

# Archäologische, mineralogische und archäometallurgische Forschungen zur mittelalterlichen Blei- und Silbergewinnung in Serbien

VON DRAGAN BOGOSAVLJEVIĆ UND SOFIJA VUKOVIĆ

## 1. Einleitung

Die Mineralfülle der Berge Serbiens hat es ermöglicht, daß hier Erze zur Gewinnung von Metallen (Eisen, Kupfer, Blei und Silber) von der Antike an bis in die Gegenwart abgebaut wurden. Die Entwicklung der Erzabbau- und Verhüttungstechniken in diesen Räumen geht allerdings auf das Mittelalter zurück. Es war der römische und byzantinische Bergbau, der von den Serben nach ihrer Ansiedlung im Balkan im kleinen Maße fortgesetzt wurde. Eine schnelle Entwicklung ist erst nach der Ankunft der deutschen Bergleute aus Sachsen zu beobachten. Diese sind nach den Überlieferungen sicher vor dem Jahr 1254 gekommen (erstmalige Erwähnung in einer Urkunde des Königs Urosch I). Die Umstände, unter welchen sich die Einwanderung abgewickelt hat, sind ungeklärt<sup>1</sup>.

Durch die deutschen Bergleute wurden Bergbauzentren, Städte, Ansiedlungen, Marktplätze (z.B. Novo Brdo, Trepča, Brskovo, Srebrnica, Rudnik, Plana u.a.) begründet (Abb. 1). Mit dem Rückgang der Produktion in den europäischen Bergwerken nach der Mitte des 14. Jahrhunderts hat die Nachfrage nach serbischem Silber und Gold auf dem europäischen Markt wesentlich zugenommen. In der ersten Hälfte des 15. Jahrhunderts hat das serbische Bergbaugeschehen seinen wirtschaftlichen Höhepunkt erreicht<sup>2</sup>. Die zugewanderten Spezialisten, neue Technologien bei der Gewinnung und Verhüttung der Erze sowie das Bergmannsrecht waren die Voraussetzungen, daß der Erzabbau, die Aufbereitung und der Metallexport einen starken Impuls für den Aufstieg des serbischen mittelalterlichen Staates ergaben. Das bedeutendste schriftliche Denkmal des mittelalterlichen Bergrechts ist das »Gesetz über Bergwerke« des Despoten Stefan Lazarević, das in Novo Brdo im Jahr 1412 verabschiedet worden ist<sup>3</sup>.

Bei der Darstellung der montanarchäologischen Forschungen in den mittelalterlichen Bergbaurevieren Serbiens ist unbedingt zu betonen, daß diese durch die annähernd 100jährige Forschungstradition anderer wissenschaftlicher Disziplinen, vor allem der Geschichte, der Wirtschaft und Rechtskunde, Linguistik und Mineralogie, gut unterstützt worden sind. Die Interessen der Archäologen für das Studium dieses Themas stammen aus neuerer Zeit. Erst ab 1986 sind diese älteren Forschungen durch die Ausgrabungen im Rahmen des Projektes »Archäologische Forschungen der alten Bergbautätigkeiten auf Rudnik in der Frühzeit, Antike und im Mittelalter« unter der Leitung von B. Jovanović aus Beograd fortgesetzt worden. Hinzu kamen Untersuchungen in Kopaonik.

1 M. DINIĆ, Za istoriju rudarstva u srednjovekovnoj Srbiji i Bosni I. In: SANU, Posebna izdanja knj. 240, Odeljenje društvenih nauka knj. 14 (Beograd 1955) 1-2.

2 D. KOVAČEVIĆ-KOJIĆ, Srbija, majdan srebra i zlata. Istorija srpskog naroda 2 (Beograd 1982) 268.

3 N. RADOJČIĆ, Zakon o rudnicima despota Stefana Lazarevića (Beograd 1962).



Abb. 1 Die wichtigsten Bergbauzentren im mittelalterlichen Serbien.

Abb.2 Rudnik, Trnovite lazine.



## 2. Rudnik

Der Berg Rudnik ist das zweitgrößte mittelalterliche Bergbauzentrum Serbiens, das in den schriftlichen Überlieferungen oftmals erwähnt ist. Die erste schriftliche Notiz stammt aus dem Jahr 1293. Die Ankunft der Bergleute aus Sachsen und die Gründung der Bergbauansiedlung fallen in die Zeit unmittelbar vor dem erwähnten Jahr. In Rudnik wurden hauptsächlich Blei, Silber und Kupfer gewonnen<sup>4</sup>. Für die montanarchäologische Prospektion wurden zunächst die Regionen um Trnovite Lazine, die Senokovitz'schen Wiesen und das Flußtal Jasenica ausgewählt.

### 2.1 Trnovite Lazine

Beim Ausroden des örtlichen Waldweges im Jahr 1981 wurde eine bisher unbekannte Bodenöffnung entdeckt. Da es sich um ein Gebiet mit zahlreichen Halden und Pinggen (nördlicher Ausgang des Berges Veliki Šturac) handelt, ist ein Zusammenhang mit dem Bergbaugeschehen wahrscheinlich. 1986 wurde ein kleinerer Testschnitt angelegt, der zeigte, daß die ehemalige Vertiefung mit Schotter aufgefüllt war. Anschließend wurde eine Zugangsrampe entdeckt, die treppenartig von der ehemaligen Geländekante zum Erzabbau führte. Diese Rampe besteht aus einigen flachen Trittflächen, die mit plattenförmigen Steinen belegt sind. Dicht an der Rampe wurde eine Mauer freigelegt, die als Stützkonstruktion für die Zugangsrampe gebaut worden ist (Abb.2). Die gegenüberliegende westliche Stützmauer konnte nicht freigelegt werden, da die technischen Sicherheitsbedin-

<sup>4</sup> M. DINIĆ, Za istroju rudarstva u srednjovekovnoj Srbiji i Bosni II. In: SANU, Posebna izdanja knj. 355. Odeljenje društvenih nauka knj.41 (Beograd 1962) 1-26; B.HRABAK, Rudnik pod Šturcem i njegova dubrovačka kolonija. Zbornik radova Narodnog muzeja 14, 1984, 5-86.

ungen nicht mehr vorhanden waren<sup>5</sup>. Trotzdem konnte hier der Eingang zu einem Erzabbau fast vollständig freigelegt werden.

