

Der Wald der Zukunft in der Vergangenheit verwurzelt Das ArchaeoForest-Projekt: Untersuchungen und Erkenntnisse zur historischen Vegetationsdynamik und Landschaftsnutzung im Osterzgebirge

Einleitung

Seit 2012 forscht die sächsische Montanarchäologie in den mittelalterlichen und frühneuzeitlichen Bergbauregionen des Erzgebirges und des Erzgebirgsvorlandes.¹ Die Untersuchungen konzentrieren sich dabei nicht nur auf Bergwerke² oder Bergbausiedlungen.³ Auch der Einfluss und die Auswirkungen des jahrhundertlang andauernden Bergbaus auf Menschen, Land-

schaft, Umwelt und Klima stehen im Fokus und werden mit unterschiedlichen archäologischen und naturwissenschaftlichen Methoden erforscht.⁴ Im Rahmen der beiden ArchaeoMontan-Projekte wurden seit 2014 die unter dem Begriff „Geomontanarchäologie“ subsummierten Methoden wie beispielsweise Palynologie, Makrobotanik, Dendrochronologie oder Anthrakologie auch im Hinblick auf deren Aussagewert und Nachweisbelastbarkeit erprobt (Abb. 1).⁵

Basierend auf dieser Grundlage wurde in den Jahren 2020 bis 2023 in einem Folgeprojekt mit dem Titel „ArchaeoForest – Mittelalterliche Waldzusammensetzung als Basis forstwirtschaftlicher Anpassungen an den Klimawandel“ gemeinsam mit zwei weiteren Partnerinstitutionen die Vegetationsgeschichte des Osterzgebirges (Abb. 2) intensiver erforscht.

Als eines der Ziele dieser interdisziplinären Zusammenarbeit des Landesamtes für Archäologie Sachsen mit dem Kompetenzzentrum Wald und Forstwirtschaft, Staatsbetrieb Sachsenforst (zuständig für die Entwicklung von Habitatmodellen für Baumarten und Anbauempfehlungen) und dem Institut für Botanik und Landschaftsökologie, Universität Greifswald (Arbeitsschwerpunkt Dendroklimateologie und historische Waldökologie), sollten Empfehlungen für eine Anpassung der Baumartenzusammensetzung im Mittelgebirgsraum angesichts der Auswirkungen des Klimawandels für die künftige Waldbewirtschaftung herausgearbeitet werden. Das Landesamt für Archäologie Sachsen, Fachbereich Montanarchäologie, war dabei u. a. für die Bergung, Bewertung und Archivierung von (montan-)archäologischem Holz zuständig.

Auch sollten im ArchaeoForest-Projekt neue und weiterführende Erkenntnisse zum Anpassungspotenzial des herzynischen, also des mittelgebirgischen Bergmischwaldes im Erzgebirge an heutige Klimaveränderungen gewonnen werden. Denn vor allem die Verbesserung der Resilienz von Kulturwäldern gegenüber episodischen Störungen durch die Zunahme extremer Witterungen (wie Sturm, Dürre, Starkregen etc.) steht heute aufgrund der Auswirkungen des Klimawandels zunehmend im Vordergrund entsprechender Untersuchungen. Daher ist es wichtig, weitere Daten sowohl zur aktuellen als auch zur früheren natürlichen Vegetation auf lokaler und regionaler Ebene zu evaluieren, um auf dieser Basis die Strategien und Leitbilder der Waldentwicklung entsprechend anzupassen. ArchaeoForest lieferte dazu mit

The ArchaeoForest project: Investigations and findings on historical vegetation dynamics and landscape utilisation in the Eastern Ore Mountains

Since 2012, Saxon mining archaeology has been conducting research in the historic mining regions of the Ore Mountains. Also aspects like the influence and effects of centuries of mining on people, landscape, environment and climate have been researched by testing and developing methods such as palynology, macrobotany, dendrochronology or anthracology in case studies carried out in the Eastern Ore Mountains. To intensify the research on the vegetation history of the Eastern Ore Mountains, the State Office of Archaeology, Saxony started in 2020 a project entitled: 'ArchaeoForest - Medieval forest composition as a basis for forestry adaptation to climate change'. The project objectives were to develop recommendations for adapting the composition of tree species and their effects of climate change on future forest management, and second to gain new and further insights into the resilience capacity of the Hercynian, i.e. the mid-mountain mixed forest in the Ore Mountains, to today's climate changes (i.e. extreme weather conditions). Therefore new and further data on both current and past natural vegetation at local and regional level in order to adapt forest development strategies and models accordingly were researched.

The ArchaeoForest-Project provided a broad-based and thus valid contribution by collecting and analysing archaeological finds from mines, charcoal kilns and pollen data, in order to supplement and improve existing climate and vegetation reconstruction models.

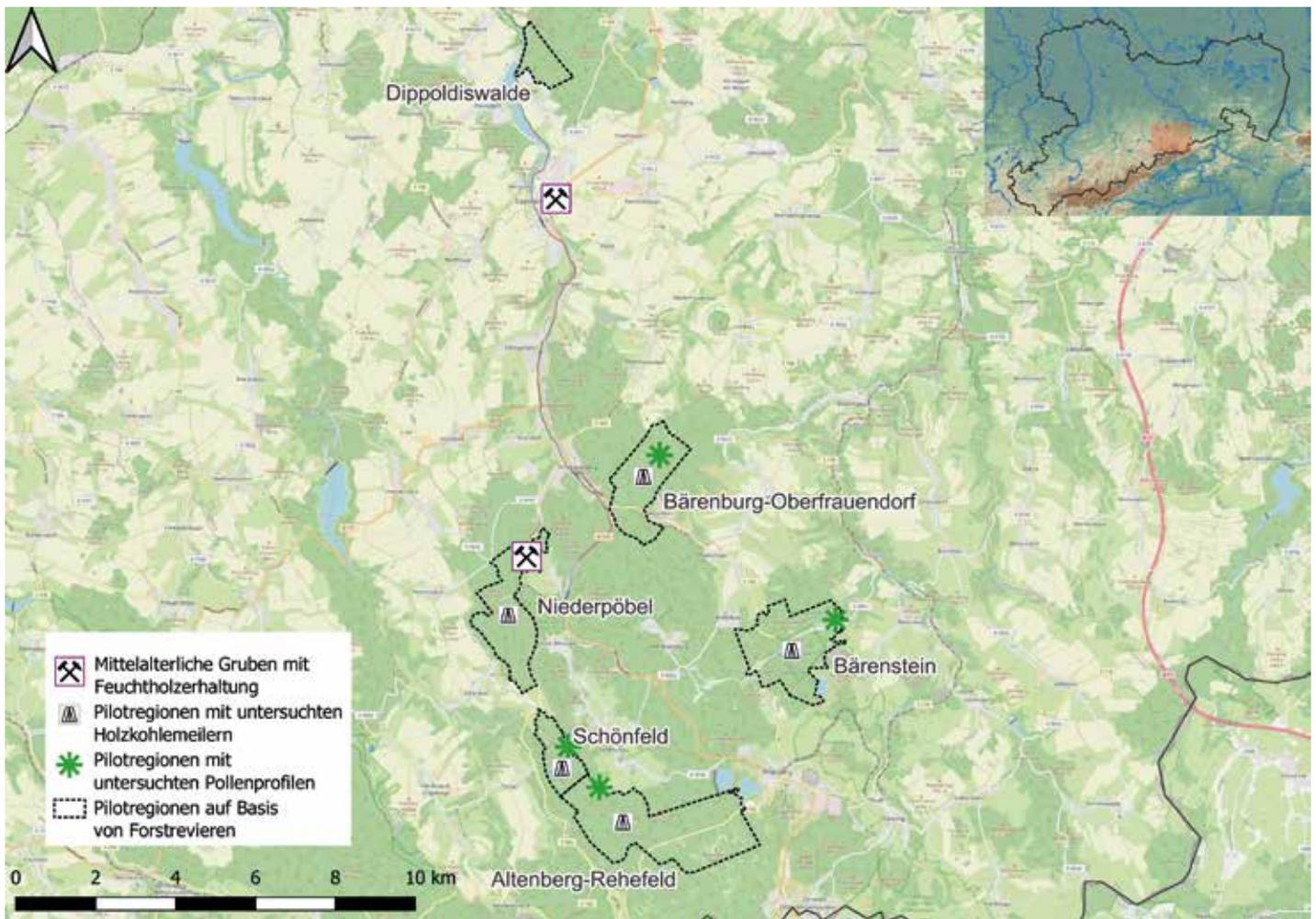


Abb. 1: Karte der Pilotregionen des ArchaeoForest-Projektes nach Forstrevieren und untersuchten Quellengattungen. (© Kartengrundlage Anke Exner, Staatsbetrieb Sachsenforst, bearbeitet von Klaus Cappenberg, Landesamt für Archäologie Sachsen)



Abb. 2: Das Pöbelbachtal bei Oberpöbel, Lkr. Sächsische Schweiz-Osterzgebirge, im Fokus landschaftsarchäologischer Untersuchungen in einer Schrägluftbildaufnahme. (© Klaus Cappenberg, Landesamt für Archäologie Sachsen)

der Sicherung und Erschließung von archäologischen Fundhöhlen aus Bergwerken und Holzkohlemeilern und ergänzt durch Pollendaten einen breit aufgestellten und damit validen Beitrag, um bestehende Klima- und Vegetationsrekonstruktionsmodelle zu ergänzen und zu verbessern. Gefördert wurde das Projekt durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., auf Basis des von den Bundesministerien für Ernährung und Landwirt-

schaft sowie Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz getragenen nationalen Waldklimafonds.⁶

Das Untersuchungsgebiet und seine Pilotregionen

Zur Erfassung von Klima- und Standortvariabilität der zu erwartenden archäologischen Vegetationsdaten wurden auf der Grundlage bereits bekannter archäologischer Fundstellen gemeinsam mit dem Projektpartner Sachsenforst sechs Pilotregionen im Osterzgebirge ausgewählt, die sich entlang eines der Nordabdachung des Erzgebirges folgenden Höhengradienten reihten (vgl. Abb. 1, 27; alle Höhen beziehen sich im Folgenden auf das Höhenbezugssystem DHHN 2016.). Im Vordergrund standen dabei bekannte bzw. aussichtsreiche Archive für archäologische Feuchthölzer als lokales Abbild des Baumbestandes, Holzkohlen aus Holzkohlemeilern als dessen ultralokales Abbild⁷ sowie Pollendaten als regionales Abbild der Vegetation allgemein. So fanden Gebiete um die bereits bekannten mittelalterlichen Gruben von Dippoldiswalde und Niederpöbel aufgrund ihrer Feuchtholzfunde (Abb. 3) ebenfalls Eingang in die projektierten Untersuchungsregionen, ergänzt um rezent bewaldete Regionen im Forstbezirk Bärenfels mit den Revieren Bärenfels, Rehefeld, Schellerhau und Hirschsprung, alle Lkr. Sächsische Schweiz-Osterzgebirge. Für diese Reviere war aufgrund



Abb. 3: Blick in einen Stollen des 12./13. Jahrhunderts in den Silberbergwerken von Dippoldiswalde, Lkr. Sächsische Schweiz-Osterzgebirge, mit hölzernem Sicherungsausbau (Firstverzug). Die meist gut erhaltenen Fundhölzer sind eine der wichtigsten Quellen für dendrologische und chronologische sowie weitere naturwissenschaftliche Untersuchungen. (© Grundlagen Matthias Schubert, Heide Hönig, Frank Schröder, alle Landesamt für Archäologie Sachsen)

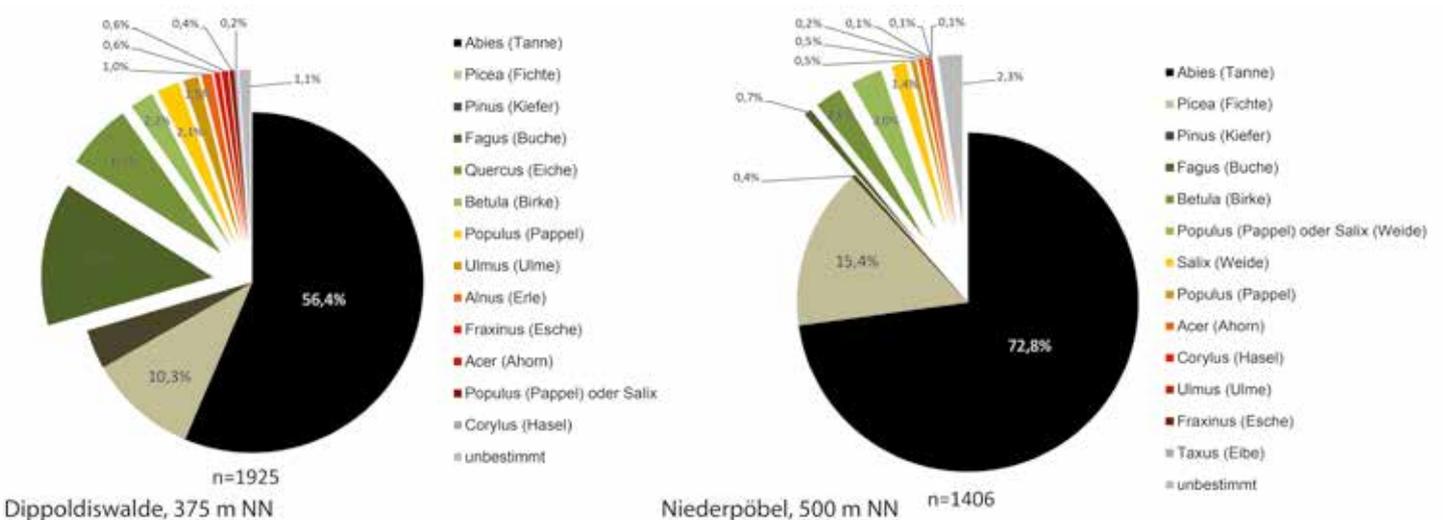


Abb. 4: Anteil der dendrologisch festgestellten Baumarten der Bergwerkshölzer des 12./13. Jahrhunderts aus Dippoldiswalde und Niederpöbel. (© Grundlagen Frank Schröder und Heide Hönig, bearbeitet von Klaus Cappenberg, alle Landesamt für Archäologie Sachsen)

der denkmalerhaltenden Funktion des Waldes und vorbereiten der Arbeiten a priori von alten Meilerplätzen⁸ auszugehen. Auch wiesen die Voruntersuchungen bereits auf das anthrakologische und palynologische Potenzial der Region hin.⁹ Zudem stand in den Pilotregionen Dippoldiswalde und Niederpöbel bereits ein umfangreicher Bestand an dendrochronologisch bestimmten Grubenhölzern zur Verfügung (Abb. 4; vgl. auch Abb. 8-9).

Bis auf Dippoldiswalde wurden in den übrigen fünf Regionen historische Holzkohlemeilerplattformen zur Erfassung der verkohlten Holzarten beprobt. Zur Verifizierung der Fundstellen im stark überprägten und meist bewaldeten Arbeitsgebiet erfolgten Geländebegehungen, um mitunter im LiDAR-Bild ähnlich wirkende Bergbaurelikte – wie beispielsweise Pingens oder Halden – von vornherein auszuschließen.

So konnten in den Pilotregionen 152 Meilerplätze über die Geländebegehung verifiziert werden, von denen sich 104 Meiler für eine Beprobung von Holzkohle und zur anthrakologischen Bestimmung der Baumarten eigneten. Davon konnten 52 Anlagen einschließlich auch mehrphasiger Verkohlungsereignisse in

einem Meiler mithilfe der ¹⁴C-Methode und teilweise in Kombination mit der dendrochronologischen und/oder der chronologisch/typologischen Einordnung der vergesellschafteten Keramik datiert werden. Die Datierungen decken dabei einen Zeitraum vom 13. und bis zum 20. Jahrhundert ab. Die Gesamtsumme aller anthrakologisch untersuchten Holzkohlefragmente betrug 5.810 Teile, aus denen insgesamt 11 Baumarten ausgelesen werden konnten (Abb. 5).

In den Regionen Bärenburg/Oberfrauendorf, Schönfeld, Altenberg-Rehefeld und Bärenstein wurden an jeweils zwei vielversprechenden Profilen Beprobungen für palynologische Untersuchungen durchgeführt. Aus den daraus gewonnenen 260 Pollenproben wurden 124 Proben für die weitere Analyse sowie zur Materialgewinnung für ¹⁴C-Datierungen extrahiert.

Aus den Bergwerken von Dippoldiswalde¹⁰ und Niederpöbel¹¹ liegt mit insgesamt über 3.400 dendrologisch/dendrochronologisch bestimmten Holzfunden aus dem 12./13. Jahrhundert eine außergewöhnlich breite und belastbare Datenbasis vor, die sowohl für Untersuchungen als auch für vergleichende Fragestellungen im ArchaeoForest-Projekt herangezogen wurden (Abb. 4).¹²

Datengrundlagen und Quellen

Zunächst jedoch sollen die im ArchaeoForest-Projekt angewendeten Quellen und Methoden (Abb. 6) vorgestellt werden. Eine Rekonstruktion von Wäldern im Zeitraum der einsetzenden Besiedlung und Bewirtschaftung während des Hoch- und Spätmittelalters im Zusammenhang mit der sogenannten hochmittelalterlichen Klima-anomalie hilft, menschliche und klimatische Einflussfaktoren zu trennen und damit Rückschlüsse für eine zukünftige, an den fortschreitenden Klimawandel adaptierte forstliche Bewirtschaftung zu liefern. Dabei bilden auch archäologische Holzfunde aus den mittelalterlichen Bergwerken und Holzkohlemeilern des Erzgebirges einen wichtigen Baustein.

Mithilfe dendrologischer, anthrakologischer und palynologischer Quellen ist eine Rekonstruktion der klimatischen Verhältnisse, der Waldzusammensetzung sowie der Auswirkung von Extremereignissen auch über einen längeren Zeitraum möglich. Die Anpassung von Bäumen und Wäldern an den Klimawandel basiert auf zwei biologischen Prinzipien, die im Zuge des Wech-

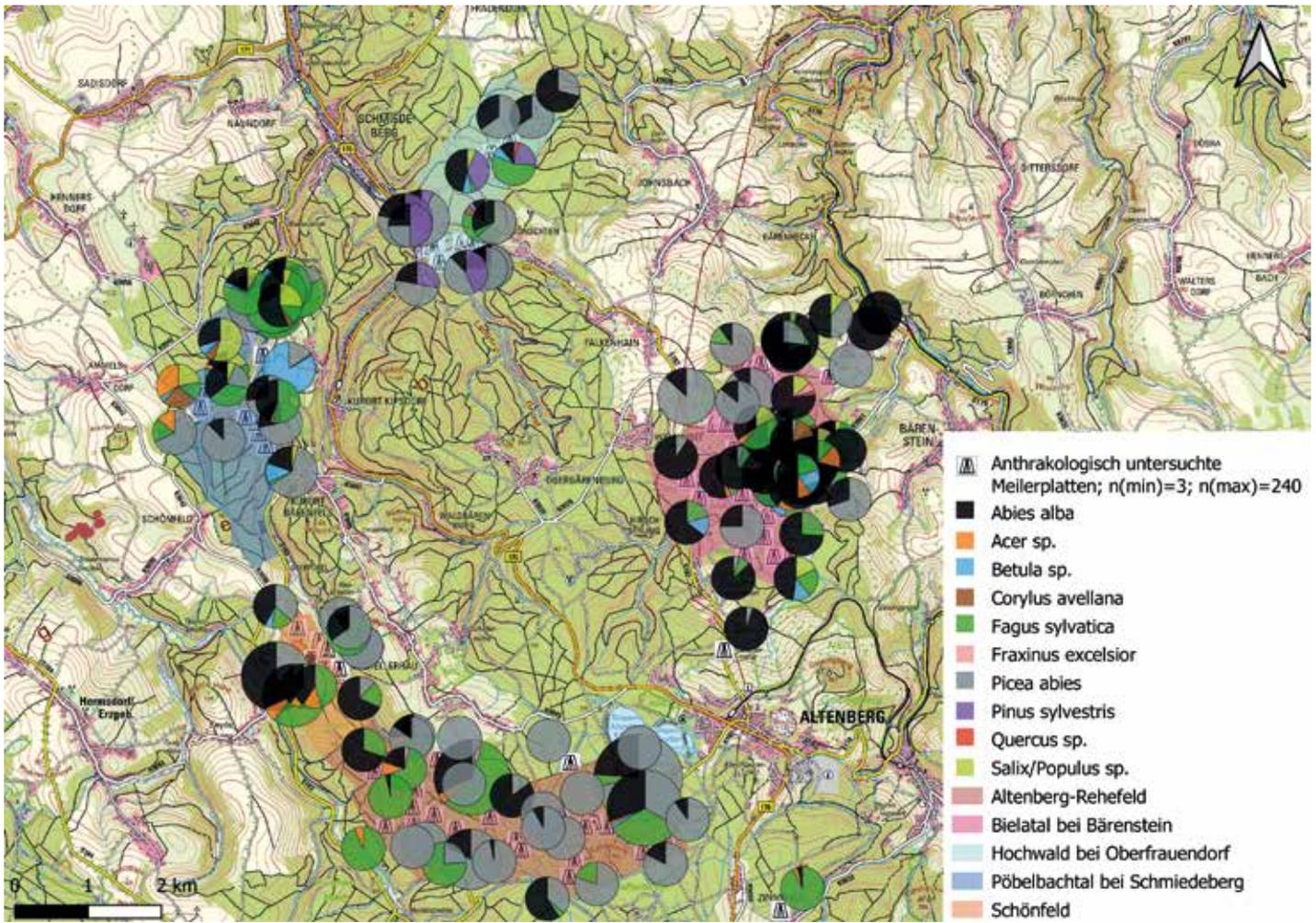


Abb. 5: Kartierung der in den Pilotregionen untersuchten historischen Holzkohlemeiler mit den jeweiligen Baumartenanteilen. (© Klaus Cappenberg, Landesamt für Archäologie Sachsen)



Abb. 6: Grafische Darstellung des Erkundungs-, Verifizierungs- und Beprobungsprozesses im Projektverlauf. (© Klaus Cappenberg, Landesamt für Archäologie Sachsen)

sels von Baumgenerationen zum Tragen kommen: Sukzession und Evolution, also das Einwandern und Aufwachsen besser angepasster Baumarten und die Auslese besser angepasster Individuen innerhalb der Baumpopulation. Archäobotanische Untersuchungen auf der Grundlage dieses Prinzips ermöglichen es, Fragen zur Resistenz und Resilienz heimischer Baumarten zu be-

antworten. Dies erleichtert den Aufbau standortgerechter Wälder, die auch unter den sich ändernden klimatischen Bedingungen zukunfts- und leistungsfähig sind.

