

## Römischer Goldbergbau auf Dolaucothi

### Einleitung

Das Bergwerk von Dolaucothi befindet sich im heutigen Großbritannien, im südwestlichen Teil von Wales, in einem hügeligen, z. T. bewaldeten Gebiet. Die geographischen Vorstellungen der Römer von Britannien waren sehr unterschiedlich und entsprachen kaum der Realität. Während Diodorus Siculus und Strabon Britannien als dreiecksförmig wie Sizilien<sup>1</sup> bezeichneten, gab Tacitus Britannien die Form einer Doppelaxt<sup>2</sup>, und für Ptolemaeus war Schottland wie eine nach Osten wehende Fahne<sup>3</sup> an Britannien angehängt.

Goldbergbau muss es schon im 2. Jahrtausend v. Chr. gegeben haben, denn aus dieser Zeit sind z. B. kunstvolle Goldhalsbänder überliefert.<sup>4</sup> Vom Metallreichtum der Insel wussten auch die Römer, obwohl diese am Rande der damaligen Oekumene lag. So berichteten Strabon (4.5.2) und Tacitus (Agricola 12.6), dass auf der Insel u. a. auch Gold zu finden sei.

Im 4. Jahrhundert v. Chr. brach Pytheas von Massalia nach Britannien und Thule im hohen Norden auf.<sup>5</sup> Direkte Seewege zwischen der iberischen Halbinsel und Britannien sind bei Avienus (Ora maritima 113,114) ebenfalls für das 6./5. Jahrhundert v. Chr. bezeugt.<sup>6</sup> Es bestanden alte Zinn-Handelsrouten zwischen

Cornwall (Britannien) und dem benachbarten Gallien im 2./1. Jahrhundert v. Chr.<sup>7</sup> Von Handelskontakten zwischen Wales und dem Festland vor der Zeitenwende ist nichts bekannt. Spätestens im 1. Jahrhundert v. Chr. wurde auf Dolaucothi im Tagebau Gold gewonnen. Nach der Ankunft der Römer konnten diese den Abbau möglicherweise unter militärischer Aufsicht fortsetzen und mit ihrer hochentwickelten Bergbautechnik intensivieren und erweitern.<sup>8</sup> Nach dem Abzug der Truppen setzten wahrscheinlich einheimische Bergwerkspächter die Goldgewinnung fort.<sup>9</sup> In bescheidenem Umfang ging auch in nachrömischer Zeit, vom 12. bis zum 17. Jahrhundert, Bergbau auf Dolaucothi um. Im Jahre 1844 wurde im Bergwerk erneut Gold entdeckt. Danach sind verschiedene Versuche zur Aufwältigung des Bergwerkes unternommen worden. In den 30er-Jahren des 20. Jahrhunderts wurde kommerziell und mit modernen Methoden Gold gewonnen; der letzte Versuch endete 1943.<sup>10</sup> Vom modernen Bergbau zeugen der heute noch vorhandene Förderturm sowie Schienen, Grubenhunde und Werkstätten. Das Bergwerk von Dolaucothi ist das einzige im Vereinigten Königreich, von dem man sicher weiß, dass die Römer dort Gold gewonnen hatten.<sup>11</sup> Heute steht das Bergwerk dem interessierten Publikum offen.

### Roman gold-mining at Dolaucothi

*The only known Roman mine in the United Kingdom where gold was demonstrably extracted through underground mining is situated in the south-west of Wales. C14 investigations of horizons of ore-refinement resulted in data for the first half of the first millennium BCE, as well as for the first to fourth centuries CE. Further radio-carbon investigations of a wooden piece of a drainage-wheel discovered underground provided calibrated data from the second century BCE to the first century CE. The military and political situation in the first century CE in today's Wales, and comparative observations of similar drainage-wheels in other Roman mines, however, only allow the con-*

*clusion to be drawn that the wheel was built and put into operation only in the last quarter of the first century CE, that is after 78 CE. Thus we have a terminus post quem for the beginning of Roman mining at Dolaucothi.*

*Since the width of the buckets in the drainage-wheel is unknown, its capacity can only be estimated. It was probably in the range of 70 to 75 litres per minute and could be performed for a considerable time by a slave treading on a wheel. The proof for Roman mining at Dolaucothi from the last quarter of the first century CE thus also allows the conclusion to be drawn that the preserved pieces of gold jewellery from the area around the mine most probably were smelted from Dolaucothi gold ores and can be dated to the first or second century CE.*

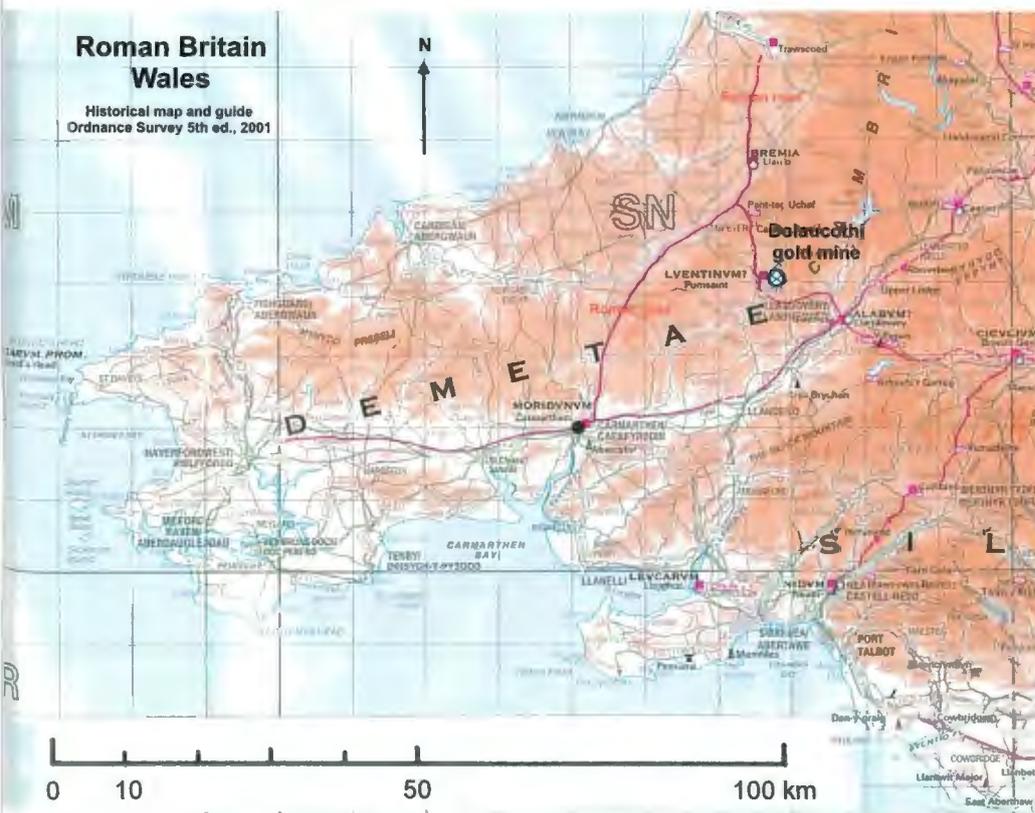
## Quellen, Literatur, archäologische Zeugen

Es gibt keine schriftlichen Quellen aus römischer Zeit, die den Goldbergbau auf Dolaucothi bezeugen. Die erste kurze schriftliche Erwähnung geht auf das Jahr 1695 zurück; etwas ausführlicher wird das Bergwerk in einer Zeitschrift vom 26. August 1767 dargestellt.<sup>12</sup> Der Verfasser legt seinen Ausführungen vor allem die Publikation von Barry und Helen Burnham zu Grunde, die ihre jahrelangen Feldforschungen über das Bergbaurevier und dessen Umfeld in einem umfassenden Bericht im Jahre 2004 publizierten. Im Weiteren stützt sich der Verfasser hauptsächlich auf die noch immer aktuellen Berichte von Davies (1936), Boon/Williams (1966) und Lewis/Jones (1969). Neueste montanhistorische Betrachtungen fehlen, sind nicht veröffentlicht<sup>13</sup> oder dem Autor nicht bekannt.

Die sichtbaren Zeugen des römischen Bergbaues sind als Folge neuzeitlicher Bergbauaktivitäten und dem Walten der Natur (Wald, Verbuschung etc.) schwer aufzufinden, so z. B. das weit verzweigte Kanalsystem mit seinen Zisternen für die Zuführung von Wasser für den Tagebau und die Aufbereitung<sup>14</sup>.

Wichtige archäologische Überbleibsel des römischen Bergbaues sind wohl in der Literatur beschrieben, im Laufe der Zeit aber verschwunden. Zum Glück ist im Rest eines hölzernen Wasserschöpfrades das wichtigste Beweisstück für den untertägigen römischen Bergbau erhalten geblieben und mittels C14-Methode datiert. Daneben gibt es noch weitere, leider aber nicht datierte, hölzerne Zeugnisse aus dem Bergwerk, wie z. B. ein Probiertrog zur Goldwäsche<sup>15</sup> und ein Stück eines Brettes<sup>16</sup>. In den alten Stollen wurden einst mächtige Stempel entdeckt<sup>17</sup>. Dieser Aufsatz gibt einen Überblick über das außerhalb Wales wenig bekannte Bergwerk anhand archäologischer Zeugnisse

Abb. 1: Südwest-Wales im 2. bis 4. Jahrhundert n. Chr. Rote Linien = Römerstrassen (OS Roman Britain, 1:625'000, 5th edition, 2001) © Crown copyright 2012



und deren Beschreibungen sowie eigener Betrachtungen vor Ort. Es soll insbesondere gezeigt werden, wann etwa das Wasserschöpfrad gebaut wurde und wann der Beginn des römischen Bergbaues anzusetzen ist. Ferner sollen konstruktive Details des Wasserrades herausgearbeitet und dessen hypothetische Leistung errechnet werden. Die Untersuchungen beschränken sich auf die Zeit des 1. und 2. Jahrhunderts n. Chr.

## Name, geographische Lage und historisches Umfeld

Der Name Dolaucothi bedeutet Weiden des Cothi. Cothi heisst auch das Flüsschen, das im Tal nördlich des Bergbaureals Richtung Pumsaint vorbeizieht. Der heutige Besuchereingang und ehemalige Werkplatz mit dem modernen Förderturm liegt etwa auf einer Höhe von 170 m üM. Die Minen wurden lokal als „the Ogofau“ (= Höhlen) benannt. Das Gebiet gehörte einst zu einem Landgut desselben Namens<sup>18</sup>, heute ist das Bergwerk im Besitze des National Trust. Die verschiedenen Gruben liegen an den Flanken der Bergrücken Allt Ogofau und Allt Cwmhenog<sup>19</sup>, die sich in sw-nö Richtung erstrecken (s. Abb. 2). Das Bergwerk im heutigen Wales (GB) liegt ca. 3°57' W / 52°2'40' N, oder kann mit den Koordinaten 664 403 (OS Explorer No. 186, 1:25'000) aufgefunden werden. Etwa 1 km nw davon liegt die heutige Ortschaft Pumsaint an der Landstraße A482 Llanwrda-Lampeter in Wales. Caesars Militär-Expeditionen in den Jahren 55/54 v. Chr. in den Südosten Britanniens brachte die Insel vermehrt ins Bewusstsein Roms. Dazu trug später auch die Gepflogenheit bei, dass dortige Bundesgenossen-Könige ihre Söhne nach Rom zur Erziehung schickten.<sup>20</sup> Aber erst nach der Invasion der Truppen des Kaisers Claudius (43 n. Chr.) begannen die Römer, ihr auf die Legionen

gegründetes Herrschaftssystem zu etablieren. Die Römer bauten Straßen, Befestigungen (Forts) und gründeten erste Siedlungen mit der dazugehörigen Infrastruktur wie Verwaltungsgebäuden, Tempeln, Bädern, Theatern, Markthallen, Amphitheatern etc. Dadurch und mit dem intensivierten Handel begannen Nobilität und Bevölkerung allmählich römische Lebensweise, Essgewohnheiten und Annehmlichkeiten zu adaptieren. Die politisch-kulturelle Assimilation der Land besitzenden Oberschicht garantierte bald einmal Stabilität und Ruhe im Südosten.

