

# Ägyptisch Blau in NORICUM – aus NORICUM?

LUDWIG HECK

## 1 Blaue Pigmente in der römischen Welt

Caeruleum harena est; huius genera tria fuere antiquitus. „Das ‚Himmelblau‘ ist ein Sand; ehemals gab es von ihm drei Arten: das ägyptische wird am meisten geschätzt, dann das scythische, ...; diesem wird noch das kyprische vorgezogen. Hinzu kam das puteolanische und das spanische, seitdem man dort angefangen hat, den Sand aufzubereiten.“

Das war ein reichhaltiges Angebot an blauen Pigmenten, von dem uns PLINIUS im Buch XXXIII seiner „NATURKUNDE“ berichtet<sup>1</sup>; von Osten und Westen brachte man über das Meer wertvolle Farbmittel nach Rom. Die um sich greifende Prunksucht – so sagt es jedenfalls VITRUV zu Beginn der Regierungszeit des Kaisers AUGUSTUS – sorgte für Absatz und Gewinn:

„Der Beyfall, den sonst die Alten bey dergleichen Arbeiten durch Fleiß und Kunst zu erwerben suchten, den erhält man heut zu Tage durch Farben und Prunk; denn derselbe Ruhm, den ehedem des Künstlers geschickte Hand dem Gemählde verlieh, wird heut zu Tage demselben der Kosten wegen zu Theil, welche der Bauherr darauf verwandt hat. Wer unter den Alten ging nicht mit dem Zinnober – minium – ebenso sparsam als mit Medizin um? Heut zu Tage hingegen überzieht man fast allgemein ganze Wände damit. Dasselbe gilt vom Berggrün – chrysocolla –, vom Purpur – ostrum – und vom Ultramarin – armenium; bloß weil alle diese Farben, wenn sie gleich nicht mit Kunst aufgetragen werden, dennoch ungemein ins Auge fallen; und weil ihrer Kostbarkeit wegen gewöhnlich in den Contrakten – lex – besonders ausgemacht wird, daß sie von dem Bauherrn – dominus –, nicht aber dem Unternehmer – redemptor – geliefert werden müssen.“<sup>2</sup>

Wenn wir uns den Text des PLINIUS, so einfach er zu sein scheint, durch den Kopf gehen lassen, so bringt er uns Leser – und wohl auch den Übersetzer – in eine gewisse Verlegenheit:

Die drei „alten Sorten“ – gibt es da nur Qualitätsunterschiede oder handelt es sich um ganz verschiedene Materialien? Wer die Pigmente verwenden will, müsste doch wissen, wofür sie geeignet sind – PLINIUS schreibt im gleichen Zusammenhang ‚calcis inpatiens‘ – *verträgt den Kalk nicht*. Hat der Leser des PLINIUS vor fast zweitausend Jahren diese Schwierigkeiten nicht gehabt? PLINIUS schöpft aus dem Werk ‚De lapidibus‘ des THEOPHRASTUS und bedient sich der gleichen Quelle im Buch XXXVII über die Edelsteine noch einmal<sup>3</sup>:

„Es mag auch der Cyanos (kyanos) selbst genannt werden ... Der beste ist der skythische, dann der kyprische, zuletzt der ägyptische. Er wird vor allem durch Färbung imitiert, ...“

Diese Kombination von Provenienzen mehrerer Arten eines blauen Steins oder eines blauen Farbmittels war offensichtlich geläufig seit den Zeiten des THEOPHRAST, eines griechischen Philosophen des 4./3. Jh. v. Chr., Schüler und Freund des ARISTOTELES<sup>4</sup>.

Bevor wir den Versuch machen, Herkunft und Eigenschaften miteinander zu verknüpfen, sei ein Seitenblick auf unsere Gewohnheiten der Gewichtung von Qualität und Herkunft gestattet. Wenn auf dem Markt Obst oder Gemüse angeboten wird, so ist natürlich die Bezeichnung des Angebots am wichtigsten – aber ist nicht der Hinweis auf die Herkunft obligatorisch? Tomaten von da und dort – macht sich das nicht auch im Geschmack bemerkbar? Wir wollen vom flüchtigen Angebot des Marktes zu dauerhaften Waren wechseln: ‚denim‘, eine englisch-amerikanische Bezeichnung für ein unverwüstliches Baumwollgewebe, kam einmal aus Frankreich: ‚serge de Nîmes‘. Dieses Material wurde blau gefärbt mit einem blauen Farbmittel (Indigo) ‚aus Genua‘, ‚bleu de Gênes‘. Die Hosen daraus, Kultobjekte zuweilen: ‚blue jeans‘. Damit sind wir wieder bei unserer blauen Farbe.

Blau aus Cypern, *Caeruleum Cyprium*, da gibt es keine Zweifel, hängt eng mit *cuprum*, Kupfer, zusammen: Es handelt sich um das basische Kupfercarbonat, „Kupferlasur“, „Bergblau“, Azurit (Abb. 1). Nichts anderes ist *armenium*, wenn man die Verwendungsmöglichkeiten vergleicht, die PLINIUS angibt, und die heute bekannten geologischen Lagerstätten berücksichtigt. Ein Problem ist die Aufzählung des VITRUV von *armenium* unter den Farben für besonderen Prunk bei Wandmalereien: Azurit ist auf den erhaltenen Wandmalereifragmenten römischer Wüstungen nicht nachgewiesen. Gewiss ist Azurit, empfindlich gegen Brand, organische Zersetzungsprodukte und Huminsäuren<sup>5</sup>, nur in wenigen glücklichen Fällen über die Jahrtausende erhalten geblieben, aber man hat wohl

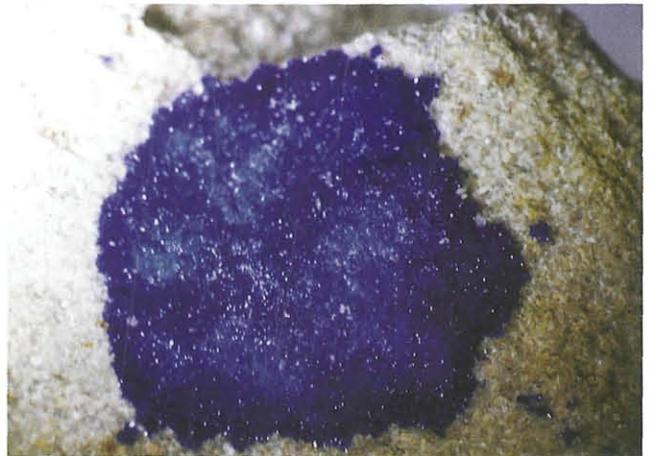


Abb. 1: Azurit auf Sandstein, Wallerfangen/Saar; Bildbreite 16mm. Aufn. L. Heck

gewusst, dass das preisgünstigere Ägyptisch Blau weitaus robuster ist.

Zur Verwirrung trägt auch die altertümliche Übersetzung von *armenium* mit „Ultramarin“ bei. Im deutschen Sprachraum ist es bis weit ins 19. Jahrhundert hinein üblich gewesen, Kupferlasur/Azurit mit dem viel kostbareren ‚Lapis lazuli‘/Ultramarin gleichzusetzen; auch Albrecht DÜRERS sorgfältige Unterscheidung dieser Farbmittel hat daran wenig ändern können<sup>6</sup>.

Das Blau der Skythen, *Caeruleum Scythicum*, kam von weither aus dem Mittleren Osten und diese Provenienz drückt sich aus in der Bezeichnung, die wir mehr als ein Jahrtausend später bei Cennino CENNINI finden: ‚azzurro oltramarino‘<sup>7</sup>, Ultramarin, ein Pigment, das aus Lapis lazuli gewonnen werden kann. Verwunderlich ist, dass dieses *Scythicum* bei PLINIUS unter den Malmitteln<sup>1</sup> an letzter Stelle steht, unter den blauen Edelsteinen<sup>3</sup> als bester genannt wird. Qualität und Echtheit des Edelsteins erkannte man an den goldenen „Fünkchen“, die aus dem Inneren leuchteten – Pyrit-einschlüsse (Abb. 2); beim Malen ging dieses Kriterium verloren und das Pulver verblasste mit zunehmender Feinheit<sup>8</sup>. Die großflächige Verwendung von Ultramarin in der römischen Wandmalerei ist bisher nicht nachgewiesen.

*Aegyptium maxime probatur* – Ägyptisch Blau wird (als Pigment) ganz besonders geschätzt<sup>1</sup>. Ein Vorteil gegenüber dem Azurit/*Cyprium* ist die schon erwähnte außerordentliche Stabilität, entscheidend im Vergleich mit Ultramarin/*Scythicum* ist die Verfügbarkeit und der Preis: Ägyptisch Blau ist ein synthetisches Pigment, aus preisgünstigen Rohstoffen mit dem richtigen ‚Know-how‘ überall in beliebiger Menge herzustellen. Das „Kochrezept“ und die Provenienz hat uns VITRUV überliefert<sup>9</sup>:

„Die künstliche Herstellung von Stahlblau wurde zuerst in Alexandria erfunden. Später errichtete auch Vestorius in Puteoli eine Fabrik. Die Erfindung, aus welchen Stoffen man

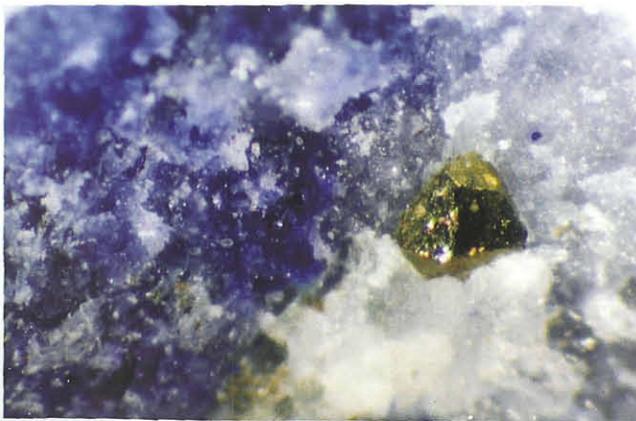


Abb. 2: Pyritkristall in Lapis lazuli, Badakhschan/Afghanistan; Bildbreite 2 mm. Aufn. L. Heck

es künstlich herstellen kann, und die Methode der Herstellung verdient große Bewunderung. Es wird nämlich Sand mit kohlensaurem Natron so fein verrieben, daß die Mischung wie Mehl wird; und kyprisches Kupfer, mit rauhen Feilen zu Raspelspänen zurechtgemacht, damit gemischt, wird (mit Wasser) besprengt, damit sich die Mischung zusammenballen lässt. Dann werden durch drehende Bewegungen mit den Händen Kügelchen geformt und diese so zusammengestellt, daß sie trocknen. Wenn sie trocken sind, werden sie in einen irdenen Topf gelegt, und die Töpfe werden in einen Glühofen gestellt. Wenn so das Kupfer und der Sand dadurch, daß sie von der Macht des Feuers erhitzt werden, zusammenschmelzen, verlieren sie, indem sie untereinander ihre Dünste abgeben und empfangen, ihre Eigenheiten und nehmen, nachdem durch die Heftigkeit des Feuers ihre Wesenheit zersetzt ist, eine blaue Farbe an.“

Dieser Text ist in voller Länge zitiert worden, weil er in dieser Arbeit eine Schlüsselfunktion hat und uns wiederholt beschäftigen wird. Im lateinischen Text ist nur von ‚*Caeruleum*‘ die Rede, aber der Verweis auf die Herkunft aus Ägypten lässt keinen Zweifel daran, dass es sich um die Synthese von Ägyptisch Blau handelt (Abb. 3). Unter der Übersetzung „Stahlblau“ kann sich der Autor wenig vorstellen; er hat, wie andere vor ihm, bei gelungener Synthese ein himmelblaues Produkt gewonnen<sup>10</sup>, das man von geläutertem Azurit mit bloßem Auge nicht unterscheiden kann.

Leider ist die Unsicherheit hinsichtlich der Zuordnung von Bezeichnungen zu einem bestimmten Material gerade bei „Ägyptisch Blau“ in unserer Zeit noch verstärkt worden. Im Lauf des vorigen Jahrhunderts war durch chemische Analysen geklärt worden, dass der Farbräger im Ägyptisch Blau ein Mineral Cupro-



Abb. 3: Pigmentkugeln, Ägyptisch Blau, Magdalensberg/Kärnten. Aufn. L. Heck

rivait mit der Formel  $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$  ist, neben dem noch in der Regel Anteile eines Glases und ein Überschuss an Quarzkörnern vorliegen. Die Bildung eines Glases kann man schon aus dem Rezept von VITRUV folgern, der Gehalt an Quarzsplintern ist bei vielen Pigmentkugeln, auch denen vom Magdalensberg, bei näherem Hinsehen leicht zu entdecken. Das klassische Ägyptisch Blau ist also eindeutig ein Gemenge aus mehreren Komponenten. Aus eigens hergestelltem Ägyptisch Blau sind vor Jahren unter anderem durch Kochen mit konzentrierter Salzsäure Einkristalle von Cuprorivait für eine Röntgenstrukturanalyse isoliert worden<sup>11</sup>. Seither ist dieser reine Stoff als ‚Egyptian Blue‘ registriert – und Chemiker und Mineralogen verstehen unter „Ägyptisch Blau“ etwas anderes als Archäologen und Museumsbesucher!

