

Zeitschrift: Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG
Herausgeber: Eisenbibliothek
Band: 85 (2013)

Artikel: Knochen, Altglas und Metallschrott : Recycling vor 1800 Jahren im römischen Augusta Raurica
Autor: Furger, Alex R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-378502>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Knochen, Altglas und Metallschrott

Recycling vor 1800 Jahren im römischen Augusta Raurica

von Alex R. Furger

Je wertvoller die Werkstoffe der Menschheit wurden, desto häufiger hatte man sie wiederverwertet. Am Beispiel der römischen Stadt Augusta Raurica bei Basel, die über 1,6 Millionen archäologische Funde geliefert hat, wird das Recycling von Tierknochen, Glas und Bronze exemplarisch dargestellt. Recyclingstoffe brachten – entgegen den modernen Anforderungen an Legierungen, Papiere, Kunststoffe, Glaswaren usw. – kaum technische Nachteile hinsichtlich der damaligen Qualitätsvorstellungen. Gute Materialkenntnisse, präzise Kriterien zur Einteilung des Altmaterials in Stoffklassen und eine gut organisierte Einsammlungstätigkeit waren Voraussetzung für eine erfolgreiche Wiederverwertung.

The more valuable man's materials became, the more frequently they were recycled. Taking the example of the Roman city Augusta Raurica near Basel, which has provided over 1.6 million archaeological finds, the recycling of animal bones, glass and bronze is illustrated in the following. Recycled materials – in contrast to the modern-day requirements placed on alloys, paper, plastics, glass, etc. – did not bring any technical disadvantages in the way of quality as it was perceived at the time. Good material know-how, precise criteria to separate the scrapped goods into material categories and a well organised collection were prerequisite for successful recycling.

Einleitung

Die Archäologie ist eine historisch-wissenschaftliche Disziplin, deren Quellen vornehmlich aus Schutt und den Abfällen des Menschen bestehen. In einer römischen Stadt wie Augusta Raurica (10 km östlich von Basel/Schweiz) ist die Siedlung im Laufe ihres rund 300-jährigen Bestehens durch permanente Akkumulation von liegen gebliebenem Abfall und ausplaniertem Bauschutt bis dreieinhalb Meter in die Höhe gewachsen! Aus den 20–35% der bis heute archäologisch untersuchten Stadtfläche stammen gut 1,6 Millionen inventarisierte Fundgegenstände und an die 4 Millionen Tierknochen-Speiseabfälle, welche – zusammen mit den Ausgrabungsbefunden – die Basis unserer wissenschaftlichen Annäherung an eine römische Koloniestadt vor 1700 bis 2000 Jahren bilden.

Wir erlauben uns im Folgenden einen Blick auf jene «Abfälle», die einst wiederaufgegriffen oder gar gezielt gesammelt und einer Wiederverwertung zugeführt worden sind. Wir gehen der Frage nach, welche Rohstoffe wegen ihres Recycling-Werts besonders begehrt waren, welche Inhaltstoffe überhaupt wieder zu verwenden waren und mit welchen Strategien und Techniken die Wiederverwertung erreicht wurde.

Werfen wir zuvor aber einen Blick auf die Abfallentsorgung in Augusta Raurica. Anhand der Amphorenfunde konnte nachgewiesen werden, dass zur Zeit der Steinbauten mehr wertlos gewordenes Material aus den Häusern weggeschafft worden ist als während der Holzbauphasen in den ersten drei Generationen der Stadtgeschichte (um 10 n. Chr. bis 50/80 n. Chr.) resp. während der Zerstörungen im 3. Jahrhundert.¹ Da die Abfalldeponien von Augusta Raurica bisher noch nicht gefunden und archäologisch untersucht worden sind, wissen wir über die Zusammensetzung des römischen Stadt-Kehrichts nur wenig. Ein Glücksfall war daher ein «Planungsfehler» beim Umbau des Theaters in der Mitte des 2. Jahrhunderts n. Chr.: Ein für einen unterirdischen Abwassertunnel geplanter Graben von etwa 1,4 m Breite und 1,5 m Tiefe war bereits ausgehoben, musste aber unverrichteterweise wieder zugeschüttet werden. Man verwendete dazu offensichtlich Hausmüll, denn in den rund 48 m³ Füllschichten fanden sich unzählige Keramikscherben, Mauersteine usw. Im Vergleich mit anderen archäologischen Siedlungsschichten liess sich aber nachweisen, dass in dieser Grabenauffüllung rezyklierbare Stoffe fehlten. Besonders Glas- und Bronzestücke waren in dieser Zuschüttung signifikant untervertreten.² Man hatte sie zuvor als Wertstoffe erkannt und gezielt ausgelesen! Wenden wir uns etwas ausführlicher den meistrezyklierten Wertstoffen Knochen, Glas und Bronze zu, um am Schluss noch kurz auf andere wiederverwendete Stoffe einzugehen.

Knochen, Altglas und Metallschrott

Recycling vor 1800 Jahren im römischen Augusta Raurica



Kleine Auswahl von römischen Beinartefakten aus Augusta Raurica (Augst/BL und Kaiseraugst/AG):
 1 Löffel-Halbfabrikat; 2 fertiger Löffel; 3 gedrechselter Werkzeuggriff; 4-7 gedrechselte Spielsteine;
 8-9 Möbelscharniere; 10 Spindel; 11-12 Spinnwirtel (Schwungrädchen für Spindeln; 12 aus Hirschgeweih);
 13-20 Haarnadeln; 21 Schwertknauf; 22 Schwertgriff;
 23 Taschenmessergriff mit Panther; 24 Taschenmessergriff mit Hund und Hase; 25 mit einem Eros verzierter Deckel eines Schminkkästchens. Massstab 1:2.

(nach Sabine Deschler-Erb 1998; Fotos Augusta Raurica, Römermuseum Augst)

Knochenabfälle für Beindrehzler, Hornschnitzer und Leimsieder

Tierknochen sind harte, gut geeignete Materialien, die in Siedlungen fast unbegrenzt vorhanden und gut bearbeitbar sind. Seit den Steinzeiten wurden sie für Pfeilspitzen, Harpunen, Schaber, Schmuckstücke usw. verwendet. Bis in die römische Zeit entwickelte sich daraus ein lukratives Gewerbe: die Beinschnitzerei.

Salopp gesagt, nutzten die Römer Knochensubstanz zur Herstellung all jener Gegenstände des täglichen Bedarfs, die heute aus Plastik gefertigt sind: Schreibgerät, billigen Schmuck, Kämmen, Beschläge, Dosen, Spielsteine, Messergriffe und vieles mehr. Waren besonders grosse und stabile Rohstücke gefragt, bediente man sich auch grosser Hirschgeweihe. Stand ein schönes Aussehen für ein besonders edles Produkt im Zentrum, so verarbeiteten die Beinschnitzer bisweilen auch das teure, importierte Elfenbein.

