

# Tüpfelplatten vom Titelberg

Naturwissenschaftliche, archäologische und numismatische Untersuchungen an ausgewählten Funden keltischer Tüpfelplatten, Münzen und Metallrohlingen vom Titelberg, Gemeinde Differdange, Grossherzogtum Luxemburg

Yvonne Gerber, Andreas Burkhardt und Guido Helmig

## Schlüsselwörter

Luxemburg, Titelberg, Oppidum, keltische Münzen, Herstellung von Tüpfelplatten, Münzproduktion, Schrötling, Edelmetalle, Gold, Silber, Buntmetalllegierungen, Archäometallurgie, Keramikanalysen, Metallanalysen, energiedispersive Röntgenfluoreszenzspektrometrie (ED-XFA).

## mots clef

Luxembourg, Titelberg, oppidum, monnaies gauloises, technique de la fabrication de moules à alvéoles, production de monnaies, flan, métal précieux, or, argent, alliage de cuivre, archéoméallurgie, analyse de la ceramique, analyse métallurgique, analyse par fluorescence X-raie.

## key-words

Luxemburg, Titelberg, oppidum, celtic coins, production of coin moulds, coin production, blanks, flans, precious metals, gold, silver, copper alloys, archaeometallurgy, ceramic analysis, metal analysis, X-ray fluorescence analysis (ED-XRF).

## Inhalt

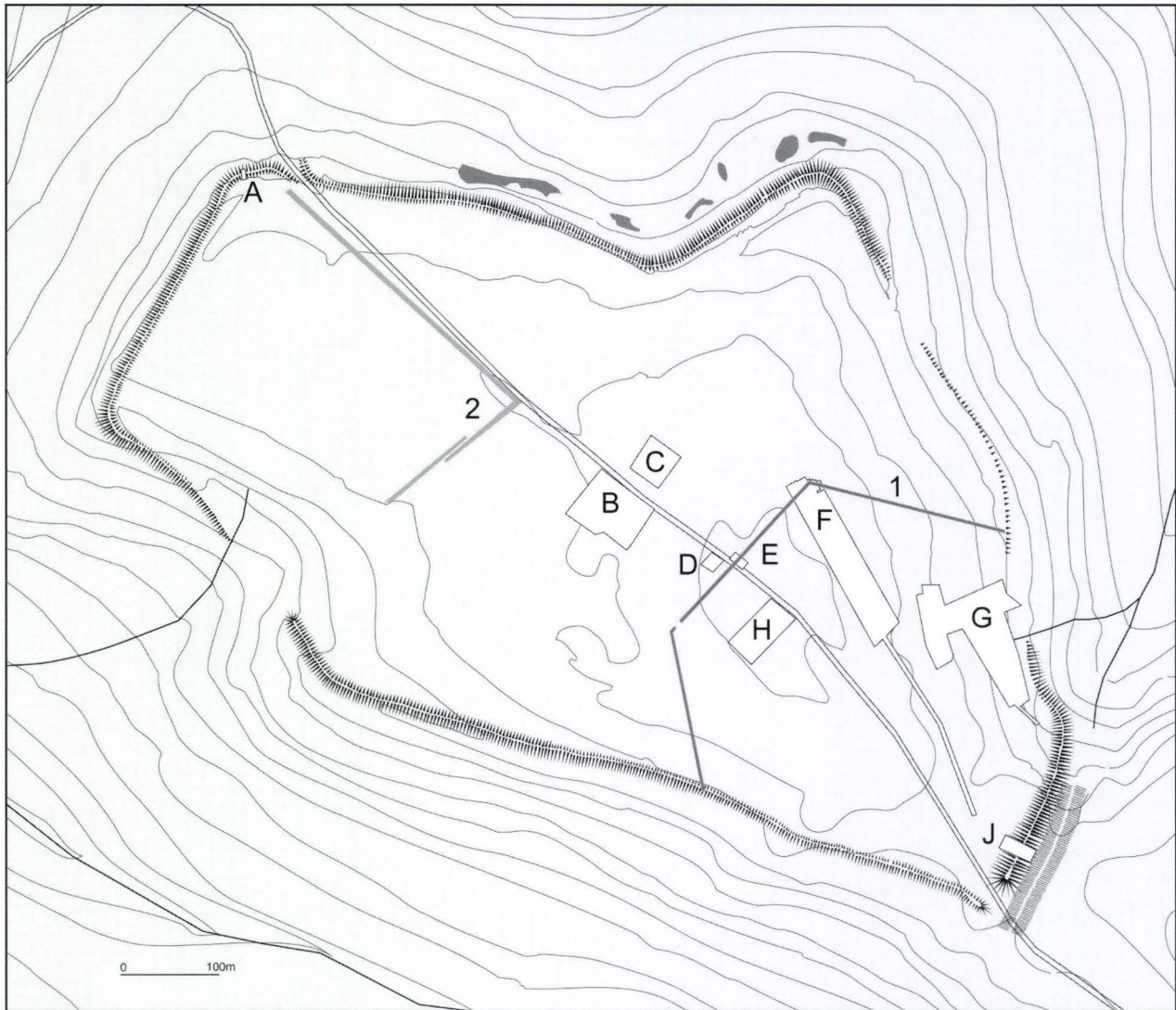
<b>113</b>	<b>I. Einführung</b> (Guido Helmig)
<b>116</b>	<b>II. Die Tüpfelplatten</b> (Yvonne Gerber)
116	Zusammenfassung
116	1. Einführung
118	1.1 Zur Herstellung von Münzschrötlingen in Tüpfelplatten
119	2. Analysen mit energiedispersiver Röntgenfluoreszenzspektrometrie (ED-XFA)
119	2.1 Probenentnahme
120	2.2 Auswertung
121	2.3 Elektronenmikroskopische Untersuchung
121	2.4 Vergleiche mit den Resultaten ähnlicher Untersuchungen mit ED-XFA
122	2.5 Schlussfolgerungen in Bezug auf die Tüpfelplatten vom Titelberg
<b>124</b>	<b>III. Chemische Analysen und numismatische Untersuchungen von spätkeltischen und früh-augusteischen Münzen und einiger Metallrohlinge</b> (Andreas Burkhardt)
124	1. Einleitung
124	2. Analysen
124	2.1 Die Edelmetallmünzen
125	2.2 Die Buntmetallmünzen
126	3. Schlussfolgerungen
127	Literatur
129	Anmerkungen
134	Katalog der untersuchten keltischen Tüpfelplattenfragmente vom Titelberg
138	Tabellen 1–2
142	Grafiken 1–9

## I. Einführung

(Guido Helmig)

Im Rahmen des in den 90er Jahren gross angelegten Projektes zur Untersuchung der keltischen Münzen aus Basel<sup>1</sup> wurde nicht nur nach der chronologischen und typologischen Differenzierbarkeit dieser Fundgattung aufgrund ihrer optischen und physischen Beschaffenheit geforscht, sondern es wurde auch der Frage nachgegangen, mit welchen Münztechniken die Kelten ihr Geld überhaupt hergestellt hatten<sup>2</sup>. Im Fundmaterial aus den beiden spätlatènezeitlichen Siedlungen Basel-Gasfabrik und Basel-Münsterhügel überwiegen – wie bei andern zeitgenössischen Siedlungen – die Funde gegossener Potin-Münzen bei weitem diejenigen der geprägten Buntmetall- und wenigen Edelmetallmünzen. Spuren einer lokalen Münzproduktion, Werkzeuge, Münzrohlinge, Gusszapfen<sup>3</sup> oder dergleichen, sind bisher jedoch an keinem der Basler Fundplätze zum Vorschein gekommen – auch keine Fragmente sogenannter Tüpfelplatten<sup>4</sup>. Letztere sind von der Forschung früh mit der Produktion von Münzen in Zusammenhang gebracht worden, und zwar sowohl mit gegossenen Potin- als auch mit geprägten Buntmetall- und Edelmetallmünzen.

Bei den Untersuchungen der Fundgattung Tüpfelplatten, die im folgenden Aufsatz dargelegt werden, standen allerdings nicht die Techniken der Giessverfahren von Potinmünzen im Vordergrund<sup>5</sup>. Denn Tüpfelplatten fanden, auch wenn dies zuweilen in der Fachliteratur behauptet wird, für die Produktion von Potinmünzen keine Verwendung! Vielmehr drehten sich dabei die Fragen um die Herstellung von Metallrohlingen als Grundlage für zu prägende Münzen. Bei der Prägung von Edel- und Buntmetallmünzen hatten die Kelten offensichtlich die damals im Mittelmeerraum gebräuchlichen Techniken angewandt. Ober- und Unterstempel oder sogenannte Matrizen –



**Abb. 1** Plan des Oppidums auf dem Titelberg: A–J archäologisch untersuchte Flächen; 1 Umfassungsgraben des öffentlichen Bezirks; 2 Graben des frühromischen Lagers. – Zeichnung: Jeannot Metzler, Musée National d'Histoire et d'Art, Luxemburg. – Massstab ca. 1: 7500.

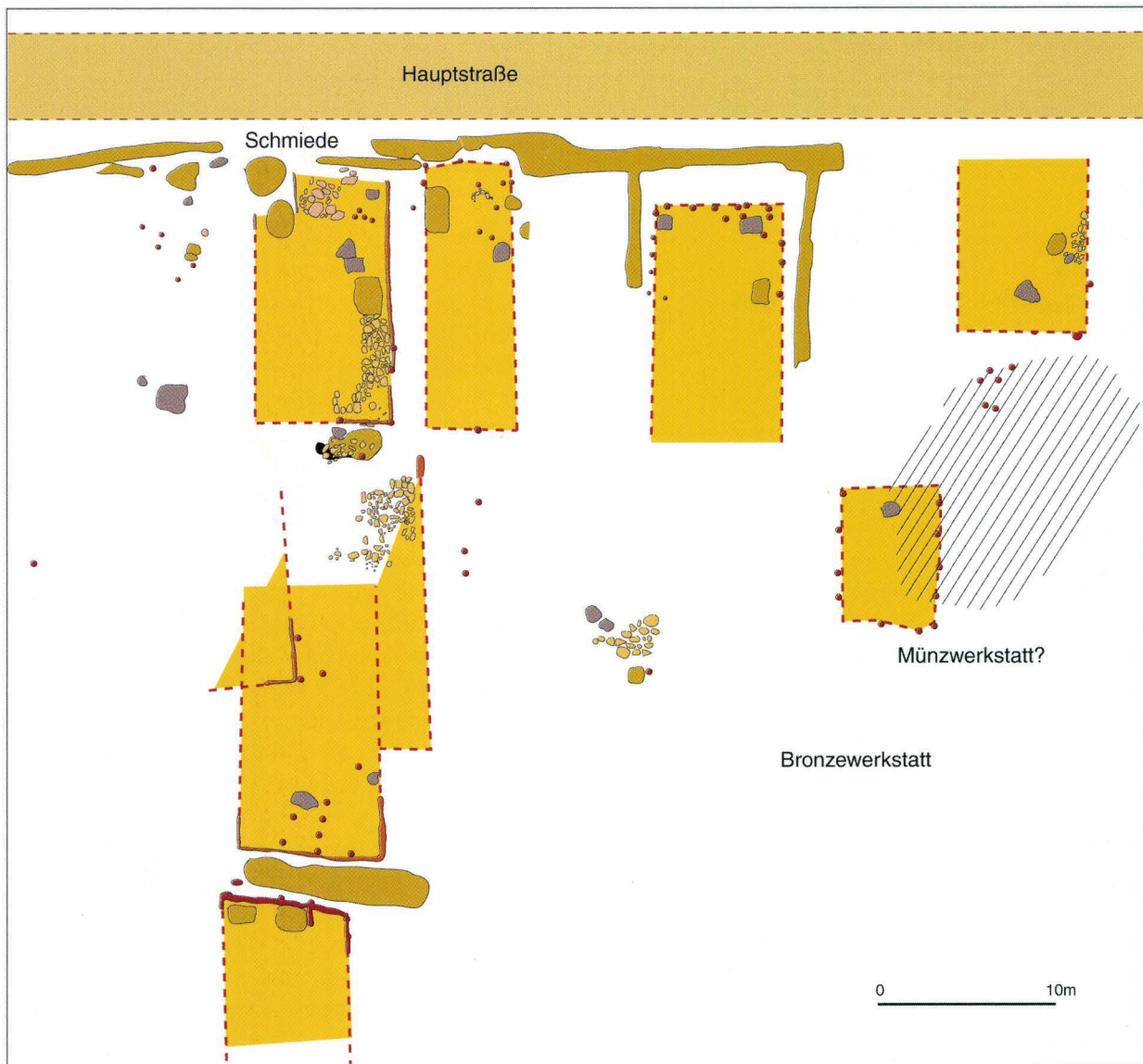
nur äusserst selten gefundene Primärwerkzeuge – sowie Hammer und Amboss waren die hierfür hauptsächlich verwendeten Gerätschaften. Bevor es aber überhaupt zum Vorgang der Münzprägung kommen konnte, war eine Vielzahl von vorbereitenden Arbeitsgängen notwendig. Die Münzstempel mussten geschmiedet und mit Stichel­n die Münzbilder in Ober- und Unterstempel graviert werden. Vor allem aber mussten zuerst die Rohlinge oder Schrötlinge mit dem gewünschten Feingehalt oder der entsprechenden Legierung und in der gewünschten Grösse und Form in Serien hergestellt und zur Prägung vorbereitet werden.

Dazu wurden sie entweder von zuvor gegossenen Stangen in Normstücken («al marco») abgetrennt, als Blechscheiben ausgestanzt oder mit anderen Methoden – meist im Schmelzverfahren («al pezzo») – hergestellt.

Wie aber waren für die Edelmetall-Prägungen die Rohlinge mit ihrem einheitlichen Gewicht und Feingehalt hergestellt und zur Prägung vorbereitet worden? Schon immer galten die in manchen Oppida gefundenen sogenannten Tüpfelplatten –

aus Ton hergestellte und wenige Zentimeter dicke, durch Eindringen von runden oder leicht konischen stumpfen Werkzeugen mit Eintiefungen versehene Platten – als Hilfsmittel zur Herstellung von Rohlingen. Die Frage stellte sich dabei allerdings, ob und mit welchen Techniken in den erwähnten Vertiefungen gediegenes Metall oder Legierungen zur Herstellung von Rohlingen geschmolzen werden konnten. Auch sollte untersucht werden, inwiefern verlässliche Hinweise dafür beigebracht werden können, dass in den Tüpfelplatten ausschliesslich Edelmetall – Gold und Silber oder mit anderen Metallen legierte Rohlinge – geschmolzen wurde, oder auch Buntmetall-Legierungen<sup>6</sup>.

Solche Fundobjekte konnten bisher noch nicht oft archäometrisch untersucht werden. Ein Glücksfall bildet darum das Fundensemble vom Oppidum auf dem Titelberg in Luxemburg (Abb. 1). Dort sind anlässlich der Grabungen einer Equipe amerikanischer Archäologen der Universität Missouri in den 70er Jahren des 20. Jh. gegen 800 Fragmente von Tüpfelplatten zum Vorschein gekommen<sup>7</sup>. Die meisten dieser Platten waren



**Abb. 2** Planskizze der spätlatènezeitlichen Siedlungsstrukturen in der Ausgrabungsfläche B. Schraffiert: Fundverteilung der Bruchstücke der Tüpfelplatten. – Zeichnung: Jeannot Metzler, Musée National d'Histoire et d'Art, Luxemburg. – Massstab ca. 1: 400.

stark zertrümmert und bestanden nur mehr aus kleinteiligen Fragmenten. Die kleinen Bruchstücke wiesen meist nur wenige und zudem randlich ausgebrochene Vertiefungen auf; die Vertiefungen besaßen unterschiedliche Durchmesser. Sie entstammten aber nicht etwa einer einzigen, nur solche Fragmente enthaltenden «geschlossenen» Fundschicht, die hier abgelagert worden wäre, sondern kamen vermischt mit augusteischen Funden in stark umgelagertem Erdreich zum Vorschein<sup>8</sup>. Dennoch fiel die Konzentration der Bruchstücke in einer Zone inmitten des Oppidums auf (Abb. 2). Aber auch in andern Zonen der Siedlungsfläche sind vereinzelte Fragmente zum Vorschein gekommen.

Dank dem Interesse des für die archäologische Abteilung zuständigen Konservators des Musée National d'Histoire et d'Art in Luxemburg, Dr. Jeannot Metzler, der offen ist für jegliche Form weiterführender interdisziplinärer Untersuchungen an

archäologischem Fundmaterial, konnten 75 der heute in Bezug auf den genauen Fundort nicht mehr exakt lokalisierbaren Tüpfelplatten-Fragmente nach Basel gebracht und im Geochemischen Labor von Prof. Willem B. Stern des Mineralogisch-Petrographischen Instituts (MPI) der Universität Basel untersucht werden. Allen Beteiligten, die dieses Projekt ermöglichten und gefördert haben sowie den Bearbeitern sei an dieser Stelle ganz herzlich gedankt<sup>9</sup>.

In einer zweiten Phase des Projektes wurde auch erwogen, nicht nur die Tüpfelplatten mit der zerstörungsfreien energiedispersiven Röntgenspektrometrie (insbesondere auf Edelmetallspuren hin) zu analysieren, sondern auch die selteneren Funde von gegossenen Metallrohlingen sowie eine Anzahl sicher auf dem Titelberg hergestellter Münzen mit derselben Methode auf die Komponenten ihrer Legierungen hin zu untersuchen. Hierzu stellte das Münzkabinett des Musée Natio-

nal d'Histoire et d'Art, vertreten durch den damaligen Leiter Raymond Weiller, bereitwillig eine Serie typischer Titelberg-Prägungen zur Verfügung.

Durch die vorliegende interdisziplinäre Studie werden der Forschung weiterführende Ergebnisse zur Verfügung gestellt. Nicht zuletzt sollten die Resultate auch die Beobachtungen der bayerischen Forschergruppe um Rupert Gebhard, die diese zusammen mit der Technischen Universität in München bei Versuchen des Schmelzens von Metallen in Tüpfelplatten gewinnen konnte, ergänzen<sup>10</sup>.

## II. Die Tüpfelplatten

(Yvonne Gerber)

### Zusammenfassung

Im keltischen Oppidum auf dem Titelberg im Grossherzogtum Luxemburg wurden ca. 800 Tüpfelplattenfragmente gefunden. Die für die vorliegende Untersuchung zur Verfügung stehenden 75 Tüpfelplattenfragmente stammen aus dem Grabungsabschnitt (Feld B) der Ausgrabungen der Columbia University, Missouri, USA, die unter der Leitung von Ralph M. Rowlett 1972–1978 durchgeführt wurden.

Die hier untersuchten Tüpfelplatten vom Titelberg sind rechteckig. Zu ihrer Herstellung wurde der geschlämmte und gemagerte Ton möglicherweise in einem rechteckigen Holzrahmen ausgestrichen. Die Vertiefungen wurden mit einem runden Formholz in die noch feuchte Tonmasse eingedrückt. Sie haben in Bezug auf den Durchmesser des Bodenbereichs die gleiche Grösse. Dieser Durchmesser beträgt 13 auf 15 mm. Die Vertiefungen verjüngen sich nach unten hin leicht. Wand und Boden der Vertiefungen bilden einen fast rechten Winkel. Der Boden ist flach. Die Vertiefungen können zwischen 6 und 13 mm messen.