### 2.2 *Senakovitz'sche Wiesen*

In dem erwähnten Gebiet mit zahlreichen Pinggen und Halden wurde das ehemalige Siedlungsgelände mit möglichen Stolleneingängen für die Prospektion ausgewählt. In Nord-Süd-Richtung wurde hier der Abhang in einer Länge von 8,60 m und bis in eine Tiefe von 1,80 m angeschnitten. Das Profil zeigt folgende Stratigraphie: 1. dünne Humusschicht, 2. sedimentierte oder aufgetragene Schicht aus gebrochenen Steinen (0,60 bis 1,20 m tief), 3. Gemisch aus dunklem Erdreich und gebrochenen Steinen (0,60 m mächtig) und 4. gelber Erdboden<sup>6</sup>.

Während der Begehungen in den Jahren 1987 und 1988 wurde der ehemalige Erzabbau leider nicht gefunden. Die zahlreichen plattenförmigen Steine haben vermutlich aber als Abstützung für die Holzpfeiler unter Tage gedient, um die Senkung der Pfeiler in den lockeren Untergrund zu verhindern<sup>7</sup>. Zukünftige Forschungen sollten die Eigenschaften des Fundplatzes untersuchen und die mögliche Funktion der Steinplatten überprüfen.

### 2.3 *Flußtal Jasenica*

Entlang des linken Ufers, auf den ebenen Terrassen, wurde eine große Anzahl von Schlackenhalde festgestellt, die, nach ihrer Anzahl und Größe zu urteilen, auf intensive Verhüttungstätigkeiten hinweisen. Auf der Lokalität »Pumpenstation« wurden im Profil beim Ausroden des Weges die Reste einer früheren Feuerstelle und Brandschichten beobachtet. Durch einen 10 m langen Suchschnitt ist im Ostteil ein Steinofen freigelegt worden, dessen Fugen aus Tonerde bestehen. Nach der Lage der Steine ist mit einer ehemaligen Ofenkuppel zu rechnen (Abb. 3). Die erhaltenen Abmessungen betragen 2,60 × 1,10 m. Es ist anzunehmen, daß dieser Ofen zur Gewinnung von Holzkohle gedient hat. Es ist interessant zu erwähnen, daß unterschiedlich große Schlackenblöcke als Bauelemente eingesetzt wurden. Im Laufe der zweijährigen Arbeiten (1987–1988) wurden zehn Keramikscherben auf der Oberfläche und im Profil gefunden, die aus dem ausgehenden 14. und bis Mitte des 15. Jahrhunderts stammen könnten<sup>8</sup>.

Etwa 100 m oberhalb des Meilerofens wurde ein Befund freigelegt, dessen Reste zum ersten Mal bereits bei der Verlegung der Wasserleitungen beobachtet worden sind. In dem Testschnitt (4 × 4 m) befanden sich zwei fast parallele Mauern in NW/SO-Richtung mit einer erhaltenen Länge von 50 cm (Abb. 4). Die Mauern bestehen aus größeren, plattenförmigen und durch Ton verbundenen Steinen. An der Westmauer sind zwei Gruben für Holzpfeiler, vermutlich die Dachkonstruktionsträger, entdeckt worden. Aufgrund der Kleinräumigkeit des Testschnitts sind nur Vermutungen zur Umfassung dieser Konstruktion und zur Funktion des Befundes möglich.

5 B. JOVANOVIĆ, D. MRKOBRAD, Istraživanje starog rudarstva na Rudniku. Glasnik Srpskog arheološkog društva 3, 1986, 77–81, Abb. 2–4; D. MRKOBRAD, D. BOGOSAVLJEVIĆ Istraživanje srednjovekovnog rudarstva i metalurgije na Rudniku. Zbornik radova Nardnog muzeja 18, 1988, 42–43, Abb. 1–3.

6 Aus technischen Gründen sind wir nicht in der Lage, die entsprechenden Abbildungen beizufügen.

7 B. JOVANOVIĆ, D. MINIĆ, D. MRKOBRAD, Spomenici starog rudarstva i metalurgije na Rudniku. Glasnik Srpskog arheološkog društva 4, 1987, 50–51, Abb. 2–4; D. MRKOBRAD, D. BOGOSAVLJEVIĆ (wie Anm. 5) 43–46, Abb. 4–7.

8 B. JOVANOVIĆ, D. MINIĆ, D. MRKOBRAD, Spomenici starog rudarstva i metalurgije na Rudniku II. Glasnik SAD (vgl. Anm. 7) 5, 1989, 37; D. MRKOBRAD, D. BOGOSAVLJEVIĆ (wie Anm. 5) 46–48, Abb. 8–11.

Abb. 3 Rudnik, »Pumpenstation«.

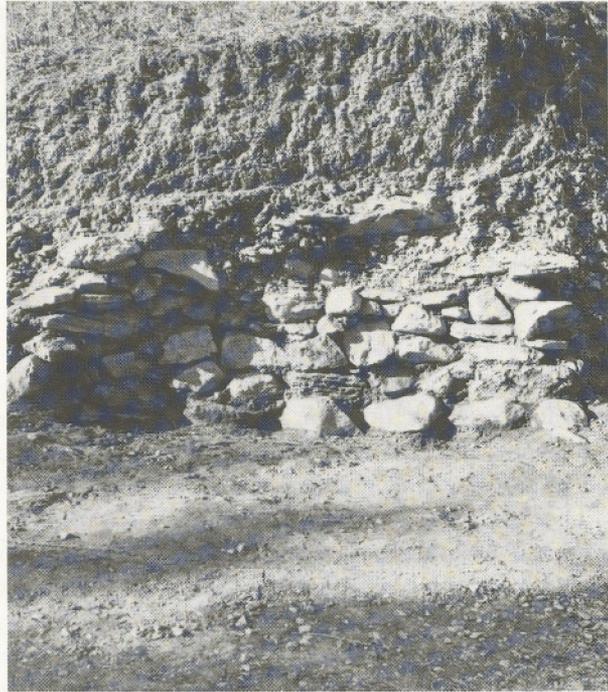


Abb. 4 Rudnik, Dolina Jasenice.



