnung, Energie, Umwelt 11, 2007, 502–505.

Literatur

Raab, Thomas: Erfassung und Bewertung von Landschaftswandel in (prä-)historischen Montan- gebieten am Beispiel Ostbayerns (Regensburger Beiträge zur Bodenkunde, Landschaftsökologie und Quartärforschung 7). o. O. [Regensburg] 2005.

Schröder, Frank: Die montanarchäologischen Ausgrabungen in Niederpöbel (2011–2013). Befunde und Ergebnisse; in: Smolnik 2015, 23–165.

Schröder, Frank: Funde aus den mittelalterlichen Bergwerken von Niederpöbel (ArchaeoMontan 3; Veröffentlichungen des Landesamtes für Archäologie Sachsen 66). Dresden 2018.

Schubert, Matthias/Burghardt, Ivonne/Tolksdorf, Johann Friedrich/Schröder, Frank/Hönig, Heide/Křivánek, Roman: Eine neu entdeckte mittelalterliche Bergbausiedlung im „Vorderen Grünwald“ bei Schönfeld in der Kammlage des Osterzgebirges; in: Smolnik/Goryczková 2018, 175–196.

Schwabenicky, Wolfgang: Der mittelalterliche Silberbergbau im Erzgebirgsvorland und im westlichen Erzgebirge unter besonderer Berücksichtigung der Ausgrabungen in der wüsten Bergstadt Bleiberg bei Frankenberg. Chemnitz 2009.

Schweingruber, Fritz Hans: Der Jahrring. Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie. Bern/Stuttgart 1983 (Reprint 2012).

Smolnik, Regina (Hrsg.): Aufbruch unter Tage. Stand und Aufgaben der montanarchäologischen Forschung in Sachsen (Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege, Beiheft 22). Dresden 2011.

Smolnik, Regina (Hrsg.): ArchaeoMontan 2014. Ergebnisse und Perspektiven (Výsledky a výhledy) (Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege, Beiheft 29). Dresden 2014.

Smolnik, Regina (Hrsg.): ArchaeoMontan 2015. Montanarchäologie im Osterzgebirge (Montánní archaeologie ve východním Krušnohoří) (Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege, Beiheft 30). Dresden 2015.

Smolnik, Regina/Goryczková, Naděžda: ArchaeoMontan 2018. Das Erzgebirge im Fokus der Montanarchäologie (Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege, Beiheft 32). Dresden 2018.

Terberger, Thomas/Gronenborn, Detlef: Vom Jäger und Sammler zum Bauern. Die neolithische Revolution (Archäologie in Deutschland, Sonderheft 5). Darmstadt 2014.

Tolksdorf, Johann Friedrich: Mittelalterlicher Bergbau und Umwelt im Erzgebirge. Eine interdisziplinäre Untersuchung (ArchaeoMontan 4; Veröffentlichungen des Landesamtes für Archäologie Sachsen 67). Dresden 2018.

Tolksdorf, Johann Friedrich/Elburg, Rengert/Schröder, Frank/Knapp, Hannes/Herbig, Christoph/Westphal, Thorsten/Schneider, Birgit/Füllung, Alexander/Hemker, Christiane: Forest exploitation for charcoal production and timber since the 12th century in an intact medieval mining site in the Niederpöbel Valley (Erzgebirge, Eastern Germany); in: Journal of Archaeological Science, Reports 4, 2015, 487–500.

Tolksdorf, Johann Friedrich/Schröder Frank: Rekonstruktion von Holznutzung und Landschaftsgeschichte in einer mittelalterlichen Bergbaulandschaft bei Niederpöbel. Interdisziplinärer Ansatz und methodische Abwägungen; in: Ressourcen (Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Archäologie des Mittelalters und der Neuzeit 29). Paderborn 2016, 175–184.

Tolksdorf, Johann Friedrich/Kaiser, Knut/Petr, Libor/Kočár, Petr (2018a): Seifenbergbau; in: Tolksdorf 2018, 113–135.

Tolksdorf, Johann Friedrich/Petr, Libor/Kaiser, Knut/Kočár, Petr (2018b): Die Glasproduktion als konkurrierendes und komplementäres Gewerbe des Bergbaus; in: Tolksdorf 2018, 137–151.

Wagenbreth, Otfried/Wächtler, Eberhard (Hrsg.): Der Freiburger Bergbau. Technische Denkmale und Geschichte. Leipzig 1986.

Walter, Hans-Henning: Historische Produktionsverfahren für anorganische Salze; in: Mitteilungen der Gesellschaft deutscher Chemiker, Fachgruppe Geschichte der Chemie 10, 1994, 65–75.

Weiner, Jürgen/Schyle, Daniel: Geweihgezähe, Rillenschlägel, Duckelbau. Industrie der Jungsteinzeit; in: Archäologie in Deutschland 2018, Heft 6, 26–29.

Abbildungsnachweis

Abbildung 1, 8, 9 und 12: Datengrundlage Landesamt für Archäologie (LfA) Sachsen, Bearbeitung K. Cappenberg

Abbildung 2: Bartels/Bingener/Slotta 2006a, 162

Abbildung 3: Bartels/Bingener/Slotta 2006b, 925, ergänzt durch K. Cappenberg (LfA Sachsen)

Abbildung 4: Hemker/Hoffmann/Scholz 2012, Abb. 17 und 18, Bearbeitung Y. Hoffmann und M. Schubert (beide LfA Sachsen)

Abbildung 5: Datengrundlage Staatsbetrieb GeoSN, Bearbeitung K. Cappenberg (LfA Sachsen)

Abbildung 6 und 7: Bilz 2018, Abb. 9 und 10, Bearbeitung M. Schubert (LfA Sachsen)

Abbildung 10: nach Tolksdorf u. a. 2015, Abb. 1

Abbildung 11: nach Tolksdorf u. a. 2015, Abb. 8

Abbildung 13: nach Tolksdorf u. a. 2015, Abb. 6, Bearbeitung K. Cappenberg (LfA Sachsen)

Abbildung 14: nach Schröder 2018, Abb. 9

Abbildung 15 und 18: Datengrundlage Staatsbetrieb GeoSN, Bearbeitung M. Schubert (LfA Sachsen)

Abbildung 16: K. Cappenberg (LfA Sachsen)

Abbildung 17: nach Agricola 1928, 295, Bearbeitung M. Schubert (LfA Sachsen)

Abbildung 19: nach Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen, Die Revierwasserlaufanstalt Freiberg, Faltblatt, 2. Auflage, 2012, Bearbeitung M. Schubert (LfA Sachsen)

Abbildung 20: M. Schubert (LfA Sachsen)

Abbildung 21: K. Cappenberg (LfA Sachsen)

Abbildung 22: nach Drechsler u. a. 2018, Abb. 2