Im Jahre 48 n. Chr. erreichten erstmals römische Legionen die Grenzen von Wales. In der hügeligen Wildnis begegnete den Römern aber ernsthafter Widerstand, so dass es zwischen 48 und 78 n. Chr. drei größere, z. T. verlustreiche Feldzüge brauchte, bis die dortigen Volksstämme (Silurer, Demeter, Ordovicer) vor allem durch die Generäle Sextus Julius Frontinus (76 n. Chr.) und Julius Agricola (78 n. Chr.) unterworfen waren. Die Romanisierung der walisischen Bevölkerung beschränkte sich im Allgemeinen auf diejenige der südlichen Randgebiete.<sup>21</sup> Zur Festigung der Macht wurden auch

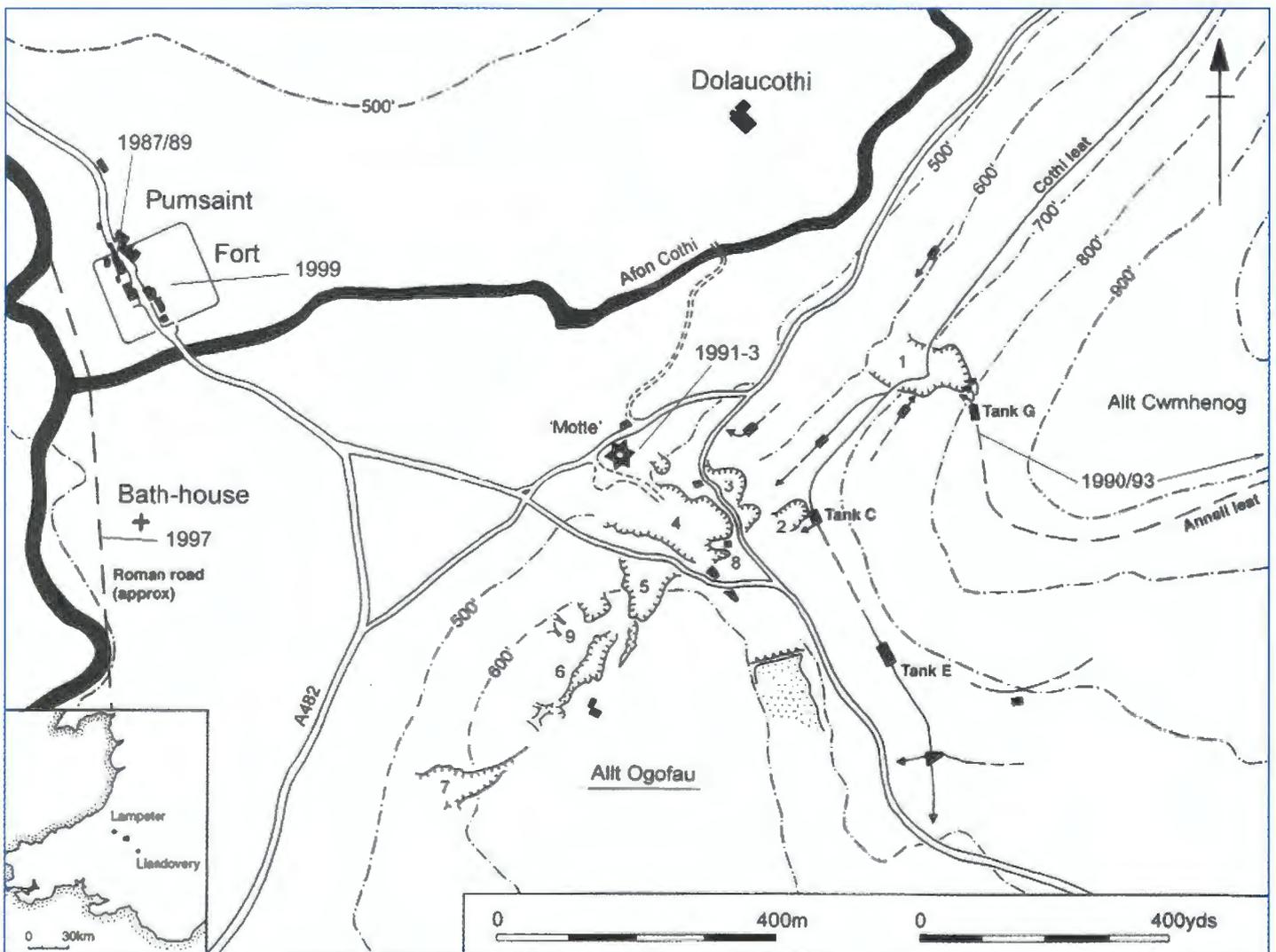
hier zuerst Forts für Legionen und Hilfstruppen gebaut, die durch Straßen verbunden wurden. So führte eine Römerstraße an der heutigen Ortschaft Pumsaint vorbei.<sup>22</sup> Dieser Ort liegt an derselben Stelle, an der einst ein römisches Fort errichtet worden war. Möglicherweise wurde die Befestigungsanlage mit dem Namen *Luentinum* bezeichnet, ein Name der sogar in den Karten des Ptolemaeus erwähnt ist.<sup>23</sup> Für Ptolemaeus lag der Ort 15°45' O/ 55°10'N.<sup>24</sup> Aufgrund dieser Angaben ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass Luentinum und Pumsaint identische Orte bezeichnen. Das römische Fort und das benachbarte Bergwerk lagen im Gebiet des Stammes der Demetae. Neben diesem Fort sicherte Rom seine Macht u. a. durch weitere Befestigungsanlagen, so z. B. im heutigen Carmarthen, Llandeilo, Llandovery und Caerleon, wo die Zweite Augusteische Legion (LEG II AVG) stationiert war. Die Forts wurden nach 120 n. Chr. vorübergehend teilweise verlassen, als die Truppen zum Schutze und Bau des Hadrianswalles in den Norden Britanniens verlegt wurden.<sup>25</sup> Auf dem Gebiet des Dolaucothi-Landsitzes wurden verschiedene Goldschmuckstücke gefunden, deren Herkunft aber bis heute nicht eindeutig geklärt ist.<sup>26</sup> Hingegen lieferten die Ausgrabungen im Umfeld des Forts von Luentinum durch das Team

um Prof. Burnham in der Zeit 1987-1999 zahlreiche römische Fundstücke zutage, so z. B. Münzen, eine Gemme, Töpferware, Gläser, Spuren römischer Metallverarbeitung, eiserne Gegenstände und Mahlsteine.<sup>27</sup>

Man kann vermuten, dass das Fort von Luentinum auch zum Schutze der Goldgewinnung bei Dolaucothi errichtet wurde, die etwa im Jahre 78 n. Chr. einsetzte. Im Laufe des 2. Jahrhunderts n. Chr. verlor das dortige Bergwerk aber seine Bedeutung infolge der Konkurrenz durch die neu erworbenen Goldbergwerke in Dacien.<sup>28</sup> Ob in der Zeit des 3./4. Jahrhunderts auf Dolaucothi noch Bergbau umging, kann nicht mit Bestimmtheit gesagt werden.<sup>29</sup>

Die römische Truppenpräsenz in Wales und weiteren Gebieten Britanniens litt im 4. Jahrhundert n. Chr. unter Abwehrkämpfen zur Verteidigung der östlichen Festland-Reichsgrenzen. Der in enger Beziehung zu Wales stehende General Magnus Maximus wurde im Jahr 380 Oberbefehlshaber der Truppen in Britannien. Im Jahre 383 riefen ihn diese zum Augustus des Römischen Westreiches (Britannia, Gallia, Hispania) aus. Darauf zog er mit einem Großteil seiner Legionen nach Gallien bzw. Germanien (Trier).<sup>30</sup> In der Folge wurden viele Forts wegen Truppenmangels

Abb. 2: Bergbaugebiet von Dolaucothi mit benachbarter Ortschaft Pumsaint und ehemaligem römischem Fort (mit freundlicher Genehmigung Prof. B. Burnham, 22.3.2011) Legende (Burnham 2004: 4; Blick 1991: 39): afon = Fluss, 1) Tagebau-Grube Allt Cwmhenog, 2) Tagebau-Grube Mitchell, 3) Sog. „Römische“ Tagebau-Grube, 4) Grube Ogofau (Tagebaugrube mit Besucherzentrum), 5) Tagebau-Grube Niagara, 6) Tagebau-Gräben (trenches), 7) Tagebau-Gräben (trenches), 8) Davies Einschnitt, 9) „Lower Roman Adit“ und „Upper Roman Adit“, C,E,G = Wasser-Reservoirs (Tanks)



aufgegeben (so spätestens auch das walisische Isca, Caerleon). In Wales manifestierte sich römische Herrschaft v. a. durch Truppenpräsenz, so dass mit deren Wegfall auch die römische Herrschaft in der dortigen Region endete. Und schlussendlich ging zwischen 402 und 406 die römische Vorherrschaft über ganz Britannien mangels Nachschub, Geld und Truppen zu Ende.<sup>31</sup>

## Geologie

Das Bergbaugesamt um Dolaucothi ist geologisch gesehen an der Grenze zwischen ordovizischer und silurischer Orogenese und daher sehr komplex. Wie alle Gebiete des heutigen Europa lagen England und Wales einst wesentlich südlicher. Im Laufe der Erdgeschichte änderten sich die Meereshöhen, es gab Landhebungen und -senkungen. Treibhaus und arktisches Klima wechselten sich während der ordovizisch/silurischen Zeit (ca. 510-410 Mio) ab. Das Bergbaugesamt liegt am Rande des sog. „Welsh Basin“ und ist zur Hauptsache von metamorphisierten Sedimenten, d. h. diversen Schieferarten bedeckt.<sup>32</sup> Z. Z. des Meso- und Neozoikums drifteten England und Wales in die heutige geographische Lage.<sup>33</sup> Während der letzten Eiszeiten im Quartär war fast ganz Wales, inklusive das untersuchte Gebiet, von Eis bedeckt.<sup>34</sup>

Die goldführenden Schichten streichen nordöstlich-südwestlich unter einem Einfallen von etwa 35° gegen SW.<sup>35</sup> Die Gold-Quarz-Gänge erscheinen in gestörter Lage in dunkelgrauem bis schwarzem silurischem Schiefer.<sup>36</sup> Sie sind oft vergesellschaftet mit goldhaltigen Sulfidieren wie Pyrit (FeS<sub>2</sub>) und Arsenopyrit (FeAsS). Diese zusammen mit Galenit (PbS), Sphalerit (ZnS) und Kupferkies (CuFeS<sub>2</sub>) gelangten wahrscheinlich erst während späterer Faltungsphasen und Verwerfungen als hydrobis hochthermale Intrusionen ins anstehende Gebirge.<sup>37</sup>

In den seltensten Fällen können Goldpartikel vom Auge erkannt werden, da sie meistens nur als feinste Flitter oder Körnchen in Größen von Mikrometern (µm) im Leitgestein enthalten sind.<sup>38</sup> Ältere Proben lieferten einen Goldgehalt von 0,0006 %, was 6 g/t entspricht.<sup>39</sup> Neuere Untersuchungen an aufbereiteten Erzbestandteilen aus römischen Horizonten ergaben Goldgehalte von 1,53 g/t, 2,49 g/t, 4,8 g/t und 10,39 g/t. Dies sind Durchschnittswerte aus 24 einzeln untersuchten Proben in Fraktionsstärken von 0,063 mm bis >5,6 mm. Eine weitere Analyse aus den 1930er-Jahren an Erzstücken aus einer Abraumhalde ergab Goldgehalte von 0,5 bis 2 g/t.<sup>40</sup> Die relativ tiefen Werte zeigen, dass die Goldgewinnung in den Dolaucothi-Gruben für die Römer nicht sehr ertragreich war. Selbst Schweizer Goldbergwerke des 19. und frühen 20. Jahrhunderts, die europaweit nicht für ihren Ertragsreichtum bekannt waren, lieferten Goldgehalte zwischen 20g/t bis 60 g/t.<sup>41</sup>

## Aufschluss und Tagebau

Möglicherweise machten Goldflitter als Seifengoldbestandteile in den Ablagerungen des nahe vorbei fließenden Cothi-River Menschen schon in der Bronzezeit auf das benachbarte Goldvorkommen aufmerksam. Die römischen Bergleute begannen den dortigen Bergbau jedoch wie überall als Tagebau.<sup>42</sup>

Vermuteten die Prospektoren ein tagenahes Vorkommen mit nur wenig Überdeckung, so gab es neben der Möglichkeit, das Vorkommen mit Pickel und Hacke aufzuschließen, noch hydraulische Verfahren (hydraulic mining bzw. hushing genannt), sofern genug Wasser zur Verfügung stand. Dieses Verfahren beruht darauf, von künstlich erstellten Reservoirs das Wasser, das in Kanälen z. T. über große Distanzen herangeführt wurde, sturzbachartig und mit großer Kraft auf das

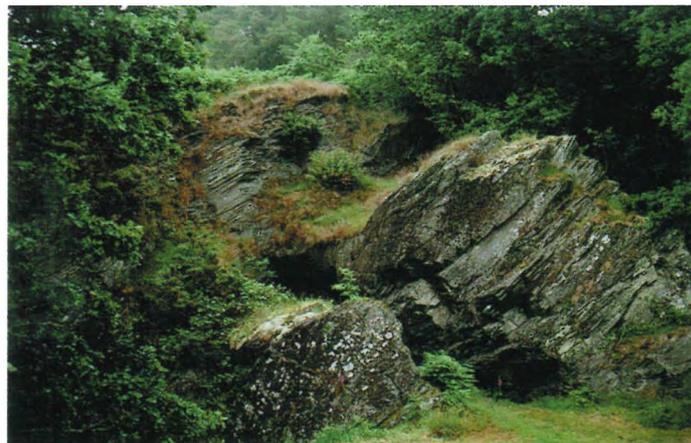
vermutete Vorkommen fließen zu lassen und so die tauben Humus- und Schotterdecken wegzuspülen. Auf diese Weise konnten oberflächennahe Schichten großflächig und effizient abgetragen werden.<sup>43</sup> Plinius beschreibt ein ähnliches Verfahren, allerdings nicht im Zusammenhang mit dem Aufschluss einer Lagerstätte, sondern zum Auswaschen von erhofften goldhaltigen Gesteinstrümmern als Resultat eines Bruchbaues (ruina natura).<sup>44</sup>

