Propylaeum
DOK

Stefan Wintermantel

Die Texte der Aachener Enzyklopädie zur hydrostatischen Waage und zum Metallguss – wissenschaftshistorische Bedeutung und Überlieferung

Erschienen 2021 auf Propylaeum-DOK
URN: urn:nbn:de:bsz:16-propylaeumdok-50637
DOI: https://doi.org/10.11588/propylaeumdok.00005063
URL: http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/propylaeumdok/volltexte/2021/5063

Inhalt

Einführung 3
Die Unterteilung der *libra* in Unzen, *solidi* und Denare 3
Die hydrostatische Waage zur Prüfung von Gold und Silber 7
Drei nachkarolingische Text zur hydrostatischen Waage 19
Die Bemessung der Metalle beim Metallguss 22
Überlieferungsgeschichtliche Fragen 27
Schlussfolgerungen 33
Abbildungsnachweis 35

Einführung

Gegen Ende der Regierungszeit Karls des Großen entstand ab 809 am Aachener Hof ein umfangreiches, sieben Bücher und etwa 150 Kapitel umfassendes Werk. Es wurde 2006 von Arno Borst im Rahmen einer umfangreichen dreibändigen Edition der *Schriften zur Komputistik im Frankenreich von 721 bis 818* unter der Bezeichnung *Aachener Enzyklopädie von 809* erstmals vollständig herausgegeben.[1] Dem Inhalt angemessener ist der zweite, ebenfalls von Borst verliehene Titel: *Libri computi*. Das zentrale Thema ist die Komputistik (Zeitrechnung), deren vornehmster Zweck in der Osterrechnung bestand, der Vorausberechnung des alljährlichen Termins des am ersten Sonntag nach dem ersten Frühlingsvollmond zu feiernden Festes der Auferstehung des Herrn. Wohl auf persönliche Initiative Karls hatte sich der in Aachen um Einhard, den Leiter der Hofschule, versammelte Gelehrtenkreis der Aufgabe gestellt, die auf dem Gebiet der Komputistik und verwandter Themenkreise, beispielsweise der Astronomie, bekannten Schriften zu sichten, zu bewerten und zu einer einheitlichen Darstellung zusammenzuführen. Die *Libri computi* seien, so Borst, in keine literarische Gattung zu pressen. „Am ehesten sind sie eine Synthese von antikem Naturverständnis und christlichem Zeitbewusstsein […]. Wir besitzen kein so anspruchsvolles und ansprechendes Denkmal karolingischer Rationalität wie diese Fachenzyklopädie, die aus den seit Jahrhunderten angehäuften Textsplittern der Komputistik einen Bau der Zeitenordnung errichtete und weiter zur Weltnormierung strebte."

Die beiden letzten Bücher der *Libri computi* betreffen auch Themen, die keinen direkten Bezug zur Komputistik erkennen lassen. Das 2. Kapitel des 6. Buches befasst sich mit der hydrostatischen Waage, das 3. Kapitel mit der Bemessung der Metalle beim Metallguss. Sie sind in der Folge teilweise separat tradiert worden. Marcellin Berthelot hat sie bereits 1891 anhand anderer Quellen beschrieben und ihren wissenschaftshistorischen Stellenwert betont.[2] Eine Interpretation der beiden Kapitel im Kontext der Aachener Enzyklopädie steht noch aus. Die Schwerpunkte der folgenden Untersuchung liegen auf ihrer Bedeutung für die Wissenschaftsgeschichte und auf ihrer von der Aachener Enzyklopädie ausgehenden Überlieferung. Zuvor ist jedoch noch ein Blick auf das 7. Buch erforderlich, speziell auf einen Absatz zur *libra*, dem von den Römern übernommenen Pfund, und ihren größeren Unterteilungen, dessen Inhalt für das weitere Verständnis essentiell ist.

Die Unterteilung der *libra* in Unzen, *solidi* und Denare

Anschließend an eine Abschrift von *De natura rerum* des angelsächsischen Gelehrten Beda Venerabilis (673/74–735) behandelt das 7. Buch die Längenmaße, Gewichte und Hohlmaße. Als Gewährsmann nennt der Einleitungssatz Isidor von Sevilla; insgesamt schöpft der Text aber aus verschiedenen Quellen. Unzutreffend sind Borsts Anmerkungen, nach denen die Aufzählungen der verschiedenen Maßgruppen „nach Exc. mensur."[3] erfolgen, wo sie den *Etymologiae* des Isidor[4] aus dem frühen 7. Jahrhundert und weiteren Quellen entnommen seien.[5] Die Abkürzung „Exc. mensur." bezieht sich auf einen Text, der im Codex Gudianus 105 im Anschluss an die Schriften römischer Agrimensoren unter der Überschrift *IN DEI NOMINE PAUCA DE MENSURIS SECUNDUM GEOMETRICAE DISCIPLINAE RATIONEM EX*

[1] *Die Aachener Enzyklopädie von 809*, bearb. v. ARNO BORST, in: Schriften zur Komputistik im Frankenreich von 721 bis 818, Teil 3 (Monumenta Germaniae Historica, Quellen zur Geistesgeschichte des Mittelalters 21/3), Hannover, 2006, S. 1054–1334, hier S. 1054 f., Zitat S. 1064 f.

[2] MARCELLIN BERTHELOT: *Sur l'histoire de la balance hydrostatique et de quelques autres appareils et procédés scientifiques*, in: Annales de chimie et de physique 6/23, 1891, S. 475–485, hier S. 478 ff., S. 482 f. – Später veröffentlicht in: BERTHELOT: *La chimie au moyen âge*, Bd. 1: *Essai sur la transmission de la science antique au moyen âge. Doctrines et pratiques chimiques*, Paris, 1893, S. 167–178, hier S. 169 ff., S. 175 f.

[3] ARNO BORST: Schriften zur Komputistik im Frankenreich von 721 bis 818, Teil 1 (Monumenta Germaniae Historica, Quellen zur Geistesgeschichte des Mittelalters 21/1), Hannover, 2006, S. XXXII: „Exc. mensur.: Pauca de mensuris … excerpta, hg. von HULTSCH, Metrologici 2 S. 135–142 Nr. 137–139".

[4] Von BORST benutzte Ausgabe: ISIDOR VON SEVILLA: *Isidori Hispalensis episcopi Etymologiarum sive Originum libri XX*, bearb. v. WALLACE M. LINDSAY, 2 Bände, Oxford, 1911.

[5] ARNO BORST (wie Anm. 1), S. 1326 Anm. 191, S. 1328 Anm. 192 u. S. 1332 Anm. 194.

VOLUMINIBUS ERUDITORUM VIRORUM EXCERPTA INCIPIUNT – „Im Namen Gottes beginnt einiges Wenige über die Maße nach der Rechenweise der geometrischen Disziplin, den Bänden der gelehrten Männer entnommen“ – überliefert ist.[6]

Tatsächlich sind aber die beiden Texte – der Maßtext des 7. Buches und „Exc. mensur.“ – im Wesentlichen identisch, und „Exc. mensur.“ diente nicht als Vorlage, sondern ist ein Auszug aus den *Libri computi*, die mit den „Bänden der gelehrten Männer“ der Überschrift explizit angesprochen werden! Dass es sich um keine ältere Vorlage handelt, geht eindeutig aus einer Bemerkung hervor, die bei der Beschreibung von Messlatten unterschiedlicher Länge beiläufig eingefügt ist:[7]

> *Idcirco putamus ministeriales imperatorum maiores in accipiendo, minores in dando mensuras habuisse.*
>
> Deswegen glauben wir, dass die Ministerialen der Kaiser große Maße beim Annehmen und kleine beim Geben verwenden.

Diese Passage muss sicher in die Zeit nach der Kaiserkrönung Karls im Jahr 800 gelegt werden. Wegen der Pluralform (*imperatorum*) liegt sogar eine Niederschrift erst in der Zeit zwischen der Krönung Ludwigs des Frommen zum Mitkaiser im September 813 und dem Tod Karls im Januar 814 nahe.[8] Der Codex Gudianus 105 ist wahrscheinlich in der Mitte oder im dritten Viertel 9. Jahrhunderts in der nordfranzösischen Abtei Corbie entstanden.[9] Die Vorlage des betreffenden Maßtexts könnte durch Adalhard, Vetter Karls und Abt von Corbie, dorthin gelangt sein, der bei der Erstellung der Aachener Enzyklopädie wahrscheinlich als Koordinator fungierte.[10] Die Zuweisung an den Aachener Hof zieht nun auch Konsequenzen für die Bewertung des Inhalts nach sich. Der Text wurde in der Vergangenheit zur Beantwortung metrologischer Fragestellungen häufig herangezogen; dabei musste die Unkenntnis des historischen Kontexts zwangsläufig zu Fehlinterpretationen führen.[11] Elisabeth Nau gab 1972 eine Entstehung in der Mitte des 7. Jahrhunderts an;[12] noch 2005 folgte ihr in diesem Punkt Hubert Mordek.[13]

Da der oben zitierte Abschnitt von einiger Brisanz ist, soll kurz auf die Hintergründe eingegangen werden: Er bezieht sich, auch wenn er hier in den Zusammenhang der Längenmaße gestellt ist, eindeutig auf die von Karl zuerst in der *Admonitio generalis* des Jahres 789 ausgesprochene, später noch häufig wiederholte Ermahnung, „dass alle gleiche und rechte Maße sowie rechtmäßige und gleiche Gewichte haben sollen,

[6] Wolfenbüttel, Herzog August Bibliothek, Cod. Guelf. 105 Gud. lat, fol. 109r–111v, zugänglich unter: URL *http://diglib.hab.de/?db=mss&list=ms&id=105-gud-lat* . – Abgedruckt in: *Die Schriften der römischen Feldmesser*, Bd. 1: *Texte und Zeichnungen*, bearb. v. FRIEDRICH BLUME, KARL LACHMANN u. ADOLF RUDORFF, Berlin, 1848, S. 371–376 und unter dem Titel: *Excerpta ex Isidoro*, bearb. v. FRIEDRICH HULTSCH, in: *Metrologicorum scriptorum reliquiae*, Bd. 2, Leipzig, 1866, S. 135–142.