Die Profile mit einer Höhe von 1,5 m zeigen Zonen mit Holzkohle und rotgebrannten Bodenschichten, die im Zusammenhang mit der Bauphase des Objektes stehen dürften. Die dunkelrot verfarbten Bodenstellen mit den Ferro-Ernoxiden sind vermutlich aber auf die metallurgische Metallverarbeitung zurückzuführen. Die endgültige Beurteilung des Befundes werden zukünftige archäologische Forschungen und die chemischen Analysen erbringen. Das ganze Objekt kann nach der Keramik in das 14. und in die erste Hälfte des 15. Jahrhunderts datiert werden.<sup>9</sup>

### 3. Kopaonik

Der größte Berg Serbiens hat seinen Namen vermutlich durch die mittelalterliche Erzgewinnung erhalten (kopa-ti = graben). Im Mittelalter gab es viele Silberbergwerke auf Kopaonik (Plana, Kovači, Zaplanina, Koporici, Belasica), von denen das älteste und größte Bergwerk Trepča zum ersten Mal 1303 erwähnt worden ist.

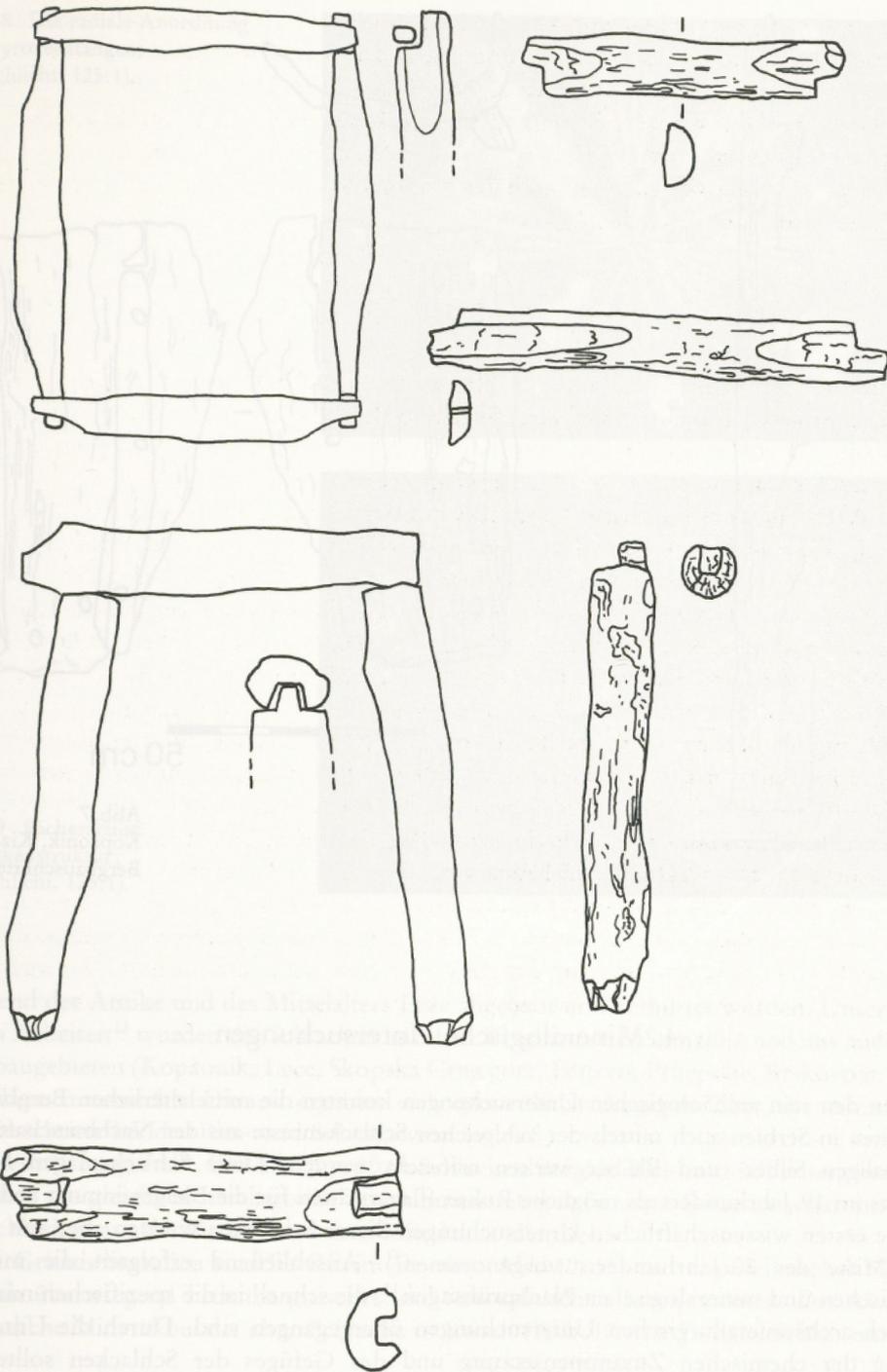
Die Aktivitäten des modernen Bergwerks mit dem Tagebau für die Blei- und Silbergewinnung Kiževak haben dieses Gebiet als günstig für die montanarchäologische Erforschung des mittelalterlichen Bergbaus gekennzeichnet. Im Laufe des Jahres 1988 wurden zunächst die alten Grubenrisse mit den restlichen Bergbaustrecken studiert, die durch die Tätigkeit des aktiven Bergwerks im Laufe der Testarbeiten oder direkt bei der Ausgrabung freigelegt worden sind. Durch die Prospektion der modernen Halden wurden Grubenerze, eine Anzahl von Bergbaustreben, Ausrüstungsgegenstände und Werkzeuge gesichert. Die Abstützung der Stollen wurde mit Hilfe von trapezförmigen, aus massiven Rundhölzern bestehenden Rahmenausbauten ausgeführt (Abb. 5). Die Gangabmessungen betragen rund  $1 \times 0,75$  m. Im geschütteten Erdreich wurden die Strecken mit Schnitt- und Resthölzern verschalt. Die Schächte sind durch viereckige Rahmenausbauten (kranzförmig) gesichert, die aus dem ersten etwas größeren Kranz von unten nach oben zusammengesetzt worden sind (Abb. 5). Die Schachtgröße, die den Rahmen aufnimmt, beträgt  $0,90 \times 0,70$  m, und der Innenraum zeigt die Abmessungen von  $0,70 \times 0,50$  m. Diese Verbindungsweise ergibt eine feste und dichte Zusammensetzung der Bauelemente. Drei unterschiedliche Verbindungsmethoden sind nachgewiesen: Überlappungsverbindung, Zahnverbindung und eine Verbindung durch ausgekreiste Stücke. Sie wurden entsprechend den unterschiedlichen Umgebungsgesteinen und Druckverhältnissen unter Tage angewandt.