Im Bergbaurevier von Dolaucothi gibt es einige archäologische Zeugnisse, die zeigen, dass die Römer wahrscheinlich Wasser zum Aufschließen benutzt hatten.<sup>45</sup> Mindestens zwei Wasserzubringersysteme, der sog. „Cothi leat“ und der „Annell leat“ (vgl. Abb. 2) samt Reservoirs wurden entdeckt und archäologisch dokumentiert. Der „Cothi leat“ leitete Wasser aus einer Entfernung von ca. 11 km über künstlich gebaute oder ins anstehende Gebirge gehauene Kanäle (leats) zu den Reservoirs „C“ und „E“ an den Abhängen von Allt Cwmhenog. Diese Reservoirs waren auf ihrer Rückseite in den anstehenden Fels eingehauen.<sup>46</sup> Es wird geschätzt, dass der „Cothi leat“ pro Tag etwa 2,5 Mio. Gallonen, d. h. ca. 11.375 m<sup>3</sup> Wasser pro Tag ins Bergbaurevier lieferte<sup>47</sup>, das wären ca. 132 l/s. Das Reservoir „C“ (Abmessungen 24 x 6 m) liegt direkt über der Grube „Mitchell“, die sicher mit dessen Wasser aufgeschlossen wurde. Das Reservoir „E“ (Abmessungen 42 x 10 m) hatte ein geschätztes Fassungsvermögen von ungefähr 1.140 m<sup>3</sup> Wasser. Ausgrabungen zeigten, dass dessen Wasserabfluss mittels eines hölzernen Schleusentors gesteuert war.<sup>48</sup>

Das zweite, sicher nachgewiesene römische<sup>49</sup> Wasserzubringersystem war der sog. „Annell leat“ (Abb. 2). Auch dessen Wasserfassungen lagen etwa 7 km vom Bergwerk entfernt in der höher gelegenen Gebirgskette. Das Wasser wurde auch hier über Kanäle und Felsrinnen zum Reservoir „G“ geführt. Dieses weist Abmessungen von ca. 27 x 12 m auf, mit einem talwärts noch erhaltenen Damm von etwa zwei Metern Höhe. Man fand hier eine ganze Serie von tiefen Runsen, welche steil vom Schleusentor des Reservoirs hangabwärts führten, bevor sie die unterhalb liegende Tagebaugrube Allt Cwmhenog (Abb. 2: Nr. 1) erreichten.<sup>50</sup>

Ob mit der oben zitierten hydraulischen Methode jedoch mehr als nur die tagenahen Erzgänge aufgeschlossen wurden, ist fraglich. Die Härte der Goldführenden Quarzgänge macht diese Arbeitsweise aber eher unwahrscheinlich. Diese Meinung wird auch in Boon/Williams<sup>51</sup> geäußert. Bestimmt wurde aber überall ein beträchtlicher Teil des zugeführten Wassers für die Goldwäsche verwendet, denn allein zur Deckung des Wasserbedarfs

Abb. 3: Tagebaugrube Mitchell (Nr. 2 in Abb. 2)



für den oberflächennahen Aufschluss hätte sich das Anlegen der weitläufigen Kanalsysteme kaum gelohnt.<sup>52</sup> Der Einsatz hydraulischer Methoden zu Abbauzwecken lässt immer noch Fragen offen und gibt weiterhin zu kontroversen Diskussionen Anlass.<sup>53</sup> Was für archäologische Spuren des römischen Tagebaues lassen sich sonst noch nachweisen? Mit dem tagesnahen Aufschließen in Streichrichtung entstanden Gräben, sog. „trenches“. Breite und Teufe richteten sich nach der Mächtigkeit des Erzganges. Tagebau-Gräben findet man an den Abhängen von Allt Ogofau (Abb. 2: Nr. 6, 7). Sie erstrecken sich über einen halben Kilometer. Einige von ihnen könnten auch durch den Versturz der darunter liegenden Tiefbaue entstanden sein.<sup>54</sup> Ähnliche Zeugen römischen Bergbaues gibt es z. B. auch auf der iberischen Halbinsel.<sup>55</sup> Wie im Revierplan (Abb. 2) ersichtlich, gibt es noch viele Tagebaugruben, die über das ganze Revier verstreut sind. Alle diese Gruben sind mehr oder weniger vom nachrömischen Bergbau überprägt, teilweise verstürzt und oft bis zur Unkenntlichkeit von der Natur in Beschlag genommen. Die größte Grube ist diejenige namens Ogofau (Nr. 4). Deren Wände reichen an der höchsten Stelle vom heutigen Boden aus gemessen ca. 24 m bis zum oberen Rand, während die Ost-West-Ausdehnung 150 m und die Breite 100 m betragen. Der ursprüngliche Boden liegt etwa 12,5 m tiefer.<sup>56</sup> Die Grubenwände und -ränder sind von Wald und Buschwerk gesäumt. Heute befindet sich hier das Besucherzentrum, weitere Gebäude sowie ein Förderturm samt Schacht aus der letzten Abbauperiode im 20. Jahrhundert. Die Gruben Nr. 2 und 3 am sw Abhang von Allt Cwmhenog haben noch relativ viel ihres ursprünglichen Zustandes bewahrt, obwohl auch hier die Böden mit neuzeitlichem Abraum übersät sind. Es wird überliefert, dass in der Grube Mitchell (Abb. 3) ein Fragment eines viereckigen römischen Glasgefäßes aus der Zeit des 1.-3. Jahrhunderts n. Chr. entdeckt wurde.<sup>57</sup> Die weite Grube Nr.1 (Allt Cwmhenog) direkt unterhalb des Reservoirs „G“ muss einst aus zwei hinter- bzw. untereinander liegenden Gruben bestanden haben, wobei die untere an der Basis der oberen ansetzte. Diese Grube ist infolge starken Forstbewuchses kaum mehr erkennbar.<sup>58</sup> Auf dem weitläufigen Grubengelände sind noch einige kavernenartige Anschnitte zu sehen, deren Datierung aber schwierig bis unmöglich ist.

## Tiefbau

Man kann davon ausgehen, dass einige heute verstürzte und nicht mehr auffindbare Stollen von Tagebaugruben aus aufgeföhren wurden, weil die tagesnahen Schichten ausgewaschen bzw. ausgeerzt waren.<sup>59</sup> Vom ursprünglichen römischen Tiefbau ist nicht mehr viel zu sehen, außer den zwei unten detaillierter beschriebenen Stollen, denn der größte Teil der alten Grubenbaue ist ersoffen und steht der Forschung nicht mehr zur Verfügung.

Dass die Römer in Dolaucothi ebenso vorgegangen waren wie die antiken Autoren z. B. von den Goldbergwerken in Ägypten und Hispanien berichten, kann angenommen werden, da offensichtlich ein Technologietransfer von Hispanien nach Britannien stattgefunden haben muss.<sup>60</sup> So berichtet z. B. Diodoros über den Gangbergbau: „Diese (Bergmänner) aber legen an vielen Stellen Schächte an, graben tief in die Erde hinunter und spüren den besonders silber- und goldhaltigen Flözen nach. Und sie legen nicht nur horizontale Stollen an, sondern dehnen ihre Grabungen auch viele Stadien<sup>61</sup> in die Tiefe und treiben zusätzlich Stollen in schrä-



Abb. 4: Lower Roman Adit, Nr. 9 in Abb. 2

ger und krummer Richtung [...] voran; so schaffen sie aus den Tiefen das ihnen Gewinn bringende Gestein ans Licht empor.“<sup>62</sup> Über die heute ersoffenen Grubenteile wissen wir noch so viel, wie uns die alten Forscher berichten. Davies (1936) erwähnt eine Erzammer bzw. einen Abbauort 80 Fuss (ca. 24 m) unter Tage, in der er das römische Wasserradkranzteil entdeckte. An diesem Abbauort entdeckte er Spuren vom Feuersetzen. Weiter lagen dort diverse Holzgegenstände, einige davon waren teilweise angekohlt.<sup>63</sup> Erwähnenswert sind ferner ein etwa 3 m langer Balken mit einem Durchmesser von ca. 23 cm<sup>64</sup>, der als Stempel gedeutet werden kann sowie einige Bretter, wovon eines mit Abmessung von 47 x 17 x 2,4 cm sowie ein schaufelförmiger, hölzerner Trog mit Abmessungen von 26,7 x 10,2 bis 17,8 x 78,1 cm (B x H x L), der möglicherweise dem „panning“ (Goldwaschen) gedient haben könnte.<sup>65</sup> Leider wurden alle diese Holzgegenstände, außer dem erwähnten Radkranzteil, nicht C14 datiert.

Was heute noch zu besichtigen ist, sind zwei große Stollen, die auch von Davies beschrieben wurden<sup>66</sup> und die der Autor dieses Aufsatzes 2011 begangen hat. Diese beiden höchstwahrscheinlich römischen Stollen, der sog. „Lower Roman Adit“ und der „Upper Roman Adit“ wurden 1844 erstmals vermessen. Sie sind von Hand getrieben, wie Spuren der Schlägel- und Eisenarbeit zeigen.<sup>67</sup> Diese Grubenbaue geben heute noch Zeugnis von einer fortgeschrittenen Bergbautechnik, wie sie von den Römern in Hispania und anderswo praktiziert wurde.<sup>68</sup> Davies berichtet ferner von Graffiti ähnlich denjenigen in den römischen Goldminen von Dacia, die an den Stößen zu sehen waren.<sup>69</sup> Sie sind heute nicht mehr aufzufinden.



Abb. 5: Lower Roman Adit, Nr. 9 in Abb. 2

#### Lower Roman Adit

Dieser Stollen ist fast shlig mit leichtem Gefälle nach dem Mundloch<sup>70</sup>. Bei einem umgekehrt trapezoidalen Querschnitt weist er Breiten von ca. 0,9 m bis 1,7 m auf, bei Höhen zwischen 1,8 m und 2,3 m<sup>71</sup>. Er hat eine begehbare Länge von ca. 65 m.<sup>72</sup> An den Stößen sind kaum Spuren von Erzadern zu erkennen. Dies und die ungewöhnliche Höhe lassen vermuten, dass der Stollen zur Förderung, Fahrung und der Wasserhaltung genutzt wurde. Am hinteren Ende ist der Stollen mittels eines mit Abraum verfüllten Schrgschachtes mit dem „Upper Roman Adit“ verbunden.<sup>73</sup>

Davies berichtet, dass zu seiner Zeit auf der linken Seite der Sohle noch Platten (zur Abdeckung eines Gerinnes) zu sehen gewesen seien.<sup>74</sup> Wie die Abbildungen aber zeigen, ist heute davon nichts mehr zu sehen. Eine nähere Untersuchung der Stollensohle würde vielleicht Klarheit verschaffen. Eine solche Kombination von Förder- und Wasserhaltungsstollen wurde im römischen Bergwerk von Rio Tinto (Südspanien) entdeckt.<sup>75</sup>

#### Upper Roman Adit

Dieser Stollen ist einige Meter über dem oben beschriebenen Stollen in den Berg getrieben worden und heute auf einem kleinen Pfad vom Stollenmundloch des Lower Roman Adit aus erreichbar. Auch dieser Stollen ist fast shlig. In Abb. 8 sieht man seine fast quadratische Form mit Breiten um 1,9 m und Höhen von 1,9 bis 2 m<sup>76</sup> besonders gut. Damit gleicht er in auffälliger Weise dem aus dem 6. Jahrhundert v. Chr. stammenden Eupalinos-Stollen



Abb. 6: Upper Roman Adit: Stollenmund Nr. 9 in Abb. 2

auf der Insel Samos mit einem Querschnitt von 1,8 x 1,8 m<sup>77</sup> oder gewissen Stollen des römischen Goldbergwerkes Trs Minas im Norden Portugals aus dem 1./2. Jahrhundert n. Chr. Der große Querschnitt lässt auch hier den Schluss zu, dass es sich beim Upper Roman Adit um einen Förder- oder Fahrstollen handelte, der zusätzlich evtl. der Wasserhaltung diente.

Abb. 7: Upper Roman Adit, Nr. 9 in Abb. 2





Abb. 8: Upper Roman Adit, Nr. 9 in Abb. 2

An einer Stelle hat der Autor ein Quarzband entdeckt; sonst führt auch dieser Stollen größtenteils durch taubes Gestein. Er hat eine Länge von ca. 54 m bis zu einer Weitung mit Ortsbrust, darüber hinaus ist er bis ca. 61 m<sup>78</sup> nachweisbar. Der dortige Versatz stammt wahrscheinlich nicht aus römischer Zeit. An den Stößen und der Firste sind ebenfalls Spuren von Schlägel- und Eisenarbeit zu erkennen. Ab der oben erwähnten Weitung gibt es einen Ausgang zu Tage. Ob dieser aber aus römischer Zeit stammt, ist fraglich.