Eine weitere Unstimmigkeit ist auszuräumen, bevor wir uns der Untersuchung von Ägyptisch Blau in NORICUM zuwenden können. Die Formel des Cuprorivait's verlangt den Einsatz von Kupfer, von Verbindungen des Siliciums, Quarzsand, und des Calciums, Kalk oder Marmor, für die Synthese. VITRUV nennt Sand und Kupfer, aber keinen Kalk, sondern Soda, die dem Reaktionsgemisch Natrium zuführt. (Dieses Flussmittel bildet das unvermeidliche Glas; über dessen Verbleib ist noch zu reden.) Über den fehlenden Kalk ist viel spekuliert worden, zumal VITRUV und auch PLINIUS an mehreren Stellen darauf hinweisen, dass Kalk zum Strecken, zum Verfälschen von Farbstoffen verwendet worden ist. Sollte VITRUV das „Füllmittel“ einfach ignoriert haben? Es gibt eine einfache Erklärung, die buchstäblich „naheliegt“, wenn man den Rohstoff Sand in der Nähe des Produktionsstandorts Puteoli sucht. Bei der Beschreibung der Herstellung von Glas<sup>12</sup> hat PLINIUS eben diesen Sand beschrieben:

*„Heute aber wird auch ein im Volturnus, einem Flusse Italiens, vorkommender weißer Sand an einer Küste von sechs Meilen Länge zwischen Cumae und Liternum – dort ist er am weichsten – im Mörser oder in der Mühle zerrieben.“*

Von Puteoli aus kann man den Strand von Cumae auf der Via DOMITIANA in einer guten Stunde zu Fuß erreichen. Der Sand ist nicht analysiert, aber die Betonung, dass er an diesem Strand besonders weich sei, lässt sich nur verstehen, wenn kein reiner Quarzsand vorliegt. Der Abrieb von Muschelschalen würde den Sand „weich“ machen und dem Glas – und dem Reaktionsgemisch für Ägyptisch Blau – den nötigen Kalk zuführen. (Auch Tonmineralien könnten den Sand weich machen, aber dann wäre er wohl nicht mehr weiß.) Gestützt wird diese Spekulation durch einen anderen Hinweis von PLINIUS auf den Sand des Flusses Belos<sup>13</sup>: *„(er) hat ein tiefes Bett und läßt nur beim Zurücktreten des Meeres seine Sandmassen erkennen; diese beginnen nämlich zu glänzen, wenn sie, von den Fluten herumgewälzt und so vom Schmutz gereinigt wurden. ... Der Küstenstreifen*

*mißt nicht mehr als 500 Schritte, und doch genügte er für Jahrhunderte zur Herstellung von Glas.“* Dieser Sand ist analysiert worden, er enthält 9 bis 11 Gewichtsprozent  $\text{CaO}$ <sup>14</sup>; das Atomverhältnis  $\text{Ca}:\text{Si}$  liegt dabei um 1:6 – in der Theorie der Synthese von Ägyptisch Blau wird 1:4 gefordert, in der Praxis findet man Verhältnisse bis zu einem Si-Überschuss von 1:8. Der Sand von Cumae, den man in Puteoli verarbeitete, hat also den nötigen Kalk sehr wahrscheinlich enthalten.

Die Folgerung, dass *Puteolanum* nichts anderes sein kann als Ägyptisch Blau, wird durch die Analysen von Selim AUGUSTI<sup>15</sup> an Pigmentkugeln aus Pompeji, die man wohl als Erzeugnisse der Betriebe am Golf von Neapel ansehen darf, überzeugend gestützt. Die Verwendung verschiedener Bezeichnungen für das gleiche Material wirft die Frage auf, ob es heute noch möglich ist, die Sorten aus verschiedenen Produktionsstätten zu unterscheiden. Ein Nachweis der Provenienz wäre für vertiefte Kenntnisse der Handelsbeziehungen und für Einblicke in die Technikgeschichte von wesentlicher Bedeutung. Diese Fragestellung war der Anlass der vorliegenden Untersuchung. Der Verfasser hat sich zuvor mit dem römischen Bergbau auf Azurit im Buntsandstein des Saarlandes<sup>16</sup> beschäftigt und zeigen können, dass eine „Veredelung“ des Azurits zu Ägyptisch Blau stattgefunden hat und dass in weiten Bereichen der gallischen und germanischen Provinzen über mehr als drei Jahrhunderte Wandmalereien mit dem Pigment aus eben dieser Produktionsstätte ausgeführt worden sind<sup>10 & 17</sup>. Die Wandmalereien auf dem Magdalensberg in NORICUM, einem Gemeinwesen, das viel früher als die GALLIA BELGICA, in der die römischen Bergwerke liegen, unter römischem Einfluss stand und einen florierenden Handel trieb, stellen eine besondere Herausforderung dar: Woher kommt das Ägyptisch Blau in NORICUM?

## 2 Untersuchungen zum Herkunftsnachweis von Ägyptisch Blau

### 2.1 Glas als Informationsspeicher

Sand von ganz bestimmten Plätzen ist nach den Angaben des PLINIUS für die Glasherstellung besonders geeignet, und so ist zu seiner Zeit ein großer Teil des im Mittelmeerraum gehandelten Glases in der Nähe solcher Lagerstätten hergestellt worden. Wir wissen heute, dass dieser Sand einen wichtigen Bestandteil gängiger Gläser in das Produktionsverfahren eingeschleppt hat, Kalk mit dem Stabilisator Calcium. Es liegt auf der Hand, dass jeder Sand, außer wenn es ein ganz reiner Quarzsand ist, noch andere Begleitstoffe enthält, die für die Glasherstellung nicht gebraucht werden, ja sogar störend sein können. Die häufig vorkommenden Arkosesande bestehen zum Teil aus Feldspäten; ihr Gehalt an Kalium oder Natrium kann

vorteilhaft sein, weniger das dazugehörige Aluminium, denn es macht die Glasschmelze zähflüssiger. Der Eisengehalt gelber oder roter Sande wird sich in einer Färbung des Glases bemerkbar machen, die man in Kauf nehmen oder durch weitere Zusätze beseitigen muss, wenn man etwa farbloses Glas für Fensterscheiben wünscht.

Analysen gewöhnlicher Gläser von einer bestimmten Produktionsstätte, nach einfachem Rezept aus Sand, Kalk und Soda hergestellt (im Mittelalter hat man für die „Waldgläser“ anstelle von Soda Holzasche eingesetzt, solche Gläser enthalten vor allem Kalium, weniger Natrium), werden also vor allem die Zusammensetzung des Sandes widerspiegeln, falls man reinen Kalk und Soda in gereinigter Form benützt hat. Daraus folgt, dass man Gläser, die weithin gehandelt worden sind, durch sorgfältige Analyse einer bestimmten Produktionsstätte zuordnen kann. Dies ist die Grundlage der hier vorgelegten Untersuchung zur Provenienz von Ägyptisch Blau.

Das schon einmal angeführte Rezept für Ägyptisch Blau unterscheidet sich kaum von dem für Glas: Sand, Kalk, Soda – und dann noch eine Kupferverbindung oder metallisches Kupfer für die blaue Farbe. In den eigentlichen Farbträger Cuprorivait,  $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$ , wird das Natrium der Soda,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , nicht eingebaut; es bildet mit überschüssiger Kieselsäure ein Natronglas. In der Praxis der Pigmentherstellung wird die Mischung der Rohstoffe auf eine Temperatur zwischen 900 und 1000 °C gebracht. Dabei entsteht eine Schmelze, die homogen ist, wenn man mit heutigen Mitteln exakt die richtigen Verhältnisse an Rohstoffen eingesetzt hat; früher hat man auf einen Überschuss an groben Quarzsplittern hingearbeitet<sup>18</sup>. Nach etwa 24 Stunden kann man die Temperatur um rund 100 °C vermindern und wiederum Tag und Nacht abwarten, ehe man die Befuerung einstellt. Bei etwa 850 °C beginnen in der Schmelze kleine blaue Plättchen von Cuprorivait zu wachsen, solange der Vorrat an Ca und Cu ausreicht. Erst beim weiteren Abkühlen erstarrt die Restschmelze zu Glas, das die Zwickele zwischen den Cuprorivaitkristallen und den Quarzsplittern ausfüllt. Alle Verunreinigungen, die von den Rohstoffen in das Reaktionsgemisch eingebracht worden sind, reichern sich auf diese Weise im Glas an, besonders die Elemente Kalium, Magnesium, Aluminium und Eisen. Natürlich wird auch ein Überschuss an Ca oder Cu dort zu finden sein und sogar die Farbe des Produkts beeinflussen<sup>19</sup>.

Die Vorschrift des VITRUV, aus dem Gemisch der Ausgangsstoffe mit den Händen Kügelchen zu formen, setzt einen Überschuss an größeren Quarzbruchstücken voraus, die beim Beginn der Schmelze untereinander „verklebt“ werden und so als lockere Packung von Gesteinstrümmern die Form behalten. Die Zwischen-

räume bilden geeignete Mikrobereiche, in denen sich die angestrebte Reaktion abspielen kann. Da die Kügelchen beim Brennen in einem Keramikgefäß aufeinander gestapelt waren, kam es vor, dass sie zu zweien oder auch in größerer Zahl miteinander verbacken sind.

Einen guten Einblick in den Aufbau dieser Pigmentkügelchen gewinnt man, wenn man einen Querschnitt durch eine Kugel „unter die Lupe“ nimmt; die bestgeeignete „Lupe“ ist das Raster-Elektronen-Mikroskop (REM). Dazu wird die Probe in Kunstharz eingebettet, der Schnitt poliert und zuletzt mit einer dünnen Goldschicht belegt („besputtert“), damit die aufgestrahlten Elektronen schnell wieder abfließen können. Abbildung 4 ist ein Rückstreuelektronenbild (BEI), in dem verschiedene Stoffe unterschiedlich hell dargestellt werden. Verbindungen aus leichten Atomen erscheinen dunkler, solche mit schwereren Atomen sind heller. So erhalten wir mit einem Blick eine reichhaltige Information über das Gefüge des Ägyptisch Blau. Schwarz sind die Poren, manchmal mit einer Umrandung aus Tonmineralien, die großen mittelgrauen Trümmer bestehen aus Quarz, die hellen Krusten um diese Quarzbrocken und die Poren herum sind nach der Analyse Cuprorivait. Dazwischen bleiben kleinere Bereiche, im Grauwert zwischen Quarz und Cuprorivait; das ist das gesuchte Glas. Mit Hilfe des Maßstabs unten im Bild kann man die Größe der einzelnen Teilchen abschätzen; von einem Partikelchen, das 10 Mikrometer ( $\mu\text{m}$ ) – das ist 1/100 Millimeter – Ausdehnung hat, kann man durch Mikroanalyse mittels EDX (energy dispersive X-ray analysis) zuverlässige Analysen machen. Elemente, die leichter sind als Natrium, lassen sich nicht mehr präzise bestimmen; sie spielen bei unserer Fragestellung keine Rolle.

Der in Abbildung 4 gezeigte Ausschnitt stammt von einer Pigmentkügelchen, die mit über 70 anderen bei der Ausgrabung einer römischen *villa rustica* nahe Borg, an der römischen Straße rechts der Mosel von Metz nach Trier gelegen, gefunden worden ist. Knappe sechs Stunden Fußwegs von dieser Fundstelle nach Südosten trifft man bei Wallerfangen an der Saar auf ein bescheidenes Vorkommen von Azurit im Oberen Buntsandstein, das in römischer Zeit in mehreren

Bergwerken ausgebeutet worden ist, wie eine erhaltene Inschrift beweist<sup>16</sup>. Der weitläufige Abbau einer so wenig ergiebigen Lagerstätte zwingt zu dem Schluss, dass nicht metallisches Kupfer das Ziel dieser Aktivitäten gewesen ist, wie man bis vor einem Jahrzehnt ohne weitere

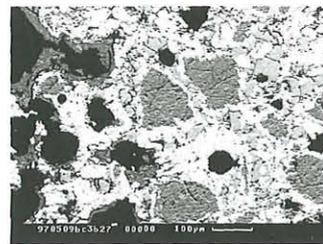


Abb. 4: Rückstreuelektronenbild vom Planschliff einer Pigmentkügelchen, Borg/Saar. Aufn. L. Heck

Begründung annahm, sondern ein oder mehrere „veredelte“ Produkte, die sich dank knappem Angebot und lebhafter Nachfrage mit Gewinn verkaufen ließen. Die Arbeitshypothese des Verfassers, dass die Bautätigkeit in den gallischen und germanischen Provinzen einen wachsenden Bedarf an Pigmenten für Wandmalereien erwachsen ließ und dass so ein weites Absatzgebiet für Ägyptisch Blau aus Wallerfänger Azurit bestand, ist inzwischen durch Analysen an Pigmentkugeln und vor allem an Wandmalereifragmenten bestätigt<sup>17 & 18</sup>.