Die bis in das 9. Jahrhundert zurückreichenden Jahrringsequenzen der montanarchäologischen Holzfunde u. a. aus Dippoldswalde und aus Niederpöbel (Abb. 8-9)¹³ unterliegen aufgrund der zu diesem Zeitpunkt einsetzenden Auf siedlungsprozesse nicht nur einer anthropogenen Beeinflussung, sondern decken mit Bezug auf die globale Klimaphase des mittelalterlichen Klimaoptimums¹⁴ und der nachfolgenden „Kleinen Eiszeit“ einen wichtigen Zeitraum für das Verständnis von Klimavariabilitäten ab. Die mittelalterliche Klima-anomalie mit ihren in Mitteleuropa im Vergleich zum 20. Jahrhundert teils höheren Jahresmitteltemperaturren stellt damit eine sinnvolle Vergleichsperiode für prognostizierte Veränderungen angesichts des heutigen Klimawandels dar.

Die montanarchäologischen Hölzer aus den Bergwerken des 12./13. Jahrhunderts stellen eine der wichtigsten Quellen zur Rekonstruktion eines lokalen Abbildes der umgebenden Vegetation dar. Seit dem Beginn des Bergbaus in Sachsen im 12. Jahrhundert war im Rahmen des sogenannten *Ersten Berggeschreys* im Erzgebirge aufgrund von umfangreichen Silbererzfunden¹⁵ die Bereitstellung von Holz als Energieträger und Baumaterial unter Tage von größter Bedeutung. Durch ihre Lagerung im feuchten Milieu und in den Verfüllmassen der über 800 Jahre alten



Abb. 7: Im Vorfeld der Erkundung werden historische und bereits georeferenzierte Karten wie hier ein Ausschnitt der Region Niederpöbel aus dem sog. Ur-Oeder um 1600 und dem Sächsischen Meilenblatt zur Kartierung und zur zeitlichen Einordnung von Bergbaurelikten untersucht. Während das im Text erwähnte Pochwerk auf dem Ur-Oeder verzeichnet wird, fehlt es 200 Jahre später auf dem Meilenblatt. (© Kartengrundlage Anke Exner, Staatsbetrieb Sachsenforst)

Bergwerke haben sich dort die montanarchäologischen Hölzer in hervorragendem Zustand erhalten (Abb. 3).¹⁶ Im Gegensatz zu anderen Altbergbaus Spuren in deutschen Mittelgebirgsregionen,¹⁷ die während jüngerer Bergbauperioden immer wieder Ziel von überprägenden Erkundungen gewesen sind, wurden die beiden untersuchten mittelalterlichen Bergwerke im Osterzgebirge im Laufe der Zeit vergessen und sind damit nicht überprägt worden. Sie erlauben nicht nur archäologisch eine Rekonstruktion des Originalzustandes sowie des Bergwerksbetriebes, sondern bieten großes Potenzial für weitere Untersuchungs- und Analyseoptionen. Von grundlegender Bedeutung für das Projekt ArchaeoForest waren dabei die aus den Fundhölzern gewonnenen Holzproben für die dendrochronologische Analyse. Mit über 1900 beprobten Hölzern, dem darüber dendrochronologisch klar einzugrenzenden Zeitraum zwischen dem letzten Viertel des 12. Jahrhunderts und dem letzten Viertel des 13. Jahrhunderts sowie dem breiten Spektrum der verwendeten Holzarten stellen die Daten aus Dippoldiswalde auch im europäischen Kontext ein bislang einmaliges Archiv zur Rekonstruktion des lokalen mittelalterlichen Waldbildes dar (siehe oben Abb. 4).

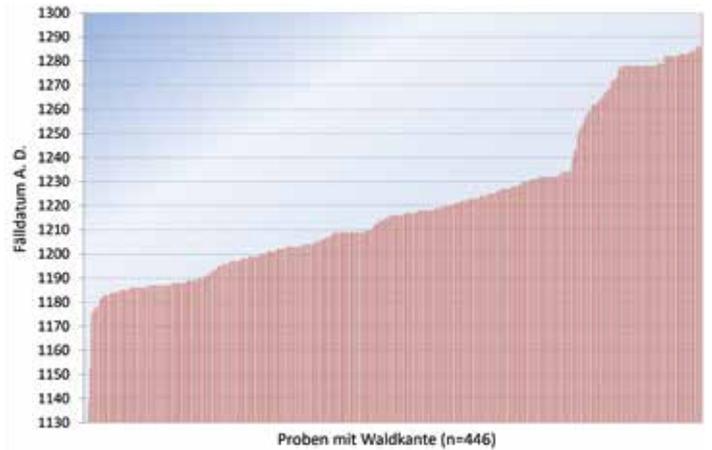


Abb. 8: Mit bislang 446 Fälldaten mit Waldkante aus den Bergwerken von Dippoldiswalde verfügt die sächsische Montanarchäologie über die größte Datenbasis datierter Feuchtholzfunde innerhalb eines Zeitraumes von 100 Jahren. (© Yves Hoffman, Landesamt für Archäologie Sachsen)

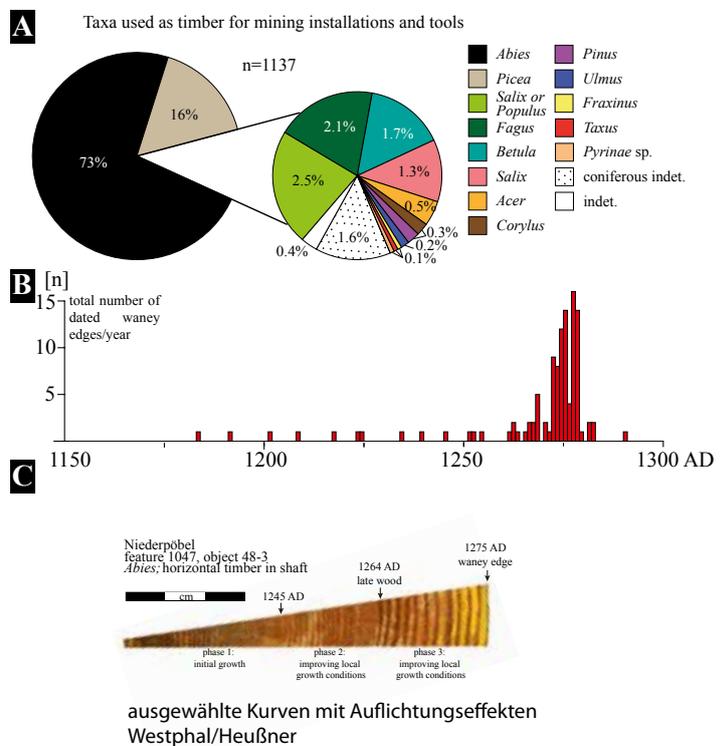


Abb. 9: Verteilung der Baumartenspektren aus den mittelalterlichen Gruben von Niederpöbel, Lkr. Sächsische Schweiz-Osterzgebirge (NPB-02; A), und Verteilung der dendrochronologisch bestimmten Fälldaten der untertägigen Funde (B). Exemplarische Verteilung der Jahrringbreiten eines Holzfundes aus Niederpöbel (C). (© Johann Friedrich Tolksdorf (Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege))

Das Einbringen des Holzes in die Bergwerke ergibt sich dabei aus dem Freiburger Bergrecht: „[...] Unde was holczes uff der zeeche stet, daz yn daz erbe adyr zcu dem gemessyn berge horet, daz mogen dy gewerkyn myt rechte wol houwen, sy wolden den yz lazen von wyllen durch bescheydenheit.“¹⁸ („Und was an Holz auf der Zeche steht, das in das Erbe oder zu dem gemessenen Berg gehört, das dürfen die Gewerken mit Recht ohne Zweifel hauen, es sei denn, sie wollten es willentlich lassen aus Bescheidenheit.“)¹⁹ Die montan-

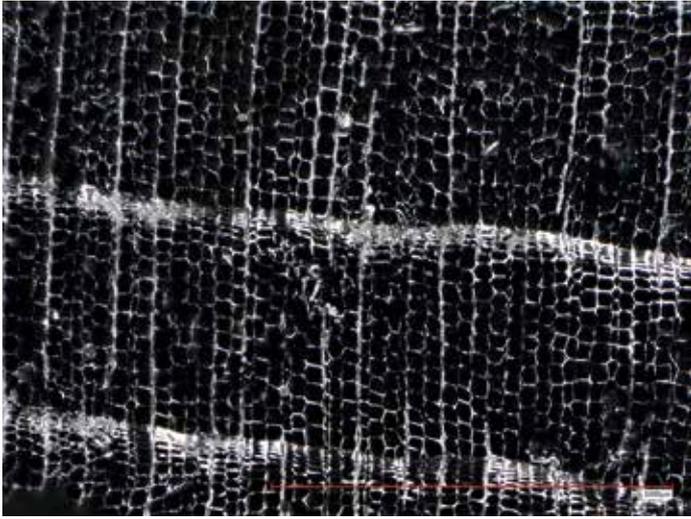
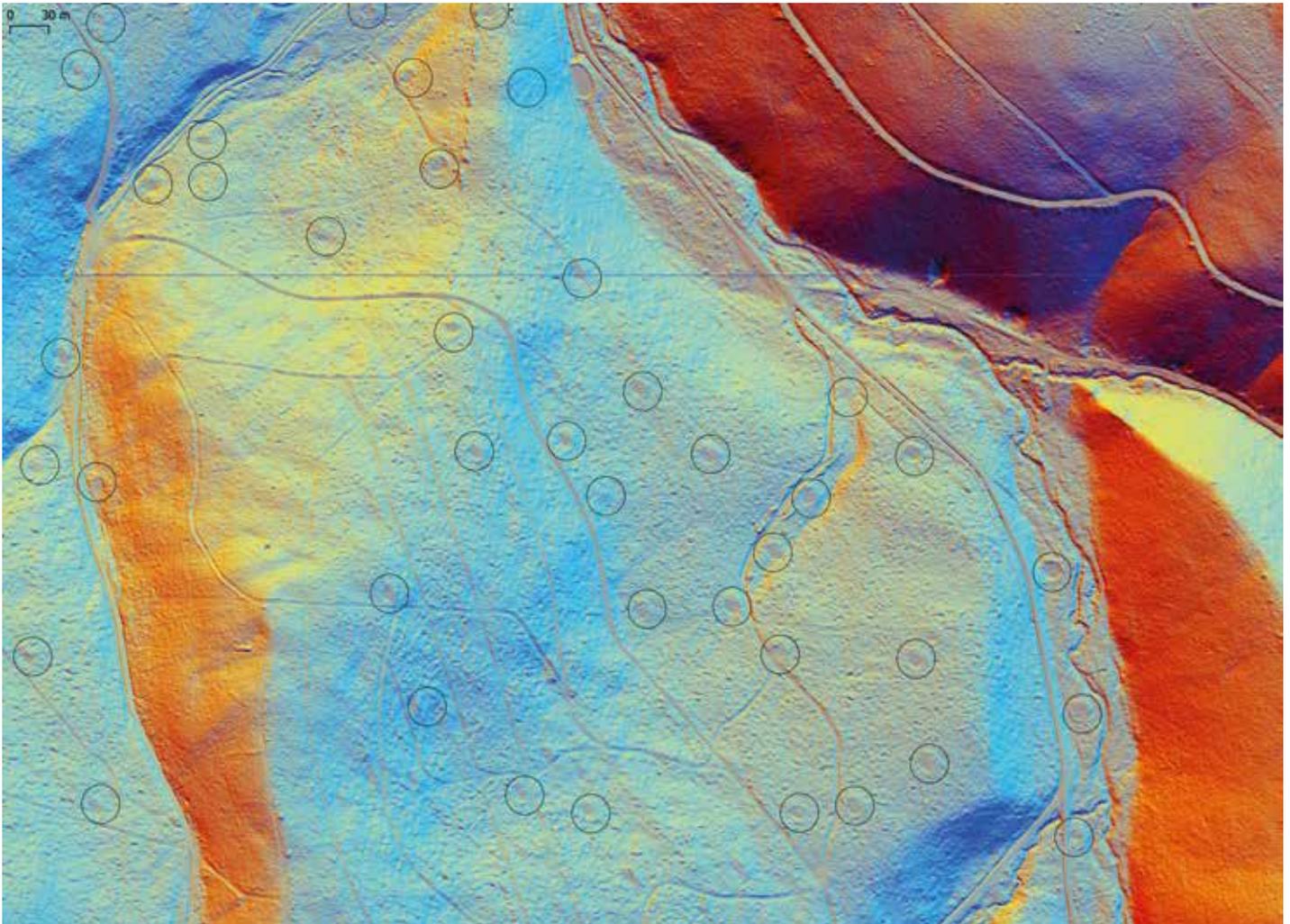


Abb. 10: Anthrakologisches Verfahren zur Bestimmung der Baumart. Mikroskopische Aufnahme des Querschnitts des Holzkohlenfragments einer Weißtanne (*Abies alba*, 200x Vergrößerung). (© Grit Neubauer, Technische Universität Dresden)

archäologischen sowie neuere dendrologische Untersuchungen haben ergeben, dass zumeist keine selektive Auswahl der Bergbauhölzer vorgenommen wurde.²⁰ Die Bergbauhölzer sind damit repräsentativ für eine Waldbildrekonstruktion in der Umgebung der Bergwerke.

Wesentlich kleinteiliger können historische Meilerplätze ein ultralokales Abbild der umgebenden Vegetation bieten, denn die Holzkohlefunde aus den Meilerplätzen lassen eine räumlich enger zu fassende Standortzuweisung zu. Dort ist davon auszugehen, dass das zu verköhlende Holz aus dem näheren Umfeld des Meilerplatzes stammt.²¹ Dank der ausgezeichneten LiDAR-Daten²² in Sachsen, die das Landesamt für Geobasisinformation Sachsen unentgeltlich zur Verfügung stellt, sind die Meilerplätze an den bewaldeten Hängen des Osterzgebirges gut detektierbar (Abb. 11). Systematische Auswertungen dieser Daten im Rahmen der ArchaeoMontan-Projekte haben in den letzten Jahren für das Osterzgebirge bereits zu einer großen Zahl potenzieller Meilerstandorte geführt.²³ Sie stellen daher bereits eine solide Basis für die im ArchaeoForest-Projekt durchgeführten gezielten Feldbegehungen und ¹⁴C-Datierungen verkohlter Holzreste dar.²⁴

Abb. 11: Die fernerkundliche Meilerdetektion erfolgt u. a. auf Basis von LiDAR-Daten (Light Detecting and Ranging), die im Digitalen Geländemodell (DGM) mit einer Auflösung von 1 m und sehr flach einfallendem Sonnenstand bei gleichzeitiger Beleuchtung aus mehreren Richtungen am Beispiel zahlreicher Meilerplätze in der Flur „Kohlgehau“ in der Pilotregion Bärenburg/Oberfrauendorf sehr gut auszumachen sind. Die Bildbreite beträgt 1 km. (© Frank Schröder, Landesamt für Archäologie Sachsen)



Auch die historische Kartografie wird neben der Indizierung anthropogen bedingter Landschaftsveränderungen zur zeitlichen und räumlichen Einordnung von Meilerplätzen herangezogen. Maßstäblich erst ab Mitte des 16. Jahrhunderts mit der „Ersten Kursächsischen Landesaufnahme“ durch Johannes Humelius und Matthias Oeder vorliegend, diente dieser sogenannte Ur-Oeder vorrangig der Erfassung der kurfürstlichen Wälder, enthält aber auch Kartierungen von Dörfern, Siedlungen sowie von Bergbaustrukturen oder auch Holzkohlemeilern. Flächendeckend wurden diese Arbeiten erst etwa 200 Jahre später mit den sogenannten Sächsischen Meilenblättern fortgeführt. Deren detaillierte Darstellung ist eine weitere hervorragende Quelle zur Nutzung der Landschaft zwischen 1780 und 1825. Verschneidet man die mittlerweile georeferenzierten Ur-Oeder und Meilenblätter mit den vorhandenen LiDAR-Daten, lassen sich häufig Landschaftsveränderungen feststellen und damit auch Meilerplätze zeitlich und räumlich besser zuordnen (Abb. 7).²⁵

Historische Aufzeichnungen zu klimatischen Verhältnissen und Waldgeschichte in Mitteleuropa reichen – im Gegensatz zu den oben genannten montanarchäologischen Holzfunden – trotz hoher Datendichte meist nur bis in das 19. Jahrhundert zurück. Nur vereinzelt liegen auch Daten für den Zeitraum bis um 1600 vor. An der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Technischen Universität Dresden in Tharandt entwarf der Forstwissenschaftler Erwin Kienitz zwischen 1931 und 1936 anhand historischer Schriftquellen in den Forstrevierstandorten für verschiedene Waldgebiete des sächsischen Staatswaldes ein räumliches Abbild der Veränderungen der Baumartenstruktur von der Mitte des 16. Jahrhunderts bis zu den Forsteinrichtungen des 20. Jahrhunderts.²⁶

Eine weitere mögliche Quelle stellen Konstruktionshölzer aus baudenkmalpflegerischen Kontexten dar. Für die hier verfolgten Fragestellungen, z. B. nach der Waldzusammensetzung vor bzw. um den eintretenden hochmittelalterlichen Landesausbau im 12. Jahrhundert, eignen sich diese jedoch nicht. Einerseits haben Auswertungen derartiger Befunde aus historischen Gebäuden in der sächsischen Bergstadt Freiberg gezeigt,²⁷ dass diese Hölzer meist in das 16. Jahrhundert datieren und damit zu jung sind.²⁸ Andererseits bleibt auch die Herkunft dieser in der Regel über den Handel bezogenen Bauhölzer oftmals ungeklärt, sodass sie nicht mit abschließender Sicherheit dem Standort Erzgebirge zugeordnet werden können.

Angewendete Methoden und Analyseverfahren

Insbesondere für die Dendroklimatologie, also die Untersuchungen von Jahrringbreite, Spätholzdicke und Isotopie, ist archäologisches Holz von großem Wert. Die für ArchaeoForest herangezogenen Hölzer wurden zumeist im Rahmen archäologischer Untersuchungen geborgen und eröffnen durch die Auswertung der Holzanatomie und des charakteristischen Jahrringmusters nicht nur die Bestimmung der Holzart, sondern auch eine jahrgenaue Datierung. Grundlage dieses Datierungsverfahrens ist die klimatische Abhängigkeit des Wuchsverhaltens, die zugleich die Breite des Jahrringes bestimmt. Durch den statistischen Abgleich einer Sequenz unterschiedlich breiter Jahrringe mit einer existierenden Standardchronologie kann somit eine dendrochronologische Datierung erfolgen (Abb. 8).

Diese Jahrringsequenzen können zudem als indirekter Anzeiger zur Beurteilung unterschiedlicher Wuchsverhältnisse so-

wie extremer Witterungsverläufe während der mittelalterlichen Klima-anomalie herangezogen werden. Aufgrund der Durchschnittstemperaturen wird dieser Zeitraum als historische Analogie zukünftiger Klimabedingungen angesehen. Jahre mit besonders schlechten klimatischen Wuchsbedingungen sind in der Häufung besonders enger Wuchsringe erkennbar. Ein weiterer Aspekt ist die Dichte des Spätholzes, die nach bisherigen Erkenntnissen in einem hohen Maß mit den Temperaturen der Monate Juli bis August korreliert.²⁹

Die Analyse der Jahrringeigenschaften kann dazu dienen, ein atypisches Wachstumsverhalten zu erkennen, das auf eine Veränderung der standörtlichen Bedingungen hinweist. Beispielhaft ist die Wachstumszunahme der überlebenden Bäume nach der Entfernung von Wuchskonkurrenten durch Windbrüche oder durch Faktoren wie Extremwitterungen oder Schädlingsbefall zu nennen (Abb. 9).

Anthrakologische und palynologische Untersuchungen bergen großes Potenzial für die Bestimmung einer regionalen Vegetationsentwicklung. Die Anthrakologie dient grundsätzlich der Baumartbestimmung verkohlter Holzstücke aufgrund der mikroskopisch erkennbaren signifikanten anatomischen Merkmale (Abb. 10). Auch können im Rahmen der Analyse möglichst vieler Holzkohlefragmente die Durchschnittswerte der Jahrringbreiten oder auch anatomische Auffälligkeiten detektiert werden. Die Holzkohle wird dabei zumeist aus historischen Meilerplätzen geborgen. Die Anthrakologie dient somit der Beschreibung der Vegetationszusammensetzung und daraus folgend der Ökologie und des Klimas in einer bestimmten Periode.³⁰ Die Holzkohlefragmente haben dabei eine ultralokale bis lokale Reichweite, die vom archäologischen Befund abhängig ist, aus dem sie stammen. Pollenkundliche Analysen dienen der Beschreibung der Vegetationszusammensetzung aufgrund pollenemittierender Pflanzen (siehe unten, vgl. Abb. 16, 23, 24, 26). Sie können somit die anthrakologischen Analysen durch die Nachweisbarkeit von (unverholzten) Kräutern und Gräsern ergänzen. Das Vegetationsumfeld ist dabei aufgrund der weiterreichenden Transportmöglichkeiten von Pollen – u. a. durch Wind – eher regional und kann daher nicht nur die direkte Umgebung der Pollenfunde abbilden.³¹

Die in ArchaeoForest untersuchten archäologischen Holzkohle- und Pollenfunde deckten insgesamt den Zeitraum von der sogenannten „Mittelalterlichen Klima-anomalie“ des 10. bis 14. Jahrhunderts bis in die sogenannte „Kleine Eiszeit“, etwa 15. bis 19. Jahrhundert, ab. Sie sind daher als indirekte Nachweise für die Modellierungen von Vegetationsdynamiken und Klimaveränderungen herangezogen worden.

Sowohl die Meilerplätze als auch die Pollenarchive wurden mithilfe digitaler Geländemodelle (DGM) und daraus abgeleiteten Visualisierungen fernerkundlich kartiert.³² Diese Modelle stellen Faktoren wie Schattierungen, Hohlformen oder Abweichungen von generalisierten orografischen Formen dar, sodass archäologische Befunde wie Meilerplätze sich sehr gut sichtbar machen lassen (Abb. 11). Gemeinsam mit Sachsenforst wurde auf Basis ökologischer Überlegungen, beispielsweise Höhenlage, Sonneneinstrahlungsrichtung oder geologischer Untergrund, vor Ort eine Auswahl getroffen. Die potenziellen Holzkohlemeilerplattformen wurden dazu in QGIS erfasst³³ und auf ein mobiles Tablet in Qfield³⁴ übertragen³⁵, um die Fundstellen gezielt anlaufen und beproben zu können (Abb. 12).