Von den freigelegten Bergbauausrüstungen sind besonders die Holzleiter-Balken mit fünf eingeschnittenen Trittflächen (Abb. 6) und Holzschlitten aus ausgehöhlten Buchenstämmen zu erwähnen (Abb. 7). Auf der Außenseite sind zwei Schlitten unten mit je drei Holzkeilen befestigt. Die Leitern waren für die Fahrung unter Tage bestimmt, und die Schlitten dienten der Förderung der Erze und des Gesteins.

Der Bergbau Kiževak erscheint nicht in den mittelalterlichen Schriftquellen. Im Wortstamm dieses Namens steht aber das deutsche Wort »Kies«, also ein Relikt der sächsischen Bergbauterminologie, die wir mit dem Zeitraum des ausgehenden 14. und Anfang des 15. Jahrhunderts in Zusammenhang bringen<sup>10</sup>.

9 B. JOVANOVIĆ, D. MINIĆ, D. MRKOBRAD (wie Anm. 8) 37–40, Abb. 5–7; D. MRKOBRAD, D. BOGOSAVLJEVIĆ (wie Anm. 5) 48–50, Abb. 12–17.

10 V. BOGOSAVLJEVIĆ, D. MRKOBRAD, D. BOGOSAVLJEVIĆ, Istraživanje srednjovekovnog rudarstva na zapadnom Kopaoniku (okolina Kiževaka). Naša prošlost 3, 1988, 9–48.



0 50 cm

Abb. 5  
Kopaonik, Kizevak: Die Elemente  
des Holzausbaus unter Tage.

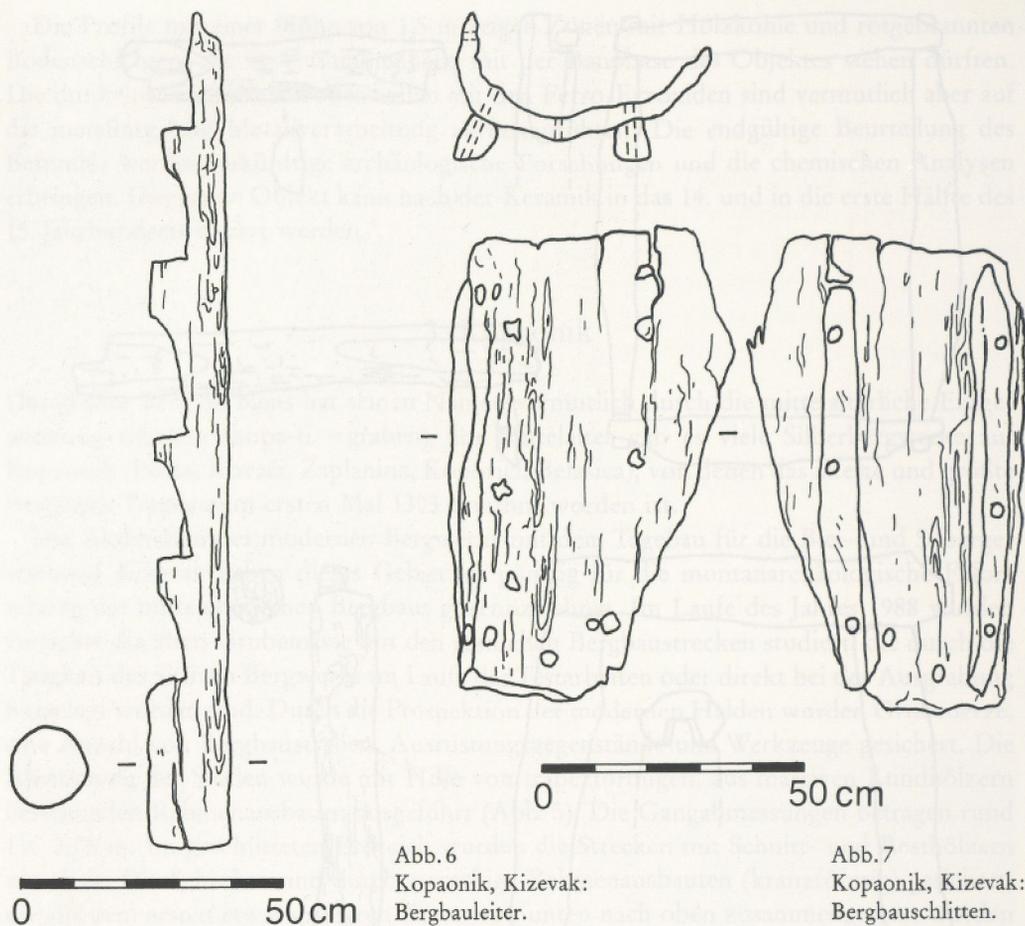


Abb. 6  
Kopaonik, Kizevak:  
Bergbauleiter.

Abb. 7  
Kopaonik, Kizevak:  
Bergbauschlitten.

#### 4. Mineralogische Untersuchungen

Neben den rein archäologischen Untersuchungen konnten die mittelalterlichen Bergbautätigkeiten in Serbien auch mittels der zahlreichen Schlackenreste aus der Nachbarschaft von ehemaligen Silber- und Bleibergwerken erforscht werden. Diese Schlackenlagen haben bereits im 19. Jahrhundert als mögliche Rohstofflagerstätten für die Bleigewinnung gedient.