### Wasserhaltung: römisches Wasserschöpfrad

Aufgrund des am Anfang des vorigen Kapitels Gesagten braucht es wohl keine weiteren Erklärungen mehr, dass viele alten Schächte und Strecken dieses Bergwerkes einer künstlichen Wasserhaltung bedurften. Die Bewältigung des Wasserproblems war nicht nur in griechisch-römischer Zeit eine große Herausforderung für die Bergwerksbetreiber, besonders wenn die Grubenbaue unter den Grundwasserspiegel reichten. Der Wasseranfall in einer Grube wird zur Hauptsache durch die jährliche Niederschlagsmenge, die Gesteinsart sowie die Lage des Grundwasserspiegels in Bezug auf die Teufe der Grubenbaue bestimmt. Die zuzitenden Wasser konnten Mengen von z. B. 400 m<sup>3</sup>/Tag bis zu mehreren Tausend m<sup>3</sup>/Tag erreichen.<sup>79</sup>

Eine sehr einfache Wasserhaltungsmethode überliefert uns Plinius. Er berichtet, wie Wasserträger in einem langen Stollen im Abstand des Grubengeleuchts (an den Wänden, Anm. d. Verf.) postiert waren, die einander bei Tag und Nacht Wassergefäße zu reichten und auf diese Weise einen menschlichen „Wasserstrom“ bildeten.<sup>80</sup> Am Ende dieser Kette wurden die Wasser wahrscheinlich mittels Seilwinden und Kesseln auf Erbstollenniveau gefördert. Dies war eine ineffiziente Methode und brauchte zudem viel Personal. Wesentlich leistungsfähiger waren die allgemein verbreiteten Becherhebewerke, bei denen z. B. Bronzegefäße an einer eisernen Doppelkette über eine drehbare Welle am Schachtmundloch nach oben gehievt wurden und sich von selbst entleerten.<sup>81</sup> Die Grubenwasser konnten so über große Höhen gefördert werden.

Technisch ausgereifter und effizienter waren die in der Antike mit „rota“ benannten hölzernen Wasserschöpfräder, die zahlreich in römischen Bergwerken der iberischen Halbinsel entdeckt wurden.<sup>82</sup> Ein kleines Teilstück eines solchen Schöpfrades spielt nun für die technikgeschichtliche Betrachtung des hier beschriebenen Bergwerkes eine wichtige Rolle.

Wie schon zuvor erwähnt, wurde dieses Wasserradkranzteil von Bergarbeitern 1935 in einer der unter dem Grundwasserspiegel liegenden Erzkammern entdeckt, die dann auch Oliver Davies untersuchte. Dieses Ort lag 80 Fuß (ca. 24 m) unterhalb aller bis anhin bekannten Grubenbaue. Vom Wasserrad war leider nur noch dieses kleine Teilstück vorhanden, alles andere war verschwunden bzw. war dem Feuer setzen zum Opfer gefallen.<sup>83</sup> Leider fehlen nähere Angaben über Form, Art und Abmessungen dieser Erzkammer und über deren genaue Lage in Bezug auf in der Nähe liegende Schächte und Strecken. Die Fundstelle wäre aber ohne künstliche Wasserhaltung ersoffen. Das Schöpfrad hätte möglicherweise in der Nähe im Einsatz stehen können. Über den einstigen Einsatzort des Wasserschöpfrades kann somit nur spekuliert werden.<sup>84</sup>

Wie präsentiert sich nun heute dieses Fundstück? Der Autor hatte im Jahr 2011 die Gelegenheit, die Reste des Wasserschöpfrades im National Museum Cardiff aus nächster Nähe zu inspizieren und zu fotografieren. Das aus Eichenholz<sup>85</sup> bestehende Radkranzteil ist roh behauen mit einer Axt, deren Bearbeitungsmarken noch sichtbar sind. Das Fundstück ist leicht gebogen, und die obere (innere) Seite scheint den Originalzustand des Rades wiederzugeben. Aufgrund dieser Krümmung errechnete Davies einen äußeren Durchmesser des Rades von etwa 4 m bis 4,3 m (13-14 Fuß).<sup>86</sup> Das Radkranzteil weist mit einer Stärke von etwa 1,2 cm eine mittlere Länge von ca. 100 cm auf bei Höhen zwischen 16 cm und 20 cm, je nach Messort. Der breiteste Teil ist in Abb. 9 u. 10 ganz links zu sehen. Genaue Maßangaben sind jedoch schwierig zu machen, da das Radteil an verschiedenen Stellen ausgefranst oder abgebrochen ist und zudem seit seiner Entdeckung auch leicht geschrumpft ist.<sup>87</sup> Dem oberen Rand entlang sind elf Löcher für eiserne Nägel auszumachen.<sup>88</sup> Etwa in der Mitte befindet sich eine dreiecksförmige Öffnung, durch die einerseits Wasser geschöpft bzw. nach einer Drehung des Rades um 180° entleert wurde. Rechts in Abb. 9 sieht man noch den Rest eines weiteren Schöpfloches. Dieses gleicht einem gleichschenkligen Dreieck mit einer Basis von 10,5 cm und einer Höhe von 16 cm. Unterhalb der Basis sind drei kleine Löcher zur Fixierung des Brettchens zu erkennen, das die Wasserkammern trennte. Die Form der Schöpf- und Entleeröffnungen (Abb. 9,13) weist auf eine wohl durchdachte Konstruktion hin. Damit ließen sich die Wasserverluste minimieren. Diese entstanden hauptsächlich im oberen Teil der Raddrehung, kurz bevor sich das Wasser in die Ablaufrinnen entleerte (Abb. 11F). Um eine einwandfreie Raddrehung zu gewährleisten, ist ein Spielraum zwischen Radkranz und Entwässerungsrinnen notwendig. Bei einer weniger durchdachten Form der Öffnung ginge viel Wasser durch jene Zwischenräume verloren. Um dies zu verhindern, wurden die Öffnungen dreiecksförmig ausgeführt. Hatten diese eine Höhe über den Entwässerungsrinnen erreicht, so erfolgte die erste Entleerung durch die V-förmigen, düsenartigen Öffnungen. Dadurch wurde ein strahlartiger Wasserausfluss erzeugt, der den Abstand zwischen Radkranz und Rinnenrand zu überspringen vermochte. Bei fortschreitender Raddrehung wird die Dreiecksöffnung breiter und die zur Entleerung bereitstehende größere Wassermenge bewirkte einen kräftigen Wasserstrom. Der tiefste Punkt

der Dreiecksöffnung befindet sich nahe dem Trennbrettchen zwischen den Wasserkammern (Abb. 9, 11E). Das erlaubte eine vollständige Entleerung im Bereich der obersten Drehstellung des Rades. Eine derart ausgeklügelte Konstruktion erhöhte die Effizienz des Wasserrades beträchtlich und ist ein weiterer Beleg für die hohe Ingenieurskunst der Römer. Ohne diese technischen Überlegungen hätte man auch viereckige oder runde Öffnungen anbringen können. Beim Wasserschöpfrad von Rio Tinto (siehe unten) scheint man mit weniger Erfindergeist ans Werk gegangen zu sein.

Nur dieses Fundstück alleine hätte es sehr schwierig gemacht, das Rad zu rekonstruieren. Im Süden der iberischen Halbinsel wurden jedoch viele römische Wasserschöpfräder bzw. Teile davon in den Bergwerken entdeckt<sup>89</sup>, eines davon befindet sich heute im British Museum in London. Solche Wasserräder waren in der römischen Welt üblich, denn Vitruvius beschreibt sie wie folgt: „Es wird rings um die Welle ein Rad von solcher Größe angebracht, dass es die erforderliche Höhe erreichen kann<sup>90</sup>. Ringsum werden am Mantel viereckige Kästen angebracht, die mit Pech und Wachs abgedichtet sind. Wenn so das Rad durch Treten herumgedreht wird, dann werden die Kästen, voll nach oben gehoben, bei ihrer Rückkehr nach unten von selbst das Wasser [...] entleeren.“<sup>91</sup>

Colin Williams<sup>92</sup> (vgl. Abb. 11) hat das Dolaucothi-Rad zeichnerisch rekonstruiert. Er errechnete einen äußeren Durchmesser von ca. 356 cm, was um einiges weniger ist, als Davies geschätzt hatte (siehe oben). Das Wasserrad umfasste insgesamt zwanzig Wasserkammern mit den oben beschriebenen dreiecksförmigen

Abb. 9: Römisches Wasserradkranzteil: National Museum Cardiff, Objekt 35-555



Abb. 10: Detail des römischen Wasserradkranzteils: Nat. Museum Cardiff

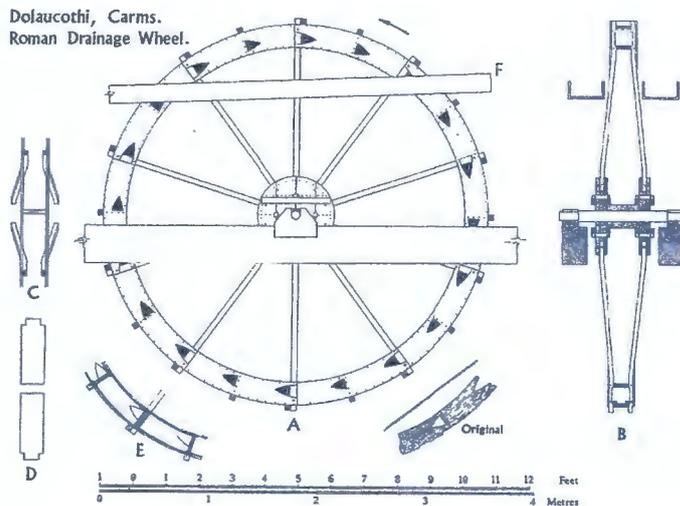
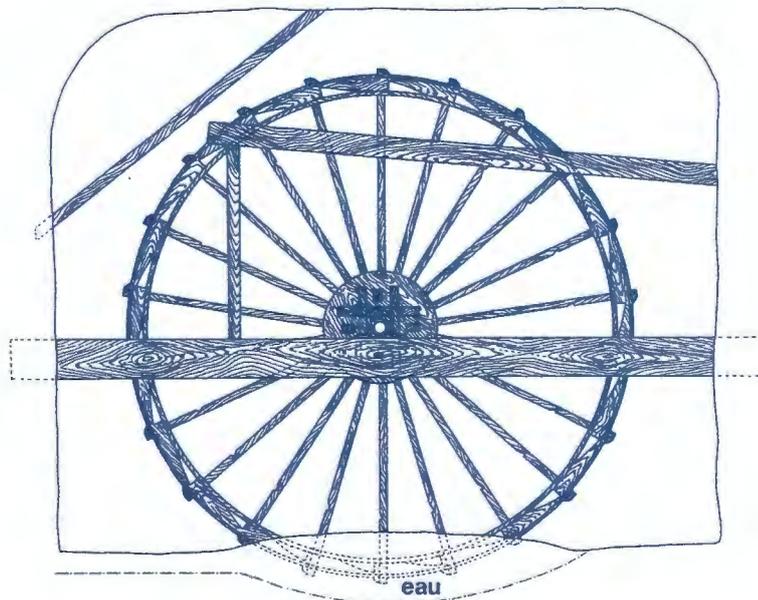


Abb. 11: Römisches Wasserschöpfrad von Dolaucothi: Rekonstruktion (aus: Boon/Williams 1966, S. 126)

Wasseröffnungen auf jeder Seite des Radkranzes. Boon/Williams folgern nun auf Grund ihrer Untersuchungen, dass die Speichen nicht wie z. B. beim römischen Wasserrad im British Museum jede einzelne Wasserkammer begrenzte, sondern nur jede zweite Kammer. Den Nachweis hierfür lieferte eine Zapfenverbindung für Holzdübel am Ende des zwei Kammern umfassenden Radkranzteil. An demjenigen Ort, wo sich das zwei Wasserkammern trennende Brettchen (für das die erwähnten drei Nagellöcher an der Basis der dreiecksförmigen Wasseröffnung zeugen) befand, wurden keine Spuren von Zapflöchern oder Dübel für Speichen entdeckt. Daher schlossen die Forscher nur auf zehn Speichenpaare für das Rad (siehe Abb. 11). Die einzelnen Wasserkammern wurden oben und unten mit hölzernen Brettchen abgeschlossen, so dass nur die erwähnten Dreiecksöffnungen für die Wasserschöpfung und -entleerung blieben.

Abb. 12: Römisches Wasserschöpfrad 1./2. Jahrhundert n. Chr. (Rekonstruktion) aus dem Cu/Ag-Bergwerk von São Domingos im heutigen Südportugal (aus: Domergue 1990, S. 555, Fig. 43)



Über die Konstruktion der Achse kann nur spekuliert bzw. es können Rückschlüsse aufgrund anderer römischer Wasserschöpfräder gezogen werden. Oft seien die Achsen aus Bronze gefertigt worden.<sup>93</sup> Für das Dolaucothi-Rad wird eine eiserne Achse angenommen<sup>94</sup>, die durch die Nabenkonstruktion führte. Davies meinte, die Radnabe hätte eventuell aus einem einzelnen Holzblock bestanden, in den die Speichen hineingesteckt wurden.<sup>95</sup> Boon/Williams (1966, S. 127) hatten in Ermangelung von Beweisen einen sog. Iberischen Typ einer Radnabe postuliert. Diese bestand aus zwei hölzernen Doppelscheiben, die aus verschiedenen Brettchen (wahrscheinlich mittels Holzdübel, Anm. d. Verf.) zusammengebaut wurden. Die zehn hölzernen Speichenpaare waren in Aussparungen der inneren Scheiben eingefügt (vgl. Abb. 11 B). Auch Davies (1936, S. 56) hatte diese Ausführung in Erwägung gezogen.

Machen wir einen Vergleich mit dem Rad aus São Domingos in Abb. 12: Dieses weist einen äußeren Durchmesser von 3,8 m auf<sup>96</sup> und ist somit etwas grösser als das Dolaucothi-Rad (ca. 3,6 m). Die 22 Speichenpaare mit ihren zugehörigen Trennbrettchen (schön zu sehen beim römischen Wasserrad des 1./2. Jahrhunderts im British Museum) separieren 22 Wasserkammern entsprechend dem größeren Raddurchmesser. Auffällig sind die vielen Speichen: Hier kommt auf jede Wasserkammer ein Speichenpaar, beim Dolaucothi-Rad aber nur auf jede zweite. Möglicherweise wurde aus Kosten- oder praktischen Gründen bei den Speichen gespart. Grundsätzlich besteht aber eine sehr große konstruktive Übereinstimmung beider Wasserräder. Interessant sind nun die hier ebenfalls zu sehenden dreiecksförmigen Schöpf- und Entleeröffnungen im Radkranz. Das ebenfalls aus dem Süden der iberischen Halbinsel stammende Wasserrad des British Museum hat ganz anders geformte seitliche Schöpf- und Entleeröffnungen.