[7] *Die Aachener Enzyklopädie von 809* (wie Anm. 1), S. 1324, im Codex Gudianus 105 auf fol. 109v Zeile 4 f. (eigene Übersetzung).

[8] Bislang wurde angenommen, dass bis 810, vielleicht auch bis 812 an dem Text gearbeitet wurde, vgl. ARNO BORST (wie Anm. 1), S. 1057.

[9] BERNHARD BISCHOFF: *Katalog der festländischen Handschriften des neunten Jahrhunderts (mit Ausnahme der wisigotischen)*, Teil 3: *Padua–Zwickau*, aus dem Nachlass herausgegeben von BIRGIT EBERSPERGER, Wiesbaden, 2014, S. 502 Nr. 7314: „Corbie, IX. Jh., Mitte / 3. Viertel“.

[10] ARNO BORST (wie Anm. 1), S. 1055.

[11] Z. B. bei AUGUST OXÉ: *Kor und Kab. Antike Hohlmaße und Gewichte in neuer Beleuchtung*, in: Bonner Jahrbücher 147, 1942, S. 91–216, hier S. 112: OXÉ weist den Text ISIDOR VON SEVILLA zu. Im Zusammenhang mit der Beschreibung der Hohlmaße (Kap. 4 des 7. Buches) spricht er von „Maßangaben […] eines längeren Hohlmaß-Traktates des Isidorus“. Auf S. 129 f., S. 138, S. 150, S. 164, S. 178 f. u. S. 205 wird ISIDOR ebenfalls als Autor genannt.

[12] ELISABETH NAU: *Epochen der Geldgeschichte*, Stuttgart, 1972, S. 36: „Der um die Mitte des 7. Jahrhunderts entstandene Codex Gudianus“. Diese Datierung folgt WILHELM JESSE: *Quellenbuch zur Münz- und Geldgeschichte des Mittelalters*, Halle, 1924 (Ndr. 1968), S. 3 Nr. 10.

[13] HUBERT MORDEK: *Karls des Großen zweites Kapitular von Herstal und die Hungersnot der Jahre 778/779*, in: Deutsches Archiv für Erforschung des Mittelalters 61, 2005, S. 1–52, hier S. 17 Anm. 74.

sei es in den Städten, sei es in den Klöstern, sei es dort beim Geben, sei es beim Annehmen".[14] Die Bemerkung zum Fehlverhalten der *ministeriales imperatorum* ist dabei in zweierlei Hinsicht befremdlich: Zum einen legt sie nahe, dass sich in der Spätzeit Karls nicht einmal mehr seine eigenen Amtsträger an die offiziell vorgegebene Linie hielten, zum anderen überrascht, dass es die Autoren – offenbar hinter dem Rücken Karls – überhaupt wagten, einen Satz mit solch beißender Kritik am restlichen Hofbetrieb in den Text einzuschieben. Es hat den Anschein, dass dem alternden Karl am Ende die Zügel zunehmend entglitten waren.

Der Text lässt auch eine seltsame Distanz gegenüber den zur Zeit seiner Entstehung nachweisbaren metrologischen und numismatischen Verhältnissen erkennen. Es geht den Autoren sichtlich mehr um die Tradierung der aus der Antike überlieferten Maßeinheiten als um die Darstellung der zeitgenössischen Realität. Wir beschränken uns im Folgenden auf eine vielzitierte Stelle, die die größeren Unterteilungen der von den Römern übernommenen *libra* beschreibt:[15]

> *Iuxta Gallos vigisima pars unciae denarius est, et duodecim denarii solidum reddunt. Ideoque iuxta numerum denariorum tres unciae quinque solidos complent; sic et quinque solidi in tres uncias redeunt. Nam duodecim unciae libram, viginti solidos continentem, efficiunt. […]*
>
> *Libra dicitur, quicquid per duodenarii numeri perfectionem adimpletur. Nam libra dici potest annus; qui constat ex quattuor temporibus et duodecim mensibus et ex quinquaginta duabus ebdomadibus et die vel quadrante. Libra esse potest aequinoctialis dies sine sua nocte; qui constat duodecim horis.*
>
> Bei den gallischen Einwohnern ist der Denar der zwanzigste Teil einer Unze, und zwölf Denare gehen auf einen *solidus*. Deswegen ergeben nach der Anzahl der Denare drei Unzen fünf *solidi;* so kommen auch fünf *solidi* auf drei Unzen. Zwölf Unzen ergeben nämlich eine *libra***,** welche zwanzig *solidi* enthält. […]
>
> *Libra* wird genannt, was durch die Vollkommenheit der Zwölfzahl ausgefüllt ist. Denn das Jahr kann *libra* genannt werden; es besteht aus vier Jahreszeiten, zwölf Monaten sowie aus zweiundfünfzig Wochen und einein-viertel Tagen. Auch der Tag zur Tag-und-Nacht-Gleiche kann ohne seine Nacht eine *libra* sein; er besteht aus zwölf Stunden.

Der Abschnitt beschreibt neben der althergebrachten Einteilung der *libra* in 12 Unzen als weitere Untereinheiten den *solidus* und den Denar, monetäre Größen, von denen aber nur der Silberdenar tatsächlich ausgemünzt wurde. Die Formel: 1 Pfund = 20 *solidi* = 240 *denarii* bildete in der Folge die Grundlage aller europäischen Währungssysteme,[16] in England bis zur Einführung des Dezimalsystems 1971: 1 Pfund Sterling = 20 *shilling* = 240 *pence*. Sie spiegelt, auch wenn der Text als solcher aus dem frühen 9. Jahrhundert stammt, möglicherweise eine schon wesentlich ältere, merowingische Tradition wider.[17] Da die um 754/55 erlassene Münzordnung Pippins eine andere Gewichtsrelation des *solidus* angibt,[18] wird man ihre allgemeine Durchsetzung auf der Grundlage der 12-Unzen-*libra* jedoch frühestens für dessen spätere Regierungszeit annehmen können.

Mit den *Gallos* sind die in der *Gallia* ansässigen Bewohner gallorömischer Abkunft gemeint. Sie konnten im Gegensatz zu den eingewanderten und den rechtsrheinisch ansässigen Germanenstämmen auf eine

[14] *Die Admonitio generalis Karls des Großen*, bearb. v. HUBERT MORDEK, KLAUS ZECHIEL-ECKES u. MICHAEL GLATTHAAR, in: Monumenta Germaniae Historica, Fontes iuris Germanici antiqui in usum scholarum separatim editi 16, Hannover, 2012, S. 226: *Ut aequales mensuras et rectas et pondera iusta et aequalia omnes habeant, sive in civitatibus sive in monasteriis, sive ad dandum in illis sive accipiendum.*

[15] *Die Aachener Enzyklopädie von 809* (wie Anm. 1), S. 1327 (eigene Übersetzung).

[16] ELISABETH NAU: *Numismatik und Geldgeschichte 1947–1968*, in: Blätter für deutsche Landesgeschichte 105, 1969, S. 260–303, hier S. 277.

[17] HARALD WITTHÖFT: *Münzfuß, Kleingewichte, pondus Caroli und die Grundlegung des nordeuropäischen Maß- und Gewichtswesens in fränkischer Zeit* (Sachüberlieferung und Geschichte. Siegener Abhandlungen zur Entwicklung der materiellen Kultur, Bd. 1), Ostfildern, 1984, S. 40–45. – ELISABETH NAU (wie Anm. 12), S. 35 ff.