Sabine Deschler-Erb hat 1998 die damals bekannten 5902 aus Bein gefertigten Artefakte aus Augusta Raurica im Rahmen einer zweibändigen Dissertation vorgelegt.³ Im Fundmaterial, d.h. unter den Artefakten (nicht Speiseabfällen), machen Beingeräte immerhin 2-4 Prozent aus (Glas 4-8%, Bronze 5-17%, Keramik ca. 50%). Zur Wiederverwertung gelangten vor allem die stabilen Langknochen grösserer Tiere wie Rinder und Pferde; die Knochen anderer Tierarten machen nur einen ganz geringen Anteil unter den Beinartefakten aus. Am häufigsten wurde Schmuck (auch Knöpfe und Amulette; 33%) aus Knochen gefertigt, gefolgt von Spielsteinen, Gebrauchsgegenständen und Möbelteilen. Nebst dem Decheln und Schnitzen fand auch das Drehen auf der Drechselbank relativ häufig Verwendung.⁴

Die Halbfabrikate und Werkstattabfälle, welche Knochenschnitzerwerkstätten im archäologischen Befund anzeigen, machen etwa 8% aller Beinartefakte aus. Sie verteilen sich auf vier Werkstätten, die sowohl im Stadtzentrum als auch an der Peripherie liegen. Interessanterweise waren Letztere bereits um 50-120 n. Chr. in Betrieb. Dieses Gewerbe scheint sich im Laufe der Zeit in Richtung Stadtzentrum bewegt zu haben, wie die Insula 50 mit einer Beinschnitzerei der 1. Hälfte des 2. Jahrhunderts und die zentrale Insula 31 mit einer Werkstatt um 150-250 nahelegen. Bedenkt man aber, dass die knapp 6000 Beingeräte, die bis 1998 ausgegraben worden sind, einem Tierknochen-Gesamtbestand von rund 2 Millionen Metzgereiabfällen und Speiseresten entspricht, so wird uns bewusst, dass die Wiederverwertung dieser Rohstoffgattung mit rund 3‰ verschwindend klein war. Selbst die am besten geeigneten kompakten Langknochen der geschlachteten Rinder und Pferde hätten für die Herstellung von viel mehr Beingeräten gereicht! Knochenrohstoff war also weit über dessen



Halbfabrikate und Werkstattabfälle aus Beinschnitzerwerkstätten in Augusta Raurica (Augst/BL und Kaiseraugst/AG). Links grob vorbereitete Knochen, rechts Rohstücke aus Hirschgeweih. Die beiden Vorprodukte links vorne zeigen einen Vierkantstab für mehrere Spielwürfel (Abtrennen durch Sägen) und eine runde Scheibe für einen Spielstein (durch Drechseln).

(Foto: Ursi Schild, Römermuseum Augst)

Nutzungsmöglichkeiten resp. Bedarf der Bewohner vorhanden und gelangte mehrheitlich ungenutzt in die Schutt- und Abfallsschichten.

Ein weiteres Gewerbe, das sich die Abfälle der Metzgereien zunutze gemacht hat, war die Hornschnitzerei. Bisweilen finden sich in ihrer Nähe Abfalldeponien mit Dutzenden von Hornzapfen⁵. Das sind die knöchernen Fortsätze am Schädel von Rindern, Schafen und Ziegen, über denen das Horn wuchs. Während sich im Boden die Zapfen erhalten, zersetzt sich die Hornsubstanz relativ rasch. Seine Existenz und gar gewerbliche Nutzung muss mit indirekten Belegen und Indizien erschlossen werden.

Diese Zapfen-Deponien zeigen, dass die ganzen Hörner nach dem Schlachten – d. h. wohl schon in den Metzgereien – aus dem Tierschädel herausgebrochen worden sind und dann an die Hornbearbeiter geliefert wurden. Diese haben dann das eigentliche Horn beim Hornansatz abgesägt. Die darin steckenden knöchernen «Hornzapfen» waren Abfall, der in Kellern, Gruben und Gräben in der Nähe der Werkstätten deponiert wurde. Typisch für diese Art Produktionsabfälle sind ihre abgesägten Enden.

Mit dem so gewonnenen Horn wurden plattenförmige Dinge wie Haarkämme hergestellt. Leider finden sich derartige Produkte – analog wie Fingernägel oder Haare – wegen der Erhaltungsbedingungen praktisch nie bei Ausgrabungen. Einen indirekteren Beleg von Hornplatten bilden zum Beispiel bronzene Sturmlaternen. Ihre «Scheiben», welche die Flamme vor Windstössen schützte, bestanden aus



Zahlreiche knöcherne Hornzapfen liegen «entsorgt» in einer Kellerecke (Augst/BL, Insula 31). Sie zeugen von einer Hornschnitzerwerkstatt. Der interessante Befund wird von Elisabeth Schmid (Universität Basel), einer Pionierin der osteo-archäologischen Forschung, vor Ort begutachtet, bevor die Fundstücke geborgen werden.

(Foto: Ausgrabungen Augst/Kaiseraugst)



Römische Sturmlaterne aus Bronze mit drei Stützen. In der Mitte befand sich ein Brenner mit Docht, und aussen herum war eine durchscheinende Scheibe angebracht, die aus verformtem, dünn geschabtem Rinderhorn hergestellt war. Fund aus Augusta Raurica (Kaiseraugst/AG), Hornscheibe rekonstruiert. Massstab 1:8.

(Foto: Roger Humbert, Römermuseum Augst)

dünn geschliffenen, möglichst durchscheinenden und in Zylindersegmente gebogenen Hornplatten.

Hinweise auf ein weiteres Gewerbe, das Knochen weiterverwertete, kamen erstmals 1966/67 in der Insula 20 in Augusta Raurica zutage. Es sind dort «auffallend reiche Ansammlungen von Bruchstücken grosser Rinderknochen freigelegt worden. Alle diese seither über 800 gezählten Stücke stammen von Röhrenknochen; sie sind 5–22 cm lang, schräg quer und längs zerhackt. An allen Knochenstücken waren die Gelenkenden mit einer ringsum gehackten Kerbe sorgfältig entfernt worden. Dieser

Knochen, Altglas und Metallschrott

Recycling vor 1800 Jahren im römischen Augusta Raurica



Leimsiederei-Abfälle aus Augusta Raurica (Insula 17), erkennbar an abgehackten und durch Auskochen ausgelagten Gelenkenden von Tierknochen.

(nach Sabine Deschler-Erb 2006; Foto: Rörmuseum Augst)

Hackbruch liess ferner erkennen, dass nur Humerus und Femur, Radius mit Ulna und Tibia, selten einmal Metapodien ausgewählt worden waren. Die eindeutige Auswahl von Knochenart und Knochenabschnitt muss beabsichtigt gewesen sein. Schon wegen des Fehlens jeden Gelenkteils können diese Stücke nicht als Mahlzeitreste gewertet werden. Ein Handwerk aber, das solche Knochen verarbeitet, ist bis in die Neuzeit hinein die Leimsiederei.

Um dies nachzuweisen, hat die Bearbeiterin Elisabeth Schmid im damaligen Labor für Urgeschichte der Universität Basel den «Gewichtsverlust von je einer Probe gewogen, nachdem während 8 Tagen mit verdünnter Salzsäure alle Kalkanteile herausgelöst worden waren. Das Ergebnis ist in folgender Tabelle zusammengestellt, bei deren Auswertung der Leimverlust im Boden für beide Proben gleich gross angenommen wird:

- Der rezente Knochen enthält 33 % Leimsubstanz (Vollwert).
- Der Mahlzeitrest enthält 7,9 % Leimsubstanz = 24 % des Vollwertes.
- Der Leimsiederabfall enthält 4,3 % Leimsubstanz = 13 % des Vollwertes.
- Der Unterschied von 11 % des Vollwertes der Leimsubstanz zwischen beiden Proben kommt der Ausbeute von 12–15 % bei der rezenten Herstellung von Knochenleim im Dämpfverfahren nahe».