Ein Charakteristikum der Tüpfelplatten sind die verglasten Oberflächen der Stege zwischen den Vertiefungen. Bei vielen Tüpfelplatten von anderen Fundstellen konnten gerade auf den Zwischenstegen oder im oberen Bereich der Vertiefungen kleine Edelmetallkügelchen, sog. Reguli, beobachtet werden. Die verglasten Oberflächen lassen auf eine Temperatureinwirkung von über 1000 °C schliessen, während die Plattenunterseiten einer Temperatur von nicht mehr als 400–800 °C ausgesetzt waren. Für das Verfahren des Aufschmelzens von Metallen mit Hilfe von Tüpfelplatten stehen zwei Varianten zur Diskussion. Nach Tylecote sind die Tüpfelplatten in der glühenden Asche des Feuers erhitzt worden. Dann wurden die Vertiefungen mit einer genau abgewogenen Menge kleiner Metallstückchen gefüllt und mit glühender Holzkohle bedeckt. Die Holzkohle wurde mit einem Blasebalg angefacht, um die für das Schmelzen des Edelmetalls nötige Hitze (ca. 1000–1100 °C) zu erzeugen. Gebhard hingegen postuliert eine Art Ofen, der aus einer kleinen rechteckigen Kammer besteht, die gerade gross genug ist, um Tüpfelplatten aufzunehmen. Die Kammer ist oben geschlossen und zwischen zwei Blasebälgen. Damit

wurde in diesem einfachen Ofen die hohe Temperatur für das Aufschmelzen von Edelmetall auf der Oberseite der Tüpfelplatten für kurze Zeit erreicht.

Die Verwendung der in den Tüpfelplattenvertiefungen aufgeschmolzenen Legierungen in einer Metallwerkstatt kann vielfältig sein. Der Durchmesser und das Füllvolumen der Vertiefungen lassen auch eine Verwendung bei der Herstellung von Münzrohlingen vermuten.

Bei den 75 untersuchten Tüpfelplattenfragmenten vom Titelberg wurde nur in drei Fällen ein Metallregulus beobachtet. Die glasflussartigen Stege wiesen jedoch auf den gleichen Verwendungszweck wie bei den anderen Tüpfelplatten hin. Durch eine systematische Beprobung und Analyse der Böden der Vertiefungen mittels energiedispersiver Röntgenfluoreszenzspektrometrie (ED-XFA) sollte die Verwendung genauer abgeklärt werden. Bei der Probenentnahme liess sich nicht vermeiden, dass auch Keramikmaterial in die Probe gelangte. Die Analysendaten zeigen denn auch hohe silikatische Werte. Elemente wie Silber, Gold, Kupfer, Zinn, Antimon und Blei, die im Spurenbereich nachgewiesen werden konnten, geben uns Aufschluss über den ehemaligen Inhalt der Vertiefungen. Die Silberanteile sind immer beträchtlich höher als die Goldanteile. Die ermittelte Legierung entspricht durchschnittlich Ag<sub>60</sub>Au<sub>20</sub>Cu<sub>20</sub> (Gew.-Anteil). Bei den gemessenen Metallgehalten handelt es sich wohl um Komponenten der Legierung, die beim Aufschmelzen in die Keramikform diffundierten. Insgesamt passt die Zusammensetzung der festgestellten Metalle nicht zu jener von keltischen Edelmetallmünzen. Das in die Keramik diffundierte Metall muss aber nicht unbedingt der genauen Zusammensetzung der Schmelzlegierung entsprechen. Das Verhalten der Elemente bei ihrer Diffusion in die Keramik ist im Einzelnen nicht bekannt. Einige Metalle könnten durchaus bevorzugt in die Keramikböden diffundieren. Die Analysendaten der Proben aus den Keramikböden geben zwar in der Tendenz die Zusammensetzung der aufgeschmolzenen Legierungen an, die ermittelten Anteile müssen aber nicht zwingend der ursprünglichen Zusammensetzung des Füllgutes entsprechen. Die Resultate legen immerhin nahe, dass die Titelberger Tüpfelplatten zur Verarbeitung von Edelmetalllegierungen dienten.

### 1. Einführung

In einigen grösseren keltischen Oppida wurden zahlreiche Tüpfelplattenfragmente gefunden<sup>11</sup>. Die Tüpfelplatten sind aus Keramik. Es ist jedoch nicht zu entscheiden, ob sie vor ihrer Verwendung oder erst durch den Gebrauch gebrannt worden sind. Bei einigen Exemplaren wurde der Ton mit Strohhäckseln gemagert. Sicher trifft dies für diejenigen vom Titelberg zu, denn Negative von organischem Material sind noch sichtbar (Abb. 3).

*Tüpfelplatten im Allgemeinen:* Tüpfelplatten sind meist rechteckig<sup>12</sup>. Charakteristisch sind die regelmässig angebrachten Vertiefungen, welche in Bezug auf den Durchmesser des



**Abb. 3** Tüpfelplattenfragment vom Titelberg, Kat.-Nr. 286-82. Negative von organischem Material (Strohhäcksel) sind im Boden der Tüpfelplattenvertiefung sichtbar. Der Boden zeigt keine Spuren von Verglasung.

Öffnungsbereichs bei einer Tüpfelplatte immer die gleiche Grösse haben. Die Vertiefungen können sich nach unten hin etwas verjüngen, so dass der Durchmesser im Bodenbereich der Vertiefung von demjenigen im Randbereich um 1–2 mm abweicht, und sie haben nicht auf allen Tüpfelplatten einheitlich einen gleich grossen Durchmesser (im Öffnungs- bzw. Bodenbereich). Der Durchmesser kann im Öffnungsbereich zwischen 10–20 mm betragen. Auch der Querschnitt der Vertiefungen ist nicht einheitlich, es sind kreisrunde, ovale, quadratische und rechteckige Querschnitte belegt<sup>13</sup>.

*Tüpfelplatten vom Titelberg:* Die Tüpfelplatten vom Titelberg, die uns für die Untersuchung zur Verfügung standen, stammen aus dem Grabungsabschnitt (Feld B) der Columbia University (Missouri, USA). Die amerikanischen Ausgrabungen hatten 1972–1978 unter der Leitung von Ralph M. Rowlett stattgefunden<sup>14</sup>. Die zur Untersuchung vorliegenden Plattenstücke sind stark fragmentiert und weisen durchschnittlich nur 1–4

**Abb. 4** Tüpfelplattenfragment vom Titelberg, Kat.-Nr. 334-73. Verglaste Oberfläche auf den Zwischenstegen der Tüpfelplatte.



**Abb. 5** Tüpfelplattenfragment vom Titelberg, Eckstück, Kat.-Nr. 425-76.

kaum ganz erhaltene Vertiefungen auf (Abb. 4). Die beobachteten Rand- und Eckstücke lassen den Schluss zu, dass die Tüpfelplatten rechteckig waren (Abb. 5 und 6)<sup>15</sup>.

Die Innenwände der Vertiefungen verjüngen sich nach unten hin leicht, der Boden ist eben. Die Gestalt der Vertiefung kann als Kegelstumpf beschrieben werden. Die Tiefe kann zwischen 6 und 13 mm variieren, da der Randbereich der Vertiefungen oft unsorgfältig gestaltet ist. Der beobachtete Querschnitt der Vertiefungen scheint leicht oval zu sein. Wird der Durchmesser nur bei den angeschnittenen Vertiefungen genommen (die Durchmesser sind immer im Bodenbereich, nie im Öffnungsbereich gemessen), ist man versucht, aufgrund der unterschiedlichen Durchmesser – 13 mm und 15 mm – auf zwei Tüpfelplattenmodelle zu schliessen. Wird hingegen der Durchmesser an einer vollständig erhaltenen Vertiefung mehrmals genommen, so zeigt sich ein leicht ovaler Querschnitt mit den Massen 13 mal 15 mm<sup>16</sup>.

**Abb. 6** Tüpfelplattenfragment vom Titelberg, Randstück, Kat.-Nr. 323-82.



*Tüpfelplatten im Allgemeinen:* Tournaire glaubt, dass der geschlammte und gemagerte Ton<sup>17</sup> für solche Platten in einem rechteckigen Holzrahmen ausgestrichen wurde und die Vertiefungen durch das Eindrücken einer Art Model in die noch feuchte Tonmasse entstanden. Die Vertiefungen in den Platten konnten so in einem einzigen Arbeitsgang geschaffen werden. Durch das Eindrücken eines Models blieb oberhalb der Zwischenstege viel überflüssige Tonmasse stehen, die von Hand entfernt werden musste<sup>18</sup>. Mit dem Gebrauch eines Models wäre auch eine einheitliche Grösse der Vertiefungen gewährleistet. Tylecote<sup>19</sup> und andere hingegen vermuten, dass die Vertiefungen einzeln und nacheinander mit einem runden oder leicht quadratischen Stab bzw. Stempel mit entsprechendem Durchmesser eingedrückt wurden. Sicher hätte die Verwendung eines Models eine rationellere Herstellung solcher Tüpfelplatten erlaubt<sup>20</sup>.

*Tüpfelplatten vom Titelberg:* Die Vertiefungen der Titelberger Tüpfelplatten haben die Gestalt eines auf dem Kopf stehenden Kegelstumpfs, d.h. sie verjüngen sich leicht nach unten hin. Wand und Boden der Vertiefungen bilden zueinander einen fast rechten Winkel; der Boden ist weitgehend eben (Abb. 7). Der flache Boden weist auf die Herstellung mit einem Stempel oder einem Model hin und entspricht nicht einem Fingerkuppeneindruck.

*Tüpfelplatten im Allgemeinen:* Ein Charakteristikum aller Platten besteht in der blasigen bzw. glasflussartigen Oberfläche der Stege zwischen den Vertiefungen. Bei vielen Tüpfelplatten von verschiedenen Fundorten konnten auf den Stegen oder im oberen Bereich der Vertiefungen kleine Edelmetallkugeln – sog. Reguli – aus Gold oder Silber beobachtet werden<sup>21</sup>. Bis anhin herrschte die Meinung vor, dass solche Tüpfelplatten zur Herstellung von Münzschrötlingen aus Edelmetall dienten<sup>22</sup>. Die Diskussion um das Verfahren der Herstellung von Münzrohlingen in Tüpfelplatten ist noch nicht abgeschlossen.

**Abb. 7** Tüpfelplattenfragment vom Titelberg, Kat.-Nr. 1206-77. Die Vertiefung verjüngt sich leicht nach unten hin, Wand und Boden bilden zueinander einen fast rechten Winkel, der Boden ist weitgehend eben. Die Oberfläche auf den Zwischenstegen ist verglast.



*Tüpfelplatten vom Titelberg:* Auch die Tüpfelplatten vom Titelberg zeigen die typische verglaste Oberfläche auf den Zwischenstegen (Abb. 4 und 7). Von 75 untersuchten Tüpfelplattenfragmenten konnte nur in drei Fällen je ein Metallregulus mit dem Binokular erkannt werden<sup>23</sup>. Bei allen andern Fragmenten wurden weder auf der verglasten Oberfläche noch in den Vertiefungen Reguli beobachtet. Die verglasten Zwischenstege wiesen jedoch auf den gleichen Verwendungszweck wie bei anderen Tüpfelplatten, z.B. jenen von Manching, hin. Unklar blieb vorerst, welche Legierungen in den Vertiefungen aufgeschmolzen worden waren. Zudem musste der Frage nachgegangen werden, ob in den vorliegenden Fragmenten Schrötlinge für Gold- oder Silbermünzen produziert worden waren. Dies sollte eine systematische Beprobung und Analyse der Böden der Vertiefungen mittels energiedispersiver Röntgenfluoreszenzspektrometrie (ED-XFA, Methode: Crimnaltape) zeigen.

## 1.1 Zur Herstellung von Münzschrötlingen in Tüpfelplatten

### 1.1.1 Beobachtungen

Bei allen Tüpfelplatten ist ersichtlich, dass ihre Unterseite einer niedrigeren Temperatur ausgesetzt war als die Oberseite. Für den Kern und die Unterseite der Tüpfelplatte wird nach den neusten Untersuchungen das Einwirken einer Temperatur von 400–800 °C angenommen<sup>24</sup>. Die verglaste Oberfläche hingegen zeigt deutlich, dass hier Temperaturen von über 1000 °C wirksam waren, wie sie für ein Aufschmelzen von Edelmetallen erforderlich sind<sup>25</sup>.

Wegen der unterschiedlichen Temperatureinwirkung auf die Unter- und Oberseite derselben Tüpfelplatte kann ausgeschlossen werden, dass man die Platte in einem geschlossenen Ofen erhitze, in dem eine einheitliche Temperatur von über 1000 °C herrschte. Die verglaste Oberfläche der Zwischenstege weist auf hohe Temperaturen hin. Wäre das Münzmetall in einem Tiegel geschmolzen und dann in die Vertiefungen der Platte gegossen worden, hätte sich wohl keine solch glasige Oberfläche gebildet. Zudem müssten wir zeigen, wie ein Giesser stets gleich grosse Metallportionen in die Vertiefungen hätte einfüllen können, denn die Münzschrötlinge sollten stets das gleiche Gewicht haben<sup>26</sup>. Ein weiteres Problem bestünde darin, die flüssige Metallmasse während des Eingießens immer gleichbleibend gussfähig zu halten. Der Giesser müsste dazu sehr schnell arbeiten.

### 1.1.2 Technik

Im Bericht über die Tüpfelplatten von Karlstein, Kr. Berchtesgaden (D), wird erwähnt, dass «viele vom Feuer ausgeglühte Bruchstücke von Tüpfelplatten» in einer Feuerstelle lagen<sup>27</sup>. Diese Beobachtung erleichtert die Rekonstruktion der Verwendung von Tüpfelplatten. Die Ausführungen von Tylecote beschreiben eine mögliche Technik. Durch die Untersuchungen von Gebhard<sup>28</sup> ist im Zusammenhang mit der Tüpfelplattentechnologie der Einsatz eines kleinen Ofens mit zwei Blasebäl-

gen in die Diskussion gekommen. Es kann durchaus sein, dass beim Schmelzen von Edelmetall in Tüpfelplatten je nach Werkstatt unterschiedliche Verfahren angewendet wurden.

Castelin hat angenommen, dass eine immer gleiche, genau abgewogene Menge Gold in die Vertiefungen einer Platte eingefüllt wurde und diejenige Vertiefung, die gerade in Bearbeitung war, mit glühender Holzkohle zugedeckt wurde und durch den Einsatz eines Blasrohrs die nötige Temperatur entstand. «Unter beständigem Blasen mittels des Rohres lenkt der geübte Goldschmied von der brennenden Holzkohle eine scharfe Flammenspitze auf die kleine Metallmenge, die geschmolzen werden soll, und erhitzt sie dadurch in kurzer Zeit bis auf den Schmelzpunkt ... Nach dem Niederschmelzen des Goldes (oder Silbers) in der ersten Vertiefung ging der Münzarbeiter zur zweiten Vertiefung über, sodann zur dritten usw.»<sup>29</sup>

Die Einfüllung in die Vertiefungen bestand wahrscheinlich aus Edelmetallgranulaten bzw. kleinen Kügelchen<sup>30</sup>. Obwohl es aufwändig scheint, Gold- oder Silberkörner herzustellen, die dann sofort wieder eingeschmolzen werden, zeigen praktische Erfahrungen, dass eine Edelmetallfüllung in Granulatform, der glühende Holzkohle zugegeben wird, gerade wegen der runden Form der Partikel mit einer gezielten Flammzunge schnell aufgeschmolzen werden kann. Die separate Bearbeitung jeder einzelnen Vertiefung mutet jedoch sehr zeitaufwändig und unspeditiv an. Es müssen auch andere, rationellere Arbeitstechniken in Betracht gezogen werden.

Tylecote schlägt folgendes Vorgehen vor, das er selbst mit seinem Team in Experimenten nachvollzogen hat: Die Tüpfelplatten wurden in der noch glühenden Asche des Feuers erhitzt. Die Vertiefungen waren gleichmässig mit kleinen Metallstückchen gefüllt. Möglicherweise hatte man auch die Vertiefungen vor dem Einfüllen des Metalls mit Holzkohle ausgekleidet oder den Ton der Tüpfelplatte mit Holzkohle gemagert. Angeblich konnte man gelegentlich bei der Bergung in einigen Vertiefungen von manchen Tüpfelplatten noch Reste von Holzkohle beobachten (allerdings nicht bei jenen vom Titelberg)<sup>31</sup>. Die Platten wurden nun mit glühender Holzkohle zugedeckt und die Holzkohle mit dem Blasebalg angefacht, um die für das Schmelzen des Edelmetalls nötige Hitze zu erzeugen und beizubehalten.

Gebhard postuliert zum Schmelzen eine Art Ofen, der aus einer kleinen rechteckigen Kammer von nicht mehr als 22–25 cm Breite besteht. Die Kammer, gross genug, um Tüpfelplatten mit den Massen von 14 mal 14 oder 17 mal 17 cm aufzunehmen, befindet sich zwischen zwei Blasebälgen und ist wohl gegen oben hin mit einer Platte zugedeckt, damit während des Schmelzvorgangs reduzierende Bedingungen herrschen. In solchen Kammern, die mit glühender Holzkohle beheizt werden, können mit Hilfe von Blasebälgen mühelos Temperaturen von mehr als 1000 °C entstehen. Diese Ofenrekonstruktion beruht auf Funden von Ofenfragmenten sowie von Tondüsen, die bei der Untersuchung mit Röntgenfluoreszenzspektrometrie in den verglasten Zonen Metalleinschlüsse von Gold- und Silberlegierungen aufwiesen, welche den in den Tüpfelplattenfragmenten festgestellten Legierungen entsprachen<sup>32</sup>. Un-

tersuchungen mit Mössbauer-Spektroskopie weisen darauf hin, dass in solchen einfachen Öfen die hohe Temperatur für das Aufschmelzen des Edelmetalls nur für eine kurze Zeit und nur auf der Oberseite der Tüpfelplatten erreicht wurde, sonst wäre die Verglasung auch im Kern und auf der Plattenunterseite vorhanden<sup>33</sup>.

Die Münzschrotlinge sind erst in relativ kühlem Zustand zu Münzen geprägt worden. Wenn die Rohlinge nach dem Erkalten in den Vertiefungen festsassen, hat man die Tüpfelplatten zerschlagen, um sie aus der Form zu lösen<sup>34</sup>.

Rekonstruktion des möglichen Arbeitsablaufs:

- 1 Zubereitung des Tones für die Tüpfelplatten.
- 2 Formen einer Platte.
- 3 Anbringen von regelmässigen Vertiefungen mittels Finger, Stempel oder Model.
- 4 Trocknen der Tüpfelplatte, vielleicht schwaches Brennen.
- 5 Einfüllen von Gold oder Silber (Waschgold, Goldfitter, Gold- und/oder Silberstückchen bzw. feiner rezyklierter Edelmetallschrott) in jeweils abgewogenen Mengen in die einzelnen Vertiefungen.
- 6 Beschichten der Tüpfelplatte mit glühender Holzkohle, Erhitzen der Oberseite unter Zuhilfenahme eines Blasebalgs. Oder: Erhitzen der Tüpfelplatte mit Holzkohle in einer kleinen Ofenkammer zwischen zwei Blasebälgen.
- 7 Wegräumen der Holzkohle und Abkühlen der Platte mit den Rohlingen in den Vertiefungen.
- 8 Lösen der Rohlinge aus der Form.
- 9 Abreicherung von Kupfer aus der Legierung (Anreicherung der edlen Metalle Gold und Silber)<sup>35</sup>.
- 10 Prägen der Rohlinge.

