

## Die Silberbergwerke von Potosi: Das wichtigste Technologiezentrum Südamerikas aus der Sicht der Autoren der Inka und der Spanier

### Einführung

Im Herzen der Zentral-Kordilleren Boliviens gelegen, ist die Landschaft um Potosi von Bergen mit mehr als 5000 m Höhe, durch Hochtäler sowie Hochplateaus (3400 m bis 3600 m) geprägt. Es handelt sich um eine Bergbauregion, deren bergwirtschaftlich wichtigste Lagerstätten, allen voran Potosi – das größte Silbervorkommen der Welt – und Porco, seit der Kolonialzeit (Abb. 1) intensiv abgebaut worden sind. Eingebettet in die metallurgische Provinz der Andenkette variieren die dort anstehenden Erze von reinem Silber bis zu klassischem silberhaltigem Bleiglanz. Trotz seiner historischen Bedeutung wird dieses Gebiet erst seit einigen Jahren intensiv archäologisch untersucht. Die neuesten archäologischen und archäometrischen Befunde in

### *The silver mines of Potosi: The most important technology center of South America from the perspective of the authors of the Incas and the Spaniards*

*The official history of discovery of Potosi deposit was used to justify the introduction of forced labor (the mita), which has cost the lives of millions of Indians. Today, this history must be rethought, combining archival and archaeological data. The written direct sources from the early years of colonization have been used and can trace the political relations linking the two invaders in the region (the Inca and Spanish) and the local people. Since 1990, surveys have led to the creation of a location map of metallurgical sites. Some old mines have been located on the Cerro Rico. The silver technological process is now well understood through a study of a couple of sites in Potosi department. It reflects much more than Indian savoir-faire. It puts in light local power struggles for control of production of silver.*



Abb. 1: Karte von Potosi

Potosi<sup>1</sup> und Porco<sup>2</sup> sowie die jüngsten ethnohistorischen Untersuchungen<sup>3</sup> eröffnen neue Hypothesen über die Geschichte dieser Region, die die vielfältigen politischen, wirtschaftlichen und technologischen Probleme in den Mittelpunkt rücken, die mit

dem Abbau der bergbaulichen Ressourcen in Zusammenhang stehen. Heute kann die in der Gegend um Potosi angewandte Technik unter einem neuen Blickwinkel betrachtet werden.<sup>4</sup>

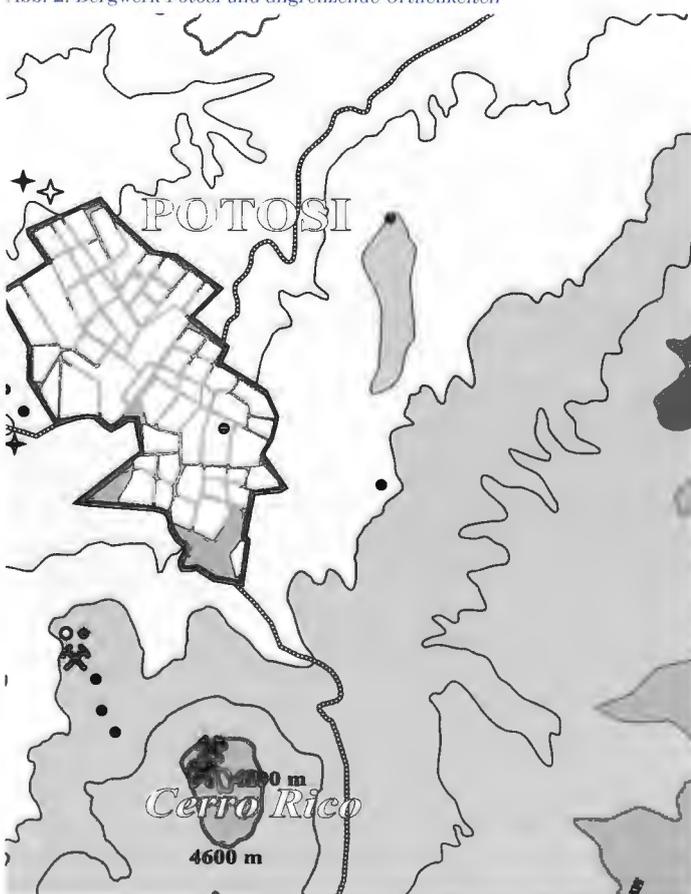
### Die Jahrhunderte im Umbruch: Potosi vor und während der spanischen Eroberung

Quellen aus den Anfängen der Besiedlung besagen, dass das Gebiet von Potosi im 15. Jahrhundert zunächst nur von einer einzigen ethnischen Gruppe bewohnt war: der Qaraqara<sup>5</sup>. Das „Mémoial de Charcas“<sup>6</sup> betont, dass die Qaraqara eine starke Allianz mit den Charkas, ihren nordöstlichen Nachbarn, eingingen; daraus entstand eine weiträumige territoriale Gemeinschaft, aus der sich dann eine Konföderation mit anderen Aymara-Völkern entwickelte, die somit eine große Fläche des Hochlandes des heutigen Boliviens beherrschten (Abb. 2).<sup>7</sup> Die archäologischen Hinterlassenschaften weisen darauf hin, dass die Qaraqara von Potosi eine extensive Besiedlung des Landes mit Bevölkerungsgruppen rund um kleine und mittlere bäuerliche Ansiedlungen (1 bis 10 ha) bevorzugten. Landwirtschaft im Hochland sowie die Zucht von Lamas waren ihre wichtigsten wirtschaftlichen Tätigkeiten. Der Bergbau stellte ebenfalls ein Beschäftigungsfeld dar, blieb jedoch auf ein Minimum reduziert. Oft vorgestellt als eine „chefferie aymara“, erscheint die Organisation der Qaraqara aufgefächert und wenig hierarchisiert. Jede Ansiedlung besaß

eine gewisse politische und wirtschaftliche Autonomie<sup>8</sup>, die auf einem gemeinsamen Ahnenkult aufbaute<sup>9</sup>. Diese Konfiguration verschlechterte sich Mitte des 15. Jahrhunderts durch die Ankunft der Inka und die Integration des Gebiets in deren Reich: Tawantinsuyu. Die Landerobertung durch die Inkas ging mit der wirtschaftlichen Unterwerfung der lokalen Bevölkerungen einher, die häufig in andere Gebiete des Reiches umgesiedelt wurden – ein Vorgehen, das später von den Spaniern übernommen wurde –, sowie durch die Einsetzung autochthoner neuer Eliten, die den Inkas nahe standen, eine Vorgehensweise, die eine Strategie der Beherrschung darstellte. Die Suche nach neuen Lagerstätten wertvoller Metalle stand im Zentrum der Expansion der Inka nach Süden.<sup>10</sup> Unter ihrem Einfluss intensivierte sich die Metallproduktion und nahm eine neue symbolische und religiöse Dimension ein. Hauptsächlich die mineralhaltigen Berge wurden als heilig (oder wieder heilig) verehrt und standen im Mittelpunkt intensiver ritueller Handlungen besonders der „qhapaqucha“ (capacocha), einem lokalen Kinder- und Jugendlichen-Opferritual. Auf den wichtigsten Berggipfeln wie den „cerros“ von Potosi und Porco, die nahezu 5000 m hoch waren, erbauten sie Heiligtümer, die ihren Göttern gewidmet waren: den „wak'as“ (oft bedeuten sie die Berge selbst). Neben diesen Heiligtümern in großer Höhe zeigte sich die Überlegenheit der Inka in der Landschaft von Potosi durch den Aufbau eines Verwaltungszentrums sowie von Stätten mit unterschiedlicher wirtschaftlicher Bedeutung (Landwirtschaft, Keramik, Metallurgie etc.). Sie äußerte sich außerdem in der Wiederbelebung lokaler Wohnstätten und im Aufbau eines Straßennetzes, das den Verkehr und den Austausch von Produkten und Arbeitskräften im gesamten Reich sicherte.

Ein knappes Jahrhundert nach dem Eintreffen der Inka war die Gegend von Potosi erneut von einer radikalen Veränderung in der Machtstruktur betroffen. Im Jahre 1539 kam Gonzalo Pizarro, der Bruder des Marquis Francisco Pizarro und „conquistador“ von Peru, als erbitterter Feind der Inka und später des Königs von Spanien in diese Region, in der er „augenscheinlich ohne Erfolg“ versuchte, die Erze in den Silberbergwerken des Cerro Rico in Potosi abzubauen. Als Schauplatz wirtschaftlicher Kämpfe und als politisches Streitobjekt waren die ersten Jahre der Kolonialgeschichte Potosis von Kämpfen zwischen den verschiedenen spanischen Parteien, den Inka und den lokalen Einwohnern beherrscht. Die offizielle Geschichtsschreibung, die die Existenz der lokalen Bevölkerung vernachlässigt und sich in Gonzalo Pizarro getäuscht hat, setzte sich für die koloniale Legitimierung der Inbesitznahme der berühmten Metallvorkommen des Cerro de Potosi ein. Diese Inbesitznahme wurde als Werk einer unverhofften Fügung beschrieben, deren Quelle eine fantastische Vision der Entdeckung dieser Lagerstätte ist, die auch heute noch in der allgemeinen Erinnerung präsent ist.<sup>11</sup> Mit einigen Varianten erzählt der Mythos die Entdeckung Potosis wie folgt: Der Inka Wayna Oupaq war nur einige Jahre vor dem Eintreffen der Spanier in der Region unterwegs und verharrete voller Erstaunen über das Gefälle des symbolträchtigen Berges. Also befragte er den Berg selbst über seinen Mineralreichtum und der Berg antwortete, mit expliziter Anspielung auf die Spanier, dass dieser für diejenigen bestimmt sei, die später kommen würden. Die Genauigkeit dieser Vorhersage an Wayna Oupaq im Jahre 1545 wurde bestätigt, als der Inka Diego Gualpa, der in Diensten der Spanier (yanacona) stand, die das Silberbergwerk von Porco in Betrieb genommen hatten, „zufällig“ die sagenumwobene Lagerstätte entdeckte und sie den Eroberern zeigte. Der weitere Fortgang der Geschichte ist

Abb. 2: Bergwerk Potosi und angrenzende Örtlichkeiten



bekannt: Nach einigen Jahren wurde Potosi eine Hauptstadt, die denen der Alten Welt in nichts nachstand.