Dass dieser Befund keinen Einzelfall darstellt, belegen die noch viel umfangreicheren Abfälle einer zweiten Leimsie-



Rekonstruktion eines Glasschmelzofens aus der grossen Glasbläser-Werkstatt in Kaiseraugst/AG. Nur das untere Drittel solcher kleiner Öfen hat sich im Boden erhalten; der Rest ist aufgrund von antiken Abbildungen (auf Öllämpchen), frühneuzeitlichen Werkstatteinrichtungen und experimentellen Erfahrungen ergänzt.

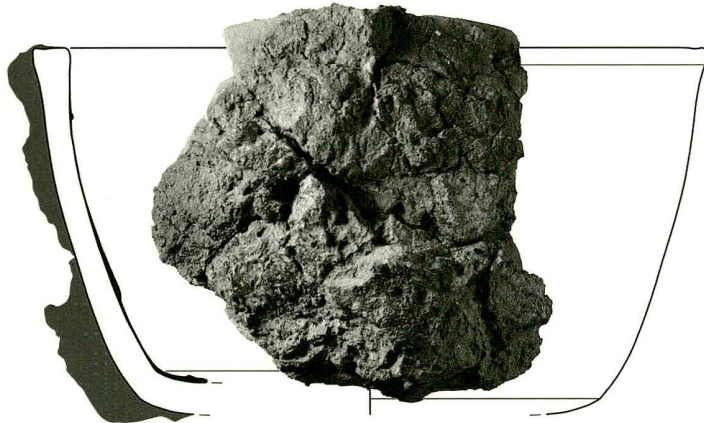
(nach Andreas Fischer 2009; Zeichnung: Stefan Bieri)

derei hinter dem Szenischen Theater von Augusta Raurica.⁶ Hier zeigten naturwissenschaftliche Messungen und Experimente, dass vor allem die Gelenkenden von Röhrenknochen hohe Leimanteile (Kollagen) aufwiesen. Berechnungen aufgrund des geborgenen Knochematerials ergaben, dass hier Reste von mindestens 51 Rindern für die Leimsiederei verarbeitet wurden, dass die Leimausbeute jedoch infolge wenig effizienter Methoden gering war (Ausbeutung nur zu 20–25 %) und dass dort insgesamt mindestens 15,8 kg Knochenleim erzeugt wurde.

Altglas

Auch die Glasfunde aus Augusta Raurica sind gut untersucht; Beat Rütli hat sie 1991 in einer ebenfalls zweibändigen Monographie als Dissertation vorgelegt.⁷ Bis damals waren Objekte und Fragmente von 5121 Gläsern aus Ausgrabungen zum Vorschein gekommen. Sie können 180 verschiedenen Formen – Schalen, Platten, Becher, Kannen, Krüge, Tintenfassern, Gerätschaften usw. – zugewiesen werden!

Bis heute sind drei Glas verarbeitende Werkstätten in Augst/BL und Kaiseraugst/AG nachweisbar: Eine noch nicht freigelegte Manufaktur wird aus zahlreichen Produktionsabfällen aus der Insula 29⁸ in der Oberstadt erschlossen, und zwei gut untersuchte Werkstätten lagen einander «gegenüber über die Strasse» in der Unterstadt.



Einer von vielen römischen «Glashäfen» (Tiegeln) aus der Glasbläserwerkstatt in Kaiseraugst/AG. An der Aussenwand ist eine zweite Ton-Schutzschicht aufgebracht (dunkelgrau und Foto rechts); innen haben sich Reste der grünlichen Glasmasse erhalten (Foto links). Massstab 1:3.

(Zeichnung: Stefan Bieri; Foto: Ursi Schild)



Gesammeltes Altglas und kleinste Produktionsabfälle (Bruchware, Splitter, Tropfen) sind Zeugnisse einer regen Glasverarbeitung mit Recyclingglas. Kaiseraugst/AG. Massstab ca. 1:2.

(nach Fischer 2009; Fotos: Ursi Schild)

Knochen, Altglas und Metallschrott

Recycling vor 1800 Jahren im römischen Augusta Raurica

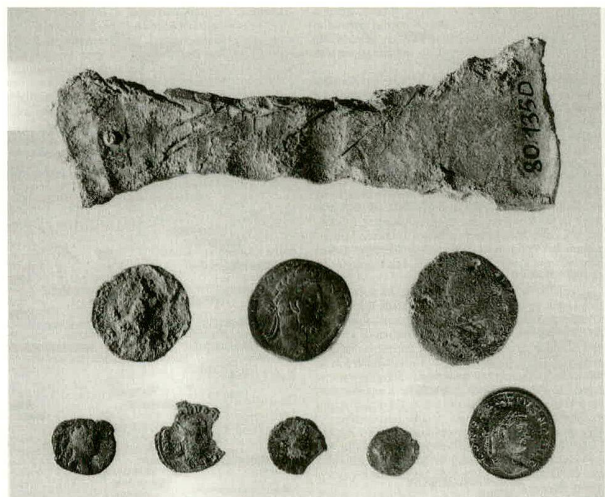
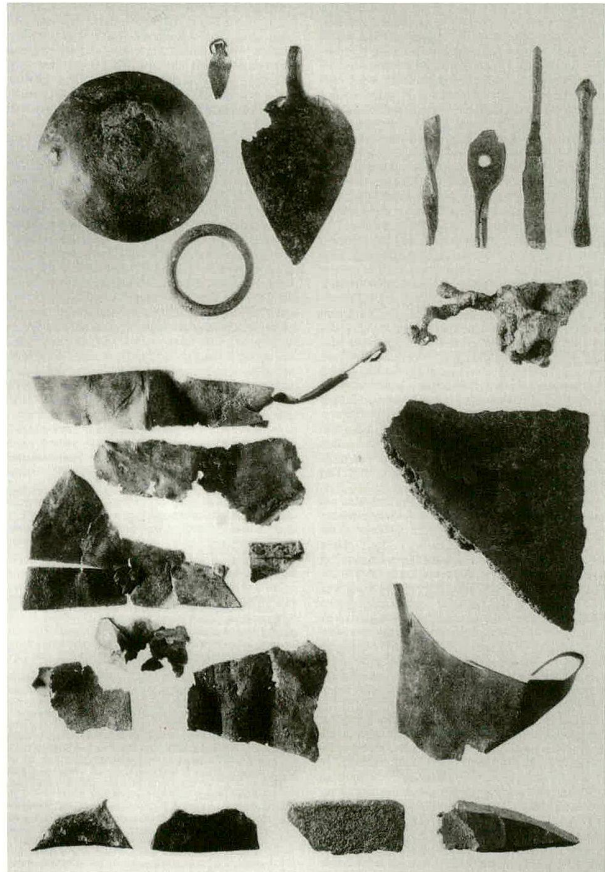
Es ist nicht wahrscheinlich, dass die zahlreichen in der Unterstadt freigelegten Öfen und Werkstatteinrichtungen zur Erzeugung von Glasmasse aus Quarzsand, Natron und Kalk dienten. Sicher nachzuweisen sind etwa zehn runde Schmelzöfen, an denen Glasbläser mit Glaspfeifen arbeiteten, und mindestens drei rechteckige «Kühlöfen», in welche die fertigen Produkte zum langsamen Abkühlen hineingestellt worden sind. Nur gerade ein Ofen, Nr. 3 in Wannenform, hat möglicherweise zur Erzeugung von Primärglas oder aber zum Wiedereinschmelzen von fertigem Importglas gedient. Der grosse Betrieb muss also viel Altglas verarbeitet haben, denn Ofen 3 konnte wohl kaum genügend neue Glasmasse für zehn Schmelzöfen liefern.⁹ Das gezielte Sammeln und Rezyklieren von Altglas wird durch zahlreiche Glasscherben unterschiedlichster Farbnuancen wahrscheinlich, die in diesen Werkstätten gefunden worden sind und wohl Reste von Vorräten zum (Wieder-)Einschmelzen darstellen.