Um ein Beprobungsdesign für die räumlich ausgedehnte Beprobung von Meilerplattformen in den Pilotregionen zu entwi-

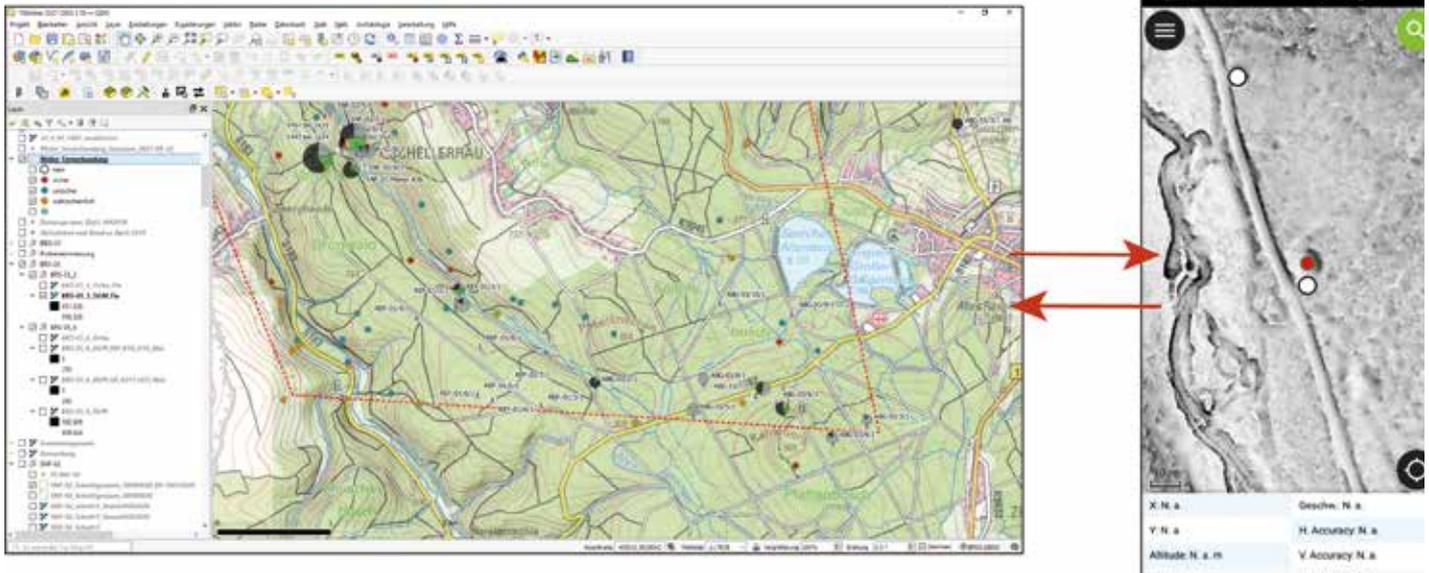


Abb. 12: Die Daten der fernerkundlich detektierten Meilerplätze werden via App auf das Smartphone übertragen, um ihre Auffindung und Verifizierung im häufig unwegsamem Gelände zu erleichtern. (© Klaus Cappenberg, Landesamt für Archäologie Sachsen)



Abb. 13: Die Geländearbeiten zur Verifizierung von Meilern wurden durch Drohnenaufnahmen unterstützt. Die Linien zeichnen Umfang und Durchmesser (15 m) des Meilers BRS-05/1 nach. (c) Klaus Cappenberg, Landesamt für Archäologie Sachsen

ckeln,³⁶ wurde exemplarisch ein Meilerplatz im „Vorderen Grünwald“ bei Schönfeld (Pilotregion Schönfeld, Abb. 1, 13-14, 22) archäologisch umfassend untersucht, um seinen Aufbau detailliert zu dokumentieren und diesen stratigrafisch im Hinblick auf mehrere Meilerereignisse – mit möglicherweise diachron verkohlten Baumartenspektren – zu dokumentieren. Hierbei zeigte sich ein komplexer Aufbau der Meilers, der archäologisch in verschiedene Befundkomplexe untergliedert werden musste.

Aufgrund dieser Beobachtungen wurden in der Folge zwei Beprobungsverfahren angewendet. Zum einen erfolgten Mehrfachsondagen zumeist mit bis zu fünf Sondagen pro Meilerplatte (Abb. 14).³⁷ Damit sollten mögliche zeitlich gestaffelte Mehrfachnutzungen der Meilerplatten erfasst werden, um eine statistisch belastbare, aussagekräftige und räumlich verteilte Anzahl von Holzkohleproben zu erhalten. Angestrebt wurde dabei eine Anzahl von etwa 100 Holzkohlefragmenten pro Meilerereignis, die



Abb. 14: Methode der 5fach-Beprobung in Form von Spatensondagen an der Meilerplatte SNF-02 in der Pilotregion Schönfeld. Der rote Kreis markiert die Erweiterung einer Sondage aufgrund weiterer archäologischer Befunde der Siedlung „Vorderer Grünwald“ (vgl. Abb. 19). (© Klaus Cappenberg, Landesamt für Archäologie Sachsen)

als repräsentativ für die verkohlerte Baumartenzusammensetzung gelten.³⁸ Bei eindeutigen stratigrafischen Einheiten wurde entsprechend getrennt beprobt. Zudem wurde neben den handverlesenen Holzkohlestücken gesiebtes Probenmaterial aus den optisch determinierbaren Meilerphasen entnommen. Die Dokumentation und Erfassung der Meilerplatten erfolgte in der Regel mittels Drohnenaufnahmen (Abb. 13–14, 22), und mithilfe des *Structure from Motion*-Verfahrens auch dreidimensional.³⁹ Auf diese Weise ließ sich dendrochronologisch analysierfähiges Material gewinnen sowie eine Zufallsbeprobung der Holzkohlen gewährleisten. Holzkohlefragmente unter 3 mm wurden verworfen. Alle datierten Meilerereignisse sind durch dieses Verfahren beprobt worden.

Zur Verdichtung der untersuchten Meilerplätze wurde ein „Schnellbeprobungsverfahren“ angewendet, mit dem Meilerplatten durch eine einzelne Spatensondage beprobt wurden. Im Schnitt wurde dabei eine Anzahl von 30 Holzkohlefragmenten anthrakologisch untersucht. Dieses „Schnellverfahren“ wurde auch zur Vorauswahl von Meilerplätzen angewendet, die intensiver untersucht werden sollten. Zudem ermöglichten sie einen räumlich verdichteten Überblick über die für die Köhlerei verwendeten Baumartenspektren.

Die anthrakologische Bestimmung der Holzkohlefragmente aus den Meilerplätzen

Grundsätzlich wurden alle gewonnenen Holzkohleproben einer anthrakologischen Bestimmung unterzogen, die mittels Auflichtmikroskop⁴⁰ zumeist bis zur Gattungsebene, in Einzelfällen bis zur Artebene erfolgte (Abb. 10). Problematisch erschienen zu-

nächst die mikroanatomische Verwechslungsmöglichkeit zwischen den Arten Fichte (*Picea abies*) und Europäische Lärche (*Larix decidua*). Die Lärche konnte jedoch für den Untersuchungsraum ausgeschlossen werden, da sie im Osterzgebirge erst im beginnenden 20. Jahrhundert angebaut wurde. Die Gattungen Weide (*Salix*) und Pappel (*Populus*) lassen sich aufgrund mangelnder mikroanatomischer Differenzierbarkeit zusammenfassen. Erfasst wurden zudem Gewicht, Breite, Anzahl der Jahrringe, das Vorhandensein einer Waldkante (als wichtiger Datierungsparameter), die Zuweisung zu einer standardisierten Durchmesserklasse (für den Rückschluss auf ein geschätztes kategorisiertes Baumalter), die mittlere Jahrringbreite (klimatologisch-ökologische Aussage) und allgemein das Potenzial für naturwissenschaftliche Datierungsmethoden (Dendrochronologie und ¹⁴C-Methode).

Dendrochronologisch wurden die Holzkohlefragmente aus Stammhölzern mit >30 Jahrringen sowie die Baumarten Weißtanne (*Abies alba*), Rotfichte (*Picea abies*) und Rotbuche (*Fagus sylvatica*) bestimmt. Diese erfolgten auf Basis der in den ArchaeoMontan-Projekten am Landesamt für Archäologie Sachsen aufgebauten regionalen Jahrringkurve. Die Kurve basiert auf den Grubenhölzern aus den hochmittelalterlichen Bergwerken von Dippoldiswalde und Niederpöbel⁴¹ (Abb. 8–9) und wird laufend durch Feuchtholzfunde aus Bergbaukontext ergänzt. Für ArchaeoForest stellen die über 3.500 Daten aus den beiden Bergbaurevieren eine belastbare Basis für die Ermittlung präzise datierter Baumartenzusammensetzungen im Umfeld der oben angegebenen mittelalterlichen Gruben dar. Gleichzeitig bilden die Hölzer ein auf die Zeit zwischen 1180 und 1280 eingrenzbare Klimaarchiv für die vom Projektpartner Universität Greifswald durchgeführten Spätholzdichtemessungen.

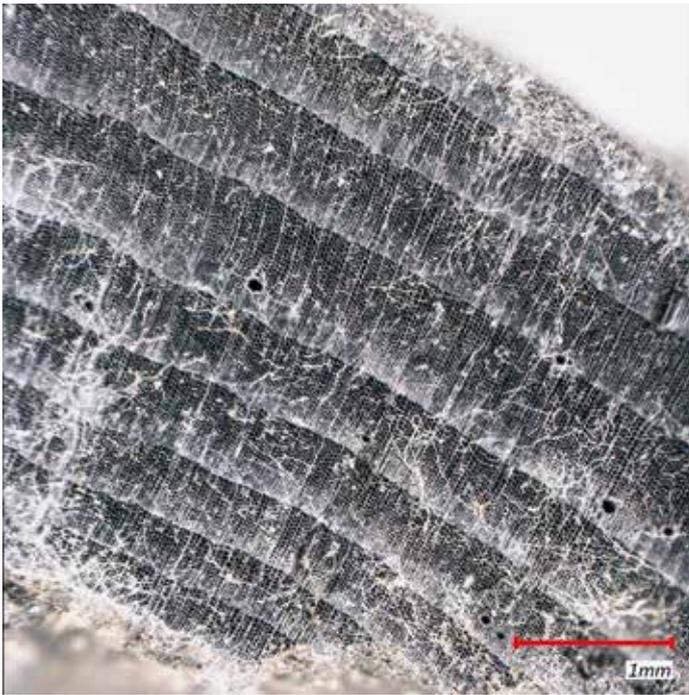


Abb. 15: Die mikroskopische Aufnahme zeigt das Holzkohlefragment einer Fichte (*Picea*), das von rezente Pilzgeflechten, den sogenannten Hyphen, befallen ist, die eine ^{14}C -Datierung des ursprünglichen Fälldatums des Baumes nicht mehr möglich machen. (© Grit Neubauer, Technische Universität Dresden)

Für die Datierung mittels der ^{14}C -Methode wird möglichst kurzlebiges Material (beispielsweise Holzkohlen mit erhaltender Waldkante, verkohlte Zweige, Zapfen) verwendet. Die Vorteile der isotopebasierten Datierung für die Altersbestimmung von Holzkohlen und kurzlebigen makrobotanischen Überresten (u. a. Samenkörner) liegen in der breiten Verfügbarkeit datierbaren Materials. Die Methode ist im Vergleich zur Dendrochronologie wenig präzise und im Laufe des Projektes kristallisierten sich einige Nachteile heraus. Insbesondere für die Zeiträume der Frühen Neuzeit verringert sich die Präzision gegenüber den hochmittelalterlichen Datierungen. Neu ist die Erkenntnis, dass Holzkohlefunde von Meilerplätzen hin und wieder Kontaminationen durch ausschließlich mikroskopisch sichtbare rezente Pilzgeflechte, die sogenannten Hyphen aufzeigen (Abb. 15). Der Hyphenbefall wurde zumeist erst vom Analyselabor entdeckt, eine Datierung war dann nicht möglich, da durch die Hyphen jüngere/rezente Datierungen als das ursprüngliche Fälldatum des Baumes als Analyseergebnis nicht ausgeschlossen werden konnten. Der Befall trat bei den Datierungen der kurzlebigen botanischen Überreste in den Pollenprofilen nicht auf.

Insgesamt deuten die Analysen eine Korrelation von Baumart und Datierung an. Auch scheint die in den LiDAR-Scans bzw. im Digitalen Geländemodell (Abb. 11) ersichtliche Erhaltung bzw. Detektierbarkeit der Holzkohlemeilerplattformen einen Hinweis auf ihr Alter zu geben. Zieht man die Erkenntnisse der anthrakologischen Analysen hinzu (Abb. 22, 25), ergibt die Kombination der Merkmale „Hoher Weißtannenanteil“ und/oder „Hoher Buchenanteil“, „Diverse Laubbaumarten“, „Kleine Holzkohlefragmente“ und „Verschliffene, schlecht sichtbare Holzkohlemeiler“ einen Hinweis auf ein potenziell hohes Alter der Meilerplätze; im Umkehrschluss verheißen Merkmalkombinationen wie „Hoher Fichtenanteil“ und/oder „Hoher Kieferanteil“ sowie „Deutliche Erkennbarkeit im DGM“ ein eher jüngeres Alter der Mei-



Abb. 16: Die Beprobung der Pollen erfolgt im Labor anhand der in den Pollenschienen erhaltenen Stratigrafie entlang eines Maßbandes. (© Klaus Cappenberg, Landesamt für Archäologie Sachsen)

lerplattformen. Die Datierung der Baumartenspektren erfolgte überwiegend über ^{14}C -Analysen, in wenigen Fällen in Kombination mit der Dendrochronologie oder mittels keramiktypologischer Ansprachen.

Makrobotanische und palynologische Probennahme

Ein zweiter Schwerpunkt der Feldarbeiten war die Beprobung von alluvial-kolluvialen Pollenarchiven in ausgewählten Pilotregionen, wobei die dafür aussichtsreichsten Standorte mit fachlicher Unterstützung des Geoforschungszentrums Potsdam ermittelt werden konnten. Zunächst wurden fernerkundlich Erfolg versprechende und durch Vorarbeiten bekannte Standorte auf ihr palynologisches Potenzial prospektiert. Um diese Pollenarchive auch in ihrem zeitlichen Verlauf auswerten zu können, ist eine über das Profil dokumentierte, stratigrafisch intakte Ablagerung der Pollen unabdingbar. Im Ergebnis wurden vier geeignete Profilstandorte in zwei Regionen ausgewählt. Die Pollenbeprobung an den Profilen erfolgte mittels 60 cm langer, 20 cm breiter und 10 cm tiefer Edelstahlschienen en bloc (vgl. Abb. 23, 26). Für die anschließenden palynologischen Untersuchungen (Abb. 16) wurden die Proben zunächst chemisch aufbereitet. Die Pollen werden hierbei mit dem Durchlichtmikroskop bis zu einer maximalen Anzahl von 500 Pollen pro Probe (exklusive Feucht-/Wasservegetationsanzeiger) bestimmt.⁴² Eine Berechnung der Pollenkonzentration der jeweiligen Taxa erfolgte auf Grundlage von Lycopodium-Tabletten.⁴³ Außerdem wurde die Anzahl von Mikroholzkohlen aufgenommen. Die Ergebnisse lassen sich grafisch in Form eines Pollendiagramms auswerten.⁴⁴

Zur Datierung der erstellten Pollensäulen wurden den Schienen Sedimentproben entnommen, die im stratigrafischen Kontext auffälliger Pollenkonzentrationen kurzlebige makrobotani-

sche Reste enthielten und im Landesamt für Archäologie Sachsen durch mehrteilige Siebkolonnen geschlämmt wurden. Die Analyse und Bestimmung dieser ausgeschlämmten makrobotanisch-karpologischen Spektren erfolgte mittels Auflichtmikroskop auf Grundlage einschlägiger Bestimmungsliteratur.⁴⁵ Neben der Auslese datierfähigen Materials wurden auch Artenspektren qualitativ erfasst. Die Daten wurden in das archäobotanische Datenbankprogramm ArboDat eingegeben,⁴⁶ um eine pflanzensoziologische Einordnung der Funde vorzunehmen.⁴⁷

Archivierung von Holzfunden: Das Dendroarchiv Sachsen

Als eines der Projektziele entstand während dessen Laufzeit das „Dendroarchiv Sachsen“ beim Landesamt für Archäologie, in dem u. a. rückläufige dendrochronologische Proben für zukünftige naturwissenschaftliche Untersuchungen bewahrt werden. Die Proben werden dabei mit dem Archivierungsprogramm des Archäologischen Archivs Sachsen erfasst und in einem lichtgeschützten und klimatisierten Raum untergebracht (Abb. 17). Dafür werden die Proben in bis zu vier Teilproben gesägt und anschließend in demineralisiertem Wasser und in doppelt verschweißter Folie gelagert, um Reserven für aktuelle oder noch zu entwickelnde Analysemethoden vorzuhalten. Neben der Konservierung in demineralisiertem Wasser wurden versuchsweise Gefriertrocknung und PEG-Einlagerung getestet. Die Lagerungskontrolle zeigte für die „Wasserkonservierung“ nach mehreren Monaten starke Ablagerungen bzw. Auswaschungen von Eisenhydroxyd sowie organischen Befall von Bakterien und Algen. Mittelfristig wird daher die Lagerung in Frischhaltefolie vorgenommen und langfristig sollen die Proben mittels Gefriertrocknung archiviert werden.

Untersuchungen in zwei beispielhaft ausgewählten Pilotregionen

Pilotregion Niederpöbel (Abb. 1)

Zur Untersuchung der lokalen Vegetations- und Landnutzungsentwicklung können auch die Holzfunde aus den mittelalterlichen Gruben in Niederpöbel als Referenz für die lokale Vegetation herangezogen werden, die mit über 1.500 dendrochronologischen und/oder dendrologischen Probeergebnissen ebenfalls als solide Basis für das ArchaeoForest-Projekt herangezogen werden konnte.⁴⁸ Im Vergleich zu den mittelalterlichen Grubenhölzern aus Dippoldiswalde wird deutlich, dass das Niederpöbeler Holzartenspektrum deutlich stärker von Nadelbaumarten dominiert wird (Abb. 4, 9). Etwa 90 % aller geborgenen Hölzer verteilen sich auf die Weißtanne (*Abies alba*; 75 %) und die Fichte (*Picea abies*; 25 %). Die Schlagdaten der geborgenen Hölzer datieren zwischen 1150 und 1290, wobei ein deutlicher Schwerpunkt zwischen 1275 und 1280 liegt. Insgesamt lassen sich ausschließlich Fichten- und Weißtannenhölzer mit einem hoch- bzw. spätmittelalterlichen Schlagdatum fassen. Ob es sich hier um eine bewusste Auswahl von Ausbauholz handelt, kann nur vermutet werden.⁴⁹ Bei ständiger oder wechselnder Feuchte gilt Tannenholz, im Vergleich zum Fichtenholz, als geeigneter.⁵⁰ Die ausschließliche Nutzung von Fichte (*Picea abies*) und Weißtanne



Abb. 17: Blick in das Dendroarchiv beim Sächsischen Landesamt für Archäologie in Dresden. Hier werden bereits untersuchte Holzproben unter holzkonservatorischen Aspekten gelagert. (© Klaus Cappenberg, Landesamt für Archäologie Sachsen)

(*Abies alba*) steht jedenfalls im Gegensatz zu den im Umfeld beobachteten Meilerereignissen, die kontemporär wesentlich heterogenere Baumartenspektren aufweisen, vor allem auch mit hohen Buchenholzanteilen.

Die Pilotregion Niederpöbel weist sowohl mittelalterliche Grubenhölzer als auch mittelalterliche Meilerereignisse auf⁵¹ und bot damit – für das Projekt ArchaeoForest einzigartig – die Möglichkeit des Abgleichs von untertägig aufgefundenen Holzartenspektren und obertägig untersuchten Meilerspektren. Wie oben dargelegt, wird innerhalb der beiden Quellengruppen eine Diskrepanz in der Auswahl der verwendeten Holzart deutlich. Für den hoch- bis spätmittelalterlichen Bergbau muss von einer bewussten Auswahl von Fichten- oder Weißtannenhölzern ausgegangen werden, denn die Baumartenspektren der Holzkohlemeiler zeigen sich im gleichen Zeitraum deutlich heterogener und sind damit eher das potenzielle Abbild des umgebenden Waldes. Die Clusteranalyse der Baumartenspektren in den Meilerplattformen unterscheidet grob in drei Gruppen (Abb. 18). Gruppe A ist Weißtannen-dominiert mit hohen Anteilen von Weide (*Salix s.p.*)/Pappel (*Populus s.p.*). Gruppe B ist Buchen-dominiert mit geringen Weißtannenanteilen. Gruppe C ist Fichten-dominiert mit geringen Weißtannenanteilen. Einige Meiler aus Gruppe A und B datieren bergbauzeitlich, Gruppe C datiert jünger. Gruppe A zeigt eher Zeichen menschlichen Nutzungsdrucks auf den Wald, Gruppe B könnte jeweils den Klimawald, also vor Beginn des *human impact* als auch eine spätere Erholung des Waldes hin zum ökologischen Gleichgewicht (Klimawald) darstellen. Gruppe C erscheint, vor allem im Vergleich mit den anderen Pilotregionen, relativ alt für die starke Dominanz der Fichte (*Picea abies*); eigentlich wären eher ¹⁴C-Datierungen ab Mitte des 17. Jahrhunderts für diese Art Spektren zu erwarten – im Sinne der nachhaltigen Waldbewirtschaftung durch Fichtenaufforstung wäre konkret ein Zeitraum ab Beginn des 19. Jahrhunderts zu erwarten.