[18] *Pippini Regis Capitulare*, bearb. v. ALFRED BORETIUS, in: Monumenta Germaniae Historica, Capitularia Regum Francorum 1, Hannover, 1883, S. 30 f. hier S. 31: *De moneta constituimus, ut amplius non habeat in libra pensante nisi XXII solidos, et de ipsis XXII solidis monetarius accipiat solidum l, et illos alios domino cuius sunt reddat*. – Vgl. HARALD WITTHÖFT (wie Anm. 17), S. 21–25.

lange monetäre Tradition zurückblicken. Die Verbreitung der Prägestätten und der als Grabbeigaben gefundenen Feinwaagen zeigt, dass in merowingischer Zeit nordöstlich einer Linie, die ungefähr vom Verlauf der Seine beschrieben wird, das Geld nicht nach der Stückzahl in Zahlung genommen, sondern nach dem Metallwert abgewogen wurde.[19] Diese strukturellen Unterschiede wirkten bis in die karolingische Zeit nach: Vor 833 existierte östlich des Rheins keine Münzprägestätte.[20]

Wir wissen nicht, ob die Autoren der Aachener Enzyklopädie die oben zitierte Passage selbst formuliert oder aus einer etwas älteren Quelle kompiliert haben. Sicher ist aber, dass die beschriebenen Zahlenverhältnisse zwischen der Unze sowie der *libra* zu 12 Unzen einerseits und dem ausgemünzten Silberdenar sowie dem Silbersolidus andererseits zur Zeit ihrer Abfassung schon längst keine Gültigkeit mehr hatten. Das Frankfurter Kapitular des Jahres 794 verweist auf einen Erlass, der die alleinige Verwendung des *denarius novus* vorschrieb.[21] Dessen Gewicht war gegenüber dem alten Silberdenar von ca. 1,3 g auf ca. 1,7 g erhöht worden.[22] Auf Grundlage einer unbeachtet gebliebenen Zeichnung im Cod. sang. 731 der Stiftsbibliothek St. Gallen, die den neuen Denar bereits abbildet (*Abb. 1*),[23] datiert Ildar Garipzanov seine Einführung neuerdings schon in die Zeit zwischen Herbst 792 und Frühherbst 793.[24] Mit der Erhöhung des Münzgewichts war auch eine Erhöhung des zugehörigen, dem Gewicht von 240 Denaren entsprechenden Rechenpfunds verbunden: Gegenüber der *libra* zu 12 Unzen, die wir in der Folge mit dem von Harald Witthöft eingeführten Rechenwert von 326,592 g ansetzen, wog dieses „Karlspfund“ 15 Unzen oder 408,24 g.[25] Das Frankfurter Kapi-

Abb. 1: Der denarius novus. St. Gallen, Stiftsbibliothek, Cod. sang. 731, Seite 111 (www.e-codices.ch)

[19] JOACHIM WERNER: *Waage und Geld in der Merowingerzeit*, in: Sitzungsberichte der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Philosophisch-historische Klasse, 1954, S. 3–40, hier S. 17–20, insbes. Karte S. 18.

[20] VOLKER HILBERG: *Zwischen Innovation und Tradition. Der karolingische Einfluss auf das Münzwesen in Skandinavien*, in: *Die Wikinger und das Fränkische Reich. Identitäten zwischen Konfrontation und Annäherung* (Mittelalterstudien des Instituts zur Interdisziplinären Erforschung des Mittelalters und seines Nachwirkens, Paderborn, Bd. 29), hrsg. v. KERSTIN P. HOFMANN, HERMANN KAMP u. MATTHIAS WEMHOFF, Paderborn, 2014, S. 133–215, hier S. 134.

[21] *Capitulare Francofurtense*, bearb. v. ALBERT WERMINGHOFF, in: Monumenta Germaniae Historica, Concilia 2/1, Hannover u. Leipzig, 1906, S. 165–171, hier S. 166 Kap. 5.

[22] PHILIP GRIERSON: *Money and Coinage under Charlemagne*, in: *Karl der Große. Lebenswerk und Nachleben*, Bd. 1: *Persönlichkeit und Geschichte*, hrsg. v. WOLFGANG BRAUNFELS u. HELMUT BEUMANN, Düsseldorf, 1965, S. 501–536, hier S. 506. – LUDOLF KUCHENBUCH (*Versilberte Verhältnisse. Der Denar in seiner ersten Epoche 700–1000*, Göttingen, 2016, S. 34) gibt neuerdings das Gewicht des alten Denars mit 1,25 g und das Gewicht des neuen Denars mit 1,65 g an.

[23] St. Gallen, Stiftsbibliothek, Cod. sang. 731, Seite 111 *(www.e-codices.ch)*, Permalink: URL *https://www.e-codices.unifr.ch/de/csg/0731/111* . Creative Commons-Lizenz 4.0 (CC BY NC – Namensnennung, nicht kommerziell): URL *https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/* .

[24] ILDAR GARIPZANOV: *Regensburg, Wandalgarius and the novi denarii: Charlemagne's monetary reform revisited*, in: Early Medieval Europe 24, 2016, S. 58–73, insbes. S. 58, S. 67 u. S. 72. Vgl. auch LUDOLF KUCHENBUCH (wie Anm. 22), S. 28.

[25] HARALD WITTHÖFT (wie Anm. 17), insbes. Tabelle S. 87 und WITTHÖFT: *„Denarius novus“, „modius publicus“ und „libra panis“ im Frankfurter Kapitulare. Elemente und Struktur einer materiellen Ordnung in fränkischer Zeit*, in: *Das Frankfurter Konzil von 794. Kristallisationspunkt karolingischer Kultur. Akten zweier Symposien (vom 23. bis 27. Februar und vom 13. bis 15. Oktober 1994) anläßlich der 1200-Jahrfeier der Stadt Frankfurt am Main*, Teil 1: *Politik und Kirche* (Quellen und Abhandlungen zur mittelrheinischen Kirchengeschichte, Bd. 80),

tular schreibt außerdem vor, ausschließlich den *modius publicus et noviter statutus* – den „öffentlichen und neu festgesetzten *modius*“ – zu verwenden, ein Hohlmaß vergleichbar dem Scheffel, das aber auch als Flüssigkeitsmaß diente, vornehmlich für Wein.[26] Diese Neuerungen geben Anlass zur Vermutung, dass in den Jahren 792/93 eine umfassende Reform auf dem Gebiet des Münz-, Gewichts- und Maßwesens erfolgt war.

Obwohl die Aachener Autoren diese Verhältnisse zweifellos gekannt haben, erwähnen sie das 15 Unzen schwere Pfund mit keinem Wort, im Gegenteil: Demonstrativ betonen sie im Zusammenhang mit den 12 Unzen der *libra* die zahlensymbolische Sonderstellung der Zahl Zwölf, die darüber hinaus, beispielsweise durch die zwölf Apostel, auch aus der Bibel begründet ist. Die *libra* wäre nach dieser Darstellung geradezu die metaphysische Verkörperung der Zwölfzahl. Dies ist nur vor dem Hintergrund verständlich, dass der oben zitierte Abschnitt zum Kapitel über die Gewichte gehört und sich nicht explizit mit dem Münzwesen befasst.

Die Autoren beschreiben den *denarius* und den *solidus* somit als Gewichtseinheiten, nicht als Münzwerte. Die plausible Erklärung ist, dass die Formel vor der Reform 792/93 nicht nur zur Münzrechnung, sondern auch zur Gewichtsberechnung verwendet wurde, und dass die alten Münzgewichte nach der Reform, nun abgekoppelt vom erhöhten Münzwert, als Gewichtseinheiten weiterverwendet wurden. Diese Sichtweise findet ihre Bestätigung im 1. Kapitel des 6. Buches, das die Untereinheiten und Vielfache der Unze aufzählt. Dort wird die Unze mit 20 *denarii Gallici* gleichgesetzt.[27] In den darauffolgenden Kapiteln werden die Gewichte dann in *librae*, Unzen und *denarii* angegeben. Das 2. Kapitel – *De probatione auri et argenti* – beschreibt ein Verfahren zur „Prüfung von Gold und Silber“.[28]

Die hydrostatische Waage zur Prüfung von Gold und Silber

Die beschriebene „Prüfung“ dient dem Zweck, für einen vordergründig aus Gold hergestellten Gegenstand herauszufinden, ob und zu welchem Teil in unlauterer Absicht Silber zugemischt wurde. Sie verwendet die schon seit dem Altertum bekannte gleicharmige Balkenwaage, wie sie beispielsweise im karolingischen Utrecht-Psalter zur Illustration des Psalms 10 (11) abgebildet ist (*Abb. 2*).[29] Sie soll dort – übrigens ganz im Sinne ihres im Aachener Text beschriebenen praktischen Zwecks! – die Gerechtigkeit symbolisieren: unten die Sünder, die den Bogen spannen, oben der Rechtschaffene, der zum Herrn aufblickt, in der Hand die Waage.

Abb. 2: Die Waage im Utrecht-Psalter, fol. 6r

In der Anwendung als hydrostatische Waage werden die Waagschalen samt Inhalt unter Wasser getaucht. Dabei wird das durch Archimedes von Syrakus im 3. Jahrhundert v. Chr. entdeckte und nach ihm benannte physikalische Prinzip genutzt, nach dem der Auftrieb eines Körpers in einer Flüssigkeit

hrsg. v. RAINER BERNDT, Mainz, 1997, S. 219–252, insbes. Tabellen S. 239 f. u. S. 242.

[26] *Capitulare Francofurtense* (wie Anm. 21), S. 166 Kap. 4.