Bronzeschrott

Je teurer ein Werkstoff ist, desto eher wird er nach seinem Verwendungszyklus eingesammelt, aufbereitet und rezykliert. Bei den Metallen ist dies besonders augenscheinlich. Wir kennen den Wert der verschiedenen Metalle in der römischen Antike ansatzweise aus den Quellen: Gold war zur Zeit Neros (54–68 n. Chr.) mit rund 1125 Denaren pro libra (327 g) am teuersten, gefolgt von Silber und Zinn. Mit deutlichem Abstand folgten in der römerzeitlichen Preislite Blei, Messing und Bronze. Am günstigsten mit je 1–2 Denaren pro römisches Pfund waren Kupfer und Eisen.¹⁰

Es gab aber auch Zeiten, da waren – entgegen dieser «Preisliste» und wohl infolge unterbrochener Nachschubmöglichkeiten – die einen Metalle begehrt als die anderen. Dies zeigt sich zum Beispiel daran, dass man im 3. und 4. Jahrhundert beim Abbruch monumentaler Bauten in Augusta Raurica die massiven Eisenklammern, mit denen die schweren Steinquader zusammengehalten wurden, aus ihren verbleiten Dübellöchern herausriss und andernorts weiterverwendete, die in Blei vergossenen Verkeilungen jedoch achtlos liegen liess.¹¹

Doch wenden wir uns konkret der Wiederverwertung von Kupferlegierungen zu. Von den Zehntausenden von Funden aus Bronze, Kupfer, Messing und Mischlegierungen aus Augusta Raurica sind viele auch analysiert worden, teils an ihrer oxydierten (veränderten!) Oberfläche, teils mit Hilfe von feinen, blanken Bohrkernen.¹² Die dabei gewonnenen Ergebnisse zeigen einerseits sehr homogene Legierungen in grossen Statuen und Sockelinschriften von Kaisern und anderen Honoratioren, andererseits ein sehr heterogenes Spektrum unterschiedlichster Legierungstypen und Metallgemische in den meisten einfachen Gebrauchsgegen-



Eine von mehreren gefundenen Ansammlungen von Altmetailstückchen und Werkstattabfällen aus Augusta Raurica (Insula 6). Die längliche Platte unten besteht aus Blei und hat wahrscheinlich als Schneideunterlage für Bronzebleche gedient; die Münzen sind Altstücke und wurden wahrscheinlich ebenfalls eingeschmolzen. Massstab ca. 1:2.

(Fotos: Ursi Schild)

ständen. So wurden in knapp hundert analysierten Halbfabrikaten und Abfällen aus Augster Bronzeworkstätten folgende Legierungstypen ermittelt (nach Riederer 1995):

Reines Kupfer	6 Objekte
Kupfer mit geringen Beimengungen	13 Objekte
Zinnbronzen	14 Objekte
Zinn-Bleibronzen	17 Objekte
Reines Messing	11 Objekte
Zinnmessing	18 Objekte
Zinn-Bleimessing	18 Objekte



Abgeschlagene Gusstrichter (oben), gegossene Rohplatte mit Hammerspuren (für ein grösseres Gefäss aus einer kupferreichen Legierung) und einige Schmiedehalbfabrikate (unten). Derartige Kleinbronzen bestehen infolge eines regen Metallrecyclings aus den unterschiedlichsten Legierungen. Massstab ca. 1:2.

(nach Furger 1995; Fotos: Ursi Schild)

Diese Kategorisierung täuscht insofern, als sie nicht eigentliche Gruppen bilden, die sich gegenseitig ausschliessen, sondern dass praktisch alle Übergangslegierungen vorkommen. Mit anderen Worten: In den «Bronzen» von Augusta Raurica finden sich – neben dem Hauptelement Kupfer – extrem schwankende Legierungsanteile von null bis zu 32% Zinn, bis zu 23% Zink, bis zu 37% Blei usw. (Extremwerte). Geringe Anteile von Eisen, Arsen, Antimon, Wismut, Cobalt usw. sind auf natürliche Spurenelemente in den Erzen zurückzuführen, während geringe Anteile von Gold, Silber oder Quecksilber eher auf das frühere Einschmelzen von veredelten Altmetallen zurückzuführen sind.

In den gelegentlich bei Bronze-giesserwerkstätten gefundenen Ansammlungen von Altmetall finden sich verschiedene dieser Legierungen durcheinandergemischt. Sie stellen also das Gesammelte noch unsortiert dar. Auch ohne naturwissenschaftliche Analytik verstanden es die antiken Bronzearbeiter vorzüglich, die verschiedenen Legierungen auseinanderzuhalten und entsprechend vor dem Wiedereinschmelzen zu sortieren. Denn ein Rohguss für einen zu treibenden Kessel musste aus einer duktilen, schmiegbaren Legierung bestehen, die viel Kupfer, aber nur ganz wenige Prozente Zinn und/oder Zink und möglichst kein Blei enthalten durfte. Ein Barren, der zum Schmieden von Fibeln (Gewandbroschen) dienen musste, sollte zum Beispiel nach dem Polieren schön goldfarben glänzen und musste daher aus viel Zink (= «goldenes» Messing), aber aus wenig Zinn und kaum Blei bestehen. Der Rohguss einer kleinen Schale oder Platte, die anschliessend auf der Drehbank überarbeitet werden musste, durfte gerne auch viel Blei und höhere Zinnanteile aufweisen, was die Legierung hart, auch spröde, aber gut drehbar und polierfähig machte. Eine Spiegelbronze schliesslich durfte noch mehr Zinn enthalten, um eine weiss polierte Oberfläche erzeugen zu können. Und für einen Guss, der nicht mehr verformt werden musste, konnte praktisch jedes Gemisch verwendet werden. Die Zugabe von Blei war bei Güssen wie Götterfiguren, Möbelfüssen, Löffeln und dergleichen beliebt, weil sie die Metallkosten senkte, ohne die Qualität des Gussstückes zu beeinträchtigen.

