©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Ber. d. Reinh.-Tüxen-Ges. 21, 241-252. Hannover 2009

Die Paläoökologie des historischen und prähistorischen Kupferbergbaus in den Ostalpen

– Klaus Oeggl, Innsbruck –

Abstract

Prehistoric mining activities had diverse effects on the vegetation and environment due to the huge demand on raw materials as well as the supply of eatables for the maintenance of miners. Primarily the forests represent an important source of raw materials as well as potential agricultural land. Wood is needed as building material for settlements, for timbering mine shafts and as an energy source for metallurgical activities. Though there are several palaeoecological studies from mining areas in Europe the interrelationship between palaeo-environment and mining is poorly known. Here we present an interdisciplinary approach to evaluate the impact of mining on the environment during historic and prehistoric periods. Pollen and geochemical analyses from a fen in the prominent mining district of Schwaz (Tyrol) were conducted to establish a palaeo-ecological model for mining during early Modern Times. Beside clear cuttings for agro-pastoral purposes as well as increased fire activities in the forests in combination with mining the lead pollution in the deposits of the fen increases drastically. Furthermore the waste heaps of the galleries are repopulated by pine and larch, which produces a distinctive palynological signal. This palynolocial and geochemical approach is applied on prehistoric sequences to detect former mining phases and its practicability is discussed.

1. Einleitung

Am Beginn der Kupferzeit setzt die Besiedelung des mittleren Alpenraumes ein, die sich im Pollendiagramm in der charakteristischen Landnahmphase nach IVERSEN (1941) niederschlägt. Mitte des 4. Jt. erfolgt eine erste Kulmination. Danach ist die Siedeltätigkeit rückläufig, bis am Ende der Kupferzeit neuerlich eine Aufsiedlung des mittleren Alpenraumes erfolgt (OEGGL & NICOLUSSI 2009). Die Gründe für den Beginn dieser Kolonisation liegen noch im Dunkeln. Zum einen mögen Klimaänderungen im nördlichen und südlichen Alpenvorland eine Rolle spielen, die die Tragfähigkeit der neolithischen Agrarsysteme belasten und eine Migration verursachen. Zum anderen erreicht zu dieser Zeit die Kenntnis von der Gewinnung und Nutzung von Metallen den Alpenraum (MATUSCHIK 1997), wobei diese erste Phase noch ohne bleibende Auswirkungen auf die Kulturen ist. Der Attraktor für diese Migration könnte demnach die hohe Konzentration an Kupfererzlagerstätten im mittleren Alpenraum von Graubünden bis in die Obersteiermark sein. Diese neue Technik der Metallgewinnung spielt vor allem später in der Bronze- und Eisenzeit in der Kultur- und Siedlungsgeschichte der Alpen eine bedeutende Rolle. So zeichnet sich sowohl in den archäologischen Funden (URBAN 1989) als auch in Pollendiagrammen aus dem mittleren Alpenraum (DRESCHER-SCHNEIDER 2003, MARSHALL 2003, SCHMIDL et al 2005, WAHLMÜLLER 1992) eine Intensivierung der Siedlungstätigkeit im Bereich dieser Erzlagerstätten ab. Die archäologischen Forschungen zur Bergbaugeschichte in den Alpen sind jedoch zurzeit noch punktuell und selten von palynologischen bzw. archäobotanischen Untersuchungen begleitet. In die-

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

sem Zusammenhang ergibt sich für die Pollenanalyse das Problem, Siedlungsaktivitäten von Bergbauaktivitäten paläoökologisch zu trennen. Es liegt in der Natur der Sache, dass intensive Bergbauaktivitäten mit Eingriffen in die lokale Umwelt verbunden sind. Sowohl der Abbau als auch die Verhüttung benötigen große Mengen an Holz für Konstruktions- und Energiezwecke, was sich im Waldbild niederschlägt. Andererseits müssen die Bergleute auch mit Gütern des täglichen Bedarfs versorgt werden, was zu einer Ausweitung der Landwirtschafts- und Siedlungsflächen führt. Dies spiegelt sich im Pollendiagramm im Rückgang der Klimaxbaumarten und in der Ausbreitung von Siedlungs- und Kulturzeigern sensu BEHRE (1981) wider, womit allerdings in erster Linie Siedlungs- und landwirtschaftliche Aktivitäten erfasst werden, nicht aber metallurgische Tätigkeiten per se. Dieses methodologische Problem zu lösen ist eine der zentralen Forschungsfragen im Rahmen des Spezialforschungsbereiches „HiMAT - The History of Mining Activities in the Tyrol and Adjacent Areas: Impact on Environment and Human Societies". Es handelt sich dabei um ein eng vernetztes interdisziplinäres Großforschungsprojekt der Universität Innsbruck, das in den nächsten zehn Jahren sowohl die sozioökonomischen und ökologischen Voraussetzungen als auch die Ursachen der Expansions-, Konsolidierungs- und Regressionsphasen des Montanwesens im mittleren Alpenraum evaluieren und analysieren wird (OEGGL 2008).

Einzeluntersuchungen über den Einfluss des Bergbaus auf die Kulturlandschaftsentwicklung und die Landnutzungregime liegen von wenigen Bergbaugebieten Europas vor (POTT 1986, SMETTAN 1992, DÖRFLER 2000, MIGHALL et al. 2002), ebenso wie erste Ergebnisse zu den Auswirkungen der Holznutzung auf die lokalen Wälder im Zuge der Feuersetzung beim Erzabbau (HEISS 2001), im Zuge der Holzkohleproduktion (HILLEBRECHT 1982, LUDEMANN 1992, HANNSON et al. 1996, GALE 2003). Erste Untersuchungen aus Bergbaugebieten der Ostalpen (DRESCHER-SCHNEIDER 2003, OEGGL et al. 2005, WAHLMÜLLER 1992) bestätigen Beobachtungen aus anderen Erzrevieren, dass sich dort das palynologische Signal aus einer Komponente der Siedlungs- und einer Komponente der Bergbauaktivität zusammensetzt. Die Trennung dieser beiden Signale ist die methodologische Herausforderung. Erste Ansätze zur Lösung dieses Problems finden sich in Analysen zur Auswirkung der Metallurgie auf die prähistorische und historische Umwelt über die Schwermetallablagerung in Sedimenten im Zusammenhang mit der Erzaufbereitung und -verhüttung (GÖRRES et al. 1995, SHOTYK et al. 1998). Sie führten zu weiteren geochemischen Untersuchungen von Torfablagerungen in historischen (MARSHALL 2003) und prähistorischen Erzabbaugebieten (JOUFFREY-BAPTICOT et al. 2007, MONNA et al. 2000), die vielversprechende Ergebnisse lieferten. Auf diese Untersuchungen baut diese interdisziplinäre Studie auf. Nachdem der heutige industrielle Bergbau als Analogon für den prähistorischen ungeeignet ist, werden in dieser Studie die spätmittelalterlichen und neuzeitlichen Bergbauaktivitäten im bekannten Bergbaurevier von Schwaz sowohl pollenanalytisch als auch geochemisch evaluiert. Zusätzlich wird die Robustheit des paläoökologischen Modells durch die Validation des palynologischen und geochemischen Signals durch historische sozio-ökonomische und mikrotoponomastische Daten über das Bergwesen in Schwaz verstärkt (BREITENLECHNER et al 2009). Dieses paläoökologische Modell soll auch auf die Prähistorie angewandt werden, um frühe montanistische Tätigkeiten in den Alpen erfassen zu können.