[27] *Die Aachener Enzyklopädie von 809* (wie Anm. 1), S. 1306.

[28] Irreführend ist die Angabe ARNO BORSTS (wie Anm. 1), S. 1308 Anm. 182: „Reinheitsprüfung für Edelmetalle mithilfe des spezifischen Gewichts, nach Vitruv Arch. S. XXVIII“. Der Verweis bezieht sich auf die Ausgabe: *Vitruvii De architectura libri decem*, bearb. v. VALENTIN ROSE, 2. Aufl., Leipzig, 1899. Dort ist das 2. Kapitel des 6. Buchs der *Libri computi* als Zusatz abgedruckt. Gleiches gilt für S. 1310 Anm. 183 bezüglich des 3. Kapitels.

[29] *Utrecht-Psalter*, Universitätsbibliothek Utrecht, Ms. 32, fol. 6r, zugänglich unter: URL *https://psalter.library.uu.nl/page?p=18&res=2&x=0&y=0* .

gleich dem Gewicht des von ihm verdrängten Flüssigkeitsvolumens ist. Aufgrund der unterschiedlichen Dichten von Gold (19,3 g/cm^3) und Silber (10,5 g/cm^3)[30] werden Körper aus den beiden Metallen und einer von ihnen gebildeten Legierung, die in der Luft gleiches Gewicht haben, unter Wasser einem unterschiedlichen Auftrieb unterliegen. Reines Gold erscheint dabei nach dem Eintauchen der Waagschalen schwerer als eine Gold-Silber-Legierung, diese ihrerseits schwerer als reines Silber.

Archimedes selbst soll nach dem Bericht des römischen Architekturtheoretikers Vitruv das Problem jedoch auf andere Weise gelöst haben. In seinen in der zweiten Hälfte des 1. Jahrhunderts v. Chr. niedergeschriebenen *De architectura libri decem* – „Zehn Bücher über Architektur" – schildert er die bekannte Anekdote: Hieron der Jüngere von Syrakus habe nach seinen Siegen den Göttern in einem Heiligtum einen goldenen Kranz als Weihegabe niederlegen wollen. Auf den Verdacht hin, dass der Handwerker von dem ihm überlassenen Gold etwas weggenommen und das gleiche Gewicht an Silber zugemischt habe, bat er Archimedes, sich darüber Gedanken zu machen (Übersetzung nach Curt Fensterbusch):[31]

> Während dieser darüber nachdachte, ging er zufällig in eine Badestube und, als er dort in die Badewanne stieg, bemerkte er, dass ebenso viel wie er von seinem Körper in die Wanne eintauchte, an Wasser aus der Wanne herausfloss. Weil [dieser Vorgang] einen Weg für die Lösung der Aufgabe gezeigt hatte, hielt er sich daher nicht weiter auf, sondern sprang voller Freude aus der Badewanne, lief nackend nach Haus und rief mit lauter Stimme, er habe das gefunden, was er suche. Laufend rief er nämlich immer wieder griechisch: „Ich hab's gefunden! Ich hab's gefunden" [„Heureka"]. Dann aber soll er in Verfolg dieser Entdeckung zwei Klumpen von dem gleichen Gewicht, das auch der Kranz hatte, gemacht haben, einen aus Gold, einen zweiten aus Silber. Danach füllte er ein großes Gefäß bis an den äußersten Rand mit Wasser, und dahinein tauchte er den Silberklumpen. Der Größe des in das Wasser eingetauchten Silberklumpens entsprach die Menge des abfließenden Wassers. Dann nahm er den Klumpen heraus. Darauf goss er, mit einem Sextar abmessend, so viel Wasser, wie es weniger geworden war, in das Gefäß nach, sodass das Wasser in derselben Weise, wie es vorher gewesen war, mit dem Rand eine waagerechte Fläche bildete. So fand er daraus, welches bestimmte Gewicht Silber einem bestimmten Maß Wasser entsprach. Nachdem er dies festgestellt hatte, tauchte er in der gleichen Weise den Goldklumpen in das volle Gefäß, nahm ihn wieder heraus, fügte in der gleichen Weise das abgemessene Quantum Wasser hinzu und fand, weil der Messbecher eine geringere Arzah1 von Sexteln Wasser anzeigte, um wie viel bei gleich großem Gewicht ein Goldklumpen in seinem Volumen kleiner ist als ein Silberklumpen. Später aber füllte er das Gefäß wieder auf, tauchte den Kranz selbst in das gleiche Wasser hinein und fand, dass, als der Kranz eingetaucht war, mehr Wasser abgeflossen war als dann, als der Goldklumpen von gleichem Gewicht eingetaucht war.

Anschließend soll Archimedes aus den abgemessenen Wassermengen die Beimischung des Silbers zum Gold errechnet und damit den Betrug des Goldschmieds nachgewiesen haben. Das von Vitruv beschriebene Verfahren ist zwar von der Theorie her schlüssig, erweist sich unter realistischen Bedingungen jedoch als undurchführbar. Der Mathematikprofessor Chris Rorres hat es unter folgenden Voraussetzungen durchgerechnet: Masse des Kranzes 1000 g, Silberanteil des Kranzes 30 %, Durchmesser des Gefäßes 20 cm. Der Kranz würde dann den Wasserspiegel nur um 0,41 mm weiter anheben als der Goldklumpen, viel zu wenig, um den Unterschied direkt beobachten zu können oder gar die Menge des überfließenden Wassers zu messen.[32] Gegen Vitruvs Bericht spricht auch ein weiterer Aspekt: Er unterstellt, dass Archimedes zur Problemlösung auf das von ihm entdeckte Archimedische Prinzip gar nicht zurückgegriffen hätte. Das ist wenig plausibel. Falls sich die Geschichte mit dem Betrug überhaupt zugetragen hat, dann hat er also wahrscheinlich bereits die hydrostatische Waage verwendet. Zweifelhaft ist ferner, dass sich die Archimedes zugeschriebene Prüfung auf Gold und Silber beschränkt, die Möglichkeit der Zumischung weiterer Metalle jedoch unberücksichtigt lässt. Diese verkürzte Problemstellung zieht sich allerdings bis in die Neuzeit durch die Überlieferung.

[30] Dichte der Metalle – auch im Folgenden – nach HANS-RUDOLF CHRISTEN: *Grundlagen der allgemeinen und anorganischen Chemie*, 5. Aufl., Aarau u. Frankfurt a. M., 1977, S. 518 Tab. 16.1 u. S. 656 Tab. 24.1.

[31] Übersetzung nach VITRUV: *De architectura libri decem (Zehn Bücher über Architektur)*, bearb. u. übersetzt v. CURT FENSTERBUSCH, 7. Aufl., Darmstadt, 2013, Liber nonus, Vorrede, 9–12, S. 406/407, S. 408/409 u. S. 410/411.

[32] *Archimedes*, Website von CHRIS RORRES, Menü: *The Golden Crown*, URL *https://www.math.nyu.edu/~crorres/Archimedes/Crown/CrownIntro.html* .

Die von Vitruv berichtete Geschichte wird in späteren antiken Quellen teils nur kurz erwähnt,[33] teils auch ausführlicher behandelt. Durch ein arabisches Manuskript, das in der Bibliothek von San Lorenzo de El Escorial bei Madrid aufbewahrt wird, ist eine Schrift des Mathematikers und Astronomen Menelaos von Alexandria überliefert, die sich mit der Bestimmung der Zusammensetzung von Legierungen befasst.[34] Adressat war wahrscheinlich Kaiser Domitian.[35] Da Domitian im weiteren Text mit dem Siegerbeinamen *Germanicus* angesprochen wird, den er nach dem Sieg im ersten Chattenkrieg angenommen hatte, dürfte die Schrift zwischen dem August des Jahres 83 n. Chr.[36] und Domitians Ermordung im September 96 n. Chr. entstanden sein.

Menelaos beschreibt zunächst den Ablauf der Geschehnisse in ähnlicher Weise wie Vitruv; er berichtet auch, dass die Silberbeimischung durch Archimedes nachgewiesen worden sei. „Aber von dem Wesen dieses Kunstgriffes des Archimedes ist kein Kunde zu uns gelangt.“[37] Bevor er seine theoretischen Überlegungen näher ausführt, verweist Menelaos jedoch auf eine von einem gewissen Mantias beschriebene Waage, die das Problem im Sinne von Archimedes löst. Ihre Besonderheit besteht darin, dass die Aufhängung einer der beiden Waagschalen entlang des Balkens verschiebbar ist, so dass sie unter Nutzung des Hebelgesetzes auch bei unterschiedlich belasteten Schalen ins Gleichgewicht gebracht werden kann. Mit dem Hebelgesetz wendet sie damit neben dem Archimedischen Prinzip ein weiteres der von Archimedes formulierten grundlegenden physikalischen Gesetze an. Zunächst wird die Waage dadurch geeicht, dass man in die verschiebbare Schale Gold- und Silberstücke mit verschiedenen ganzzahligen Gewichtsverhältnissen und in die andere Schale jeweils Silber mit dem Gesamtgewicht dieser Gold- und Silberstücke legt. Wenn nun die Waagschalen ins Wasser getaucht werden und die Waage sich auf die Seite mit den Goldstücken neigt, muss die verschiebbare Schale bis zum Gleichgewicht in Richtung des Drehpunkts des Balkens verschoben und der Aufhängepunkt für die verschiedenen Gewichtsverhältnisse von Gold und Silber jeweils am Balken markiert werden. Für einen aus Gold und Silber bestehenden Körper lässt sich nun das Gewichtsverhältnis der beiden Metalle an den Markierungen ablesen, indem die Prozedur mit dem betreffenden Körper und Silber gleichen Gewichts wiederholt wird.