Wie haben die Handwerker die Altmetalle vor dem Wiedereinschmelzen nach diesen Kriterien geprüft und sortiert? Für die Begutachtung der Edelmetallgehalte kannte man bereits das chemische «Probieren» und den dunklen Proberstein für die «Strichprobe». Kupferlegierungen hingegen wurden ausschliesslich makroskopisch begutachtet. Mit einem Feilenstoss wird das Metall blank und gibt allein aufgrund seiner Farbe dem geübten Auge schon viel von seiner Zusammensetzung preis. Ein wichtiger Faktor ist die Härte und Sprödigkeit einer Legierung: Je weicher und elastischer, desto mehr Kupfer liegt vor. Gute Bronzen und Messinge sind hart und elastisch zugleich; sie er-

Knochen, Altglas und Metallschrott

Recycling vor 1800 Jahren im römischen Augusta Raurica

geben heute bei der Beprobung spiralförmige «Lockenspäne», während Spiegel- und Bleibronzen so spröde sind, dass Bohrspäne in viele kleine Krümel zerfallen. Solche Späne liessen sich in der Antike zwar nicht bohren, aber mit einem einfachen Stichel ausheben. Ich vermute daher, dass die Farbbeurteilung und die «Stichelprobe» – von erfahrenen Fachleuten angewendet – genügte, um Altmetall



Klein geschlagener Schrott von grossen Bronzestatuen wurde an verschiedenen Stellen in Augusta Raurica für die Weiterverwendung (Wiedereinschmelzen) aufbewahrt. Beispiel aus Augst/BL, Insula 27. Massstab ca. 1:3
(Fotos: Philippe Wernher, Ausgrabungen Augst/Kaiseraugst)

zuverlässig in funktionsgerechte Legierungsgruppen auf-trennen zu können.

Nebst den kleineren Ansammlungen von Altmetall fanden sich in Augusta Raurica auch einige Depots von Bronzeschrott in recht grossem Umfang. Es sind «Vorräte» von zusammengeschlagenen grossen Statuen und Inschriftplatten, die zum Teil einst auf dem Forum, dem Hauptplatz jeder römischen Stadt, aufgestellt waren. Diese «Vorräte» müssen im Laufe des unruhigen 3. Jahrhunderts n. Chr. gesammelt und in Kisten verpackt im Boden versorgt oder gar versteckt worden sein. Da die Statuen einst öffentliches Gut darstellten, liegt der Verdacht nahe, dass es sich um illegale Plünderungen im Umfeld der damaligen Germanenkämpfe handelt. Am bedeutendsten sind die Bronzeshorte in der

- Insula 28 (1480 Bruchstücke von 212 kg Gesamtgewicht, Teile von zwei Reiter- und zwei Gewandstatuen,
- Insula 20 (15 grosse Fragmente von 20,9 kg Gesamtgewicht, Verkleidungsplatten mit Inschriften und Randleisten von zwei Statuensockeln)
- und in bescheidenerem Umfang auch Insula 27 (über 150 kleinere Bruchstücke von Gewandstatuen).¹³

Weitere Beispiele

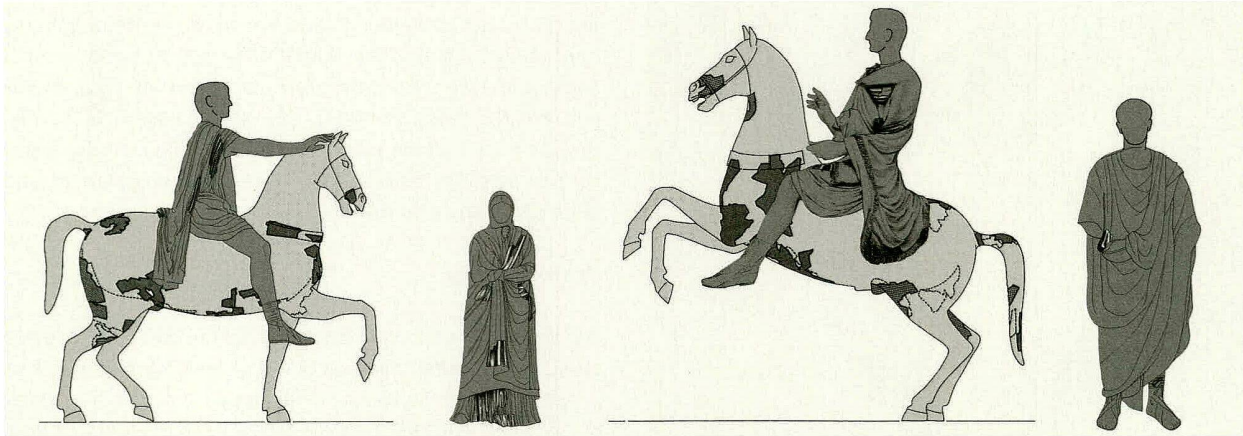
Nebst Knochen, Glas und Bronze sind natürlich auch alle anderen wiederverwertbaren Stoffe gesammelt und dem Recycling zugeführt worden. Auch bei manchen Bleiobjekten lassen sich mit Hilfe der Isotopenverhältnisse Gemische verschiedener Erzprovenienzen nachweisen, was auf das Zusammenschmelzen von Altmetall unterschiedlicher Herkunft und eine Sekundärverwendung schliessen lässt.¹⁴ Auf vier weitere Rohmaterialien, die in römischer Zeit ebenfalls wiederverwertet resp. weiterverwendet wurden, soll zum Schluss noch kurz eingegangen werden:

- Bauholz (Wiederverwendung nach Abbruch bei Neu- und Umbauten)
- Eisen (Feuerverschweissen von alten Einzelteilen und Umschmieden)
- Amphoren (Wiederverwendung als Vorratsgefässe und Wasserbecken in Werkstätten)
- Urin (öffentlich gesammelt und als Chemikalie im Gewerbe verwendet).

Bauholz-Recycling

Manchmal erweisen sich Balken und andere Bauteile aufgrund der dendrochronologischen Untersuchung (Jahringdatierung) als bedeutend älter als die übrigen Elemente eines Hauses: ein Beleg für Bauholz-Recycling und Wiederverwendung!

Solange der Mensch Häuser aus Holz baut, hat er bei Um- und Neubauten noch brauchbare alte Balken wiederver-



Rekonstruiert aus den 1480 Bruchstücken (212 kg) eines anderen Schrott-Hortes, gefunden in einer Bronzeworkstatt der Insula 28: zwei Reiter- und zwei Gewandstatuen. Das Reiterstandbild rechts ist überlebensgross. Die Denkmäler standen wohl einst auf dem Forum und wurden im 3. Jahrhundert n. Chr. in viele kleine Stücke zerschlagen.

(nach Janietz 2000; Zeichnungen: Stefan Bieri)

wendet. Dies lässt sich bereits an prähistorischen Seeufer-siedlungen dank der Dendrochronologie nachweisen. Entsprechendes ist gelegentlich auch bei römischen Bauten anzutreffen, etwa in Oberwinterthur/ZH oder Eschenz/TG, wo sich viele Bauhölzer vorzüglich erhalten haben und dendrochronologisch datiert werden können. In mittelalterlichen Burgen und Stadthäusern war die sekundäre Wiederverwendung von Altholz offenbar noch viel gebräuchlicher als in römischer Zeit.

Geradezu trivial ist die Stoffverwertung von kleinstückigem Abfallholz: Was immer seine primäre Funktion verlor, landete nicht im Müll, sondern im Herdfeuer oder Ofen.