2. Das Untersuchungsgebiet

Als Untersuchungsgebiet (Abb. 1) für diese Studie wurde das Bergbaurevier von Schwaz ausgewählt. Schwaz war im 15./16. Jh. n. Chr. die größte Bergbaustadt Europas, und aufgrund ihrer Bedeutung ist die historische Quellenlage gut (BARTELS el al. 2006). Die Fahlerz führenden Schichten befinden sich in einem Zug des Schwazer Hauptdolomits, der östlich der

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Stadt Schwaz parallel zu Grauwackenphylliten entlang des mittelgebirgsartigen Gebietes südlich des Inns bis Wörgl verläuft (PIRKL 1961). Noch heute zeugen zahlreich Halden und Pingen vom Erzabbau in historischer und prähistorischer Zeit. In diesem Raum befinden sich zahlreiche Kleinmoore, die für die Eignung zu einer derartigen paläoökologischen Studie prospektiert wurden. Als Kriterien für die Brauchbarkeit einer Moorablagerung für die Pollen- und geochemischen Analysen zählen die Sedimentationsmächtigkeit, gute Pollenerhaltung und die Nähe zur Erzlagerstätte bzw. zum Abbau. Nach eingehender Erkundung wurde das Moor am Kogelmoos für die Untersuchungen ausgewählt (Abb. 1). Das Niedermoor liegt in 1120 m Seehöhe am Fuß des 1666 m hohen Mehrerkopfs, in dem sich der Falkenstein als die

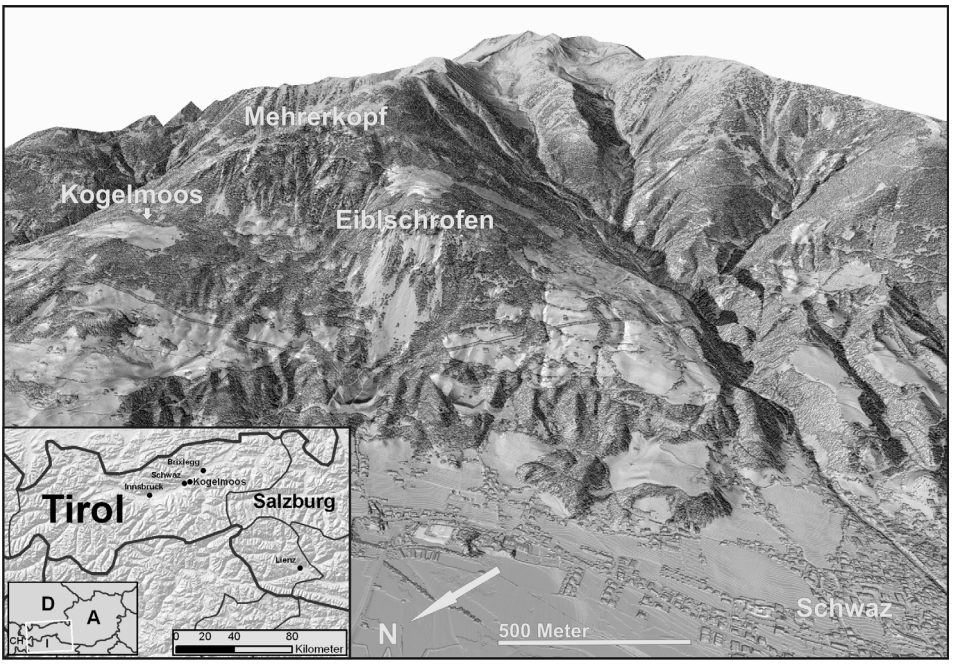

Abb. 1: Lage und digitales Geländemodell des Untersuchungsgebietes (nach BREITENLECHNER et al. 2009)

wichtigste Grube im gesamten Schwazer Bergrevier befand (SRBIK 1929). Das Moor erstreckt sich in einer seichten 100 m langen Mulde und grenzt südlich unmittelbar an einen Fichtenwald, der an den Nordhängen des Mehrerkopfs stockt. In diesem Nordhang befinden sich noch zahlreiche verfallene Mundlöcher und Halden neuzeitlicher Stollen (KATHREIN, unpubl. Daten). An den gegen Norden zum Tal abfallenden Hängen dehnen sich Wirtschaftswiesen aus, die zum bäuerlichen Gehöft Kogelmoos gehören (BREITENLECHNER et al. 2008, 2009).

3. Methodik

Vor der Entnahme eines Torfmonolithen aus dem Kogelmoos wurde das Moor eingehend mit einer Lawinensonde beprobt, um einerseits die tiefste Stelle und andererseits das Gebiet mit störungsfreier Ablagerung zu ermitteln. Anschließend wurde im zentralen Bereich der oberste Meter des Torfprofils ergraben und mit Kasetten (LxBxH = 50x10x10 cm) entnommen. Die untersten 80 cm wurden mit einem Geonor-Kernbohrgerät geborgen.

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Im Labor erfolgte eine Beprobung für die Pollenanalyse in konstanten Abständen von 5 cm. In den für die prähistorischen Bergbauaktivitäten besonders relevanten Abschnitten von 130 - 121 cm wurden die Probenabstände zunächst auf 2 cm und in den anschließenden Schichten von 121 - 75 cm auf einen Zentimeter reduziert. Die Proben wurden in einem abgewandelten Acetolyseverfahren für die Pollenanalyse aufgeschlossen (BREITENLECHNER et al. 2009). Ausgezählt wurde unter dem Lichtmikroskop mit 600-facher und in kritischen Fällen mit 1000-facher Vergrößerung auf 1000 Baumpollen. Die Zählergebnisse wurden mit dem am Institut für Botanik entwickelten Computerprogramm FAGUS 4 in Form von Schattenrissdiagrammen dargestellt, wobei die 100%-Summe aus den Baumpollen und Nichtbaumpollen unter Ausschluss der Sporen, Holzkohlepartikel und der Cyperaceae gebildet wird. Ihre Werte sind auf die Gesamtsumme bezogen dargestellt. Zur biostratigraphischen Gliederung ist das Pollendiagramm in „lokale Pollenansammlungszonen" (CUSHING 1967) gegliedert.