Jene liefern nun einen überzeugenden Hinweis für das Dolaucothi-Wasserrad, dass ein Technologietransfer von der iberischen Halbinsel nach dem fernen Britannien stattgefunden haben muss, denn eine solch detailgetreue Nachbildung kann unmöglich das Produkt des Zufalls sein. Wundern muss man sich aber nicht, waren es wahrscheinlich Legionäre als Aufsichtspersonen oder im Tross mitgereiste Bergbauspezialisten aus Hispania, die zu Beginn der Abbauphase im Bergwerk von Dolaucothi tätig waren und ihr Wissen Einheimischen vermittelt hatten.<sup>97</sup> Die Analogie zwischen den zwei Wasserrädern liefert bereits einen ersten Hinweis zur Datierung des Dolaucothi-Rades, unabhängig von naturwissenschaftlich erbrachten Nachweisen, denn das in Abb. 12 dargestellte Wasserrad von São Domingos stammt aus der Zeit des 1./2. Jahrhunderts n. Chr.<sup>98</sup> C14-Analysen am Radkranzteil von Dolaucothi ergaben unkalibrierte Datierungsangaben von 2040±70 bp, bzw. 90 bc<sup>99</sup>, kalibriert cal BC 207 – AD 90 (2σ).<sup>100</sup> Dies entspricht einem Zeitraum vom 2. Jahrhundert v. Chr. bis zum 1. Jahrhundert n. Chr. Daraus zu schließen, dass das Rad schon in vorchristlicher Zeit in Betrieb gestanden hätte, wäre sicher falsch. Aufgrund der im ersten Kapitel dieses Aufsatzes dargelegten militär-historischen Fakten und dem weiter oben Gesagten postuliert der Autor für die Herstellung und den Ersteinsatz des Dolaucothi-Wasserrades einen Zeitrahmen für das letzte Viertel des 1. Jahrhunderts n. Chr. Der Beginn des römischen Bergbaues dürfte ebenfalls in diese Zeit anzusetzen sein, aus den dargelegten Gründen jedoch nicht vor 78 n. Chr.

Dass Fund- und Einsatzort kaum identisch sind, wurde schon erwähnt. Selten war ein Rad allein im Einsatz, meistens waren sie

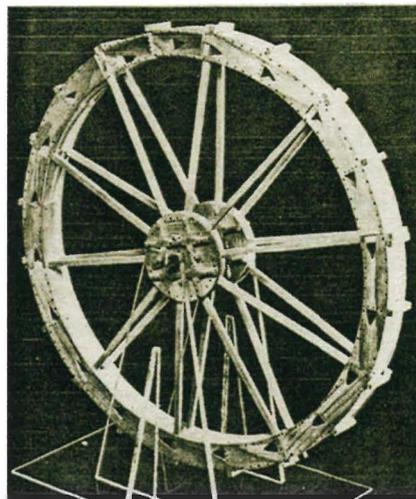


Abb. 13: Römisches Wasserschöpfrad von Dolaucothi: Nachbau (aus: Healy 1978, S. 123)

paarweise pro Wasserhaltungsniveau angeordnet.<sup>101</sup> Für die Förderhöhe waren in der Praxis etwa  $\frac{3}{4}$  des Raddurchmessers nutzbar<sup>102</sup>, so dass z. B. wie im römischen Bergwerk von Tharsis (Spanien) vierzehn Räderpaare hinter- und übereinander im Einsatz waren, um das Wasser etwa 43 m hoch zu fördern.<sup>103</sup> Es bleibt noch die Frage nach der Förderleistung des Dolaucothi-Rades, wobei es hierbei einige Unbekannte gibt, wie

z. B. die Breite der Wasserkammern, die Platzverhältnisse vor Ort, die Anzahl tretender Sklaven oder die tägliche Arbeitszeit (Schichtbetrieb?). Den Berechnungen wurden folgende Daten zu Grunde gelegt:

- Raddurchmesser (außen): 3,6 m
- Wasserkammerbreite: 12 cm
- Wasserkammern: 20 Stück
- Wasserkammerinhalt = 50 cm x 18 cm x 12 cm = 10,8 l (entspricht ca. 10,8 kg)
- Konstruktionsbedingter praktischer Füllstand der Wasserkammern:  $\frac{2}{3}$
- Drehrichtung des Rades: Gegenuhrzeigersinn (konstruktionsbedingt)
- angenommene Drehzahl:  $\frac{1}{2}$  U/min
- Arbeits-Förderhöhe: 3,5 m<sup>104</sup>
- Arbeitseinsatz: 24 h/Tag (Schichtbetrieb).

Aufgrund dieser Annahmen kommen wir auf eine Tagesleistung von 104 m<sup>3</sup>, das entspricht 72 l/min. Diese Förderleistung erfordert eine zu erbringende Arbeitsleistung von 2472 J/min, das sind 41 W. Rechnet man noch mit Verlusten für das Achsdrehmoment von 20%, so musste der Sklave für 72 l/min zu fördern 49 W leisten. Eine solche Arbeitsleistung ist auf Dauer von einem Mann auch unter erschwerten Bedingungen zu erbringen.<sup>105</sup> Die Kraft des tretenden Mannes auf das Rad kann nicht grösser sein als diejenige, die durch sein Eigengewicht bewirkt wird.<sup>106</sup>

Über den Antrieb der Räder haben wir das schon zitierte schriftliche Zeugnis von Vitruvius<sup>107</sup>, der schrieb „Ita cum rota a calcantibus versabitur [...]“; besser müsste es heißen „a hominibus calcantibus [...]“, das hieße, dass das Rad von *tretenden Männern* gedreht wurde. Wahrscheinlich wurde auf die nockenartig aus dem Radkranz herausragenden Trennbrettchen der Wasserkammern getreten (gut sichtbar in Abb. 13). Ein Wasserrad dieser Grösse benötigte eine Radstube von mindestens vier Meter Höhe.

Weil man über keine Angaben zu der Menge der zuzitenden Wasser verfügt, kann über die Anzahl der eingesetzten Schöpfäder nur spekuliert werden. Zum Schluss ist noch anzumerken, dass ein solches Wasserrad nur vor Ort, d. h. im Bergwerk aus vorfabrizierten Teilen zusammengebaut werden konnte.<sup>108</sup>

## Aufbereitung

Unter Aufbereitung verstehen wir hier alle mechanischen und thermischen Prozesse zur Anreicherung durch Partikelauflösung von goldhaltigen Gesteinsteilen zum Zweck der Gewinnung von Rohgold.

Darunter fallen das:

- Zerkleinern und Pochen
- Mahlen
- Waschen
- „ground-sluicing“
- Rösten.

In vorrömischer Zeit erfolgte die Aufbereitung hauptsächlich an goldhaltigem Gestein aus Goldseifen, die sich z. B. an der Einmündung des Bächleins unterhalb der Grube Ogofau (vgl. Abb. 2) in das Cothi-Flüsschen abgelagert hatten. Dieses unscheinbare Gewässer ist heute noch vorhanden und fließt an einigen Stellen entlang der Straße nach Caio, im Bergeinschnitt zwischen Allt Cwmhenog und Allt Ogofau.<sup>109</sup> Auf das Goldwaschen in Schüsseln, wie es auch heute noch von Hobby-Goldwäschern betrieben wird, soll hier nicht weiter eingetreten werden. Bevorzugte Plätze erster Sortier- und Zerkleinerungsarbeiten waren die geräumigen Vorplätze von Gruben, Stollen<sup>110</sup> und Tankanlagen. Das Erkennen solcher Strukturen im heutigen Gelände ist sehr schwierig, besonders in der Vegetationszeit. Dank neueren (1991-1993) durch B. und H. Burnham durchgeführten, aber auch älteren Grabungskampagnen gibt es doch einige Erkenntnisse über einen Ort, an dem sich die meisten Aufbereitungsarten konzentriert hatten: Es ist der Platz unterhalb bzw. nördlich der Grube Ogofau (Nr. 4), des mit „Motte“ bezeichneten Ortes und des ca. 30 m östlich davon stehenden Pochsteines „Carreg Pumsaint“, sowie deren nähere Umgebung.<sup>111</sup> C14-Analysen am Material aus Horizonten dieses Platzes belegen bergbauliche Aktivitäten im Zusammenhang mit der Aufbereitung der Golderze sowohl für die Jahre 925-427 v. Chr. als auch für die Zeit von 43 v. Chr. bis 331 n. Chr.<sup>112</sup>

### Zerkleinern und Pochen

Nach dem Klauben und Hämmern des goldhaltigen Gesteins wurden die Gesteinsbrocken in Trögen oder Säcken zu den zentralen Aufbereitungsplätzen gebracht, um in den Mörsern zerstoßen zu werden. So geschehen schon im alten pharaonischen Ägypten bei der Goldaufbereitung, wie uns Agatharchides und Diodoros überliefern:

„Die unmündigen Knaben kriechen durch die Stollen..., heben die in kleinen Stücken herab geworfenen Felsbrocken mühsam auf und bringen sie ausserhalb des Eingangs ins Freie. Von jenen nehmen die Älteren das Gestein in Empfang und tragen es weiter zu den Schlägern. Diese, Männer im Alter unter dreissig Jahren und kräftiger Statur, zerkleinern nach Empfang von Steintrögen (Mörsern, Anm. d. Verf.) das Gestein sorgfältig mit einer Eisenkeule. Nachdem sie die grössten Brocken auf Erbsenformat zerkleinert haben [...], leiten sie es (das Gestein, Anm. d. Verf.) anderen zu.“<sup>113</sup> Das goldhaltige Erz konnte auf diese Weise in einzelnen Mörsern oder in einem Pochwerk zerkleinert werden. Der oben abgebildete Pochstein (als Teil eines Pochwerkes) ist etwa einen Meter hoch und ca. 40 bis 50 cm breit. Er weist auf allen Seiten z. T. gut sichtbare, mörserartige Vertiefungen auf. Der heutige Fundort ca. 30 m östlich des mit „Motte“ (vgl. Abb. 2) bezeichneten Abraumhaufens<sup>114</sup>, ebenso wie seine senkrechte Po-



Abb. 14: Poch- oder Mörserstein, sog. Carreg Pumsaint (Stein der fünf Heiligen)

sition, sind nicht identisch mit der ursprünglichen Lage.<sup>115</sup> Dieser Stein und ähnliche Pochplatten von der iberischen Halbinsel aus römischer Zeit und deren möglicher Einsatz in (mit Wasser betriebenen) Pochwerken geben nun zu kontroversen Diskussionen Anlass.<sup>116</sup> War es möglich, dass die römischen Bergleute im 1./2. Jahrhundert n. Chr. über eine Technik mit Nockenwellen betriebenen Pochwerken verfügten, ähnlich zu solchen, wie sie Agricola<sup>117</sup> dargestellt hatte; dies obschon nach Kenntnis des Autors bis jetzt noch nie Überreste von hölzernen Pochstangen aus der Antike entdeckt wurden?