Pilotregion Schönfeld (Abb. 1)

Nur wenige Kilometer weiter nördlich und oberhalb von Niederpöbel liegt das Untersuchungsgebiet „Vorderer Grünwald“ (Gemarkungen Schönfeld, Seyde und Schellerhau, Lkr. Sächsische

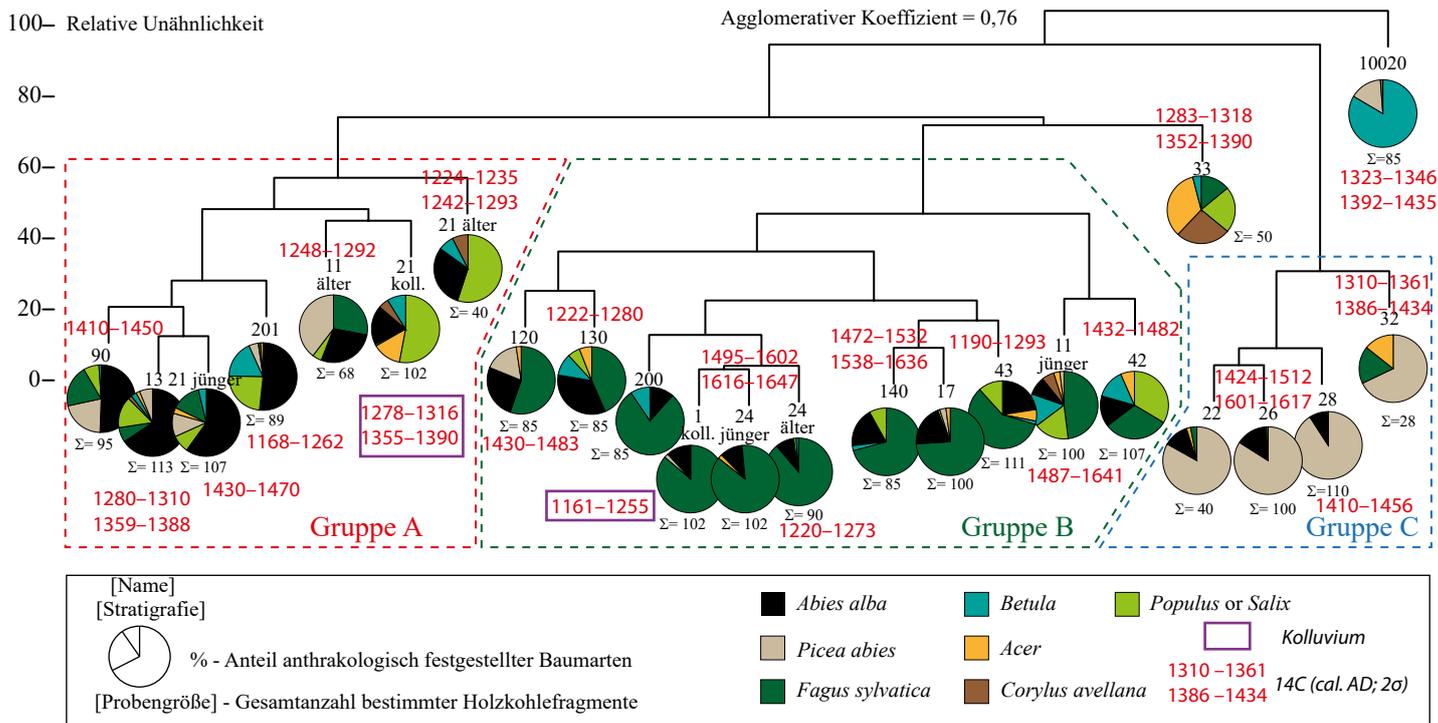


Abb. 18: Hierarchische Clusteranalyse und Datierungen der Baumartenspektren aus Holzkohlemeilerplattformen und Kolluvien der Fundstelle Niederpöbel (NPB-02 und NPB-04, Lkr. Sächsische Schweiz-Osterzgebirge). Die Baumarten verteilen sich auf drei Gruppen (A, B, C): Gruppe A: hohes bis spätes Mittelalter, sehr heterogene Baumartenverteilungen, die von Weißtanne, Weide/Pappel und Rotfichte dominiert werden. Gruppe B: hohes Mittelalter bis Frühe Neuzeit, stark von der Rotbuche geprägt. Gruppe C: spätes Mittelalter bis Frühe Neuzeit, stark von der Rotfichte geprägt. Gruppe A war vermutlich die Initialphase der Bewirtschaftung, da wohl keine gezielte Holzauswahl getroffen wurde. Vielleicht wurde hier auch Holz genutzt, welches beim Einschlag zur Einrichtung der dortigen Bergwerke an- bzw. abfiel. Gruppe B stellt wohl die Hochphase der Köhlerei dar, in der energetisch hochwertige Buchenholzkohlen produziert wurden. Gruppe C verlief eine Zeit lang parallel zu Gruppe B, sie stellt insgesamt eine jüngere Waldnutzungsphase dar. Sie indiziert evtl. einen Abschwung der wirtschaftlichen Aktivitäten, da die nun aufkommende Rotfichte energetisch eher schlechtere Kohle lieferte. (© Johann Friedrich Tolksdorf, Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege; bearbeitet von Klaus Cappenberg, Landesamt für Archäologie Sachsen.)

Schweiz-Osterzgebirge) auf einem Nordnordwest-Südsüdost verlaufenden Hügelrücken und umfasst einen Höhenbereich von ca. 625 m bis 700 m ü. NHN. Die Untersuchungsregion wird in etwa begrenzt von der Wilden Weißeritz im Westen und im Osten vom Pöbelbach, die beide Bestandteil des hydrologischen Systems der Elbe sind. Die geologische Grundstruktur des Geländerrückens wird durch Quarzporphyr (Ryolith) gebildet, der nach Süden und Westen an Gneisformationen grenzt.⁵² Die Stelle ist vor allem durch den im Geländemodell sichtbaren Pingenzug mit umgebenden Grubenhäusern bekannt, welche zu einer wüst gefallenden Bergbausiedlung des 13./14. Jahrhunderts gehören, die 2016 vom ArchaeoMontan-Team entdeckt und untersucht worden ist (Abb. 19).⁵³ Daher sollten dort im Zusammenspiel mit deren archäologischen Relikten Untersuchungen an Holzkohlemeilerplattformen und palynologische Analysen durchgeführt werden. Ausgewählt wurde dazu eine ringförmige Meilerplattform (SNF-02/1/1; Abb. 14) in unmittelbarer Nähe der Bergbausiedlung (Abb. 22, SNF-01), die versprach, chronologische Bezüge zu dieser Fundstelle aus dem 13. Jahrhundert untersuchen zu können. Die im Umfeld untersuchten weiteren Meilerstandorte sollten es ermöglichen, eine zeitliche Entwicklung der örtlichen Waldbewirtschaftung und der Vegetation zu rekonstruieren. Der östlich des Pingenzuges gelegene Ringmeiler weist einen ungewöhnlich großen Durchmesser von etwa 22 m auf. Eine Nord-Süd ausgerichtete Sondage (Abb. 20) durch den Meiler (SNF-02/1/1) erbrachte neben einem einphasigen Verkohlungsereignis (Holzkohleschicht) eine Steinschüttung, die als Aufschüttung eines sogenannten Löschewalls für den Meiler gedeutet werden kann.

Unterhalb der Holzkohleschicht konnte eine rechtwinklige Struktur erfasst werden, die als Grubenhäuser gedeutet wird. Dessen keramische Funde datieren in das 13./14. Jahrhundert und weisen das Grubenhäuser in die Nutzungsperiode der Bergbausiedlung.⁵⁴ Das keramische Fundmaterial aus dem Löschewall und der Holzkohleschicht des Meilers datiert hingegen in die zweite Hälfte des 16. und erste Hälfte des 17. Jahrhunderts⁵⁵, sodass für diesen Standort eine mindestens zweiphasige, funktional wie zeitlich voneinander unabhängige Nutzung nachgewiesen werden konnte. Für die historische Vegetationsaufnahme lassen sich in dieser Pilotregion grob zwei Entwicklungsphasen eines Waldbestandes fassen (Abb. 21). Die erste Phase vom Mittelalter bis in die Frühe Neuzeit mit den Gruppen 1-3 zeigt einen von Weißtannen (*Abies alba*) und Buchen (*Fagus*) dominierten Waldbestand, z. T. mit größeren Fichtenanteilen. Die Gruppen 4 und 5 umfassen eine zweite Phase, die in das 18. bis 20. Jahrhundert datiert, in der eine sehr starke Dominanz der Fichte (*Picea abies*) mit nur noch geringen Weißtannenanteilen festgestellt wurde. Die Waldbewirtschaftung durch Köhlerei konnte für das Hochmittelalter bzw. beginnende Spätmittelalter an einem Meilerstandort (Abb. 22; SNF-02/6/1) sowie indirekt durch eine Brandschicht nachgewiesen werden. Mangelnde Datierungen für das beginnende 15. Jahrhundert deuten auf einen Hiatus in der Waldnutzung hin. Ein Schwerpunkt im Sinne sowohl intensiver als auch extensiver Köhlerei lässt sich für das ausgehende Spätmittelalter bzw. den Beginn der Frühen Neuzeit nachweisen, da sowohl ein zweiphasiger Meilerplatz in diese Zeit fällt als auch mehrere räumlich gestreute einphasige Holzkohlemeilerplattformen (vgl. Abb.

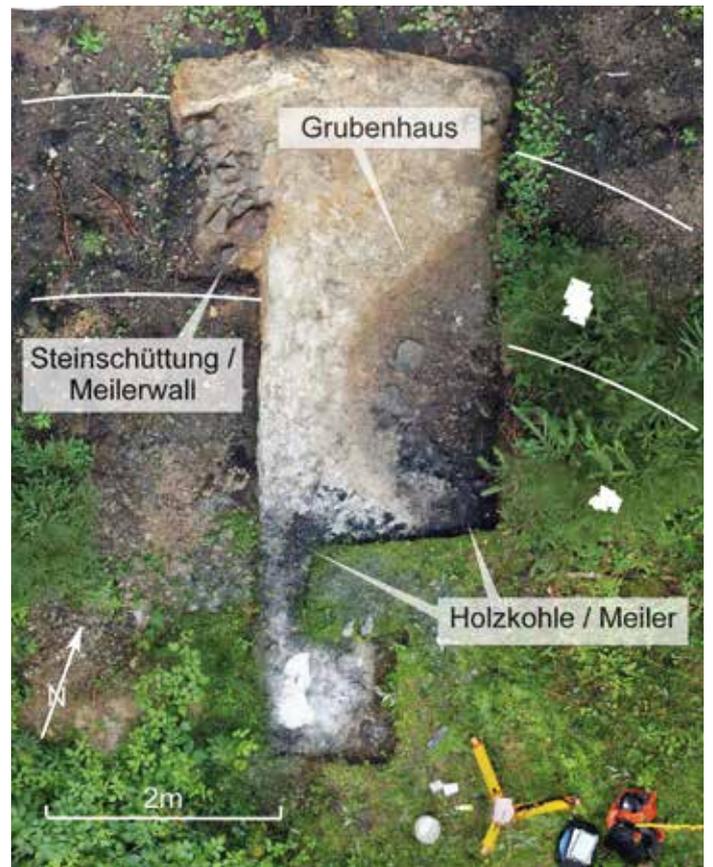
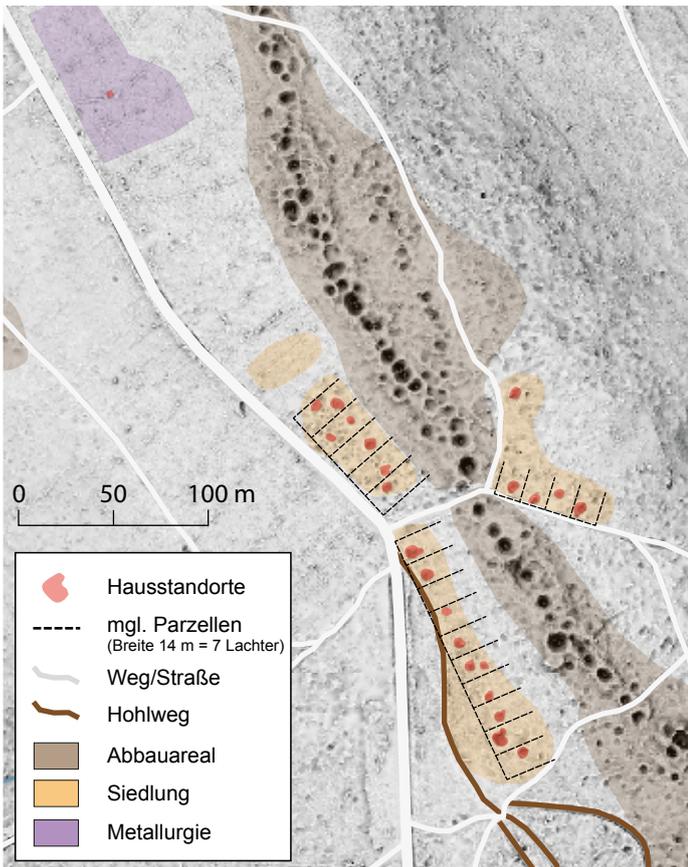


Abb. 19: Die mittelalterliche Bergbausiedlung im „Vorderen Grünwald“ bei Schönfeld, Lkr. Sächsische Schweiz-Osterzgebirge (SNF-01), wurde im Rahmen des ArchaeoMontan-Projektes 2018 entdeckt und untersucht. Im Digitalen Geländemodell sind der Pingenzug (vgl. Abb. 14), die vorgelagerten Grubenhäuser mit rekonstruierter Parzellierung, die Hohlwege sowie ein Aufbereitungsareal markiert. (© Matthias Schubert, Landesamt für Archäologie Sachsen)

Abb. 20: Fotogrammetrische Dokumentation mittels Drohne der archäologischen Befunde am Meilerplatz SNF-02/1/1 (vgl. Abb. 22). Der frühneuezeitliche Meiler überlagert ein mittelalterliches Grubenhaus der Bergbausiedlung „Vorderer Grünwald“. (© Klaus Cappenberg, Stefan Johl, Frank Schröder, Landesamt für Archäologie Sachsen)

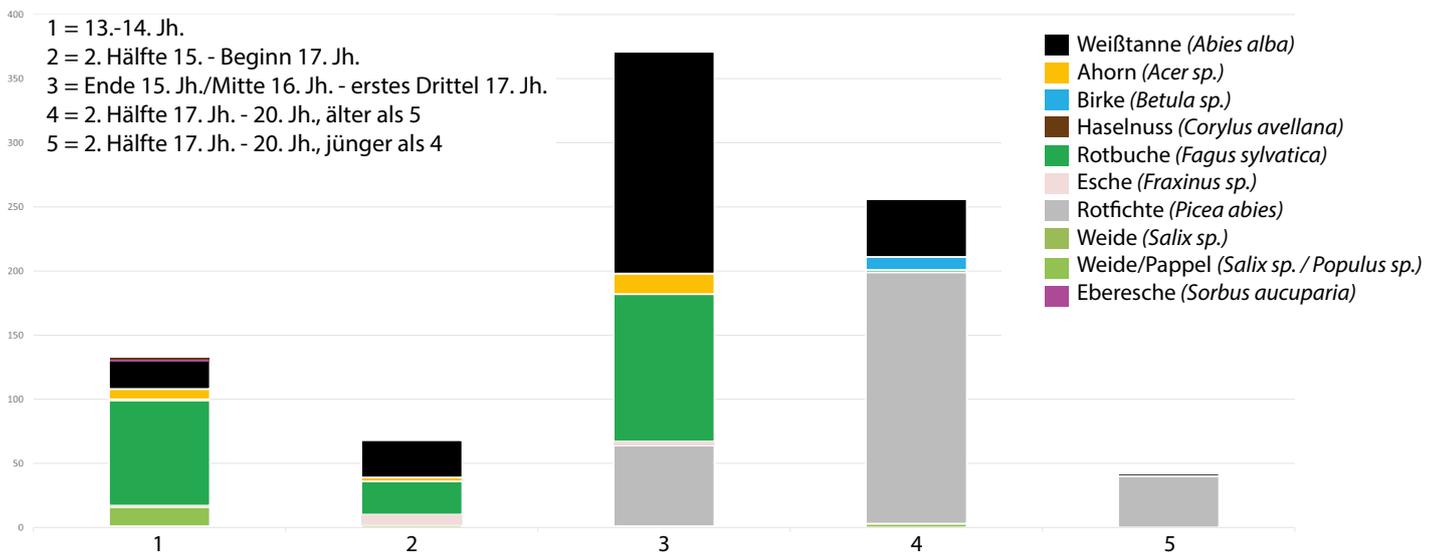


Abb. 21: Anthrakologische Spektren aller in der Pilotregion Schönfeld, Lkr. Sächsische Schweiz-Osterzgebirge (SNF-02), untersuchten Befundarten (Holzkohlemeiler, Grubenhaus, Brandschüttungsschicht) mit relativchronologischer Einordnung. (© Klaus Cappenberg, Landesamt für Archäologie Sachsen)

22 SNF-02/3/1 und 2 oder SNF-02/1/1). Eine anhaltende intensive und extensive Waldnutzung zur Verweigerung darf für den Zeitraum 18. bis 20. Jahrhundert vermutet werden, eine Meilerplattform weist mit zwei Holzkohlemeilerereignissen auf den in-

tensiven Nutzungsdruck für den angenommenen Zeitraum hin (Abb. 22, SNF-02/8/1 und 2).

Zur Unterstützung der regionalen Vegetationsaufnahme wurden in der Pilotregion Vorderer Grünwald/Schellerhau (Abb. 1)

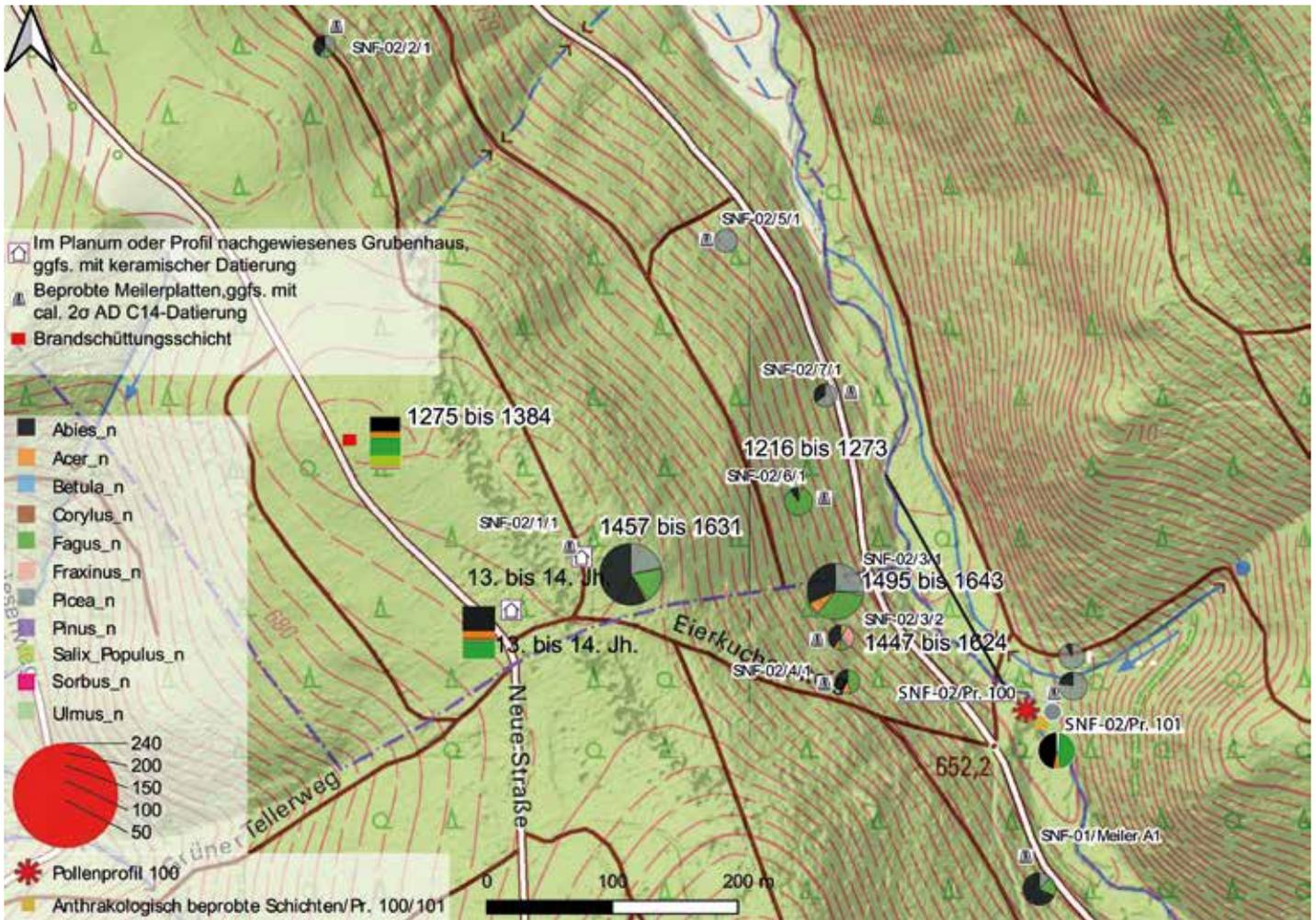


Abb. 22: Kartierung der untersuchten Befundarten und Datierungen auf der Fundstelle im „Vorderen Grünwald“, Pilotregion Schönfeld, Lkr. Sächsische Schweiz-Osterzgebirge (SNF-01 und SNF-02). (© Klaus Cappenberg, Landesamt für Archäologie Sachsen)

zudem palynologische Untersuchungen durchgeführt. Im Bereich der mittelalterlichen Bergbausiedlung Vorderer Grünwald (Abb. 19, SNF-02⁵⁶) wurde ein Standort am Fuß einer Haldenstruktur des Magdalena-Erbstollns aus dem 18. Jahrhundert am Westufer des Pöbelbachs ausgewählt (Abb. 22). Hier profiliert ein schwach ausgeprägter Rücken den Hang, während auf der dem Profil gegenüberliegenden rechten (östlichen) Talflanke eine gut ausgebildete Hangdelle mit dem „Eierkuchenweg“ in Richtung Bergplateau/Schellerhau entwickelt ist. Die Hangdelle mündet mit einem Schwemmfächer im Tal. Unterhalb der Haldenstruktur wurde das Profil 100 angelegt und die Pollenproben mittels eines 60 cm x 20 cm x 15 cm großen rostfreien Stahlkastens entnommen (Abb. 23). Dieser kam anschließend zur Verwahrung in die Kühlkammer der Restaurierung im Landesamt für Archäologie Sachsen, um daraus neben der palynologischen Bestimmung ebenfalls *in situ* ¹⁴C-datierbares makrobotanisches Material zu gewinnen.