Glühverlustmessungen wurden nach der Methode in HEIRI et al. (2001) vorgenommen. Die Schwermetallmessungen wurden am Curt-Engelhorn-Zentrum für Archäometrie in Mannheim mit einem QICP-MS-Massenspektrometer mit induktiv gekoppelter Plasma Anregung und Quadrupol Fokussierung durchgeführt. Das anthropogen in den Torf eingebrachte Blei wurde nach SHOTYK et al. (2002) ermittelt. Sedimentproben zur ^{14}C-Datierung wurden unmittelbar nach der Vorlage der orientierenden Analysen entnommen und an das Institut für Radiumforschung und Kernphysik der Universität Wien gesandt (Tabelle XX). Die Gliederung in Chronozonen richtet sich nach MANGERUD et al. (1974).

4. Ergebnisse

4.1 Allgemeine Vegetationsentwicklung

Um den methodischen Ansatz an das Problem der Paläoökologie des prähistorischen Bergbaus zu demonstrieren, wird hier nur eine verkürzte Vegetationsentwicklung wiedergegeben. Für eine detaillierte Betrachtung der holozänen Vegetationsgeschichte im Bereich Kogelmoos sei in diesem Zusammenhang auf BREITENLECHNER (2008) und BREITENLECHNER et al. (2009) verwiesen.

Das Pollendiagramm aus dem Kogelmoos (Abb. 2) umfasst die lokale Vegetationsentwicklung der letzten 8000 Jahre und setzt im frühen Atlantikum ein. Die Vegetation um das Moor wird von einem Fichtenwald (Piceetum montanum), dem einzelne Kiefern (*Pinus*) eingesprengt sind, dominiert. Am Ende des Atlantikums wandert die Tanne (*Abies*) in die lokalen Fichtenwälder ein und breitet sich aus, wodurch die Fichte (*Picea*) in den tieferen Lagen in ihrer Verbreitung eingeschränkt wird. Sie bleibt aber nach wie vor im Waldbild dominant. Nach einem Maximum am Beginn des Subboreals wird die Tanne (*Abies*) in ihrer Ausbreitung gehemmt, und die Fichte (*Picea*) breitet sich erneut aus. Die geringfügige Ausbreitung von Erle (*Alnus*) im Bereich des Moores als auch die gleichzeitige Einwanderung der Buche (*Fagus*) in den tieferen Lagen des Untersuchungsgebietes lässt auf feuchtere Bedingungen zwischen 3000 - 2700 v. Chr. schließen. Möglichweise verursachen Spätfröste in diesem Zusammenhang den Rückgang der Tanne (*Abies*). Ab 2700 v. Chr. breitet sie sich wieder aus, und es entsteht in den mittleren Lagen ein Fichten-Tannenwald (Abietetum), der bis ans Ende des Mittelalters im Gebiet vorherrscht.

Am Beginn der Mittelbronzezeit, in 110 cm Tiefe, treten die ersten Siedlungszeiger auf, und die steigenden Werte der Holzkohlenpartikel zeigen eine erhöhte lokale Feueraktivität an. Zugleich breitet sich die Kiefer (*Pinus*) aus, und die Lärche (*Larix*) tritt lokal stärker in Erscheinung. Am Beginn der Eisenzeit erreicht die lokale Feueraktivität ihren Höhepunkt, und in der Umgebung des Kogelmooses wird die Lärche (*Larix*) im Waldbild dominant. In