Die ersten wissenschaftlichen Untersuchungen dieser Schlacken wurden aber erst nach der Mitte des 20. Jahrhunderts vorgenommen<sup>11</sup>. Anschließend erfolgten die mikroskopischen und mineralogischen Nachprüfungen<sup>12</sup>, die schnell in die spezifischen mineralogisch-archäometallurgischen Untersuchungen übergegangen sind. Durch die Untersuchung der chemischen Zusammensetzung und des Gefüges der Schlacken sollte die Entwicklung der Blei- und Silbermetallurgie in diesem Revier erfasst werden, in dem bereits

11 V. SIMIĆ, Isotorijski razvoj našeg rudarstva (Beograd 1951).

12 M. SAVIĆ, Šljakišta Novog Brda i Kačikola. Rudarsko-metalurški zbornik 1 (Ljubljana 1957); S. VUKOVIĆ, M. VUKOVIĆ, Mikroskopsko ispitivanje silikatnih komponenti u starim šljakama iz Crvenobreškog potoka na Avali. Rudarski glasnik 1 (Beograd 1966) 79–84.

Abb. 8 Die radiale Anordnung der Pyroxenstangen;  
(Durchlicht, 125:1).

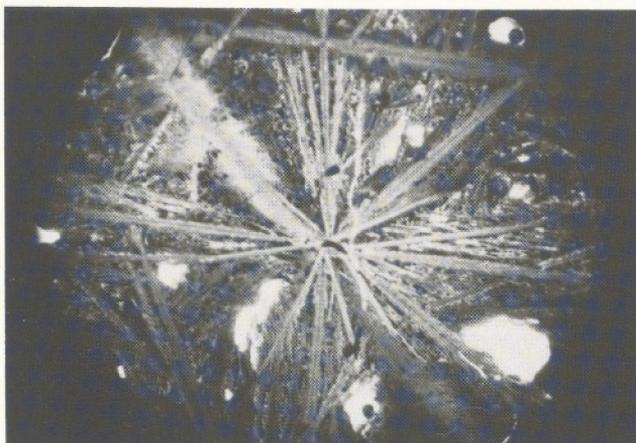
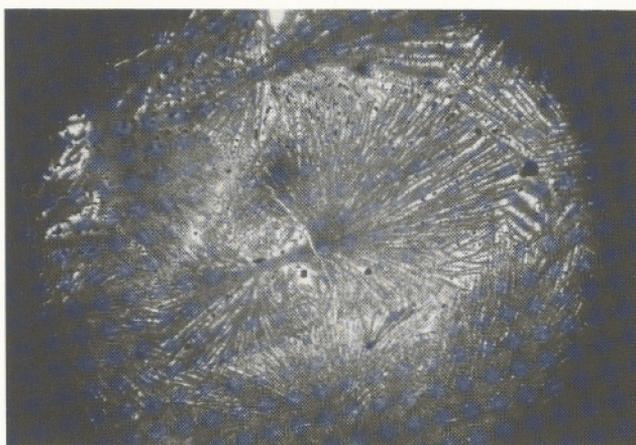


Abb. 9 Fächerartige Schlackenstruktur;  
(Durchlicht, 125:1).



während der Antike und des Mittelalters Erze abgebaut und verhüttet wurden. Unter den vielen Arbeiten<sup>13</sup> wurden die Schlacken aus dem Bergbaurevier Šumadija und aus anderen Bergbaugebieten (Kopaonik, Lece, Skopska Crna gora, Janjevo, Prijepolje, Brskovo u. a.)<sup>14</sup> detailliert untersucht. Daraus ergeben sich wesentliche Angaben über die einzelnen Arbeitsschritte bei der Blei- und Silbergewinnung.

Es wurde festgestellt, daß alle geprüften Schlacken aus den Blei- und Silberbergwerken praktisch die gleiche mineralogische Zusammensetzung aufweisen. Diese ist sogar mit der der Schlacken aus der Antike und dem Mittelalter identisch.

Die Grundminerale sind Fe-Olivin (Fayalit) (Abb. 12–13) und monoklinischer Pyroxen mit überwiegend hedenbergitischer und ferrosalitischer Komponenten. Das nächste wesentliche Mineral bei der alten Schlacke ist Leuzit (Abb. 10–11). Es handelt sich um das

13 S. VUKOVIĆ, Mineralne asocijacije starih olovo-cinkovnih šljaka – troskvi u Šumadiji sa osvrtom naneke druge oblasti u Srbiji. Disertacija Beograd; S. VUKOVIĆ, R. MILOJKOVIĆ, S. DURIĆ, Mineralni sastav srednjeevokovnih šljaka iz Brskova. Geološki anali Balkanskog poluostrva 51, 1988, 461–469.

14 Aus dem Probenmaterial wurden mit Hilfe des Polarisationsmikroskops etwa 300 Präparate mit Durchlicht und etwa 200 Präparate mit abgspiegeltem Licht untersucht. Zahlreiche Röntgenanalysen und andere mineralogische Analysen sind ausgeführt. Es wurden ungefähr 250 Proben chemisch analysiert oder die fertigen chemischen Analysen für die normalen oder Massenproben ausgenutzt.



Abb. 10 Skelettkristalle des Leuzits (weiß); (Durchlicht, 125:1).

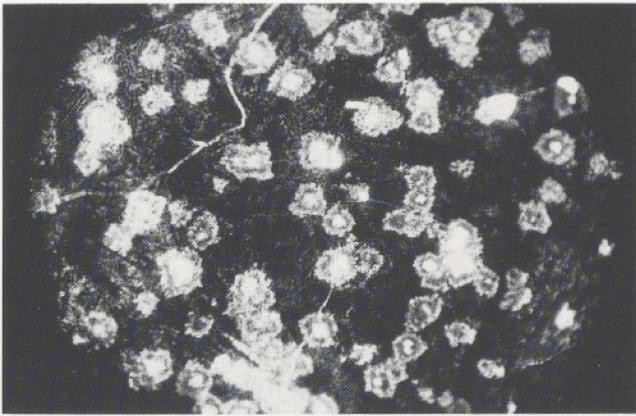


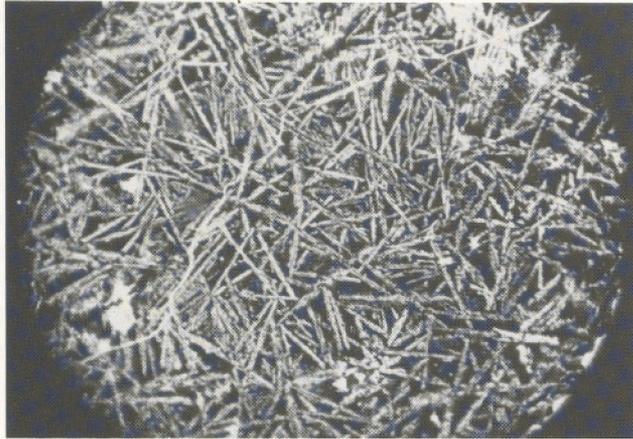
Abb. 11 Porphyrtartige Schlackenstruktur. Grobe Zonenschlackenkristalle in der Grundlage aus den Skelettkristallen des Leuzits, Magnetits und Olivins mit dem beigemischten Glas. Die dunkle Zone in den Leuzitkristallen stellt die Mischung der Wüstit-Magnetitkörnchen mit Leuzit dar; (Durchlicht, 125:1).