Dennoch wird man sich kritisch fragen müssen, ob die weite Verbreitung vielleicht nur vorgetäuscht ist, weil die angewandte Untersuchungsmethode doch nicht die erwartete Unterscheidung zulässt. Dazu braucht man Vergleichsmaterial, das sicher von einer anderen Produktionsstätte stammt. Die ursprüngliche Idee, Pigmentkugeln aus Pompeji zu analysieren, hat der Verfasser trotz einer Genehmigung des zuständigen Ministeriums<sup>20</sup> zurückgestellt, weil man damit rechnen muss, neben dem Material aus Puteoli auch Importe aus Ägypten und sogar das von PLINIUS genannte *Caeruleum Hispaniense* im Fundmaterial anzutreffen. Pigmentproben und Wandmalereifragmente im Archäologischen Park Magdalensberg/Kärnten sind dem Verfasser von mehreren Besuchen bekannt; hier ist ein einheitliches und gut datiertes Material zu erwarten. Der große Abstand zum Saar/Mosel-Raum und besonders die frühe Aufgabe der Siedlung auf dem Magdalensberg schließen Importe aus der GALLIA BELGICA praktisch aus. Damit sind Proben vom Magdalensberg geradezu ideal für die beschriebene Fragestellung<sup>21</sup>.

## 2.2 Elementprofile von Glas im Abrieb von Pigmentkugeln

Blaue Pigmentkugeln aus einem Material, das PLINIUS *barena*, Sand, nennt, müssen sich leicht zu feinkörnigem Pulver verarbeiten lassen, damit man das Farbmittel mit einem Bindemittel anrühren und in dünner Schicht auf die vorbereitete Wand auftragen kann. Aus dem Bestand des Archäologischen Parks Magdalensberg erhielt der Verfasser im Dezember 2002 eine Probe von etwa 0,2 g Abrieb solcher Pigmentkugeln, ungleichmäßig körniges Material, unter dem Mikroskop teils tiefblau, teils farblos durchsichtig, mit wenigen braunen und grünen Beimengungen. Zur Datierung war angegeben „Probe 1, 1. Jht. v. Chr. bis 1. Jht. n. Chr.“. Die Probe wurde im Porzellanmörser leicht gerieben, um eine gleichmäßigere Körnung zu erreichen, und auf einen Träger von 13 mm Durchmesser mittels einer beidseitig haftfähigen Folie befestigt, die durch einen hohen Graphitgehalt elektrisch leitfähig ist. Ein Ausschnitt dieser Probe, NORICUM 1.1, wird in Abbildung 5 gezeigt; die blauen Brocken sind zusammengesetzt aus kräftig farbigen und blassen Partikeln, daneben sind abgerollte Quarzkörner deutlich zu erkennen.

Eine zuverlässige Analyse unter dem Elektronenmikroskop setzt voraus, dass auch die Oberfläche aller Partikel den elektrischen Strom leitet – dazu wurde die Probe 20 Sekunden lang mit Gold „besputtert“. Eine weitere, ganz wesentliche Voraussetzung für Punktanalysen ist mit einem Pulver dieser Art kaum zu realisieren: Die bestrahlte Fläche muss in einem Winkel von 35 Grad zum Röntgendetektor liegen. Für eine eher qualitative Analyse – die Unterscheidung von Quarz und Feldspat etwa – ist das weniger wichtig, doch für die angestrebte Analyse von Glasphasen muss man nach solchen Flächen suchen. Die Schwierigkeiten dieser Aufgabe werden offensichtlich beim Betrachten der Abbildung 6 – das Pigmentbruchstück von etwa 0,4 mm Ausdehnung ist total zerklüftet, aber die beiden mit Pfeilen markierten Stellen weisen auf kissenförmig gerundete Glasbruchbereiche hin, von denen jede eine Anzahl Mikroanalysen lieferte. Man muss notwendigerweise für jeden Analysenpunkt prüfen, ob alle



Abb. 5: Ägyptisch Blau – Kugelabrieb auf Träger; Probe NORICUM 1.1; Bildbreite 2 mm. Aufn. L. Heck

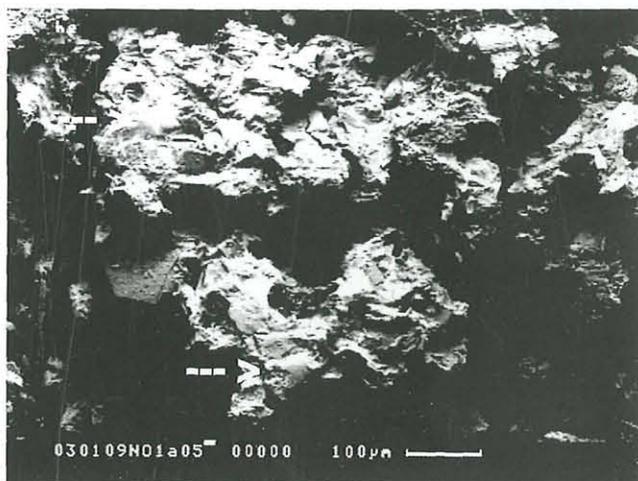
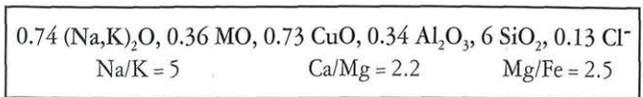


Abb. 6: Pigmentbruchstück, Rückstreuerelektronenbild, Glasphasen markiert. Aufn. L. Heck

Bedingungen erfüllt sind – und dabei beachten, dass nicht durch zu starkes Bestrahlen der Natriumgehalt an dieser Stelle vermindert wird. Nur ein Teil der Analysen hält dieser Bewertung stand, und die Durchschnittswerte dieser Ergebnisse sind in kürzester Form hier zusammengefasst. Von den jeweils bestimmten zehn bis zwölf Elementen sind alle aufgeführt, die in nachweisbaren Mengen vorkommen und zugleich für eine Unterscheidung hilfreich sind. Spurenelemente sind mit der EDX-Mikroanalyse nicht zugänglich.

Auf einen wesentlichen Unterschied zur gängigen Präsentation von Analysenwerten sei noch hingewiesen: Es ist in der Fachliteratur üblich, den Gehalt an Elementen oder Oxiden in Gewichtsprozenten anzugeben. Das ist wichtig für technische Belange, etwa wie viel Metall sich aus einem Erz gewinnen lässt, aber der chemisch-mineralogische Hintergrund – als Hinweis auf Verbindungen oder Gemische – geht dabei verloren. Hier wird die Angabe der Gehalte von Elementen in Atomprozenten beibehalten, wie sie das Analysenprogramm als erstes Ergebnis auswirft. Kleine ganzzahlige Verhältnisse solche Elementgehalte können rasch zu chemischen Formeln hinführen.

Dem Glas, das keine chemische Verbindung, sondern im geschmolzenen Zustand ein Gemisch mit einem breiten Variationsbereich ist, schreibt man trotz allem eine Art Formel zu; für das gängige Kalk-Natron-Glas, aus dem Flaschen oder Fensterscheiben gefertigt werden, das „Normalglas“, gilt in guter Näherung  $\text{Na}_2\text{O} * \text{CaO} * 6 \text{SiO}_2$ . Durch die Verwendung reiner Ausgangsstoffe vermeidet man die Einschleppung von Verunreinigungen, die die Qualität des Glases schon in geringen Mengen beeinträchtigen. Solche Randbedingungen hat es bei der Herstellung von Ägyptisch Blau nicht gegeben, und so findet man eine weit größere Liste von Elementen: neben Natrium noch Kalium, als Begleiter von Calcium und Silicium noch Magnesium und Eisen, natürlich Kupfer, das man ja absichtlich zugesetzt hat, dann auch noch Aluminium in nennenswerten Anteilen. Zum Vergleich mit dem Normalglas sind in dieser Arbeit die Gehalte auf sechs Mol Siliciumdioxid bezogen; so erhält man eine „Formel“, in der M die zweiwertigen Metalle Ca, Mg und Fe zusammenfasst:



Formeln dieser Art sind schwierig zu lesen und sie bieten nur dem Fachmann wichtige Informationen, etwa über „Flussmittel“ und „Stabilisatoren“. Für einen Vergleich verschiedener Glasproben, bei dem die Unterschiede im Gegensatz zu langen Zahlenreihen „ins Auge springen“, wird hier eine Graphik vorgestellt, in der Glaskompo-

ponenten, absichtliche Zusätze und Begleitelemente, zumeist Verunreinigungen der Rohstoffe, nebeneinander und in passend gewählten Maßstäben eingetragen werden: das „Elementprofil“ der Gläser. Zur Erläuterung sind in Abbildung 7 nur zwei Gläser eingetragen, das Normalglas – die Felder „Zusätze“ und „Begleitelemente“ bleiben leer – und dann das Glas im Kugelabrieb, Probe NORICUM 1.1.

Kalium wird bei den Komponenten geführt, weil es neben oder anstelle von Natrium als Flussmittel verwendet werden kann; seine Herkunft ist nicht geklärt. In anderen Gläsern später gezeigter Proben stammt es nachweislich aus Kalifeldspat.

Ganz überraschend hoch ist mit 0,73 Mol CuO pro 6 Mol Kieselsäure der Zusatz an Kupfer, der natürlich, absichtlich herbeigeführt, innerhalb weiter Grenzen schwanken kann. Die Begleitelemente Magnesium, Aluminium und Eisen bieten ein ganz charakteristisches Profil. Auf den außerordentlich niedrigen Eisengehalt sei besonders hingewiesen; der Einsatz eines derart reinen, eisenarmen Quarzsandes ist in anderen Proben bisher nicht beobachtet worden. Weitere Kommentare und Schlussfolgerungen werden sich beim Vergleich mit Proben aus den gallischen und germanischen Provinzen in Abbildung 8 ergeben. Dort ist das Pigment „Ägyptisch Blau – Typ Borg“, genannt nach dem Fundort der ersten Kugeln, deren Glasphasen systematisch untersucht worden sind. Der „Typ Trier“, der später besprochen werden soll, hat einen hohen Bleigehalt, der im „Kochrezept“ für „gewöhnliches“ Ägyptisch Blau nicht vorgesehen ist.