Teile der Schrift des Menelaos wurden anfangs des 12. Jahrhunderts durch al-Khāzinī, einen muslimischen Astronomen und Mathematiker byzantinischer Abkunft, in seiner *Waage der Weisheit* zitiert.[38] Er beschreibt die Waage, die er nun explizit auf Archimedes zurückführt, etwas anders: Der Gewichtsausgleich unter Wasser wird hier nicht durch das Verschieben der Schalenaufhängung, sondern über ein am Balken verschiebbar befestigtes Laufgewicht erreicht. Diese Anordnung entspricht der Beschreibung der hydrostatischen Waage im spätantiken *Carmen de ponderibus et mensuris*, kurz: *Carmen de ponderibus*.

[33] CHRIS RORRES (wie Anm. 32), Untermenü: *Sources*.

[34] Madrid, Real Biblioteca de Escorial, Ms. D. $960_{3(43r)}$ / C. 955 (D. = moderner Katalog H. DERENBOUG, C. = alter Katalog M. CASIRI), siehe: AURORA CANO LEDESMA: *Indización de los manuscritos árabes de El Escorial*, Bd. 1, Madrid, 1996, S. 92 Nr. 7. – Edition mit arabischem Text und französischer Übersetzung: ROSHDI RASHED: *L'hydrostatique de Ménélaüs: Introduction, édition et traduction* (Scientia Graeco-Arabica, Bd. 27), Berlin/Boston, 2020, S. 34–71, zu Archimedes und der hydrostatischen Waage S. 34–39. – Deutsche Übersetzung von EILHARD WIEDEMANN bei JOSEPH WÜRSCHMIDT: *Die Schrift des Menelaus über die Bestimmung der Zusammensetzung von Legierungen*, in: Philologus. Zeitschrift für das klassische Altertum und sein Nachleben 80 (NF 34), 1925, S. 377–409, zu Archimedes und der hydrostatischen Waage S. 380–382. – Vgl. auch THOMAS IBEL: *Die Wage im Altertum und im Mittelalter*, Dissertation Unversität Erlangen, 1908, S. 183 ff. u. S. 154 Fig. 38.

[35] ROSHDI RASHED (wie Anm. 34), S. 35 Anm. 53. Zu lesen ist *Tir[…]tās*. Der Kopist hat offenbar eine Lücke gelassen, weil er die Vorlage nicht entziffern konnte. Aus einer anderen Quelle: *Tū[mā]tyānūs*.

[36] KARL STROBEL: *Der Chattenkrieg Domitians. Historische und politische Aspekte*, in: Germania. Anzeiger der Römisch-Germanischen Kommission des Deutschen Archäologischen Instituts 65, 1987, S. 423–452, hier S. 434: Nach dem Zeugnis der Prägungen der Münze in Alexandria muss die Nachricht der vollzogenen Änderung der Titulatur Domitians bereits einige Zeit vor dem 28. August 83 n. Chr. in Alexandria eingetroffen sein.

[37] Zitat nach EILHARD WIEDEMANN bei JOSEPH WÜRSCHMIDT (wie Anm. 34), S. 381.

[38] ROSHDI RASHED (wie Anm. 34), S. 73–91, zu Archimedes und der hydrostatischen Waage S. 76–81. – Vgl. auch THOMAS IBEL (wie Anm. 34), S. 185 f.

Es wird vermutet, dass das Werk des Menelaos als Quelle diente.[39] Andererseits hält es Wilbur Knorr für möglich, dass die von al-Khāzinī und im *Carmen de ponderibus* beschriebene Version der hydrostatischen Waage tatsächlich auf Archimedes selbst zurückgeht.[40]Als Autor des in 208 Hexametern abgefassten Gedichts galt ursprünglich der Grammatiker Priscian, mit dessen kleinen Schriften es überliefert ist. Die heute aufgrund verschiedener Angaben angenommene Verfasserschaft eines Remmius Favinus, über den ansonsten nichts bekannt ist, bleibt unsicher. Klaus Geus nimmt eine Abfassung des Gedichts in der 2. Hälfte des 4. Jahrhunderts n. Chr. an. Nachdem zunächst die verschiedenen Einheiten des Gewichts und des Flüssigkeitsmaßes behandelt werden, kommt es auf Archimedes, den „Meister aus Syrakus“ zu sprechen (Übersetzung im Wesentlichen nach Klaus Geus):[41]

[a] Argentum fulvo si quis permisceat auro,
Quantum id sit, quone hoc possis deprendere pacto,
Prima Syracusi mens prodidit alta magistri.
Regem namque ferunt Siculum, quam voverat olim
Caelicolum regi ex auro statuisse coronam,
Conpertoque dehinc furto – nam parte retenta
Argenti tantundem opifex inmiscuit auro –
Orasse ingenium civis, qui mente sagaci,
Quis modus argenti fulvo latitaret in auro,
Repperit, inlaeso, quod dis erat ante dicatum.
Quod te, quale siet, paucis (adverte) docebo.

[b] Lancibus aequatis, quibus haec perpendere mos est,
Argenti atque auri, quod edax purgaverit ignis,
Impones libras, neutra ut praeponderet, hasque
Summittes in aquam: quas pura ut ceperit unda,
Protinus inclinat pars haec, quae sustinet aurum;
Densius hoc namque est, simul aëre crassior unda.
At tu siste iugum, mediique a cardine centri,
lntervalla nota, quantum discesserit illinc,
Quotque notis distet suspenso pondere filum.
Fac dragmis distare tribus. Cognoscimus ergo
Argenti atque auri discrimina; denique libram
Libra tribus dragmis superat, cum mergitur unda.

[c] Sume dehinc aurum, cui pars argentea mixta est,
Argentique meri pars pondus, itemque sub unda
Lancibus impositum specta: propensior auri
Materies sub aquis fiet furtumque docebit.
Nam si ter senis superabitur altera dragmis,
Sex solas auri libras dicemus inesse,
Argenti reliquum, quia nil in pondere differt
Argentum argento, liquidis cum mergitur undis.

[39] KLAUS GEUS in: [REMMIUS FAVINUS]: *Gedicht über Gewichts- und Maßeinheiten (Carmen de ponderibus et mensuris). Lateinisch/Deutsch*, hrsg. u. übersetzt v. KLAUS GEUS, Oberhaid, 2007, S. 56, zu Autor und Datierung S. 9 ff.

[40] WILBUR RICHARD KNORR: *Ancient Sources of the Medieval Tradition of Mechanics. Greek, Arabic and Latin Studies of the Balance* (Supplemento agli Annali dell‘Istituto e Museo di Storia della Scienza, Fasc. 2), Florenz, 1982, S. 123 ff. Anm. 11. KNORR meint allerdings, dass bei der im *Carmen de ponderibus* beschriebenen Waage nicht ein Laufgewicht, sondern der Waagbalken in der Aufhängung verschoben werde.

[41] [REMMIUS FAVINUS] (wie Anm. 39), S. 32/33, S. 34/35 Vers 125–162. Die von GEUS vorgeschlagene Übersetzung von *simul aëre crassior unda* habe ich von „genau so wie die Flüssigkeit dicker als Erz ist“ in „gleichzeitig im ehernen Gefäß dicker als die Flüssigkeit“ umgeändert, da die „Flüssigkeit“ nicht „dicker als Erz“ sein kann. Außerdem habe ich *filum* anstatt mit „Schnur“ mit „Faden“ übersetzt, da das daran aufgehängte Laufgewicht sicher recht leicht war.

[d] Haec eadem puro deprendere possumus auro,
Si par corrupti pondus pars altera gestet.
Nam quotiens ternis pars inlibata gravarit
Corruptam dragmis sub aqua, tot inesse notabis
Argenti libras, quas fraus permiscuit auro.
Pars etiam quaevis librae, si forte supersit,
Haec quoque dragmarum simili tibi parte notetur.

[a] Falls einer Silber unter das rotgelbe Gold mischen wollte – wie groß der Anteil ist und auf welche Weise du dies herausfinden kannst, hat als erster der tiefsinnige Verstand des Meisters aus Syrakus ans Tageslicht gebracht. Denn man überliefert, dass der sizilische König die Krone, die er einst dem König der Götter als Weihegeschenk aus Gold aufzustellen versprochen hatte, nachdem er von einem Diebstahl erfuhr – denn der Künstler hatte einen Teil des Goldes behalten und die gleiche Menge an Silber darunter gemischt –, das Genie seines Bürgers um Rat gebeten; dieser fand mit scharfem Verstand heraus, welches Maß an Silber im rotgelben Gold verborgen war, ohne dem Gewalt anzutun, was zuvor den Göttern geweiht war. Wie das ging, das will ich dir mit wenigen Worten (merk gut auf!) erklären.