## 2. Analysen mit energiedispersiver Röntgenfluoreszenzspektrometrie (ED-XFA)

### 2.1 Probenentnahme

Im Gegensatz zu den Tüpfelplatten von Manching (D) und vielen anderen Fundorten sind bei den Tüpfelplatten vom Titelberg kaum Reguli beobachtet worden<sup>36</sup>. Die verglasten Zwischenstege konnten aber auch bei den vorliegenden Fragmenten regelmässig beobachtet werden. Durch die Beprobung der Vertiefungen und deren Analyse mit energiedispersiver Röntgenfluoreszenzspektrometrie (ED-XFA) sollte die Verarbeitung von Edelmetall in den Tüpfelplatten geprüft werden. Zur Untersuchung wurde von den Böden der Vertiefungen mit dem Skalpell eine kleine Probenmenge (zwischen 2,5–9,5 mg) abgeschabt und gleichmässig auf ein Criminaltape aufgetragen (runde Fläche von 1,5 cm<sup>2</sup>)<sup>37</sup>. Die beprobten Tüpfelplatten waren nicht gereinigt, das heisst, auf den Böden der Vertiefungen lag eine dünne Schmutzschicht. Darunter befand sich das keramische Material. Es wies keine Anzeichen von Verglasung oder Versinterung oder eines andersartigen Überzugs auf (Abb. 3). Jede Probe bestand aus einem kleinen Anteil der

Schmutzschicht und der von der Bodenoberfläche abgeschabten Keramikmasse.

Das angewandte Verfahren mit dem Criminaltape, das Analysegerät und die Funktionsweise der Software wurden bereits an anderer Stelle ausführlich beschrieben<sup>38</sup>. Die Untersuchungen fanden im Geochemischen Labor des Mineralogisch-Petrographischen Instituts der Universität Basel unter der Leitung von Prof. Willem B. Stern statt<sup>39</sup>.

Die chemischen Haupt- und Nebenkomponenten (Tabelle 1) sind in Gewichts-Prozenten angegeben und entweder auf 1 Gew.-% oder 0,1 Gew.-% gerundet, Spurenelemente wie Kupfer, Zink, Rubidium, Silber, Zinn, Antimon, Gold und Blei sind auf 0,01 Gew.-% gerundet. Die ausgewiesenen prozentualen Werte sind wegen fehlender einheitlicher Probenkonditionierung und auch wegen der durch die Software beschränkten Anzahl der aufrechenbaren Elemente grundsätzlich als semi-quantitativ aufzufassen.

Diese im Geochemischen Labor der Universität Basel entwickelte Methode hat den Vorteil, dass die semi-quantitativen Analysenwerte zumindest untereinander verglichen werden können. Bei den früheren Untersuchungen musste ein ganzes Tüpfelplattenfragment in der Probenkammer platziert werden und die Resultate konnten nur als qualitativ gelten<sup>40</sup>.

Ferner weisen die Autoren Tournaire/Buchsenschutz/Hendersson/Collis und Chevalier/Legrand/Gruel/Brissaud/Tarrats-Saugnac zu Recht darauf hin, dass bei einer Analyse der Vertiefungen auch das Keramikmaterial (wie z. B.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  und die Spurenelemente Zn und Rb) mitanalysiert wird und es schwierig ist, die zu der Keramik gehörenden chemischen Elemente sauber von denjenigen des Inhalts zu trennen, vor allem bei Zink und Eisen<sup>41</sup>. Hingegen dürfen wir bei den Elementen Silber, Gold, Kupfer, Zinn, Antimon und Blei von der Annahme ausgehen, dass diese nicht primär in der Keramik enthalten sind und uns so eindeutigen Aufschluss über den aufgeschmolzenen Inhalt der Vertiefungen geben.

## 2.2 Auswertung

### 2.2.1 Silber-, Gold- und Kupferanteile

Es wurden von den zur Untersuchung vorliegenden Tüpfelplatten vom Titelberg insgesamt 104 Proben entnommen: 9 stammen vom verglasten Rand oder von der Platten- bzw. Bodenunterseite (Vermerk: S), 3 von Reguli (Vermerk: R) und die restlichen von den Böden der Vertiefungen. Davon sind 100 Analysenresultate verwertbar.

Die in der Tabelle 1 zusammengestellten Resultate zeigen einen hohen Anteil silikatischer Substanz, der auf die Keramikmaterie der Tüpfelplatten zurückzuführen ist. Die Elemente Silber, Gold und Kupfer sind hingegen nur im Spurenbereich nachgewiesen (siehe auch Graphik 3a).

73 Proben enthielten Silber- und/oder Gold- und Kupferanteile (siehe Anhang 1: Katalog der Tüpfelplatten). Bei 27 Proben konnte der Nachweis von Gold- und/oder Silberanteilen

nicht erbracht werden<sup>42</sup>. Für diese negativen Befunde kann es mehrere Erklärungen geben:

- 1 Die Probenentnahme war unsorgfältig oder nicht repräsentativ.
- 2 Der in das Keramikmaterial diffundierte Gold- und/oder Silberanteil lag unter der Nachweisgrenze der Analyse.
- 3 Die beprobte Vertiefung wurde tatsächlich nie zum Aufschmelzen benutzt.

Oft ist dann kein Edelmetall nachgewiesen, wenn an der Tüpfelplatte auch keine Verglasung an den Stegen beobachtet werden konnte<sup>43</sup>. Es fällt auf, dass jene Tüpfelplattenfragmente, deren Vertiefungen einen kleineren Durchmesser (10–12 mm) aufweisen als die meisten anderen (mit einem Durchmesser von 13–15 mm), weder einen verglasten Steg haben noch den Nachweis von Edelmetallen erbrachten<sup>44</sup>.

Graphik 1 zeigt, dass die Silberanteile – von wenigen Ausnahmen abgesehen<sup>45</sup> – beträchtlich höher sind als die Goldanteile und im groben Mittel einer Legierung  $\text{Ag}_{60}\text{Au}_{20}\text{Cu}_{20}$  (Gew.-Anteil) entsprechen. Die Korrelation mit dem Kupfergehalt ist nur schwach ausgeprägt. Fünf Proben enthalten lediglich Silber (Kat.-Nr. 191–78, 555–78/1, 703–78/1, 1077–77/S, 1290–77), drei Proben nur Gold (Kat.-Nr. 85–77, 162–73, 334–73/1). Nicht nur die Böden der Vertiefungen weisen Edelmetallanteile auf, auch vier Proben von der Plattenseitenwand bzw. der Bodenunterseite zeigen, dass beim Aufschmelzen Aussenwand und Unterseite der Tüpfelplatte mit Edelmetallen kontaminiert wurden (Kat.-Nr. 555–78/S, 695/S, 1077–77/S, 1284–77/S).

Bei den festgestellten Metallgehalten handelt es sich wohl um Teile der Legierung, die beim Aufschmelzen in die Keramikform diffundierten. Aufgrund der Resultate – Silberanteil jeweils höher als Goldanteil – kann man vermuten, dass in den Vertiefungen der Tüpfelplatten vom Titelberg Silberlegierungen mit Gold- und Kupferanteilen aufgeschmolzen wurden (siehe auch Graphik 2). In einigen Fällen ist der Kupferanteil gleich gross oder grösser als der Silberanteil (siehe Graphik 3a+b). Bei diesen Fällen ist entweder Kupfer selektiv in die Keramik diffundiert<sup>46</sup>, oder das Schmelzgut war a priori unedler. Die Herstellung von Potinmünzen mit Hilfe von Tüpfelplatten kann ausgeschlossen werden, da in den Analysenresultaten die für diese Münzen neben Kupfer essentiellen Elemente Zinn und Blei im Verhältnis zu den Edelmetallen Silber und Gold unbedeutend sind.

Von den drei analysierten Reguli ist nur einer in Bezug auf die in den Tüpfelplatten aufgeschmolzenen Legierungen aussagekräftig: Kat.-Nr. 757–77/R wies einen grossen Silberanteil auf und enthielt zudem zu etwa gleichen Teilen Gold- und Kupferanteile<sup>47</sup>. Die Analyse eines zweiten Regulus (Kat.-Nr. 228–73/R) ergab nur kleine Silber-, Gold- und Kupferanteile<sup>48</sup>. Es fällt auf, dass bei diesem Kügelchen der Goldanteil grösser ist als der Silberanteil. Auch die Beprobung der Vertiefung der Tüpfelplatte (Kat.-Nr. 228–73), von der dieser Regulus stammt, ergab einen grösseren Gold- als Silberanteil. Regulus Kat.-Nr. 371–73/R erwies sich als Eisenkügelchen mit geringen Silber-, Gold- und Kupferanteilen.



### 2.2.2 Anteile von Blei, Zinn, Antimon und Zink

Die meisten Analysen von Proben aus den Vertiefungen der Titelberger Tüpfelplatten ergaben nicht nur den Nachweis von Gold, Silber und Kupfer, sondern auch der Metalle Blei, Zinn, Antimon und (wenig) Zink.

Die Graphik 4 zeigt einen von der Grösse des Gold- und Silberanteils unabhängigen konstanten Gehalt von 20–30 Gew.-Anteilen Kupfer und Zinn. Die Blei- und Antimonanteile variieren stark mit 10–60 Gew.-Anteilen. Der Antimonanteil ist dabei in der Regel sehr viel grösser als der Bleianteil (vgl. Tabelle 1)<sup>49</sup>. Graphik 5 zeigt deutlich, dass nur geringe Bleimengen, jedoch neben Kupfer und Zinn vor allem Antimon in die Keramik diffundierten. Dies wird durch Graphik 6 bestätigt. Die Proben streuen zwischen hohen Silber- (und Gold-) Gehalten und hohen Antimon- (und Kupfer-) Gehalten<sup>50</sup>.

Die meisten Proben aus den Vertiefungen von Titelberger Tüpfelplatten enthalten einen markant hohen Silberanteil, der Goldanteil liegt jeweils unter dem Silberanteil. Der Nachweis von Zinn bei der Hälfte der Proben lässt an den Zusatz von Bronze anstelle von reinem Kupfermetall denken. Der Nachweis von Blei kann entweder als natürliche Verunreinigung von Silber aus Bleierzen aufgefasst werden oder darauf hindeuten, dass das Edelmetall durch eine vorgängige Kupellation von Verunreinigungen befreit worden ist. Dieses Verfahren wurde sowohl von keltischen als auch von römischen Handwerkern beim Metallrecycling angewendet<sup>51</sup>. Funde von Laurion (GR) und angeblich auch von Manching (D) weisen darauf hin, dass das Kupellationsverfahren in den Tüpfelplatten selbst vollzogen wurde<sup>52</sup>. Eine flache Platte mit 10 Vertiefungen im Museum von Laurion (GR) hat ein hohes Gewicht und ist mit Bleiglätte vollgesogen. Bei den Titelberger Tüpfelplatten finden sich keine derartigen Hinweise. Ihre Verwendung in einem Kupellationsprozess wird deshalb ausgeschlossen. Der beträchtliche Anteil von Antimon ( $Sb > Pb$ ) ist bemerkenswert. Aus der Geschichte der Verwendung von Antimon findet man Hinweise, dass dieses Metall oft einer Blei- oder Zinnlegierung beigemischt wurde, weil es die Eigenschaft hat, als Legierungspartner die Härte und Gussfähigkeit anderer Metalle zu erhöhen. Die Untersuchungen der keltischen Potinmünzen vom Oberrheingebiet weisen bei bestimmten Typen (z. B. Leuker-Typ 1.C–1.E) hohe Antimongehalte nach<sup>53</sup>. Es gibt jedoch keine Anhaltspunkte, dass dies auch bei Silberlegierungen der Fall ist oder dass diese Eigenschaft beim Aufschmelzen von Silbermünzlegierungen erwünscht gewesen wäre. Eine härtere Silberlegierung hätte zwar eine längere Münzumlaufzeit ermöglicht, wäre aber beim Prägen wegen der Gefahr von Rissbildungen von Nachteil gewesen<sup>54</sup>.

Insgesamt passt die Zusammensetzung der untersuchten Metalle ( $Ag_{60}Au_{20}Cu_{20}+Sb,Sn,Pb$ ) nicht zur Zusammensetzung der Mehrheit der bekannten keltischen Edelmetallmünzen, die aus Zwei- oder Dreikomponenten-Legierungen bestehen. Freilich muss das in die Keramik diffundierte Metall nicht unbedingt genau der Zusammensetzung der Schmelzlegierung entsprechen. Vereinzelt sind Edelmetallmünzen mit

einer ähnlichen Metallzusammensetzung wie bei den hier gemessenen Proben allerdings belegt<sup>55</sup>.

### 2.3 Elektronenmikroskopische Untersuchung (REM-Labor)

Wie schon betont, konnten bei den Tüpfelplatten vom Titelberg weder in den Vertiefungen, noch am oberen Rand der Vertiefungen, noch in den verglasten Zonen mit dem Binokular eine grössere Anzahl von Reguli gefunden werden. Auch die Beprobung der verglasten Stege zeigte nicht immer positive Resultate<sup>56</sup>.

Darum wurde die verglaste Zone am oberen Randabschluss des Tüpfelplattenfragments Kat.-Nr. 757–77 mit dem Elektronenmikroskop untersucht<sup>57</sup>. In jenem Bereich konnten Metalleinschlüsse in der Grösse von 10–50  $\mu m$  identifiziert werden, bestehend aus den Hauptkomponenten Silber, Gold und Kupfer.

In weiteren Untersuchungen im REM-Labor werden auch die Seitenwände und die Böden der Vertiefungen von anderen Tüpfelplattenfragmenten mit dem Elektronenmikroskop nach Metalleinschlüssen abgesucht werden. Bei den zahlreichen Partikeln an den Seitenwänden handelt es sich wohl um dort hängengebliebene Metallfitterchen, die zwar infolge der Temperatureinwirkung aufgeschmolzen, jedoch nicht mit der Hauptmenge des Metalls im unteren Teil der Vertiefungen zusammengeflossen sind<sup>58</sup>. Im Rahmen dieser Untersuchungen will man auch die mengenmässige Zusammensetzung der Metalleinschlüsse abschätzen<sup>59</sup>. Zwar ist deren Zusammensetzung im Einzelnen nicht unbedingt repräsentativ für die Zusammensetzung des ursprünglichen Schmelzgutes, da es sich dabei nur um spezifische Partikel einer aus verschiedenen Metallen bestehenden Einfüllung handeln kann. Dennoch ergeben sich daraus vielleicht detailliertere Kenntnisse der aufgeschmolzenen Legierungen.

### 2.4 Vergleiche mit den Resultaten ähnlicher Untersuchungen mit ED-XFA

#### 2.4.1 Villeneuve-St-Germain und Mont-Beuvray (F)<sup>60</sup>

Die Ergebnisse der Untersuchungen des Materials von Villeneuve-St-Germain und Mont-Beuvray sind nur in qualitativer Hinsicht aussagekräftig. Die Tüpfelplatten vom Mont-Beuvray weisen Spuren von Gold, Nickel, Blei, Wismuth, Arsen, Kupfer und Silber auf. Bei den Tüpfelplatten von Villeneuve-St-Germain beobachtete man im Vergleich zu denjenigen vom Mont-Beuvray einen markanten Anstieg der Kupfer-, Silber-, Gold- und Bleiwerte. Die Autoren schliessen, dass die von ihnen untersuchten Tüpfelplatten in der Werkstatt eines Metallgiessers und sicher auch eines Gold- bzw. Silberschmiedes verwendet wurden<sup>61</sup>. Die Exemplare von Villeneuve-St-Germain enthielten homogenere Legierungen in Bezug auf den Gold-, Silber- und Kupfergehalt als diejenigen vom Mont-Beuvray. Es könne gut sein, dass die Platten mit runden bis ovalen Vertiefungen zur Herstellung von Münzschrotlingen Verwendung fanden, aber es sei nicht zwingend der Fall. Weniger wahrscheinlich sei

diese Verwendung für die Platten mit rechteckigen Vertiefungen vom Mont-Beuvray. Das Fehlen von Prägestempelfunden<sup>62</sup> an diesen Orten ist für die Autoren ein Zeichen, dass die Tüpfelplatten in der Werkstatt von Gold- oder Silberschmieden gebraucht wurden, jedoch nicht unbedingt zur Herstellung von Münzrohlingen gedient haben müssen. In derartigen Werkstätten fallen bei der Verarbeitung von Gold und Silber Abfälle an, die in den Tüpfelplatten – möglicherweise auch zur Herstellung von Münzrohlingen – rezykliert worden sein könnten.

#### 2.4.2 *Levroux, Aulnat-Gandaillat und Roanne (F)*<sup>63</sup>

Auch die Resultate der Untersuchungen an den Tüpfelplatten von Levroux zeigen einen erheblichen Anteil an Silber. Gold ist kaum nachgewiesen. Die Kupferanteile sind geringer als die Silberanteile<sup>64</sup>. Die Resultate von Aulnat sind weniger einheitlich. Bei acht Tüpfelplattenfragmenten konnte Kupfer und Blei in Verbindung mit Silber nachgewiesen werden; bei sieben Fragmenten zeigte sich Gold in Verbindung mit Kupfer oder mit Kupfer und Blei. Eine andere Platte wies eine Zinnbronze auf<sup>65</sup>. Bei der runden Tüpfelplatte von Institution St-Joseph, Roanne, sind nur Kupfer- und Bleianteile zum Vorschein gekommen. Gold oder Silber fehlte. Es gab hier keine verglasten Zonen<sup>66</sup>. In ihrer Schlussfolgerung stellen die Autoren fest, dass solche Tüpfelplatten zum Aufschmelzen von Münzrohlingen gebraucht werden konnten, aber nicht alle Platten diesem Zweck dienten.

#### 2.4.3 *Manching (D)*<sup>67</sup>

Die Analysen der Metallreguli auf Tüpfelplatten von Manching ergaben ein grosses Spektrum verschiedener Edelmetall-Legierungen: Man fand Au-Ag-Cu-Legierungen mit einem Goldgehalt von 55–80 Gew.-%, einem Silbergehalt von 15–33 Gew.-% und einem Kupfergehalt von 4–15 Gew.-%. Einige Einschlüsse erwiesen sich als reines Silber. Dies könnte bedeuten, dass reines Silber dem Gold zulegiert wurde. Auch wurden Einschlüsse aus metallischem Zinn und aus Zinnbronze entdeckt. Die Anwesenheit von Zinnoxid (Kassiterit) und von Bronze-Einschlüssen in den Tüpfelplattenfragmenten wird als Hinweis angesehen, dass der Kupfergehalt der Münzlegierung eher durch die Beigabe von Bronze als von reinem Kupfermetall zustande kam.

In den Vertiefungen der Tüpfelplattenfragmente sowohl von Manching als auch von den Oppida Závist und Stradonice in Böhmen (CR) wurden vor allem Goldlegierungen mit Zusätzen von Silber und Kupfer aufgeschmolzen<sup>68</sup>.