Obwohl sich Burnham<sup>118</sup> anfänglich kritisch dazu äußerte und den Einsatz des „Carreg Pumsaint“ eher während einer Zeit vom Mittelalter bis in die Neuzeit (1200 bis 1700) sah, kam er aufgrund seiner Grabungsergebnisse zum Schluss, dass der Stein zu einem mechanisch betriebenen Pochwerk aus der Zeit des 1./2. Jahrhunderts n. Chr. stammen könnte.<sup>119</sup> Diese Meinung im Kontext des spanischen Goldbergbaues teilt auch Cech (2011): „Im römischen Goldbergbaurevier Três Minas im heutigen Portugal wurden zahlreiche massive, gleich große, leider sekundär verlagerte Granitquader mit je vier regelmäßigen muldenförmigen Vertiefungen auf jeder Seite gefunden. Es handelt sich dabei um auswechselbare Ambosse eines frühen mechanisch betriebenen Pochwerkes. Das zu zerkleinernde Erz wurde auf den Amboss gelegt und von vier im Takt aufschlagenden Pochstempeln zertrümmert. War eine Seite des Ambosses abgenutzt, wurde er umgedreht“<sup>120</sup>. Möglicherweise geschah dies auch so beim „Carreg Pumsaint“; wobei drei bis vier konkave Hohlräume in einer Reihe pro Seite entstanden.<sup>121</sup>

Dass der hier beschriebene Mörserstein und die oben gezeigten Pochplatten (Abb. 14,15) das Resultat eines mechanisierten Poch-



Abb. 15: Pochplatten aus dem römischen Bergbaurevier Lomo de Perro im Süden Spaniens (aus: Domergue 1990, Pl. XXVII)

betriebs waren, vertritt auch der Autor auf Grund folgender Überlegungen:

- Es war durchaus Stand der römischen Technik des 1./2. Jahrhunderts n. Chr., bei Getreidemühlen Kraftübertragungen mittels zweier Zahnräder von einer Kreisbewegung mit horizontal liegender Achse in eine solche an einer dazu senkrecht stehenden Achse zu bewerkstelligen (vgl. Vitruvius 10.5.2).
- Für ein mit einem Wasserrad angetriebenes und mit einer Nockenwelle ausgerüstetes Pochwerk (siehe Agricola 8) brauchte es weit weniger Erfindergeist, und dazu kam, dass damit Schwerarbeit vermieden werden konnte.
- Die vielen Beispiele von Pochplatten oder -steinen, die in römischen Bergwerken der iberischen Halbinsel entdeckt wurden und fast immer drei bis vier eng nebeneinander liegende Mörser aufweisen<sup>122</sup>, können kaum vom Handpochen, wie oben gemäß Agatharchides überliefert, entstanden sein. Diese konkaven Hohlräume können nur das Produkt eines mechanisierten Betriebes sein, ob nun wasserbetrieben oder von Hand, sei einmal dahingestellt.
- Im Dolaucothi-Bergbaurevier hätte es für ein mit Wasserkraft betriebenes Pochwerk genügend Wasser gehabt, wie das weitläufig angelegte Kanalsystem mit den vielen Reservoirs zeigt. Das teils feine, teils grobkörnigere Pochmaterial in allen Größen aus der Grabungskampagne Burnhams von 1991-1993 lässt nicht klar erkennen, ob das goldhaltige Gestein direkt den Erzmühlen zugeführt oder vor dem Mahlen zuerst noch einem Waschprozess unterzogen wurde.<sup>123</sup>

## Mahlen

Dort, wo das Berggold in Form von Flittern oder sehr feinkörnig im gepochten Erz enthalten war, musste dieses noch den Erzmühlen zugeführt werden. Das bezeugen die vielen Mahlsteine und Fragmente davon, über die schon im Jahr 1855 gemäß anti-

quarischen Quellen berichtet wurde.<sup>124</sup> Auch Davies (1936, S. 51) erwähnt diese und verweist auf die Ähnlichkeit mit anderen aus römischer Zeit. Überreste von Erzmühlen wurden z. B. in manchen römischen Bergwerken der iberischen Halbinsel gefunden.<sup>125</sup> Ein bedeutender Mahl- und Aufbereitungsplatz im Revier von Dolaucothi muss sich, wie schon erwähnt, unterhalb der Grube Ogofau (vgl. Abb. 2) und dem nördlich davon gelegenen Areal der Ogofau Lodge (jenseits der heutigen Straße) befunden haben.<sup>126</sup> Obwohl sich Erzmühlen selbst nicht datieren lassen, sind sie auf Grund der Fundhorizonte und der oben erwähnten Ähnlichkeit mit solchen aus anderen römischen Bergwerken mit großer Wahrscheinlichkeit der römischen Zeit des 1.-4. Jahrhunderts n. Chr. zuzuordnen.<sup>127</sup>

Das Mahlen der Golderze wurde schon im Alten Ägypten praktiziert, und von dort berichtet uns Agatharchides: „Von diesen (den pochenden Männern, Anm. d. Verf.) empfangen die Frauen [...] und die älteren Männer die erbsengroßen Steine und schütten sie in mehrere, in einer Reihe stehenden Mühlen. Zwei bis drei Frauen bedienen eine Kurbel und mahlen das ihnen zugeteilte Maß zur Feinheit von Weizenmehl.“<sup>128</sup>

Für mit Wasserkraft betriebene Mühlen, wie sie von Vitruvius (10.5.2) beschrieben und im Kontext mit dem Mahlen von Getreide entdeckt wurden<sup>129</sup>, gibt es keinerlei Hinweise. Wahrscheinlicher ist hier das von Hand betriebene Mahlen.

Der in Abb. 16 dargestellte obere, bewegliche Mahlstein ist im Carmarthenshire County Museum in Abergwili (CCMA) ausgestellt. Er ist in etwa zirkular, mit einem äußeren Durchmesser von ca. 50-55 cm. Am linken und rechten Rand sind Teile abgebrochen. Die innere Öffnung hat einen Durchmesser von ca. 13 cm. Auf seiner Oberseite sind drei deutlich sichtbare Löcher für Handgriffe zu erkennen. Daneben sind noch weitere, z. T. nicht gut erkennbare Vertiefungen auszumachen, die ebenfalls mit der Befestigung der Handgriffe zu tun haben müssen. Wie schon erwähnt, ist dies nur einer der vielen Mahlsteine, die im Revier von Dolaucothi entdeckt und in diversen Publikationen, zuletzt bei Burnham (2004, S. 286-290) beschrieben und abgebildet wurden.

Abb. 16: Oberer Stein einer römischen Erzmühle (CCMA)



Der obige Mahlstein gleicht sehr stark einem bei Burnham beschriebenen und gezeigten.<sup>130</sup>

### Waschen und „ground sluicing“

Um die feinen Goldkörnchen und Goldflitter aus dem zu „Weizenmehlqualität“ (vgl. Agatharchides) gemahlene Gestein extrahieren zu können, bedurfte es eines Waschprozesses, wie er schon von den pharaonischen Goldbergwerken Ägyptens bekannt war. Von diesen wurde die Prozedur sehr ausführlich beschrieben; und all die Jahrtausende hindurch hat sich dabei kaum etwas verändert, wie die Beschreibungen und Abbildungen bei Agricola (8) zeigen. Das Prinzip war auch den Römern bekannt: Man machte sich den Dichteunterschied zwischen Gold (<19,3 g/cm<sup>3</sup>, je nach Silbergehalt) und den Nebengesteinsbestandteilen wie Quarz (2,5-2,7 g/cm<sup>3</sup>) oder Schiefer (2,7-2,9 g/cm<sup>3</sup>) zu Nutze, indem man Wasser über ein zuvor mit dem Mahlgut beladenes, geneigtes Waschbrett mit Querrinnen oder Vertiefungen fließen ließ. Dabei blieben die schwereren Goldbestandteile an oder in den Hindernissen des Brettes hängen und das leichtere Nebengestein wurde fortgeschwemmt. Anschließend konnte man dem Brett das Waschgoldkonzentrat mit seinen Flittern entnehmen. Agatharchides erwähnt zusätzlich den Gebrauch eines Schwammes, um die leichteren Nebengesteinsbestandteile anzuziehen: „Hat der Selangeus [= Goldwäscher, Anm. d. Verf.] wiederholt mit Wasser die zurückgebliebenen Marmor- und Goldkörnchen überspült, greift er zu weichen und dichten Schwämmen, mit denen er die Marmorkörner leicht anzieht. Er berührt nämlich eine Zeitlang die leichten und lockeren Marmorsteilchen, wodurch sie in den Lücken des Schwammes haften bleiben, nimmt sie dann vom Brett und wirft sie weg. Die schweren und glänzenden Körner lässt er gesondert auf dem Brett zurück, weil sie von Natur aus infolge ihres schweren Gewichtes nicht leicht zu bewegen sind.“<sup>131</sup> Ebenfalls sehr wirksam zur Abscheidung von Goldpartikeln war die Verwendung eines Schaffelles (Goldenes Vlies) oder eine Lage Heidekraut.<sup>132</sup>

Im Revier von Dolaucothi fanden sich einige Spuren, die auf Goldwäsche hinweisen. So zeigen Lewis/Jones<sup>133</sup> eine Serie von abgetreppten Waschtischen unterhalb des Tanks C (vgl. Abb. 2), die in das anstehende Schiefergestein eingehauen waren.<sup>134</sup> Die heute sichtbaren Geländestrukturen lassen aber nur schwer deren einstigen Verwendungszweck errahnen.

Ein größerer Waschplatz befand sich bei der sog. Ogofau Lodge.<sup>135</sup> Bei Grabungsarbeiten für die Foundationen der Ogofau Lodge stieß man im Baugrund auf Sedimentbeete von gemahltem Gestein, die nur von einst umfangreichen Waschaktivitäten herrühren können.<sup>136</sup>

Eine etwas andere Art des Waschens direkt im Gelände wird in der Literatur als „ground sluicing“ oder „hydraulic sluicing“ bezeichnet.<sup>137</sup> Die Bergleute gruben im geeigneten Gelände, dort wo verwittertes, goldhaltiges Gestein zu Tage trat, schmale Gräben ins Anstehende. Man ließ nun Wasser, gespeist von Wasserkanälen und Zisternen, direkt über das im Tagebau gewonnene Erz in den Gräben strömen. An den Grabenrändern standen Erzwäscher und schaufelten das Waschgut stromabwärts. Nach dem gleichen Prinzip wie bei den Waschbrettern blieben auch hier die schwereren goldhaltigen Bestandteile in den natürlichen Hindernissen des künstlichen Grabens hängen, während das leichtere Nebengestein talwärts geschwemmt wurde. In Zeitabständen von Wochen oder Monaten wurde der Graben, wahrscheinlich nach einer Unterbrechung des Wasserzuflusses, gereinigt, um dem Graben den Goldschlamm an den natürlichen Hindernis-

sen zu entnehmen.<sup>138</sup> „Ground sluicing“ bedingte einen konstanten Wasserfluss, was im Dolaucothi-Revier gegeben war. Die Anwendung dieser Methode ist in einer frühen Phase des römischen Abbaues gut denkbar, kann aber archäologisch nicht nachgewiesen werden. Plinius hat dieses Verfahren wie folgt beschrieben: „Die Gräben, durch die [das Wasser] fließen soll, werden ausgehoben [...], diese werden Stufe für Stufe mit Heidekraut belegt. Es handelt sich um einen dem Rosmarin ähnlichen Strauch, der rau ist und das Gold zurückhält. Die Seiten werden mit Brettern eingefasst, [...]“<sup>139</sup> Die goldhaltigen Gesteinsteile verfrachten sich im Heidekraut und konnten nach dem Verbrennen aus der Asche herausgewaschen werden.<sup>140</sup> Bei einem solchen Verfahren, das möglicherweise an den verwitterten Ausbissen der goldführenden Schichten auf Dolaucothi angewandt wurde, konnten die goldhaltigen Gesteinsteile ohne Röstprozess den Mühlen zugeführt werden, weil deren sulfidische Bestandteile ausgewettert bzw. oxidiert waren.<sup>141</sup>

### Rösten (Raffinieren, Schmelzen)

In der ersten Abbauphase wurde das Gold wahrscheinlich zur Hauptsache aus sulfidfreien Erzen gewonnen: aus Seifen, dem Eisernen Hut und aus Quarzgängen. Mit zunehmenden Teufen des Bergbaues, der Eisernen Hut reichte stellenweise bis in Teufen von 20 bis 30 m, nahm der Anteil sulfidischer Erze zu, die zur Goldgewinnung eines Röstprozesses bedurften.<sup>142</sup> Bei den Untersuchungen an schon erwähnten römischen Überresten aus Aufbereitungsprozessen in der Umgebung des Carreg Pumsaint und „Motte“ stieß man auf Holzkohle und Schlackenreste. Dies deutet auf Röstprozesse hin.<sup>143</sup> Das Rösten von goldhaltigen Pyriten war erforderlich, um den Schwefel zu beseitigen.

Die Holzkohlereste könnten aber auch von Raffinierungsprozessen herrühren, die unzweifelhaft stattgefunden haben müssen, denn Rohgold weist durchwegs Verunreinigungen auf, vor allem Silber, Kupfer, Zinn etc.<sup>144</sup> Leider gibt es keinerlei archäologischen Hinweise für diese Prozesse im Bergbaurevier von Dolaucothi. So müssen wir uns mit der schriftlichen Aufzeichnung des Agatharchides über das Schmelzen und Reinigen des Goldes begnügen: „Diese [die Schmelzer, Anm. d. Verf.] nehmen [...] die Goldkörner und schütten sie in ein irdenes Gefäß. Daraufhin vermischen sie die Goldkörner im entsprechenden Verhältnis zur Menge mit einem Bleiklumpen und Salzkörnern, fügen auch ein wenig Zinn und Gerstenkleie bei, legen dem Gefäß einen genau passenden Deckel auf, dichten ihn von allen Seiten sorgfältig mit Lehm ab und schmelzen die Masse fünf Tage und Nächte ohne Unterbrechung im Ofen.“<sup>145</sup> Weiter erwähnt der Autor des 2. Jahrhunderts v. Chr., dass am Schluss des Läuterungsprozesses von den Zusätzen nichts mehr übrig geblieben sei. Neuere Nachbildungen dieses Raffinierungsprozesses im Labor haben gezeigt, dass damit wirklich das Silber abgeschieden werden kann, weil sich wegen des Salzes dampfförmiges Silberchlorid bildet, das sich an den Tiegelwänden niederschlägt (sog. chlorierende Röstung).<sup>146</sup> Wie das Experiment zeigte, haben sich die Zusätze von Blei und Zinn neben Kohlenstoff als Ersatz für Gerstenkleie als ziemlich wirkungslos erwiesen. Agatharchides wurde wahrscheinlich von seinen Gewährleuten (absichtlich) falsch informiert.<sup>147</sup> Falls aber wirklich Blei und Zinn zugegeben worden wären, hätten diese anschließend durch Kuppellation vom Gold getrennt werden müssen.<sup>148</sup> Nach einem weiteren Einschmelzen goss man das Rohgold wahrscheinlich zu Barren oder Ringen.<sup>149</sup> Leider wurden auf Dolaucothi keine derartigen Produkte entdeckt, und auch in den Museen ist nichts davon zu finden.