[b] Lege auf die gleichmäßig abgewogenen Waagschalen, mit denen es Brauch ist, diese zu wägen, zwei Pfundgewichte aus Gold und Silber, die das gierige Feuer gereinigt hat, so dass keine von beiden Schalen ein Übergewicht hat, und senke diese ins Wasser. Sobald das reine Nass diese [Pfundgewichte] erfasst hat, senkt sich auf der Stelle der Teil, der das Gold trägt, tiefer. Denn dieses ist dichter [als Silber], gleichzeitig im ehernen Gefäß dicker als die Flüssigkeit. Halte dann den Jochbaum fest und vermerke die Abstände vom Drehpunkt in der Mitte, wie weit der Faden von dort abgewichen ist und wie viele Markierungen er sich aufgrund des Laufgewichts entfernt befindet. Nimm an, dass ein Unterschied von drei Drachmen besteht. Wir ersehen nun den Gewichtsunterschied zwischen Gold und Silber: eine *libra* [aus Gold] wird eine *libra* [aus Silber] beim Eintauchen ins Nasse um drei Drachmen übertreffen.

[c] Nimm als nächstes das Gold, das teilweise mit Silber vermischt ist, und das gleiche Gewicht an reinem Silber und schau in gleicher Weise darauf, wenn es unter Wasser auf die Schalen gelegt ist. Die materielle Beschaffenheit des Goldes wird dafür sorgen, dass es sich unter Wasser stärker neigt und so den Diebstahl offenbaren. Denn wenn der eine Teil vom anderen um dreimal sechs Drachmen übertroffen wird, werden wir sagen, dass nur sechs *librae* Gold darin ist; der Rest Silber [spielt keine Rolle], weil sich Silber von Silber gewichtsmäßig nicht unterscheidet, sobald es in Flüssigkeiten eingetaucht wird.

[d] Genau dasselbe können wir auch mit reinem Gold feststellen, wenn der zweite Teil ein Gewicht in sich trägt, das dem der Legierung gleich ist. Denn sooft der reine Teil den unreinen Teil unter Wasser um drei Drachmen übertrifft, wirst du wissen, dass ebenso viele *librae* Silber darin sind, welche betrügerische Absicht unter das Gold gemischt hat. Und auch wenn ein beliebiger Bruchteil einer *libra* überschüssig wäre, würdest du einen entsprechenden Bruchteil von Drachmen bemerken.

Für den Vergleich mit dem Text der Aachener Enzyklopädie habe ich den hier berücksichtigten Teil des Gedichts nach dem Inhalt in vier Abschnitte gegliedert: [a] die Geschichte des von Archimedes aufgedeckten Betrugs, [b] die Wägung einer *libra* Gold und einer *libra* Silber, [c] die Wägung einer Gold-Silber-Legierung und von Silber gleichen Gewichts zur Bestimmung des Goldanteils in *librae*, [d] die Wägung einer Gold-Silber-Legierung und von Gold gleichen Gewichts zur Bestimmung des Silberanteils in *librae*. Einige Begriffe, die in beiden Texten parallel verwendet werden, sind unterstrichen.

Abb. 3 zeigt die im *carmen de ponderibus* beschriebene Waage in schematisierter Darstellung nach der Rekonstruktion von Thomas Ibel.[42] Es handelt sich im Prinzip um die Kombination einer gleicharmigen Balkenwaage mit einer Schnellwaage. Bei letzterem Waagentyp geschieht der Wiegevorgang auf der dem Wägegut entgegengesetzten Seite der Waage nicht durch Auflegen normierter Gewichtskörper, sondern unter Ausnutzung des Hebelgesetzes durch Verschieben eines Laufgewichts: Je

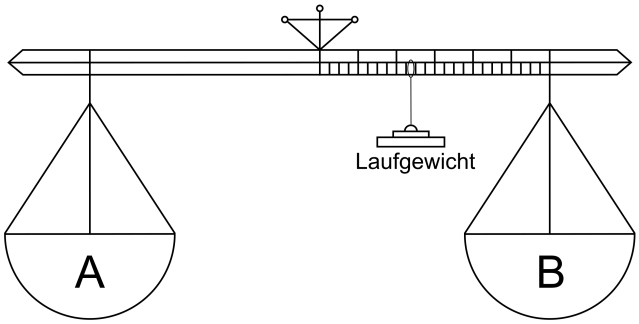


Abb. 3: Die Waage im Carmen de ponderibus (nach Thomas Ibel)

[42] Zeichnung des Verfassers nach THOMAS IBEL (wie Anm. 34), S. 52 Fig. 12.

schwerer das Wägegut ist, desto weiter muss das Laufgewicht, um die Waage ins Gleichgewicht zu bringen, gegenüber der Drehachse des Balkens nach außen verschoben werden.[43] Das Gewicht des Wägeguts lässt sich an der Position der Aufhängung des Laufgewichts entlang einer am Balken angebrachten Skala ablesen, die auf gängige Gewichtseinheiten abgestimmt war. Bei der im *carmen de ponderibus* beschriebenen Waage dient das hier an einem Faden (*filum*) aufgehängte Laufgewicht der Bestimmung des Gewichtsunterschieds, der sich beim Eintauchen der mit gleichen Gewichten belasteten Schalen aufgrund des unterschiedlichen Auftriebs ergibt.

Klaus Geus nimmt an, dass das Gedicht in Abschnitt [b] beschreibt, wie am Balken der Waage durch Anbringen der Markierungen eine Skala hergestellt wird, in ähnlicher Weise wie es auch im Werk des Menelaos angegeben ist.[44] Betrachtet man jedoch alle Angaben im Zusammenhang, ergibt dies keinen Sinn. Ich fasse den Abschnitt folgendermaßen auf: Man solle, nachdem die *librae* Gold (in Schale A) und Silber (in Schale B) ins Wasser eingetaucht wurden und der Ausgleich der Waage durch das Laufgewicht hergestellt ist, an der am Balken – wie bei der Schnellwaage – eingezeichneten Skala die in Drachmen angegebenen Skalenteile beobachten (*Intervalla nota*) und ablesen, um wie viele davon der Faden (*filum*) aufgrund des daran aufgehängten Laufgewicht (*suspenso pondere*) vom Mittelpunkt der Waage entfernt ist (*quantum discesserit illinc, Quotque notis distet* – eine Tautologie). Da sich dabei in der Regel keine glatte Zahl ergibt, solle man den Abstand des Fadens mit dem runden Wert von 3 Drachmen annehmen (*Fac dragmis distare tribus*). Entscheidend für die Richtigkeit dieser Interpretation ist die folgende Bemerkung, dass wir den Gewichtsunterschied zwischen den *librae* Gold und Silber beim Eintauchen ersehen können (*Cognoscimus*). Es ist klar, dass dieser Gewichtsunterschied nur erkannt werden kann, wenn er an der Waage ablesbar ist, nicht aber, wenn es gerade Zweck der Übung wäre, die Skala überhaupt erst herzustellen! Es sei hinzugefügt, dass es auch nicht sinnvoll wäre, die Skala auf diese umständliche Weise zu eichen. Dies ließ sich sehr einfach durchführen, indem man auf Schale A verschieden schwere Gewichtskörper auflegte und das Laufgewicht in die jeweilige Gleichgewichtsposition verschob. Der Gewichtskörper gab dann den an der jeweiligen Stelle der Skala einzuzeichnenden Gewichtswert vor.

Da die Angaben wohl auf die attische *libra* zu 75 Drachmen zu beziehen sind, würde der Gewichtsunterschied von 3 Drachmen einem Anteil von genau 4 % des Gold- oder Silbergewichts entsprechen.[45] Dieser Wert trifft die tatsächlichen Verhältnisse recht gut. Wir werden ihn gleich im Zusammenhang mit dem Text der Aachener Enzyklopädie nachrechnen und dort auch die Plausibilität der Angaben zur Bestimmung des Gold- und Silberanteils einer Legierung überprüfen. Der Aachener Text beschreibt die „Prüfung von Gold und Silber“ folgendermaßen:[46]

II. DE PROBATIONE AURI ET ARGENTI

Omne aurum purum cuiuslibet ponderis omni argento similiter puro, eiusdem tamen ponderis, densius est parte sui vicesima. Quod ita probari potest. Si purissimi auri libra cum aeque puri argenti simili pondere sub aqua conferatur in statera, duodecim denariis, id est vicesima sui parte, aurum gravius argento vel argentum levius auro invenietur.

Quapropter si inveneris opus aliquod auro formatum, cui argentum per mixtionem inesse videatur, scireque volueris, quantum auri quantumve in eo contineatur argenti, sume argentum sive aurum, et examinato suspecti operis pondere, non minus pensantem massam de utrovis metallo fabricato atque utrumque, et opus scilicet et massam, staterae lancibus inponito aquisque inmergito. Si argentea fuerit massa, quam fecisti, opus praeponderabit; si aurea fuerit, allevato opere aurum inclinabitur.