Ein Dokument mit einem posthumen Bericht belegt eine sehr glaubwürdige Version von der Entdeckung des Cerro Rico durch Diego Gualpa. Bettlägerig und umgeben von seinen Nächsten, erzählt darin Gualpa, wie er sich 29 Jahre zuvor in Begleitung von vier Spaniern und einem anderen Inka an den Fuß des Cerro Rico mit dem Ziel begeben hatte, das Heiligtum auf der Spitze des Berges zu zerstören. Gualpa und seine Komplizen kletterten bis zum Heiligtum empor. Nachdem der Frevel vollzogen war, wies er seine Gefährten an, zu den wartenden Spaniern zurückzukehren. Gualpa blieb eine Weile allein bei dem Heiligtum, um dann auf einem anderen Weg zurückzukehren. Während des Rückmarsches drückte ihn der starke Wind zu Boden und er verlor das Bewusstsein. Als er erwachte, waren seine Hände voll mit reichem Silbererz.<sup>12</sup>

Obwohl die göttliche Vorhersehung in dieser Erzählung noch deutlich vorhanden ist, verändern einige Elemente doch deutlich die Bedeutung dieser Entdeckung. Zunächst war Gualpa doch etwas mehr als nur ein einfacher Inka in Diensten der Spanier: Vielmehr war sein Vater Alcauca eine (gesellschaftlich) wichtige Inka-Autorität in Yamqui in Chumbivilcas (Peru), und Gualpa selbst war der Hüter der Federn des „Huascar Inka“ und besaß damit eine rituelle Verantwortung, die ihn in die erste Reihe der Reichseliten stellte.<sup>13</sup> Die Beschreibung des Heiligtums von Potosi – laut Dokument mit einer Grundfläche von 30 Quadratfuß – stimmt mit der Morphologie der hochgelegenen Heiligtümer der Inka überein. Die Plünderung desselben verstünde sich besser in einem Verdammungsritual durch ein Mitglied der Elite wie Gualpa vor der Übergabe an die Spanier. Gualpa hat also wahrscheinlich nicht nur den Berg übergeben, sondern auch jene Örtlichkeiten gezeigt, an denen die Silbererzgänge an der Tagesoberfläche ausbissen, ohne jedoch die notwendigen metallurgischen Kenntnisse preiszugeben, die zur Aufbereitung und zur Verhüttung notwendig waren.<sup>14</sup>

Die Übereinstimmung verschiedener politischer Faktoren hatte die Übergabe des Heiligtums und der mineralischen Reichtümer begünstigt. Dies waren zunächst die kosmischen und politischen Umbrüche durch den Tod von „Manco Inka“ einige Monate zuvor, die eine neue Etappe in den politischen Beziehungen zwischen den Inka und der neuen Kolonialmacht bedeuteten und die spanische Macht stärkten. Dann unterstützte der endgültige Abzug von Gonzalo Pizarro, der in den Krieg gegen die Truppen des spanischen Königs zog, den Dialog zwischen den Inka und den königstreu verbliebenen Spaniern. Andere Hinweise deuten darauf hin, dass die Auslieferung des Cerro Rico nicht ohne Absicht erfolgt war, denn aus Schriftquellen und archäologischen Funden ist belegt, dass in den ersten Jahren des Silberabbaus in Potosi durch die Kolonialherren die Metallurgie in den Händen der spezialisierten Ureinwohner verblieben ist. Diese „yanaconas huayradores“ (Schmiede) und „choyadores“ (Veredler) standen zuvor in Diensten der Inka – wenigstens bis zu den Reformen durch den Vizekönig Francisco de Toledo im Jahre 1574.<sup>15</sup> Diese Information stützt sich auf die an den meisten Verhüttungsplätzen anzutreffende Keramik der Gattungen „chilpe“ (eigentlich aus Carangas)<sup>16</sup> und „inka“, die in Kontakt mit Potosi standen. Diese Keramik wurde in einer Keramikwerkstatt, die direkt von den Inka in Potosi kontrolliert wurde (Jesús Valle), hergestellt und unterstreicht an den metallurgischen Plätzen den Willen der Inka, ihre Präsenz in der Region sowohl symbolisch als auch im Material deutlich zu machen.



Abb. 3: Die Jungfrau von Cerro Rico, 18. Jahrhundert (Museo de la Casa Nacional de Moneda, Potosi)

Schließlich stimmt die Entdeckung der Lagerstätte auch mit dem Mythos – so wie man ihn in Europa kennt – überein. Diese sagenhafte Entdeckung fand durch eine göttliche Fügung und zufällig statt. Der Mythos verändert sich je nach Erzählweise: vom Fall des Diego Gualpa und seinem Aufwachen mit Händen voller Silbererz bis zum zufälligen Schmelzen des Erzes anlässlich eines abendlichen Feuers. Zahlreiche Autoren, zumeist Ethnologen, haben sich mit dem Mythos der Entdeckung Potosis beschäftigt<sup>17</sup>, um die mythologische Vermischung zu belegen, die zwischen der Entdeckung der Lagerstätte und den europäischen sowie indianischen Lagerstätten existiert. Diese Verflechtung der Bergbaukulturen findet sich auch in der Kunst, deren schönstes Beispiel das von einem unbekanntem Künstler geschaffene Gemälde der Jungfrau von Cerro (Abb. 3) ist, in dem auch die soziale Vermischung im Gründungsmythos von Potosi deutlich dokumentiert ist: Neben der politischen Darstellung der damaligen Welt zeigt dieses Bild des Silberberges von Potosi die verschiedenen Mythen seiner Entdeckung – den Weg Gualpas auf den Gipfel, das Geschenk des Inka, das Fließen des Silbers durch das häusliche Feuer – und vermischt christliche Symbole wie die Jungfrau Maria und die Taube des Heiligen Geistes mit indianischen religiösen Symbolen (mit dem Mond, der Sonne sowie dem Berg). Das Bildwerk entspricht damit den zeitgenössischen sozialen Vorstellungen.

Ohne den technischen und politischen Diskurs zu berücksichtigen, den man seit der Publikation von Alonso Barba (1640)

kennt, muss auf den verfügbaren Funden aufgebaut werden, um das Produktionssystem des Silbers zu verstehen, wie es im Gebiet von Potosi seit dem Eintreffen der Spanier bis zur Einführung des Patio-Prozesses 1572 stattgefunden hat. Über 30 Jahre lang etablierte sich ein Produktionssystem vom Erzabbau bis zur fertigen Münze, das dem metallurgischen Können sowohl der Europäer als auch der Indianer zu verdanken ist.

Bezüglich Potosi ist die wichtigste Informationsquelle und der einfachste Zugang die oben schon erwähnte Abhandlung von Barba aus dem Jahre 1640: „El arte de los metales“. Barba, Priester in einer Gemeinde von Potosi, beschreibt darin die Amalgamierungstechnik, wie diese seit dem Jahre 1572 in Potosi eingesetzt wurde. Darüber hinaus erweiterte er sein Betätigungsfeld noch erheblich und überlieferte wertvolle Informationen über die bergmännischen und metallurgischen Tätigkeiten in Potosi, wie sie im ausgehenden 16. und frühen 17. Jahrhundert dort stattfanden.

Doch selbst wenn sich die Spanier über die Bedeutung und die potentiellen Ressourcen der Lagerstätte im Klaren waren, sicher ist, dass diese kleine Gruppe von Männern nicht die technischen Fähigkeiten und das Wissen besaß, um Bergbau auf einer Silberlagerstätte zu betreiben, die noch heute eine der größten der Welt ist. Diese Schwierigkeiten der Eroberer dokumentieren sich u. a. in den Ausgrabungen auf der Insel Isabela.<sup>18</sup> Wenn man darüber hinaus noch die Geringschätzung, die die Konquistadoren der Bergbautätigkeit entgegenbrachten, hinzuzieht<sup>19</sup>, verwundert es nicht, dass die europäischen Eroberer die Erzgewinnung und die Metallurgie in die Hände der eingeborenen Bevölkerung legten,

die diese Tätigkeiten kannte und gut beherrschte. Sogar nach der Einführung der Amalgamation in Potosi blieb das Montanwesen in den Händen der eingeborenen Bevölkerung.

### Die Bergbautätigkeit

Als die Spanier in Potosi ankamen, war die Lagerstätte den Indianern bereits bekannt. Die Gewinnung umfasste bei weitem nicht die heute bekannten Dimensionen (Abb. 4), man ist vielmehr – was die Entwicklung der bergmännischen Tätigkeiten anbetrifft – auf Vermutungen angewiesen. In Potosi beispielsweise ist es sehr wahrscheinlich, dass der übertätige Abbau und die Schächte auf dem Gipfel des Cerro Rico bereits existiert hatten, wenn auch in einem eher rituellen als wirtschaftlichen Rahmen.<sup>20</sup> Die Vorgehensweise, die bergmännischen Gewinnungsaktivitäten vom Gipfel aus zu beginnen, ist geradezu klassisch und stimmt mit der Natur der Lagerstätte, deren reichste Zone sich auf dem Gipfel befindet, überein. Leider hat der exzessive Abbau eine Absenkung des Gipfels zur Folge gehabt, sodass die Recherchen heute schwierig sind. Zwar ist es nicht zu leugnen, dass alte Abbau Spuren existieren, jedoch ist es unmöglich, diese ausreichend zu charakterisieren (Abb. 5). Wie ein Palimpsest überlagert das aktuelle Bergwerk vollständig das historische. Auch heute noch gelangt man nicht selten durch die auf Grund der Bergbauspuren eindeutig den Spaniern zuzuweisenden Strecken zu den modernen Abbauorten. Schließlich verbietet die Schießtätigkeit im

Abb. 4: Potosi, Blick vom Cerro Rico





Abb. 5: Potosi, der Gipfel des Cerro Rico und Abbauspuren

Bergbau einen freien Zugang zu den vorhandenen Streckennetzen – mögen diese nun im Abbau stehen oder aufgegeben sein. Zur Erinnerung: Es vergeht kaum ein Monat, ohne dass nicht Todesfälle im Cerro Rico zu beklagen sind. Die Bergbauaktivität der Inka und der Kolonialherren in diesen Bereichen zu untersuchen, bedeutet nur einen ersten, oberflächlichen Eindruck zu erhalten, basiert dieser doch lediglich auf der Analyse der Zugänge und liefert deshalb am Ende keine weiteren Erkenntnisse. Um die Geschichte des Cerro Rico aufleben zu lassen, muss man sich anderen Stationen des Montanwesens zuwenden.