spezifische Mineral in den alten Schlacken, das in modernen Schlacken sehr selten und nur als mineralische Erscheinung zu beobachten ist. In den alten Schlacken ist der Leuzit eine jeweils anwesende und reich vertretene Komponente. Das zur Bildung von Leuzit erforderliche Kalium stammt meistens von im Altertum und im Mittelalter genutztem Brennholz. Immer anwesende und mengengemäß gut vertretene Komponenten sind die Ferroxide Magnetit und Wüstit (Abb. 14–15), die sich häufig in Form der gemischten Kristalle zeigen, wobei Wüstit den Mittelteil und Magnetit eine Randzone einnimmt. Wichtige, aber selten feststellbare Schlackenminerale sind Anorthit und Melilith mit überwiegender Fe-Akermanitkomponente. Die Schlacke enthält auch verschiedene Sulfide und Oxide des Bleis, Kupfers, Arsens, Zinks sowie sehr oft Troilit (Fe-Monosulfid).

Metallisches Blei und Kupfer, Gold (selten) sowie Eisenlegierungen sind in der Schlacke nachweisbar. Sie zeigen sich zweiartig: als kleine Tropfen (Metalle) und als kristallisierte Körner (Sulfide und Oxide), die in Skelettkristallen von Silikaten (Olivin, Pyroxen, seltener Leuzit, nie im Anorthit) (Abb. 14–15) regelmäßig angeordnet sind. Die andere Form ist der Stein mit dem Metall und den metallischen Mineralien (Blei, Galenit, Sphalerit, Magnetit, Troilit, Kupfer, Covellin, Chalkopyrit, Chalkosin, Bornit, Cuprit u. a.).

Daneben sind in den Schlacken immer die verschiedenen Glasstoffe und manchmal die ausschließlich aus dem Glas bestehenden Proben abgesondert. Alle diese Minerale sind Neubildungen, d. h. die aus der Schlackenlösung auskristallisierten und durch Liquefaction aus dem abgesonderten, geschmolzenen Metall abgetrennten Neumineralien. Die einzigen

Abb. 12 Die nadelförmigen Körnchen des Olivins und Leuzits (weiß) bilden die pseudophitischen Schlackengefüge; (Durchlicht, 125:1).



Die Untersuchungen der Grundlage, die Messen der Erze aus mehreren Jahrhunderten Grund dieser Angaben sind die und in den in Altertum und Mittelalter Methoden, die Messen der eingeschmolzenen Metalle, die eingetaucht wurden, die Messen der Metalle, die eingetaucht wurden.

Abb. 13 Die Skelettstangen aus Olivin mit plumpen Pyroxenkörnchen und dem Glas in der Grundlage. Die weißen Partien weisen auf den Leuzit hin; (Durchlicht, 125:1).



Reste von der metallurgischen Charge sind die kleinen Spinellkörnchen mit der Mg-Komponente. Das sind immer sehr extensive, obwohl in unwesentlichen Mengen anwesende Körnchen, die sich als Einschlüsse bei allen Silikaten und im Glas zeigen. Obwohl diese Körnchen im Laufe des metallurgischen Vorganges nicht geschmolzen oder gelöst werden, haben sich in ihrem Inneren verschiedenen Reaktionen im festen Zustand abgewickelt und eine Magnetitumrandung hervorgerufen. Bei einer Fundstelle (Rudnik) wurde durch Rtg-Strahlen – wahrscheinlich zonenweise – die Anwesenheit des Zu-Spinells (Gahnit) festgestellt. Neben den schon erwähnten Resten verkohlten Holzes (Holzkohle) befinden sich in den Schlacken auch die Einschlüsse von Gestein, das im allgemeinen unverändert geblieben ist oder mehr oder weniger metamorphisiert wurde.

Alle Mineralneubildungen in der Schlacke zeigen sich in verschiedensten Skelettformen; in Form der gut auskristallisierten Körnchen können Leuzit (Abb. 11) und Magnetit zusammen mit Wüstit sowie die Blei-, Zink-, Kupfer- und Arsensulfide vorkommen.

Die mikroskopischen Untersuchungen der alten Schlacken haben eine große Anzahl von Strukturformen mit unzähligen Varianten gezeigt, die sich nicht einfach beschreiben lassen. Die Skelettentwicklung bei fast allen Mineralien, ausgeprägte Inhomogenität der Masse mit häufiger Änderung der Strukturvarianten, zahlreiche Poren und Einschlüsse sowie relativ oft bemerkbare Phänomene der Zustände ohne Gleichgewicht, können als allgemeine Eigenschaften der alten Schlackenstruktur bezeichnet werden. Unter den Schlacken sind zuerst solche mit Glasanteilen von den fast vollkommen aus Glas bestehenden Typen zu

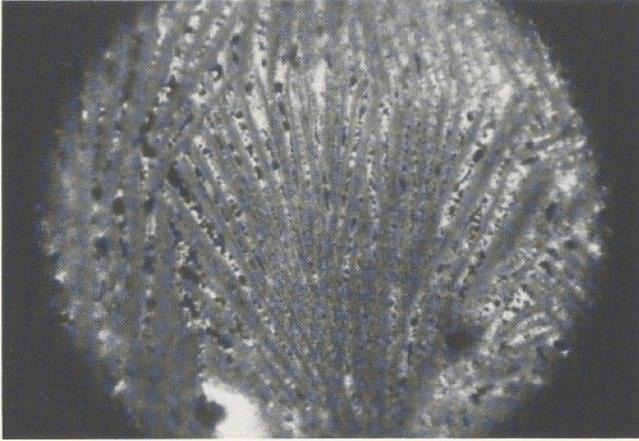


Abb. 14 Die fächerartige Anordnung des nadelförmigen Pyroxens (grau) mit dem Leuzit (weiß) und den Sulfid- und Metallkörnchen (schwarz); (Durchlicht, 250:1).