Die geologisch-bodenkundliche Beschreibung von Profil 100 erfolgt für dieses wie für die weiteren Profile von unten nach oben, d. h. von den geologisch älteren zu den jüngeren Schichten/Horizonten (Abb. 23). Die Profilbasis bildet grauer Bachschotter mit humusfreier sandiger Matrix. Darüber folgt ein 8 cm mächtiger, stark zersetzter brauner Niedermoortorf mit sehr viel Holzresten und größeren Holzkohlestücken („Waldrodungshorizont“?). Dieser Torf lag während der Profilaufnahme etwa auf dem Ni-

veau des Bachwasserspiegels. Bemerkenswert ist die exzellente Erhaltung von rotbraun gefärbten Buchenblättern und von Bucheckern (Abb. 24), die auf den Bruchflächen des Torfes sichtbar wurden. Darüber folgen 10 cm schluffiger grauer Auensand und 18 cm grauer Auenschluff. Letzterer ist teilweise torfig und weist Holzkohle auf. Den Abschluss bildet ein 24 cm mächtiges graues und braunes Paket aus Auensand- und Auenschlufflagen mit etwas Holzkohle, gefolgt von hellgrauem Haldenmaterial aus Grus, Steinen und Blöcken mit einer sandig-schluffigen Matrix. Die Gesamtmächtigkeit des feinkörnigen Auensedimentpakets inklusive des basalen Torfs beträgt 60 cm.

Archäologisch kann Profil 100 (Abb. 23, in diesem Fall von oben nach unten zu lesen) grob in die Schichten a–f unterteilt werden, wobei a die Abdeckung durch eine Halde, die höchstwahrscheinlich vom nahegelegenen Magdalena-Erbstolln⁵⁷ aus dem 18. Jahrhundert herrührt, und f an der Profilbasis das Bachbett des Pöbelbachs darstellt. Schicht e stellt einen stark vertorften Bodenhorizont dar, der über eine gute organische Erhaltung und daher eine Vielzahl von floralen Überresten wie Holzstücken, Blättern o. Ä. verfügt. Schicht e kann durch zwei ¹⁴C-Proben grob ins 12. Jahrhundert n. Chr. datiert werden. Sie stellt möglicherweise einen sogenannten Rodungshorizont dar, wobei eindeutige und direkte Rodungsanzeiger wie Rodungsstubben oder Hackschnitzel hier fehlen. Einzig ein 2-3 cm starkes, vermutlich angespitztes, leider verloren gegangenes Holzstück erbrachte ei-

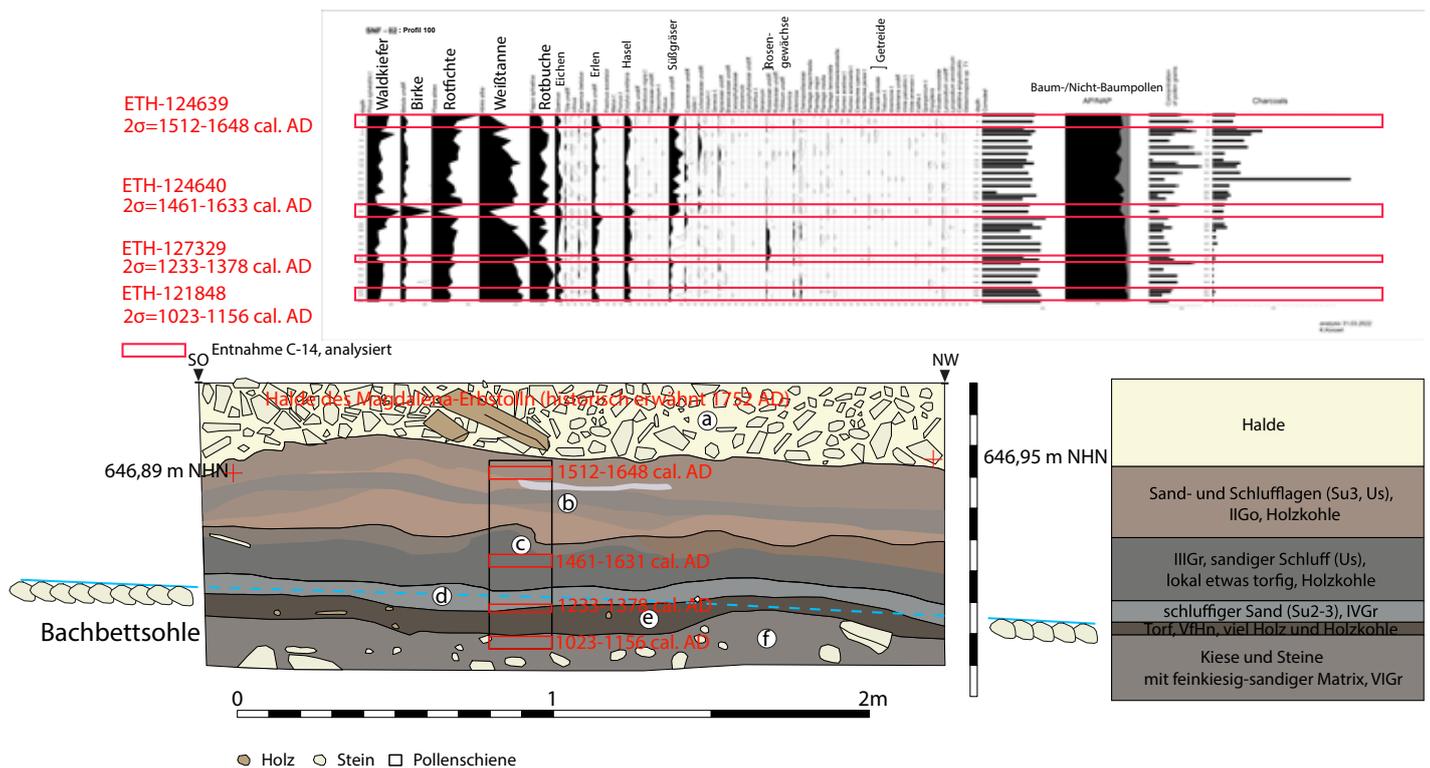


Abb. 23: Profil 100 der Fundstelle SNF-02 (zur Lage vgl. Abb. 22), Pilotregion Schönfeld, Lkr. Sächsische Schweiz-Osterzgebirge. Das diachrone Pollenprofil (oben) weist eine deutliche Dominanz von Weißtannen- und Rotbuchenpollen ab dem frühen Hochmittelalter auf. Im Übergang vom Spätmittelalter zur Frühen Neuzeit zeigt sich ein starker Einschnitt dieser ursprünglichen Bewaldung. Pionierbaumarten wie Waldkiefer oder allgemein Birke nehmen – wie auch der Eintrag von Süßgräserpollen – stark zu. Hier ist von intensiver Waldbewirtschaftung durch Holzeinschlag für Bergbau- wie auch für Köhlerholz sowie mit der Ansiedlung durch das um 1550 gegründete Schellerhau auszugehen. (© Katarzyna Korzeń, Kraków, Knut Kaiser, Geoforschungszentrum Potsdam, Stefan Johl, Klaus Cappenberg, beide Landesamt für Archäologie Sachsen)



Abb. 24: Die Buchecker weist auf die gute organische Erhaltung der hochmittelalterlichen Lagen an der Basis des Pollenprofils 100 in der Pilotregion Schönfeld, Lkr. Sächsische Schweiz-Osterzgebirge (SNF-02), hin. (© Stefan Johl, Landesamt für Archäologie Sachsen)

nen direkten Nachweis für menschliche Aktivität. Schicht **d** stellt eine schluffig-sandige Lage dar, die möglicherweise auf Erosion, folgend auf die Rodungsaktivitäten, hinweist. *Terminus post quem* nach der ^{14}C -Datierung ist für diese Schicht der Zeitraum 13.-14. Jahrhundert, der gut zur etwa 50 m hangaufwärts liegen-

den mittelalterlichen Bergbausiedlung „Vorderer Grünwald“ passen würde. Schicht **c** beinhaltet Sand- und Schlufflagen und datiert *terminus post quem* in einen Zeitraum vom 15.-17. Jahrhundert; Schicht **b**, die etwas gröbere Sand- und Schlufflagen aufweist, datiert *terminus post quem* in das 16.-17. Jahrhundert und ist möglicherweise durch die Ablagerung von Pochsanden aus einem bachaufwärts vermuteten Pochwerk entstanden. Schicht **b** ist gleichzeitig mit Holzkohlemeiler SNF-02/1, Schicht **c** und **b** könnten zeitgleich zu Meiler SNF-02/3/1+2 sein (zur Lage und Datierung vgl. Abb. 22), obwohl dessen ^{14}C -Datierung nicht durch Keramikfunde untersetzt ist und am gleichen Ort mindestens zweimal geköhlt wurde. Die Mächtigkeit der Schichtpakete **c** und **b** kommt durch den erhöhten menschlichen Einfluss (Pochwerke, Rodungen/Erosion durch verstärkte Köhlerlei) zustande. Der Magdalena-Erbstolln hat eine historische Ersterwähnung für das Jahr 1752, der Profilabschluss nach oben, gelegen auf ca. 647 m ü. NHN, ist also grob in den Zeitraum vom Beginn des 16. Jahrhunderts bis um/vor 1752 zu legen. Die dendrochronologische Datierung von zwei in der Halde enthaltenen Hölzern erbrachte leider kein Ergebnis (Rotfichte/*Picea abies*, K004736 und K004737). Die stratigrafische Abfolge des Profils ist aufgrund der Datierungen trotz ihrer alluvial-kolluvialen Genese und der damit einhergehenden Probleme wie beispielsweise Ab- und Aufträge durch Hochwasserereignisse als intakt einzuschätzen.

Somit war auch die sequenzielle Auswertung des Profils hinsichtlich der Pollenkonzentrationen belastbar möglich (Tab. 1), die interessante Rückschlüsse auf den zeitlichen Verlauf der Dynamiken im Waldbestand zulässt (vgl. Abb. 21-23).

Tiefe (cm)	Lokale Pollenzone	Datierung	Beschreibung
0–5	SNF 02-5	2-5 cm: 1512-1648 cal. AD	Abnahme von <i>Abies</i> und <i>Fagus</i> , Zunahme von <i>Picea</i> , geringe Abnahme NAP-Anteil, abnehmender Holzkohleanteil
5–32	SNF 02-4		Wiederzunahme von <i>Abies</i> und <i>Fagus</i> , Zunahme von <i>Picea</i> , Zunahme von <i>Pinus</i> , starke Zunahme von <i>Poaceae</i> , Zunahme NAP-Anteil, starke Zunahme von Holzkohle
32–48	SNF 02-3	30-34 cm: 1461-1633 cal. AD	nach initialer Zunahme dann sehr starke Abnahme von <i>Abies</i> , starke Abnahme von <i>Fagus</i> , Zunahme von <i>Pinus</i> , erstmaliges Auftauchen von Getreide in sehr geringem Anteil, Zunahme von <i>Rosaceae</i> (als wahrscheinliche Reaktion auf Auflichtung), geringfügig zunehmender NPA-Anteil, zum Ende deutlich zunehmende Holzkohle
48–58	SNF 02-2	46-49 cm: 1233-1378 cal. AD	geringfügig abnehmende <i>Abies</i> -Werte, geringfügig zunehmende <i>Picea</i> - und <i>Pinus</i> -Werte, geringfügig zunehmender NPA-Anteil
58–60	SNF 02-1	57-60 cm: 1023-1156 cal. AD	hohe <i>Abies</i> - und <i>Fagus</i> -Werte, mäßig hoher <i>Picea</i> -Wert, geringer NAP-Anteil, geringer Anteil synanthroper Arten, geringer Anteil von Holzkohle

Tab. 1: Die Tabelle gibt einen Überblick zur zeitlichen und stratigrafischen Einordnung der Pollen sowie deren Verteilungsspektren. (© Klaus Cappenberg, Landesamt für Archäologie Sachsen)

Die Beprobung setzte knapp unterhalb der heutigen Gewässer-
 sohle des Pöbelbaches ein und erbrachte für einen ¹⁴C-datierten
 Zeitpunkt zwischen 2σ = 1023-1156 cal. AD im Bereich Tiefe = 56-
 60 cm einen in der Form auch vermuteten Klimaxwald, haupt-
 sächlich bestehend aus Weißtanne (*Abies alba*), Fichte (*Picea abies*)
 und Rotbuche (*Fagus sylvatica*). Die Polleneinträge von Waldkie-
 fer (*Pinus sylvestris*) sind im Vergleich schwer einzuschätzen, da
 sie einen weiteren Transport durch die Luft aufweisen können
 und auch schwimmfähig sind. Die nächste ¹⁴C-Datierung wurde
 in einer Tiefe von 46-48 cm entnommen und ergab einen Zeit-
 raum von 1233-1378; damit ist sie kongruent zur oberhalb lie-
 genden mittelalterlichen Siedlung (siehe oben). Zu beobachten
 ist ein leichter Rückgang der Fichte (*Picea abies*) und der Rotbu-
 che (*Fagus sylvatica*), bei gleichzeitig starkem Anstieg der Weiß-
 tanne (*Abies alba*) – ob aufgrund einzelner mächtiger Weißtannen,
 die möglicherweise vom ursprünglichen Bestand übrig geblie-
 ben sind, bleibt unklar. Erle (*Alnus* sp.) und Hasel (*Corylus avel-
 lana*) nehmen nur marginal zu. Die Rosengewächse, zu denen
 beispielsweise Heckenrosen, aber auch der Apfelbaum (*Rosaceae*)
 gehören, setzen stärker ein; was als Hinweis auf offene Land-
 schaftsbereiche gewertet werden kann.

Für die Besiedlung des Gebietes ist insbesondere das Einsetzen
 von nicht differenzierbaren Getreidepollen (*Cerealia*) sehr inter-
 essant. Der Gehalt als Mikroholzkohle ist für die beiden bisher
 vorgestellten Sequenzen auf konstant geringem Niveau. Das ge-
 neralisierte Verhältnis von Baumpollen (90-95%) zu Nicht-Baum-
 pollen (AP zu NAP) ist ebenfalls gleichbleibend konstant. Die
 nächstfolgende Sequenz (Tiefe = 30-34 cm) datiert in einen Zeit-
 raum vom Ende des Spätmittelalters bis zum Beginn der Frühen
 Neuzeit (1461-1633). Die Baumartenzusammensetzung weist hier
 deutliche Veränderungen auf. Die Pioniergehölze Kiefer (*Pinus*)
 und Birke (*Betula* sp.) nehmen kurzfristig und punktuell zu, wäh-
 rend Weißtanne (*Abies alba*), Fichte (*Picea abies*) und Rotbuche (*Fa-
 gus sylvatica*) stark zurückgehen. Auch Süßgräser (*Poaceae*), die
 als Offenland-Anzeiger gelten, nehmen stark zu. Die Getreide-
 pollen werden jetzt ausdifferenzierbar und Roggen (*Secale cereale*)
 sowie Weizen (*Triticum* t.) verstärkt sichtbar. Die Mikroholzkohle
 nimmt ebenfalls stark zu. Für diesen Zeitraum sind also deutliche
 Auflichtungen durch Rodungen für Köhlerei und/oder Bauholz
 sowie verstärkter Anbau von Getreide zu postulieren.

Eine ungewöhnlich starke Zunahme der Mikroholzkohle zeigt
 sich für den Bereich in einer Tiefe = 20-24 cm. Eine abschließen-
 de Datierung innerhalb der Pollensäule erfolgte bei Tiefe = 2-6
 cm; diese Sequenz weist in einen Zeitraum von 1512-1648. Hier
 sind Kiefer (*Pinus*) und Birke (*Betula*) wieder auf das ursprüng-
 liche Niveau zurückgegangen, während die Fichte (*Picea abies*)
 stark ansteigt. Die Weißtanne (*Abies alba*) ist stark rückläufig, die
 Rotbuche (*Fagus sylvatica*) sinkt leicht ab; die Süßgräser (*Poaceae*)
 nehmen leicht zu, Getreidepollen sind ebenfalls deutlich sicht-
 bar. Das Verhältnis von Baumpollen zu Nicht-Baumpollen än-
 dert sich im Abschnitt ab Tiefe = 34 cm aufwärts, da sich der An-
 teil von Nicht-Baumpollen tendenziell erhöht. Im Trend lässt sich
 auch eine weitere Zunahme von Mikroholzkohle feststellen, die
 auf eine Zunahme der Köhlerei zurückgehen dürfte.

Der tabellarische Überblick zeigt die Zonierung sowie weitere Ei-
 genschaften des Pollendiagramms aus Profil 100 im Umfeld der
 Siedlung „Vorderer Grünwald“ (Tab. 1, SNF-02).

Zusammenschau der archäologischen, sedimentologischen, palynologischen und anthrologischen Ergebnisse

Die Übersicht der Fundinventare des Holzkohlemeilers SNF
 02/1 weist die Zweiphasigkeit der Fundstelle nach (siehe auch
 Abb. 20). Die Mehrzahl der keramischen Funde datiert ins 13.
 und 14. Jahrhundert und liegt stratigrafisch unter dem Meiler.
 Keramik der Frühen Neuzeit kommt ausschließlich im Kontext
 des Meilers vor und passt zu dem daraus resultierenden ¹⁴C-Da-
 tum (vgl. Abb. 22).⁵⁸ Das 15. Jahrhundert ist keramisch kaum zu
 fassen und der damit verbundene mögliche Hiatus menschl-
 icher Aktivitäten wird durch die Ergebnisse des vorgestellten Pol-
 lenprofils 100 unterstützt. Das 15. Jahrhundert kann dort für die
 Tiefe von 42-46 cm angenommen werden und zeigt eine starke
 Zunahme der Weißtanne (*Abies alba*) sowie einen leichten An-
 stieg der Fichte (*Picea abies*); der Gehalt an Pollen der Rotbuche
 (*Fagus sylvatica*) verhält sich inkonsistent, hier sind periodische
 Zuwächse und Abnahmen zu verzeichnen. Insgesamt scheint es
 sich um eine Phase der Regeneration des umgebenden Waldes

zu handeln. Das Profil 100 enthält aufgrund seiner Sedimentzusammensetzung Hinweise auf ein vermutlich weiter bachaufwärts gelegenes Pochwerk. Ein Meilerplatz (SNF-02/6/1) konnte in das 13. Jahrhundert datiert werden und weist einen hohen Buchen- und niedrigen Weißtannenanteil auf. Zudem konnte für den Beginn der Frühen Neuzeit extensive Köhlerei festgestellt werden. Außerdem gelang der Nachweis eines zweiphasigen Holzkohlemeilers, dessen Meilerereignisse beide in das 16./17. Jahrhundert datieren (SNF-02/3, siehe Abb. 22), sodass vermutet werden kann, dass zumindest lokal und temporär intensiv verkohlet wurde. Unmittelbare Holzkohleverbraucher könnten das in der Nähe vermutete Pochwerk am Pöbelbach (Abb. 7) sowie generell auch die Bergwerke (Abb. 19, 22; Pingenzug auf Höhe der Bergbausiedlung, Magdalena-Erbstolln aus dem 18. Jahrhundert) sowie ein noch zu untersuchender Roteisenabbau bachaufwärts (Datierung *terminus ante quem* 1600) am östlichen Ufer des Pöbelbaches gewesen sein.⁵⁹

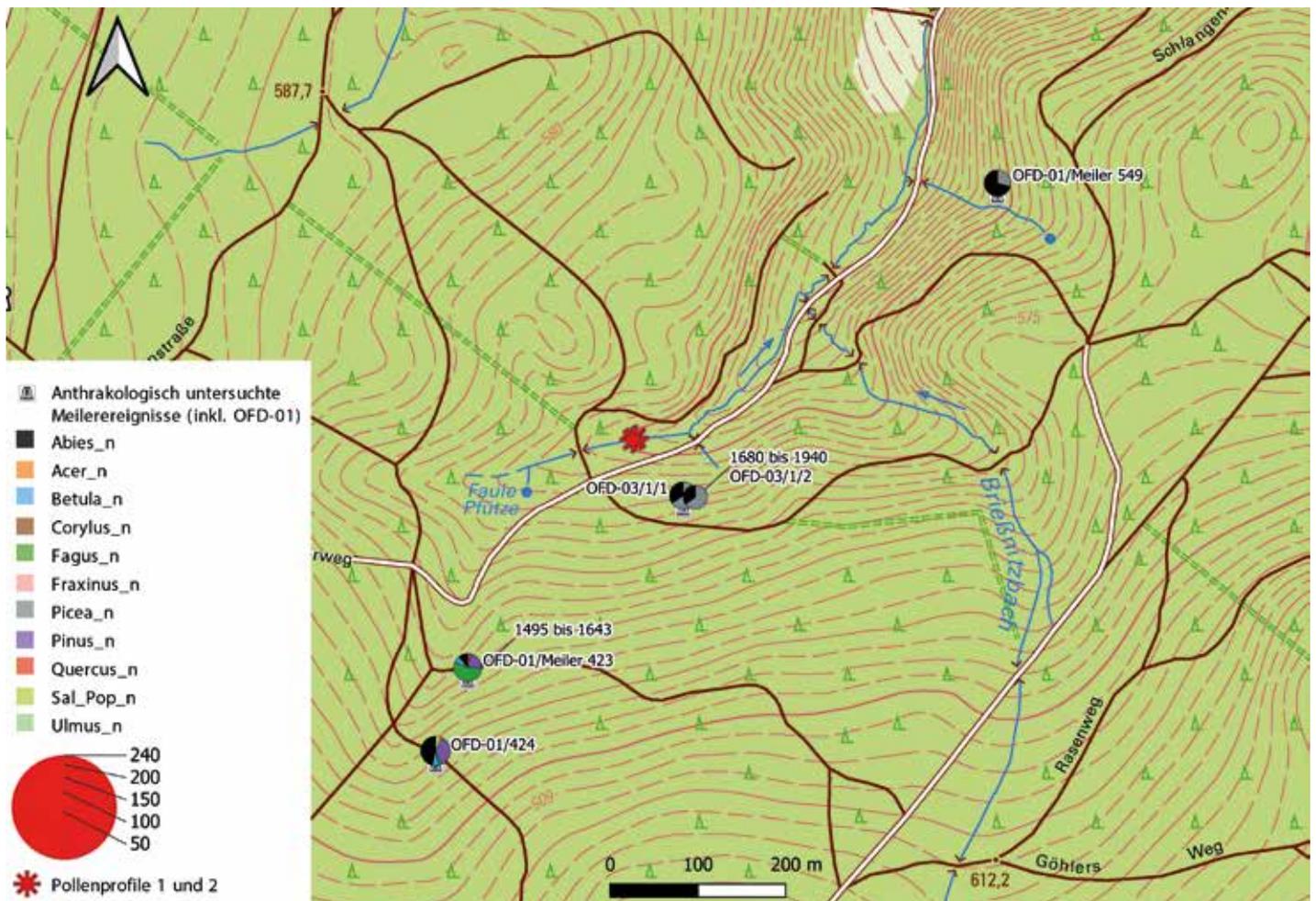
Waldökologisch zeigen sich nach der anthrakologischen Auswertung zwei Bestockungsphasen: zunächst eine Weißtannen-Buchen-Fichten-Phase, die als Klimaxwald⁶⁰ gelten dürfte. Hier liegt der weitestgehend unbeeinflusste Waldzustand vor, der möglicherweise den „Urwald“ beschreibt, jedoch ist auch eine Regenerierung des Waldes nach mittelalterlicher Nutzung nicht auszuschließen. Die zweite Fichten-Weißtannen-Phase fällt wohl in die Zeit der Aufforstung ab dem 18. Jahrhundert, repräsentiert

durch die Holzkohlemeilerplattformen SNF-02/5, 7, 8 (vgl. Abb. 21–22).