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

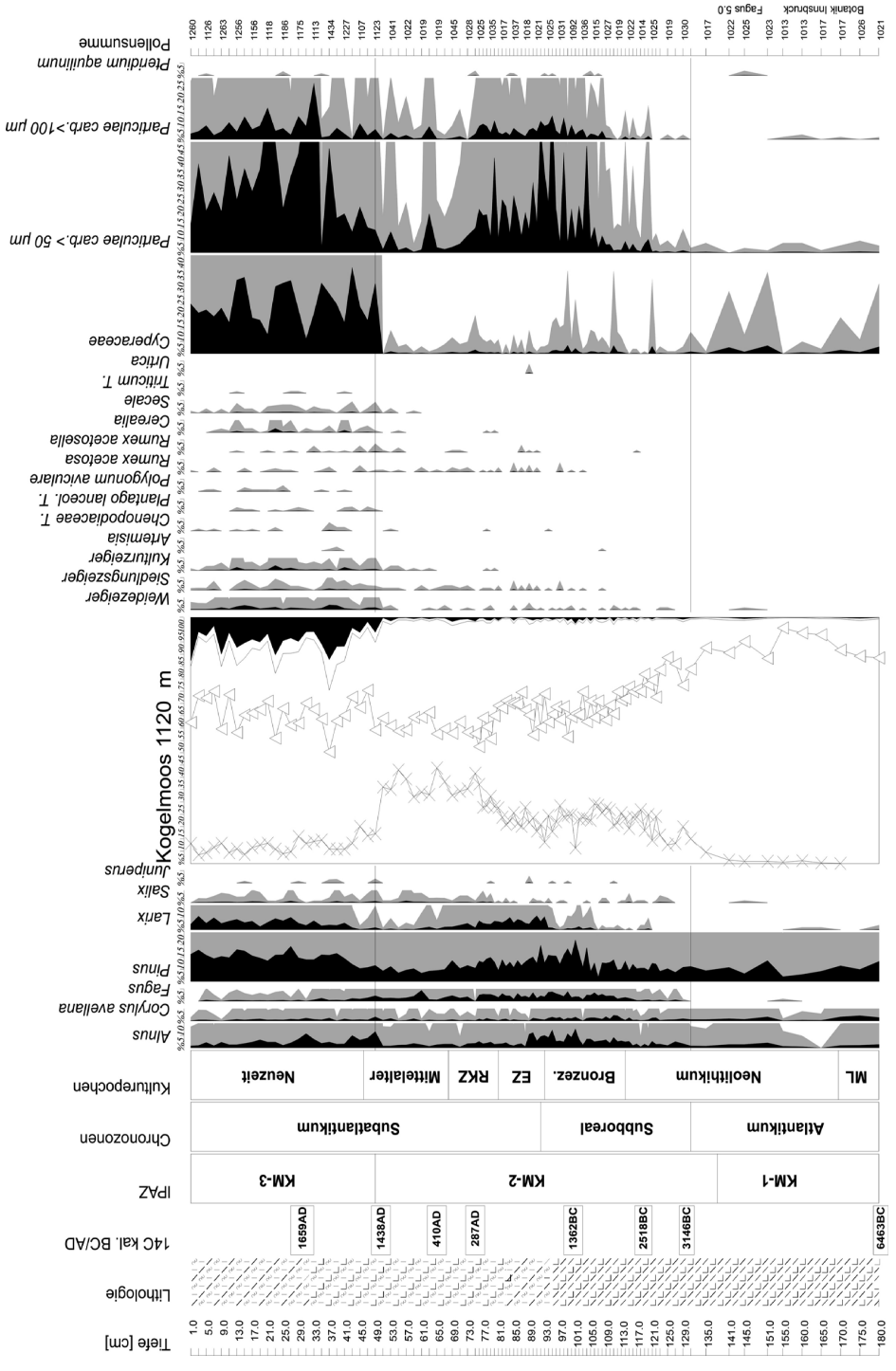

Abb. 2: Vereinfachtes Prozentdiagramm der Ablagerungen aus dem Kogelmoos (nach BREITENLECHNER et al. 2008)

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

der Römerzeit nehmen die Holzkohlenpartikel ab, und die Tanne (*Abies*) breitet sich wieder aus. Dadurch wird die Lärche (*Larix*) in höhere Lagen abgedrängt.

Das geringe aber stetige Vorkommen von Siedlungszeigern gemeinsam mit hohen Holzkohlenwerten spiegelt eine moderate menschliche Aktivität im Bereich des Kogelmooses von der Bronzezeit bis zum Mittelalter wider. Am Ende des Mittelalters um 1400 n. Chr. bricht die Tannenkurve in 55 cm Tiefe ein, die Holzkohlenpartikel steigen erneut an und Gräser (Poaceae) breiten sich aus. Getreide (Ceralia-Typ) und Roggen (*Secale*) treten gemeinsam mit Siedlungszeigern auf und zeigen eine Rodung im Einzugsgebiet des Moores auf. Es wird Ackerbau und Viehzucht in der unmittelbaren Umgebung des Kogelmooses betrieben. Diese landwirtschaftliche Nutzung bleibt bis in die Moderne aufrecht.

4.2 Vegetationsentwicklung im Spätmittelalter und der frühen Neuzeit

Die spätmittelalterlichen Rodungen am Kogelmoos, die im Pollendiagramm in 55 cm Tiefe beginnen (Abb. 2), werden durch die zeitgleiche Gründung eines Schweighofes, der im Jahre 1370 n. Chr. zum ersten Mal erwähnt wird (BACHMANN 1981, BREITENLECHNER 2008), bestätigt. Zunächst erfolgt der Rückgang der Tanne (*Abies*) stufenweise, aber an der Wende des Mittelalters zur Neuzeit fällt die Tanne (*Abies*) auf ein Drittel der ursprünglichen Werte. Die Holzkohlenpartikel nehmen zu und die Gräser (Poaceae) breiten sich stetig aus, während die Siedlungs- und Kulturzeiger kaum eine Zunahme dokumentieren. Die Fichte (*Picea*) verzeichnet in dieser Phase Zuwächse, was aber auf die erhöhte Pollenproduktivität durch die Freistellung bedingt sein dürfte. Erst ab 47 cm Tiefe ist die Fichte (*Picea*) von den Schlägerungen betroffen und geht im Pollendiagramm zurück. Ab 45 cm breitet sich die Kiefer (*Pinus*) aus, der in 43 cm die Lärche (*Larix*) folgt. Von nun an spielt die Lärche (*Larix*) mit Werten von 5% eine prägende Rolle in der lokalen Vegetation. Üblicherweise wird die Ausbreitung von Kiefer (*Pinus*) und Lärche (*Larix*) in Zusammenhang mit Rodungen in Pollendiagrammen aus dem Oberinntal und dem Unterengadin als die Bildung von Lärchwiesen interpretiert (ZOLLER et al. 1996, GOBET et al. 2002, WALDE 2006), denn im kontinental getönten Gebiet der Oberinntals kommt die Lärche (*Larix*) in den mittleren Lagen natürlich vor. Dagegen bleibt sie im mehr ozeanisch getönten Bereich von Schwaz wegen des Vorkommens der Buche (*Fagus*) eher auf die subalpine Stufe beschränkt (MAYER 1974). Allerdings bildet die Lärche (*Larix*) auf Karbonat in der montanen Stufe auf Steilhängen und auf Bergsturzmaterial die initiale Bestockung. Die Ausbreitung dieser Pionierhölzer im Gebiet von Schwaz ist daher ein zunächst irreguläres Muster im Pollendiagramm und könnte auch mit einer Massenbewegung im Zusammenhang stehen, denn zeitgleich nimmt als Ausdruck verstärkter Erosion im hydrologischen Einzugsgebiet des Kogelmooses der minerogene Anteil im Torf zu (Abb. 3). Neben natürlich verursachten Bergstürzen sind dabei auch die zahlreichen Abraumhalden der spätmittelalterlichen und frühneuzeitlichen Bergbaue, die im Einzugsgebiet des Kogelmooses liegen, zu berücksichtigen. Dem Prinzip nach entsprechen die Abraumhalden vor den Stollen kleinen „artifiziellen Bergstürzen“, die durch diese Pionierhölzer in gleicher Weise wiederbesiedelt werden. Rezente Vegetationsbeobachtungen im Gelände zeigen deutliche Parallelen zur Vegetationsabfolge im Bergsturz Farrenleitenwand (MAYER 1964). Die initiale Besiedlung beginnt mit der Kiefer (*Pinus*), wobei sowohl die Waldföhre (*Pinus sylvestris*) als auch die Latsche (*Pinus mugo*) daran beteiligt ist, der die Lärche (*Larix*) folgt. Sie bildet auf grobskelettigem, mäßig entwickelten Humuskarbonatboden die Lärchen-Pionierbestockung. Bei fortgeschrittener Bodenentwicklung wandert die Fichte (*Picea*) ein, und es bildet sich ein Block-Fichten-Lärchenwald, wobei auf feinerdereichen Humusböden die Fichte (*Picea*) die Lärche (*Larix*) verdrängt.