### Die Aufbereitung des Erzes

Generell hat die Aufbereitung des Erzes das Interesse der Archäologen immer weniger geweckt als die Gewinnung oder die Metallurgie. Diese Feststellung gilt auch für die Produktion der Metalle in den Anden – die Funde dieser Phase der Produktionskette (chaîne opératoire) sind in der Neuen Welt im Gegensatz zu Europa besonders mangelhaft untersucht. Doch darf man die eingesetzten Techniken in den beiden Hemisphären trotz des bestehenden Mangels an Information nicht isoliert betrachten, vielmehr gestattet die Beobachtung der Überreste der Aufbereitungswerkstätten den Schluss, dass manche Verfahren durchaus

autochthon entstanden sind, andere aber ihre Wurzeln im Alten Europa gehabt haben.

So verwundert es nicht, dass die Aufbereitungskette der Erze in Südamerika neben der Phase des Röstens, die nicht immer notwendig ist, auch die Phasen des Sortierens, des Zerkleinerns, des Mahlens und des Waschens kennt. Diese vier Phasen wiederholen und vermischen sich je nach der Natur des Erzes und des anhaftenden tauben Gesteins mit den zuvor angewandten Techniken der Gewinnung und den darauf folgenden metallurgischen Prozessen. Ziel war es, eine Erzcharge mit dem richtigen Gehalt und in einer Größenordnung zu finden, die unmittelbar zu Metall verhüttet werden konnte. Die Einführung der Amalgamation im Jahre 1572 in Potosi hat die Aufbereitungstechniken tiefgreifend verändert, denn von nun an musste ein „Mehl“ (lama) hergestellt werden, um die Kontaktoberfläche mit dem Quecksilber zu vergrößern und somit die gewünschte Reaktion zu beschleunigen. Die Aufbereitungsschritte, die nicht der Silberherstellung, sondern der Gewinnung zunächst von Kupfer und Zinn, später auch von Zink dienten, bestanden weiter, wie sie schon vor dem Jahre 1572 für das weiße Metall angewendet wurden. Das charakteristische Objekt eines technischen Synkretismus in der Aufbereitungskette der Erze ist ohne Zweifel der „quimbolete“.<sup>21</sup> Dabei handelt es sich um einen sehr großen halben Mahlstein, der durch menschliche Kraft in Bewegung gesetzt wurde. Daraus entstand eine ausbalancierte Bewegung. Einmal in Gang gesetzt,



Abb. 6: Potosi (Tholapampa), ein quinbolete

ist die Beibehaltung dieser Bewegung relativ einfach, denn es genügte eine ausgleichende Kraft, um den Reibungseffekt zu erhalten. Zur Arbeit an diesem Gerät benötigte man maximal drei Personen: Zwei garantierten die konstante Bewegung, während die dritte sich um die Zerkleinerung des Erzes kümmerte. Diese Arbeit wurde auf einem Platz, der eigens für diesen Zweck hergerichtet werden musste, durchgeführt; häufig wurde ein großer Steinblock mit einer glatten Oberfläche für diesen Zweck genutzt. In Potosi kann man noch heute eine solche Einrichtung zur Aufbereitung von Zinnerzen bei den „ingenios“ beobachten, und es bleibt festzuhalten, dass die aufbereitungstechnische Bearbeitungskette, wie sie im Werk „De Re Metallica“ von Georgius Agricola (1556) beschrieben worden ist, noch heute in Gebrauch ist. Ebenso kann man noch Waschgräben (*fosse de lavage*) antreffen, die in Form und Funktion denen der karolingischen Welt ähnlich sind.<sup>22</sup> Auch trifft man in der Gegend von Potosi noch Einrichtungen aus der Kolonialzeit an<sup>23</sup>, die einen großen Steinblock in Gestalt einer Tischfläche nutzten, auf dem sich die Zerkleinerung mittels der „quinbolete“ abspielte (Abb. 6). Um diesen Steinblock hatte man ein Gebäude zum Schutz des Mahlsteins errichtet. Die Veränderungen an diesem Zerkleinerungssystem sind relativ einfach. Sie bestehen, wie Barba es beschreibt und wie es oft beobachtet worden ist, im Anbringen von einer oder zwei runden Eisenstangen, die als Griffe dienen und die Bewegung des Mahlsteins erleichtern. In Porco, wo die Inka die Lagerstätte abgebaut haben, ist ein Teil eines „quinbolete“ neben einer Siedlung mit typisch autochthoner Architektur noch erhalten und sichtbar. Diese Methode ist auch aus Europa bekannt, jedoch aus früheren Zeiträumen. Das jüngste bekannte Beispiel stammt aus der antiken griechischen Welt<sup>24</sup>, besteht aus viel kleineren Mahl-

steinen und bietet eine plane Zerkleinerungsoberfläche. Die Aufbereitung entwickelte sich in Europa hin zu einem rotierenden System (mit Erzmühlen, die mit der Hand, mit Wasser oder mit tierischer Kraft angetrieben wurden); später entwickelte man das Pochwerk mit Wasserradantrieb. Die Nutzung des „quinbolete“ in der Gegend von Potosi war nicht bedingt durch das Fehlen von Wasser, wie z. B. in Tholapampa – dort hat man gleichzeitig und nebeneinander ein wassergetriebenes Pochwerk und einen „quinbolete“ genutzt –, vielmehr war die Wahl des Aufbereitungsverfahrens wohl bedingt durch die Qualitäten der Erze, durch die Kenntnisse der Aufbereitungsverfahren bei den Eroberern und – vielleicht auch – durch einen gewissen Konservatismus, d. h. fehlender Investitionswillen auf Seiten der spanischen Eroberer.

Die Feinmahlung und die Korntrennung des Fördergutes waren essentiell sowohl für die Verhüttung als auch für die Amalgamation. Die rotierende Mühle erlaubte die Herstellung eines relativ gleichmäßigen Mahlgutes, wohingegen die „quinbolete“ durch die Natur der Einrichtung eine heterogene Korngröße erzeugte. Dieser Mangel war nicht hinderlich, denn Waschen und Sortieren erlaubten eine Sortierung des Materials nicht nur nach seiner Natur, sondern auch nach seinen Abmessungen. Nicht alles abgebaute Material musste dem „quinbolete“ aufgegeben werden. Die massiven Erze konnten den Schmelzöfen zugeführt werden, nachdem sie mit der Hand in eine passende Größe zerkleinert worden waren. In Porco bei Cruz Pampa, bei den Resten des „huayrachina“ (vgl. unten), fand sich eine Konzentration von grauem Erz – nach der Beprobung stellte sich heraus, dass mit zwei Ausnahmen alle Stücke aus Antimonglanz bestanden. Es handelte sich dabei nicht um Erz, das bei der Verhüttung

verloren gegangen war; im Gegenteil: Seine Anhäufung in der Nähe der Schmelzöfen scheint darauf hinzuweisen, dass es wesentlich aussortiert worden ist. Man kann demnach die Hypothese aufstellen, dass den Hüttenleuten nur Erze gegeben wurden, die gut zu verhütten und frei von taubem Gestein waren. Die Erzaufbereiter waren also durchaus in der Lage, das Erz gut zu sortieren und vom tauben Gestein zu trennen, jedoch konnten sie nicht zwischen zwei ähnlichen Erzen unterscheiden (z. B. zwischen Blei- und Antimonglanz). Die Korngröße belegt auch, welche Erze gut zu verhütten waren, da sie von den Aufbereitungsplätzen sofort in die Öfen zu wanderten. In Cruz Pampa variierte die Korngröße zwischen 1 cm und 2 cm bei einem Gewicht zwischen 1,8 g und 11,7 g (im Durchschnitt 5 g). In diesem System erscheint die Bedeutung der „quimbolete“ sehr gering gewesen zu sein. Die gefundenen Erzstücke stammen aus dem Abbau eines mächtigen und recht reinen Ganges, und man behielt nur jene Stücke, die frei von taubem Gestein und anderen Verunreinigungen waren. Es gibt nur sehr wenige Beispiele, anhand derer man die Korngröße, die verhüttet wurde, definieren kann.<sup>25</sup> Bei der in Potosi und Umgebung benutzten Aufbereitung waren die Unterschiede bei der Korngröße der zu verhüttenden Erze ziemlich variabel; von grobkörnigem Mehl, wie es aus dem „quimbolete“ herauskam, bis zu Stückerzen unmittelbar aus dem Abbau waren alle Korngrößen vorhanden.

Die „quimbolete“ begleitend findet man in diesem Erzrevier auch andere Strukturen und Bergwerksmaschinen aus der europäischen Welt. Die Korrelation mit dem Buch Agricolas mag verwirren, jedoch meint Barba dazu: „[...] Muy dilatadamente enseña el Agricola a lavar los metales antes de fundirlos; poco se usa en estos reinos, si no es en metales de estaño, y tal o cual lo usa en las tierras o granzas de plomo, para quitarles la lama que tuvieren; pero en los metales de plata, no ha dado lugar a esta curiosidad, algo prolija, la máquina del beneficio por azogue, y el recelo de que no se pierda nada en las lamas que se llevare el agua. Pero acertaría el que a metales que de su naturaleza son mejores para fundición, y no son macizos sino mezclados con piedras u otros metales de azogue, los moliese y lavase en tinas y recogiese las lamas para beneficiarlas por azogue, y lo que quedase abajo, que será lo que había de fundición, por ser más pesado, se beneficiase por fuego [...]“<sup>26</sup>

Fest steht, dass die Aufbereitung der Erze durch den Einsatz der Amalgamation tiefgreifend verändert worden ist. Man benötigte dazu ein Mehl, aber man brauchte nicht notwendigerweise die tauben Bergeanteile auszusortieren. Die Erzaufbereitung „klassischer Art“ blieb den Buntmetallerzen vorbehalten, vor allem den Zinn- und Zinkerzen in Potosi und den Kupfererzen in Tholapampa.