Hoc tamen ita fiet, ut quot partibus inclinatur aurum, totidem partibus sublevetur argentum, quia quicquid in ipso opere fuerit sub aqua praeter solitum ponderis, ad aurum propter densitatem pertinet; quicquid autem levitatis, ad argentum propter raritatem est referendum. Et ut hoc facilius possit adverti, considerare debes tam in gravitate auri quam in levitate argenti duodecim denarios significare libram, sicut prima lectionis huius fronte praefixum est.

[43] Zur Schnellwaage (steelyard) und ihrer Geschichte: WILBUR RICHARD KNORR (wie Anm. 40), S. 121–135.
[44] KLAUS GEUS (wie Anm. 39), S. 59 f.
[45] KLAUS GEUS (wie Anm. 39), S. 60, attische *libra* im Gedicht S. 26/27 Vers 36.
[46] *Die Aachener Enzyklopädie von 809* (wie Anm. 1), S. 1307 f. BORST hat am Ende des Texts eine Konjektur von *libram*, der Lesart aller Quellen, zu *(vicesimam partem librae)* vorgenommen. Ich folge ihm in diesem Punkt nicht.

II. ÜBER DIE PRÜFUNG VON GOLD UND SILBER

Jedes reine Gold von beliebigem Gewicht ist gegenüber jedem gleichermaßen reinen Silber von gleichem Gewicht um seinen zwanzigsten Teil dichter. Das kann folgenderweise nachgewiesen werden: Wenn eine *libra* reinsten Goldes mit dem gleichen Gewicht ebenso reinen Silbers in der Waage unter Wasser getaucht wird, finden wir, dass das Gold um zwölf Denare, das heißt um seinen zwanzigsten Teil, schwerer als das Silber ist, oder das Silber leichter als das Gold.

Wenn du für ein aus Gold hergestelltes Werkstück, dem anscheinend Silber zulegiert wurde, herausfinden willst, wie viel Gold oder wie viel Silber darin enthalten ist, nehme deswegen Silber oder Gold, einen Klumpen, der – aus jedem der beiden Metalle hergestellt – nicht weniger wiegt als das festgestellte Gewicht des verdächtigen Werkstücks, und lege beide, das Werkstück nämlich und den Klumpen, in die Schalen der Waage und tauche sie ins Wasser. Wenn der von dir hergestellte Klumpen aus Silber ist, wird das Werkstück das Übergewicht haben; wenn er aus Gold ist, wird sich das Werkstück anheben und das Gold sich absenken.

Dieses wird jedoch so sein, dass durch gleich viele Anteile, durch die das Gold abgesenkt wird, ebenso das Silber angehoben wird, weil alles, was in diesem Werkstück unter Wasser über den gewöhnlichen Zustand hinaus an Gewicht vorhanden ist, wegen der hohen Dichte auf das Gold, alles aber, was an Auftrieb vorhanden ist, wegen der geringen Dichte auf das Silber zu beziehen ist. Und damit dieses leichter festgestellt werden kann, musst du beachten, dass zwölf Denare beim Gewicht des Goldes wie beim Auftrieb des Silbers die *libra* anzeigen, so wie es in diesem Text ganz am Anfang festgehalten ist.

Da der Text keinen Anhalt für die Verwendung eines Laufgewichts oder einer anderen Vorrichtung zur Herstellung des Gewichtsausgleichs bietet, müssen wir davon ausgehen, dass er den zur Wägung von Edelmetallen und Münzen üblichen Waagentyp beschreibt, die gleicharmige Feinwaage, die bereits bei den Römern in Gebrauch war und mit Balkenlängen zwischen 8,5 und 15 cm auch in merowingischen Gräbern gefunden wurde.[47] Aufgrund der recht hohen Gewichte wurde wahrscheinlich eines der größeren Exemplare verwendet. Der Gewichtsausgleich musste hier in der Waagschale selbst durchgeführt werden. *Abb. 4* zeigt den im ersten Absatz beschriebenen Wägevorgang: Eine *libra* Gold (Au) und eine *libra* Silber (Ag) sind unter Wasser dann im Gleichgewicht, wenn auf der Silberseite ein Zusatzgewicht von 12 Denaren (jeweils $^1/_{240}$ *libra*) aufgelegt wird. Als Denargewicht könnten, wie in der Zeichnung angedeutet, normgewichtige Münzrohlinge – dann aber des Vor-Reform-Denars – verwendet worden sein; jedoch sind auch andere Gewichtskörper vorstellbar.

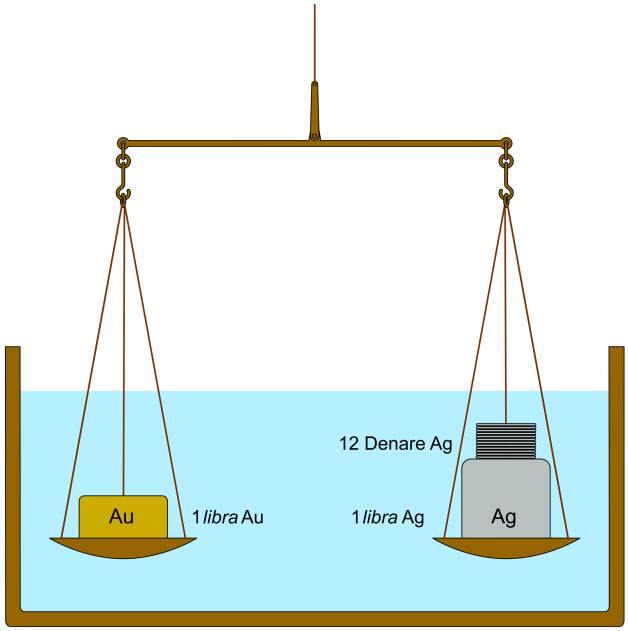


Abb. 4: Die Prüfung von Gold und Silber nach der Aachener Enzyklopädie

Die inhaltliche Parallele zu Abschnitt [b] des *Carmen de ponderibus* ist offensichtlich. In beiden Texten wird beschrieben, wie der Gewichtsunterschied von jeweils einer *libra* Gold und einer *libra* Silber unter Wasser ermittelt werden kann: im *Carmen de ponderibus* durch Verschieben des Laufgewichts, hier durch Auflegen eines Zusatzgewichts auf der Seite des Silbers. Unzutreffend ist angesichts der tatsächlichen Dichten (19,3 g/cm^3 und 10,5 g/cm^3) allerdings die Behauptung, dass Gold um $^1/_{20}$ dichter (*densius*) sei als Silber. Da gleich schwere Körper aus Gold und Silber deutlich unterschiedliche Größen haben, ist schwer verständlich, wie der Autor zu einer solchen Auffassung kommen konnte. Es könnte daran liegen, dass er den Begriff *densius*, der in qualitativer Hinsicht ja zutrifft, aus dem *Carmen de ponderibus* übernommen und nicht ausreichend reflektiert hat, dass *densius* zur Beschreibung der quantitativen Verhältnisse nicht angemessen ist. Weitere Begriffe treten ebenfalls parallel auf: Dies könnte bei *praeponderare*,

[47] JOACHIM WERNER (wie Anm. 19), S. 9 f.

inclinare und (in-)mergere noch Zufall sein, kaum mehr jedoch bei der Parallele *Lancibus impositum – lancibus inponito*.

Mit der Rechnung von *Tab. 1* soll nun überprüft werden, wie gut die Angaben für den Gewichtsunterschied von Gold und Silber im *carmen de ponderibus* und im Text der Aachener Enzyklopädie mit den tatsächlichen Verhältnissen übereinstimmen. Die Dichte des Wassers wird mit dem runden Wert von 1,00 g/cm^3 angesetzt.[48] Um die Rechnung nachvollziehbar und übersichtlich zu halten, werden Auftrieb und Gewicht nach dem üblichen Sprachgebrauch – aber im Widerspruch zur physikalischen Definition als Einheit der Masse! – in „g“ (deshalb in Anführungszeichen) angegeben. Die letzte Spalte beschreibt den Rechenweg aus den Werten der mit „a“ bis „p“ bezeichneten Zeilen. Wenn eine *libra* = 326,592 g reinen Goldes und reinen Silbers in der Waage unter Wasser getaucht werden, dann beträgt der Gewichtsunterschied, der durch den unterschiedlichen Auftrieb der beiden unterschiedlich großen Metallvolumina verursacht wird, 14,18 „g“, das sind 4,34 % der *libra*. Dieser prozentuale Wert gilt unabhängig vom Metallgewicht; wir können ihn deshalb auch auf die Angabe im *carmen de ponderibus* anwenden: Da ein Gewichtsunterschied von 3 Drachmen, bezogen auf die attische *libra* zu 75 Drachmen, genau 4 % entspricht, ist die Übereinstimmung recht genau.