Dass in diesem Fall tatsächlich Bergbauaktivitäten stattgefunden haben, wird sowohl durch historische Dokumente (BARTELS et al., 2006) als auch durch die Blei-Analysen der

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Torfe bestätigt (Abb. 3). Zugleich mit der erhöhten Erosion am Beginn der Neuzeit steigen auch die Bleiwerte drastisch an. Dieses Blei kann sowohl über Immision aus der Luft als auch über Erosion in den Torf eingebracht worden sein. Um den erosiven Anteil dieser Bleiwerte zu evaluieren, wurde auch Skandium Sc gemessen und mit diesen Werten der Gesamtbleigehalt nach der Methode von SHOTYK et al. (2002) auf anthropogenes Blei Pb/Sc normiert (Abb. 3). Die anthropogenen Blei-Werte Pb/Sc bestätigen im Vergleich zum Gesamtblei einen beachtlichen erosiven Anteil, aber steigen seit der Neuzeit stetig an. Dieses anthropogene Blei stammt aus dem Verhüttungsprozess der im Tal gelegenen Aufbereitungsanlagen, in denen seit 1492 aus den Fahlerzen über den Seigerhüttenprozess Silber gewonnen wurde (INGENHAEFF & BAIR 2002). Dabei entsteht beim Schmelzen der Erze zunächst silberhaltiges Kup-

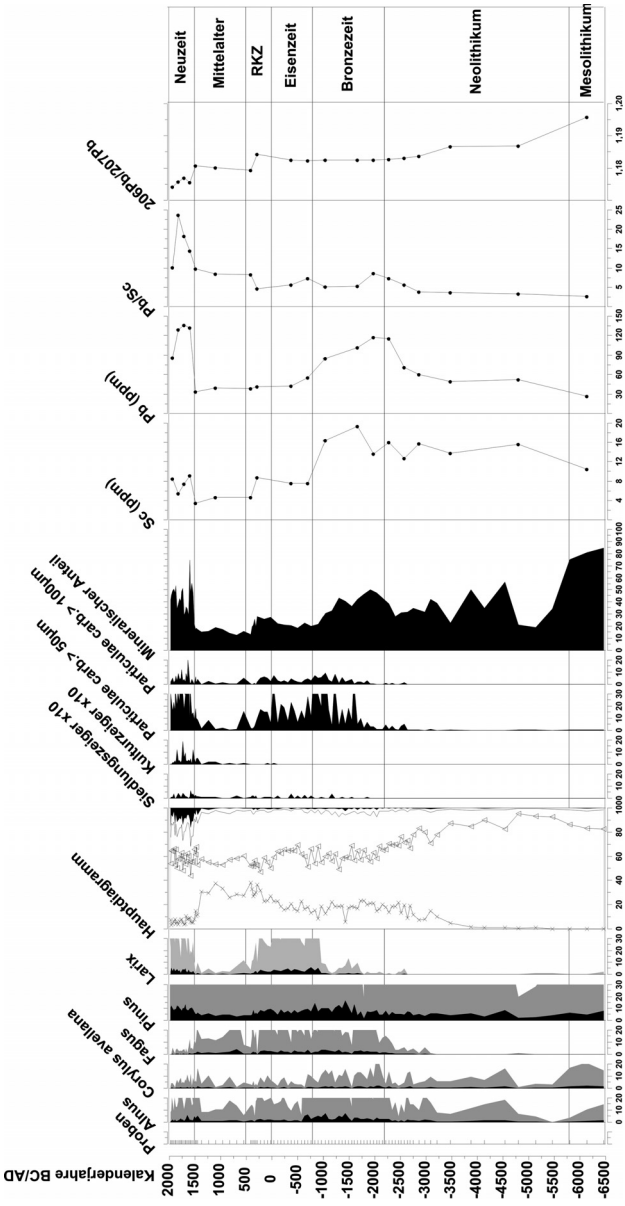

Abb. 3: Geochemische Analysen und die wichtigsten Pollenkurven aus den Ablagerungen des Kogelmooses (nach BREITENLECHNER et al. 2009)

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

fer, dem unter Zugabe von Blei das Silber entzogen wird, wobei Blei emittiert wird und als anthropogenes Blei im Torf des Kogelmooses archiviert ist. Da in der Lagerstätte von Schwaz wenig Blei vorkommt, muss Blei aus anderen Revieren importiert werden. Dieser Import schlägt sich im $^{206}Pb/^{207}Pb$-Verhältnis nieder, das sich mit der Einführung des Seigerhüttenprozesses verändert (Abb. 3). Damit sind die Auswirkungen des historischen Bergbaus in Schwaz auf die Umwelt erstmalig durch die Kombination von palynologischen und geochemischen Analysen erfasst und durch historische Daten zusätzlich validiert (BREITENLECHNER et a. 2009).

4.3 Vegetationsentwicklung vom Neolithikum bis zum Mittelalter

Dieses kombinierte palynologische und geochemische Modell des frühneuzeitlichen Bergbaus sollte es nun ermöglichen, auch frühere Bergbauphasen über die Sekundärsukzession auf Blockhalden und den Blei-Gehalt in der Ablagerung zu erfassen. In diesem Zusammenhang tritt im Pollendiagramm die Lärche (*Larix*) in 120 cm Tiefe an der Wende vom Neolithikum zur Bronzezeit in Verbindung mit lokalen Feuerereignissen zum ersten Mal auf (Abb. 2). Die Kurven der Tanne (*Abies*) und der Fichte (*Picea*) brechen ein, aber die Kiefer (*Pinus*) reagiert nicht. Anthropogene Indikatoren fehlen, so dass es sich hier um natürliche Feuer im hydrologischen Einzugsgebiet des Kogelmooses handeln dürfte. Zugleich steigen die Blei-Werte an, der minerogene Anteil in der Ablagerung nimmt hingegen erst vier Tiefenstufen darüber zu (Abb. 3). Ab dieser Tiefe verlaufen die Werte des Gesamtbleis nahezu parallel zur Kurve des minerogenen Anteils im Sediment, und im $^{206}Pb/^{207}Pb$-Verhältnis zeigt sich keine Änderung. Dies deutet darauf hin, dass das Blei aus der Erosion stammt, denn archäologische Hinweise auf eine derartig frühe Ausbeutung der Erzlagerstätte fehlen zurzeit. Die Ausbreitung der Erle (*Alnus*) lokal am Moor sowie die der Buche (*Fagus*) in der weiteren Umgebung lässt auf feuchtere Bedingungen in dieser Phase schließen, so dass vermutlich hydrologische Veränderungen zu erhöhter Erosion bzw. einer geringfügigen Massenbewegung im Einzugsgebiet des Moores führen.