## Die extraktive Metallurgie

Auch wenn Barba den Prozess der Amalgamation in den Mittelpunkt seiner Arbeiten gestellt hat, so erinnert er doch daran, dass sich nicht alle Erze für diesen Vorgang eignen und daneben die Verhüttung weiter bestanden hat. Dieser technische Konservatismus führte auch zu der weit verbreiteten Praxis des Erzdiebstahls und eines parallel zur Goldherstellung verlaufenden Produktionssystems des Silbers: des „kajcha“.<sup>27</sup> Man verfügt so über wichtige Informationen zu den frühen Produktionsketten dieser Region dank bestimmter Elemente der späteren Einfüh-

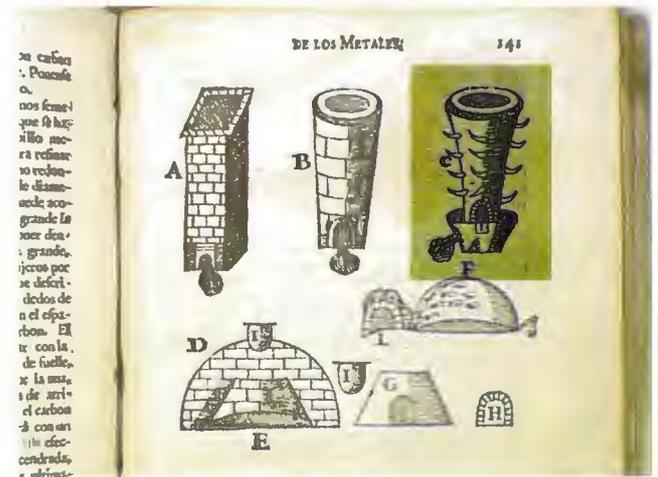


Abb. 7: Verschiedene Darstellungen eines huayrachina

rung der Amalgamation. Der Rückgriff auf eine indigene Technologie erklärt sich wohl aus der Unkenntnis der spanischen Gesellschaft über metallurgische Vorgänge in der Region um Potosi. Ein ähnlicher Fall konnte schon auf der Insel Isabela festgestellt werden.<sup>28</sup> Was auch die Gründe in der ersten Zeit der Produktion (1543-1572) gewesen waren: Die in Potosi anwesenden Spanier zögerten nicht, die Verhüttungskennnisse der Indianer zu nutzen, um die Silberproduktion zu gewährleisten und von der Verhüttung der Silbererze zu profitieren, die nicht amalgamiert werden konnten. Bei der spezifischen Verhüttung der Silbererze setzten die Eingeborenen einen in Europa unbekanntem Ofen, den „huayrachina“, ein. Die Literatur zu diesem Schmelzofen ist relativ ergiebig, doch stellt sich eine terminologische Fra-

ge, denn zu allgemein werden alle Öfen als „huayrachina“ bezeichnet.<sup>29</sup> Soweit es sich in den meisten Fällen um einen Ofen mit natürlicher Windzufuhr handelt, dann ist der „huayrachina“ für metallurgische Vorgänge reserviert, wie sie von Alfonso Barba und anderen Autoren (Abb. 7) beschrieben werden; doch darf man diese Definition nicht auf Öfen anwenden, die Winddüsen zur verstärkten Ventilation nutzten. Es scheint auch, dass es weniger bekannte Öfen indianischer Konstruktion gegeben hat, die auf ein ausgeprägtes metallurgisches Wissen verweisen.

## Huayrachina

Dieser Ofentyp ist aus den schriftlichen Quellen des 16. Jahrhunderts relativ gut bekannt; er wird in allen Einzelheiten in den einschlägigen Artikeln über die Silbermetallurgie in Bolivien behandelt.<sup>30</sup> Es handelt sich um eine nach oben abnehmende Säule von durchschnittlich 1 m Höhe, deren ovale Form im Inneren Abmessungen von 15 cm Breite und 30 cm Länge zeigt. Zahlreiche Windöffnungen sind in die gesamte Wandung eingelassen, was dem Ofen seine charakteristische Eigenheit verleiht.

Nachweise für diesen Ofen gibt es fast nur in Porco und Potosi. Dank archäologischer Funde an diesen beiden Orten ist es möglich, die Frage nach der Arbeitsweise und der Funktion dieser

Abb. 8: Wandung eines huayrachina (Porco, Potosi)



Abb. 9: Reste einer Wandung eines huayrachina (Porco, Potosi)

Öfen zu vertiefen (Abb. 8). Die Funde in Porco und Potosi zeigen, dass man einen stark gemagerten Ton, der einen großen Anteil an Quarz sowie Pflanzenresten enthält, verwendete. Dieser Ton wurde offenbar in Form von Briketts mit einer minimalen Dimension von 15 cm x 10 cm x 3 cm benutzt, die aufsteigend aufeinander geschichtet und mit einem dicken Schlamm verbunden wurden. Bei den größten Fragmenten, die bekannt geworden sind, war die Schlamm-Verbindung lückenlos. Die Windöffnungen wurden vor dem Aufschichten der Briketts gebohrt, mit Ausnahme von zwei Öffnungen, die an der Basis des Ofens einander gegenüberliegen. Man beobachtet eine systematische Bohrung von innen nach außen, was durch einen Tonwulst um die Öffnung belegt werden kann. Auch scheint es eine gewisse Standardisierung bei der Herstellung der Öfen gegeben zu haben. Die Öffnungen heben sich hier von dem ab, was bei Barba berichtet wird, dies ist auch anhand von ethnologischen Beispielen zu beobachten.<sup>31</sup> Es existiert keine Lippe oder gar Spuren einer Lippe, die einen äußeren Rand geformt hätten.

Die gefundenen Fragmente erlauben eine Rekonstruktion der Einzelformen und Dimensionen des „huayrachina“, wie er in der Gegend von Potosi benutzt worden ist. Der Ofen besitzt einen rechteckigen Innenraum mit den Maßen von 15 cm x 30 cm, dessen Ecken abgerundet sind und sich einem Oval annähern. Die Dimension der oberen Öffnung lässt auf eine spezielle Eichung des Brennmaterials und der Erze schließen. Die aufgefundene Matte an der inneren Wandung bezeugt eine relativ feine Korngröße des zu verhüttenden Erzes: Die Korngröße war kleiner als ein halber Millimeter. Unbekannt ist bislang noch, ob dieses Phänomen aus der Gestalt des Ofens resultiert oder von den Techniken der Erzaufbereitung abhängig war. Die Fragmente von Antimonerzen, die im Umkreis der Ofenreste in Cruz Pampa in Porco gefunden worden sind, sprechen für eine allerletzte Kläubung vor dem Ofengang, die es dem Hüttenmann erlaubte, die Qualität der eingesetzten Erze zu bestimmen. Dieser Ofentyp musste notwendigerweise roh zusammengebaut werden, da die Öffnungen bereits in jedem Brikett vorhanden waren. Hier spiegelt sich bereits die Idee eines transportablen Ofens wie dem „huayrachina“ wieder<sup>32</sup>: Jedenfalls erlaubt diese Art des Zusammenbaus des Ofens, den Ort der Fabrikation vom Ort des Ge-

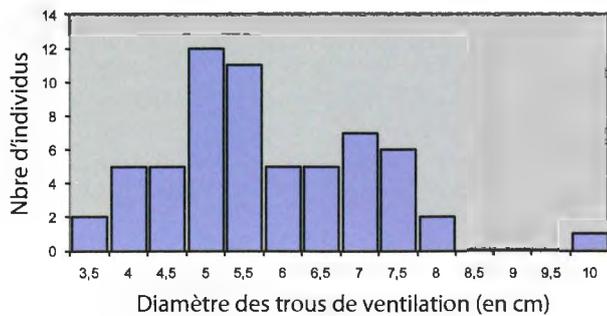


Abb. 10: Abmessungen der Düsen

brauchs zu trennen. Einmal getrocknet, können die Ziegel einfach transportiert werden. Ein kleiner „huayrachina“ benötigte weniger als 30 Ziegel und besaß damit ein vergleichsweise geringes Gewicht.

Die große Anzahl an Ofenfragmenten erlaubt es, die Dimensionen der Windöffnungen zu untersuchen (Abb. 9). Es existieren zwei Sorten: Die erste und am häufigsten anzutreffende besitzt einen Durchmesser von 5 cm x 5,5 cm, die zweite, größere zeigt Durchmesser von rd. 7 cm (Abb. 10). Diese Öffnungen befinden sich senkrecht in der Wandung des Ofens. Einige zeigen eine Neigung von etwa 30° nach innen: Diese geneigten Öffnungen sind am stärksten abgeschmolzen. Es ist daher sehr wahrscheinlich, dass die Neigung bei der Erhitzung der Charge und durch die Arbeit des Metallurgen während des Schmelzvorgangs an diesen Öffnungen, z. B. bei der Schürbewegung entsteht. Ausgehend von den Fragmenten mit mehreren Öffnungen lässt sich außerdem feststellen, dass die Abstände der Windöffnungen in horizontaler und vertikaler Richtung bei rd. 15 cm bzw. rd. 10 cm liegen. Die Öffnungen liegen ziemlich exakt übereinander. Die Öffnungen am Boden konnten nicht mehr gefunden werden, jedoch besitzt man Fragmente von Öffnungen, die zu groß dimensioniert sind, um als Windöffnungen interpretiert zu werden. Ihre geringe Anzahl scheint darauf hinzudeuten, dass es sich bei diesen um die Öffnungen an der Basis des Ofens handelt.

Schließlich kann man nach der Art der Verschlackung und der Statik des Ofens zwei Hypothesen zu einer Rekonstruktion eines kompletten „huayrachina“, wie er in der Gegend von Potosi benutzt worden ist, aufstellen.

- Die erste Hypothese bezieht sich einzig auf den vertikalen Abstand der Windöffnungen, der bei ungefähr 10 cm liegt. Nach der Anzahl und der Klassifizierung dieser Windöffnungen gibt es mindestens eine oberste, nicht gebrannte Reihe und sechs Reihen von Ziegeln, die einen Schacht gebildet haben, in dem sich die Reduktion abgespielt hat, sowie zwei Reihen Ziegel als Basis des Ofens. Wenn man noch eine Reihe für das Fundament des Ofens hinzufügt, um dort eine Öffnung einzufügen, hätte der „huayrachina“ eine Höhe von 100 cm (Abb. 11) besessen.
- Die zweite Hypothese bezieht sich auf die Existenz von verschiedenen Schlackenresten am Wandungsinnen, d. h. mit einer Ziegelreihe am oberen Ofenschacht, zwei Ziegelreihen für die Reduktionszone und eine Ziegelreihe für das Fundament. Bei dieser Annahme war der Ofen mindestens 40 cm hoch. Wenn auch die Anzahl der Ziegelreihen mit Windöffnungen zwischen neun und vier variieren, so bleibt doch der innere Durchmesser des Ofens mit Abmessungen von 15 cm x 18 cm identisch. Diese relativ kleinen Dimensionen setzen

eine sorgfältige Kalibrierung des Erzes und des Brennstoffs voraus, um die Bildung von Schlackenbrücken im Inneren des Ofens zu verhindern. Die Wandstärke scheint bei beiden Modellen mit durchschnittlich 5 cm gleich gewesen zu sein.