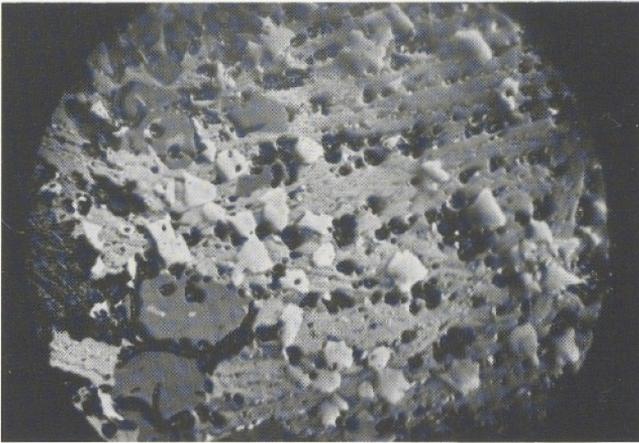


Abb. 15 Die stangenförmigen Olivinkörnchen (hellgrau), die gerundeten Leuzitkörner (dunkelgrau), tropfenförmige Sulfid- und Metallpartikel (weiß), Tesselalmagnetit häufig mit dem Wüstit in der Mitte (weiß) und Spinellkörnchen mit Magnetitumrandung (grau mit weiß). Die dunklen Stellen bedeuten Risse und Verunreinigungen.

unterscheiden. Darüber hinaus lassen sich die Form und Anordnung der Skelettkristalle von Silikaten nach den sphärolithischen, fächerartigen, radialen, pseudokornförmigen, porphyrtartigen Gefügeformen unterscheiden. Einige dieser Strukturen sind den beigelegten Mikrofotos zu entnehmen (Abb. 8–9, 11–12).

Höchst unterschiedliche Paragenesendiagramme sind beobachtet worden; eine ganze Reihe der Mineralvergesellschaftungen mit einer großer Anzahl der verschiedenen Eutektika, Umwandlungen, Anschwellungen und relevanten genetischen Phänomenen sind festgestellt worden. Von den zahlreichen Vergesellschaftungen erwähnen wir hier nur die Olivin-Leuzit-, Pyroxen-Anorthit-, Olivin-Pyroxen-Anorthitvergesellschaftung.

Auf Grund der mineralischen Vergesellschaftungen, Paragenesendiagramme, beobachteten Eutektika, Umwandlungen im festen Zustand und anderen relevanten Phänomenen ist die komplexe Sukzession der Bildungen von Schlackenmineralien vom Anfang der Lösungsabkühlung bis zur Temperatur von unter  $100^{\circ}\text{C}$  rekonstruierbar<sup>15</sup>. An dieser Stelle können wir nicht alle Details durchsprechen, müssen aber die Feststellung unterstreichen, daß die Lösung vor der Abkühlung relativ hohe Temperaturen von  $1400\text{--}1500^{\circ}\text{C}$ , meistens etwa  $1450 \pm 20^{\circ}\text{C}$ , erreicht hat.

15 S. VUKOVIĆ, Minerale asocijacije starih olovo-cinkovnih šljaka u Šumadiji. Glasnik Prirodnačkog muzeja, ser. A, 38, 1983, 11–87.

Mehr als 100 statistisch ausgewertete chemische Analysen der mittelalterlichen Schlacken aus Serbien haben einen Mittelgehalt für Blei von 4,61 Prozent mit dem mind. Gehalt von 0,30 Prozent Pb und dem max. Pb-Gehalt von 15,0 Prozent ergeben. Es ist zu betonen, daß mehr als 40 Prozent der analysierten Proben aus den mittelalterlichen Schlacken den gleichen Bleigehalt wie die Schlacken der modernen Bleimetallurgie enthalten. Etwa 10 Prozent dieser Proben zeigen sogar geringere Bleiinhaite<sup>16</sup>.

Die Untersuchungen der alten Schlacken im Gelände des Reviers Šumadija haben es ermöglicht, die Mengen der alten Schlacken zu berechnen, die durch die Verhüttung der Erze aus einzelnen Silberbergwerken des Mittelalters und der Antike entstanden sind. Auf Grund dieser Angaben und des Mittelgehaltes von Fe, Pb, Ag und K in den alten Schlacken und in den im Altertum und Mittelalter gewonnenen Erzteilen wurden durch die originalen Methoden<sup>17</sup>, die Mengen des gewonnenen Bleis und Silbers sowie die Flächengröße der ausgehauenen Wälder ermittelt, deren Holzmassen für den metallurgischen Brennstoff eingesetzt worden sind<sup>18</sup>. Es ist unmöglich, in diesem Bericht auf die Details dieser auf exakten Messungen stehenden Methode einzugehen; beispielhaft seien nur die Ergebnisse aus drei Blei-Silberbergwerken vorgestellt.