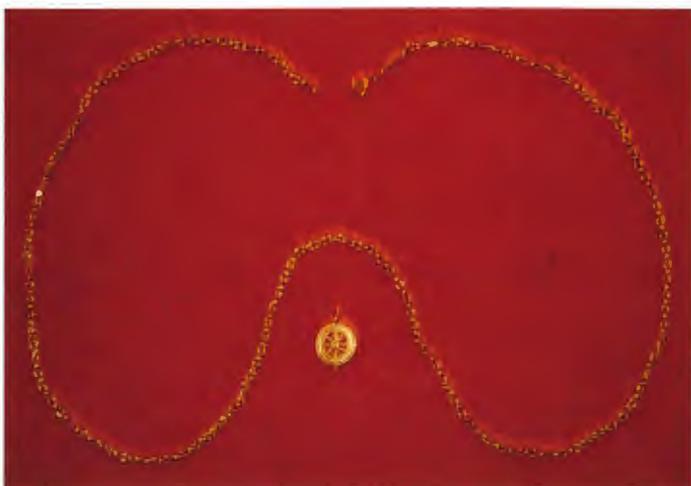


Abb. 17: Goldkette mit Anhänger 1./2. Jahrhundert n. Chr., CCMA

## Goldobjekte

Im Gebiet von Dolaucothi wurde erstmals 1796 oder 1797 Goldschmuck entdeckt, dem 1819 noch weitere Stücke folgten.<sup>150</sup> Es handelt sich um eine Goldkette und einen dazu gehörenden Anhänger (vgl. Abb. 17), heute im Carmarthenshire County Museum in Abergwili. Der Anhänger kann als Sonnensymbol oder als Anspielung auf die keltische Gottheit Taranis verstanden werden, bei der das Rad die Kräfte des Wechsels versinnbildlicht.<sup>151</sup>

Die Ausgrabungen brachten aber noch weitere goldene Schmuckstücke zu Tage: Zwei Goldketten mit Anhänger sowie zwei goldene Armبänder, eines davon in Schlangenform. Alle diese Objekte befinden sich im British Museum in London und wurden der Zeit des 1./2. Jahrhunderts n. Chr. zugeordnet.<sup>152</sup> Die in Abb. 17 gezeigten Goldobjekte können auf Grund vergleichender Betrachtungen mit den oben erwähnten Dolaucothi-Funden sowie einer römischen Goldkette aus dem „Hoxne hoard“ (Hoxne, Suffolk)<sup>153</sup> ebenfalls dem 1./2. Jahrhundert n. Chr. zugeschrieben werden. Im CCMA hat man gewisse Zweifel, ob das Gold des Dolaucothi-Hortes vom dortigen Bergwerk stamme.<sup>154</sup> Leider gibt es bis heute keine vergleichenden metallurgischen Untersuchungen zu Dolaucothi-Erzen und Proben der Schmuckstücke, wie dem Autor von verschiedenen Seiten mitgeteilt wurde.<sup>155</sup> Auf diesen Mangel haben schon Lewis/Jones im Jahre 1969 hingewiesen.<sup>156</sup> Der Dolaucothi-Hort war aber bei weitem nicht der einzige in Britannien, wie der als Beispiel erwähnte Hoxne-Hort mit einer großen Anzahl von goldenen Armringen und Halsketten zeigt. Daneben existieren auch solche von Goldmünzen. Woher soll nun all dieses Gold stammen? Wurde es eventuell vom fernen Hibernia (Irland) importiert? Es scheint paradox zu sein, dass der Goldhort in der Umgebung eines Goldbergwerkes, in dem vom 1. Jt. v. Chr. bis ins 2./3. Jahrhundert n. Chr. Gold erze gewonnen wurden, eine fremde Herkunft haben soll? Zudem ist Dolaucothi bis jetzt immer noch das einzige nachweislich in römischer Zeit in Betrieb stehende Goldbergwerk. Es ist dem Autor bewusst, dass Herkunftsanalysen von Berggold auch heute noch sehr schwierig sind. Trotzdem könnte mit vergleichenden Untersuchungen anhand der Spurenelemente<sup>157</sup> sowie chemisch-physikalischer Methoden<sup>158</sup> mehr Klarheit über die Herkunft der Dolaucothi-Goldobjekte geschaffen werden.

## Schlusswort

Die vorigen Ausführungen zeigen, dass auf Dolaucothi auf Grund von C14-Analysen und von Bodenfunden Goldbergbau sicher ab dem 1. Jahrtausend v. Chr. bis in unsere Zeit hinein umging, wobei es zahlreiche lange Unterbrechungen gab und nicht immer mit derselben Intensität Bergbau betrieben wurde.

Man mag sich vielleicht am Anfang dieser Darlegungen gefragt haben, wieso den militärhistorischen Betrachtungen so viel Raum eingeräumt wird. Spätestens bei der Datierung des Wasserradkranzteils und den vergleichenden Betrachtungen mit einem römischen Wasserrad aus Hispania des 1./2. Jahrhunderts n. Chr. wird man deren Sinn erkennen. Die C14-Datierung des Radkranzteils wirft Fragen auf. So könnte man Herstellung und Einsatz des Wasserrades im Bergwerk evtl. schon für das 1. Jahrhundert v. Chr. postulieren. Die militärisch-politische Lage im heutigen Wales lässt aber nur den Schluss zu, dass dieses Wasserrad im letzten Viertel des 1. Jahrhunderts n. Chr. und frühestens ab 78 n. Chr. von römischen Fachleuten gebaut wurde. Damit haben wir auch einen Terminus post quem für den Beginn des römischen Bergbaues auf Dolaucothi. Vor diesem Zeitpunkt wird sich auf Dolaucothi kaum römische Bergbau- und Wassertechnik etabliert haben können. Der römische Bergbau dauerte sicher bis zur Mitte des 2. Jahrhunderts n. Chr., wahrscheinlich darüber hinaus.

Mangels archäometallurgischer Untersuchungen kann die Herkunft des auf Dolaucothi entdeckten und geborgenen Goldhortes nicht geklärt werden. Seine Entstehungszeit kann aber mit größerer Wahrscheinlichkeit dem 1./2. Jahrhundert n. Chr. zugeordnet werden. Sowohl montanhistorische Forschungen in den Tagebaugruben und den z. T. eröffneten Tiefbauen sowie archäometallurgische Untersuchungen an den Goldobjekten und Erzen wären sehr wünschenswert.

## Danksagung

Dieser Aufsatz in der vorliegenden Form wäre nicht zustande gekommen ohne die wertvolle Hilfe folgender in Wales ansässigen Personen und Institutionen:

Prof. Barry C. Burnham, Lampeter; Gavin H. Evans, Curator Carmarthenshire County Museum, Abergwili; Richard J. Brewer, Research Keeper of Roman Archaeology, National Museum Cardiff, Cardiff; Mrs. Jacqui Kedward, Property Manager Carmarthenshire, The National Trust, Dolaucothi Gold Mines, Pumsaint, Llanwrda.

Allen oben Genannten entbiete ich meinen herzlichsten Dank.

## Abkürzungen

CCMA Carmarthenshire County Museum, Abergwili

NMC National Museum Cardiff, Cardiff, Wales

## Anmerkungen

- 1 Diodoros 1992/93, 5.21.3, Strabon 2002, 4.5.1.
- 2 Tacitus 1988; Agricola 10.3.
- 3 Ptolemaeus 1966, Geographia, Tabula Europae I.
- 4 National Museum Cardiff: The Heyope hoard.
- 5 Pytheas of Massalia 1994.
- 6 Siehe Meier 1997.
- 7 Diodoros 1992/93, 5.22.4; 5.38.5.

- 8 Burnham/Burnham 2004, S. 6-7, 329-330.  
9 Burnham/Burnham 2004, S. 8, 329; Blick 1991, S. 42.  
10 Blick 1991, S. 36, 43; Boon/Williams 1966, S. 123.  
11 Burnham/Burnham 2004, S. 1.  
12 Burnham/Burnham 2004, S. 2.  
13 Vgl. Burnham/Burnham 2004, S. 329, 333; Cauuet et al. 2000.  
14 Burnham/Burnham 2004, S. 4-8, 207f., 327-328.  
15 Heute im National Museum Cardiff.  
16 Davies 1936, S. 54-55.  
17 Boon/Williams 1966, S.123.  
18 Boon/Williams 1966, S. 122.  
19 Burnham/Burnham 2004, S. Fig. 1.1.  
20 Creighton 2006, S. 3, 23; Faulkner 2001, S. 20.  
21 Faulkner 2010, S.24, 39-42.  
22 OS Roman Britain, Historical map & guide, 1:625'000, Ed. 2001; Burnham/Burnham 2004, S. 37, 306.  
23 Ptolemaeus 1966, Geographia 1540.  
24 Den Null-Meridian zog Ptolemaeus durch die westlichste Kanareninsel Hierro. Die Abweichung bei der geographischen Breite entspricht in etwa derjenigen von Londinium (London).  
25 CCMA.  
26 Burnham/Burnham 2004, S. 322.  
27 Burnham/Burnham 2004, S. 105f, 286-290, 313-315.  
28 Burnham/Burnham 2004, S. 8.  
29 Burnham/Burnham 2004, S. 322.  
30 Faulkner 2001, S. 168-171; Veh 1990, S. 90.  
31 Faulkner 2001, S. 172-173; Veh 1990, S. 90.  
32 Brenchley/Rawson 2006, S. 82.  
33 Brenchley/Rawson 2006, S. 1-7.  
34 Brenchley/Rawson 2006, S. 453.  
35 Lewis/Jones 1969, S. 261.  
36 Kristalliner Schiefer und Tonschiefer (shale); vgl. Bird 2001, S. 267; Boon/Williams 1966, S. 123.  
37 NMC: Wandtafeltext; Trueb 1992, S. 14; Burnham/Burnham 2004, S. 328; Bird 2001, S. 267 Anm. 4: goldhaltiger Arsenopyrit.  
38 Burnham/Burnham 2004, S. 280, erwähnt 10-50 µm; Bird 2001, S. 267.  
39 Boon/Williams 1966, S. 123.  
40 Burnham/Burnham 2004, S. 280.  
41 Trueb 1992, S. 22-27.  
42 Burnham/Burnham 2004, S. 4; Bird 2001, S. 267.  
43 Lewis/Jones 1969, S. 264-265; Sanchez 1979, S. 45-46; Polybios in Strabon 2002, IV.6.12 beschreibt z. B. ein Goldvorkommen in Italia, dessen Überdeckung nur zwei Fuß betragen habe. Dort wäre ein hydraulischer Aufschluss einfach gewesen.  
44 Plinius 2007, 33.72-76; vgl. Sanchez 1979, S. 46-47.  
45 Burnham/Burnham 2004, S. 327.  
46 Blick 1991, S. 40.  
47 Burnham/Burnham 2004, S. 4.  
48 Burnham/Burnham 2004, S. 4; Blick 1991, S. 40.  
49 C14-Datierungen zeigen, dass um das Jahr 800 n. Chr. der Kanal schon zu drei Vierteln mit Torf verfüllt war (Burnham/Burnham 2004, S. 214).  
50 Burnham/Burnham 2004, S. 5, 219.  
51 Boon/Williams 1966, S. 122 Anm.6; Lewis/Jones 1969, S. 263.  
52 Boon/Williams 1966, S. 122 Anm.6; Bird 2001, S. 270.  
53 Burnham/Burnham 2004, S. 329-330; Bird 2001, S. 267-268; Lewis/Jones 1969, S. 263.  
54 Burnham/Burnham 2004, S. 4, 7 mit Fig. 1.3.  
55 „rafas“, wie diese Tagebaugraben dort heißen, können sich bis zu Kilometer langen Zügen formieren (Domergue 1990, S. 419, Pl. IIb).  
56 Burnham/Burnham 2004, S. 4.  
57 Burnham/Burnham 2004, S. S. 4, 317.  
58 Burnham/Burnham 2004, S. 4.  
59 Bird 2001, S. 268.  
60 Siehe Kap. 5: Wasserhaltung.  
61 1 Stadium = 176-195 m.  
62 Diodoros 1992/93, 5.36.4.  
63 Lewis/Jones 1969, S. 262, meinen, das angekohlte Holz hätte auch von einem Feuer zur Unterstützung der Bewetterung gedient haben können.  
64 Davies 1936, S. 54; Boon/Williams 1966, S. 123.  
65 Davies 1936, S. 53-55.  
66 Davies 1935, S. 154: Er bezeichnet beide als „drainage adits“; vgl. Healy 1978, S. 120, Abb. 20a+b.  
67 Blick 1991, S. 40.  
68 Vgl. Davies 1936, S. 52.  
69 Davies 1935, S. 35; Davies 1936, S. 51.  
70 Davies 1936, S. 52.  
71 Eigene Messungen und solche nach Davies 1936, S. 53.  
72 Schriftl. Mitteilung B. Burnham 26.9.2011.  
73 Lewis/Jones 1969, S. 251; Mündl. Angabe B. Burnham anlässlich der Begehung vom 5.7.2011.  
74 Davies 1936, S. 52.  
75 Davies 1936, S. 52.  
76 Zur Zeit von Davies 1935/36 war dieser Stollen nicht zugänglich (Davies 1936, S. 52).  
77 Grewe 2010, S. 144-146.  
78 Schriftl. Mitteilung B. Burnham 26.9.2011.  
79 Meier 1995, S. 169.  
80 Plinius 2007, 33.97.  
81 Vitruv 1964, 10.4.4.  
82 Domergue 1990, S. 445-450.  
83 Boon/Williams 1966, S. 123; Davies 1936, S. 53.  
84 Boon/Williams 1966, S. 123.  
85 Burnham/Burnham 2004, S. 317.  
86 Davies 1936, S. 55.  
87 Boon/Williams 1966, S. 125.  
88 Davies 1936, S. 55-56 erwähnt rechteckige Nägel mit Abmessungen von 3,2 x 2,1 mm (1/8 x 1/12 inch).  
89 Domergue 1990, S. 447.  
90 Gewünschte Förderhöhe des Wassers (Anm. d. Verf.).  
91 Vitruv 1964, 10.4.3.  
92 Das Folgende nach Boon/Williams 1966, S. 125-127.  
93 Domergue 1990, S. 446.  
94 Boon/Williams 1966, S. 127.  
95 Davies 1936, S. 56.  
96 Domergue 1990, S. 446-447.  
97 Bird 2001, S. 267 und Anm. 3.  
98 Domergue 1990, S. 201-203.  
99 National Museum Cardiff: HRDC 27.8.1978.  
100 Museum für Urgeschichte(n) 29.3.2012.  
101 Domergue 1990, S. 556, Fig.45; Healy 1978, S. 99 Fig. 20. In Abweichung von dieser Aussage war jedoch das in Abb. 12 gezeigte Rad von São Domingos auf seinem Förderniveau im Einzeleinsatz (Domergue 1990, S. 449).  
102 Davies 1936, S. 56.  
103 Domergue 1990, S. 449.  
104 Nicht zu verwechseln mit der oben erwähnten nutzbaren Förderhöhe von ca. ¾ Raddurchmesser.  
105 Google: Wikipedia: Größenordnung Leistung; Messungen des Autors am Hometrainer.  
106 Domergue 1999, S. 58.  
107 Vitruv 1964, 10.4.3.  
108 Boon/Williams 1966, S. 124.  
109 Lewis/Jones 1969, S. 263.  
110 Lewis/Jones 1969, S. 262.  
111 Burnham/Burnham 2004, S. 226, Abb. 4.1, S. 285.  
112 2630±70 BP und 1890±60 BP (Burnham/Burnham 2004, S. 281, 286).  
113 Agatharchides 1966, 5 (S. 20); ähnlich lautet der Bericht des Diodoros 3.13.1.  
114 Burnham/Burnham 2004, S. 236; Bird 2001, S. 269.  
115 Burnham/Burnham 2004, S. 226 Abb. 4.1, 225,-226, 261, 263, 328.  
116 Burnham/Burnham 2004, S. 226, 281-282.  
117 Agricola 1994, 8, Abbildungen.  
118 Burnham/Burnham 2004, S. 227, 281.  
119 Burnham/Burnham 2004, S. 281-282.  
120 Cech 2011, S. 187.  
121 Vgl. Abb. 14; Burnham/Burnham 2004, S. 226.  
122 Siehe dazu: Burnham/Burnham 2004, S. 283 Abb. 4.55; Sanchez 1979, S. 54 Abb. 21; Wahl/Wahl 1993, S. 8 Abb. (Bergwerk Três Minas, PL) sowie Abb. 15 dieses Aufsatzes.  
123 Burnham/Burnham 2004, S. 285.  
124 Burnham/Burnham 2004, S. 286.  
125 Domergue 1990, S. 498.  
126 Burnham/Burnham 2004, S. 286, 328; Lewis/Jones 1969, S. 263.  
127 Wie schon erwähnt, ergaben die C14-Messungen an Material aus den dortigen Aufbereitungsprozessen Jahresdaten von 1890±60 BP. Diese weisen v. a. in die kaiserzeitliche Epoche (Burnham/Burnham 2004, S. 281, 328)  
128 Agatharchides 1966, 5 (S. 20); vgl. Diodoros 3.13.2  
129 Vgl. Cech 2011, S. 151-153.  
130 Burnham/Burnham 2004, S. 286, 288 Fig. 4.56 Nr. 2.  
131 Agatharchides 1966, 5 (S. 21/22).  
132 Burnham/Burnham 2004, S. 284.  
133 Lewis/Jones 1969, S. 255, Fig. 3 u. 7, Tafel 50a.  
134 Burnham/Burnham 2004, S. 225.  
135 Etwa 40 m nördlich des „Motte“ (vgl. Abb.2), Lewis/Jones 1969, Fig. 3.  
136 Bird 2001, S. 270; Burnham/Burnham 2004, S. 284; Lewis/Jones 1969, S. 263.  
137 Nicht zu verwechseln mit dem in Kap. 3 beschriebenen „hushing“.