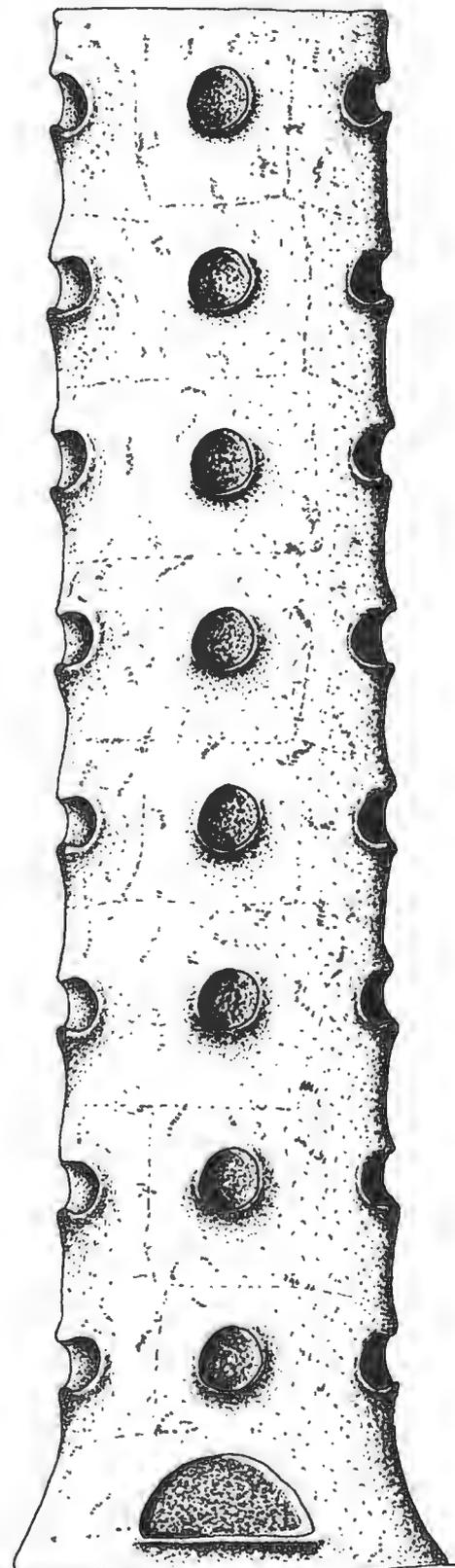


Abb. 11: Rekonstruktion eines „huayrachina“ (Zeichnung: Pablo Cruz)



Abb. 12: Die Steinfundamente eines „huayrachina“ (Juku Huachana, Potosi)

Diese Dimensionen stimmen erstaunlich gut mit den zugänglichen Illustrationen überein. Im „Atlas of Sea Charts“, herausgegeben von der „Hispanic Society of America“ vom Ende des 16. Jahrhunderts, ist eine Abbildung des „huayrachina“ dokumentiert. Sie zeigt fünf bis sechs Ziegelreihen mit Windöffnungen. Die Illustration in „El Arte de los Metales“ zeigt fünf Reihen, ein Druck von Peele (1894) vier Reihen. Eine Übereinstimmung mit

den gefundenen Gegebenheiten sowohl in Potosi als auch in Porco ist damit gegeben, doch stellen sich Fragen zum Maßstab bei den Illustrationen.<sup>33</sup> Die Höhe des „huayrachina“ scheint keine vorgegebene und fixe Größe gewesen zu sein; auch seine Positionierung war offenbar variabel.<sup>34</sup> Auf Illustrationen steht er auf einem Sockel. Die Reste eines solchen Aufbaus finden sich in Potosi<sup>35</sup> (Abb. 12), gleichzeitig gab es auch Installationen auf ebener Erde wie in Porco (Abb. 13).

### Metall- und Schlackenwiederaufbereitung

Schließlich stellt sich die Frage nach den Produkten dieses Ofentyps. Relativ selten finden sich Schlacken in der Nähe der Standorte der „huayrachinas“. Jedoch trifft man bei den Überresten der Öfen kleine Metallkugeln an, deren Gewicht nur selten ein halbes Gramm (durchschnittlich 0,15 g) überschreitet. Diese, wenn auch begrenzte Anhäufung bezeugt das Vorhandensein von Metall, das aus dem Ofen fließen konnte. Es ist sehr wahrscheinlich, dass Kugeln von mehr als 0,15 g systematisch aufgesammelt wurden. Jedenfalls zeigen die Analysen dieses Materials, dass das Blei dieser ersten Schmelze mit 1% bis 2 % Silbergehalt silberhaltig gewesen ist. Es scheint so, dass die Metallurgie in Potosi wie auch in Porco darauf beruht, dass das Blei aus dem Silbererz extrahiert wurde, wie es bei Garcilaso „[...] el cual [le minerai de plomb] mezclado con el metal de plata le hacia correr, por el cual le llamaron zuruchec [soroche = galène] que quiere decir et que hace deslizar“

Abb. 13. Potosi. Juku Huachana





Abb. 14: Porco, Potosi, gemahlene Schlacke in Cruz Pampa

beschrieben wird.<sup>36</sup> In Potosi folgte dieser ersten Schmelze die Arbeit mit dem Tiegel und zwar unmittelbar in den Schmelzhütten, wie es der Fund von zahlreichen Keramik-Fragmenten belegt, die wohl als Tiegel gedient haben.<sup>37</sup> Diese Arbeit bezweckte im Wesentlichen, das Metall in die Form kleiner Barren oder Schalen zu gießen, um es besser weiterverarbeiten zu können.

Eine allerletzte Phase der extraktiven Metallurgie konnte in Cruz Pampa in Porco beobachtet werden (Abb. 14). Dabei handelt es sich um die Wiederaufbereitung der Schlacke, die nach deren Austritt aus dem Ofen stattfand.<sup>38</sup> Diese Methode war nicht vollkommen, sodass ein Teil des metallischen Bleis in der Schlacke verblieb. Da das Blei jedoch noch edelmetallhaltig war und sein Verlust eine gewaltige Verschwendung darstellte, war die Wiederaufbereitung der Schlacke ein allgegenwärtiger Prozess, den man so jahrhundertlang durchführte.<sup>39</sup> Es zeigt sich deutlich, welche Mühen die Metallurgen auf sich genommen haben, um diese Verluste deutlich zu minimieren, denn allein in Cruz Pampa umfasst die Zone der Schlackenwiederaufbereitung eine Fläche von 80 m<sup>2</sup>. Elf Wiederaufbereitungsplätze, die kaum 1 m<sup>2</sup> umfassen, wurden in diesem Gebiet identifiziert. Sie sind dadurch gekennzeichnet, dass sich Anhäufungen, umgeben von glasartigen Schlackenresten und gemischt mit kleinen Wandfragmenten, finden lassen – umgekehrt zeigen die Standorte der „huayrachina“-Öfen eine Anhäufung von Wandresten fast ohne Schlacken an. Fünf dieser Örtlichkeiten sind charakterisiert durch Reste mit grober, nussgroßer Körnung, während die anderen sechs relativ kleine Körnungen (gleich oder weniger als 1 cm) zeigen. Es gab demnach eine örtliche Aufteilung der Arbeiten. Die Schlacken

wurden zunächst nur grob zermahlen, sicherlich um ein erstes Sortieren zu sichern und eine zweite Zerkleinerung zu begrenzen, die zum Auslesen kleiner Metallkugeln führte. Für spätere Wiederaufbereitungsphasen standen dem Metallurgen demnach Blei aus dem Abfall sowie Metalltröpfchen zur Verfügung, die aus der Zerkleinerung der Schlacken und dem Aufsammeln in der Umgebung des Ofens stammten.

### Die zweite Metallurgie: der Flammofen und der Muffelofen

Auch wenn die metallurgische Struktur des „huayrachina“ inzwischen aus architektonischen Gründen als indianische Erfindung unbestreitbar ist, so stellt sich doch die Frage nach dem Flammofen, so wie er in der zeitgenössischen Publikation „Arte de los Metales“ vorgestellt wird und wie er von uns in dem Gebiet von Potosi vorgefunden worden ist. Die Technologie erschien zuerst um das Jahr 1678 in England<sup>40</sup>, zu Beginn des 18. Jahrhunderts fand sie eine erste Anwendung in Deutschland und in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts in Frankreich.<sup>41</sup> In der hier interessierenden modernen Form basiert die Technik auf der Trennung der Brennstoff- von der Schmelzkammer, somit ist der im Buch von Barba (Buch IV, Kap. V) präsentierte Ofen ein Flammofen im wahrsten Sinn des Wortes.

Es ist wichtig anzumerken, dass Barba als erster Autor die Methode des Erzsammelns und -verhüttens beschrieben hat, die

Herkunft dieser Technologie bleibt jedoch im Dunkeln. Im Kapitel V seines 4. Buches, in dem er die vier Arten der Verhüttung und die Öfen, die dafür notwendig sind, beschreibt, erwähnt er Erze, die mit Holz in Flammöfen verhüttet werden, die Schmelze mit Flammen und Kohle in einer Grube, die Schmelze mit Kohle im Muffelofen und die Schmelze mit Kohlenhitze und Kohle nach kastilischer Art. Ohne auf sein Konzept, das eine phlogistische Theorie andeutet, zurückzukommen, definiert Barba sowohl einen Ofen, der Kontakt mit dem Brennmaterial impliziert, als auch einen Ofen, der Brennmaterial und Erz trennt (Muffel- und Flammofen). Muffelöfen sind in Europa weit bekannt, aber bleiben den Erzprüfern vorbehalten<sup>42</sup> und sind niemals in Produktionssysteme von großen Dimensionen eingebunden. Was den Einsatz eines Flammofens zur Erzverhüttung anbetrifft, kündigt Barba in Kapitel VI seines 4. Buches an: „[...] Llamen en este reino hornos castellanos a los que en las otras tres primeras partes del mundo, han sido usados y comunes para la fundición de toda suerte de metales. De ellos sólo trata el Agricola para este efecto [...]“. Agricola und Beringuccio benutzen den Begriff „réverberation“ oder Strahlung, jedoch handelt es sich dabei nicht um einen Ofen mit zwei Kammern. Im Vergleich zum „huayrachina“ steht man somit vor einem Bezeichnungsproblem, wobei die Form des Ofens, d. h. eine Kuppel, und das Prinzip der Hitzeansammlung in der Wölbung in der Bezeichnung vorherrschen, zum Nachteil dessen, was die Besonderheit der neuartigen Flammöfen ausmacht: nämlich die Trennung des Brennmaterials von dem zu schmelzenden Material.