Eisen-Recycling

Bei der an sich hoch entwickelten Eisentechnologie der römischen Antike wird oft übersehen, dass man damals die für den Guss erforderliche Schmelztemperatur von über 1535°C technisch noch nicht zustande brachte. Die Eisenerzverhüttung in kleinen Rennöfen musste sich mit etwa 1300–1400°C Prozesswärme begnügen und lieferte heterogene Eisen-Schlacken-Holzkohle-Gemische (Luppe, «Ofensau», Ofenschwamm), die mühsam zu kompaktem Schmiedeeisen zusammengehämmert und -geschweisst werden mussten.¹⁵

Ein defektes Eisengerät, das sich nicht mehr durch Feuererschweissen, Nieten oder Schleifen reparieren und wieder einsatzfähig machen liess, war jedoch als Rohstoff nicht verloren. Obwohl Eisen in römischer Zeit reichlich verwendet wurde und relativ günstig war, wurde es nicht einfach weggeworfen. Wir finden in Abfalldeponien auch diesen Rohstoff nur selten und höchstens in kleineren Stücken.

Weil es noch nicht möglich war, eiserne Altmaterialien wieder einzuschmelzen, musste man sich einer anderen Technik der Wert(neu)schöpfung bedienen: Man schmiedete Alteisen zurück zu regelmässigen Blechen oder Stangen oder Blöcken und schweisste mehrere solche Einzelteile zu grösseren Stücken zusammen. Diese wiederum konnten wie Rohbarren wieder zu allerlei Werkzeugen, Geräten und Beschlägen ausgeschmiedet werden.

Im Querschnitt und Schliffbild durch antike Fundobjekte sind die zusammengeschiedeten Eisen-Lagen an einer parallelen Struktur erkennbar, und oft finden sich entlang der Trennlinien feinste Schlacken- und Eisenoxyeinschlüsse. Dieselbe Technik konnte zur Meisterschaft getrieben werden, indem man bewusst weiches Eisen und harten Stahl abwechselnd zusammenschweisste, dünn ausschmiedete, mehrfach faltete, wieder zusammenschweisste usw. – bis man den vielschichtigen und äusserst robusten Damaszenerstahl hatte, der sich vorzüglich für schneidende Werkzeuge und Waffen eignete.

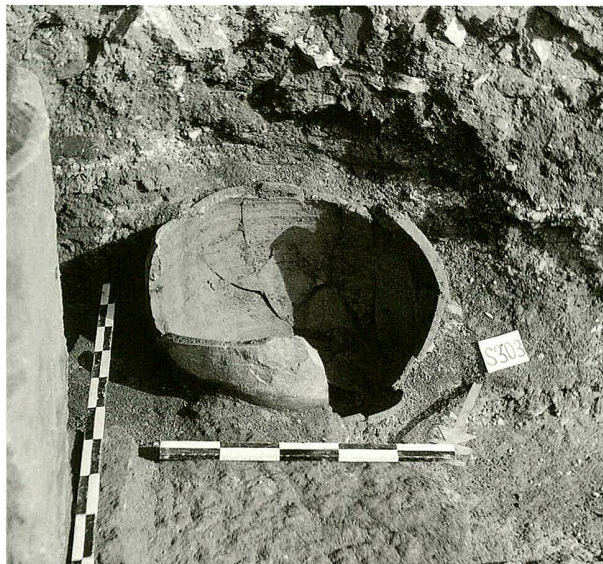
Amphoren-Recycling

Amphoren gehören zu den frühesten Einwegverpackungen der Menschheit. Seit griechischer Zeit gelangte darin mediterraner Wein nach Mitteleuropa. Später, im Römischen Imperium, auch Olivenöl, Fischsaucen, Datteln, Feigen, Alaun und andere Handelsgüter.

Die meisten Amphoren kamen aus Südspanien, gefüllt mit Fischsauce oder Olivenöl, in unsere Gegenden. Eine kugelige Ölamphore wog leer immerhin noch rund 26–30 kg (voll 90–105 kg). Ein Leergebinde-Rücktransport auf dem Landweg und per Flusskahn via Saône und Rhone und per Seeschiff zurück an die Mündung des Guadalquivir war un-

Knochen, Altglas und Metallschrott

Recycling vor 1800 Jahren im römischen Augusta Raurica



Ein Urinsammler? Die in den Boden eines Gehsteigs entlang der Insula 30 (Augst/BL) eingelassene Amphore könnte ein Urinarium gewesen sein, ein öffentlich aufgestelltes Gefäss zum Sammeln des Urins der Passanten. Die Ausscheidung war in vielen Gewerben als chemischer Rohstoff sehr begehrt und wurde in Rom sogar mit einer Steuer belegt.

(Foto: Ausgrabungen Augst/Kaiseraugst)

denkbar. Die leeren Transportbehälter wurden demzufolge zu Abfall an den Zielorten der mediterranen Produkte, die in ihnen verpackt waren.

Die grossen, stabilen und relativ dichten Behälter fielen in so grosser Zahl an, dass nur wenige davon einer Zweitverwendung zugeführt wurden. In Rom, ganz in der Nähe des Umschlaghafens am Tiber, warf man millionenweise Amphoren weg, bis schliesslich ein 45m hoher Hügel entstand, der Monte Testaccio («Scherbenberg»). In Augusta Raurica und an fast allen anderen römischen Fundstätten in den nördlichen Provinzen wurden Amphoren als Wasserbehälter, Vorratstöpfe und sogar als Sarkophage für verstorbene Kinder wiederverwendet.

In einem konkreten Fall hatte man eine kleinere Amphore so zurechtgeschlagen, dass ihr Unterteil wie ein grosser Topf als Auffangbecken dienen konnte. Man vergrub das Gefäss nicht im Hausinnern, sondern in der Porticus (äussere Säulenhalle) der Insula 30, direkt neben einer Bronzegiessereiwerkstatt.

In zahlreichen anderen Fällen wurden die Unterteile von grossen kugelförmigen Ölamphoren etwas in den Boden von Werkstätten versenkt und mit Wasser gefüllt: Sie dienten als Abschreckbecken von Schmieden und Giessern. Die Zurichtungsspuren solcher Zweitverwendungen zeugen von einer systematisch betriebenen Umformung: Die Am-

phorenränder und -hälse wurden mit vielen feinen Hammerschlägen sorgfältig weggeschlagen, und die Henkel sägte man direkt über der Gefässschulter ab. So entstanden kugelförmige Behälter mit relativ weiter Mündung, in die ein glühendes Eisen oder eine soeben mit flüssiger Bronze gefüllte Lehmguussform ins Wasser getaucht und abgeschreckt werden konnte.

Urin-Recycling

Die bekannte und noch heute geläufige Redensart «Geld stinkt nicht» («Pecunia non olet») geht auf den gewerblich genutzten, insbesondere «gefaulten» Urin zurück. Dieser wurde über Jahrtausende als Mittel für die Ledergerbung, die Textilreinigung, das Färbereigewerbe und in der Metallurgie eingesetzt. So wurden in Rom (und anderswo) an belebten Strassen amphorenartige Latrinen aufgestellt, um den Urin einzusammeln, der von den Gerbern und Wäschern benötigt wurde.