In der Abbildung 8 wird NORICUM 1.1 mit sechs Proben verglichen, von denen drei aus Borg stammen: Kugeln (Mittelwerte aus drei untersuchten Exemplaren), ein Wandmalereifragment und ein gut datiertes Bruchstück eines größeren Präparats, dessen Sonderstellung auf eingeschlossenen Tigelrümern beruht<sup>22</sup>. Ein weiteres Wandmalereifragment stammt aus der Apsis der Badeanlage eines bekannten Gutshofs (*villa rustica*)

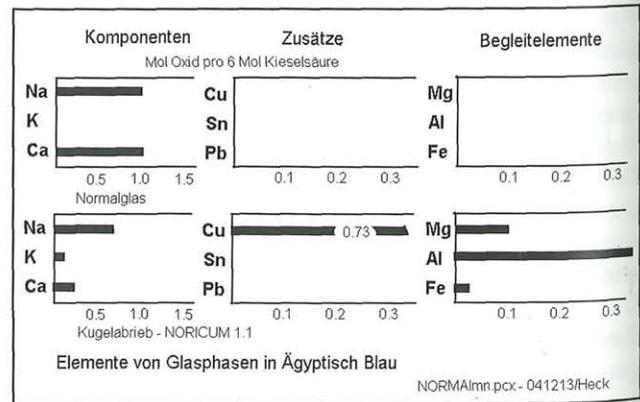


Abb. 7: Elementprofil von Glasphasen in Ägyptisch Blau. Aufn. L. Heck

von Mülheim-Kärlich (MYK)<sup>23</sup>, aus Trier ein Scherben mit dem Rest einer streichfertig angemachten Mischung von Ägyptisch Blau mit Kalkmilch und – aus uraltem Bestand des Rheinischen Landesmuseums – die ungewöhnliche Probe TLO1<sup>24</sup>. Auf einem Ziegelfragment (*tegula*) ist eine Menge Pigmentpulver, wohl einige hundert Gramm, verteilt; das Ganze befindet sich in einem Karton mit einer Notiz auf einem Zettel „Odel-fangen“. Einer solchen Probe unsicherer Herkunft und Vorgeschichte würde man keine besondere Beachtung schenken – aber diese zeigt beim Vergleich der Elementverhältnisse Gemeinsamkeiten mit dem Kugelabrieb vom Magdalensberg. So habe alle Präparate, die aus dem Wallerfanger Azuritsand hergestellt sind, einen Eisengehalt, der höher als der Magnesiumgehalt ist – genau wie es für den Sand selbst gilt. Im Abrieb von NORICUM ist aber der Gehalt an Mg mehr als doppelt so groß wie der von Fe; nicht ganz so ausgeprägt, aber doch noch deutlich abgestuft, gilt dies

auch für die Probe TLO1. NO 1.1 hat von allen Proben den höchsten Cu-Gehalt, an zweiter Stelle folgt TLO1. Bei näherem Hinsehen wird jedoch schnell klar, dass dieser Vergleich in die Irre führt: Der Eisengehalt in TLO1 ist mehr als dreimal so hoch wie in NO 1.1; nur weil TLO1 den mit Abstand höchsten Gehalt am Begleitelement Magnesium hat, ergibt sich das „passende“ Verhältnis. Ein Wort noch zum Aluminium, das in allen Proben in nahezu konstantem Gehalt auftritt und deswegen zur Unterscheidung nicht beiträgt. In die Produkte aus Wallerfanger Azuritsand wird es in Form von Kalifeldspat und von Kaolinit eingeschleppt, die beide im Sand enthalten sind; das Atomverhältnis von Aluminium zu Kupfer im Sand bleibt in den Pigmentkugeln (Analyse von Glas und Cuprorivaite) praktisch erhalten. Ein vergleichbar hoher Al-Gehalt sollte in NO 1.1 beim Einsatz reinen Quarzsandes nicht zu erwarten sein. Hier liefern uns Synthesversuche für Ägyptisch Blau eine nahe liegende Erklärung: Fabienne LAVENEX VERGÈS hat acht bis zehn Gewichtsprozent Tonmineralien – dazu gehört auch Kaolinit – zugesetzt, damit die zu brennenden Massen ihre Form behielten<sup>25</sup>.

Auf der Grundlage dieses Vergleichs kann man mit Sicherheit sagen, dass die Pigmentkugeln vom Magdalensberg in einer Produktionsstätte hergestellt worden sind, wo ein reiner Quarzsand in unmittelbarer Nähe gewonnen werden konnte. Das Verfahren war ausgereift; die Verwendung von Ton zur Stabilisierung der Form der Kugeln beim Trocknen ist wahrscheinlich.

Diese Ergebnisse einer Voruntersuchung haben die ausführliche Beschäftigung mit einem Wandmalereifragment des Iphigeniekomplexes (Abb. 10) vollauf gerechtfertigt.

Noch eine Beobachtung sei, weil sie nach so vielen ernstesten Aussagen zum Schmunzeln einlädt, nachgereicht: Auf einigen der scharfen Brocken der Probe fanden sich Spuren von Metallabrieb. Die Analyse ergab einen guten Stahl mit einem Chromgehalt, wie er bei den Klingen heutiger Taschenmesser üblich ist. Diese „heiße Spur“ wurde nicht weiterverfolgt.

### 3 Ein Wandmalereifragment des Iphigeniekomplexes<sup>26</sup>

Pigmentpulver kann durch Mikroanalyse unter dem Elektronenmikroskop eindeutig identifiziert werden und seine Zusammensetzung ist – soweit es Grundstoffe betrifft, die nicht gerade zu den zehn leichtesten im Periodensystem der Elemente gehören (Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff z. B.) – zuverlässig zu ermitteln. Probleme gibt es aber, wenn das Pulver ein Gemenge aus mehreren Verbindungen ist; dies ist beim Ägyptisch Blau der Fall. Da hilft nur eine peinlich genaue Ausrichtung einer völlig ebenen Oberfläche in einem bekannten Winkel zum Röntgendetektor,

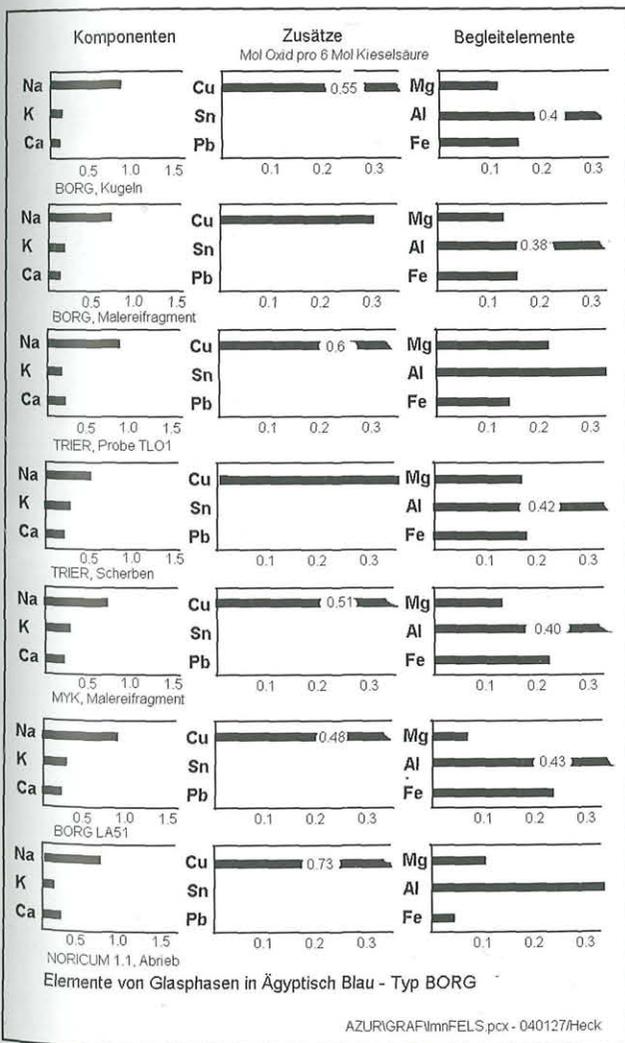


Abb. 8: Elementprofile von Glasphasen in Ägyptisch Blau - Typ BORG. Aufn. L. Heck

der bei der Auswertung berücksichtigt werden muss. Das erreicht man mit einem Querschnitt durch Mal- und Putzschicht eines Wandmalereifragments, Einbettung des Abschnitts in Kunstharz und sorgfältigem Planschliff, zuletzt mit ganz feinkörnigem Schleifmaterial. Zuvor muss man aber mit der ursprünglichen Oberfläche der Proben vertraut sein, um den Schnitt so zu legen, dass optimale Ergebnisse zu erwarten sind.

Dazu wurden die Proben unter dem Stereomikroskop durchgemustert und alle wichtigen Beobachtungen fotografisch dokumentiert.

### 3.1 Cuprorivait in der Probe NORICUM 3.1

Schon bei der Auswahl der Proben fiel auf, dass in den Resten der Malschicht – der weitaus größte Teil ist verloren – himmelblaue, glitzernde Plättchen von einer Größe erhalten sind, die in den „gewöhnlichen“ Wandmalereifragmenten und auch in dem beschriebenen Kugelabrieb nicht vorkommen (Abb. 9). Ein besonders stattliches Stück (Abb. 11) wurde aus der Oberfläche herauspräpariert und auf einem Probenträger



Abb. 10: Iphigenia Taurica, Freskobruckstück vom Magdalensberg. Aufn. U. P. Schwarz

als NORICUM 3.3 unter das Elektronenmikroskop gebracht; dies erlaubt einen Vergleich von optischer und elektronenmikroskopischer Wiedergabe (Abb. 12). Mit Hilfe des Maßstabs kann man ermitteln, dass dieses Plättchen mehr als 0,2 mm breit und knapp 0,5 mm lang ist – dem Autor sind Exemplare vergleichbarer Größe bisher nicht bekannt geworden (Stand: Ende 2004). Diese „Wichtigtuerei“ hat einen ganz praktischen Hintergrund: Wir werden über ein noch nicht beschriebenes Herstellungsverfahren nachdenken müssen; Cuprorivaitplättchen von mehr als 0,1 mm können in den „Mikrobereichen“ der Kügelchen à la VITRUV nicht wachsen, sie würden allseits von dem „Gerüst“ von Quarzkörnern eingengt.

Von der Analyse selbst ist bei einem aus der Umgebung herausgelösten Teilchen keine neue Information zu erwarten, denn Cuprorivait ist als chemische Verbindung immer konstant zusammengesetzt, einerlei wie man diese herstellt oder wo man sie findet. Aber die Form

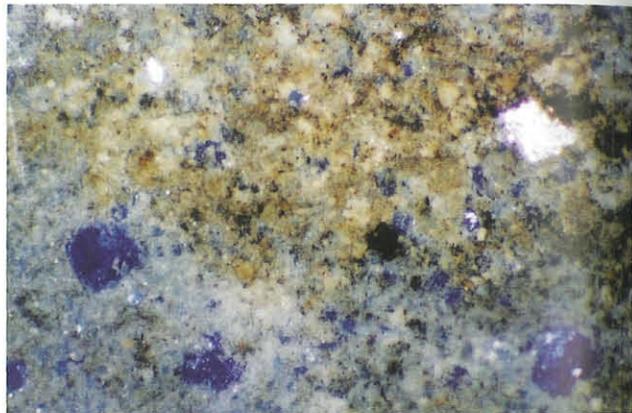


Abb. 9: Wandmalereifragment NORICUM 3.1 – Reste der Malschicht – Cuprorivaitplättchen (blau) und Glimmer (bell) – Bildbreite 2 mm. Aufn. L. Heck

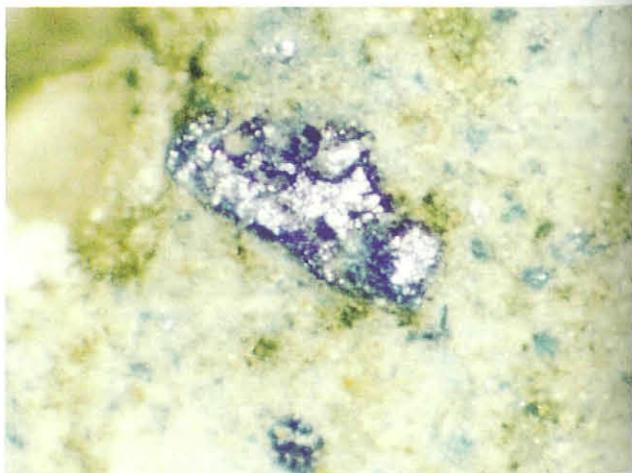


Abb. 11: Großes Cuprorivaitplättchen in der Malschicht – Ausschnitt etwa 1 mm. Aufn. L. Heck

des Teilchens verrät doch bei näherem Hinsehen etwas über den inneren Aufbau: Cuprorivait ist ein Schichtsilikat, ähnlich wie Glimmer in dünnste Plättchen spaltbar. Dies zeigt uns bei hoher Vergrößerung die Abbildung 13; man kann an der Höhe der Bruchkanten abschätzen, dass die einzelnen Lagen nicht dicker als 5 µm sind. Ob dazwischen hauchdünne Glasschichten eingeschoben sind, lässt sich in der Draufsicht nicht erkennen. Die Oberfläche ist stellenweise etwas dunkler und weniger glatt; dort ließen sich Reste des Bindemittels Kalk nachweisen.

### 3.2 Die Putzschicht – wie aus dem Lehrbuch – *satis splendoris habet*

Nach dieser ungeplanten Exkursion wenden wir uns wieder dem Fragment zu, um es näher kennen zu lernen.

Es war vom Absender kurz beschrieben „Probe 3 – Magdalensberg – Wandmalereifragmente des sog. Iphigeniekomplexes; Datierung 30er Jahre v. Chr.“. Die Auswahl traf ein angenähert rechteckiges Stück von der Größe einer Briefmarke (18x30 mm); in der Abbildung 14 sieht man an der Oberkante links vom runden Ausbruch das vorher gezeigte Cuprorivaitplättchen NORICUM 3.3 (Abb. 11). Parallel zur rechten Kante wurde ein Streifen abgetrennt, in Kunstharz eingebettet und plangeschliffen<sup>27</sup>. Vor der Belegung mit Goldnebel

zu einer leitfähigen Schicht wurde die Probe NORICUM 3.11 unter dem Stereomikroskop durchgemustert; von Details der Putzschicht, die später analysiert werden sollten, wurden Fotos aufgenommen; die Reste der Malschicht wurden vollständig dokumentiert. Die Probe in ihrer gesamten Ausdehnung zeigt Abbildung 15; diese Putzschicht verdient eine nähere Würdigung und eine vergleichende Diskussion, bevor wir uns schließlich den Pigmentkörnern in den Resten der Malschicht zuwenden.