1. Die Lokalität Kosmaj-Babe ist eine während römischer Zeit abgebaute Blei- und Silberlagerstätte »Metalla Aurelliana«. Die Erze wurden hier ab Ende des 1. bis zur Mitte des 4. Jahrhunderts – etwa 300 Jahre – gefördert. Im Mittelalter wurde dieses Revier wegen der Erschöpfung der Oberflächenlagen nicht benutzt. Sie liegt ca. 40 km südlich von Beograd. Die ursprünglichen Mengen betragen ca. 1500000 t an antiken Schlacken und nur 5000 t mittelalterliche Schlacken. Es wurden 588000 t Blei und 4750000 kg Silber gewonnen. Die Jahresproduktion betrug im Durchschnitt etwa 1950 t Blei und 15850 kg Silber<sup>19</sup>. Zur Herstellung der Holzkohle für die metallurgischen Prozesse mußten ca. 24000000 t Holz eingesetzt bzw. ca. 950 qkm der Buchen- und Eichenwälder gerodet werden<sup>20</sup>.
2. Die Lokalität Avala ist ein mittelalterliches Blei- und Silberbergwerk. Das Bergbaugeschehen dauerte im Mittelalter von 1420 bis 1521, d.h. ca. 100 Jahre. Der Fundort liegt etwa 20 km südlich von Beograd. Die ehemaligen Schlackenmengen betragen ca. 140000 t. Die Produktion betrug ca. 35000 t Blei, etwa 100000 kg Silber, d.h. im Durchschnitt ca. 350 t Blei und ca. 1000 kg Silber pro Jahr<sup>21</sup>. Als metallurgische Brennstoffe sind etwa 3000000 t der besonders guten Holzmasse verkohlt bzw. etwa 115 qkm des Eichen- und Buchenwaldes gefällt worden<sup>22</sup>.
3. Die Lokalität Rudnik ist ein mittelalterlicher Blei- und Silberbergbau, wo die mittelalterliche Ausnützung von 1290 bis 1454, d.h. ca. 150 Jahre, dauerte. Es wurden ca. 20000 t Blei und ca. 100000 kg Silber bzw. ca. 130 t Blei und ca. 700 kg Silber im jährlichen Durchschnitt gewonnen<sup>23</sup>. Für die Verhüttung sind ca. 1500000 t der besonders guten

16 S. VUKOVIĆ, Frekvencija sadržaja olova u starim šljakama olovocinkovnih rudnih oblasti Srbije, Zapisnici Srpskog geološkog društva za 1985–1986 godinu. (Beograd 1988) 263–274.

17 S. VUKOVIĆ, M. VUKOVIĆ, Obim antičke i srednjevekovne eksploatacije srebrnosnih ruda Avale. Kosmaja i Rudnika. Vesnik 44, ser. A (Geozavod, Beograd 1988) 215–238.

18 S. VUKOVIĆ, M. VUKOVIĆ, Procena potrošnje drveta kao metalurškog goriva u starom i srednjem veku na primeru srebrnosnih rudnika u Šumadiji. Geološki anali Balloanskog poluostrva 51, 1988, 481–491.

19 S. VUKOVIĆ, M. VUKOVIĆ (wie Anm. 17).

20 S. VUKOVIĆ, M. VUKOVIĆ (wie Anm. 18).

21 S. VUKOVIĆ, M. VUKOVIĆ (wie Anm. 17).

22 S. VUKOVIĆ, M. VUKOVIĆ (wie Anm. 18).

23 S. VUKOVIĆ, M. VUKOVIĆ (wie Anm. 17).

Holzmasse verkohlt bzw. ca. 60 qkm des Eichen- und Buchenwaldes ausgehauen worden<sup>24</sup>.

Das äußerliche Aussehen der Schlacken, die Menge der Einschlüsse und das Porenvolumen stellen die Grundlage für die Unterscheidung der antiken von der mittelalterlichen Schlacke dar. Die antiken Schlacken sind durch eine stark ausgeprägte Porenbildung und große Mengen an kleinen Einschlüssen aus der Charge charakterisiert. Massive und glasähnliche Schlackenstücke sind selten zu beobachten. Die mittelalterlichen Schlacken haben weniger ausgeprägte Poren, häufig massive und glasähnliche Teile (nach dem mikroskopischen Aussehen) und relativ kleine Mengen an Einschlüssen aus der Unterlage und Holzkohle. Der harzige, glasartige und halbmattliche Glanz der sauberen Flächen ist kennzeichnend.

Diese Unterschiede des äußeren Aussehens sind die Folgen des Schlackenabstichs. Die mittelalterlichen Metallurgen haben die Schlacke durch eine Ofenöffnung bereits im flüssigen Zustand abgelassen, wobei die Gase stufenweise aus der Schlacke entweichen konnten. Die antiken Metallurgen haben die Ofenmauer zum Schlackenablassen zerstört. Der Abfluß der flüssigen Schlacke ist gekennzeichnet durch eine heftige Reaktion mit Gasbefreiung und Schaumbildung<sup>25</sup>.

## 5. Zusammenfassung

Die bisherigen archäologischen Untersuchungen zum mittelalterlichen Bergbaugeschehen und zur Metallurgie in Serbien haben bisher nur eine kleine Auswahl von Fundstellen mit guten Erhaltungsbedingungen erfaßt. Obwohl diese Untersuchungen in einem kurzen Zeitraum und in begrenztem Umfang vorgenommen worden sind, haben sie ermöglicht, eine Klassifizierung der Abbaue vorzunehmen, Werkzeuge und technisches Gerät, das bisher nur aus historischen Quellen bekannt war, archäologisch zu untersuchen sowie methodische Erfahrungen zu sammeln.

Die umfangreichen mineralogisch-archäometallurgischen Untersuchungen der alten Schlacken aus den mittelalterlichen und antiken Blei- und Silberbergwerken Serbiens haben auf die Möglichkeiten der Archäologie bei der Entdeckung einer der wichtigsten Wirtschaftstätigkeit der menschlichen Zivilisation hingewiesen.

Die dabei angewandten Methoden haben es ermöglicht, viele Details zu entdecken, mit denen die Rekonstruktion der unbekanntenen Aspekte des mittelalterlichen Lebens und die Überprüfung und Ergänzung der historischen Angaben möglich werden (z. B. technologische Details, Produktion der Bergwerke und mögliche Beeinflussung der Landwirtschaft und Wirtschaftsentwicklung, Umfang der Forstwirtschaft und mögliche ökologische und gesellschaftliche Einflüsse, soziale Veränderungen durch die Bergwerke).

Wir meinen, daß die hier dargestellten Ergebnisse Ausgangspunkt für weitere interdisziplinäre Forschungen zum mittelalterlichen Bergbaugeschehen und zur Metallurgie Serbiens sein können.

24 S. VUKOVIĆ, M. VUKOVIĆ (wie Anm. 18).

25 S. VUKOVIĆ (wie Anm. 15); S. VUKOVIĆ, Rekonstrukcija drevne metalurške tehnologije na osnovu mineralnih asocijacija starih šljaka (im Druck).