In der Mittelbronzezeit – in 108 cm Tiefe – treten die ersten Siedlungszeiger auf und die lokale Feueraktivität nimmt zu. Einbrüche in den Kurven der Tanne (*Abies*) und der Fichte (*Picea*) synchron mit Maxima der Holzkohlen reflektieren lokale Feuer im Fichten-Tannenwald (Abb. 2). Das stetige Vorkommen von Siedlungszeigern in diesem Abschnitt lässt auf anthropogene Eingriffe schließen. In der Folge breiten sich die Kiefer (*Pinus*) und die Lärche (*Larix*) zunächst moderat aus. Die hohen Anteile der minerogenen Partikel in der Ablagerung und die hohen Skandium-Werte weisen nach wie vor auf eine erhebliche Erosion im Einzugsgebiet des Moores hin (Abb. 3). Die Gesamtbleiwerte befinden sich auf hohem Niveau, zeigen aber eine rückläufige Tendenz, wobei jedoch die normierten Werte für anthropogenes Blei Pb/Sc unter jenen am Ende des Neolithikums liegen. Hand in Hand mit der lokalen Feueraktivität und der erhöhten Erosion erfolgt auf den nordseitigen Steilhängen um das Kogelmoos eine initiale Bestockung mit Lärchen (*Larix*), aus der sich am Ende der Bronzezeit ein Lärchenwald entwickelt. Gleichzeitig nimmt die Erosion ab und die Feueraktivität im Fichten-Tannenwald geht zurück. Dadurch können sich beide Klimaxbaumarten wieder ausbreiten. Mitte der Römerzeit fallen die Holzkohlenpartikel auf ein Minimum ab, und die bisher von der Feueraktivität am meisten betroffene Tanne (*Abies*) erreicht ihre Höchstwerte im gesamten Holozän, gleichzeitig wird die Lärche auf Extremstandorte abgedrängt. Somit reflektiert die Vegetationsabfolge im Laufe der Zeit auch in diesem Fall die Wiederbesiedelung von nordseitigen schuttreichen Steilhängen. Zwar mag die Zeit von ca. 800 Jahren für die Persistenz der initialen Lärchenbesiedlung lang erscheinen, jedoch ist die permanente Störung durch den Menschen durch lokale Feuer zu berücksichtigen. In dem Moment, wo in Mitte der Römerzeit diese anthropogenen Eingriffe enden, entwickelt sich innerhalb von ca. 200 Jahren ein Fichten-Tannenwald, wodurch die Lärche (*Larix*) in höhere Lagen abgedrängt wird.

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

5. Diskussion

Die methodologische Herausforderung in diesem Projekt besteht darin, den Nachweis von Bergbauaktivitäten auf die Vegetation palynologisch zu erfassen. Dabei gilt es, im Polleneintrag des Moores zwischen Rodungen zum Zwecke des Bergbaus und jenen, die der Landwirtschaft dienen, zu differenzieren. Dies erfolgt hier mittels eines multidisziplinären Ansatzes. Die Kombination von Pollenanalysen mit geochemischen Analysen, vor allem des Schwermetalles Blei, in Torf- und Seeablagerungen in Bergbaurevieren aus Frankreich (GALOP et al. 2002, MONNA et al. 2004, JOUFFROY-BAPICOT et al. 2007) und dem Harz in Deutschland (BEGEMANN 2003, DEIKE 2003) hat es ermöglicht, Vegetationsveränderungen im Zuge von Bergbauaktivitäten zu evaluieren. In der Regel handelt es sich dabei um Rodungen des Waldes zur technischen und energetischen Nutzung des Holzes. Das trifft auch für die Pollen- und geochemischen Analysen aus dem Kogelmoos zu, die gute Übereinstimmung mit den spätmittelalterlichen und frühneuzeitlichen Überlieferungen des Bergbaus aus Schwaz zeigen (TSCHAN 2008, BREITENLECHNER et al. 2009). Bei detaillierter Betrachtung des Pollendiagrammes Kogelmoos fallen im Zusammenhang mit den Holzkohlenanalysen und den Bleiwerten Anomalien im palynologischen Signal auf, die auf eine Sekundärsukzession auf den nordseitigen Steilhängen hinweisen. Die Ausbreitung der Kiefer (*Pinus*), gefolgt von der Lärche (*Larix*), reflektiert die initiale Besiedelung der Halden aus taubem Gestein vor den frühneuzeitlichen Stollen. Im Gegensatz zu den bisherigen vegetationsgeschichtlichen Untersuchungen aus Bergbaurevieren ist ein derartiger palynologischer Nachweis von Folgen des Erzabbaus neu. Im Fall von Schwaz wird dieser Nachweis durch die geomorphologische Situation, da die Lagerstätte in den steil abfallenden Nordhängen des Eiblschrofens und Mehrerkopfes liegt, begünstigt.

Die Übertragung dieses Modells auf prähistorische Verhältnisse bereitet jedoch Schwierigkeiten. Die initiale Bestockung von Blockhalden durch Kiefer (*Pinus*) und Lärche (*Larix*) findet sich in der Mittelbronzezeit wieder. Siedlungszeiger und stete Feueraktivität belegen die Aktivität des Menschen im Gebiet. Archäologische Funde von Rillenschlägeln und Keramik (RIESER & SCHRATTENTHALER 1998/99) dokumentieren Bergbauaktivitäten in dieser anthropogenen Phase, die belegt durch ^{14}C-Datierungen bis in die Spätbronzezeit reicht (BREITENLECHNER et al. 2009). Allerdings lässt sich diese Bergbauphase mit den Bleiwerten schlecht parallelisieren. Die Werte des Gesamtbleis Pb sind zwar hoch, aber rückläufig. Auch die auf anthropogenes Blei Pb/Sc normierten Werte sind gegenüber dem Neolithikum leicht überhöht, aber deutlich niedriger als das Maximum in der Frühbronzezeit bzw. die Werte im Endneolithikum. Gleiches gilt für das Gesamtblei Pb. Die höchste Bleibelastung tritt vom Spätneolithikum bis in die Frühbronzezeit auf, wo weder Siedlungszeiger noch archäologische Funde eine Anwesenheit des Menschen dokumentieren. Daher kann dieser Blei-Gipfel nicht mit Erzabbau und -verarbeitung in Verbindung gebracht werden, zumal auch die Fahlerze der Lagerstätte von Schwaz arm an Blei sind (Lutz, mündl. Mitteilung). In bleireichen Erzlagerstätten, wie z.B. in Frankreich (GALOP et al. 2002, MONNA et al. 2004, JOUFFROY-BAPICOT et al. 2007), funktioniert das palynologische und geochemische Modell gut. Im Fall der Schwazer Lagerstätte jedoch wurden wegen des geringen Bleigehaltes auch andere Schwermetalle der Vererzung wie Arsen, Antimon und Quecksilber gemessen, die aber keine befriedigenden Ergebnisse lieferten und daher auch im Diagramm nicht dargestellt sind. Das Blei in den spätneolithischen und frühbronzezeitlichen Abschnitten der Ablagerungen aus dem Kogelmoos muss daher durch Erosion aus anderen Gesteinsschichten in die organische Ablagerung eingetragen worden sein, wobei eine Anreicherung in den organischen Ablagerungen nicht auszuschließen ist. Die Ursache für den erhöhten minerogenen Eintrag dürfte in hydrologischen Veränderungen im Einzugsgebiet des Kogelmooses liegen, wobei auch wegen des ersten Auftretens der Lärche (*Larix*) auf den Steilhängen südlich des Kogelmooses eine