Die Schnittfläche auf dem Foto ist nicht völlig gleichmäßig ausgeleuchtet, deshalb sind im Zentrum in einer creme-weißen Grundmasse die eingebetteten Körner honigfarben – das entspricht dem Eindruck am Tageslicht, das Braun der Brocken zum linken Rand hin rührt eher von einer Unterbelichtung her. Die Zuschläge sind meist unter 1 mm groß, nur wenige überschreiten dieses Maß. Aus wie vielen Schichten dieser Putz aufgebaut war, lässt sich nicht ermitteln, die vorliegende Probe ist nur 8–10 mm dick; klassischer Putz war in der Regel viel stärker. Aber eine Betrachtung aus gebührendem Abstand und verändertem Blickwinkel ist aufschlussreich; dazu lässt man das Auge von der Gasblase unten im Kunstharz nach oben bis in die Mitte des Bildes wandern, die eine dunkle „Kartoffel“ markiert. Wenn man von dort das Auge parallel zur Malschicht nach links bis zum Bildrand führt, findet man einen schmalen Bereich, auf dem kein einziges Trümmerstück von der Größe dieser „Kartoffel“ liegt: Hier wurde der darunter liegende Putz sorgfältig geglättet. Später wurden noch gut 4 mm aufgetragen, aber sicher nicht in einem einzigen Arbeitsgang. Rein intuitiv würde der Verfasser diese 4 mm im Verhältnis 3:1 aufteilen, also 1 mm unter der Malschicht noch einmal einen Streifen ohne grobe Körner sehen wollen. Diesmal sind wir nicht auf Spekulationen angewiesen, denn die *pictores parietarii*, Maler<sup>28</sup>, haben uns einen Markierungsstreifen aus Ocker hinterlassen, der an der

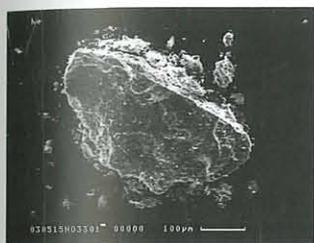


Abb. 12: Probe NORICUM 3.3 – Sekundärelektronenbild. Aufn. L. Heck

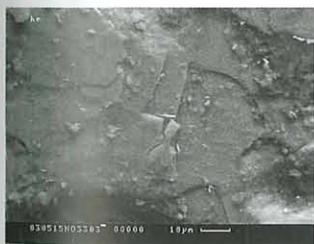


Abb. 13: Plättchenstruktur von Cuprorivait. Aufn. L. Heck

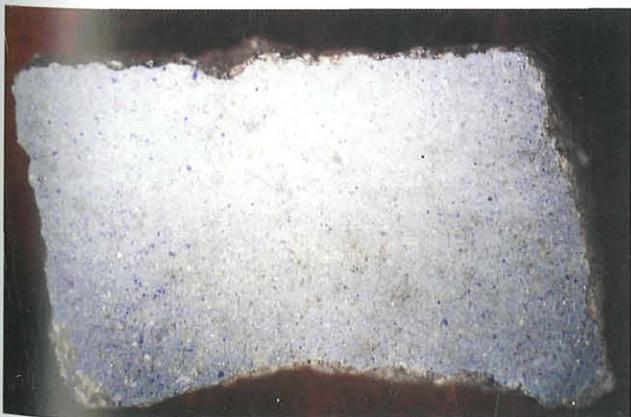


Abb. 14: Wandmalereifragment vom Iphigeniekomplex – 30 x 18 mm. Aufn. L. Heck



Abb. 15: Probe Noricum 3.11 – Planschliff – Breite 18 mm. Aufn. L. Heck

rechten Bruchkante der Probe gerade noch erfasst worden ist (Abb. 16). Er ist gut 10 µm dick, etwa 0,3 mm Breite sind erhalten. Diese Markierung hat nur dann einen Sinn, wenn sie der Maler beim Auftragen der Farbe noch gut sehen konnte. Tatsächlich ist die oberste Schicht, der Deckputz, ein Mörtel aus Kalk, transparentem Calcit-Marmor und zugemischten wasserhellen Glimmerplättchen (Muskovit), gerade 1 mm stark. In dieser Zusammensetzung unterscheidet er sich nicht von den beiden darunter liegenden Schichten, aber man findet zusätzlich eingestreute Brocken des blauen Pigments (in Abb. 16 die helle Partikel, etliche blaue Punkte in Abb. 15) und dann – stellenweise eingearbeitet – feingeriebene Holzkohlepulver (Abb. 17). Spuren der Holzkohle findet man auch im Zentrum der Abbildung 9.

Die Marmorsplitter in den unteren Putzschichten sind von verschiedenen Mineralien begleitet, die gar – wie Calciumphosphat und Quarz – vom Marmor umschlossen sind; daneben wurden Zirkon und Monazit, ein Phosphat von Cer und anderen Seltenen Erden, nachgewiesen. Etliche der etwas häufigeren Eisenoxid-Brocken erweisen sich als Endprodukte einer Oxidation von Pyrit, wie man an der schon erwähnten „Kartoffel“ (Abb. 18) beobachten kann; hier hat sich unter einer Kruste von Eisenoxid der Pyritkern erhalten<sup>29</sup>.

Diese Beimengungen stören den Gesamteindruck nicht: Einfallendes Licht kann in die oberen Putzschichten eindringen, wo es an Kristallflächen von Calcit oder an Glimmerplättchen reflektiert wird und so eine Tiefenwirkung, ein Leuchten von innen erzeugt. Das ist perfekter Glanz, *splendor*, wie ihn PLINIUS fordert: *Wenn ein Wandverputz nicht dreimal mit Sand – und zweimal mit Marmor Mörtel aufgetragen wurde, hat er niemals genug Glanz*<sup>30</sup>. Dieser Verputz entspricht in vollem Umfang den Anforderungen: *satis splendoris habet*.

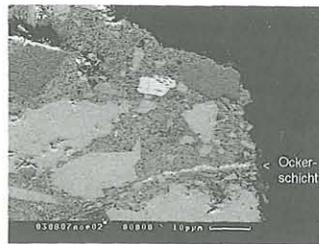


Abb. 16: Markierungsstreifen aus Ocker – 10 µm dick. Aufn. L. Heck

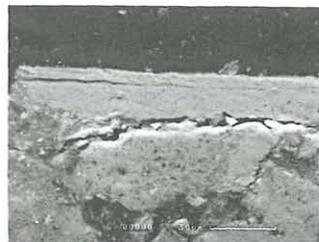


Abb. 17: Glimmerplättchen, darunter Mörtel mit Holzkohlepulver. Aufn. L. Heck

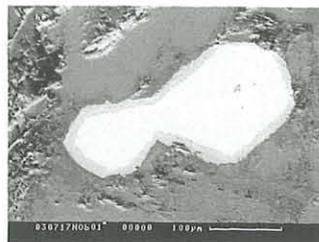


Abb. 18: Pyritkristalle mit Eisenoxid-Kruste. Aufn. L. Heck

Den ganz eklatanten Unterschied zu späteren Malereien in den nordwestlichen Provinzen des römischen Reiches belegen die folgenden Bilder. Es muss offen bleiben, ob ein oder zwei Jahrhunderte zu einem Niedergang der handwerklichen Fertigkeiten geführt haben. Sicher ist aber, dass in den germanischen Provinzen und der Gallia Belgica – im Gegensatz zu NORICUM – hochwertiger Marmor nur im Wege des Fernhandels beschafft werden konnte. So beobachtet man die Verwendung von einheimischen Zuschlägen im Mörtel: Marmor in NORICUM (Abb. 19), Putz „recycling“ und Flusskiesel in Mülheim-Kärlich im Rheintal (Abb. 20) und schließlich Brocken von Basaltlava (schwarz) in einem Wandmalereifragment von einer Wüstung in der Eifel (Abb. 21) – eine Vulkankuppe, auch heute noch als Steinbruch ausgebeutet, liegt weniger als 1 km von der Wüstung entfernt.

### 3.3 Blei im Blau – Analysen von Glasphasen

Herkunftsnachweis – das ist die Aufgabenstellung, die uns durch diese Arbeit begleitet. Im gewöhnlichen Verputz – die Bilder zeigen es – ist Material aus der



Abb. 19: Putzschichten aus Marmor – NORICUM – Bildbreite 13 mm. Aufn. L. Heck

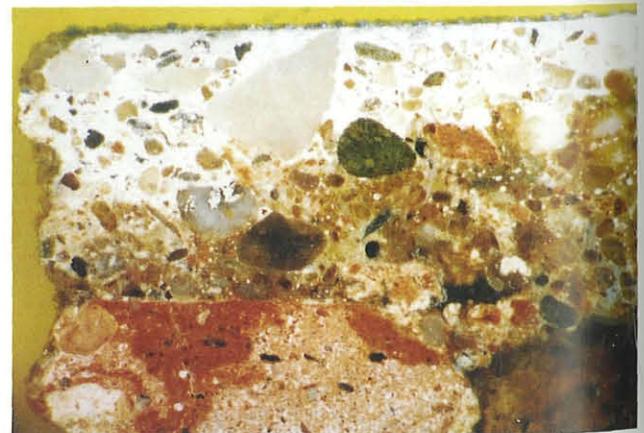


Abb. 20: Putzschicht mit Flusskieseln – Mülheim-Kärlich – Bildbreite 13 mm. Aufn. L. Heck

unmittelbaren Umgebung verarbeitet. Im Gegensatz zum Mörtel werden die Pigmente nur in kleinen Mengen – pfundweise – gebraucht und lassen sich so über weite Strecken transportieren; dabei nehmen sie ihren „Fingerabdruck“ mit, der die Lagerstätte kenntlich macht oder den sie von den Rohstoffen bei der Produktion bekommen haben.

Die Suche nach Glasphasen in den Pigmentkörnern der Probe NORICUM 3.11 – zu Beginn natürlich bei den auffallendsten Exemplaren – führte zu einem ernüchternden Ergebnis: Glas wurde nicht gefunden. Diese dem Autor nicht ganz neue Erfahrung hat in Untersuchungen des vergangenen Jahrzehnts wiederholt zu dem voreiligen Schluss geführt, Ägyptisch Blau sei mancherorts ohne Flussmittel hergestellt worden<sup>31</sup>. Die Begründung für das Fehlen ist nahe liegend und sehr einfach: Ägyptisch Blau wird mit Kalkmilch als Bindemittel aufgetragen auf einen Putz aus gelöschtem Kalk und Zuschlägen. Gelöschter Kalk, Calciumhydroxid, ist keineswegs unlöslich in Wasser, sondern bildet mit Feuchtigkeit ein stark alkalisches Medium, das Glas im Lauf von Jahren oder Jahrzehnten völlig zerstören kann. Gewiss kann das Kohlendioxid der Luft die aggressive Lösung schließlich in „harmloses“ Calciumcarbonat überführen, aber wenn beim Trocknen des Mörtels die Feuchtigkeit aus Gemäuer und Putz für stetigen Nachschub von Calciumhydroxid von innen nach außen führt, dann bildet sich eine Kalksinterschicht erst an der Oberfläche der Malschicht. Die zerstörerischen Vorgänge darunter werden nur gebremst, nicht verhindert. Aus dieser Sicht wird verständlich, was PLINIUS vom Ägyptisch Blau schreibt: „usus in creta, calcis inpatiens – Man verwendet es auf Kreide, denn es verträgt den Kalk nicht.“<sup>32</sup> Dem hat man entgegengehalten, Cuprorivait sei eine chemisch sehr stabile Substanz, die weder von Säuren noch von Laugen angegriffen werde. Da aber das Pigment Ägyptisch Blau

ein Gefüge aus Cuprorivaitpartikeln mit Glas in den Zwischenräumen ist, fällt Cuprorivait von der bemalten Wand in dem Maße ab, wie das Glas durch Korrosion verloren geht. Solche sekundären Veränderungen können den aktuellen Befund in so erheblichem Maße beeinflussen, dass der ursprüngliche Zustand sich kaum rekonstruieren lässt.