Die palynologischen Untersuchungen an Profil 100 (Abb. 23, Tab. 1) zeigen deutliche menschliche Einflüsse bei Tiefe = 46–48 cm unter der Oberkante der Pollenschiene (= 646,96 m ü. NHN). Hier setzen auch die Getreidepollen ein, womit Ackerbau vielleicht im Kontext der Bergbausiedlung „Vorderer Grünwald“ selbst oder im näheren Umfeld nachgewiesen ist. Als nächstgelegene Siedlungen kämen hierfür das im Spätmittelalter namentlich erwähnte Dorf Seyde (Ersterwähnung 1445 als *Zeyda*⁶¹), oder die 1543 fassbare Dorfgründung Schellerhau⁶² infrage.

Ab Tiefe 32 cm – und damit im 16./17. Jahrhundert – weisen Pionierbaumarten wie Waldkiefer (*Pinus sylvestris*) und Birke (*Betula s.p. indiff.*) einen starken Anstieg auf, während die Baumarten des Klimaxwaldes wie Weißtanne (*Abies alba*), Rotbuche (*Fagus sylvatica*) und Fichte (*Picea abies*) stark zurückgehen. Gleichzeitig nehmen die Süßgräser (Poaceae) stark zu, die auf Offenflächen hindeuten. Palynologisch bemerkenswert ist allgemein ein relativ konstanter Anteil von Eiche (*Quercus* sp.) und Waldkiefer (*Pinus sylvestris*), die im Fundspektrum der umliegenden Holzkohlemeiler nicht auftauchen. Als Erklärung dafür könnte der anatomische Aufbau und das dadurch beeinflusste taphonomische Verhalten der jeweiligen Pollenkörner dienen (z. B. die ausgeprägte Flug- und Schwimmfähigkeit von Kieferpollen), die zu ihrer höheren Verbreitung führen.

Abb. 25: Kartierung der im ArchaeoMontan-Projekt 2018 und im ArchaeoForest-Projekt (Profile 1 und 2 sowie Meilerplattformen OFD-03/1/1 und OFD-03/1/2) untersuchten Befundarten an der Fundstelle „Faule Pfütze“ in der Pilotregion Bärenburg-Oberfrauendorf, Lkr. Sächsische Schweiz-Osterzgebirge. (© Klaus Cappenberg, Landesamt für Archäologie Sachsen)



Pilotregion Bärenburg-Oberfrauendorf (Abb. 1, OFD-03 „Faule Pfütze“)

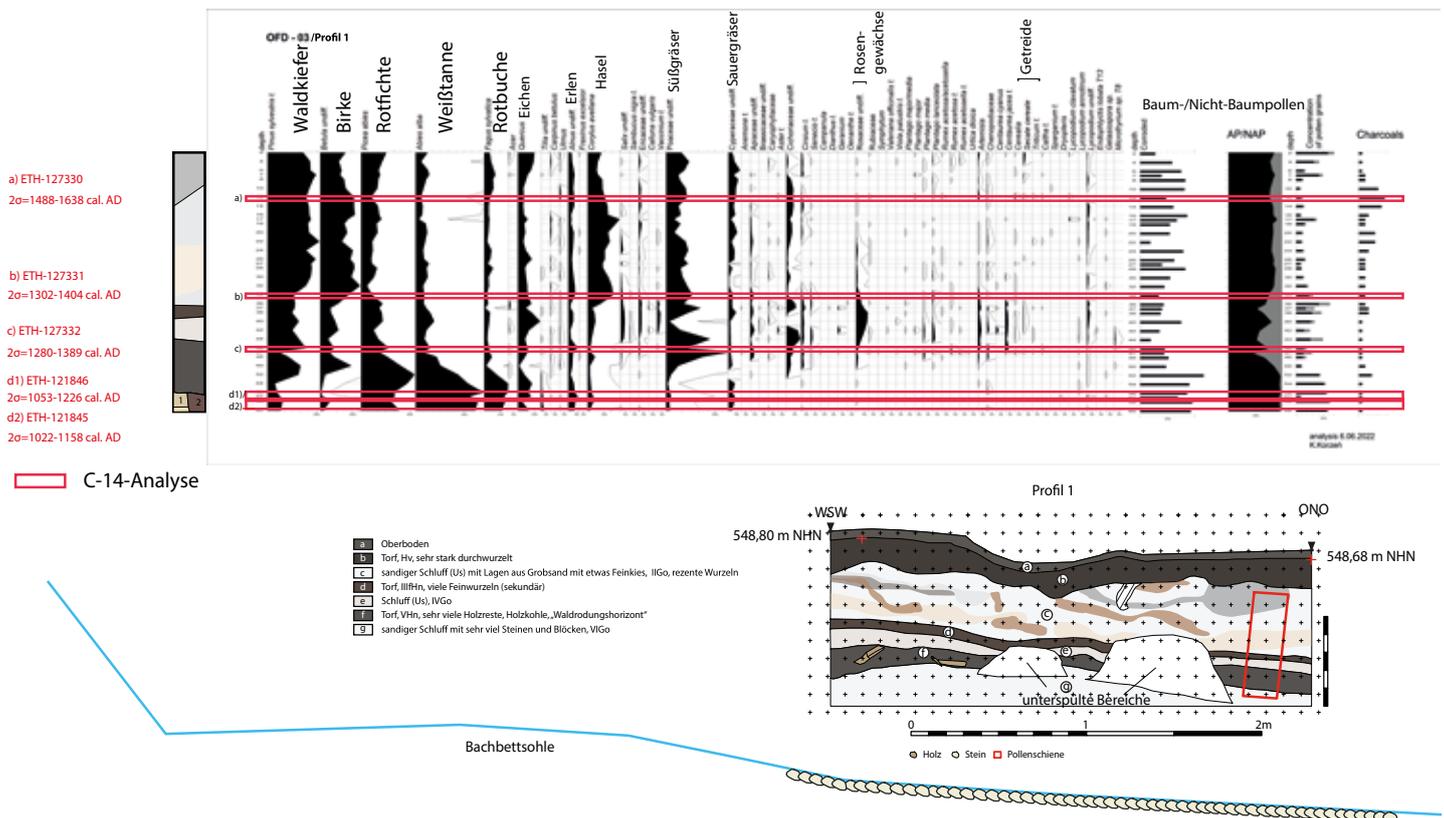
Der die Pilotregion Bärenburg-Oberfrauendorf von Süden nach Norden durchlaufende Brießnitzbach (Gemarkung Oberfrauendorf) ist ein etwa 7 km langer Zufluss der Müglitz. Der Bach entspringt auf 617 m ü. NHN in einem bewaldeten Plateaubereich östlich von Schmiedeberg und mündet auf 320 m ü. NHN in Glashütte in die Müglitz (Abb. 25). Im Bereich der Profile 1 und 2 auf 549 m ü. NHN an der „Faulen Pfütze“ teilt sich der Bachlauf in eine Vielzahl von Quelllästen auf. Das Tal ist in nahezu der gesamten Länge als Sohlenkerbtal ausgebildet, mit geringer Sohlenbreite im Bereich der Profile (ca. 30-40 m) und größerer Sohlenbreite im Bereich von Glashütte (ca. 70-100 m). Unweit der Profile befindet sich bachaufwärts ein Damm, der den Teich der „Faulen Pfütze“ aufstaut. Der Oberlauf ist vollständig bewaldet, der Unterlauf im Bereich von Glashütte stark überbaut. Zwei historische Wassermühlen sind am Bach in Glashütte überliefert. Voruntersuchungen durch das ArchaeoMontan-Projekt haben eine in historischen Quellen vermutete Siedlungswüstung bestätigt. Die lokale Geologie wird durch Granit dominiert, während in der näheren Umgebung auch Ryolith ansteht. Die Böden im Talbodenbereich sind als Auengley aus fluvilimnogenem kies-führendem Lehm über periglaziärem Sandkies und als Podsol-Pseudogley in periglaziären Verwitterungsdecken kartiert. In der Umgebung dominieren Braunerden und Podsole aus lössarmen periglaziären Verwitterungsdecken. Der untersuchte Stand-

ort ist bewaldet. Die Klimadaten zeigen ein Jahresmittel der Temperatur von 6,5 °C und einen mittleren Jahresniederschlag von 969 mm.⁶³ Im Rahmen des ArchaeoMontan-Projektes 2018 wurden an dieser Fundstelle auch anthrakologische sowie makrobotanische und palynologische Untersuchungen durchgeführt. Die seinerzeit daraus gewonnenen Ergebnisse führten bereits zu wesentlichen landschafts- und vegetationskundlichen Aussagen, auf die im Weiteren Bezug genommen wird.⁶⁴

Untersuchungen zur regionalen Vegetations- und Landschaftsgeschichte

Darauf aufbauend wurden zwei weitere Profile an dieser Fundstelle aufgeschlossen, aus denen zwei Stechkästen zur palynologischen und makrobotanischen Analyse entnommen wurden (Abb. 25, OFD-03, Pr. 1 und 2). Der Aufschluss der Profile 1 (vertikal) und 2 (horizontal) erfolgte etwa 50 m bachabwärts des Biotopes „Faule Pfütze“ auf der nördlichen Bachseite im Bereich eines natürlichen Uferschnitts, der sich für den Nachweis makrobotanisch-palynologischer Archive als sehr geeignet erwiesen hat. In Profil 1 wurde eine 1,10 m mächtige Sequenz mit Wechsellagen lehmig-schluffiger alluvialer Sedimente und fluviatiler Sande aufgeschlossen (Abb. 26 unten). An der Basis der alluvialen Sedimente und in einer Tiefe von 0,50 m traten dünne Lagen aus Seggentorf auf. Hier zeigte sich bereits im pollenanalytischen Überblick der Baumpollensummen und Mikroholzkohlen,

Abb. 26: Profil 1 an der Fundstelle „Faule Pfütze“ (OFD-03), Pilotregion Bärenburg-Oberfrauendorf, Lkr. Sächsische Schweiz-Osterzgebirge. Wie bei Profil 100 (Abb. 23) ist auch hier palynologisch ab dem späten Mittelalter ein starker Rückgang des ursprünglichen hochmittelalterlichen Weißtannen-Buchenwaldes erkennbar. Ebenfalls nehmen die Pionierbaumarten wie Waldkiefer und Birke sowie die Süßgräser stark zu. Archäologisch und historisch ist für diesen Zeitraum die nahe gelegene und zeitgleiche Siedlung Hoenwalde nachgewiesen. (© Katarzyna Korzeń, Kraków, Knut Kaiser, Geoforschungszentrum Potsdam, Stefan Johl, Klaus Cappenberg, beide Landesamt für Archäologie Sachsen)



die wechselnde Anteile aufwies, das Erkenntnispotenzial für landschaftsgeschichtliche Entwicklungen. Denn im unteren Bereich der Schichtenabfolge und bis in eine Tiefe von 0,61 m deuten der höhere Anteil an Baumpollen und die makrobotanischen Reste von signifikanten Baumarten auf das Vorherrschen eines genutzten Waldes hin. Die Sedimente oberhalb von 0,61 m zeigen hingegen mit einem Einbruch der Baumpollensumme, einem Anstieg der Mikroholzkohle und einem Rückgang von makrobotanischen Standortindikatoren des Waldes einen drastischen Rückgang des Waldes an.

Die Schichten in der Pollenschiene/Steckkasten von Profil 1 (Abb. 26 oben) datieren zuunterst bei 58-60 cm Tiefe⁶⁵ 1022-1158 cal. AD; die zuoberst gewonnene ¹⁴C-Datierung liegt bei 12-13 cm unter Oberkante der Pollenschiene und datiert 1488-1638 cal. AD. Die frühesten ¹⁴C-Proben d2 und d1 liegen z. T. auf ähnlicher Höhe, unterscheiden sich jedoch durch die Lage in einer mineralischen Bodenschicht (Probe d2), die von einer torfigen Bodenschicht (Probe d1) überdeckt wird. Insgesamt wurden fünf ¹⁴C-Proben analysiert, die die stratigrafische Integrität des Profils belegen. Im Ergebnis decken die Pollenproben einen Zeitraum vom frühen Hochmittelalter bis in die Frühe Neuzeit ab (Abb. 26 unten), woraus sich grob vier Vegetationsphasen aufzeigen lassen.

Die erste Phase (Tiefe = 60-46 cm) deckt den Zeitraum vom 11. Jahrhundert bis in das späte 14. Jahrhundert ab (möglicherweise aber auch schon das Ende des 13. Jahrhunderts) und zeigt einen Rückgang des Klimaxwaldes, also des „Urwaldes“, im Sinne eines Pollenrückgangs von Fichte (*Picea*) und Tanne (*Abies*) sowie Buche (*Fagus*).⁶⁶ Die Süßgräser (Poaceae) als Offenlandanzeiger steigen gegen Ende dieser Phase stark an, wie auch das Verhältnis von AP/NAP (Baumpollen/Nicht-Baumpollen) zeigt. In der zweiten Phase (Tiefe = 45-35 cm), grob datiert in das 14. Jahrhundert, zeigt sich eine leichte Zunahme von Pionierbaumarten wie Kiefer (*Pinus*) und Birke (*Betula*). Die Baumarten des ursprünglichen Klimaxwaldes werden durch ein niedrig bleibendes Pollenniveau angezeigt. Die Süßgräser (Poaceae) verhalten sich dynamisch, auf insgesamt hohem Niveau. Hinzu treten die für diese Phase charakteristischen Rosengewächse (Rosaceae), die u. a. auch Obstbaumarten (Apfelbaum) zugewiesen werden können. Auch treten in dieser Phase die Pollen von Roggen (*Secale cereale*) und Weizen (*Triticum*) sowie allgemein von Getreidepollen deutlich verstärkt auf und sind damit eindeutig als auf Ackerbau zurückzuführenden Niederschlag zu sehen, der sich gut mit der historischen Überlieferung der 1404 ersterwähnten Siedlung *Hoewalde* erklären lässt. Das Verhältnis von Baum- zu Nicht-Baumpollen erreicht hier zugunsten der Nicht-Baumpollen sein profilweites Maximum. Es ist also von ausgedehntem Offenland in ackerbaulicher Nutzung auszugehen, möglicherweise einhergehend mit der Existenz eines Waldhufendorfes. Die dritte Phase (Tiefe = 35-12 cm) erstreckt sich potenziell innerhalb eines Zeitraums vom beginnenden 15. Jahrhundert bis ins erste Drittel des 17. Jahrhunderts. Es zeigt sich eine starke Zunahme der Pionierbaumarten, jetzt auch zusätzlich durch die Hasel (*Corylus*) gestützt. Die Klimaxbaumarten bleiben auf niedrigem Niveau, die Süßgräser (Poaceae) gehen deutlich zurück. Getreidepollen treten nur noch vereinzelt auf. Es ist hier von einem Offenlassen der Siedlung und von einer Wiederbewaldung durch Pionierbaumarten auszugehen. Die vierte Phase (Tiefe = 12-2 cm) ist in den weitgefassten Zeitraum etwa 17.-20. Jahrhundert zu legen und zeigt eine Persistenz der Pionierbaumarten mit einer leichten Zunahme der Fichte (*Picea abies*). Hierin könnte der Beginn einer Wiederaufforstung zu sehen sein. Die Anteile der Mikroholzkoh-

len zeigen ihr Maximum in Phase 3, hier ist mit extensiver Köhlerei zu rechnen.

Lokale Vegetations- und Landnutzungsentwicklung

Die Ergebnisse in der Projektregion Hohwald/Oberfrauendorf lassen sich gut mit denen der archäologischen, sedimentologischen und palynologischen Untersuchungen im ArchaeoMontan-Projekt in Einklang bringen. Als neue palynologische Erkenntnis dürfte die vorsiedlungszeitliche Köhlereinsatzung des Geländes um die „Faule Pfütze“ gelten, obgleich kein entsprechend datierendes Meilerspektrum dies untersetzen kann. Sowohl im Geländemodell als auch in den botanischen Untersuchungen (Anthrakologie, Makrobotanik und Palynologie) zeigen sich deutlich menschliche Aktivitäten, die sich sowohl mit Waldwirtschaft (Köhlerei) als auch Landwirtschaft und Siedlungstätigkeit (historisch überlieferte Wüstung *Hoewalde*⁶⁷) in Einklang bringen lassen. Außerdem ist im Pollenprofil 1 der Übergang vom Klimaxwald „Urwald“ (in der Zusammensetzung Tanne-Buche-Fichte) zum Wirtschaftswald (Pionierbaumarten Kiefer, Birke und Fichte) fassbar.

Der Meilerplatz OFD-03/1-2 sowie die Meilerplätze OFD-01, 423, 424 und 549 aus den früheren Untersuchungen (Abb. 25) konnten aufgrund indifferenter bzw. keiner Datierung nicht weiter in die Überlegungen einbezogen werden. Dies betrifft auch eine Reihe von Meilerplatzuntersuchungen in der Nähe von Schmiedeberg (vgl. Abb. 5). Dennoch ergeben sich Hinweise auf die ultralokale Entwicklung des Baumbestandes im Spätmittelalter und dem ausgehenden 17./18. bzw. 19./20. Jahrhundert. Wie in den anderen Pilotregionen auch, unterscheidet sich die Holzkohlezusammensetzung der Meilerplätze des Mittelalters von denen darauffolgender Epochen in ihrer Quantität. So liegt im Untersuchungsgebiet bei Schmiedeberg ein spätmittelalterliches Holzartenspektrum vor, das stark von Buche (*Fagus*) dominiert wird (vgl. auch den Meilerplatz SNF-02/6/1) und nur sehr geringe Anteile anderer Laubbaumarten wie Weide (*Salix*)/Pappel (*Populus*) oder Hasel (*Corylus*) und sehr wenig Weißtanne (*Abies alba*) aufweist. Anders als um die „Faule Pfütze“ und auch in allen anderen Pilotregionen fehlen hier aber Meilerplätze für die Frühe Neuzeit. Dies ist bemerkenswert, da für Schmiedeberg für das Spätmittelalter und die Frühe Neuzeit Metallverarbeitung belegt ist, ergo ein entsprechend großer Holzkohlebedarf angenommen werden darf.⁶⁸ In die zweite Hälfte des 17. Jahrhunderts und bis möglicherweise in das 20. Jahrhundert hinein lassen sich dann etliche Meilerplätze datieren, die stark von Nadelholz dominiert sind – wie für diese Zeit auch in den anderen Pilotregionen. Für die hier vorgestellte Pilotregion sind die relativ hohen Anteile von Kiefer (*Pinus*) signifikant, die unter Umständen als Pionierbaumart auf starken Holzeinschlag hinweisen könnten.

Überblick zu den Ergebnissen der Projektpartner

Die Forschungen des Projektpartners vom Institut für Botanik und Landschaftsökologie der Universität Greifswald (Arbeitschwerpunkt Dendroklimatologie und historische Waldökologie) konzentrierten sich auf die Aussagemöglichkeiten der montanarchäologischen Hölzer aus den Bergwerken von Dippoldiswalde und Niederpöbel, um mit deren Hilfe Rückschlüsse auf die klimatischen Bedingungen des hochmittelalterlichen Waldes zu

ziehen. Neben den Jahresringen wurde dafür in einer 100 Bergbauhölzer umfassenden Versuchsreihe deren maximale Spätholzdicke untersucht, da diese vor allem bei Nadelhölzern als robuster Indikator für Sommertemperaturen gilt. Zudem wurden im Rahmen des Projektes auch Untersuchungen an rezenten Tannen- und Fichtenbeständen im Erzgebirge durchgeführt, die zeigten, dass auch hier die Ausbildung der Jahrringstruktur primär temperaturgesteuert ist.⁶⁹

Daher konnten diese rezenten Bestände entsprechend ihrer Nähe zu den Fundorten der archäologischen Hölzer als Referenz zur Kalibrierung genutzt sowie für beide Datensätze (Tanne/*Abies*, Fichte/*Picea abies*) belastbare Modelle generiert werden. Die rekonstruierten Temperaturverläufe belegen, dass es in der Untersuchungsregion im 12./13. Jahrhundert Phasen gab, die hinsichtlich der August-September-Temperatur vergleichbar mit dem Mittel des 20. Jahrhunderts waren. Sie belegen somit temperaturbedingte Gunstperioden für das Erzgebirge entsprechend der mittelalterlichen Klima-anomalie. Doch müssen die Ergebnisse mit Vorsicht interpretiert werden, da sich der Zeitraum und die Intensität der Warmphasen in den beiden Rekonstruktionen konträr abzeichnete. Die Tannenchronologie wies eine Warmphase Ende 11./Anfang 12. Jahrhundert auf, die Fichtenchronologie lieferte Hinweise auf eine Gunstperiode Ende 12./Anfang 13. Jahrhundert. Betrachtet man die Modelle jedoch im regionalen Geschehen, so scheint die auf den historischen Fichtenproben basierende Zeitreihe die klimatischen Gunstbedingungen für das Siedlungs- und Bergbaugeschehen in Dippoldiswalde am Ende des 12. Jahrhunderts und in Niederpöbel etwa zwischen 1180 und 1240 zu zeichnen. Die Diskrepanz der beiden Zeitreihen konnte im Projekt nicht abschließend geklärt werden, hier sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Aufgrund der besonderen Lagerungsbedingungen unter Tage und eines teils schlechten Erhaltungszustandes war die Aufbereitung der archäologischen Holzfundstücke für die Dichtemessung sehr anspruchsvoll. Daher wurde in Greifswald eine Verfahrensweise entwickelt, welche die Proben von postsedimentären metallischen Einlagerungen befreit. Jedoch konnte eine gewisse Verzerrung der Dichtemessung durch variierende Zersetzungsgrade der Proben nicht immer verhindert werden. Zur weiteren Validierung der Zeitreihen ist daher eine Erweiterung der vorhandenen Chronologien mit zeitlichem Anschluss an die modernen Datensätze, die Kombination mit den Jahrringbreiten als zusätzlicher Nachweis und der Abgleich mit überregionalen Jahrring- und Multiproxy-Rekonstruktionen zu empfehlen.