### 2.5 **Schlussfolgerungen in Bezug auf die Tüpfelplatten vom Titelberg**

Bei den in den Keramikböden der Tüpfelplatten-Vertiefungen nachgewiesenen Metallen handelt es sich um diffundierte Anteile von Legierungen, die beim Aufschmelzen in die Keramikform eingedrungen waren. Die Resultate der Analysen geben

Aufschluss, welche Metalle in den Vertiefungen unter grosser Hitze verarbeitet wurden: nämlich Gold, Silber, Kupfer, Blei, Antimon, Zinn und (wenig) Zink. Die Legierungen scheinen relativ homogen gewesen zu sein, denn ihre Zusammensetzung präsentiert sich regelmässig so: Der Hauptanteil ist jeweils Silber. Dazu kommt ein geringer Anteil Gold. Die Summe der Gold- und Silberanteile ist durchschnittlich höher als die Blei- und Antimonanteile ( $Ag+Au > Pb+Sb$ ). Kupfer ist ein konstanter Faktor ( $Cu = Au$ , aber  $Cu < Ag+Au$ ). Zinn ist in der Hälfte der Proben nachgewiesen.

Diese Verhältnisse müssen nicht a priori der ursprünglichen Zusammensetzung der Metallfüllung entsprechen. Das Verhalten der Elemente in Bezug auf die Diffusion in die Keramikmasse ist nicht bekannt. Einige Metalle könnten durchaus leichter in die Keramikböden diffundieren als andere.

Die Verwendung der in den Tüpfelplattenvertiefungen aufgeschmolzenen Legierungen im Umfeld einer Gold- und Silberwerkstatt kann vielfältig sein. Der Durchmesser und das Füllvolumen der Vertiefungen können durchaus für eine Verwendung von Tüpfelplatten bei der Herstellung von Münzrohlingen sprechen (siehe Überschlagsrechnung).

Falls die in der Keramik der Tüpfelplatten vorhandenen Metalle der Legierung allfälliger Münzrohlinge entsprechen, handelt es sich beim Schmelzgut um eine Ag-Au-Cu-Legierung mit einer durchschnittlichen Zusammensetzung  $Ag_{60}Au_{20}Cu_{20}$  (Gew.-Anteil), wenn man von den manchmal hohen Blei-, Antimon-, Zinn- und Zinkanteilen absieht. Eine derartige Metalllegierung mit hohem Goldgehalt findet man bei Silbermünzen selten. Der einzige untersuchte Silberregulus lieferte Werte, die deutlich eine Verschiebung zugunsten des Silberanteils aufzeigen. Er enthielt 89,4 Gew.-% Silber, 5 Gew.-% Gold und 5,6 Gew.-% Kupfer. Wir müssen jedenfalls mit der Möglichkeit rechnen, dass die Metalle des Schmelzgutes nicht proportional zu ihrem tatsächlichen Anteil in der Legierung in die Tüpfelplatten diffundiert sind. Gold und Kupfer scheinen leichter zu diffundieren und sind darum in der analysierten Keramik wahrscheinlich übervertreten. Im Rahmen der Untersuchungen zum Zementationsprozess von Goldmünzen im Geochemischen Labor der Universität Basel konnte als ähnliches Phänomen beobachtet werden, dass die Unterseiten von Goldmünzen, bedingt durch die Schwere-Seigerung innerhalb der geschmolzenen Legierung, jeweils leicht erhöhte Goldgehalte aufweisen<sup>69</sup>.

Die Daten der Analysen in den Keramikböden geben zwar in der Tendenz die Zusammensetzung der aufgeschmolzenen Legierungen an, ihre ermittelten Gehalte müssen aber nicht zwingend mit der ursprünglichen Zusammensetzung des Füllgutes übereinstimmen. Es darf jedoch angenommen werden, dass die Titelberger Tüpfelplatten zur Herstellung einer Silberlegierung mit Gold- und Kupferzusätzen dienten. Gold ist ein charakteristisches Begleitelement des antiken Silbers, ebenso Blei. Der Bleianteil kann als charakteristische Verunreinigung von aus bleihaltigen Erzen gewonnenem Silber betrachtet werden. Zinn könnte aufgrund der Zulegierung von Bronze anstelle von reinem Kupfer in die Tüpfelplatten gelangt sein. Die bei

Überschlagsrechnung<sup>70</sup>: Volumen der Tüpfelplattenvertiefungen, Gewicht des Schmelzgutes:

Dm der Vertief.: cm	Volumen: cm <sup>3</sup>	Gewicht bei kompakter Form in g:			Gewicht der pulverisierten Form in g:		
		Cu p = 9.0	Ag p = 10.5	Au p = 19.3	Cu	Ag	Au
1,3	0,58	5,2	6,1	11,2	2,6	3,1	5,6
1,5	0,88	7,9	9,2	17,0	3,9	4,6	8,5

Geprägte Edelmetallmünzen<sup>71</sup>:

Dm cm	Silberschmelzgut: Gewicht in g	Nominal:	Goldschmelzgut: Gewicht in g	Nominal:
1,3 x 1,5	3,1 bis 4,6	–	5,6 bis 8,5	POTTINA ARDA

den Tüpfelplatten vom Titelberg gefundenen Elemente Antimon und Zink sind bei den Exemplaren von Manching nicht nachgewiesen, hingegen bei anderen Rohlingsformen aus Baden-Württemberg sind sie vorhanden<sup>72</sup>.

**Fazit:**

Die Tüpfelplatten in den keltischen Oppida wurden nachweislich beim Aufschmelzen von Edelmetalllegierungen verwendet. Sie konnten auch, mussten aber nicht unbedingt, für die Herstellung von Münzrohlingen (Schrötlingen) verwendet werden. Die Durchmesser und die Gewichte der Goldmünzen (Nr. 01–06) vom Titelberg, die von Burkhardt analysiert wurden (vgl. Tab. 2), lassen unter Bezugnahme zu der von uns dargelegten Überschlagsrechnung (siehe oben) für die Tüpfelplatten-Vertiefungen die Annahme zu, dass in den Titelberger Tüpfelplatten zumindest Münzrohlinge für Goldmünzen her-

gestellt worden sein könnten. Die Analysen der Keramikböden zeigen hingegen nicht die entsprechende Legierungszusammensetzung. Sie weisen eher auf ein Dreikomponentensystem mit Silber als Hauptanteil hin. Die Silbermünzen vom Titelberg (Nr. 07–15) haben alle einen kleineren Durchmesser als die Tüpfelplatten-Vertiefungen. Diese Silbernominalen könnten somit nicht in den zur Untersuchung vorliegenden Tüpfelplatten hergestellt worden sein. Allerdings sind nur ungefähr ein Zehntel der Titelberger Tüpfelplattenfragmente untersucht worden.

Es ist nicht ganz auszuschließen, dass in den Tüpfelplatten auch Buntmetalllegierungen aufgeschmolzen wurden (jedoch sicher nicht zur Münzherstellung). Hinweise dafür geben die Untersuchungen der Tüpfelplatten von Villeneuve-St-Germain, Mont-Beuvray, Aulnat und Roanne (siehe oben). Von dort stammen einige Exemplare, in denen nachweislich keine Edelmetalllegierungen aufgeschmolzen wurden<sup>73</sup>.

**III. Chemische Analysen und numismatische Untersuchungen von spätkeltischen und frühaugusteischen Münzen und einiger Metallrohlinge vom Titelberg, Gemeinde Differdange, Grossherzogtum Luxemburg**  
(Andreas Burkhardt)

Der folgende Beitrag von Andreas Burkhardt ist nur in der gedruckten Version erhältlich.





## Literatur

### **Bachmann et al. 1999**

Hans-Gerd Bachmann, Andreas Burkhardt, Rolf Dehn, Willem B. Stern, New Aspects of Celtic Gold Coinage Production in Europe. World Gold Council, Gold Bulletin Vol. 32, 1 (London 1999).

### **Burkhardt/Dehn 1993**

Andreas Burkhardt, Rolf Dehn, Produktionsreste keltischer Münzen vom Kegelriss bei Ehrenstetten, Kreis Breisgau-Hochschwarzwald. In: AABW 1992 (Stuttgart 1993) 116–120.

### **Burkhardt et al. 1994**

Andreas Burkhardt, Jean-Jacques Wolf, Bénédicte Viroulet, Thierry Dumez, Les monnaies celtiques de Sierentz et de Haute-Alsace. In: Cahiers Alsaciens d'Archéologie, d'Art et d'Histoire, XXXVII (Strasbourg 1994) 65–100.

### **Burkhardt/Stern/Helmig 1994**

Andreas Burkhardt, Willem B. Stern, Guido Helmig, Keltische Münzen aus Basel. Numismatische und Metallanalytische Untersuchungen. Antiqua 25 (Basel 1994).

### **Burkhardt 1996**

Andreas Burkhardt, Chemische und numismatische Untersuchungen von Drachmen und Obolen. In: La Monetazione Celtica Cisalpina. Catalogo della mostra numismatica di monete celtiche e con leggende leponzie, in collezioni pubbliche e private, allestita a Locarno presso il Gabinetto numismatico di Casorella, dal 16 novembre 1996 al 10 gennaio 1997. Circolo Numismatico Ticinese (Locarno 1996) 67–84.

### **Burkhardt 1998**

Andreas Burkhardt, Quantitative Methoden zur keltischen Numismatik am Beispiel der Münzfunde aus latènezeitlichen Siedlungen der Oberrheinregion. Dissertation (Bern 1998).

### **Castelin 1960**

Karel Castelin, Keltische Münzformen aus Böhmen. Germania 38, 1960, 32–42.

### **Chevalier/Legrand/Gruel/Brissaud/Tarrats-Saunac 1993**

Pierre Chevalier, François Legrand, Katherine Gruel, Ivan Brissaud, Annie Tarrats-Saunac, Etude par rayonnement synchrotron de moules à alvéoles de La Tène finale trouvés à Villeneuve-St-Germain et au Mont-Beuvray. Revue d'Archéométrie 17, 1993, 75–88.

### **Gebhard 1995**

Rupert Gebhard, Industry in Celtic Oppida – Aspects of High Temperature Processes. In: Giulio Morteani, Jeremy P. Northover (Hrsg.), Prehistoric Gold in Europe. Mines, Metallurgy and Manufacture. NATO ASI Series E: Applied Sciences 280 (Dordrecht/Boston/London 1995) 261–272.

### **Gebhard/Lehrberger/Morteani/Raub/Wagner/Wagner 1995**

Rupert Gebhard, Gerhard Lehrberger, Giulio Morteani, Christoph Raub, Fritz Wagner, Ursel Wagner, Coin Moulds and Other Ceramic Material. A Key to Celtic Precious Metal Working. In: Giulio Morteani, Jeremy P. Northover (Hrsg.), Prehistoric Gold in Europe. Mines, Metallurgy and Manufacture. NATO ASI Series E: Applied Sciences 280 (Dordrecht/Boston/London 1995) 273–301.

### **Heinrichs/Rehren 1996**

Johannes Heinrichs, Thilo Rehren, Keltische Münzschrötlingsformen aus Bonn. Naturwissenschaftlich-numismatischer Vorbericht und historische Interpretation. Metalla 3.2, 1996, 83–100.

### **Jansová 1974**

Libuše Jansová, Zur Münzprägung auf dem Oppidum Závist. Památky Archeologické 65, 1974, 1–33

### **Kamber/Kurzmann 1998**

Pia Kamber, Peter Kurzmann, Der Gelbschmied und Alchemist (?) vom Ringelhof. JbAB 1998, 151–199.

### **Keller/Gerber/Stern 1999**

Christine Keller, Yvonne Gerber, Willem B. Stern, Rückstände in Kochgefäßen – Zum Phänomen der Knochenasche. JbAB 1999, 129–146.

### **Kellner 1990**

Hans-Jörg Kellner, Die Münzfunde von Manching und die keltischen Fundmünzen aus Südbayern. Die Ausgrabungen in Manching 12 (Stuttgart 1990).

### **Kraut 2001**

Jürgen Ch. Kraut, Zerstörungsfreie Untersuchungen mittels röntgenanalytischer Methoden an römischen und byzantinischen Goldmünzen des ersten bis elften Jahrhunderts (unpubliz. Diss. Basel 2001).

### **Lehrberger 1997**

Gerhard Lehrberger, Metalleinschlüsse in Tüpfelplatten aus Manching und Böhmen. In: Gerhard Lehrberger, Jan Fridrich, Rupert Gebhard, Jiří Hrala (Hrsg.), Das Prähistorische Gold in Bayern, Böhmen und Mähren: Herkunft – Technologie – Funde Bd. I: Textband. Památky Archeologické – Supplementum 7 (Prag 1997) 102–107.

### **Loscheider 1998**

Robert Loscheider, Untersuchungen zum spätlatènezeitlichen Münzwesen des Trevererlandes. Archaeologia Mosellana 3, 1998, 63–225.

### **Maier/Neth 1987**

Gabriele Maier, Andrea Neth, Zu Schrötlingsformen aus Gerlingen, Kr. Ludwigsburg. In: Opuscula. Festschrift Franz

Fischer. Tübinger Beiträge zur Vor- und Frühgeschichte 2 (Tübingen 1987) 129–163.

**Menke 1968**

Manfred Menke, Schrötlingsformen für keltisches Silbergeld aus Karlstein, Ldkr. Berchtesgaden (Oberbayern). *Germania* 46, 1968, 27–35.

**Metzler 1995**

Jeannot Metzler, Das treverische Oppidum auf dem Titelberg (G.-H. Luxemburg). Zur Kontinuität zwischen der spät-keltischen und der frührömischen Zeit in Nord-Gallien Bd. 1. *Dossiers d'Archéologie du Musée National d'Histoire et d'Art* 3 (Luxembourg 1995).

**Moesta/Franke 1995**

Hasso Moesta, Peter R. Franke, Antike Metallurgie und Münzprägung. Ein Beitrag zur Technikgeschichte (Basel 1995).

**Overbeck 1987**

Bernhard Overbeck, Alkimoënnis-Kelheim, eine neue keltische Münzstätte. *BVbl.* 51, 1987, 245–248.

**Raub 1995**

Christoph Raub, The Metallurgy of Gold and Silver in Prehistoric Times. In: Giulio Morteani, Jeremy P. Northover (Hrsg.), *Prehistoric Gold in Europe. Mines, Metallurgy and Manufacture. NATO ASI Series E: Applied Sciences 280* (Dordrecht/Boston/London 1995) 243–259.

**Raub 1997**

Christoph Raub, Metallreste in den Tüpfelplatten aus Manching. In: Gerhard Lehrberger, Jan Fridrich, Rupert Gebhard, Jiří Hrala (Hrsg.), *Das Prähistorische Gold in Bayern, Böhmen und Mähren: Herkunft – Technologie – Funde Bd. I: Textband. Památky Archeologické – Supplementum 7* (Prag 1997) 108 f.

**Reding 1972**

Lucien Reding, Les monnaies gauloises du Tetelbiérg (Luxembourg 1972).

**Rowlett et. al. 1974**

Ralph M. Rowlett, Elsebet Sander-Jørgensen Rowlett, Homer L. Thomas, Vorbericht zu den Ausgrabungen der Missouri-Universität (USA) auf dem Titelberg. In: *Hémecht* 1974/3, 377–380.

**Stern 1982**

Willem B. Stern, Die keltischen Münzen der Sammlung R. Forrer und H. Herold im Rätischen Museum Chur. *Schriftenreihe des Rätischen Museums* Nr. 25 (Chur 1982).

**Stern 1995**

Willem B. Stern, On non destructive analysis of gold objects. In: Giulio Morteani, Jeremy P. Northover (Hrsg.), *Prehistoric Gold in Europe. Mines, Metallurgy and Manufacture. NATO ASI Series E: Applied Sciences 280* (Dordrecht/Boston/London 1995) 317–328.

**Stern/Zwicky-Sobczyk 1997**

Willem B. Stern, Christoph Zwicky-Sobczyk, X-Ray Fluorescence and Density Measurements on Surface-Treated Roman Silver-Coins. *Archaeometry* 39/2, 1997, 393–405.

**Stern et al. 1998**

Willem B. Stern, Andreas Burkhardt, Susanne Schmidt, Jürgen Kraut, Was leistet die chemische Analyse in der Numismatik? In: Millefiori, *Festschrift für Ludwig Berger. Forschungen in Augst* 25 (Augst 1998) 235–241.

**Tournaire/Buchsenschutz/Henderson/Collis 1982**

Jean Tournaire, Olivier Buchsenschutz, Julian Henderson, John Collis, Iron Age Coin Moulds from France. *Proceedings of the Prehistoric Society* 48, 1982, 417–435.

**Tylecote 1962**

Ronald F. Tylecote, The Method of Use of Early Iron-Age Coin Moulds. *The Numismatic Chronicle* 7 Vol. II, 1962, 101–109.

**Weast 1989**

Robert C. Weast (Hrsg.), *CRC Handbook of Chemistry and Physics. A Ready-Reference Book of Chemical and Physical Data. 70th Edition 1989–1990* (Boca Raton 1989)

**Weiller 1982**

Raymond Weiller, Les techniques de fabrication employées dans l'atelier monétaire de l'oppidum trévire du Tetelbiérg (Grand-Duché de Luxembourg). In: Tony Hackens, Raymond Weiller (Hrsg.), *Actes du 9ème Congrès International de Numismatique, Berne, septembre 1979. AINP 7* (Louvain-La-Neuve/Luxembourg 1982) 625–632.

**Weiller 1986**

Raymond Weiller, L'atelier monétaire trévire du Tetelbiérg. In: Jean Krier, Norbert Theis, Robert Wagner, Nicole Folmer (Hrsg.), *Carte Archéologique du Grand-Duché de Luxembourg. Feuille 24 – Differdange* (Luxembourg 1986) 30–33.

**Ziegeus 1993**

Bernward Ziegeus, Das keltische Münzwesen. In: Hermann Dannheimer, Rupert Gebhard (Hrsg.), *Das keltische Jahrtausend. Katalog Ausstellung Rosenheim* (Mainz 1993) 220–227.