Die Modellvorstellung einer „Strömung“ von innen nach außen als Folge der Verdunstung von Wasser an der Oberfläche der Wandmalerei bedarf noch einiger Erläuterungen. Es handelt sich um eine Kapillarströmung; der Ablauf dieses Vorganges, Strömungsgeschwindigkeit und -richtung, wäre nur auf der molekularen Ebene, also weit unterhalb der Sichtbarkeit auch bei sehr starker Vergrößerung, zu beobachten. Unsere Wahrnehmung erfasst nur das Resultat einer langen zeitlichen Entwicklung. Dennoch kann dieses Modell hilfreich sein bei der Suche nach unzerstörtem Glas: Ein Felsblock lenkt die Strömung ab; dahinter

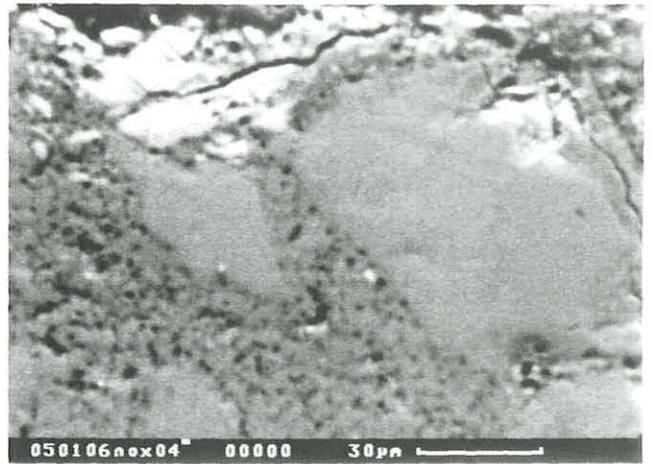


Abb. 22: Pigmentstücke, oben links, geschützt durch Marmorbrocken. Aufn. L. Heck

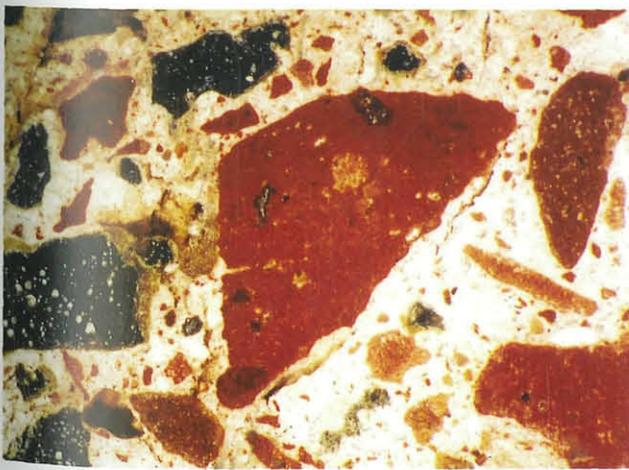


Abb. 21: Putzschicht mit Ziegelsplitt und Basaltlava – Steffeln/Eifel – Bildbreite 13 mm. Aufn. L. Heck

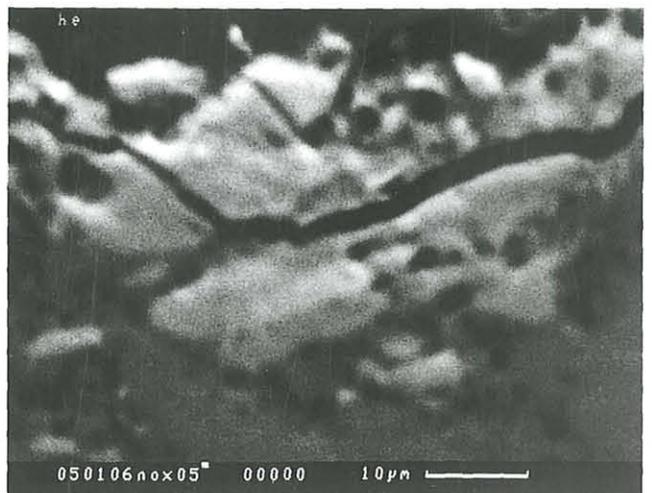


Abb. 23: Pigment „sandwich“; bellere Einlage: Gl. Aufn. L. Heck

gibt es eine ruhigere Zone mit stark verringertem Materialtransport – „Windschatten“ wäre ein anderes Bild.

Abbildung 22 zeigt einen solchen Bereich: Zwei Marmor„brocken“ bilden eine Barriere von gut 120 µm Breite, durch diese geschützt ein Pigmentaggregat (im Bild oben links, hell). Dieses Teilchen, im Rückstreuelektronenbild (Abb. 23) stark vergrößert, hat einen sandwichartigen Aufbau: Zwei Plättchen aus Cuprorivait (unter dem Riss) umschließen einen helleren Streifen von knapp 5 µm Breite – nach der Mikroanalyse Glas. Mit Hilfe des neuen Suchkriteriums wurden neun Pigmentaggregate in „geschützten Bereichen“ gefunden, die ausreichend große Glasreste für zuverlässige Analysen boten. Das sind zwar weniger als zehn Prozent aller durchgemusterten Farbmittelkörner, aber sie machen den weitaus größten Teil der analysierten Glasphasen aus. Die Körner im Deckputz und die in der Malschicht entstammten der gleichen Charge – ihre Analysen unterscheiden sich nur im Rahmen der normalen Streuung. Aus 26 Analysen an fünf Messtagen ergeben sich die Mittelwerte (Atomprozent) der folgenden Tabelle (s ist die Standardabweichung).

Tab. 1: Mittelwerte von Glasanalysen – NORICUM – NO 3.11 – n = 26

Elem.	Si	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Cu	Sn	Pb	Cl
Mitt.	24.8	5.8	0.27	0.57	1.6	0.70	0.26	3.1	0.50	0.70	0.52
s	0.6	1.4	0.06	0.17	0.4	0.24	0.09	0.2	0.19	0.20	0.10

Aus den Ergebnissen wird zum Vergleich die folgende „Formel“ berechnet:

0.7(Na,K) <sub>2</sub> O, 0.59 MO, 0.17 PbO, 0.12 SnO, 0.75 CuO,		
0.09 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 6 SiO <sub>2</sub> , 0.13 Cl <sup>-</sup>		
Na/K = 20	Ca/Mg = 2.8	Mg/Fe = 2.2

Ein Unterschied zu den Elementgehalten im Kugelabrieb sei zuerst angesprochen: der sehr niedrige Wert für Aluminium. Bei den Pigmentkugeln war ein Zusatz von Tonmineralien angenommen worden, der hier sicher nicht vorliegt; dementsprechend ist auch der Kaliumgehalt deutlich erniedrigt. Neu und überraschend ist das Auftreten von Blei; vor allem diesem sehr schweren Atom ist zuzuschreiben, dass das Glas im Rückstreuelektronenbild heller erscheint als Cuprorivait. Das Zinn ist nicht als Begleiter des Bleis anzusehen; es tritt immer dann auf, wenn für die Synthese von Ägyptisch Blau das Kupfer nicht in Form

von Azurit/Malachit oder als reines Metall, sondern als Bronze eingebracht wurde. Nur ein Teil des Zinns wird vom Glas aufgenommen, ein anderer wird in Zinndioxid (Zinnstein) übergeführt, das seinerseits teilweise mit Cuprorivait zu Malayait<sup>33</sup>, CaSn[O/SiO<sub>4</sub>], reagiert. Dieses Nebenprodukt des Pigments springt im REM-Bild in die Augen; in dem mittelgrauen Malayait der Abbildung 24 sind ganz helle Reste von Zinnstein unverbraucht geblieben.

Eine solche spezielle Variante von Ägyptisch Blau mit einem stark bleihaltigen Glas – der Anteil an Blei erreicht darin zehn Gewichtsprozent – ist bisher aus Funden in Europa nicht beschrieben. Solveig SCHIEGL, die in ihrer Dissertation 1991 die Glasphasen synthetischer Kupferpigmente aus Ägypten umfassend untersucht hat, fand gar den doppelten Bleigehalt in einer Probe vom Relief des Kaisers TIBERIUS im Kom Ombo-Tempel<sup>34</sup>. Ihre Vorstellung, dass Blei wie Zinn immer durch die Verwendung entsprechender Bronzen in das Pigment eingebracht worden sei (Somit müssen die Bleigehalte dieser Pigmente vielmehr eine ungewollte Folge veränderter Rohstoff-Zusammensetzungen sein.<sup>35</sup>), trifft gewiss nicht zu für die Proben DOM 02 von der Deckenmalerei aus dem Prunksaal des Kaisers KONSTANTIN in

Trier<sup>36&37</sup> und ST1a von einer Wüstung nahe Steffeln in der Eifel<sup>38</sup>. Sie sind, wie der Vergleich der Elementprofile in Abbildung 25 mit den Kugeln von Borg zeigt, aus dem Azurit der Wallerfanger Bergwerke hergestellt. Keine 20 km von Wallerfangen entfernt, in St. Avold, ist der Buntsandstein mit Bleicarbonat imprägniert; dieses Vorkommen wurde auch schon in römischer Zeit abgebaut und dürfte das Bleioxid für einen absichtlichen Zusatz geliefert haben.

Für die Probe NO 3.11 vom Magdalensberg, die unter Verwendung von Bronze hergestellt worden ist, kann ebenfalls kein Zweifel bestehen, dass das Blei ein intentioneller Zusatz ist. Wie man von Bleiglasuren weiß, wirkt dieses Element als Flussmittel; eine Glasschmelze, die beim Abkühlen schnell zäh und hochviskos wird, kann durch Bleizusatz über einen viel weiteren Bereich leichtflüssig gehalten werden. Das bewirkt, dass für das Wachsen von Cuprorivaitplättchen viel mehr Zeit zur Verfügung steht. Es besteht also ein direkter Zusammenhang zwischen bemerkenswert großen, perfekt gewachsenen und glänzenden Cuprorivaitplättchen und dem Bleigehalt im zugehörigen Glas!

Die besondere Vorliebe der Römer für Glitzerglanz, *splendor*, im Wandschmuck, von PLINIUS überliefert, bestätigen uns Analysen: Calcitkristalle im Ocker von Wandmalereien in Köln<sup>39</sup>, keilförmige Quarzsplitter in den Pigmentkugeln von Borg<sup>40</sup>, jetzt auch Glimmerplättchen im Blau vom Magdalensberg. Im Ägyptisch Blau – Typ Trier, alle bekannten Beispiele sind in Abbildung 25 zusammengefasst, ist dieser Glanz durch das besondere Produktionsverfahren charakteristisches Merkmal des Pigments geworden.

Es wurde schon angesprochen, dass solche großen Plättchen nicht in Kügelchen à la VITRUV wachsen können; sie würden allseits durch die Quarzsplitter, die gewissermaßen ein stabilisierendes Gerüst bilden, in ihrem Wachstum behindert. Außerdem würde die leichtflüssige Schmelze sich kaum in den kleinen Reaktionsbereichen halten lassen, sie würde abfließen, die Kugeln würden zu einem Brei verschmelzen. Wir müssen annehmen, dass die Reaktion von Anfang an in einem keramischen Gefäß durchgeführt worden ist. Den Beleg für dieses Postulat könnte ein Scherben mit anhaftendem Material liefern.

Die Probe vom Iphigeniekomplex befindet sich in erlesener Gesellschaft (Abb. 25): in zeitlicher Nähe das Pigment aus dem Tempel des Kaisers TIBERIUS<sup>41</sup>, dann ein Blau aus Trier, das die Macht und den Wohlstand des Kaisers KONSTANTIN demonstrieren sollte, und zuletzt ein Vergleichsmaterial aus dem reich ausgestatteten Grab eines germanischen „Fürsten“ aus der Nähe von Magdeburg<sup>42</sup>. Es lässt sich mit der Bemalung eines Prachtschildes in Verbindung bringen. Im Elementprofil sind die Gehalte nur angedeutet; nach dem veröffentlichten EDX-Spektrum<sup>43</sup> ist die Einordnung zum Typ Trier eindeutig. (Für den sicheren Nachweis der vom Verfasser vermuteten Herkunft des Pigments aus dem Saarland müssten zuverlässige Analysen von Glasphasen durchgeführt werden.) Die Summe dieser

Befunde schließt die zufällige Beimischung von Blei zu einer Charge von Ägyptisch Blau völlig aus und belegt eine sorgfältig abgestimmte Rezeptur und ein ausgefeiltes Verfahren – also beste handwerkliche Tradition – schon in der frühesten bekannten Probe, der vom Magdalensberg.