Insgesamt liefert die Studie nicht nur Erkenntnisse über vergangene Klimabedingungen, sondern auch wichtige Informationen über das Wachstumsverhalten und die Klimasensitivität moderner Waldbestände im Erzgebirge. Die Empfehlungen zur Auswahl von Pflanzungen unter prognostizierten klimatischen Bedingungen verdeutlichen die praktischen Anwendungen dieser Forschung. Beispielsweise sollten die Standorte für Weißtannepflanzungen mit Bedacht gewählt werden. Neben den absoluten Zuwachsraten und der Frosttoleranz spielt mehr und mehr die Trockenheitsresistenz bei der Auswahl eine wichtige Rolle, um stabile Bestände zu formen.

Der Projektpartner vom Kompetenzzentrum Wald und Forstwirtschaft beim Staatsbetrieb Sachsenforst hatte die Aufgabe übernommen, aus den im Projekt generierten und bereits vorhandenen Daten Habitatmodelle für die jeweiligen Baumarten zu entwickeln und sich daraus ergebende Anbauempfehlungen für einen klimaangepassten Wald abzugeben.⁷⁰

Grundsätzlich ist die Aussagekraft der gegenwärtig gegebenen Kombination der Verbreitungsgebiete der osterzgebirgischen Baumarten mit den klimatischen Parametern einer Klimanormalperiode (in der Regel 1971-2000) aufgrund nur spärlich vorhandener Datenquellen sehr eingeschränkt. Mit Blick auf die allgemeinen standörtlichen Parameter ist daher auch die Dynamik der Baumarten in den bisherigen Artverbreitungsmodellen nicht oder nur teilweise fassbar.

Der Informationswert entsprechender Artverbreitungsmodelle wird sich erst mit einer fortlaufenden Aktualisierung der klimatischen Rahmenwerte verbessern. Voraussetzung dafür ist, dass sich die Verbreitungsgebiete der Baumarten nach den jüngsten Trockenheiten und wärmeren Klimaperioden ändern oder konstant bleiben und deren klimatische Grenzen eindeutiger bestimmt werden können. Diese dienen dann als Ausgangspunkt für die Selektion angepasster Verjüngungen und Nachkommenchaften innerhalb der Population.

Aus forstwirtschaftlicher Sicht ist die Populationsgröße der Baumart und deren genetische Vielfalt ein wichtiger Aspekt zur Beurteilung der Anpassungsfähigkeit. Durch die historische Übernutzung unserer Wälder ist in Mitteleuropa die ursprüngliche Baumartenzusammensetzung stark in ihrem natürlichen Habitat fragmentiert. So ist das Restvorkommen der Weißtanne (*Abies alba*) in Sachsen das perfekte Beispiel für voneinander isolierte und reduzierte Populationen, die in ihrer Genetik verarmt sind.⁷¹ Bei weitverbreiteten Baumarten wie Tanne (*Abies*) oder Buche (*Fagus*) können die Artverbreitungsmodelle jedoch nach der genetischen Differenzierung der Art durchaus unterschieden werden. Es zeigt sich, dass die in Artverbreitungsmodellen verwendeten klimatischen Parameter und Indizes vielfältig sind und neben Trockenheit oder Temperatur u. a. pflanzenphysiologische, ökologische, boden- bzw. standortbezogene Faktoren eine Rolle spielen. Daher können Artverbreitungsmodelle nur sinnvoll innerhalb bestimmter Rahmenwerte betrachtet werden, welche durch physiologische Eigenschaften der Baumarten, beispielsweise die Trockenheitsresistenz, limitiert sind, denn Baumarten besitzen sehr unterschiedliche Strategien und Anpassungen im Umgang mit Trockenstress.

In den Pilotregionen setzten in den letzten beiden Jahrzehnten erstmalig Verschiebungen im Ökogramm ein, welche im dokumentierten 800-jährigen Zeitraum nicht auftraten. Insofern tritt an die Stelle der unmittelbaren direkten Einflussnahme durch den Menschen nun eine neue, indirekte Beeinflussung durch den Klimawandel. Die Ergebnisse legen jedoch nahe, dass eine Prognose zukünftiger Vorkommen wiederum weniger mit den klimatischen Verhältnissen zusammenhängen müssen, als mit der Art und Weise, wie die Forstwirtschaft mit zukünftigen Störungen umgehen wird.

Nach der Übernutzung und den Standortdegradationen zwischen den mittelalterlichen Rodungen war es der Nadelholzanbau als Konzept einer geregelten Forstwirtschaft. Daran wurde auch nach den beträchtlichen Kahlschlägen nach dem Zweiten Weltkrieg bis zu den Immissionsschäden auf den Kammlagen des Erzgebirges festgehalten. Seither restituiert der Waldumbau ganz grob die frühmittelalterliche Baumartenverteilung durch den Voranbau mit Weißtanne (*Abies alba*) und Rotbuche (*Fagus sylvatica*), der in den letzten Forsteinrichtungsdaten von 2013 anteilig deutlich wird, sich jedoch noch weitgehend im Unterstand verbirgt.

Die systematische Aufarbeitung von Forsteinrichtungsdaten, insbesondere die der ersten Forsteinrichtungen nach Gründung

der Forstlichen Hochschule Tharandt im Jahr 1811, enthält die im Erzgebirge vorkommende Baumartenverteilung vor dem konsequenten Anbau von Fichte (*Picea abies*) und Kiefer (*Pinus*) in Sachsen. Im Vergleich mit heutigen Baumartenverteilungen lassen sich damit Waldgebiete mit hoher oder geringer Bestockungskonstanz erkennen. So blieb die Baumartenzusammensetzung in der Pilotregion Bärenstein trotz intensiver Nutzung vergleichsweise konstant mit hohen Anteilen an Buchen (*Fagus*) und Weißtannen (*Abies alba*).

Für die Forstwirtschaft ergeben sich nur leichte Anpassungen an die waldbaulichen Zielstellungen. Das Erreichen der Vorkommensgrenzen der Baumarten Fichte (*Picea abies*), Buche (*Fagus*) und Tanne (*Abies*) ist in der letzten Anpassung der dynamischen Klimastufen für Sachsen inkludiert. Mit den im Projekt erzielten Erkenntnissen der Projektpartner Landesamt für Archäologie Dresden und Universität Greifswald wurden jedoch die der Anpassung zugrunde gelegten Parameter mithilfe der Untersuchungen zur Spätholzdichte, historischen Waldentwicklung oder ultralokalen Standortbestimmung erweitert bzw. bestätigt. Kon-

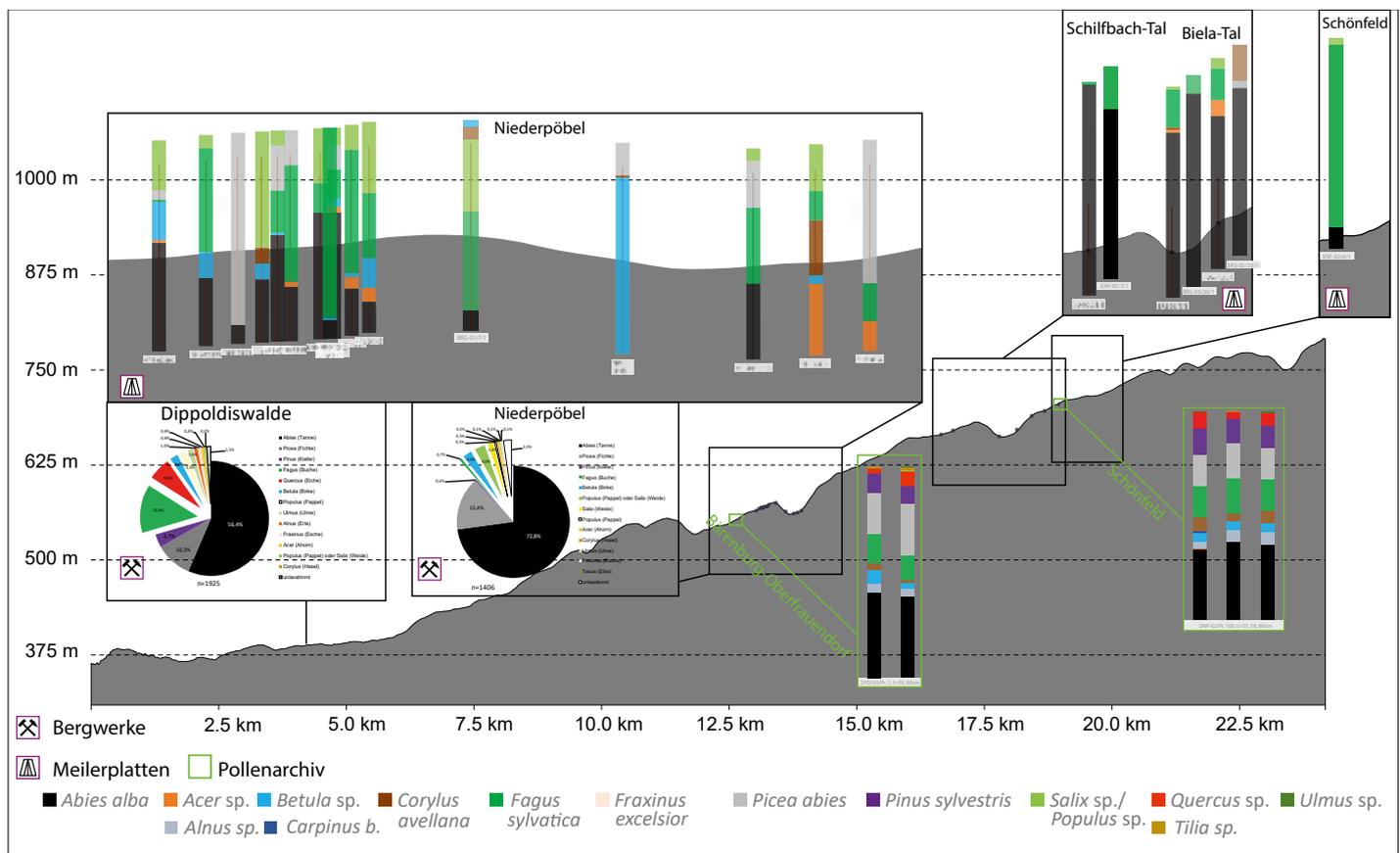
kret wird Sachsenforst den Anteil an Weißtanne (*Abies alba*) an entsprechenden Standorten von 10 % auf 20 % erhöhen.

Vorläufige Erkenntnisse

Im Rahmen des ArchaeoForest-Projektes konnte in den Pilotregionen für die Wälder des Osterzgebirges die mittelalterliche Baumartenzusammensetzung im Verlauf des Höhen- und Klimagradienten der Nordabdachung des Erzgebirges mithilfe verschiedener Quellen und Untersuchungsmethoden bestimmt werden. Als Datenlieferanten dienten Holzkohlemeiler, Grubenhölder und Pollenarchive des Hoch- und Spätmittelalters, die die historische Vegetation lokal bis regional abbilden. Eine Zusammenstellung der wichtigsten Ergebnisse soll grafisch dargestellt werden (Abb. 27). Sie zeigt die hoch- und spätmittelalterlichen Vegetationsspektren der untersuchten Hölzer aus den Bergwerken in Dippoldiswalde und Niederpöbel sowie die Holzkohlemeilerplattformen und Pollenarchive in den Pilotregionen vor

Abb. 27: Grafische Zusammenstellung der für das Mittelalter beobachteten Projektergebnisse. Entlang eines Höhenprofils durch das Projektgebiet reihen sich die Artenspektren auf Basis von Holzkohlen (überwiegend Holzkohlemeiler, vereinzelt Siedlungsbefunde), Feuchthölzern (Bergwerke) und Pollen (alluvial-kolluvial entstandene Pollenarchive) auf. Unter den Bergwerkshölzern dominieren Nadelhölzer wie Weißtanne und Rotfichte, wobei ihr Anteil im höhergelegenen Niederpöbel größer ist. Anthrakologisch ist dies ebenfalls mit dem Anstieg des Anteils von Weißtanne in den Meilern bei zunehmender Höhe zu beobachten. Allein im Meilerspektrum bei Schönfeld im „Vorderen Grünwald“ ist eine deutliche Dominanz der Rotbuche zu beobachten, trotz der Höhe von etwa 700 m NHN und trotz palynologisch erkanntem geringeren Anteil von Buchenpollen. Eine mögliche Erklärung könnte eine gezielte Produktion hochwertiger Buchenholzkohlen für die nahegelegene Bergbausiedlung „Vorderer Grünwald“ sein. Insgesamt zeigt sich entlang des Höhenprofils eine dendroökologisch begründete Verschiebung zugunsten der Nadelbäume. Allen Untersuchungsmethoden gemein sind die historisch hohen Anteile der Weißtanne, die heute aus dem Osterzgebirge nahezu verschwunden ist. (© K. Cappenberg, Landesamt für Archäologie Sachsen, M. Korczyńska-Cappenberg, Kraków)

Artenspektren von Grubenhölzern des 12. - 13. Jh., Meilerplattformen des 12. - 15. Jh. sowie Pollenarchiven des 11. - 12. Jh. im Höhenverlauf des Osterzgebirges und den Pilotregionen von ArchaeoForest



dem Hintergrund der Nordabdachung des Osterzgebirges von Nord nach Süd. Die Grafik bietet einen gemittelten Höhen transekt durch die Projektregionen (Abb. 1). Für die Region Altenberg-Rehefeld konnten für das hohe und späte Mittelalter keine Vegetationsarchive nachgewiesen werden. Insgesamt ergeben sich Höhenlagen von etwa 375 m ü. NHN bis ca. 750 m NHN auf einer Profillänge von etwa 23 km. Die Verteilung der Baumarten innerhalb der Bergwerkshölzer sind als Kreisdiagramme nebeneinander gestellt (vgl. auch Abb. 4), die Spektren aus den Meilerplätzen und Pollenbeprobungen als Säulendiagramme dargestellt. Der größere Anteil der Baumartenspektren wird von der Weißtanne (*Abies alba*) und der Rotbuche (*Fagus sylvatica*) dominiert. Mit zunehmender Höhe ist ein steigender Anteil von Nadelhölzern (Weißtanne und Rotfichte, zu geringeren Anteilen auch Waldkiefer) in den jeweiligen Stichproben zu beobachten. Auch der Vergleich der beiden Holzinventare aus Dippoldiswalde und Niederpöbel zeigt eine deutliche Verschiebung des Nadelholzanteils bei einer Höhenzunahme von gut 300 m. Da für die Pilotregion Dippoldiswalde keine Meilerplattformen untersucht werden konnten, kann diese Tendenz nicht weiter untersetzt werden. Eine eher heterogene Baumartenverteilung, vor allem auch von Laubbaumarten, tritt auf den mittelalterlichen Meilerplätzen der Pilotregion Niederpöbel auf. Dies steht im deutlichen Unterschied zu den Feuchthölzern der dortigen mittelalterlichen Gruben. Möglicherweise steht dies im Zusammenhang mit einer bewussten sachsenspezifischen Auswahl von Holzarten im Rahmen ihrer jeweiligen Funktion. Gleichwohl enthalten die meisten der dortigen Meilerplatzspektren auch Weißtanne (*Abies alba*) oder Fichte (*Picea abies*), jedoch zu geringeren Anteilen, als es das Feuchtholzspektrum von unter Tage vermuten lassen würde. Deutliche Anteile von Pionierbaumarten wie Birke (*Betula*), Hasel (*Corylus*) oder Weide (*Salix*)/Pappel (*Populus*) im anthrakologischen Spektrum verweisen auf eine intensive Nutzung des Gebietes im Rahmen der Köhlerei. Das nur etwa 4 km nordöstlich der Pilotregion Niederpöbel gelegene Pollenprofil (Abb. 25-26, OFD-03) an der „Faulen Pfütze“ in der Pilotregion Bärenburg-Oberfrauendorf (Abb. 1) ist in der Verteilung der Baumpollen mit den Meilerspektren der Region Niederpöbel vergleichbar. Hingegen konnten in dieser Region (Abb. 1) keine mittelalterlichen Holzkohlemeilerplattformen nachgewiesen werden. Diese Lücke wird dort durch das Pollenprofil (Abb. 26) geschlossen. Für das Mittelalter wurden Pollenanteile bei 35 % Weißtanne (*Abies alba*), 25 % Fichte (*Picea abies*), 10 % Buche (*Fagus*) und 10 % Kiefer (*Pinus*), gefolgt von marginalen Resten an Hasel (*Corylus*), Birke (*Betula*), Erle (*Alnus*) und Ahorn (*Acer*) ermittelt.

Dem Höhenverlauf folgend, schließen sich die spätmittelalterlichen Meilerplätze der Pilotregion Bärenstein (Abb. 1) mit den beiden untersuchten Bachtälern am Schilfbach und an der Biela an. Hier dominiert die Weißtanne sehr deutlich die beobachteten Baumartenverteilungen, zumeist ergänzt durch wesentlich geringere Anteile von Rotbuche (*Fagus sylvatica*). Eine hochmittelalterliche Meilerplattform schließt sich danach für den Raum Schönfeld auf gut 650 m Höhe an. Deren Baumartenzusammensetzung stellt sich quasi invertiert dar und wird deutlich von der Rotbuche (*Fagus sylvatica*) dominiert; sie enthält nur geringe Anteile von Weißtanne (*Abies alba*). Das benachbarte, am Pöbelbach gelegene Pollenprofil (drei dargestellte Pollenproben) in dieser Region ähnelt dem kontemporären Pollenprofil von der „Faulen Pfütze“. Für das regionale Umfeld der Pilotregion Schönfeld lässt sich damit ein Anteil von etwa 35 % Weißtanne (*Abies alba*) und jeweils von 15 % Fichte (*Picea abies*) und Buche (*Fagus*) so-

wie von 10 % Kiefer (*Pinus*) feststellen. Die Kiefer (*Pinus*) dürfte allerdings bei beiden betrachteten Pollenarchivstandorten aufgrund ihrer botanischen und anatomischen Eigenschaften überrepräsentiert sein. Der Rest der Baumarten verteilt sich wiederum auf sehr marginale Anteile von Erle (*Alnus*), Birke (*Betula*) und Ahorn (*Acer*). Marginale Unterschiede lassen sich nur beim Anteil der Hasel (*Corylus*) erkennen und allenfalls bei einem nur geringfügig geringeren Anteil von Fichte (*Picea abies*). Ob aus den divergierenden Haselanteilen stärkerer regionaler Holzeinschlag, gefolgt von Pionierbaumarten geschlussfolgert werden darf, ist fraglich. Zu beachten ist dabei eine räumliche Unschärfe der Quellengattung Pollen, die im Gegensatz zu den Meilerplätzen kein ultralokales, sondern ein mehr regionales Vegetationsbild liefert (siehe oben).

Zusammenfassend konnten mithilfe der Quellen Bergbauhölzer, Holzkohlemeiler sowie Pollenprofile und den Untersuchungsmethoden Archäologie, Dendrologie und Chronologie, Anthrakologie, Palynologie und ¹⁴C-Methode für repräsentative Regionen des Osterzgebirges ein hochmittelalterliches Waldbild rekonstruiert werden. Dies setzt sich aus hohen Weißtannen- und Buchen- sowie geringen Fichtenanteilen zusammen. Lokale Unterschiede zeigen sich aus räumlich-klimatologischen Gründen sowie durch einsetzende menschliche Beeinflussung, etwa Auflichtungseffekte, die schnell durch die Pioniergehölze Birke (*Betula*) oder Kiefer (*Pinus*) genutzt werden. Der osterzgebirgische „Urwald“ oder „Miriquidi“ bestand also zur Zeit der sogenannten mittelalterlichen Warmphase im Hochmittelalter als Buchen-Tannen-Fichtenwald.

Danksagung

Wir möchten uns bei dem Team von ArchaeoForest am Landesamt für Archäologie Sachsen (Johannes Groß M. A., Heide Hönig, Stefan Johl B. A., Reinhard Kappler, Dr. Christoph Lobinger, Dipl.-Ing. (FH) Frank Schröder, Dipl.-Arch. M. Schubert) sowie Dr. Dirk-Roger Eisenhauer, Dr. Sven Martens, Anke Exner M. A. und Paul Gebert M.Sc. (Projektpartner Staatsbetrieb Sachsenforst), Svenja Ahlgrimm M.Sc. und Dr. Tobias Scharnweber (Projektpartner Universität Greifswald) sowie Dr. habil. Knut Kaiser (Geoforschungszentrum Potsdam) sehr herzlich bedanken. Für die Durchführung der naturwissenschaftlichen Analysen danken wir: Dr. Christoph Herbig (Rodenbach, Makrobotanik), Dr. Irka Hajdas (ETH Zürich, ¹⁴C-Datierungen), Dr. Katarzyna Korzeń (Kraków, Pollenanalyse), Dipl.-Biol. Tatjana Quednau (Freiamt, Anthrakologie). Für ihre Unterstützung und Mitarbeit am Projekt: Dipl.-Restauratorin Liane Albrecht-Kramer, Andree Forßbohm, Sabrina Fuchs B. A., Dipl.-Restauratorin (FH) Franziska Frenzel-Leitermann, Stefanie Meier M. Sc., Dipl.-Ing. (FH) Christof Schubert (alle Landesamt für Archäologie Sachsen), Dr. Johann Friedrich Tolksdorf (Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege) und Marta Korczyńska-Cappenberg M. A. (Kraków) sei herzlich gedankt.

Anmerkungen

- 1 Hemker et al. 2016.
- 2 Hemker et al. 2013.
- 3 Schubert et al. 2018.
- 4 Hemker 2018.
- 5 Tolksdorf 2018.