## Anmerkungen

- 1 Burkhardt/Stern/Helmig 1994. Vgl. auch Burkhardt 1998, 56–59.
  - 2 Burkhardt/Stern/Helmig 1994, bes. 49–65.
  - 3 Burkhardt/Dehn 1993, 116–120.
  - 4 Der Begriff ist vom gleichnamigen Instrument des Chemielabor-Bedarfs entlehnt. Tüpfelplatten aus Glas oder Keramik weisen eine Anzahl regelmässig angebrachter Eintiefungen auf, die zur Beobachtung und Durchführung chemischer Versuche dienen.
  - 5 Beim Giessverfahren, welches für die Herstellung der Potinmünzen angewendet wurde, wurden die einzelnen Münzen vermutlich «en chapelet», d. h. im Reihenguss direkt in Sand-Formen gegossen.
  - 6 Burkhardt/Stern/Helmig 1994, 62 Anm. 155.
  - 7 Rowlett et. al. 1974, 377–380. Weiller 1986, 30–33.
  - 8 Metzler 1995, 147 bes. Anm. 186.
  - 9 Unser Dank richtet sich insbesondere an die Herren P. Reiles (Direktor) und Jeannot Metzler (Konservator der archäologischen Abteilung) vom Musée National d'Histoire et d'Art in Luxemburg sowie an R. Weiller, den langjährigen Konservator des Münzkabinetts, für die zur Verfügungstellung der Tüpfelplattenfragmente, von Schrötlingen, Flans und Münzen zur archäometrischen Untersuchung. Dank schulden die Autoren auch dem Leiter des Geochemischen Labors des Mineralogisch-Petrographischen Institutes der Universität Basel, Herrn Prof. Dr. W. B. Stern, der durch den konsequenten Auf- und Ausbau dieses Labors wesentlich zur Entwicklung der zerstörungsfreien, energiedispersiven Röntgenfluoreszenz-Analyse beigetragen hat.
  - 10 Gebhard/Lehrberger/Morteani/Raub/Wagner/Wagner 1995, 273–301.
  - 11 Die Verbreitung der Tüpfelplatten wird hier nicht besprochen. Siehe dazu: Castelin 1960, 32; Tournaire/Buchsenschutz/Henderson/Collis 1982, 433; Maier/Neth 1987, 138–140 mit Abb. 5, 144, 154–163; Overbeck 1987, 246 f. mit Anm. 12; Kellner 1990, 131; Burkhardt/Stern/Helmig 1994, 62 mit Anm. 158; Gebhard/Lehrberger/Morteani/Raub/Wagner/Wagner 1995, 274; Heinrichs/Rehren 1996, 83 f.
  - 12 Tüpfelplatten können – zwar selten – auch quadratisch oder rund sein (Kellner 1990, 131). Beispiele für runde Tüpfelplatten gibt es von: Institution St-Joseph, Roanne (F), La Boissière, Jublains (F) (Tournaire/Buchsenschutz/Henderson/Collis 1982, 425 mit Abb. 5A; 430 mit Abb. 6); Gerlingen, Kr. Ludwigsburg (D), (Maier/Neth 1987, 135 mit Abb. 4,1–2); Hradištv bei Stradonice, Böhmen (CR), (Kellner 1990, 131). Die runden Tüpfelplatten könnten einen anderen Verwendungszweck als die rechteckigen gehabt haben; siehe dazu auch die Diskussion bei: Tournaire/Buchsenschutz/Henderson/Collis 1982, 429: Die runde Tüpfelplatte von Institution St-Joseph, Roanne, weist weder Gold- oder Silber Spuren noch verglaste Stege auf. Siehe auch Chevalier/Legrand/Gruel/Brissaud/Tarrats-Saugnac 1993, 86 f.
- Die Grösse der Tüpfelplatten kann stark variieren. Dies wirkt sich auf die Anzahl der Vertiefungen pro Platte aus. Als Beispiele: St. Albans (Verulamium), Hertfordshire (GB), rechteckig, 10 mal 6 cm, mit 50 Vertiefungen (Tournaire/Buchsenschutz/Henderson/Collis 1982, 423, 426); Manching, Bayern (D), rechteckig, ca. 16 mal 10 cm, mit ca. 60 Vertiefungen, Saintes (F), rechteckig, 17 mal 9,5 cm, mit 60 Vertiefungen (Tournaire/Buchsenschutz/Henderson/Collis 1982, Taf. 31b; Kellner 1990, 131).
- 13 Quadratische bis rechteckige Vertiefungen z. B. bei Tüpfelplatten von: Manching (D), (Kellner 1990, 132); Mont-Beuvray (F), (Chevalier/Legrand/Gruel/Brissaud/Tarrats-Saugnac 1993, 83 f. mit Abb. 6 f.).
  - 14 Weiller 1982, 627, 630; Weiller 1986, 30; Metzler 1995, 147. Es seien mehr als 800 Fragmente zu Tage gekommen. Vor allem die grösseren Stücke sind nicht nach Basel gelangt und konnten nicht beprobt werden. Die Grösse der Stücke wird in der Literatur nicht erwähnt. Die Anzahl der Vertiefungen wurde den Fotos entnommen: Weiller 1982, Taf. 71,1: Fragment mit 4 vollständigen und 10 angeschnittenen Vertiefungen; Taf. 71,2 und 3: je eine vollständige Vertiefung; Taf. 72,13: Fragment mit 2 vollständigen und 4 angeschnittenen Vertiefungen. Weiller 1986, 31 mit Abb. 1,1 mit einem Eckstück einer rechteckigen Tüpfelplatte, mit 6 vollständigen und 6 angeschnittenen ovalen Vertiefungen; Abb. 1,2 mit einem Randstück, mit 3 vollständigen und 6 angeschnittenen ovalen Vertiefungen (= Weiller 1982, Taf. 72,12).
- Metzler 1995, 147, 151 mit Abb. 101: Aus dem Text geht nicht hervor, ob diese rechteckige Tüpfelplatte mit 12 vollständigen ovalen und 17 angeschnittenen Vertiefungen ebenfalls aus dem Grabungsabschnitt der Columbia-Universität stammt oder aus dem Abschnitt 1983/1984–151, wo ebenfalls mehrere Dutzend Bruchstücke von Tüpfelplatten gefunden wurden.
- 15 Kat.-Nr. 323–82, 822–73 und 1284–77 sind Randstücke, Kat.-Nr. 266, 286–82, 304–82, 307–73, 308–78, 332, 425–76, 472, 551–77, 563–73, 689–77 und 1077–77 sind Eckstücke. Es ist zwar nicht ganz auszuschliessen, dass sie quadratisch waren. Wegen des fragmentierten Zustandes und weil nicht alle Stücke zur Untersuchung vorlagen, können weder Angaben zur Gesamtzahl noch zur Grösse der Tüpfelplatten noch zur Anzahl der Vertiefungen pro Tüpfelplatte gemacht werden. Siehe auch grösser erhaltene Fragmente in Weiller 1986, 31 mit Abb. 1,1 und 1,2.
  - 16 Weiller 1982, 627 und die Abbildungen in Weiller 1986, 31 mit Abb. 1 zeigen deutlich, dass es aufgrund ihrer Durchmesser mindestens zwei Kategorien von Vertiefungen in Tüpfelplatten vom Titelberg geben muss. Abb. 1,1 zeigt ein Tüpfelplattenfragment mit den grösseren Vertiefungen (nach Weiller: 15–17 mm), Abb. 1,2 ein Fragment mit den kleineren Vertiefungen (nach Weiller: 10–12 mm). Es stellt sich die Frage, ob die hier zur Untersuchung vorliegenden Fragmente zu einer dritten Grössenkatgorie (13–15 mm) gehören, oder ob die Masse von Weiller am oberen

- Randabschluss und nicht wie von uns im Bodenbereich genommen wurden (= Weillers grössere Vertiefungen). Die Kat.-Nr. 240–77, 422, 689–77 und 735–77 weisen leicht kleinere Durchmesser (10–12 mm) auf. Es ist anzunehmen, dass diese Weillers kleineren Vertiefungen entsprechen.
- 17** Die Resultate der mineralogischen Untersuchungen an den Titelberger Tüpfelplatten sollen zu einem späteren Zeitpunkt folgen.
- 18** Tournaire/Buchsenschutz/Henderson/Collis 1982, 429. Diese Annahme beruht auf der Beobachtung, dass die Keramikplatte in der Mitte dicker ist. Tournaire führt dies darauf zurück, dass es schwieriger war, die überstehende Tonmasse in der Mitte zu entfernen und darum dort mehr Ton übrigblieb. Die Vertiefungen hatten in der Mitte wohl eine grössere Höhe. Diese Beobachtung wurde auch bei den Fragmenten von Villeneuve-St-Germain (F) gemacht: Chevalier/Legrand/Gruel/Brissaud/Tarrats-Saugnac 1993, 79 f. Da für unsere Untersuchungen keine ganzen Tüpfelplatten zur Verfügung standen, konnten diese Beobachtungen nicht überprüft werden.
- 19** Tylecote 1962, 101; Kellner 1990, 132; Chevalier/Legrand/Gruel/Brissaud/Tarrats-Saugnac 1993, 80; Burkhardt/Stern/Helmig 1994, 62 mit Anm. 159; Heinrichs/Rehren 1996, 84 f. mit Abb. 1.
- 20** Axel Hartmann, Metallanalysen: Naturwissenschaftliche Untersuchungen an Schrötlingsformen und Goldmünzen. In: Kellner 1990, 230, erwähnt ebenfalls die Möglichkeit, dass die Vertiefungen «etwa mit einer Fingerkuppe in das ursprünglich weiche Material der Platten eingedrückt worden sein mögen».
- 21** Zum Beispiel von Manching (D): Kellner 1990, 9 f., 132; Axel Hartmann, Metallanalysen: Naturwissenschaftliche Untersuchungen an Schrötlingsformen und Goldmünzen. In: Kellner 1990, 230: «Die Reguli finden sich teils in den Vertiefungen, teils am Rand der Formen. Einzelne sieht man auch an der Oberfläche der Tonformen im Bereich zwischen den einzelnen Vertiefungen. Manche haften nur sehr leicht an der Oberfläche, andere sind mit dem Material der Tonplatte stärker verbunden, indem sie tiefer eingebettet sind». Weiter S. 234: «Als Resultat dieser Untersuchungen darf nunmehr festgehalten werden, dass in den Tonformen ohne jeden Zweifel silber- und kupferhaltige Goldlegierungen zum Schmelzen gebracht worden sind». Gebhard/Lehrberger/Morteani/Raub/Wagner/Wagner 1995, 276–279: Gold- und Silberreguli. Von Bonn (D): Heinrichs/Rehren 1996, 85: Goldreguli. Von Gerlingen, Kr. Ludwigsburg (D): Maier/Neth 1987, 142 f.: Gold- und Silberreguli. Von Stradonice, Böhmen (CR): Castelin 1960, 33: Gold- und Silberreguli. Von Závist, Böhmen (CR): Jansová 1974, 8: Gold- und Silberreguli.
- 22** Zur Produktion der Silberrohlinge wurde vornehmlich die *al marco*-Technik angewendet, z. B. durch das Ausstanzen der Rohlinge in einer Silberplatte oder das Abtrennen von Stücken in gleichmässigen Einheiten von einer runden Silberstange. Die Tüpfelplatten dienten einem ganz bestimmten technischen Verfahren der Schrötlingsherstellung, das erst in spätkeltischer Zeit neben zahlreichen anderen Methoden angewendet wurde und nicht überall in Gallien geläufig war. Siehe dazu Burkhardt/Stern/Helmig 1994, 62 mit Anm. 155.
- 23** Binokular (American Optical Instrument Company), Zoom 0,7fach bis 4,2fach, Okular 100fache Vergrösserung.
- 24** Gebhard/Lehrberger/Morteani/Raub/Wagner/Wagner 1995, 298 f. Siehe dazu auch: Tournaire/Buchsenschutz/Henderson/Collis 1982, 432.
- 25** Schmelzpunkte einiger Metalle nach Handbuch Weast 1989: Fe: 1538 °C / Cu: 1084 °C / Au: 1063 °C / Messing: 996 °C / Ag: 959 °C / Pb: 327 °C. Siehe auch Burkhardt 1998, 29.
- 26** Noch Kellner 1990, 133, erwägt das Eingiessen von flüssigem Gold und ein Nachjustieren. Nach Ziegau 1993, 223, erfolgte das (Nach-)Justieren als «ein Nachwiegen und Befeilen des Schrötlings, falls notwendig, nach dem Schrötlingsguss». In diesem Zusammenhang soll auch auf den Fundzusammenhang von Tüpfelplatten und Feinwaagen hingewiesen werden. Siehe dazu Castelin 1960, 36 f.; Jansová 1974, 10; Burkhardt/Stern/Helmig 1994, 63 mit Anm. 163. In Tournaire/Buchsenschutz/Henderson/Collis 1982, 431, wird darauf hingewiesen, dass der Prozess des Schmelzens in einem Tiegel und das Giessen in die Vertiefungen der Tüpfelplatten wohl sehr langwierig, schwierig und nur mit grossem Verlust von Edelmetall möglich gewesen wäre.
- 27** Menke 1968, 27. Gleiches wurde in Závist, Böhmen (CR), beobachtet: Jansová 1974, 4. Die Fundsituation der Fragmente vom Titelberg ist nicht ausführlich überliefert. Es bestehen keine genauen stratigraphischen Beobachtungen. Angeblich waren unter dem Fundmaterial auch augusteische Objekte. Dies erschwert eine genaue zeitliche Einordnung der hier vorliegenden Fragmente. Siehe dazu Metzler 1995, 147.
- 28** Gebhard 1995.
- 29** Castelin 1960, 36 f.; Tournaire/Buchsenschutz/Henderson/Collis 1982, 431; Overbeck 1987, 247 f.; Kellner 1990, 132 f. Das Verfahren wird auch heute noch von Gold- und Silberschmieden angewendet.
- 30** Siehe Burkhardt/Stern/Helmig 1994, 62 mit Anm. 162.
- 31** Tylecote 1962, 103.
- 32** Siehe Zeichnung in: Gebhard 1995, 271 mit Abb. 11 (zweite Kolonne von rechts), Erklärung dazu auch S. 268–271; Gebhard/Lehrberger/Morteani/Raub/Wagner/Wagner 1995, 275.
- 33** Gebhard/Lehrberger/Morteani/Raub/Wagner/Wagner 1995, 299. Siehe auch S. 298: Umwandlung von Fe<sup>3+</sup> in Fe<sup>2+</sup> bei Temperaturen über 600 °C.
- 34** Weiller 1982, 628; Burkhardt/Stern/Helmig 1994, 63; Heinrichs/Rehren 1996, 83; Lehrberger 1997, 104. Darum sind die gefundenen Tüpfelplatten oft stark fragmentiert.
- 35** Burkhardt/Stern/Helmig 1994, 63 mit Anm. 169.

- 36** Ausnahmen sind die oben erwähnten Kat.-Nr. 228–73, 371–73 und 757–77.
- 37** Analysen von Tüpfelplatten mit ED-XFA wurden schon früher durchgeführt: Tournaire/Buchsenschutz/Henderson/Collis 1982, 426; Chevalier/Legrand/Gruel/Brissaud/Tarrats-Saunac 1993, 80–82, 84–85; Gebhard/Lehrberger/Morteani/Raub/Wagner/Wagner 1995, 278 f. Im Geochemischen Labor der Universität Basel jedoch wurden nicht die ganzen Fragmente direkt auf dem Probenteller platziert und analysiert, sondern es wurde jeweils eine kleine Probenmenge entnommen (Criminaltape!). Diese angewandte Präparationsmethode war 1998 von W. B. Stern ursprünglich für forensische Zwecke entwickelt worden.
- 38** Siehe: Yvonne Gerber, Die Analysenmethode. In: Kamber/Kurzmann 1998, 159 f.; Keller/Gerber/Stern 1999, 135.
- 39** Die Proben wurden in einem Analysengang von drei Subroutinen im Spektrometer Spectrace-5000 (TA Instruments) analysiert. Gleiche Messparameter und Kalibrierung wie beschrieben in: Keller/Gerber/Stern 1999, 135.
- 40** So bemerken Tournaire/Buchsenschutz/Henderson/Collis 1982, 426: «X-ray Fluorescence produced qualitative results from surface analyses of both vitrified and non-vitrified areas on coin-moulds fragments. ... Due to the variability in concentrations of elements of interest across the sample surface, which normally included areas of fired clay, as well as inherent difficulties in establishing infinite depths of analysis for various elements, and a lack of comparable standards, qualitative results must be discussed here». Siehe dazu auch: Chevalier/Legrand/Gruel/Brissaud/Tarrats-Saunac 1993, 82.
- 41** Tournaire/Buchsenschutz/Henderson/Collis 1982, 426; Chevalier / Legrand / Gruel / Brissaud / Tarrats-Saunac 1993, 82.
- 42** Drei von diesen 27 Proben wurden von der Plattenseite (Kat.-Nr. 538–77/S, 544–73/S) bzw. vom verglasten Rand (Kat.-Nr. 289–77/S) genommen. Der fehlende Nachweis von Gold oder Silber hängt aber nicht zwingend damit zusammen. Andere Proben vom verglasten Rand (282–74/S, 879–73/S, 1284–77/S) oder von der Seitenwand bzw. der Bodenunterseite (Kat.-Nr. 555–78/S, 695/S, 1077–77/S) erbrachten einen Gold- und/oder Silbernachweis.
- 43** Das ist der Fall bei den Kat.-Nr. 126–73, 240–77 (Keramik ist rot-orange), 255–78, 263–82, 433/2, 544–73, 563–73, 661–77, 735–77 (atypische Keramikart) und 1077–77. Der Zusammenhang ist jedoch nicht zwingend, denn folgende Kat.-Nr. haben trotz verglastem Rand keinen Nachweis von Gold und/oder Silber geliefert: 53, 289–77 (obwohl vom verglasten Rand), 301–73, 377–73, 422, 703–78/2, 802–78, 822–73, 938–77, 1057–77 und 1206–77.
- 44** Kat.-Nr. 240–77, 422, 735–77.
- 45** Kat.-Nr. 228–73 (Regulus), 228–73, 371–73/1, 998–73.
- 46** Raub 1997, 109: «Neben der primären Inhomogenität des geschmolzenen Metalls wirkt sich auch die Schmelz-atmosphäre sehr auf die Bildung von Schlacken und damit auf die Fixierung von Metallen in der Tüpfelplatte aus. Herrscht beispielsweise während des gesamten Schmelzvorganges völlig reduzierende Atmosphäre, so wird nur ein geringer Teil der Nichtedelmetalle in der gläsernen Nüpfchenwand verschlacken und der Hauptteil dieser Metalle wird in den Regulus gehen. Herrschen hingegen über längere Zeiten oxidierende Bedingungen, so verschlackt ein grosser Teil der Buntmetalle mit dem Ton der Wandung».
- 47** Ag 89,4 Gew.-%, Au 5 Gew.-%, Cu 5,6 Gew.-%. Die Gew.-% der anderen Metalle sind hier nicht berücksichtigt.
- 48** Die Probe 228–73/R weist u. a. auch hohe Natrium- und Schwefelwerte auf. Bei dieser Probe wurde ein Metallkügelchen auf das Criminaltape aufgetragen, d.h. die Probe wurde nicht pulverisiert. Die Analysenresultate von dieser Probe gelten darum nur unter Vorbehalt. Die Daten wurden nicht in die Tab. 1 aufgenommen.
- 49** In den meisten Fällen: Pb+Sb < Ag+Au.
- 50** Sn+Pb < 20–30 Gew.-Anteile.
- 51** Heinrichs/Rehren 1996, 86 f. mit Literaturhinweis.
- 52** Moesta/Franke 1995, 67, 160 mit Anm. 20.
- 53** Burkhardt 1998, 64.
- 54** Ferner muss man bedenken, dass Antimon in bestimmten Lagerstätten auch häufig in Blei-, Kupfer- und Silbererzen vorkommt. Wenn ein antimonhaltiges Silbererz verarbeitet wurde, könnte Antimon unbeabsichtigt in die Legierungen gelangt sein. Die Antimonanteile könnten aber auch (wie u. a. Blei- und Zinkreste) auf einen vorgängigen Kupellationsprozess zurückzuführen sein. Die Grösse des Anteils der unedlen Metalle im Silber hängt von der Güte des Kupellationsprozesses ab, d.h. wie oft und unter welchen Bedingungen das Verfahren durchgeführt wurde. Siehe dazu: Raub 1995, 256 f.
- 55** Burkhardt/Stern/Helmig 1994, 129 mit Kat.-Nr. 58 (1 Stater Philippou, RS), 60 (1 Stater Philippou, RS), 64 (1 Stater Philippou, RS). Aber für die Herstellung immobilisierter Philippou-Statere wurden keine Tüpfelplatten verwendet.
- 56** Proben von der verglasten Zone: Ag und Au nachgewiesen bei den Kat.-Nr. 282–74/S, 879–73/S, 1284–77/S; nicht nachgewiesen bei der Kat.-Nr. 289–77/S.
- 57** Elektronenmikroskop Philips ESEM, XL Series, XL30. Die Untersuchung wurde durch Herrn Daniel Mathys, Technischer Assistent am REM-Labor der Universität Basel, unter der Leitung von Prof. R. Guggenheim durchgeführt.
- 58** Heinrichs/Rehren 1996, 87: «Der Grund hierfür kann sowohl in der Oberflächenrauigkeit der Keramik als auch in der Verwirbelung der Luft durch zu starke Windzufuhr gesucht werden». Siehe dazu auch Lehrgerber 1997, 104.
- 59** Die Resultate der Untersuchungen mit dem Elektronenmikroskop im REM-Labor werden später publiziert.
- 60** Chevallier/Legrand/Gruel/Brissaud/Tarrats-Saunac 1993, 84 mit Tab. 3; 86 mit Tab. 4; 87 mit Tab. 5.
- 61** Chevallier/Legrand/Gruel/Brissaud/Tarrats-Saunac 1993, 86.
- 62** Zu Funden von Prägestempeln in keltischen Siedlungen siehe: Maier/Netz 1987, 147.