Da drängt sich die Frage auf, ob nicht hier eine eigenständige Entwicklung vorliegt, die von der Produktion des „gewöhnlichen“ Ägyptisch Blau für Wandmalereien unabhängig ist. Der Prachtschild von Gommern könnte ein spätes Beispiel für eine heute kaum nachweisbare Verwendung teurer Pigmente sein. Nicht nur die Germanen bemalten ihre Schilde in aufwendiger Weise (TACITUS), auch die Kelten hatten, wie uns DIODOR im 1. Jh. v. Chr. überliefert, „*Schilde, die in besonderer Weise bunt verziert sind*“<sup>44</sup>. Es hat also zweifellos eine Nachfrage nach wertvollen Farbmitteln im keltischen Raum gegeben, über deren Zusammensetzung man jedoch nur Spekulationen anstellen kann, weil der Fund von Proben wenig wahrscheinlich ist.

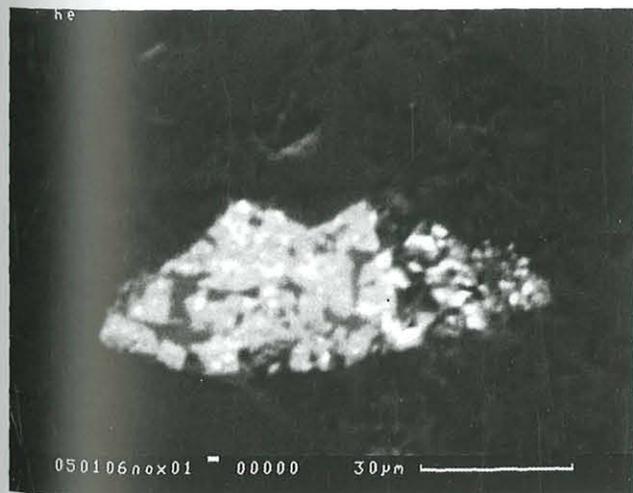


Abb. 24: Malayaitebrocken mit Zinnsteinresten im Deckputz. Aufn. L. Heck

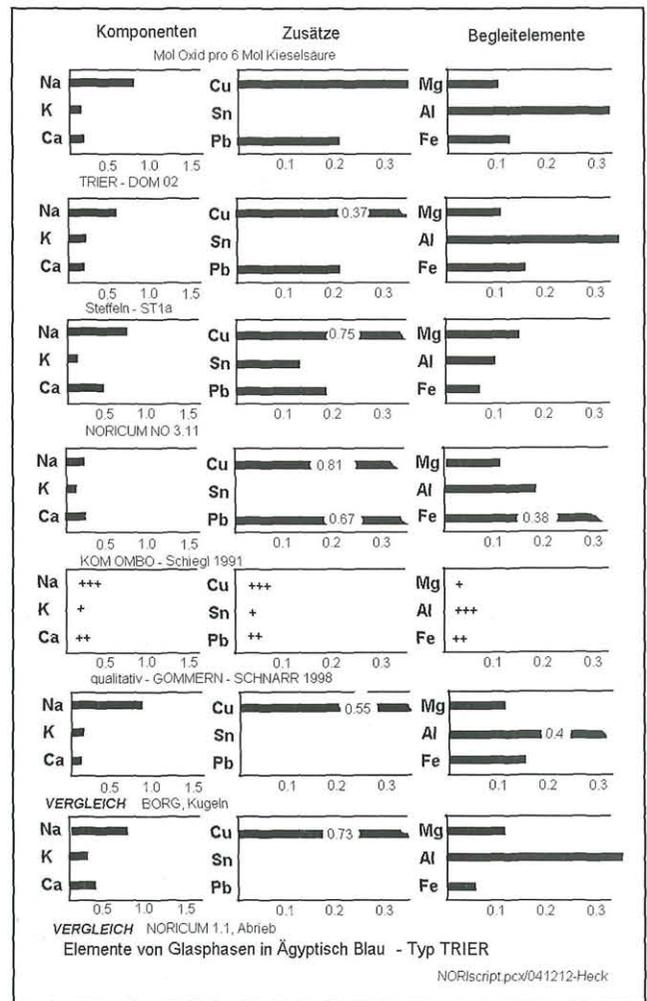


Abb. 25: Elementprofile von Glasphasen – Ägyptisch Blau-Typ Trier. Aufn. L. Heck

#### 4 Eine neue Produktionsstätte – in NORICUM?

Unsere Kenntnis von Produktionsstätten für Ägyptisch Blau in Europa ist noch immer rudimentär. Wir haben als einzige Quelle den schon zitierten VITRUV, der Ort ist bekannt – Puteoli –, das Rezept ist lückenhaft, sichere Analysen fehlen. Zwar hat Selim AUGUSTI mit den Mitteln seiner Zeit eine Reihe von Pigmentkugeln aus Pompeji untersucht<sup>15</sup>, aber einerseits sind diese Analysen nur qualitativer Natur, andererseits ist die eingangs geäußerte Vermutung keineswegs sicher, dass alle Proben aus dem nahe gelegenen Puteoli stammen. Denn wir wissen von PLINIUS<sup>45</sup>, dass die Preise für *caeruleum* durch Importe aus „Billiglohnländern“ – genannt ist Spanien – drastisch gesunken waren. Ursprünglich geplante Untersuchungen an Proben aus dem Bestand des *Museo Nazionale* in Neapel hat der Verfasser deswegen zurückgestellt, weil er damit rechnen musste, Kügelchen aus Wallerfangen anzutreffen: Schiffe, die aus Spanien kamen, legten in Massilia an, haben dort allerlei in Gallien angebotene Ware an Bord genommen – im Zielhafen Puteoli kam die Ware, wie das Schiff, „aus Spanien“.

Für die Herstellung von Ägyptisch Blau war nicht mehr als ein einfacher Keramikbrennofen nötig; nur wenn darin Reste der Produktion zurückgeblieben wären, könnte man ihn mit dem Pigment in Verbindung bringen. Ein solcher Befund ist kaum zu erwarten. Deshalb werden Produktionsstandorte in Europa sich nur durch geringe Unterschiede in den Rohstoffen unterscheiden und nur bei einem ganz charakteristischen „Fingerabdruck“ einem Rohstoffvorkommen zuordnen lassen.

Das Muster der Begleitelemente in der Abbildung 25 zeigt, dass die Proben Trier – DOM 02 und Steffeln – ST1a mit dem Sand der Kugeln von Borg gemacht sind, also aus dem Azurit der römischen Bergwerke im Buntsandstein des Saarlandes. Ein viel eisenreicherer Sand ist in der Probe Kom Ombo verwendet worden; eine Produktion in Ägypten ist anzunehmen, eine nähere Festlegung ist mangels Vergleichsmaterial nicht möglich. Die beiden Proben NORICUM 1.1 und 3.11 haben ihr eigenes Elementprofil – der Unterschied im Al-Gehalt lässt sich plausibel begründen. Die Verwendung eines reinen Quarzsandes setzt die Proben zwar deutlich von allen anderen ab, schließt jedoch die Zuordnung zu einer bestimmten Region aus. Die anderen Rohstoffe, Kupfer und Kalk, können auch Verunreinigungen in das Reaktionsgemisch einbringen, wie Zinn als Begleiter des Kupfers. Da es sich aber bei Bronze um ein weit verbreitetes Material handelt, ist die Verknüpfung mit einem bestimmten Ort ausgeschlossen.

Bei der Untersuchung der Kugeln von Borg war der Verfasser davon ausgegangen, der Kalk stamme

aus einem in unmittelbarer Nähe anstehenden Vorkommen, bis er einen Omphacitkristall fand<sup>40</sup>. Dieser Omphacit hatte sich bei der Entstehung eines Marmors an der Kontaktstelle zwischen glutflüssigem Magma und Kalkgestein gebildet – so ließ sich belegen, dass nicht lokaler Kalk, sondern importierter Marmor verwendet worden war.

Diese Erkenntnis ist bei der Frage nach einer Produktionsstätte ohne Belang – und doch hat sich Marmor – „verunreinigter“ Marmor – in der vorliegenden Arbeit als Träger einer charakteristischen Information erwiesen. Wegen der Suche nach Glasphasen sind alle Pigmentpartikel vergrößert dargestellt worden, deren Länge 10 µm überstieg; von den meisten liegen auch Rückstreuielektronenbilder vor. Dabei trat ein Phänomen auf, das dem Autor zuvor noch nicht begegnet war: In der sorgfältig polierten Oberfläche der hellen Plättchen gibt es kleine Löcher, nur 2–3 µm groß, die ein dunkles Material enthalten. Zuweilen verläuft auch eine Art „Graben“ durch einen Teil der Partikel, kein Riss, sondern eher so als wäre das Cuprorivaït um ein schwarzes Flitterchen herum auskristallisiert. Derart kleine Einschlüsse sind nicht zuverlässig zu analysieren, weil immer die Umgebung miterfasst wird. Ein besonders großes Exemplar, das zur Aufklärung wesentlich beigetragen hat, ist in Abbildung 26 wiedergegeben. Richtet man den Elektronenstrahl auf das dunkle Material, dann registriert der Röntgendetektor nur das Signal von Kohlenstoff. Die ursprüngliche Vermutung, beim Schleifen wäre etwas Abrieb von dem Einbettungsmittel Kunstharz in diesen „Löchern“ liegen geblieben, hielt einer Überprüfung nicht stand: Andere Elemente wie Na und S, die im Kunstharz nachzuweisen sind, treten hier nicht auf. Der Kohlenstoff lag offensichtlich bei der Synthese dieses Typs von Ägyptisch Blau in der Schmelze vor und wurde von dem kristallisierenden

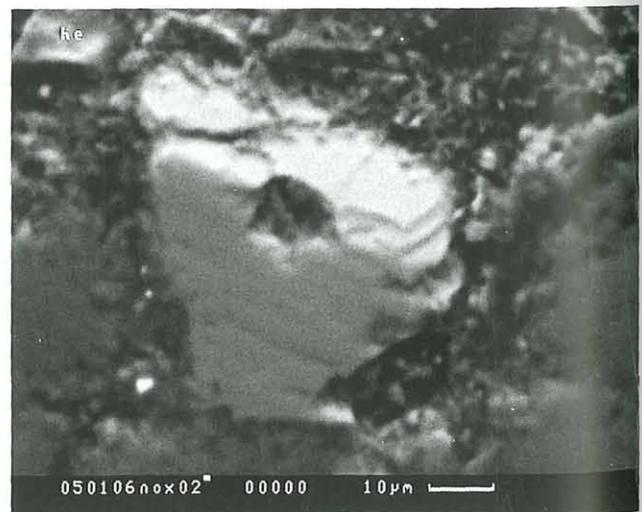


Abb. 26: Cuprorivaïtkorn mit Einschluss von Graphit. Aufn. L. Heck

Cuprorivaite eingeschlossen. Gewöhnliches Kohlenstoff-Pulver könnte aber in einer Schmelze bei Rotglut nicht existieren; auch wenn der Luftsauerstoff keinen Zutritt hätte, wären Oxidationsmittel, etwa das zweitwertige Kupfer, im Übermaß vorhanden<sup>46</sup>. Temperaturen um 1000 °C kann aber Graphit in Schmelztiegeln längere Zeit aushalten: Der eingeschlossene Kohlenstoff ist Graphit. Bei der Häufigkeit des Auftretens kann es sich aber nicht um mechanischen Abrieb von Tiegelwänden handeln; der Graphit ist ganz sicher mit einem der Rohstoffe eingebracht worden. Der Marmor im Putz mit vielfachen Einschlüssen liefert uns den Schlüssel. Bei der Synthese ist Graphitmarmor eingesetzt worden und hat mit Soda und Kieselsäure reagiert; das Calcium steckt im Cuprorivaite und im Glas, die Graphitfitter finden wir eingebettet im Cuprorivaite. Ein Marmorbrocken der Putzschicht, in dem Graphit eingeschlossen ist, wird in Abbildung 27 dargestellt. Der Abdruck unten links hat gar einen angelehnten hexagonalen Umriss; Winkel um 120 Grad, die für perfektes Graphit zu erwarten wären, sind noch zu erahnen. Oben auf der Bruchfläche liegt ein dunkleres Plättchen; hier entdeckt die Punktanalyse einen stark erhöhten Gehalt an Kohlenstoff – das ist Graphitmarmor.