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Massenbewegung potentiell in Betracht zu ziehen ist. Um 2500 v. Chr. ist im Unterinntal eine Häufung von Murabgängen und Bergstürzen zu verzeichnen, die durch eine Zunahme der Sommerniederschläge, die im Untersuchungsgebiet zur Ausbreitung der Erle (*Alnus*) und Buche (*Fagus*) führt, ausgelöst werden (PRAGER et al. 2008, GRUNER 2006). Die Lagerstätte von Schwaz liegt in einer geologisch labilen Zone im Kontaktbereich der nördlichsten Grauwackenzone und den südlichsten Teilen der nördlichen Kalkalpen (PIRKL 1961), in dem in historischer Zeit mehrere Bergstürze abgegangen sind (GSTREIN 2000, PRAGER et al. 2008). Eine Massenbewegung im Einzugsgebiet des Kogelmooses könnte dabei erst die Erzlagerstätte freigelegt haben, die dann zum Abbau in der Mittelbronzezeit führte. Diese Möglichkeit wird zurzeit mit Geologen überprüft.

Zusammenfassung

Die Einführung der Metallurgie in das prähistorische Europa führte zu substantiellen Veränderungen in der Umwelt, die sowohl durch den hohen Bedarf an Rohmaterialien als auch an Lebensmitteln zur Versorgung der Bergleute bedingt war. Obwohl einige paläoökologische Analysen zu diesem Problem aus europäischen Bergbaurevieren vorliegen, ist der Einfluss von prähistorischen Bergbauaktivitäten auf die Umwelt noch nahezu unbekannt. In dieser Studie wurden palynologische und geochemische Analysen an Moorablagerungen im Bergbaurevier von Schwaz in Tirol durchgeführt, um ein paläo-ökologisches Modell für den frühneuzeitlichen Bergbau zu erstellen. Neben ausgedehnten Rodungen für landwirtschaftliche Zwecke und einer erhöhten Feueraktivität in den Wäldern ist auch eine signifikante Bleibelastung durch die Bergbauaktivitäten festzustellen. Darüber hinaus werden die Abraumhalden durch Kiefer (*Pinus*) und Lärche (Larix) wiederbesiedelt, was ein charakteristisches palynologisches Signal liefert. Dieses paläoökologische Modell wird auch auf die prähistorischen Phasen übertragen und seine Brauchbarkeit wird diskutiert.

Dank

Diese Forschungen werden im Rahmen des SFB HiMAT (The History of Mining Activities in the Tyrol and Adjacent Areas – Impact on Environment and Human Societies) durchgeführt und durch den Fonds zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung in Österreich (FWF Projektnr.: F3111-G-02) und der Stadt Schwaz finanziell unterstützt. Gedankt sei auch Frau Elisabeth Breitenlechner, Botanisches Institut der Universität Innsbruck, für die bereitwillige Überlassung ihrer Daten für diesen Vortrag.

Literatur

BARTELS, CH., BINGENER, A. & SLOTTA, R. (2006): „1556 Perkwech etc.“ Das Schwazer Bergbuch. – Deutsches Bergbau-Museum Bochum, Bochum.

BEHRE, K.-E. (1981): The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagrams. – Pollen et Spores **23**: 225-245.

BREITENLECHNER, E. (2008): Pollenanalysen zur Siedlungs- und Bergbaugeschichte im Raum Schwaz. – Der Anschnitt **5-6**: 214-221.

BREITENLECHNER, E., HILBER, M., LUTZ, J., KATHREIN, Y., UNTERKIRCHER, A. & OEGGL, K. (2009): The impact of mining activities on the environment reflected by pollen, charcoal and geochemical analyses. – Journal of Archaeological Science (submitted).

CUSHING, E. J. (1967): Late-Wisconsin pollen stratigraphy and the glacial sequence in Minnesota in: CUSHING, E. J., WRIGHT, H. E. (Eds.), Quaternary Palaeocology. – Yale University Press, New Haven and London.

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

DÖRFLER, W. (2000): Palynologische Untersuchungen zur Vegetations- und Landschaftsentwicklung von Joldelund, Kr. Nordfriesland. – Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie **59**: 147-199.

DRESCHER-SCHNEIDER, R. (2003): Die Vegetations- und Besiedlungsgeschichte der Region Eisenerz auf der Basis pollenanalytischer Untersuchungen im Leopoldsteiner See und in der Eisenerzer Ramsau. In: KLEMM, S. (ed): Montanarchäologie in den Eisenerzer Alpen, Steiermark. – Österreichische Akademie der Wissenschaften, Mitteilungen der Prähistorischen Kommission **50**: 174-197.

GALE, R. (2003): Wood-based industrial fuels and their environmental impact in lowland Britain. In: MURPHY, P., WILTSHIRE, E., PATRICIA E. J. (eds): The Environmental Archaeology of Industry. – Symposia of the Association for Environmental Archaeology **20**: 31-47.

GALOP, D., MONNA, F., BEYRIE, A., CAROZZA, L., MOUGIN, V., MAREMBERT, F. & PARENT, G. (2002): Métallurgie et histoire de l'environnement au cours des cinq derniers millénaires en Pays basque nord (Vallée de Baigorri, Pyrénées-Atlantique, France): résultats préliminaires d'une approche interdisciplinaire. – Archeologia Postmedievale **6**:155-169-

HANNSON, A.-M., HIIE, S., KIHNO, R., MASAUSKAITÉ, R., MOE, D., SEIRIENE, V. TORKE (1996): A vegetational historical study of Jõhvikasoo, an ombrogenous mire at Tuiu, Saarema, Estonia. In: HACKENS, T., HICKS, S., LANG, V., MILLER, U., SAARSE, L. (eds.): Coastal Estonia. – PACT **51**: 39-55.

HEIRI, O., LOTTER, A.F. & LEMCKE, G. (2001): Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. – Journal of Paleolimnology **25**: 101-110.