- 63** Tournaire/Buchsenschutz/Henderson/Collis 1982, 421 mit Tab. 1; 426 f. mit Tab. 2, 429.
- 64** Die Resultate von Levroux (Tournaire/Buchsenschutz/Henderson/Collis 1982, 421 mit Tab. 1) sind m. E. auch nur qualitativ verwertbar, obwohl die Daten in Gew.-% angegeben werden.
- 65** Tournaire/Buchsenschutz/Henderson/Collis 1982, 426 f. mit Tab. 2.
- 66** Tournaire/Buchsenschutz/Henderson/Collis 1982, 429.
- 67** Gebhard/Lehrgerber/Morteani/Raub/Wagner/Wagner 1995, 278 f.; Lehrberger 1997, 103 f.
- 68** Lehrgerber 1997, 105 mit Abb. 5.5, 5.6.
- 69** Kraut 2001, 82.
- 70** Formel für Volumen einer Halbkugel:  $V = 0,262 \times Dm [cm]^3$  (nach Geigy-Tabellen). Gewicht für Pulver mit angenommenem Faktor 0,5 gerechnet. Bei Legierungen verändern sich die geschätzten Gewichte entsprechend!
- 71** Man darf davon ausgehen, dass eine Münze nach der Prägung einen grösseren Durchmesser hat als der Schrötling, aus dem sie hergestellt wurde. Das Gewicht des Schmelzgutes ist für eine vollständig gefüllte Vertiefung berechnet.
- 72** Raub 1997, 108.
- 73** Auch die Untersuchungen vom Titelberg haben ein Metallkugelchen aufzuweisen, das im Zusammenhang mit Edelmetalllegierungen wenig Sinn macht: Kat-Nr. 371-73/R ist ein Eisenkugelchen.
- 74** Forschungsprojekt des Schweizerischen Nationalfonds (1990-1993) und Bundesförderungsprogramm (Forschungsstelle 143, Geochemische Archäometrie), seit 1994 in Kooperation mit der Archäologischen Bodenforschung des Kantons Basel-Stadt.
- 75** Burkhardt 1998, bes. 7 f., 12.
- 76** Burkhardt/Stern/Helmig 1994; Burkhardt et al. 1994, 65-100; Burkhardt 1998.
- 77** Bachmann et al. 1999.
- 78** Die ältere archäologische Forschung hat immer wieder auf das Fehlen von Tüpfelplattenfragmenten in der Oberrheinregion und damit auf diese Diskrepanz hingewiesen. Aus Tarodunum, das chronologisch parallel zur keltischen Siedlung Basel-Gasfabrik zu datieren ist, sind bisher 4 immobilisierte, aber ausschliesslich massive PHILIPPOU-Imitationen bekannt; aus Basel-Gasfabrik sind 6 immobilisierte, davon drei massive und drei subaerate PHILIPPOU-Imitationen bekannt (vgl. Burkhardt 1998, 74, Analysen-Tabelle).
- 79** Burkhardt/Stern/Helmig 1994, 49-65 mit Illustrationen zu den verschiedenartigen signifikanten präge- und gusstechnischen Merkmalen auf den Münzen.
- 80** Vgl. Loscheider 1998, 63-225.
- 81** Zum Forschungsstand der anepigraphen und epigraphen Augenstatere vgl. Loscheider 1998, 127-152.
- 82** Das aussergewöhnliche Stück wurde nach Angabe des Numismatikers R. Weiller bei seinem Besuch der Ausgrabungen auf dem Titelberg zufällig in seinem Beisein entdeckt.
- 83** Loscheider 1998.
- 84** Reding 1972.
- 85** Erstmals Stern 1995, 317-328. Stern/Zwicky-Sobczyk 1997, 393-405. Stern et al. 1998, 235-241.
- 86** Dazu erstmals Bachmann et al. 1999.
- 87** Erstmals Burkhardt/Stern/Helmig 1994, S. 49 f. und methodisch erweitert in Burkhardt 1998, 18-20.
- 88** Burkhardt 1996, 81, Abb. 7.
- 89** Auf den andersartigen Chemismus von GERMANUS-INDUTILLIL hat erstmals Stern 1982, 42 ff. hingewiesen.

Katalog der untersuchten keltischen Tüpfelplattenfragmente  
vom Titelberg

Tabellen 1–2

Grafiken 1–9

Katalognr.	MasseFrgmt. cm	Proben- menge (mg)	n Proben	Beschreibung	Dm unten mm	Tiefe mm	wo Probe entnommen	Nachweis positiv
53	4 x 3	3.25	1 (= 1)	1 angeschnittene Vertiefung; Steg verschlackt	13		von einer angeschnitten. Vertief. etwas Dreck + Oberfl.	nein
		3.20	1 (= 2)	1 angeschnittene Vertiefung	13	9	Resultat nicht auswertbar !	
72	4.2 x 3		1	4 angeschnittene Vertiefungen; Steg verschlackt	13	8	von grösster Vertiefung Dreck + Oberfläche	Ag Au
84-77	2.5 x 2.5		1	1 Vertiefung; Steg verschlackt	15	8	etwas Dreckschicht + Oberfläche	Ag Au
85-77	3 x 2		1	1 Vertiefung; Steg verschlackt	15	6	etwas Dreckschicht + Oberfläche	[Au]
126-73	3.5 x 2.5		1	3 angeschnittene Vertiefungen; auf dem Steg keine Verschlackung erkennbar	13	8	von grösserer Vertiefung Dreck + Oberfläche	nein
145-78	4.2 x 2.4	3.55	1 (= 1)	1 vollständige Vertiefung; Steg verschlackt	13	10	von vollständiger Vertiefung etwas Dreck + Oberfläche	Ag Au
		7.95	1 (= 2)	1 angeschnittene Vertiefung	13	10	von angeschnittener Vertiefung Dreck + Oberfläche	Ag Au
162-73	4.5 x 3		1	1 vollständige + 1 angeschnittene Vertiefung; Steg verschl.	15	8	von vollständiger Vertiefung etwas Dreck + Oberfläche	Au
187-78	2.5 x 2		1	1 Vertiefung; Steg verschlackt	15	11	etwas Dreckschicht + Oberfläche	Ag Au
191-78	4.5 x 3.5		1	2 fast vollständige + 2 angeschnittene Vertiefungen; Steg verschlackt	15	8	von grösserer Vertiefung Dreck + Oberfläche	Ag
228-73	3 x 2.5		1(= R)	1 fast vollständige + 2 angeschnittene Vertiefungen;			1 Regulus von der fast vollständigen Vertiefung	[Ag Au]
		4.45	1	Steg verschlackt	13	7-8	von fast vollständiger Vertiefung Dreck + Oberfläche	Ag Au
240-77	4 x 2.5		1 (= 1)	3 angeschnittene Vertiefungen, rot-oranger Ton; auf dem Steg keine Verschlackung erkennbar	12	6	(Keramik-)Probe von grösserer Vertiefung	nein
		2.50	1 (= 2)		12	8	weitere Probe von etwas kleinerer Vertiefung	nein
244-76(82)	3.5 x 3	2.40	1	1 grössere + 1 kleinere Vertiefung; Steg verschlackt	13	8	von grösserer Vertiefung etwas Dreck + Oberfläche	Ag Au
255-78	4 x 2.5		1	2 angeschnittene Vertiefungen; auf dem Steg keine Verschlackung erkennbar	15	8-10	von grösserer Vertiefung etwas Dreck + Oberfläche	nein
263	3 x 3			4 erahnbare Vertiefungen; Steg verschlackt			keine Probenentnahme aus den Vertiefungen möglich	
263-82	5 x 3		1 (= 1)	3 Vertiefungen + 1 erahnbare Vertiefung; auf dem Steg	15	10	von 1. Vertiefung etwas Dreckschicht + Oberfläche	nein
			1 (= 2)	keine Verschlackung erkennbar	15	10	von einer weiteren Vertiefung etwas Dreck + Oberfläche	nein
		3.00	1 (= 3)		15	10	von kleinster Vertiefung etwas Dreckschicht + Oberfläche	nein
266	4 x 2.5 Eckstück		1	1 Vertiefung; Steg verschlackt	15	7	etwas Dreckschicht + Oberfläche	Ag Au
266-78	4.5 x 3		1	1 Vertiefung + 2 erahnbare Vertiefungen; Steg leicht verschl.	13	9	etwas Dreckschicht + Oberfläche	Ag Au
282-74	4 x 2.5		1	1 Vertiefung; Steg verschlackt	15	8	Probe von Vertiefung: etwas Dreckschicht + Oberfläche	Ag Au
			1 (= S)				von verschlacktem Rand oben, nur wenig Probenmaterial	Ag Au
286-82	5 x 2.5		1 (= 1)	1 vollständige Vertiefung; Steg verschlackt	15	10	von vollständiger Vertiefung etwas Dreck + Oberfläche	Ag Au
[Photo]	Eckstück		1 (= 2)	1 angeschnittene Vertiefung	15	10	von angeschnittener Vertiefung etwas Dreck + Oberfläche	Ag Au
289-77	4 x 2.5		1 (= S)	1 angeschnittene + 3 erahnbare Vertiefungen; Steg verschlackt	13	10-13	von verschlacktem Rand oben	nein

301-73	3.5 x 3.5		1	1 angeschnittene + 2 verwasch. Vertiefungen; Steg verschl.	13	8-9	von angeschnittener Vertiefung Oberflächenprobe	nein
304-82	3.5 x 2.5 Eckstück (?)		1	1 angeschnittene Vertiefung; Steg verschlackt	15	8	etwas Dreckschicht + Oberfläche	Ag Au
307-73	4.5 x 3.5 Eckstück (?)		1 1 (= 2PR)	2 Vertiefungen; Steg verschlackt	15	6	1. Probe: nur von 1 Vertiefung Dreckschicht + Oberfläche 2. Probe: von derselben Vertiefung Oberfläche	Ag Au Ag Au
308-78	3.5 x 3 Eckstück		1 (= 1) 1 (= 2)	1 angeschnittene Vertiefung; Steg verschlackt 1 angeschnittene Vertiefung	13 13	10 6	etwas Dreckschicht + Oberfläche etwas Dreckschicht + Oberfläche	Ag Au Ag Au
311	3.5 x 2.5		1	2 angeschnittene Vertiefungen; Steg verschlackt	13	6	von grösserer angeschnittener Vertiefung Oberfläche	Ag Au
319	4 x 3		1 (= 1)	1 vollständige Vertiefung; Steg minim verschlackt	15	8	Resultat nicht auswertbar !	
[Photo]			1 (= 2)	1 angeschnittene Vertiefung	15	5	von angeschnittener Vertiefung Dreck + Oberfläche	Ag [Au]
323-82	3 x 2.5 [Photo] Randstück		1	1 angeschnittene + 1 erahnbare Vertiefung; Steg verschlackt	15	8	etwas Dreckschicht + Oberfläche	Ag Au
332	4 x 3 Eckstück		1 1 (= 2PR)	1 Vertiefung; Steg leicht verschlackt	15	8	1. Probe: nur Dreckschicht 2. Probe: von derselben Vertiefung Dreck + Oberfläche	Ag Au Ag Au
334-73	4.5 x 3		1 (= 1) 1 (= 2) 1 (= 3)	2 vollständige, 1 angeschnittene + 1 erahnbare Vertiefung; Steg leicht verschlackt	15 15	8 8	von 1. vollständiger Vertiefung etwas Dreck + Oberfl. von 2. vollständiger Vertiefung etwas Dreck + Oberfl. von angeschnittener Vertiefung etwas Dreck + Oberfl.	[Au] Ag Au Ag Au
371-73	3.5 x 3		1 (= 1) 1 (= 2)	1 vollständige Vertiefung; Steg verschlackt 1 fast vollständige Vertiefung	15 15	11 11	von vollständiger Vertiefung etwas Dreck + Oberfläche von fast vollständiger Vertiefung Dreck + Oberfläche	Ag Au Ag [Au]
[Photo]			1 (= R)	1 Regulus			Metallkügelchen	Ag [Au]
377-73	3 x 2.5		1	1 fast vollständige, 1 angeschnittene verwaschene + 1 erahnbare Vertiefung; Steg verschlackt	15	6	von vollständiger Vertiefung etwas Dreck + Oberfl.	nein
422	2.5 x 2		1	2 angeschnittene Vertiefungen; Steg etwas verschlackt	„klein“	10-12	von einer Vertiefung etwas Dreckschicht + Oberfläche	nein
425-76	4 x 2.5 [Photo] Eckstück		1	1 angeschnittene + 2 erahnbare Vertiefungen; Steg verschl.	15	7	von angeschnittener Vertiefung etwas Dreck + Oberfl.	Ag Au
433	4 x 3		1 (= 1) 1 (= 2)	2 Vertiefungen; auf dem Steg keine Verschlackung erkennbar	15 15	8 8	von der einen Vertiefung etwas Dreck + Oberfläche von 'kleinerer' Vertiefung etwas Dreck + Oberfläche	Ag Au nein
436-73	2.5 x 2		1	2 angeschnittene + 2 erahnbare Vertiefungen; Steg verschlackt	15	8	von grösserer angeschnitten. Vertiefung Dreck + Oberfl.	Ag Au
439	3.5 x 3.5		1 (= 1) 1 (= 2)	3 angeschnittene Vertiefungen; Steg verschlackt	15 15	8 8	von einer 'grösseren' Vertiefung etwas Dreck + Oberfl. von einer 'kleineren' Vertiefung etwas Dreck + Oberfl.	Ag [Au] Ag Au
472	2.5 x 2 Eckstück	3.60	1	1 angeschnittene Vertiefung; Steg verschlackt	13	6	etwas Dreckschicht + Oberfläche	Ag Au
472-73	2.5 x 1.5			3 erahnbare Vertiefungen; Steg verschlackt			keine Probenentnahme aus den Vertiefungen möglich	
473	4 x 1.5	6.30	1	1 angeschnittene + 2 erahnbare Vertiefungen; Steg verschlackt	13	10	von angeschnittener Vertiefung etwas Dreck + Oberfl.	Ag Au
498-73	4 x 3	4.40	1	1 Vertiefung + 3 erahnbare Vertiefungen; Steg verschlackt	15	13	Resultat nicht auswertbar !	

Katalognr.	MasseFrgmt. cm	Proben- menge (mg)	n Proben	Beschreibung	Dm unten mm	Tiefe mm	wo Probe entnommen	Nachweis positiv
531-77	3 x 2	5.45	1	1 Vertiefung; Steg verschlackt	13	9	etwas Dreckschicht + Oberfläche	Ag Au
532	3.2 x 2.2	3.45	1	1 Vertiefung; Steg verschlackt	15	9	etwas Dreckschicht + Oberfläche	Ag [Au]
537	2.5 x 1.7			1 erahnbare Vertiefung; Steg verschlackt			keine Probenentnahme aus der Vertiefung möglich	
538-77	3.5 x 3.5	4.55	1	1 vollständige + 1 erahnbare Vertiefung; Steg verschlackt	15	8	von vollständiger Vertiefung etwas Dreck + Oberfl. Probe von Seitenwand, seitlich unterhalb von vollständiger Vertiefung	Ag Au
		4.50	1 (= S)					nein
544	3 x 2.3	6.40	1	1 Vertiefung + 1 erahnbare Vertiefung; Steg verschlackt	15	5	etwas Dreckschicht + Oberfläche	Ag Au
544-73	4 x 2	6.20	1	1 Vertiefung; auf dem Steg keine Verschlackung erkennbar	15	13	Oberflächenprobe Probe von Seitenwand, seitlich unterhalb von vollständiger Vertiefung	nein
		3.95	1 (= S)					nein
551-77	2.7 x 2.4 Eckstück	4.50	1 (= 1)	1 angeschnittene Vertiefung; Steg verschlackt	13	8	von 'grösserer' angeschnitten. Vertiefung Oberfläche	Ag Au
		2.35	1 (= 2)	1 angeschnittene Vertiefung	13	8	von 'kleinerer' angeschnitten. Vertiefung Oberfläche	Ag Au
555-78	4 x 2	9.40	1	1 angeschnittene + 4 erahnbare Vertiefungen; auf dem Steg keine	13	10	von angeschnittener Vertief. viel Dreck + etw. Oberfläche Probe von Bodenunterseite	Ag [Au]
		4.45	1 (= S)	Verschlackung erkennbar				Ag Au
563-73	2.5 x 2 Eckstück (?)	4.05	1	1 angeschnittene + 1 erahnbare Vertiefung; auf dem Steg keine Verschlackung erkennbar	13	9	von angeschnittener Vertiefung etwas Dreck + Oberfl.	nein
610-77	4 x 2.5	4.80	1	2 angeschnittene + 3 erahnbare Vertiefungen; auf dem Steg keine Verschlackung erkennbar	15	7	von 1 angeschnitten. Vertiefung etwas Dreck + Oberfläche	Ag [Au]
661-77	3.8 x 2	3.20	1	2 angeschnittene + 1 erahnbare Vertiefung; auf dem Steg keine Verschlackung erkennbar	15	8	von grösserer angeschnittener Vertiefung Oberflächenprobe	nein
689-77	3 x 2 Eckstück	7.45	1	2 angeschnittene Vertiefungen; Steg verschlackt	10	8	von grösserer angeschnittener Vertiefung etwas Dreckschicht + Oberfläche	Ag Au
695	2.5 x 2	4.35	1	1 angeschnittene Vertiefung; Steg verschlackt	13	10	Oberflächenprobe Probe von Seitenwand	Ag Au
		5.20	1 (= S)					Ag [Au]
703-78	4.2 x 2.2	5.55	1 (= 1)	1 vollständige Vertiefung; Steg verschlackt	15	8	von vollständiger Vertiefung etwas Dreck + Oberfläche	Ag
		6.70	1 (= 2)	2 angeschnittene Vertiefungen	15	11	von grösserer angeschnitten. Vertiefung Dreck + Oberfl.	nein
731-77	3 x 2	3.90	1	2 Fragmente, 1 Fragment mit 1 angeschnittenen + 1 erahnbaren Vertiefung; Steg verschlackt	13	8	von angeschnittener Vertiefung Oberflächenprobe	Ag Au
733-77	3 x 2.5	3.35	1 (= 1)	1 angeschnittene Vertiefung; Steg verschlackt	12-13	7	etwas Dreckschicht + Oberfläche	Ag Au
		3.80	1 (= 2)	1 angeschnittene Vertiefung	12-13	7	etwas Dreckschicht + Oberfläche	Ag Au
735-77	1.5 x 1	3.15	1	1 angeschnittene Vertiefung; auf dem Steg keine Verschlackung erkennbar; 'Keramikart' scheint anders zu sein	12	4	Oberflächenprobe	nein