Graphitmarmor im Putz, die Zuschläge im Putz aus der Umgebung, dann Graphit im Pigment der Malschicht – noch zwingender kann die Schlussfolgerung aus der Summe der Beobachtungen kaum sein:

**Das Ägyptisch Blau in den Wandmalereien des Iphigeniekomplexes ist mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit auf dem Magdalensberg hergestellt worden!**

Dies ist der erste sichere Nachweis der Herstellung von Ägyptisch Blau am Ort der Verwendung für den gesamten europäischen Bereich. Die Herstellung im

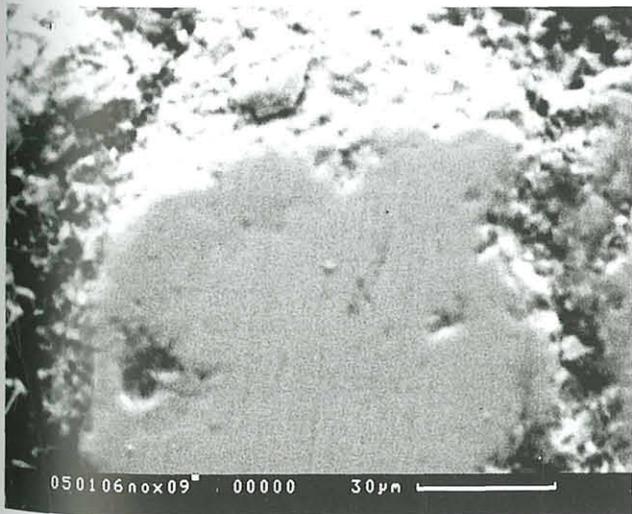


Abb. 27: Graphitmarmor in der Putzschicht. Aufn. L. Heck

Saarland war an eine Lagerstätte gebunden und ausschließlich für den Handel bestimmt. Dort kann man ein über Jahrhunderte hinweg perfektioniertes Verfahren voraussetzen. Aber die Perfektion des Produkts vom Magdalensberg steht dem nicht nach.

Somit taucht eine Reihe neuer Fragen auf: Hat es schon in den letzten Jahrzehnten vor Christus auf dem Magdalensberg einen sesshaften Betrieb für Blaupigment gegeben? Wer waren seine Abnehmer? Oder ist bei einem größeren Auftrag für Wandmalereien mit den *pictores parietarii* auch ein Farbenhersteller ange-reist, der sich einen vorhandenen Keramikbrennofen für eine Weile „mietete“?

## Dank

Diese Untersuchungen haben den Verfasser im Lauf des Jahres 2003 über längere Zeit – mit Unterbrechungen – beschäftigt. Immer wieder gab es neue Beobachtungen, die dann eine überraschende Erklärung fanden und für neue Spannung sorgten. Das vorliegende Ergebnis wäre ohne tatkräftige und fortdauernde Hilfe von vielen Seiten nicht zustande gekommen; etliche Namen sind in den Anmerkungen genannt; vielen anderen Ungenannten sei an dieser Stelle ganz herzlich gedankt.

Hervorzuheben ist das Entgegenkommen von Univ.-Doz. Dr. Heimo DOLENZ für die Proben und die freundliche Aufnahme im Archäologischen Park Magdalensberg. Die Untersuchungen am Raster-Elektronen-Mikroskop wurden am Institut für Werkstoffwissenschaften der Universität des Saarlandes, Saarbrücken, durchgeführt; ich danke für diese Arbeitsmöglichkeit ebenso wie für die finanzielle Förderung meines Projekts „Römischer und mittelalterlicher Bergbau auf Azurit im Buntsandstein des Saarlandes“ aus Sondermitteln des Ministeriums für Bildung, Kultur und Wissenschaft.

## Literatur

- Augusti, Selim, *I Colori Pompeiani*, Roma 1967.
- Becker, Matthias, Fazit – Der Tote von Gommern, ein mitteldeutscher „Fürst“ des 3. Jh. n. Chr. In: Fröhlich, Siegfried (Hrsg.), *Gold für die Ewigkeit – Das germanische Fürstengrab von Gommern* (Halle 2001), 204–214.
- Bezborodov, M. A., *Chemie und Technologie der antiken und mittelalterlichen Gläser*, Mainz 1975.
- Burmester, Andreas / Krekel, Christoph, Von Dürers Farben. In: Goldberg, Gisela u. a. (Hrsg.), *Albrecht Dürer – Die Gemälde der Alten Pinakothek* (Heidelberg 1998), 55–89.
- Cennini, Cennino, *Das Buch von der Kunst oder Tractat der Malerei des Cennino Cennini da Colle di Valdelsa*, übersetzt von Albert Ilg, Wien 1871.

- Heck, Ludwig, Blaue Pigmentkugeln aus der römischen Villa von Borg. Frühe chemische Industrie auf der Basis des Azuritbergbaus zwischen Mosel und Saar. In: *Metalla*, Forschungsberichte des Deutschen Bergbau-Museums 6 (1), 1999, 13–39.
- Heck, Ludwig, Ex caeruleo fit, quod vocatur lomentum – blauer Lidschatten aus den römischen Bergwerken an der Saar. In: *Saarbrücker Studien und Materialien zur Altertumskunde* 9, 2003, 235–262.
- Lauffer, Siegfried, Diokletians Preisedik, Berlin 1971.
- Lavenex Vergès, Fabienne, Bleus Égyptiens, De la pâte auto-émailée au pigment bleu synthétique, Louvain – Paris 1992.
- Moreau, Jacques, Die Welt der Kelten, Stuttgart 1965.
- Noll, Walter, Born, Liborius und Holm, Reimer, Chemie, Phasenbestand und Fertigungstechnik von Wandmalereien im römischen Köln. In: *Kölner Jahrbuch für Vor- und Frühgeschichte* 13, 1975, 77–88.
- Pabst, A., Structures of Some Tetragonal Sheet Silicates. In: *Acta Cryst.* 12, 1959, 733–739.
- Plinius, C. PLINII SECUNDI NATURALIS HISTORIAE LIBRI XXXVII, Herausgegeben und übersetzt von Roderich König in Zusammenarbeit mit Gerhard Winkler, München und Zürich.
- Rösler, Hans Jürgen, Lehrbuch der Mineralogie, Leipzig 1991.
- Schiogl, Solveig, Altägyptische Pigmente und Glasuren: Phasenbestand, chronologische Evolution, Zersetzungs- und Verwendungsmuster und deren Ursachen, Dissertation, Heidelberg 1991.
- Schnarr, Holger, Charakterisierung der Bearbeitung und der Verwendung archäologischer Werkstoffe mittels atmosphärischer Rasterelektronenmikroskopie. In: *Berliner Beiträge zur Archäometrie* 15, 1998, 5–90.
- Vitruv, Des MARCUS VITRUVIUS POLLIO BALKUNST, aus der römischen Urschrift übersetzt von August Rode, Zweyter Band, Leipzig 1796.
- Vitruv, Zehn Bücher über Architektur. Übersetzt und mit Anmerkungen versehen von Dr. Curt Fensterbusch, Darmstadt 1976.
- Weber, Winfried, Constantinische Deckengemälde aus dem römischen Palast unter dem Trierer Dom, Museumsführer Nr. 1, Trier 2000.
- Weisgerber, Gerd, Wallerfanger Bergblau – seit der Römerzeit stark gefragt. In: *Archäologie in Deutschland* 2001 (2), 8–13.

Anschrift des Verfassers  
 Univ.-Prof. Dr. Ludwig Heck  
 Universität des Saarlandes  
 8.11 Anorganische Chemie  
 Postfach 15 11 50, D – 66041 Saarbrücken  
 heck.azur@mx.uni-saarland.de

## ANMERKUNGEN

- 1 Plinius XXXIII, 161.
- 2 Vitruv (1796), 116.
- 3 Plinius XXXVII, 119.
- 4 Plinius XXXVII, 255.
- 5 Heck (2003), 250.
- 6 Burmester, Krekel (1998), 55.
- 7 Cennini (1871), 37.
- 8 Laufende Untersuchungen des Verfassers (Okt. 2004) zeigen, dass man zur Zeit des Plinius auch die Technik beherrscht hat, „goldene“ Pünktchen unter einer blauen Glasur aufglänzen zu lassen.
- 9 Vitruv (1796), 349.
- 10 Heck (1999), 22.
- 11 Pabst (1959), 733.
- 12 Plinius XXXVI, 194.
- 13 Plinius XXXVI, 191.
- 14 Bezborodov (1975), 57.
- 15 Augusti (1967), 62.
- 16 Weisgerber (2001), 8.
- 17 Unveröffentlichte Untersuchungen des Autors an Wandmalereifragmenten aus Borg (Saar), Trier (darunter von der Deckmalerei aus dem Prunksaal des Kaisers Konstantin), Steffeln (Eifel) und Mülheim-Kärlich.
- 18 Heck (1999), 17.
- 19 Heck (1999), 31.
- 20 Ich danke dem Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Soprintendenza Archeologica delle province di Napoli e Caserta für die Genehmigung vom 18. April 2002, unter den Funden aus Pompeji und bei den laufenden Grabungen in Cumae und Litternum Proben für meine Pigmentuntersuchungen zu nehmen.
- 21 Herr Univ.-Doz. Dr. Heimo Dolenz hat mir reichliches Probenmaterial zur Verfügung gestellt; dafür sei ihm auch an dieser Stelle nachdrücklich gedankt.
- 22 Dem Grabungsleiter in Borg, Herrn Joachim Brück, danke ich für ein reiches Angebot an Proben.
- 23 Diese Probe erhielt ich von Herrn Dr. Horst Fehr, Landesamt für Denkmalpflege, Koblenz. Ganz herzlichen Dank!
- 24 Mein ganz besonderer Dank gilt Frau Dr. Sabine Faust. Sie hat mich auf den Fund des Scherbens hingewiesen und mir darüber hinaus weitere Proben aus dem Bestand des Rheinischen Landesmuseums zugänglich gemacht.
- 25 Lavenex Vergès (1992), 79.

- 26 „Die zu einem überwiegenden Teil im Jahre 1964 am Magdalensberg im Bereich von AA/15f-g als Füllmaterial in der Baugrube einer tief fundierten Terrassenmauer gefundenen Fresken, heute im Kärntner Landesmuseum in Klagenfurt aufbewahrt, zählen zu den beeindruckendsten Beispielen römischer Wandmalerei in Mitteleuropa. Die zahllosen Bruchstücke wurden durch das Kärntner Landesmuseum und das Bundesdenkmalamt zusammengesetzt und grundlegend von Hedwig Kenner in einer umfangreichen Monographie wissenschaftlich bearbeitet.“ So charakterisiert Elisabeth Walde den Iphigeniezyklus in ihrem Beitrag zur Festschrift für Gernot Piccottini (E. Walde, Darf man doch an Vergil denken? Bemerkungen zum Hirtenfresko vom Magdalensberg. In: F. W. Leitner (Hrsg.), Carinthia Romana, Festschrift für Gernot Piccottini, Klagenfurt 2001, 415–420).
- 27 Die Präparation der Proben hat Frau Rita Maron im Institut für Werkstoffwissenschaften der Universität des Saarlandes durchgeführt; ihr bin ich für sorgfältige Vorarbeiten zu besonderem Dank verpflichtet.
- 28 Lauffer (1971), 235.
- 29 Die dunklen Flecke im Zentrum der hellen Fläche sind Einschlüsse von Titandioxid.
- 30 Plinius XXXVI, 176.
- 31 Die Ergebnisse solcher Untersuchungen, die hier nicht zitiert werden sollen, sind für die Schlussfolgerungen der vorliegenden Arbeit ohne Belang.
- 32 Plinius XXXIII, 162.
- 33 Rösler (1991), 490.
- 34 Schiegl (1991), 231.
- 35 Schiegl (1991), 91.
- 36 Weber (2000), 37.
- 37 Ganz herzlichen Dank dem Direktor des Bischöflichen Dom- und Diözesanmuseums Trier, Herrn Dr. Wilfried Weber, der mir Proben zur Untersuchung überlassen hat.
- 38 Oberflächenfund von einer Wüstung nahe Steffeln, Kr. Daun, in der Eifel. Auch an dieser Stelle sei dem Finder, Herrn Peter May, Koblenz, gedankt, der mir das Wandmalereifragment zur Verfügung stellte.
- 39 Noll et al. (1975), 81.
- 40 Heck (1999), 18.
- 41 Die Angaben der Originalliteratur (in Gewichtsprozenten) wurden in Atomprozent umgerechnet.
- 42 Becker (2001), 204.
- 43 Schnarr (1998), 75.
- 44 Moreau (1965), 65.
- 45 Plinius XXXV, 47.
- 46 Die Reaktion zwischen zweiwertigem Kupfer in einer Glasschmelze und einem Reduktionsmittel wie Kohlenstoff beobachtet der Autor in laufenden Untersuchungen an Melonenperlen, die wie Ägyptisch Blau zur Quarzkeramik gehören; das Kupfer geht dabei in den einwertigen Zustand über.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Rudolfinum- Jahrbuch des Landesmuseums für Kärnten](#)

Jahr/Year: 2005

Band/Volume: [2004](#)

Autor(en)/Author(s): Heck Ludwig

Artikel/Article: [Ägyptisch Blau in Noricum - aus Noricum? 223-239](#)