HEISS, A. (2001): Anthrokologische und palaeoethnobotanische Untersuchungen im bronzezeitlichen Bergbaurevier Schwaz-Brixlegg (Tirol). – Diplomarbeit an der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Innsbruck, 109 pp.

HILLEBRECHT, M.-L. (1982): Die Relikte der Holzkohlewirtschaft als Indikatoren für Waldnutzung und Waldentwicklung. Untersuchungen an Beispielen aus Südniedersachsen. – Göttinger Geographische Abhandlungen **79**: 157pp.

INGENHAEFF, W. & BAIR, J. (2002): Schwazer Silber – vergeudeter Reichtum? Verschwenderische Habsburger in Abhängigkeit vom oberdeutschen Kapital an der Zeitenwende vom Mittelalter zur Neuzeit. – Tagungsband 1, Internationales Bergbausymposium, Schwaz.

IVERSEN, J. (1941): Landnam i Denmarks Stenalder. – Danmarks Geologiske Undersogelse R. 2, **66**: 1-68.

JOUFFROY-BAPICOT, I., PULIDO, M., BARON, S., GALOP, D., MONNA, F., LAVOIE, M., PLOQUIN, A., PETIT, CH., DE BEAULIEU, J.-L. & RICHARD, H. (2007): Environmental impact of early palaeometallurgy: pollen and geochemical analyses. – Veget. Hist. Archaeobot. **16**: 251-258.

LUDEMANN, T. (1992): Im Zweribach. Vom nacheiszeitlichen Urwald zum „Urwald von morgen". Die Vegetation einer Tallandschaft im Mittleren Schwarzwald und ihr Wandel im Lauf der Jahreszeiten und der Jahrhunderte. – Beihefte zu den Veröffentlichungen für Naturschutz und Landschaftspflege in Baden-Württemberg **63**: 1-268.

MANGERUD, J., ANDERSEN, S.T., BERGLUND, B.E. & DONNER, J.J. (1974): Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification. – Boreas **3**: 109-128.

MARSHALL, P. D. (2003): Reconstructing the environmental impact of past metallurgic activities. In: MURPHY, P., WILTSHIRE, E., PATRICIA E. J. (eds): The Environmental Archaeology of Industry. – Symposia of the Association for Environmental Archaeology **20**: 10-18.

MATUSCHIK, I. (1997): Der neue Werkstoff - Metall. in: PLANCK, D. (Ed.): ALManach **2**, Archaeologisches Landesmuseum Baden-Württemberg, Stuttgart, pp. 16-25.

MIGHALL, T. M., TIMBERLAKE, S., CLARK, S. H. E. & CASELDINE, A. E. (2002): A Palaeoenvironmental Investigation of Sediments from the Prehistoric Mine of Copa Hill, Cwmystwyth, Wales. – Journal of Archaeological Science **29**: 1161-1188.

OEGGL, K. (2008): HiMAT. In: GRUMILLER, M., MÄRK, T.D. (eds): Zukunftsplattform Obergurgl 2008: Forschungskooperationen innerhalb der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck. – Innsbruck University Press: 136-140.

OEGGL, K. & NICOLUSSI, K. (2009): Prähistorische Besiedlung von zentralen Alpentälern in Bezug zur Klimaentwicklung. – in: SCHMID, R., MATULLA, C., PSENNER, R. (eds.): Klimawandel in Österreich. Die letzten 20 000 Jahre ….und ein Blick voraus. – Innsbruck university press. alpine space – man and environment: vol. **6**: 77-86.

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

PIRKL, H. (1961): Geologie des Trias-Streifens und des Schwazer Dolomits südlich des Inn zwischen Schwaz und Wörgl (Tirol). – Jb. Geol. B.A. **104**: 1-150.

POTT, R. (1986): Palynological evidence of extensive woodland management in turn with agriculture in the area of the Hauberge in Siegerland, Northrhine-Westphalia FRG. In: BEHRE, K.- E. (ed). Anthropogenic indicators in pollen diagrams. Rotterdam, pp 125-134.

RIESER, B. & SCHRATTENTHALER, H. (1998/99): Urgeschichtlicher Kupferbergbau im Raum Schwaz-Brixlegg. – Archaeologica Austriaca **82-83**: 135-179.

SCHMIDL, A., KOFLER, W., NOTBURGA OEGGL-WAHLMÜLLER & OEGGL, K. (2005): Land use in the Eastern Alps during the Bronze Age – An archaeobotanical case study of a hill-top settlement in the Montafon (Western Austria). – Archaeometry **47**: 455-470.

SHOTYK, W. (2002): The chronology of anthropogenic, atmospheric Pb deposition recorded by peat cores in three minerogenic peat deposits from Switzerland. – Science of the Total Environment **292**: 19-31.

SHOTYK, W., KRACHLER, M., MARTÍNEZ-CORTIZAS, A., CHEBURKIN, A.K. & EMONS, H. (2002): A peat bog record of natural, pre-anthropogenic enrichments of trace elements in atmospheric aerosols since 12 370 ^{14}C yr BP, and their variation with Holocene climate change. – Earth and Planetary Science Letters **199**: 21-37.

SMETTAN, H. W. (1996): Archäoökologische Untersuchungen auf dem Albuch. In: Beiträge zur Eisenverhüttung auf der Schwäbischen Alb. – Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte Baden-Württemberg **55**: 37-146.

SRBIK, R. (1929): Bergbau in Tirol und Vorarlberg. – Berichte des naturwissenschaftlich-medizinischen Vereins Innsbruck **41**: 166pp.

TSCHAN, W. (2008): Das Schwazer Berglehenbuch und die Anfänge des Schwazer Bergbaus. – Der Anschnitt **60**: 202-213.

Urban, O. (1989): Wegweiser in die Urgeschichte Österreichs. – Österreichischer Bundesverlag, Wien.

WAHLMÜLLER, N. (1992): Beitrag der Pollenanalyse zur Besiedlungsgeschichte des Haidberges bei Bischofshofen/Salzburg. In: LIPPERT, A. (ed): Der Götschenberg bei Bischofshofen. Eine ur- und frühgeschichtliche Höhensiedlung im Salzachpongau. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien: 129 – 142.

Anschrift des Verfassers

Prof. Dr. Klaus Oeggl, Institut für Botanik, Universität Innsbruck, Sternwartestraße 15, A-6020 Innsbruck

E-mail: klaus.oeggl@uibk.ac.at

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft

Jahr/Year: 2009

Band/Volume: 21

Autor(en)/Author(s): Oeggl Klaus

Artikel/Article: Die Paläoökologie des historischen und prähistorischen Kupferbergbaus in den Ostalpen 241-252