757-77	3 x 2	24.4 5.40	1 (= R) 1	1 angeschnittene Vertiefung mit 1 Regulus; Steg verschlackt	13	8-9	Metallkügelchen von angeschnittener Vertiefung Oberflächenprobe = Resultat nicht auswertbar !	Ag Au
802-78 [Photo]	4 x 3		1	1 vollständige + 3 erahnbare Vertiefungen; Steg leicht verschl.	15	4-7	von vollständiger Vertiefung Oberflächenprobe	nein
822-73	3 x 3 Randstück (?)	5.65	1	1 angeschnittene + 2 erahnbare Vertiefungen; Steg verschlackt	15	8	von angeschnittener Vertiefung etwas Dreck + Oberfl.	nein
860-74	5 x 2.5	4.35 2.90	1 (= 1) 1 (= 2)	3 angeschnittene + 1 erahnbare Vertiefung; Steg verschlackt	15 15	8 8	von einer angeschnitten. Vertiefung etwas Dreck + Oberfl. von zweiter angeschnitten. Vertiefung Dreck + Oberfl.	Ag Au Ag Au
878-78 [Photo]	4 x 3	5.10 4.45	1 (= 1) 1 (= 2)	1 vollständige Vertiefung; auf Steg keine Verschlack. erkennb. 1 angeschnittene Vertiefung	15 15	9 9	von vollständiger Vertiefung etwas Dreck + Oberfl. von angeschnittener Vertiefung etwas Dreck + Oberfl.	Ag Au Ag [Au]
879-73	5.3 x 2	6.70 7.40	1 1 (= S)	1 Vertiefung; Steg verschlackt	15	7	Oberflächenprobe von verschlacktem Rand oben	Ag Au Ag Au
891-78	2.8 x 2.7	9.10	1	2 angeschnittene + 2 erahnbare Vertiefungen; Steg verschlackt	15	7-8	von grösserer angeschnitten. Vertiefung Dreck + Oberfl.	Ag Au
938-77	2.5 x 2.2	6.50	1	1 angeschnittene + 1 erahnbare Vertiefung; Steg verschlackt	15	8	von angeschnittener Vertiefung etwas Dreck + Oberfl.	nein
981-74	2.5 x 2	5.25	1	2 angeschnittene Vertiefungen; Steg verschlackt	13	10-13	von grösserer angeschnitten. Vertiefung Dreck + Oberfl.	Ag Au
998-73	3 x 2.5	6.15	1	2 angeschnittene + 2 erahnbare Vertiefungen; auf dem Steg keine Verschlackung erkennbar	15	8-9	von grösserer angeschnitten. Vertiefung Dreck + Oberfl.	Ag Au
1055-74	2 x 1.8	7.40	1	2 angeschnittene Vertiefungen; Steg verschlackt	15	7	von grösserer angeschnitten. Vertiefung Dreck + Oberfl.	Ag Au
1057-77	5 x 3	5.65	1	2 angeschnittene + 2 erahnbare Vertiefungen; Steg verschlackt	15	8	von grösserer angeschnitten. Vertiefung Dreck + Oberfl.	nein
1077-77	3.5 x 3 Eckstück	4.75 9.55	1 1 (= S)	1 Vertiefung; auf dem Steg keine Verschlackung erkennbar	15	8	Oberflächenprobe Probe von Seitenabschluss der Platte	nein [Ag]
1193-77	4 x 2.5	3.10	1	1 vollständige + 1 angeschnittene Vertiefung; Steg verschlackt	13	8	von vollständiger Vertiefung Oberflächenprobe	Ag Au
1200-77	3.5 x 2.5	4.15	1	2 angeschnittene + 2 erahnbare Vertiefungen; Steg nur leicht verschlackt	13-14	7	von grösserer angeschnittenen Vertiefung Oberfläche	Ag Au
1206-77 [Photo]	3 x 2.5	3.80 4.10	1 (= 1) 1 (= 2)	2 angeschnittene + 1 erahnbare Vertiefung; Steg verschlackt	15 15	8 8	von einer angeschnitten. Vertiefung etwas Dreck + Oberfl. von zweiter angeschnitten. Vertiefung Dreck + Oberfl.	nein Ag [Au]
1284-77 [Photo]	4 x 3 Randstück	6.75 9.00	1 1 (= S)	2 angeschnittene Vertiefungen; Steg verschlackt, Aussenseite ebenfalls verschlackt; Randstück sehr 'verbrannt'	15	10	von einer angeschnittenen Vertiefung Oberfläche von der Aussenseite	nein Ag [Au]
1290-77	3 x 2	6.10	1	1 angeschnittene + 3 erahnbare Vertiefungen; Steg verschlackt	13-14	8	von angeschnittener Vertiefung Oberflächenprobe	Ag

Kat. Nr.	Spectrum Nr	SiO2 %	Al2O3 %	Fe2O3 %	MgO %	CaO %	K2O %	Rb %	TiO2 %	P2O5 %	SO3 %	Ag %	Au %	Cu %	Pb %	Sb %	Sn %	Zn %	SumP %	SumM %
TIT53/1	354	36	5	23		12	5.4	0.03	3.4	15.1	0.3	<	<	0.16	0.04	0.13	0.07	<	0.41	0.41
TIT72	310	47	19	10		9	3.5	0.02	1.8	10.4	0.3	0.07	0.05	0.06	0.02	0.04	0.03	0.01	0.28	0.17
TIT84-77	311	55	17	7	1.3	8	4.3	0.02	1.5	4.5	0.3	0.24	0.07	0.24	0.03	0.11	<	0.02	0.72	0.41
TIT85-77	312	31	10	11	0.3	13	3.1	<	1.4	29.9	0.1	<	0.03	0.03	0.02	0.06	0.01	0.02	0.18	0.15
TIT126-73	313	50	19	8	1.7	6	4.7	0.01	2.0	8.0	0.2	<	<	0.02	0.01	<	0.04	0.01	0.09	0.09
TIT145-78/1	340	34	16	12		16	3.3	0.01	2.1	15.5	0.1	0.25	0.15	0.22	0.13	0.22	0.04	0.03	1.03	0.64
TIT145-78/2	341	39	14	15	0.8	16	4.1	<	2.4	8.5	0.0	0.14	0.09	0.18	0.04	0.06	<	0.04	0.55	0.32
TIT162-73	295	44	14	9	0.5	11	3.0	0.01	1.8	15.5	1.0	<	0.03	0.04	0.09	<	<	0.06	0.22	0.18
TIT187-78	314	47	11	11	0.4	9	5.6	0.02	2.0	12.9		0.12	0.04	0.17	0.04	<	0.04	0.03	0.43	0.28
TIT191-78	296	35	9	28	0.3	13	3.6	0.07	2.1	7.5	0.1	0.11	<	0.12	0.04	<	0.05	0.14	0.46	0.35
TIT228-73	343	49	15	9		6	4.7	0.02	2.0	13.3	0.1	0.08	0.14	0.16	0.02	0.03	<	0.02	0.46	0.23
TIT240-77/1	315	49	16	8	0.7	6	5.3	0.01	1.7	12.3	0.3	<	<	0.03	<	0.01	<	0.04	0.08	0.08
TIT240-77/2	344	47	16	8		6	5.1	0.01	1.6	15.7	0.3	<	<	0.02	<	0.01	0.01	0.02	0.06	0.06
TIT244-76	345	42	17	9	0.7	12	3.8	0.01	1.8	13.5	0.2	0.12	0.03	0.06	0.02	0.08	<	0.04	0.34	0.20
TIT255-78	316	51	13	12		7	6.4	0.04	2.4	7.7		<	<	0.02	0.06	0.03	<	0.05	0.15	0.15
TIT263-82/1	299	42	16	11	1.1	8	3.5	0.01	1.5	16.9	0.2	<	<	<	0.03	<	<	0.04	0.07	0.07
TIT263-82/2	317	35	14	10		8	3.7	<	1.6	28.3		<	<	<	0.02	<	0.02	0.03	0.08	0.08
TIT263-82/3	346	35	14	9		7	3.5	<	1.8	29.3	0.0	<	<	<	0.02	<	0.03	0.02	0.07	0.07
TIT266	318	45	14	11	0.6	12	5.0	0.03	2.3	10.1	0.2	0.22	0.04	0.09	0.01	0.15	0.01	0.03	0.56	0.29
TIT266-78	319	35	16	9	0.7	12	2.6	0.01	2.1	22.8	0.2	0.05	0.01	0.06	0.02	<	<	0.05	0.19	0.12
TIT282-74	325	41	14	10	1.0	19	4.5	0.03	2.2	7.8	0.2	0.20	0.07	0.13	0.01	0.01	<	0.03	0.44	0.18
TIT282-74/S	300	61	9	10		6	5.2	0.07	2.5		3.3	0.76	0.17	1.15	0.06	0.83	<	<	2.98	2.05
TIT286-82/1	301	39	14	11	1.3	11	4.1	0.01	2.1	14.6	0.3	1.96	0.35	0.39	0.08	0.41	0.03	0.03	3.24	0.93
TIT286-82/2	302	39	13	14	0.6	14	3.5	0.02	2.3	12.5	0.1	0.55	0.14	0.24	0.03	0.21	<	0.04	1.20	0.51
TIT289-77 /S	303	53	12	13		8	6.4	0.02	2.5	5.5	0.3	<	<	0.03	<	0.06	<	0.02	0.11	0.11
TIT301-73	326	41	14	13	0.6	10	4.1	0.02	2.4	15.3		<	<	0.05	0.09	0.02	<	0.03	0.20	0.20
TIT304-82	304	45	12	10		11	4.3	0.02	1.6	14.9	0.1	0.19	0.03	0.07	0.01	0.01	0.01	0.01	0.34	0.11
TIT307-73	305	59	10	12		8	5.2	0.02	1.8		1.9	0.59	0.34	0.73	0.21	0.51	0.01	0.03	2.43	1.50
TIT307-73/2PR	330	45	16	15		9	4.8	0.02	2.6	8.6		0.03	0.02	0.04	0.03	0.06	<	0.01	0.19	0.15
TIT308-78/1	331	34	13	12		12	3.6	0.01	1.5	24.8	0.2	0.10	0.02	0.05	0.06	0.06	0.01	0.03	0.32	0.20
TIT308-78/2	332	32	12	13	0.4	14	3.2	0.02	1.8	20.7	0.1	0.80	0.22	0.24	0.17	0.86	<	0.02	2.29	1.28
TIT311	327	45	13	9	0.8	17	4.6	0.01	2.2	7.3	0.2	0.21	0.11	0.21	0.03	0.15	<	<	0.70	0.38
TIT319/2	333	39	17	9	0.6	9	3.2	0.01	1.9	19.7	0.3	0.05	0.01	0.07	0.02	0.05	<	0.02	0.22	0.16
TIT323-82	328	41	13	11	0.7	12	4.7	0.02	2.3	15.5	0.0	0.19	0.03	0.18	0.03	0.04	<	0.04	0.53	0.30
TIT332	308	41	17	10	1.4	12	3.2	0.01	1.8	13.0	0.6	0.11	0.06	0.11	0.03	0.17	0.04	0.02	0.53	0.36
TIT332/2PR	334	42	18	9	0.8	9	3.4	0.01	1.9	15.2	0.3	0.05	0.02	0.07	0.04	0.10	0.01	0.02	0.32	0.25
TIT334-73/1	335	50	16	9	0.9	11	3.8	0.02	1.8	7.9	0.2	<	0.03	0.04	0.02	<	0.04	0.02	0.15	0.12
TIT334-73/2	336	43	16	9	0.9	14	4.5	0.02	2.0	9.2	0.2	0.15	0.09	0.21	0.09	0.20	0.04	0.02	0.80	0.56
TIT334-73/3	337	47	14	11		12	5.2	0.02	2.3	7.5	0.1	0.05	0.02	0.07	0.07	0.08	0.02	0.04	0.34	0.27
TIT371-73/1	99/315	46	10	26		11	1.9	0.03	1.1	3.2		0.18	0.30	0.13	0.05	0.02	0.04	0.03	0.74	0.27
TIT371-73/2	99/316	46	15	9		22	1.6	0.01	1.2	5.5	0.1	0.02	0.09	0.06	0.03	<	<	0.01	0.20	0.09
TIT371-73/R	99/317	5	2	89		2	0.2	0.02	0.1	0.1	0.3	0.28	0.24	0.25	<	0.17	<	<	0.95	0.43
TIT377-73	329	41	14	13	0.9	9	3.9	0.02	2.4	16.1		<	<	0.03	0.04	<	0.01	0.04	0.11	0.11
TIT422	320	34	11	11		17	3.5	0.01	2.2	21.6		<	<	0.04	0.02	<	<	0.02	0.08	0.08
TIT425-76	321	37	15	9		16	3.1	0.01	2.2	17.1	0.1	0.19	0.24	0.29	0.12	0.09	0.04	0.03	1.02	0.59
TIT433/1	322	38	12	7		10	3.6	0.01	1.8	27.2	0.1	0.11	0.07	0.15	0.05	<	<	0.01	0.38	0.21
TIT433/2	338	36	12	9		12	4.0	0.02	1.8	26.3		<	<	0.13	0.05	<	<	0.03	0.21	0.21
TIT436-73	323	52	15	11	1.1	6	5.1	0.02	2.0	6.4		0.29	0.17	0.33	0.08	0.67	0.04	0.02	1.60	1.14
TIT439/1	324	45	16	9	0.9	8	3.8	0.01	2.0	15.1	0.2	0.05	0.03	0.31	0.06	0.02	<	0.03	0.50	0.41
TIT439/2	339	43	14	9		11	4.1	0.02	1.8	16.5	0.3	0.26	0.11	0.42	0.11	0.15	0.02	0.02	1.08	0.72
TIT472	348	49	12	9	0.4	9	6.5	0.02	1.7	9.8	0.5	0.75	0.05	0.21	0.48	0.13	0.19	0.06	1.88	1.08

**Tabelle 1:** Chemische Analysen mit ED-XFA von keltischen Tüpfelplattenfragmenten vom Titelberg, Grossherzogtum Luxemburg (Aufsatz Gerber).