- 138 Bird 2001, S. 270.  
 139 Plinius, 2007, 33.76; diesem Text voran geht eine Beschreibung des sog. „hushing“ und gibt immer wieder zu kontroversen Diskussionen Anlass (vgl. Kap. 3).  
 140 Plinius 2007, 33.77.  
 141 Burnham/Burnham 2004, S. 284.  
 142 Burnham/Burnham 2004, S. 284.  
 143 Burnham/Burnham 2004, S. 271, 277, 284-285, 328.  
 144 Riederer 1987, S. 79; Sommerlatte 1991, S. 19.  
 145 Agatharchides 1966, 5 (S. 22).  
 146 Sommerlatte 1991, S. 20.  
 147 Sommerlatte 1991, S. 20.  
 148 Kommentar zu Agatharchides 1966: Woelk 1966, S. 123.  
 149 Riederer 1987, S. 78.  
 150 Burnham/Burnham 2004, S. 317.  
 151 Schriftliche Mitteilung CCMA, 30.11.2009 und British Museum: Text zu einem Radmodell aus römischer Zeit (1.-4. Jahrhundert): Inv.-Nr. 1925,0610.9.  
 152 Einsehbar unter „collection database“ mit den Inventarnummern: 1824,K/Bulla.2; 1824,K/Bulla.3; 1824,K/Serpent.2; 1824,K/Armilla.16.  
 153 British Museum: Collection database, Inv. -Nr. 1994,0408.7.  
 154 Persönlich Mitteilung CCMA vom 27.11.2009 u. 30.11.2009  
 155 Gavin H. Evans, CCMA, 16.2.2011; Mary Davis, NMC, 4.2.2011; Dr. H. M. Prichard, Cardiff University, 8.2.2011; Prof. B. Burnham, 22.3.2011.  
 156 Lewis/Jones 1969, S. 270.  
 157 Pernicka et al. 2008, S. 79; Riederer 1987, S. 79-82.  
 158 Röntgenfluoreszenzanalyse, Massenspektrometrie, Auflichtmikroskopie, Rasterelektronenmikroskopie (Pernicka et al. 2008, S. 78).

## Bibliographie

### Quellen:

- AGATHARCHIDES von Knidos:  
 1966 Über das Rote Meer. Übersetzung und Kommentar, vorgelegt von Dieter Woelk, Diss., Bamberg 1966.  
 AGRICOLA, Georg:  
 1994 Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen. München 1994.  
 AVIENUS (Festus Avienus):  
 1934 Ora maritima. Edition annotée, précédée d'une Introduction et accompagnée d'un Commentaire par A. Bérthelot, Paris 1934.  
 DIODOROS:  
 1992/1993 Griechische Weltgeschichte, Buch I-X, übersetzt von Gerhard Wirth und Otto Veh. Eingeleitet u. kommentiert von Thomas Nothers, Stuttgart 1992/1993.  
 C. PLINIUS SECUNDUS d. Ä.:  
 2007 Naturkunde, lateinisch-deutsch, Buch 33: Metallurgie, hrsg. v. R. König mit G. Winkler. 2. Aufl., Düsseldorf 2007.  
 PYTHEAS of Massalia:  
 1994 On the Ocean. Text, Translation and Commentary by Christina Horst Roseman, Chicago 1994.  
 PTOLEMAEUS, Claudius:  
 1966 Geographia. With an Introduction by R. A. Skelton. Ed. Sebastian Münster, Basel 1540; published by Theatrum Orbis Terrarum Ltd., Amsterdam 1966.  
 STRABON:  
 2002 Geographika, Band 1. Prolegomena, Buch I-IV: Text und Übersetzung, hrsg. v. Stefan Radt. Göttingen 2002.  
 TACITUS, P. Cornelius:  
 1988 Das Leben des Iulius Agricola. Lateinisch und deutsch von Rudolf Till, (Schriften und Quellen der Alten Welt, Bd. 8), Berlin 1988.  
 VITRUV:  
 1964 Zehn Bücher über Architektur. Übersetzt und mit Anmerkungen versehen von Curt Fensterbusch, Darmstadt 1964.

### Literatur:

- BIRD, David:  
 2001 Aspects of Roman gold-mining: Dolaucothi, Asturias and Pliny. Archaeology of the Roman empire, a tribute to the life and works of Professor Barri Jones, in: BAR International Series 940, Oxford 2001, S. 265-275.  
 BLICK, C. R. (Hrsg.):  
 1991 Early Metallurgical Sites in Great Britain, BC 2000 to AD 1500, London 1991.

- BOON, George C.; WILLIAMS, Colin:  
 1966 The Dolaucothi Drainage Wheel, in: Journal of Roman Studies 56 (1966), S. 122-127.  
 BRENCHLEY, Patrick J.; RAWSON, Peter F. (Hrsg.):  
 2006 The Geology of England and Wales, 2nd Edition, London 2006.  
 BURNHAM, Barry; BURNHAM, Helen:  
 2004 Dolaucothi-Pumsaint. Survey and excavations at a Roman Gold-Mining complex 1987-1999, Oxford 2004.  
 CECH, Brigitte:  
 2011 Technik in der Antike, 2. Aufl., Darmstadt 2011.  
 CREIGHTON, John:  
 2006 Britannia. The creation of a Roman province. Oxon, New York 2006.  
 DAVIES, Oliver:  
 1935 Roman Mines in Europe, Oxford 1935.  
 1936 Finds at Dolaucothi, in: Archaeologia Cambrensis. The Journal of the Cambrian Archaeological Association 91 (1936), S. 51-57.  
 DOMERGUE, Claude:  
 1990 Les mines de la péninsule Ibérique dans l'antiquité Romaine, Rome 1990.  
 DOMERGUE, Claude; BINET, Christian; BORDES, Jean-Louis:  
 1999 La roue de São Domingos, in: La revue. Musée des arts et métiers 27 (1999), S. 49-59.  
 FAULKNER, Neil:  
 2010 The Decline and Fall of Roman Britain, Stroud 2010.  
 GREWE, Klaus:  
 2010 Meisterwerke antiker Technik, Mainz 2010.  
 HEALY, John F.:  
 1978 Mining and Metallurgy in the Greek and Roman World, London 1978.  
 LEWIS, P. R.; JONES, G. D. B.:  
 1969 The Dolaucothi Gold Mines I: The Surface Evidence, in: The Antiquaries Journal 49 (1969), S. 244-272.  
 MEIER, Stefan W.:  
 1995 Blei in der Antike. Bergbau, Verhüttung, Fernhandel, Diss. Universität Zürich, Zug 1995.  
 1997 Blei-Fernhandel in römischer Zeit (2. Jahrhundert v. Chr. - 4. Jahrhundert n. Chr.), in: Helvetia Archaeologica 28 (1997), Nr. 109, S. 2-14.  
 Museum für Urgeschichte(n), CH-6300 Zug, 29.3.12 (mit Dank an Hr. U. Eberli für die Kalibrierung der C14-Daten gemäss Programm Calib 6.0; nach Reimer, P. et al. 2009: Radiocarbon Calibration Update).  
 National Museum Cardiff, Harwell Radiocarbon Dating Certificate (HRDC), 27.8.1978 (mit Dank an Mr. R. J. Brewer für die Überreichung dieser Unterlagen).  
 Ordnance Survey. Historical map and guide. Roman Britain. South Sheet, 1: 625'000, 5. Aufl., Southampton 2001.  
 PERNICKA, Ernst; BÜHLER, B.; LEUSCH, V.; MEHOFER, M.:  
 2008 Chemische und technologische Untersuchungen an den Goldobjekten vom Arikogel und aus dem Koppental, in: Fundberichte aus Österreich, Materialhefte, Reihe A, Sonderheft 6, Wien 2008, S. 78-81.  
 RIEDERER, Josef:  
 1987 Archäologie und Chemie. Einblicke in die Vergangenheit. Berlin 1987.  
 SANCHEZ-PALENCIA RAMOS, Francisco-Javier:  
 1979 Römischer Goldbergbau im Nordwesten Spaniens. Ein Forschungsbericht, in: Der Anschnitt 31 (1979), H. 2/3, S. 38-61.  
 SOMMERLATTE, Herbert W. A.:  
 1991 Über den Golderzbergbau der alten Ägypter, in: Bergknappe 55 (1991), Nr. 1, S. 12-21.  
 TRUEB, Lucien F.:  
 1992 Gold. Bergbau, Verhüttung, Raffination und Verwendung, Zürich 1992.  
 VEH, Otto:  
 1990 Lexikon der römischen Kaiser - Von Augustus bis Iustinianus I. 27 v. Chr. bis 565 n. Chr., Zürich, München 1990.  
 WAHL, J.; WAHL, R. (Hrsg.):  
 1993 Minas Romanas de Três Minas. Vila Pouca de Aguiar. Património cultural, Zurique (Zürich) 1993.

## Anschrift des Verfassers

Dr. Stefan W. Meier  
 Schlossmattstraße 9  
 CH-8934 Kronau