- 6 Der umfassende Abschlussbericht des Projektpartners LfA ist unter folgendem Link abrufbar: <https://www.fnr.de/ftp/pdf/berichte/2218WK20B4.pdf>.
- 7 Nelle et al. 2015, S. 137.
- 8 Tolksdorf et al. 2015.
- 9 Tolksdorf 2018, S. 35 f., 84-96, 101-108.
- 10 Demnächst dazu Neubauer 2025; Hemker et al. 2016.
- 11 Schröder 2015.
- 12 Hemker/Cappenberg 2022.
- 13 Hemker/Cappenberg 2022.
- 14 Lamb 1965; Diaz et al. 2011.
- 15 Hemker/Cappenberg 2022.
- 16 Zuletzt Hemker/Schubert 2022, S. 46-55.
- 17 Malek-Custodis/Drechsler 2022.
- 18 CDS II 13: H. Ermisch (Hg.): Urkundenbuch der Stadt Freiberg in Sachsen, II. Band: Bergbau, Bergrecht, Münze (Leipzig 1886). Codex diplomaticus Saxoniae regiae, II 13, III, Nr. 43.
- 19 Übersetzung von Lena Asrih (Asrih 2017, S. 92).
- 20 Neubauer 2025.
- 21 Vgl. Nelle 2002, S. 196, 200.
- 22 Light Detecting and Ranging.
- 23 Kaiser et al. 2021.
- 24 Tolksdorf 2018, S. 83-94.
- 25 Exner 2018.
- 26 Kienitz 1936.
- 27 Burghardt/Tolksdorf 2018.
- 28 Vgl. Standke 2003.
- 29 König et al. 2005. Wir verweisen zudem auf den Abschluss des Projektpartners Universität Greifswald: <https://www.fnr.de/index.php?id=11150&fkz=2218WK20C4> (Stand 30.04.2024).
- 30 Schweingruber 1976.
- 31 Z. B. Kaiser et al. 2023.
- 32 Cappenberg et al. 2020, S. 180, Abb. 5.
- 33 QGIS: <https://www.qgis.org/de/site/> (Stand 13.02.2023).
- 34 Qfield: <https://qfield.org/> (Stand 13.02.2023).
- 35 <https://archaeomontan.eu/news/durch-das-wilde-poebelbach-tal> (Stand 14.02.2023).
- 36 Cappenberg/Johl 2022.
- 37 Vgl. Nölken 2005, S. 42.
- 38 Nelle 2002, S. 196; Nölken 2005, S. 53-56.
- 39 Verhoeven et al. 2013; Nex/Remondino 2014.
- 40 Nach Schweingruber 1990.
- 41 Schröder 2018; Tolksdorf 2018, S. 39-58.
- 42 Berglund/Ralska-Jasiewiczowa 1986.
- 43 Stockmarr 1971.
- 44 Walanus/Nalepka 1999; Nalepka/Walanus 2003.
- 45 Jacomet et al. 1989; Cappers et al. 2006.
- 46 Kreuz/Schäfer 2015.
- 47 Oberdorfer 2001.
- 48 Schröder 2018, S. 42-44 mit Abb. 13-14; Hemker et al. 2016, S. 126-146, 141, Abb. 23.
- 49 Neuere dendrologische Untersuchungen an den Bergbauhölzern aus Dippoldiswalde bestätigen eine selektive Verwendung von Hölzern für bestimmte Funktionsgruppen wie beispielsweise Rinnen oder Fahrten (Neubauer 2025).
- 50 Grosser 2004.
- 51 Vgl. Schröder 2015; Tolksdorf et al. 2015.
- 52 Schubert et al. 2018, S. 176.
- 53 Schubert et al. 2018.
- 54 Frdl. Mitteilung M. Schubert und S. Bock, LfA Sachsen. Vgl. Schwabenicky 2002, S. 166, Abb. 4; Geupel/Hoffmann 2006, S. 184, 186.
- 55 Frdl. Mitteilung S. Bock, LfA Sachsen; vgl. Krabath 2012, S. 75.
- 56 Schubert/Herbig 2017; Schubert et al. 2018.
- 57 Vgl. Schubert et al. 2018, S. 180, Abb. 4.
- 58 Cappenberg/Johl 2022.
- 59 Frdl. Mitteilung M. Schubert und F. Schröder, LfA Sachsen.
- 60 Vgl. Clements 1936; Leuschner/Ellenberg 2017.
- 61 Eichler/Walther 2001, s. v. Seyde, S. 417 f.
- 62 Eichler/Walther 2001, S. 349.
- 63 Tolksdorf 2018, S. 83-94.
- 64 Vgl. Tolksdorf 2018, S. 86, Abb. 44 und 91, Abb. 51. Zusammenfassend auch Tolksdorf/Bertuch 2018, S. 353-343.
- 65 Im Folgenden alle Datierungen 2σ.
- 66 Vgl. Clements 1936.
- 67 Vgl. Tolksdorf 2018, S. 85 f.
- 68 Eichler/Walther 2001, s. v. Schmiedeberg, S. 368 f.
- 69 Der umfassende Projektbericht des Projektpartners Greifswald ist unter folgendem Link abrufbar: <https://www.fnr.de/ftp/pdf/berichte/2218WK20C4.pdf>.
- 70 Der umfassende Abschlussbericht des Projektpartners Sachsenforst ist unter folgendem Link abrufbar: <https://www.fnr.de/ftp/pdf/berichte/2218WK20A4.pdf>.
- 71 Cox/Moore 2005, S. 10-19.

Bibliografie

- ASRIH, Lena:
2017 „Das synt gemeyne bergrecht...“. Inhalte und Anwendung des Freiburger Bergrechts im Mittelalter (Der Anschnitt, Beiheft 36 = Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum, Nr. 221), Köthen 2017
- BERGLUND, Björn E./RALSKA-JASIEWICZOWA, Magdalena:
1986 Pollen analysis and pollen diagrams, in: Berglund, Björn E. (ed.): Handbook of Holocene Paleoeology and Paleohydrology, Chichester/Singapur 1986, S. 455-484
- BURGHARDT, Marcel/TOLKSDORF, Johann Friedrich:
2018 Paläotopographische Rekonstruktion im Bereich der Freiburger Altstadt, in: Ausgrabungen in Sachsen 6 (2018), S. 387-409
- CAPPENBERG, Klaus/JOHL, Stefan:
2022 Das Projekt ArchaeoForest: Vegetationswandel und Holznutzung im Osterzgebirge, in: Smolnik, Regina (Hg.): Ausgrabungen in Sachsen 8 (Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege, Beiheft 36), Dresden 2022, S. 272-278
- CAPPENBERG, Klaus/SCHUBERT, Matthias/HEMKER, Christiane:
2020 Landschaftsveränderungen in Montanregionen. Mindestens 900 Jahre „human impact“ im Erzgebirge, in: M. Untermann/A. Diener (Hg.): Die konstruierte Landschaft. Befunde und Funde zu anthropogenen Geländeänderungen in Mittelalter und früher Neuzeit (Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Archäologie des Mittelalters und der Neuzeit, 33), Paderborn 2020, S. 179-192
- CAPPERS, René T. J./BEKKER, Renée M./JANS, Judith E. A.:
2006 Digitale Zadenatlas van Nederland (Groningen Archaeological Studies, 4), Groningen 2006
- CLEMENTS, Fredric E.:
1936 Nature and structure of the climax, in: Journal of Ecology 24/1 (1936), S. 252-284
- COX, C. Barry/MOORE, Peter D.:
2005 Biogeography: An Ecological and Evolutionary Approach, Oxford 2005
- DIAZ, Henry F./TRIGO, Ricardo/HUGHES, Malcolm K./MANN, Michael E./XOPLAKI, Elena/BARRIOPEDRO, David:
2011 Spatial and Temporal Characteristics of Climate in Medieval Times Revisited, in: Bulletin of the American Meteorological Society 92/11 (2011), S. 1487-1500
- EICHLER, Ernst/WALTHER, Hans (Hg.):
2001 Historisches Ortsnamenbuch von Sachsen, Bd. II, M-Z, Berlin 2001
- EXNER, Anke:
2018 Untersuchungen zur ersten sächsischen Landesaufnahme 1586-1633/34 – Vergleich der Vorarbeiten anhand von Bergbausignaturen mit den Vorarbeiten von Oeder und Zimmermann im Osterzgebirge. Ungedruckte Bachelorarbeit TU Bergakademie Freiberg, Freiberg 2018
- GEUPEL, Volkmar/HOFFMANN, Yves:
2006 Die Ausgrabung der Burg Schellenberg, in: Stadt Augustusburg (Hg.): Schellenberg – Augustusburg. Beiträge zur 800-jährigen Geschichte, Marienberg 2006, S. 161-202
- GRIME, J. Philip:
1977 Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory, in: American Naturalist 111 (1977), S. 1169-1194
- GRIME, J. Philip/PIERCE, Simon:
2012 The Evolutionary Strategies that Shape Ecosystems, Sussex 2012
- GROSSER, Dietger:
2004 Das Holz der Tanne. Eigenschaften und Verwendung, in: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) (Hg.): Beiträge zur Tanne (LWF Wissen, 45), Freising 2004, S. 66-69
- HELLE, Gerd/HEINRICH, Ingo:
2012 Baumjahresringe als chemisch-physikalischer Datenträger für Umwelt- und Klimainformation der Vergangenheit, in: System Erde 2/1 (2012), S. 58-61
- HEMKER, Christiane:
2018 Das Erzgebirge im Fokus der Montanarchäologie, in: Smolnik, Regina/Goryczková, Nadyczk (Hg.): ArchaeoMontan 2018. Krušné hory v centru zájmu montání archeologie. Das Erzgebirge im Fokus der Montanarchäologie (Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege, Beiheft 32), Dresden 2018, S. 9-76

- HEMKER, Christiane/CAPPENBERG, Klaus:
2022 Der Wald der Zukunft in der Vergangenheit verwurzelt: Archäologisches Holz als Datenlieferant für einen klimaökologischen Waldumbau, in: *Blickpunkt Archäologie* H. 1/2022, München 2022, S. 53-55
- HEMKER, Christiane/HOFFMANN, Yves/SCHOLZ, Volkmar:
2013 Die hochmittelalterlichen Silberbergwerke von Dippoldiswalde. Ausgewählte Befunde der Grabungen 2008 bis 2011, in: *Der Anschnitt* 64 (2013), S. 20-37
- HEMKER, Christiane/SCHRÖDER, Frank/HÖNIG, Heide:
2016 Alles anders in Niederpöbel? Vergleichende Untersuchungen zu den mittelalterlichen Bergwerken von Dippoldiswalde und Niederpöbel im Osterzgebirge, in: *Der Anschnitt* 68 (2016), S. 126-144
- HEMKER, Christiane/SCHUBERT, Matthias:
2022 Silber – Aufstieg eines Edelmetalls, in: Kommission der Montanarchäologie (Hg.): *Bergbau durch die Jahrtausende. Montanarchäologie in Deutschland* (Archäologie in Deutschland, Sonderheft 23), Stuttgart 2022, S. 46-63
- HOCHBERG, Uri/ROCKWELL, Fulton E./HOLBROOK, N. Michele/COCHARD, Hervé:
2018 Iso/Anisohydry: A Plant-Environment Interaction Rather Than a Simple Hydraulic Trait, in: *Trends in Plant Science* 23/2 (2018), S. 112-120
- ISASA, Emilie/LINK, Roman Mathias/JANSEN, Steven/TEZEH, Fon Robinson/KAACK, Lucian/SARMENTO CABRAL, Juliano/SCHULDT, Bernhard:
2023 Addressing controversies in the xylem embolism resistance-vessel diameter relationship, in: *New Phytologist* 238/1 (2023), S. 283-296
- JACOMET, Stefanie/BROMBACHER, Christoph/DICK, Martin:
1989 Archäobotanik am Zürichsee. Ackerbau, Sammelwirtschaft und Umwelt von neolithischen und bronzezeitlichen Seefersiedlungen im Raum Zürich; Ergebnisse von Untersuchungen pflanzlicher Makroreste der Jahre 1979-1988 (Berichte der Züricher Denkmalpflege, 7), Zürich 1989
- KIENITZ, Erwin:
1936 Wandlungen des Holzartenbildes im sächsischen Staatswalde seit dem 16. Jahrhundert, mit Ausblicken auf die Pollenanalyse (Forstinspektionsbezirke Eibenstock und Grimma) (Tharandter Forstliches Jahrbuch, 87), Berlin 1936
- KAISER, Knut/THEUERKAUF, Martin/HIEKE, Falk:
2023 Holocene forest and land-use history of the Erzgebirge, central Europe: a review of Palynological data, in: *E&G Quaternary Science Journal* 72 (2023), S. 127-161
- KAISER, Knut/TOLKSDORF, Johann Friedrich/MAARTJE de BOER, Anna/HERBIG, Christoph/HIEKE, Falk/KASPRZAK, Marek/KOČÁR, Petr/SCHUBERT, Matthias/SCHRÖDER, Frank/FÜLLING, Alexander/HEMKER, Christiane:
2021 Colluvial sediments originating from past land-use activities in the Erzgebirge Mountains, Central Europe: occurrence, properties, and historic environmental implications, in: *Archaeological and Anthropological Sciences* 13 (2021), S. 1866-1892
- KÖNIG, J./GÜNTHER, B./BUES C. T.:
2005 New multivariate cross-correlation analysis, in: *TRACE – Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology* 3 (Schriften des Forschungszentrums Jülich, 53), Jülich 2005, S. 159-166
- KRABATH, Stefan:
2012 Die Entwicklung der Keramik im Freistaat Sachsen vom späten Mittelalter bis in das 19. Jahrhundert. Ein Überblick, in: Regina Smolnik (Hg.): *Keramik in Mitteldeutschland: Stand der Forschung und Perspektiven* (Veröffentlichungen des Landesamtes für Archäologie, 57), Dresden 2012, S. 35-172
- KREUZ, Angela/SCHÄFER, Eva:
2015 Handbuch Archäobotanisches Datenbankprogramm ArboDat 2015, ungedrucktes Manuskript, Wiesbaden 2015
- LAMB, Hubert Horace:
1965 The Early Medieval Warm Epoche and its sequel, in: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 1 (1965), S. 13-37
- LEUSCHNER, Christoph/ELLENBERG, Heinz:
2017 *Ecology of Central European Forests. Vegetation Ecology of Central Europe I*, Cham 2017
- MAGRI, Donatella/VENDRAMIN, Giovanni G./COMPS, Bernard/DUPANLOUP, Isabelle/GEBUREK, Thomas/DUŠAN, Gömöry/LATAŁOWA, Małgorzata/LITT, Thomas/PAULE, Ladislav/ROURE, Joan Maria/TANTAU, Ioan/Van Der KNAAP, W. O./PETIT, Rémy J./De BEAULIEU, Jacques-Louis:
2006 A new scenario for the Quaternary history of European beech populations: palaeobotanical evidence and genetic consequences, in: *New Phytologist*, 171/1 (2006), S. 199-221
- MALEK-CUSTODIS, Katharina/DRECHSLER, Georg:
2022 Technische Innovationen der Frühen Neuzeit, in: Kommission der Montanarchäologie (Hg.): *Bergbau durch die Jahrtausende. Montanarchäologie in Deutschland* (Archäologie in Deutschland, Sonderheft 23), Stuttgart 2022, S. 72-79
- de MARTONNE, Emmanuel:
1926 Une nouvelle fonction climatologique: l'indice d'aridité, in: *Meteorologie* 2 (1926), S. 449-458
- MELLERT, Karl-Heinz/SEHO, Muhidin:
2022 Anbaueignung von Orientbuche an marginalen Standorten der Rotbuche in Süddeutschland, in: *iForest* 15 (2022), S. 417-423
- MELLERT, Karl H./EWALD, Jörg/HORNSTEIN, Daniel/DORADOLIÑÁN, Isabel/JANTSCH, Matthias/TAEGER, Steffen/ZANG, Christian/MENZEL, Annette/KÖLLING, Christian:
2016 Climatic marginality: A new metric for the susceptibility of tree species to warming exemplified by *Fagus sylvatica* (L.) and Ellenberg's quotient, in: *European Journal of Forest Research* 135 (2016), S. 137-152
- MÜLLER, Jurik/BÖTTCHER, Falk/SCHMIDT, Martin:
2008 Bestimmung bodenabhängiger Klimafeuchtezahlen für verschiedene Standorte in den mittleren und nordöstlichen Regionen Deutschlands, in: *Hercynia* 41/2 (2008), S. 189-200
- NALEPKA, Dorota/WALANUS, Adam:
2003 Elektroniczna metoda archiwizacji i graficznego przetwarzania danych palinologicznych. Program komputerowy POLPAL, in: *Dybova-Jachowicz, Sonia/Sadowska, A.* (Hg.): *Palinologia*, Krakau 2003, S. 82-83
- NELLE, Oliver:
2002 Zur holozänen Vegetations- und Waldnutzungsgeschichte des Vorderen Bayerischen Waldes anhand von Pollen- und Holzkohleanalysen, in: *Hoppea, Denkschriften der Regensburgischen Botanischen Gesellschaft* 63 (2002), S. 161-361
- NELLE, Oliver/JANSEN, Doris/EVERS, Katharina/WEBER, Roland/SCHWABE, Matthias:
2015 Relikte der Köhlerei – Potenzial für die Landschaftsgeschichte im Teilgebiet Serrahn des Müritz-Nationalparks, in: Kaiser, Knut/Kobbel, Joachim/Küster, Mathias/Schwabe, Matthias (Hg.): *Neue Beiträge zum Naturraum und zur Landschaftsgeschichte im Teilgebiet Serrahn des Müritz-Nationalparks* (Forschung und Monitoring, 4), Berlin 2015, S. 137-147
- NEUBAUER, Grit:
2025 Der Wald um Dippoldiswalde im 12. und 13. Jahrhundert – Ergebnisse dendrologischer Untersuchungen an Bergbauhölzern, in: Hemker, Christiane (Hg.): *Die Bergwerke von Dippoldiswalde im 12./13. Jahrhundert* (ArchaeoMontan 9, Veröffentlichungen des Landesamtes für Archäologie Sachsen, 86), Dresden 2025 (in Vorbereitung)
- NEX, Francesco/REMONDINO, Fabio:
2014 UAV for 3D mapping applications: a review, in: *Applied Geomatics* 6 (2014), S. 1-15
- NÖLKEN, Wilko:
2005 Holzkohleanalytische Untersuchungen zur Waldgeschichte der Vogesen, unpublizierte Dissertation Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br., Freiburg i. Br. 2005
- OBERDORFER, Erich:
2001 *Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Deutschland und angrenzende Gebiete*, 8. Aufl., Stuttgart 2001
- SCHRÖDER, Frank:
2015 Die montanarchäologischen Ausgrabungen in Niederpöbel (2011-2013) – Befunde und Ergebnisse, in: Smolnik, Regina (Hg.): *ArchaeoMontan 2015. Montanarchäologie im Osterzgebirge. Montánní archeologie ve východním Krušnohoří* (Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege, Beiheft 30), Dresden 2015, S. 23-165
- 2015 Funde aus den mittelalterlichen Bergwerken von Niederpöbel (ArchaeoMontan 3, Veröffentlichungen des Landesamtes für Archäologie Sachsen, Beiheft 66), Dresden 2018
- SCHUBERT, Matthias/HERBIG, Christoph:
2017 Buntmetallurgische Prozesse aus mittelalterlichen Bergbausiedlungen im internationalen Vergleich mit einem Ausblick auf die (exquisiten) Ernährungsgewohnheiten der Dippoldiswalder und Freiburger Bergleute, in: Müller, Joachim (Hg.): *Globalisierung (Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Archäologie des Mittelalters und der Neuzeit)*, 30, Paderborn 2017, S. 195-208
- SCHUBERT, Matthias/BURGHARDT, Ivonne/TOLKSDORF, Johann Friedrich/SCHRÖDER, Frank/HÖNIG, Heide/KRIVANEK, Roman:
2018 Eine neuentdeckte mittelalterliche Bergbausiedlung im „Vorderen Grünwald“ bei Schönfeld in der Kammlage des Osterzgebirges, in: Smolnik, Regina/Goryczková, Nadyczk (Hg.): *ArchaeoMon-*

- tan 2018. Krušné hory v centru zájmu montánní archeologie. Das Erzgebirge im Fokus der Montanarchäologie (Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege, Beiheft 32), Dresden 2018, S. 175-196
- SCHWABENICKY, Wolfgang:
2009 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:
1976 Untersuchungsmethodik und Ergebnisse der Holzkohleanalyse, in: Schweingruber, Fritz Hans: Prähistorisches Holz. Die Bedeutung von Holzfunden aus Mitteleuropa für die Lösung archäologischer und vegetationskundlicher Probleme (Academica Helvetica, 2), Stuttgart 1976, S. 17-26
- 1990 Anatomie europäischer Hölzer. Anatomy of European woods. Ein Atlas zur Bestimmung europäischer Baum-, Strauch- und Zwergstrauchhölzer. An atlas for the identification of European trees, shrubs and dwarf shrubs, Birmensdorf u. a. 1990
- STANDKE, Bernd:
2003 Bauhistorische Untersuchungen an Dachwerken des späten 15. und des 16. Jahrhunderts in Freiberg, in: Hoffmann, Yves/Richter, Uwe (Hg.): Denkmale in Sachsen. Stadt Freiberg, Bd. II, Freiberg 2003, S. 807-820
- STOCKMARR, Jens:
1971 Tablets with spores used in absolute pollen analysis, in: Pollen et Spores 13 (1971), S. 615-621
- TOLKSDORF, Johann Friedrich:
2018 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/FÜLLING, Alexander/HEMKER, Christiane:
2015 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), S. 487-500
- VERHOEVEN, Geert J. J./SEVARA, Christopher/KAREL, Wilfried/RESSL, Camillo/DONEUS, Michael/BRIESE, Christian:
2013 Undistorting the Past: New Techniques for Orthorectification of Archaeological Aerial Frame Imagery, in: Corsi, Cristina/Slapšak, Božidar/Vermeulen, Frank (eds.): Good Practice in Archaeological Diagnostics. Non-invasive Survey of Complex Archaeological Sites (Natural Science in Archaeology, 69), Cham 2013, S. 36-67
- WALANUS, Adam/NALEPKA, Dorota:
1999 Polpal Program for counting pollen grains, diagrams plotting and numerical analysis, in: Acta Palaeobotanica, Suppl. 2 (1999), S. 659-661
- WEGNER, Martina/SCHUBERT, Matthias:
2022 Dippoldiswalde, „Roter Hirsch“ (DW-31), in: Regina Smolnik (Hg.): Leben und Tod in einer Bergstadt – Život a smrt v horním městě. Die Welterbe-Bestandteile Dippoldiswalde, Freiberg, Annaberg und Marienberg im Spiegel archäologischer, archäobotanischer und anthropologischer Studien – Život a smrt v horním městě Dippoldiswalde, Freiberg, Annaberg a Marienberg: lokality zapsané na seznamu světového kulturního dědictví pohledem archeologického, archeobotanického a antropologického výzkumu (ArchaeoMontan 8, Veröffentlichungen des Landesamtes für Archäologie Sachsen, 78), Dresden 2022, S. 47-54

Anschrift der Autorin und des Autors

Klaus Cappenberg M.A.
Dr. Christiane Hemker
Landesamt für Archäologie Sachsen
Zur Wetterwarte 7
01109 Dresden