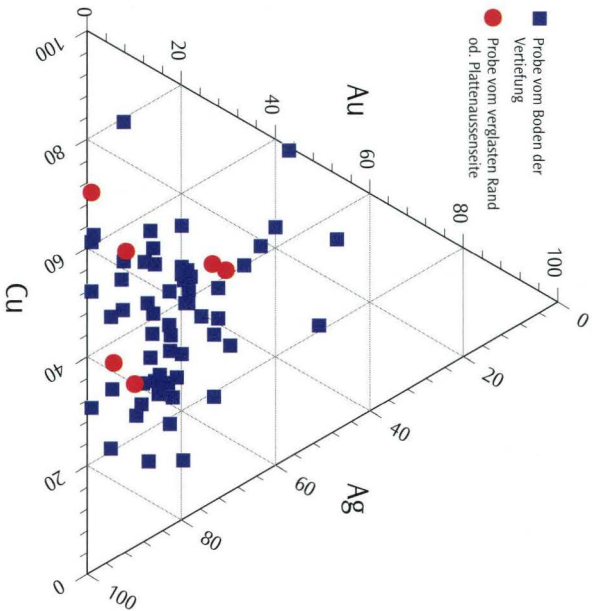
TIT473	349	45	14	13	0.7	10	4.7	0.02	2.2	10.9		0.09	0.07	0.19	0.07	0.18	0.03	0.03	0.66	0.50
TIT531-77	357	54	11	13		6	7.0	0.04	2.1	6.8	0.1	0.23	0.07	0.11	0.02	0.10	<	0.03	0.56	0.26
TIT532	358	36	9	10		24	5.1	0.02	2.0	12.8	0.1	0.12	0.01	0.06	0.04	0.12	<	0.06	0.42	0.28
TIT538-77	359	40	12	10		9	5.7	0.04	1.9	20.6		0.88	0.26	0.14	0.04	0.25	0.03	0.05	1.65	0.51
TIT538-77/S	366	51	12	8		5	5.4	0.02	1.7	15.8		<	<	0.01	0.02	<	0.04	0.04	0.11	0.11
TIT544	360	47	14	12		9	5.0	0.03	2.2	7.3	0.1	1.63	0.57	0.81	0.18	0.97	0.12	0.03	4.31	2.11
TIT544-73	361	40	12	12		11	4.6	0.02	2.2	18.3		<	<	0.01	0.03	<	0.03	0.02	0.09	0.09
TIT544-73/S	367	43	13	9		12	4.4	0.02	1.9	16.9		<	<	<	<	<	0.02	0.03	0.05	0.05
TIT551-77/1	362	50	13	9		8	5.7	0.03	1.9	10.5	0.1	0.34	0.13	0.28	0.08	0.33	0.08	0.04	1.27	0.80
TIT551-77/2	363	45	15	7		8	4.6	0.01	1.4	17.3	0.2	0.39	0.11	0.30	0.09	0.34	<	0.03	1.26	0.76
TIT555-78	364	43	9	18		13	4.2	0.04	1.8	10.8		0.05	<	0.08	0.12	0.17	0.04	0.06	0.53	0.48
TIT555-78/S	368	34	13	15	0.6	11	3.4	0.01	2.2	20.2		0.05	0.05	0.07	0.03	0.06	<	0.02	0.26	0.16
TIT563-73	365	37	13	8		11	4.0	0.01	1.9	26.2		<	<	0.03	0.03	<	<	0.02	0.08	0.08
TIT610-77	369	38	18	9	0.8	8	3.3	<	2.1	20.0	0.0	0.10	0.01	0.09	0.12	0.13	<	0.03	0.47	0.37
TIT661-77	370	35	17	8		12	2.7	<	1.9	23.0	0.1	<	<	<	0.01	0.03	0.03	0.03	0.10	0.10
TIT689-77	371	37	10	13		7	5.4	0.04	2.6	4.1	0.8	1.14	0.04	1.92	5.35	9.60	1.32	0.05	19.41	18.24
TIT695	372	47	18	9		9	4.3	0.02	2.1	9.6		0.08	0.03	0.06	0.02	0.19	0.03	0.02	0.44	0.33
TIT695/S	373	50	16	9		7	4.5	0.01	2.2	10.5	0.0	0.06	0.01	0.03	0.01	0.10	0.02	0.02	0.26	0.19
TIT703-78/1	374	43	16	12	1.0	7	3.4	0.02	2.5	15.5		0.04	<	0.04	0.01	0.06	<	0.01	0.16	0.13
TIT703-78/2	375	55	11	15		6	6.5	0.04	2.1	3.4		<	<	0.03	0.01	<	<	0.06	0.11	0.11
TIT731-77	376	44	12	10		8	5.0	0.05	1.7	14.6	0.2	1.87	0.58	0.76	0.26	0.91	0.03	0.06	4.48	2.02
TIT733-77/1	377	38	9	9		18	4.1	0.03	1.7	19.6	0.1	0.37	0.15	0.23	0.04	0.13	<	0.03	0.95	0.43
TIT733-77/2	378	29	9	11		26	3.3	0.02	1.4	18.4	0.3	0.71	0.22	0.65	0.16	0.07	0.06	0.06	1.93	1.00
TIT735-77	379	56	15	7		7	4.9	0.02	1.6	7.4	0.4	<	<	0.03	<	0.04	0.05	0.02	0.14	0.14
TIT757-77/R	380	1	0	2		1	0.0	0.23		0.2	0.8	83.92	4.68	5.29	0.38	0.61	<	0.02	94.91	6.31
TIT802-78	99/318	58	16	11	0.7	7	2.4	0.01	1.1	3.5	0.2	<	<	0.06	0.01	<	<	<	0.07	0.07
TIT822-73	382	43	13	12		11	4.3	0.03	2.5	12.1		<	<	0.18	0.04	0.06	0.02	0.04	0.33	0.33
TIT860-74/1	383	53	19	8		7	4.5	0.03	1.7	6.6	0.2	0.11	0.07	0.08	0.02	0.15	0.09	0.02	0.54	0.36
TIT860-74/2	384	42	19	7	0.8	8	3.0	0.01	1.7	18.5	0.3	0.06	0.05	0.07	0.01	0.01	<	0.02	0.21	0.11
TIT878-78/1	385	38	10	11		12	3.5	0.02	1.3	24.0	0.2	0.09	0.04	0.10	0.03	0.02	0.02	0.08	0.37	0.24
TIT878-78/2	386	34	12	8		11	3.7	0.02	1.3	29.5	0.2	0.08	0.02	0.05	0.02	0.06	<	0.04	0.26	0.16
TIT879-73	387	46	11	13		12	5.9	0.02	2.5	7.6	0.3	0.29	0.05	0.35	0.70	0.27	0.15	0.04	1.85	1.51
TIT879-73/S	388	56	7	9		9	5.3	0.03	2.0	10.9	0.0	0.19	0.17	0.28	0.02	0.02	0.04	0.03	0.74	0.38
TIT891-78	389	43	11	18		10	5.2	0.03	2.3	9.7		0.36	0.18	0.13	0.06	0.02	<	0.05	0.80	0.26
TIT938-77	390	47	13	16		7	4.1	0.03	2.4	10.1		<	<	0.03	0.01	<	0.03	0.02	0.10	0.10
TIT981-74	391	55	16	9	0.5	7	5.9	0.02	2.0	4.9		0.03	0.03	0.06	0.01	<	0.03	0.02	0.19	0.13
TIT998-73	392	39	13	11	0.5	16	4.4	0.02	2.3	12.7	0.0	0.08	0.20	0.22	0.02	<	0.03	0.03	0.58	0.30
TIT1055-74	393	49	13	14		8	6.2	0.04	2.2	3.5	0.2	1.16	0.32	0.61	0.84	0.59	0.73	0.09	4.34	2.86
TIT1057-77	394	49	13	10	0.5	12	4.9	0.03	2.2	8.2	0.1	<	<	0.04	0.01	<	<	0.03	0.08	0.08
TIT1077-77	395	41	17	10	0.6	8	3.3	0.01	2.0	17.4	0.2	<	<	0.01	0.02	<	<	0.02	0.05	0.05
TIT1077-77/S	396	29	2	45		10	5.8	0.18	3.5	4.6	0.2	0.03	<	0.07	0.11	0.02	0.10	0.24	0.57	0.54
TIT1193-77	397	29	2	23		18	4.4	0.03	3.4	18.7	0.1	0.52	0.37	0.33	0.20	0.05	0.05	0.05	1.57	0.68
TIT1200-77	398	35	4	27		12	6.8	0.10	3.7	11.4		0.26	0.15	0.34	0.10	<	<	0.05	0.89	0.49
TIT1206-77/1	399	31	3	24		12	4.4	0.04	3.5	21.2	0.1	<	<	0.12	0.11	0.10	<	0.08	0.42	0.42
TIT1206-77/2	350	33	4	26		13	5.9	0.09	3.4	14.2		0.09	0.04	0.17	0.05	0.37	<	0.10	0.83	0.69
TIT1284-77	351	38	2	31		12	6.8	0.11	3.9	6.2		<	<	0.06	0.03	0.04	0.10	0.11	0.34	0.34
TIT1284-77/S	352	38	2	30		13	9.1	0.19	3.3	4.6	0.2	0.21	0.02	0.13	<	<	<	0.12	0.49	0.26
TIT1290-77	353	35	3	32		9	6.5	0.09	3.9	9.5	0.0	0.18	<	0.08	0.11	0.21	0.13	0.07	0.78	0.60

SumP = Summe von Ag+Au+Cu+Pb+Sb+Sn+Zn

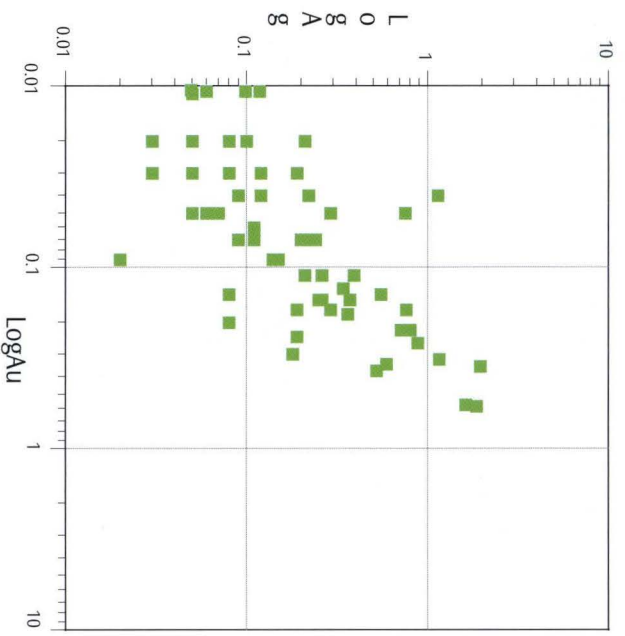
SumM = Summe von Cu+Pb+Sb+Sn+Zn

Die folgenden Abbildungen von Andreas Burkhardt sind nur in der gedruckten Version erhältlich.

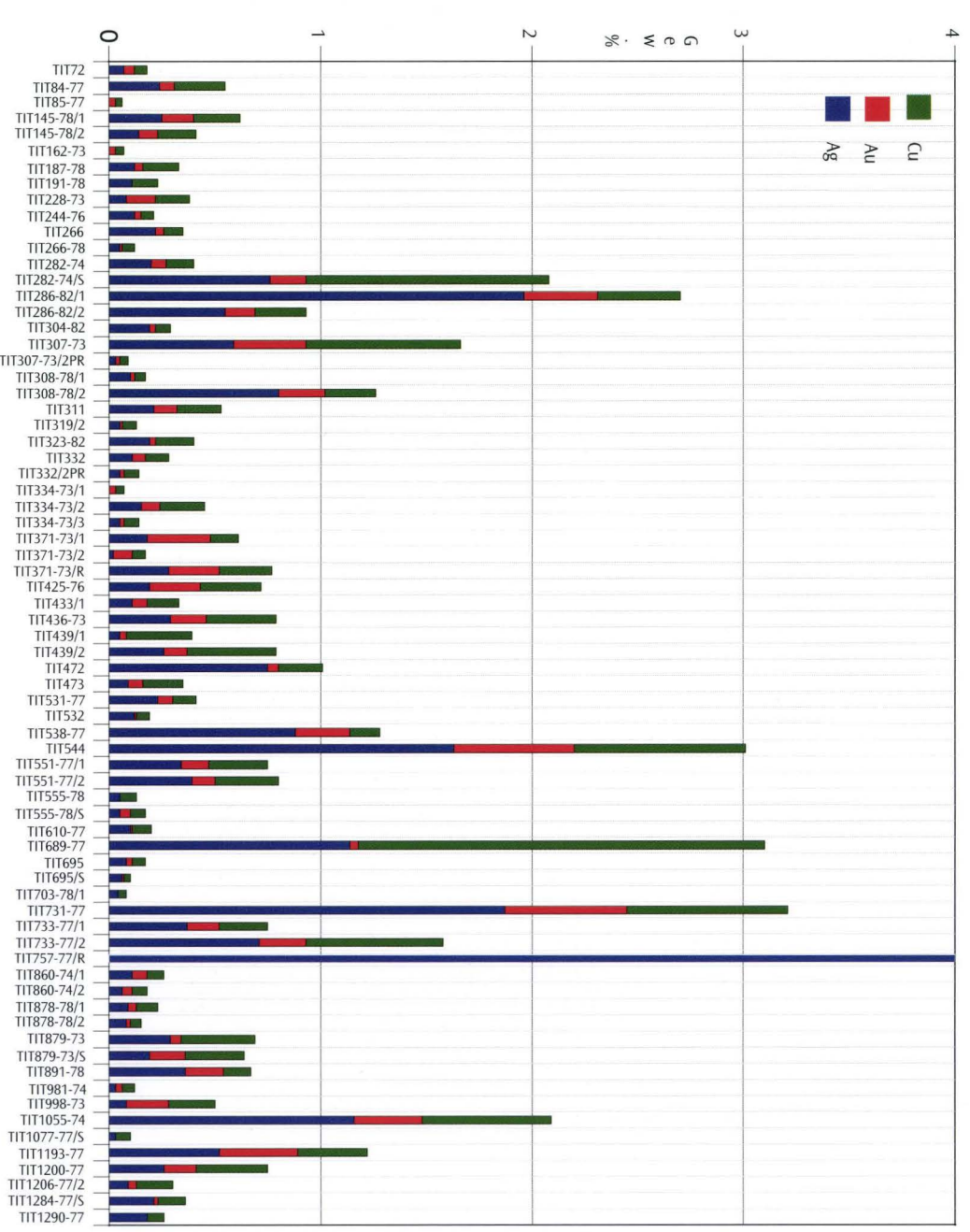




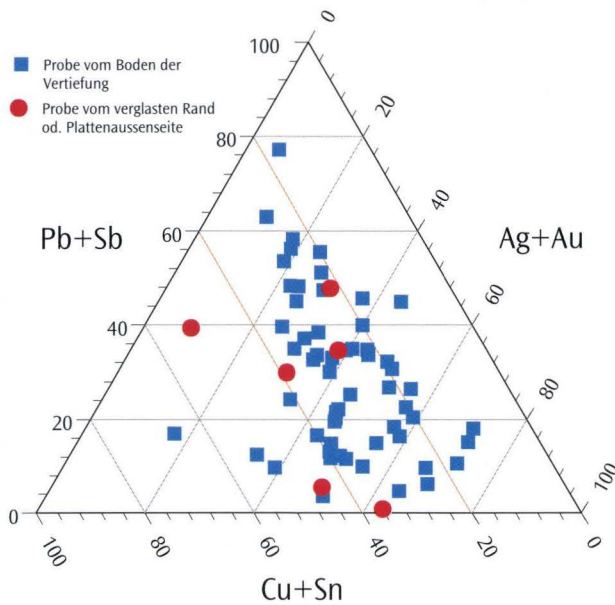
**Grafik 1** Darstellung von Ag / Au / Cu. Die Silber-Anteile sind jeweils höher als die Gold-Anteile (Aufsatz Gerber).



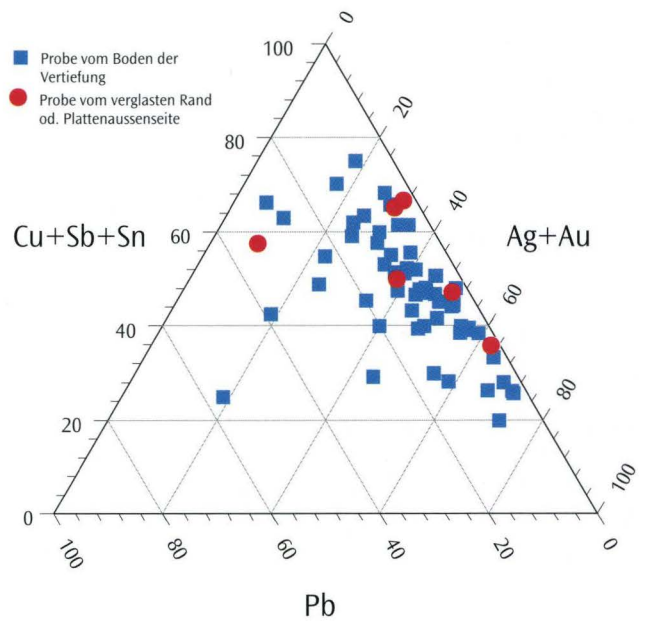
**Grafik 2** Diagramm LogAg / LogAu (Aufsatz Gerber).



**Grafik 3a** Ag+Au+Cu, prozentual, in absoluten Werten (Aufsatz Gerber).

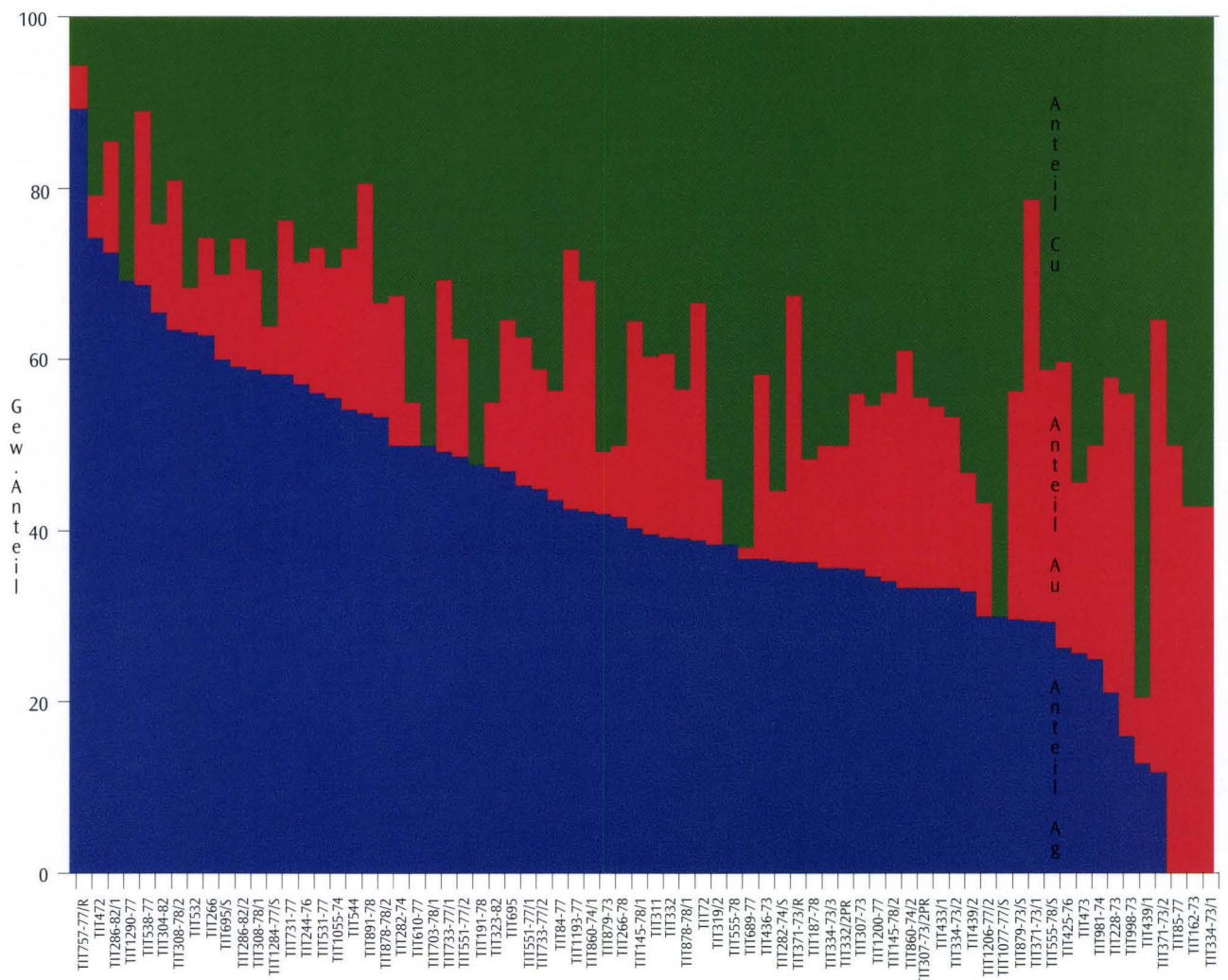


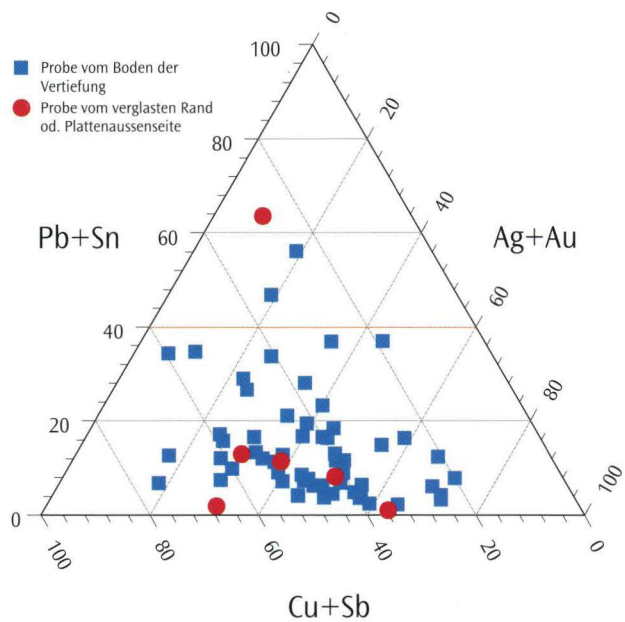
**Grafik 4** Darstellung von Ag+Au / Pb+Sb / Cu+Sn. Kupfer und Zinn sind mit 20–30 Gew.-Anteilen vertreten. Die Blei- und Antimon-Anteile variieren stark (Aufsatz Gerber).



**Grafik 5** Darstellung von Ag+Au / Cu+Sb+Sn / Pb. Es diffundierte neben Kupfer und Zinn vor allem Antimon in die Keramik. Der Blei-Anteil ist gering (Aufsatz Gerber).

**Grafik 3b** Ag+Au+Cu, prozentual, auf 100% normiert (Aufsatz Gerber).





**Grafik 6** Darstellung von  $Ag+Au / Sn+Pb / Cu+Sb$ . Die Proben streuen zwischen hohen Silber- (und Gold-) Gehalten und hohen Antimon- (und Kupfer-) Gehalten (Aufsatz Gerber).

Die folgenden Abbildungen von Andreas Burkhardt sind nur in der gedruckten Version erhältlich.

**Grafik 7** Spezifische Gewichte (Dichte) der Edelmetallmünzen (Aufsatz Burkhardt).



**Grafik 8** *Gewichts-Histogramm der ARDA-Prägungen (Aufsatz Burkhardt).*

**Grafik 9** *Münzbildorientierung der Buntmetall-Prägungen der Typen ARDA, HIRTIVS und GERMANUS-INDUTILLIL (Aufsatz Burkhardt).*