Steht man hier also vor einem technologischen Transfer von Südamerika nach dem alten Europa wie in dem Fall der Ersetzung der „xabecas“-Öfen durch die „Buitrones“- oder „Bustamante“-Öfen, wie sie im spanischen Almaden im Jahre 1646 nach südamerikanischem Vorbild bei der Quecksilberverhüttung eingeführt worden sind?<sup>43</sup> Oder noch überraschender: Gab es eine Adaption der indianischen Schmelztechnik hinsichtlich der Flammöfen? Die kürzlich gefundenen Reste einer metallurgischen Werkstatt in Pulacayo (Region Potosi) könnten eine Lösung andeuten<sup>44</sup>, heißt es doch bei Barba im IV. Buch, Kap. XV: „[...] Poco o nada se ha usado hasta nuestros tiempos, entre los que han tratado de metales, el fundirlos en hornos de reverberación, y aunque antes de ahora se tuvo noticia de ellos, no fue con la perfección que hoy se usan, ni para este efecto, sino para refinar solamente [...]“. Man erkennt daraus, dass in Barbas Augen der Schmelzofen eine Neuerung ist, sei es, dass er europäischer Herkunft ist oder dass er seine Wurzeln in den indianischen metallurgischen Prozessen hat. Diese Technologie integriert sich sowohl in die extraktive als auch in die sekundäre Metallurgie.

### Santa Isabel: Flammöfen zur Reduktion und Kupellation

Wie im Fall der Reduktionsöfen wirft die Einführung der Kupellationsschmelzöfen im wahrsten Sinn des Wortes (d. h. bei der Trennung der Brenn- von der Schmelzkammer) Fragen auf. Der Fall ist sehr einfach, denn man findet eine klare und eindeutige Referenz der Existenz dieser Technologie in Europa bei Georgius Agricola.<sup>45</sup> Jedoch wird der Hitzestruktur bei Agricola (Buch X) der Rang einer Besonderheit und lokalen Spezialität zugewiesen, was den Gebrauch des Flammofens zum Schmelzen bzw. zum Verhütten von Erzen angeht. Obwohl Agricola einen

Holzschnitt dieses Ofentypus anfügt, erkennt man an den dargestellten Informationen, dass Agricola diesen Ofen niemals gesehen hat. Die Darstellung einer weiten Öffnung der Brennkammer nach außen lässt das Funktionieren dieser metallurgischen Struktur illusorisch werden. Das Fehlen extraktiver metallurgischer Spuren – mit Ausnahme bei Ercker als Quelle für die Zeit zwischen der zweiten Hälfte des 16. und der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts – erleichtert keineswegs die Erstellung einer erhellenden Chronologie zur Einführung dieses Ofentypus in Amerika. Es ist also nicht ausgeschlossen, dass es sich bei diesem Ofentypus um eine indianische Technologie handelt. Die Beschreibung des „toco chimbo“ bei Barba belegt, dass die lokalen Metallurgen das Prinzip des Flammofens beherrschten oder zumindest das Prinzip der Trennung von Brenn- und der Schmelzkammer für großdimensionierte Produktionen gekannt haben. Die Untersuchungen von Rodolfo Raffino in Quillay charakterisieren ebenfalls die Trennung von Erz und Brennstoff, denn mit Asche gefüllte Tiegel wurden dort gefunden. Ihre Haupteigenschaft scheint nicht zu sein, nach einem hitzebeständigen Material zu suchen (wie es der Autor vorschlägt), sondern eine Schicht zu haben, welche die Oxide absorbiert und eine Kupellation ermöglicht.<sup>46</sup> Die Datierung dieser Fundstätte legt eine Interaktion mit europäischen Metallurgen nahe.<sup>47</sup>

Um diese Frage der Verhüttung sowie der Reduktion des Erzes zu vertiefen, muss man das Bergwerk Santa Isabel in Lipez (Gegend von Potosi) in die Betrachtung einbeziehen. Dort stehen noch zwei in gutem Erhaltungszustand befindliche Öfen, die eine erstaunliche und exemplarische Parallele zu den Öfen darstellen, die im Kapitel V des IV. Buches von „El Arte de los Metales“ erwähnt sind.<sup>48</sup> Wohlgermerkt: Man befindet sich nicht in der Welt eines Agricolas, der das technische Objekt umfassend erläutert, vielmehr stehen die Bezifferungen der Öfen für sich allein. Barba versteht die Abbildungen nicht mit Legenden, sie beziehen sich vielmehr direkt auf den vorausgehenden Text. Auf seiner Abbildung erkennt man eine perspektivische Ansicht und eine Schnittzeichnung, die das Verständnis erleichtern, und tatsächlich wurde – wie bei allen anderen Abbildungen seines Werkes – alles „Unnütze“ weggelassen. Die Abbildung gehört zum Abschnitt mit dem Titel „De los hornos sen que se funden los metales, y primeramente de aquellos en que se funden con lena“<sup>49</sup>, in dem Barba eine Produktionskette des Metalls vollständig beschreibt. Er beginnt mit den vier Hitzesorten, über die der Metallurge verfügt und über die Öfen und die Brennstoffe, die dazu gehören. Vor der kurzen Erklärung der Technik des Schmelzens in der Gießgrube beginnt er mit der Beschreibung der Konstruktion des Schmelzofens. Allein der Ofenteil, in dem sich das Erz befindet, wird beschrieben, ohne die Abbildung wäre das Verständnis der Brennkammer schwierig (Abb. 15). Barba hält sich lange mit der Beschreibung der Ofenfundamente auf, gibt jedoch keine Information zu den Abmessungen der Ofenkuppel, unter der der Schmelzprozess abläuft. Der Schornstein ist ebenfalls bemast, aber erst oberhalb der Kuppelspitze, die eine variable Dimension – jedoch immer über 4 Fuß (111,2 cm) – hat. Man kann also von einer Mindesthöhe von 8 Fuß (222,4 cm) ausgehen, d. h. 4 Fuß über der Kuppel. Der Ofen steht auf einer viereckigen Basis mit 8 Fuß (222,4 cm) Seitenlänge und einer Höhe von 5 Fuß (139 cm). Die angefügte Brennkammer besteht aus einem Aschenkasten und der Brennkammer. Beide Teile sind durch eine eiserne Barriere voneinander getrennt, keine Seite ist geschlossen. Wenn man sich auf die Abbildung verlässt, befindet sich die Brennkammer in einem Rechteck von 8 zu 2 Fuß. Barba zeigt darüber hi-

plancha; asíense: abaxo (sobre) hicho, y n'pasa la leña: más gruesa, pónese sobre esta otra canca de menuda; y así se va alternando haça arriba, dexando siempre en el medio una concavidad, ó hueco, por donde se pueda echar lumbre encendida, para que se emprenda fuego desde lo baxo del horno. Sobre la leña se pone el metal que ha de fundirse; y si hay comodidad para cavar estos hoyos junto á alguna barrena, se hace un agujero por lo baxo, con que mas facilmente se enciende el fuego, y se le puede dar salida al metal como se fuere deritiendo. Es usado en los Chichas este modo de fundir, para sacar de los toroches Plomo: sirve tambien para quemar los metales de Hierro; en las partes donde se beneficia este metal.

A. Paredes sobre que se funda el horno. B. Suelo del horno. C. Sabalera por donde entra la leña. D. Ventana por donde entra la llama. E. Puerta del horno. F. Puerta por donde se dá fuego. G. Puerta por donde entra aire. H. Puerta por donde se saca la ceniza. I. Chimenea. K. Otra ventana del horno. L. Puerta redonda en lo alto del horno.

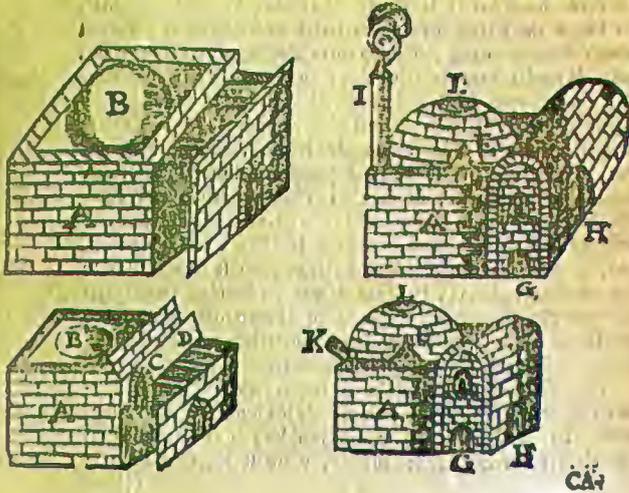


Abb. 15: Schmelzöfen; Beispiele von Santa Isabel (Vila Cueva Punku, Potosi) verglichen mit den Abbildungen in „El Arte de los metales“

naus noch einen zweiten Ofen, der dem ersten ähnlich, nur viel kleiner ist; diesen beschreibt er jedoch nicht. Man spürt jedoch bei den Abbildungen die enge Verbindung dieser beiden metallurgischen Konstruktionen.

Die Ähnlichkeiten in den Konstruktionen ließen sich auch auf Santa Isabel beim Ausgrabungsort Vila Cueva Punku beobachten. Beide Öfen fanden sich unter einem Felsenüberhang in einer Schlucht, von denen der größere zweifelsohne ein Schmelzofen war. Beide verfügen allerdings über keine Basis, wie sie Barba beschrieben hat. Aber weiter unten am Hang konnte der Aschenkasten Platz finden und dessen Aufgabe erfüllen, indem er den Ausschuss beider Kammern auf gleicher Höhe aufnahm. Steine mit großem Abstand waren anstelle der eisernen Barriere zwischen den beiden Kammern aufgestellt, um sowohl die Belüftung als auch die Standsicherheit der Holzstöße im Feuerraum zu gewährleisten. Im Falle des Reduktionsofens – und entgegen der Abbildung in „El Arte de los Metales“ – sind die Dimensionen der Brennkammer viel kleiner, dennoch entsprechen der Durchmesser (230 cm) und die Höhe der Schmelzkammer (110 cm) exakt den Angaben bei Barba. Der aufgefundene Schornstein hatte eine erhaltene Höhe von 130 cm. Der Herdboden zeigte eine Neigung von 20° zu einer Öffnung hin, die senkrecht zur Zirkulation der Flamme angebracht war und über ein Ausflussloch von 4 cm im Durchmesser verfügte. Ein anderer Unterschied, der weder zum Text noch zu den Abbildungen bei Barba passte, betraf Windöffnungen in halber Höhe der Kuppel. Dass der Ofen in Nutzung gestanden hat, ist offensichtlich. Neben den Schlacken, die sich im Fluss fanden, zeigte die Verschlackung des Schorn-

steins eine starke Interaktion zwischen den Wandungen und den Bleidämpfen, die sich in ästhetisch schönen gelben Versinterungen dokumentierten.