Um die leeren Staatskassen zu füllen, erhob Kaiser Vespasian auf diese öffentlichen Toiletten eine spezielle Latrinensteuer. Sueton überliefert, dass Vespasian die Steuer vor seinem Sohn Titus rechtfertigte, indem er ihm Geld aus den ersten Einnahmen unter die Nase gehalten und gefragt habe, ob der Geruch ihn störe. Als dieser verneinte, habe er geantwortet: «Und doch ist es vom Urin!» («Atqui e lotio est»).

Mindestens ein Gewerbebetrieb, der ziemlich sicher grössere Mengen Urin benötigte, stand auch in Augusta Raurica. In einer grossen Werkhalle in Kaiseraugst-Schmidmatt fanden sich auf einem verbrannten Holzboden drei runde Reste von grossen hölzernen Bottichen oder Fässern. Daneben war ein 1300l Flüssigkeit fassendes Spülbecken gemauert, und im Nebenraum war eine raffiniert konstruierte Warmluft-Trockenkammer eingerichtet.¹⁶ Diese Einrichtungen können als Reste einer Tuchwalkerei oder allenfalls Gerberei gedeutet werden. Beide Gewerbe waren auf den ammoniakhaltigen Urin angewiesen. In die Bottiche brachte man ein Gemisch aus Wasser, Walkererde und Urin und bearbeitete darin die Produkte durch Stampfen und Walken mit den blossen Füßen. Leider hatte man es auf der Ausgrabung verpasst, durch geeignete Bodenanalysen die Spuren von Urin und anderen Zutaten allenfalls nachzuweisen.

Ebenfalls hypothetisch ist die Deutung des bereits oben erwähnten Befundes von einem Amphoren-Unterteil, das in den Gehsteig (Porticus) der Insula 30 in unmittelbarer Nähe einer Bronzegiesserei eingetieft war. Weil auch die Metallverarbeiter gewisse Rezepte mit Urin und anderen Substanzen anwendeten (etwa zum Beizen, Vergolden usw.), liegt es nahe, dass man hier auf öffentlichem Raum die Substanz sammelte, die im Innern der Werkstatt benötigt wurde.¹⁸

Fazit Recycling

Am Beispiel der römischen Koloniestadt Augusta Raurica haben wir die Wiederverwendung von Rohstoffen und Abfällen exemplarisch für die Antike aufgezeigt. Das Beispiel der zu Geräten «veredelten» Tierknochenabfälle zeigt, dass nicht nur seltene oder teure Wertstoffe gesammelt und von spezialisierten Handwerkern zu Neuem geformt wurden. Auch überall dort, wo Importe von Rohmaterialien teuer oder unzuverlässig waren, griff man gerne auf das vorhandene Material zurück, sobald es seine Erstverwendung erfüllt hatte und unbenutzbar geworden war. Nur privilegierte «Produzenten» hatten offenbar einen guten Zugang zu «Primärmaterial», sei es zu Metallbarren direkt aus den Verhüttungsplätzen, zu frisch geschlagenen Hölzern aus dem Wald oder zu Quadern aus den verschiedenen Steinbrüchen. Nur was «vor den eigenen Füßen» in unbeschränkter Menge greifbar war, machte niemandem Beschaffungssorgen. Dazu gehören im Fall von Augusta Raurica sicher Knochen für die Gerätemanufakturen oder Lehm für die Töpfereien, Ziegeleien und Bauhandwerker.¹⁹ Die meisten in einer grösseren römischen Stadt zu beobachtenden Stoffströme und Recyclingverfahren haben durchaus ihre allgemeine Gültigkeit. Dies gilt nicht nur geographisch, sondern auch chronologisch. Bis kurz vor der Industrialisierung – das heisst von den Steinzeiten bis ins späte Mittelalter – gelten etwa dieselben Erkenntnisse und Erfahrungen:

- Brauchbares und Wertvolles wurde nie achtlos weggeworfen (es ging höchstens unabsichtlich verloren).
- Der Nachschub aus den Erzeugerorten (z. B. Bergwerke) war aufwendig und machte oft grosse Transportprobleme; wiederverwertbare Rohstoffe wurden daher systematisch vor Ort gesammelt.
- Dies erfolgte unabhängig davon, ob ein Rohstoff häufig (Knochen) oder selten (Metalle) war.
- Recyclingstoffe brachten – entgegen den modernen Anforderungen an Legierungen, Papiere, Kunststoffe, Glaswaren usw. – kaum technische Nachteile hinsichtlich der zeitgenössischen Qualitätsvorstellungen.

Nur eine gut organisierte, gewissenhafte und Materialkenntnisse erfordernde Sammeltätigkeit führte zu Materialien, die formal resp. inhaltlich gut verwertbar waren. Öffentliche Auftraggeber verfügten eher über primäre Rohstoffe (z. B. Metallbarren), private Handwerker begnügten sich oft mit rezyklierten Materialien.

Das professionelle Sammeln von wiederverwendbaren Rohstoffen und das «Recycling-Handwerk» konnten einen beachtlichen Wirtschaftsfaktor bilden in einem Gemeinwesen.

In Gegenden der Dritten Welt ist heute Ähnliches zu beobachten (z. B. Verwertung von Blechdosen, Autoschrott, Altpneus usw.).



Dr. Alex R. Furger

Geboren 1951 in Basel, Studium der Ur- und Frühgeschichte in Basel. Sieben Jahre Projekt-, Auswertungs- und Publikationsarbeit im Kanton Bern (Die neolithischen Ufersiedlungen von Twann). Seit 1982 in der Römerstadt Augusta Raurica bei Basel tätig. 1985 bis 2011 Direktor des dortigen 60-köpfigen Teams und verantwortlich für Ausgrabungen, Forschung, Römermuseum, Restaurierung und touristisches Marketing. Auszeichnungen: 1970 erster Preis bei «Schweizer Jugend forscht», 2000 Kulturpreis der Basellandschaftlichen Kantonalbank, 2003 Heimatschutzpreis des Heimatschutzes Basel-Landschaft. Seit Juni 2011 mit dem mehrjährigen Forschungsprojekt «Das römische Bronzehandwerk in Augusta Raurica» beschäftigt. Auf vielen Reisen in allen Kontinenten und in mehreren Kursen Studium und Praxis der traditionellen Handwerkstechniken, insbesondere der Metallbearbeitung.

- ¹ S. Martin-Kilcher: Die römischen Amphoren aus Augst und Kaiseraugst 1: Die südspanischen Ölamphoren (Gruppe 1). Forschungen in Augst 7/1 (Augst 1987), 21.
- ² A. R. Furger (mit einem Beitr. v. A. Mees): Die Grabenverfüllung im nördlichen Aditus des Augster Theaters (Grabung 1992/55). Jahresberichte aus Augst und Kaiseraugst 14, 1993, 83–107, bes. 86 f. Anm. 16; A. R. Furger: Beiseite geschafft. Römische Abfallentsorgung unter dem Theater von Augusta Raurica. NIKE Bulletin 1–2/2010, 34–39.
- ³ S. Deschler-Erb: Römische Beinartefakte aus Augusta Raurica. Rohmaterial, Technologie, Typologie und Chronologie. Forschungen in Augst 27 (Augst 1998).
- ⁴ E. Schmid: Beindrechtsler, Hornschnitzer und Leimsieder im römischen Augst. In: Provincialia. Festschrift Rudolf Laur-Belart (Basel/Stuttgart 1968), 185–197 (Abdruck in: Beiträge und Bibliographie zur Augster Forschung [Basel 1975], 185–197), bes. 185–192, Abb. 2–4.
- ⁵ Schmid (wie Anm. 4), 192–194 Abb. 5 und 6; Deschler-Erb (wie Anm. 3) 84 f.; 269 ff. Abb. 366 und 368; 278 f., Anm. 1150.