Im Abstand von drei Metern fand sich ein zweiter Ofen, der abgesehen von den Dimensionen die gleiche Gestalt besaß. Außen maß er 2,17 m x 1,44 m, die Schmelzkammer besaß im Inneren einen Durchmesser von 82 cm und eine Höhe unter der Kuppel von 47 cm. Was die nutzbare Oberfläche anging, war dieser Ofen dreimal kleiner (0,5 m<sup>2</sup> im Gegensatz zu 1,5 m<sup>2</sup> des Reduktionsofens). Neben seiner Größe unterschied er sich vom ersteren auch durch zwei seitliche Öffnungen in der Kuppel. Sie lagen auf dem Niveau des Herdofens und bildeten ein Dreieck mit einer Basis von 20 cm und einer Achshöhe von 20 cm. Der Boden war besonders gut erhalten und verfügte über einen Belag aus weißlichem, pulverisiertem Material, das durch Fragmente von der Wölbung und vom Schornstein verunreinigt war; kompaktere Fragmente lagen verteilt an der Öffnung. Eine Röntgen-Analyse belegte, dass diese Fragmente voller Bleioxide in einer Matrix aus Holzasche waren: Damit ist eindeutig bewiesen, dass eine Kupellation stattgefunden hat, auch das Fehlen einer starken Verschlackung des Schornsteins ist ein deutliches Indiz für die Funktion dieses Ofens. Eine Kupellation benötigt keine Temperaturen über 1000 Grad, die Dämpfe sind kühler und die Reaktion mit dem Lehm bzw. dem Ton der Wandungen ist zu vernachlässigen: Der Schornstein weist deshalb keine Versinterung auf.

Die archäologischen Funde bestätigen also die literarischen Quellen vollkommen. Die Geschichte ist indessen noch nicht abgeschlossen, denn, auch wenn die Existenz der Schmelzofentechnik

im modernen Sinn offenbar im Amerika der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts nachgewiesen ist, so müssen die Vorläufer noch gefunden werden.

### Anstelle eines Schlusses: technische Meisterschaft und politische Macht der Metallproduktion

Obwohl die gesamte Verfahrenskette der Verhüttung in dem betrachteten Zeitraum natürlich nicht von einem einzigen Grabungsort aus rekonstruiert werden kann, so verfügt man jetzt doch schon über seriöse Hinweise, nach denen man die Bedeutung eines „huayrachina“ in der Gegend von Potosi zu Beginn der Kolonisation rekonstruieren kann. Gleichzeitig verfügt man über eine beträchtliche Anzahl von Schmelzöfen, die die große Variabilität der Strukturen der „chaîne opératoires“, der Handlungs- und Denkweisen sowie der Natur der Erze dokumentieren. Der Reichtum dieses Erzreviers erlaubt es, sowohl über die Metallurgie des 16. bis 18. Jahrhunderts anhand der Denkmäler, die sich in einem bemerkenswert guten und aussagekräftigen Erhaltungszustand befinden, als auch über die der älteren Phasen und auch über jene Verhüttungsvorgänge, die sich an die indische Tradition anlehnen, Aussagen zu treffen.

Die Forschungen folgen dabei einem strengen technikhistorischen Ansatz und versuchen Erkenntnisse zu erzielen, die zei-

gen, wie diese Öfen funktioniert haben. Die archäometrische Forschung hat mit einer Reihe von Experimenten auch in Frankreich, z. B. in Melle (Abb. 16), eingesetzt. Mit diesem Ansatz versucht man zunächst, die Öfen zu beherrschen, um eine Metallproduktion in Übereinstimmung mit ihren jeweiligen Kapazitäten zu erreichen. Letztlich wird es wichtig sein, die Experimente in situ zu realisieren, um von den in situ herrschenden Bedingungen zu profitieren und sie in Übereinstimmung mit der historischen Realität zu bringen, sind doch die in den Anden herrschenden atmosphärischen Bedingungen (z. B. der Luftdruck und die Windstärke) zwei Parameter, die man in Melle nicht wirklich effektiv nachstellen kann.

Und schließlich zeigt sich, dass die bergmännischen Voraussetzungen nur schwierig einzuschätzen sind. Um diese Richtung der Forschung weiter verfolgen zu können, sind neue Prospektionen notwendig und müssen Lagerstättenbereiche berücksichtigt werden, die bisher noch keinen bergbaulichen Erfolg gezeitigt haben: Man muss vielmehr Abbauorte finden, die bislang kaum Spuren in der Landschaft hinterlassen haben. Das Bergwerk von San Antonio in Lipes scheint in diesem Zusammenhang aussagekräftig zu sein.

Der technologische Synkretismus, den es zwischen der Entdeckung der Lagerstätte in Potosi und der Einführung der Amalgamation ganz deutlich gibt, ist auch für die politische Bedeutung der Beherrschung dieses Wissens von großer Bedeutung. Wie es Tandeter<sup>50</sup> gezeigt hat, hat erst der Einsatz der „mita“ die

Abb. 16: Rekonstruktion eines huayrachina für Schmelzversuche



Einführung der Amalgamation in Potosi und im Gegenzug auch die technische Beherrschung der metallurgischen Prozesse durch die Spanier ermöglicht. Während eines Zeitraums von 30 Jahren kontrollierten die Inka mit Zustimmung der Spanier die gesamte Produktionskette der wertvollen Metalle: von der Förderung im Bergwerk bis zum Guss der Barren. Man weiß, dass die wertvollen Metalle für die Inka Macht bedeuteten: Sie waren wertvoll auf Grund ihrer Verbindung zu den Göttern und den übernatürlichen Kräften, und die Suche nach neuen Lagerstätten war der „Expansionsmotor“ in ihrem südlichen Reich. Mit der Ankunft der Spanier wurde dieser symbolischen Rolle der Metalle eine wirtschaftliche hinzugefügt, die vorrangig im Interesse der westlichen Welt lag. So war der Verbleib der Inka in der Produktionskette der Metalle für sie gleichsam eine Garantie, dass sie ihren privilegierten Platz in den Machtkämpfen nach der spanischen Eroberung beibehielten. Die Einführung der Amalgamation hat die Inka nicht nur in dieser Stellung eingeschränkt, sondern letztlich auch die definitive Demontage ihrer politischen Macht herbeigeführt: Eben dieses Szenario hat sich in Potosi abgespielt.

## Danksagung

Diese Arbeit konnte mit Hilfe des französisch-argentinischen Programms ECOS-MINCYt sowie mit der Unterstützung von IRD und der französischen Botschaft in Bolivien realisiert werden.

## Anmerkungen

- 1 Cruz/Abs 2007; Cruz 2007, 2008; Cruz/Téreygeol 2009.
- 2 Van Buren/ Mills 2005; Cohen et al. 2008.
- 3 Platt/Quisbert 2008; Presta 2008.
- 4 Diese Arbeit konnte nur mit Hilfe des französisch-argentinischen Programms ECOS-MINCYt sowie mit der Unterstützung von IRD und der französischen Botschaft in Bolivien realisiert werden.
- 5 Vgl. u. a. Bouysson-Cassagne 1987; Raffino 1993, Del Río 1995, Platt et al. 2006.
- 6 Espinoza Soriano 1969.
- 7 Neben den Qaraqar-Charkas wurden in diese Konföderation der Aymara-Völker die Qaranqa, die Quillaqa, Sora, Yampara, Chuis und Chicha integriert.
- 8 Cruz 2008.
- 9 Nielsen 2006.
- 10 Raffino 1993.
- 11 Beispiel einer echten „historischen Hartnäckigkeit“, heute noch wird dieser Mythos wörtlich bei den symbolischen Verboten benutzt, die den Abbau von neuen Lagerstätten in der Region bremsen (Cruz 2009).
- 12 De la Fuente 1965 (1572).
- 13 Platt/Quibert 2008.
- 14 De la Fuente 1965 (1572).
- 15 BN/Ms 3040 fs. 167r-169v. Informationen von P. Quisbert, dem an dieser Stelle dafür herzlich gedankt sei.
- 16 Name einer ethnischen Gruppe dessen Gebiet sich auf dem zentralen Hochplateau Boliviens befindet, und die von den Inkas als yanaconas unterworfen worden sind; sie arbeiteten in der Bergbau- und Metallproduktion.
- 17 Salazar-Soler 2002 ; Absi 2003.
- 18 Thibodeau et al. 2007.
- 19 Halleux 2009.
- 20 Cruz/Absi 2008; Cruz/Téreygeol 2009.
- 21 Barba 1640, S. 119: „[...] es como media luna, más ancha por la parte circular de abajo que por la llana de arriba, a que está atado fuertemente un palo de suficiente largueza, para que dos trabajadores asidos en sus extremos de una banda y otram la alcen y bajen hacia los lados sin mucha fatigüe, y con su peso y golpe se desmenuza el metal [...]“.
- 22 Téreygeol 2002.

- 23 San Antonio 17. Jh., Potosi 18. Jh., Tholapampa 18 Jh.
- 24 Conophagos 1980, S. 221 u. 227-233.
- 25 Téreygeol 2001.
- 26 Barba 1640, Buch 4, Kap. 9.
- 27 Absi 2003, S. 26 ff., Tandeter (frz. Übersetzung 1997, S. 91 ff.
- 28 Thibodeau et al. 2007.
- 29 Oehm 1984; Raffino et al. 1996; van Buren/Mills 2005.
- 30 Oehm 1984, Arduz Eguia 1997, S. 108; van Buren/Mills 2005; Téreygeol/Castro 2008.
- 31 Peele 1894; van Buren/Mills 2005.
- 32 Garcilaso 1991/1609, Buch 8, Kap. 25, S. 556: „templado asi el metal lo fundian en unos hornillos portatiles [...]“.
- 33 „[...] estos indios estan guyarando [...]“ im Atlas of Sea Charts.
- 34 van Buren/Mills 2005.
- 35 Cruz 2007.
- 36 Garcilaso 1991/1609, S. 556.
- 37 Téreygeol/Castro 2008.
- 38 Ein Dokument legt nahe, dass in Potosi die Raffination direkt vor Ort und unter Kontrolle der Inka stattgefunden hat.
- 39 Ambert 1992; Wagner 1985; Téreygeol 2001; Benoit et al. 2004.
- 40 Tylecote 1992.
- 41 Schlutter 1753; Brülé 1994.
- 42 Z. B. Ercker 1574.
- 43 Tascon, I. G.; Perez, J. F. (Hrsg.), in: Memoirs of the Royal Mines of Almaden, 1783, Madrid 1990.
- 44 Cruz 2010.
- 45 Agricola [von Hoover/Hoover übers.] 1556: Buch X, S. 483.
- 46 Téreygeol/Thomas 2005.
- 47 Raffino et al., 1996.
- 48 Vgl. die Abbildung auf der unteren Hälfte der Seite 138, die zwei sehr ähnliche Öfen zeigt.
- 49 Barba 1640, Kap. 5, Buch IV.
- 50 Tandeter 1997.