Knochen, Altglas und Metallschrott

Recycling vor 1800 Jahren im römischen Augusta Raurica

- ⁶ Schmid (wie Anm. 4) 194–197, Abb. 4; S. Deschler-Erb: Leimsiederei- und Räuchereiwarenabfälle des 3. Jahrhunderts aus dem Bereich zwischen Frauenthermen und Theater von Augusta Raurica. Jahresberichte aus Augst und Kaiseraugst 27, 2006, 323–346, bes. 333 ff., Abb. 13–20.
- ⁷ B. Rütli: Die römischen Gläser aus Augst und Kaiseraugst. Forschungen in Augst 13 (Augst 1991). Die inzwischen entdeckten Neufunde werden zurzeit von Sylvia Fünfschilling ausgewertet.
- ⁸ Rütli (wie Anm. 7), 150 ff., Abb. 101.
- ⁹ A. Fischer (m. einem Beitr. v. M. Peter): Vorsicht Glas! Die römischen Glasmanufakturen von Kaiseraugst. Forschungen in Augst 37 (Augst 2009).
- ¹⁰ A. R. Furger: Wertschätzung und Metallpreise. In: A. R. Furger/J. Riederer: Aes und aurichalcum. Empirische Beurteilungskriterien für Kupferlegierungen und metallanalytische Untersuchungen an Halbfabrikaten und Abfällen aus metallverarbeitenden Werkstätten in Augusta Raurica. Jahresberichte aus Augst und Kaiseraugst 16, 1995, 115–180, bes. 169–172 (mit methodischen, periodischen und quellenbedingten Vorbehalten!).
- ¹¹ B. Guénette-Beck/A. R. Furger (unter Mitarb. v. I. M. Villa): Blei für Augusta Raurica. Jahresberichte aus Augst und Kaiseraugst 25, 2004, 245–272, bes. 270–272, Abb. 3–7; 17; 18.
- ¹² E. Riha/W. B. Stern (mit Beitr. v. M. Martin/Ph. Morel): Die römischen Löffel aus Augst und Kaiseraugst. Archäologische und metallanalytische Untersuchungen. Forschungen in Augst 5 (Augst 1982), bes. 41–59, Abb. 18–30; W. B. Stern: Metallanalytische Untersuchungen an Spiegelfragmenten. In: E. Riha (mit Beitr. v. M. Joos/J. Schibler/W. B. Stern): Römisches Toilettgerät und medizinische Instrumente aus Augst und Kaiseraugst. Forschungen in Augst 6 (Augst 1986), 16–19, Abb. 4 und 5; J. Riederer: Die Metallanalyse von Halbfabrikaten aus Kupferlegierungen von Augusta Raurica. In: Furger/Riederer (wie Anm. 11) 161–165; B. Janietz Schwarz/D. Rouiller (mit Beitr. v. M. Maggetti/Th. Reiss/J. Riederer/B. Rütli/E. Schaller): Ein Depot zerschlagener Grossbronzen aus Augusta Raurica. Die Rekonstruktion der beiden Pferdestatuen und Untersuchungen zur Herstellungstechnik. Forschungen in Augst 20 (Augst 1996); B. Janietz (mit Beitr. v. M. Maggetti/J. Riederer/M. Wartmann, unter Mitarbeit v. E. Schaller und Abteilung Schaden- und Werkstoffanalytik, Sulzer Innotec AG): Ein Depot zerschlagener Grossbronzen aus Augusta Raurica. Die Rekonstruktion der Gewandfiguren. Forschungen in Augst 30 (Augst 2000); J. Riederer, Appendix C zu Testimonium 2: Die Ergebnisse der Metallanalysen und ihr Beitrag zur Rekonstruktion der beiden Statuenbasen. In: P.-A. Schwarz/L. Berger (Hrsg.): Tituli Rauracenses 1. Testimonien und Aufsätze. Zu den Namen und ausgewählten Inschriften von Augst und Kaiseraugst. Forschungen in Augst 29 (Augst 2000) 77–83; A. R. Furger/M. Wartmann/E. Riha (m. Beitr. v. K. Hunger/E. Hildbrand/V. Hubert/M. Wörle/J. E. Spangenberger): Die römischen Siegelkapseln aus Augusta Raurica. Forschungen in Augst 44 (Augst 2009), bes. 97–97–101 Tab. 6; 115–138.
- ¹³ Janietz (wie Anm. 12 [2x]; Insula 28); P.-A. Schwarz und B. Janietz in: Schwarz/Berger (wie Anm. 12) 41–53 resp. 55–75 (Insula 20); B. Pfäffli, 2004.054 Augst – Insula 27. In: B. Pfäffli/J. Rychener, Ausgrabungen in Augst im Jahre 2004. Jahresberichte aus Augst und Kaiseraugst 26, 2005, 71–86, bes. 74–83 Abb. 9.
- ¹⁴ Guénette-Beck/Furger (wie Anm. 11) bes. 262 f.; 265; 267 [«Von den 30 analysierten Proben sind mehr als ein Drittel Mischprodukte!»].
- ¹⁵ Mit dieser frühen Rennofentechnik und Eisengewinnung befasste sich z.B. das Heft «Rennfeuer. Frühe Eisenerzherstellung», hrsg. von der Schmiedezunft Eligius (Paradies/TG 1985).
- ¹⁶ Zitiert nach http://de.wikipedia.org/wiki/Pecunia_non_olet (13.11.12).
- ¹⁷ U. Müller: Die römischen Gebäude in Kaiseraugst-Schmidmatt. Archäologie der Schweiz 8, 1985, 15–29, bes. 23 ff. Abb. 14b; 16.
- ¹⁸ Zur Werkstatt in der Insula 30 A. R. Furger: Die Bronzwerkstätten in der Augster Insula 30. Jahresberichte aus Augst und Kaiseraugst 19, 1998, 121–140, bes. 129 f. Abb. 14; zur Urinverwendung in der Metallurgie ausführlich A. R. Furger: Kupfer-, Bronze- und Messingverarbeitung in Augusta Raurica. Die Metallwerkstätten, ihre Einrichtung, Werkzeuge und Produkte (Arbeitstitel). Forschungen in Augst (in Vorbereitung).
- ¹⁹ Zum grossräumigen Lehmabbau vor dem Stadttor von Augusta Raurica A. R. Furger: Eine sensationelle Entdeckung: grossräumige Lehmgewinnung im Tagebau. In: R. Salathé (Red.), Augst und Kaiseraugst: Zwei Dörfer – eine Geschichte. (Liestal 2007), 46–49; L. Berger: Führer durch Augusta Raurica. Basel 2012⁷, 314–316, Abb. 343 und 344.