## Bibliographie

- ABSI, P.:  
2003 Les ministres du diable, le travail et ses représentations dans les mines de Potosi, Bolivie, in: Coll. Connaissances des Hommes (hrsg. v. L'Harmattan), 2003.
- ABSI P.; CRUZ, P.:  
2007 La porte de la wak'a de Potosi s'est ouverte à Potosi. La gorge de San Batolomé, in: Journal de la Société des Américanistes 93, N° 2, S. 51-86 (Paris).
- AGRICOLA, G.:  
1986 [1556]De re metallica (hrsg. v. H. C. Hoover/L. H. Hoover), Basel 1986.
- AMBERT, P.:  
1995 Les mines préhistoriques de Cabrières (Hérault): quinze ans de recherches. Etat de la question, in: Bulletin de la Société préhistorique française 92, H. 4, S. 499-508.
- ARDUZ EGUIA, G.:  
1997 Sobre la metalurgia colonial de la plata en Potosi, in: H.y C 24, 1997, S. 103-134.
- ATLAS  
o. J. Atlas of sea charts, circa XVIe siècle (hrsg. v. d. Hispanic Society of America), o. O., o. J.
- BARBA, A.:  
1640 Arte de los Metales, Madrid 1640.
- BENOIT, P.; MICHEAU, F.; FÉRAUD, J.; TÉREYGEOL, F.:  
2004 Nouvelles recherches sur la mine de Jabali, la plus importante exploitation d'argent du monde arabe, in: Les Chroniques Yéménites 11, 2004, S. 47-66.
- BETANCOURT Y MOLINA, AUGUSTIN DE:  
1990 [1783] Las memorias sobre las reales minas de Almaden, 1783 (hrsg. v. Gonzales Tascon I. G; Fernandez Perez, J.), 1990.
- BOUYSSON-CASSAGNE, T.:  
1987 La identidad aymara. Aproximación histórica (Siglo XV-XVI). in: Biblioteca Andina, Serie Histórica (1), La Paz 1987.
- BRÛLÉ, A.:  
1994 L'introduction en France du four à réverbère : l'apport de l'analyse historique, in: Benoit, P. (Hrsg.): Mines et métallurgie, Les chemins de la recherche, Programme Pluriannuel en Sciences Humaines Rhône-Alpes 21, 1994 (Lyon), S. 285-298.
- COHEN, C.; REHREN, T.; VAN BUREN, M.:  
2008 La huayrachina por dentro y por fuera, in: Cruz, P.; Vacher, J.

- (Hrsg.): Sucre Minas y Metalúrgias en los Andes del Sur, entre la época prehispánica y el siglo XVII (IFEA-IRD), Sucre 2008, S. 29-56.
- CONOPHAGOS, C.-E.:  
1980 *Le Laurium antique et la technique grecque de la production de l'argent*, Athen 1980.
- CRUZ, P.:  
2007 *El rostro indígena de Potosí*, in: Chachapuma, *Revista de Arqueología boliviana* 2, 2007, S. 29-40.  
2010 *Tumbas, metalurgia y complejidad social en un páramo del altiplano surandino*. Pulacayo, Bolivia, Ier milenio d. C., in: *Revista Andina* 49, 2010 (Cuzco).
- CRUZ, P.; ABSI, P.:  
2008 *Cerros ardientes y wayras calladas. Potosí antes y durante el contacto*, in: Cruz P.; Vacher, J. (Hrsg.): *Minas y Metalúrgias en los Andes del Sur, entre la época prehispánica y el siglo XVII*. (IFEA-IRD), Sucre 2008, S. 91-121.
- CRUZ, P.; TEREYGEOL, F.:  
2009 *Arqueología y arqueometalurgia en Potosí (siglos XV-XVI)*, in: *Avances en Antropología* 5 (Museo Antropológico), S. 11-38.
- DE LA FUENTE, R.:  
1965 [1572] *Relación del Cerro de Potosí y su descubrimiento*. En *Relaciones geográficas de Indias*, Bd. II: J. de la Espada, Madrid 1965 (Madrid, Biblioteca de Autores Españoles), S. 357-361.
- DEL RÍO, M.:  
1995 *Estructuración étnica Qaraqara y su desarticulación colonial*, in: Presta, A.-M.: *Espacio, etnias, frontera. Atenuaciones políticas en el sur del Tawantinsuyu siglos XV-XVIII*, Sucre 1995.
- ERCKER, L.:  
1951 [1574] *Beschreibung Allerfürnemsten Mineralischen Ertzt unnd Bergkwercks arten...*, Prag 1574 (Reprint und Übersetzung Chicago 1951).
- ESPINOZA SORIANO, W.:  
1969 *El memorial de Charcas: crónica inédita de 1582*, Lima 1968 (Universidad Nacional de Educación).
- HALLEUX, R.:  
2009 *Le savoir de la main, savants et artisans dans l'Europe pré-industrielle*, Paris 2009.
- INCA GARCILASO DE LA VEGA:  
1991 [1609] *Comentarios reales de los Incas*, Lima 1991 [1609], (Faksimileausgabe von Aranibar, C. [Fondo de cultura económica], 2 Bde.)
- LANGUE, F.; SALAZAR-SOLER, C.:  
1993 *Dictionnaire des termes miniers en usage en Amérique espagnole (XVIe-XIXe siècle)*, Paris 1993 (Recherche sur les Civilisations).
- NIELSEN, A.:  
2006 *Pobres Jefes: Aspectos Corporativos en las Formaciones Sociales Pre-Inkaicas de los Andes Circumpuneños*, in: Gnecco, S.; Langebaek, C.: *Contra el Pensamiento Tipológico: Reflexiones teóricas actuales sobre complejidad social*, Bogotá 2006 (Universidad de los Andes).
- OEHM, V. P.:  
1984 *Investigaciones sobre minería y metalurgia en el Perú prehispanico*, Bonn 1984.
- PEELE, R.:  
1894 *A primitive smelting furnace*, in: *The School of Mines Quarterly* 15, 1894, S. 8-10.
- PLATT, T.; QUISBERT, P.:  
2008 *Sobre las huellas del silencio: Potosí, los Incas y el Virrey Francisco de Toledo (siglo XVI)*, in: Cruz, P.; Vacher, J. (Hrsg.): *Sucre Minas y Metalúrgias en los Andes del Sur, entre la época prehispánica y el siglo XVII* (IFEA-IRD), Sucre 2008, S. 231-277.
- PLATT, T.; BOUYASSE-CASSAGNE, T.; HARRIS, O.:  
2006 *Qaraqara-Charca. Mallku, Inka y Rey en la provincia de Charcas (Siglos XV-XVII)*. Historia antropológica de una confederación aymara. (IFEA), Plural, University of St. Andrews, University of London, Inter American Foundation and FCBCB, La Paz 2006.
- PRESTA, A.-M.:  
2008 *La primera Joya de la corona en el altiplano surandino. Descubrimiento y explotación de un yacimiento minero inicial: Porco, 1538-1576*, in: Cruz, P.; Vacher, J. (Hrsg.): *Sucre Minas y Metalúrgias en los Andes del Sur, entre la época prehispánica y el siglo XVII* IFEA-IRD, Sucre 2008, S. 201-230.
- RAFFINO, R.:  
1993 *Inka. Arqueología, historia y urbanismo del altiplano andino*, Buenos Aires 1993.
- RAFFINO, R. et al.:  
1996 *Quillay : centro metalurgico inka en el noroeste argentino*, in: *Tawantinsuyu* 2, 1996, S. 59-69.
- SALAZAR-SOLER, C.:  
2002 *Anthropologie des mineurs des Andes, dans les entrailles de la terre*, L'Harmattan 2002.
- SCHLUTTER, S.:  
1753 *De la fonte des mines, des fonderies etc.* (übers. v. Hellot), Paris, 1753.
- TANDETER, E.:  
1997 *L'argent du Potosí, coercion et marché dans l'Amérique coloniale*, 1997.
- TÉREYGEOL, F.:  
2001 *Les mines d'argent carolingiennes de Melle*, Thèse de 3e cycle, Université de la Sorbonne, 2001, 3 Bde.  
2002 *Frühmittelalterlicher Bergbau und Silberproduktion von Melle in Frankreich*, in: *Der Anschnitt* 54, 2002, H. 6, S. 253-266.
- TÉREYGEOL, F.; CASTRO, C.:  
2008 *La metalurgia prehispánica de la plata en Potosí*, in: Cruz, P.; Vacher, J.: (Hrsg.): *Minas y Metalúrgias en los Andes del Sur, entre la época prehispánica y el siglo XVII*. (IFEA-IRD), Sucre 2008, S. 11-28.
- TÉREYGEOL, F.; THOMAS, N.:  
2003 *La coupellation des alliages cuivre - argent : Approches expérimentales de l'essai d'argent par voie sèche*, in: *Archéometrie* 27, 2003, S. 171-181.
- THIBODEAU, A. M.; KILLICK, D. J.; RUIZ, J.; CHESLEY, J. T.; DEAGAN, K.; CRUXENT, J. M.; LYMAN, W.:  
2007 *The strange case of the earliest silver extraction by European colonists in the New World*, in: *PNAS* 104, 2007, N° 9, S. 3663-3666.
- TYLECOTE, R.-F.:  
1992 *A history of metallurgy* (hrsg. v. Institute of Materials), London 1992.
- VAN BUREN, M.; MILLS, H. B.:  
2005 *Huyarachinas and tocochimbo : traditional smelting technology of the southern Andes*, in: *Latin American antiquity* 16, 2005, N°1, S. 3-25.
- WAGNER, G.-A.; WEISGERBER, G.:  
1985 *Silber, Blei und Gold auf Sifnos, prähistorische und antike Metallproduktion*, Bochum 1985 (= *Der Anschnitt*, Beiheft 3).

## Anschriften der Verfasser

Dr. Florian Téreygeol  
UMR 5060 Institut de Recherche sur les Archéomatériaux, Laboratoire Métallurgies et Cultures  
F-91191 Gif-sur-Yvette CEDEX

Pablo Cruz  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas  
Av. Rivadavia 1917  
Buenos Aires  
Argentinien