Mit der *libra* zu 326,592 g und dem Denar gerechnet, käme der Gewichtsunterschied auf 10,42 Denare. Da das auf der Silberseite zusätzlich aufgelegte Gewicht jedoch ebenfalls eingetaucht wird, muss auch sein Wasserauftrieb berücksichtigt werden. Ist dieses Zusatzgewicht ebenfalls aus Silber, muss es rechnerisch, damit die Waage im Gleichgewicht bleibt, 11,52 Denare oder 4,80 % der *libra* wiegen. Die angegebenen 12 Denare ($^1/_{20}$ der *libra*) würden genau 5 % entsprechen. Der Wert ist also etwas zu hoch, jedoch ist die rechnerische Übereinstimmung hier sogar noch etwas besser als beim Wert des *carmen de ponderibus*. Wird als Zusatzgewicht Blei verwendet, ergibt sich keine nennenswerte Änderung; bei einem Zusatzgewicht aus Gold müssten jedoch rechnerisch nur noch 10,99 Denare aufgelegt werden.

Tab. 1: Gold und Silber in der hydrostatischen Waage

	a	*libra (n. H. Witthöft):*	*326,592*	*g*	
	b	*Dichte Gold:*	*19,30*	*g/cm³*	
	c	*Dichte Silber:*	*10,50*	*g/cm³*	
	d	*Dichte Blei:*	*11,34*	*g/cm³*	
	e	*Dichte Wasser:*	*1,00*	*g/cm³*	*Rechenweg:*
libra Gold	*f*	*Volumen:*	*16,92*	*cm³*	*a : b*
	g	*Auftrieb:*	*16,92*	*„g“*	*e × f*
libra Silber	*h*	*Volumen:*	*31,10*	*cm³*	*a : c*
	i	*Auftrieb:*	*31,10*	*„g“*	*e × h*
	j	*Auftrieb gesamt:*	*14,18*	*„g“*	*i – g*
			10,42	*Denare*	*j : (a : 240)*
		Verhältnis zur libra:	***4,34***	***%***	*j : a*
Zusatzgewicht Silber	*k*	*Volumen:*	*1,49*	*cm³*	*j : (c – e)*
(Aachener Enzyklopädie)	*l*	*Gewicht:*	*15,67*	*„g“*	*c × k*
			11,52	***Denare***	*l : (a : 240)*
		Verhältnis zur libra:	***4,80***	***%***	*l : a*
Zusatzgewicht Blei	*m*	*Volumen:*	*1,37*	*cm³*	*j : (d – e)*
(Aachener Enzyklopädie)	*n*	*Gewicht:*	*15,55*	*„g“*	*d × m*
			11,43	*Denare*	*n : (a : 240)*
		Verhältnis zur libra:	*4,76*	*%*	*n : a*
Zusatzgewicht Gold	*o*	*Volumen:*	*0,77*	*cm³*	*j : (b – e)*
(Aachener Enzyklopädie)	*p*	*Gewicht:*	*14,96*	*„g“*	*b × o*
			10,99	*Denare*	*p : (a : 240)*
		Verhältnis zur libra:	*4,58*	*%*	*p : a*

[48] Das ist der Wert bei 4° C. Bei höheren Temperaturen wird die Dichte kleiner; der Unterschied fällt im Rahmen der bei dieser Rechnung geforderten Genauigkeit aber nicht ins Gewicht.

Diese Werte gelten für reines Gold und Silber. Unter realen Bedingungen wird man jedoch eher davon ausgehen müssen, dass kein ganz reines Gold, sondern Gold mit einem etwas reduzierten Feingehalt verwendet wurde, dem in geringem Umfang noch leichtere Metalle zugemischt waren. Die Dichte dürfte damit etwas unter dem für das Reinmetall angesetzten Wert anzunehmen sein. Dagegen wird sich bei Silber ein reduzierter Feingehalt wegen dessen geringeren Dichte in diesem Sinne weit weniger auswirken. Eine etwas geringere Dichte des Goldes hätte zur Folge, dass sich die für das Zusatzgewicht errechneten Werte etwas reduzieren. Die Angabe der Aachener Enzyklopädie würde unter diesen Umständen mit der Realität etwas schlechter, die Angabe des *carmen de ponderibus* etwas besser übereinstimmen. Dies ändert jedoch nichts daran, dass der angegebene Wert von 12 Denaren für das unter Wasser auftretende Mehrgewicht von einer *libra* Gold gegenüber einer *libra* Silber zur Bestimmung des Gold- und Silberanteils einer Legierung, wie es im weiteren Text beschrieben wird, gut brauchbar gewesen sein muss. Er hatte insbesondere auch den praktischen Vorteil, dass, da die *libra* in 12 Unzen unterteilt war, auf eine Unze Gold und Silber genau ein Denar zu rechnen war.

Im Anschluss schlägt der Aachener Text, aufbauend auf dem angegebenen Wert von 12 Denaren pro *libra*, zwei unterschiedliche Verfahren zur quantitativen Bestimmung des Gold- oder Silberanteils eines aus einer Legierung der beiden Metalle hergestellten Werkstücks vor. Beim einen wird ein dem Werkstück gleichgewichtiger Klumpen aus Silber, beim anderen ein gleichgewichtiger Klumpen aus Gold benötigt. Beide Verfahren stimmen in wesentlichen Punkten mit den in den Abschnitten [c] und [d] des *carmen de ponderibus* getrennt gegebenen Beschreibungen überein. Der Aachener Text versucht, beide zu einer einheitlichen Darstellung zusammenzufassen. Darunter leidet die Verständlichkeit; dennoch lässt sich das Vorgehen nachvollziehen.

In *Abb. 5* ist das dem Abschnitt [c] des *carmen de ponderibus* entsprechende Verfahren für eine *libra* einer Legierung aus 75 % Gold ≙ 9 Unzen und 25 % Silber ≙ 3 Unzen sowie einen Silberklumpen gleichen Gewichts dargestellt. Bei den folgenden Überlegungen bleiben mögliche Volumenänderungen beim Legierungsvorgang unberücksichtigt. Die 3 Unzen Silber der Legierung sind mit 3 Unzen des Klumpens im Gleichgewicht. Das Kippen der Waage wird durch den unterschiedlichen Auftrieb der 9 Unzen Gold der Legierung und der verbleibenden 9 Unzen Silber des Klumpens hervorgerufen. Genau diesen Sachverhalt versucht der Text anschaulich zu machen: Durch gleich viele Anteile (*quot/totidem partibus*) werde das Gold abgesenkt (*inclinatur aurum*) und das Silber angehoben (*sublevetur argentum*). Das Ungleichgewicht wird durch Auflegen von 9 Denaren Silber – ungefähr – ausgeglichen. Diese Aussage kann dahingehend verallgemeinert werden, dass, wenn in der einen Waagschale ein Körper aus einer Gold-Silber-Legierung und in der anderen ein gleichgewichtiger Körper aus Silber unter Wasser getaucht werden, die Anzahl der zum Gewichtsausgleich aufgelegten Denare – ungefähr – den Goldanteil des aus der Legierung bestehenden Körpers in Unzen anzeigt.

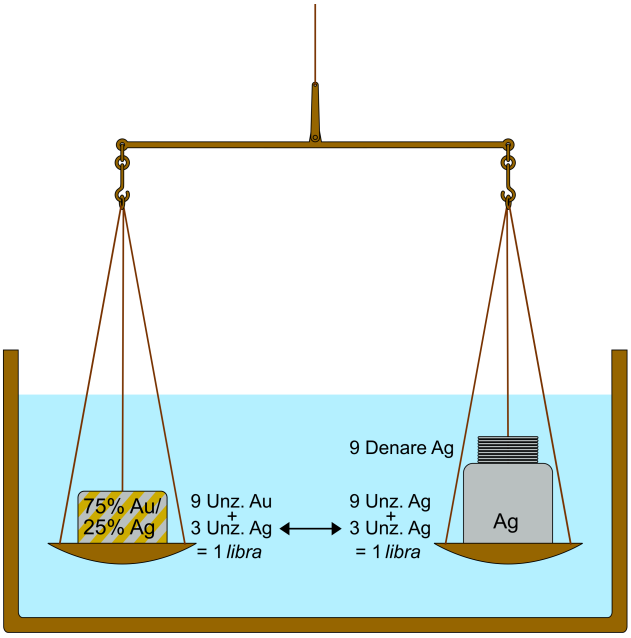


Abb. 5: Der Goldanteil einer Gold-Silber-Legierung

Das zweite, dem Abschnitt [d] des *carmen de ponderibus* entsprechende Verfahren sieht vor, dass als Gegenwicht ein Goldklumpen verwendet wird. In diesem Fall müssen zum Gewichtsausgleich auf der Seite des Werkstücks so viele Denare aufgelegt werden, wie der Silberanteil der Legierung in Unzen beträgt. Wenn der Text also, um herauszufinden, wie viel Gold oder wie viel Silber in einem Werkstück enthalten sei (*quantum auri quantumve in eo contineatur argenti*), vorschlägt, zu diesem einen Klumpen Silber oder Gold (*argentum sive aurum*) – in dieser umgekehrten Reihenfolge! – in die Waage zu legen, dann meint er, dass der Goldanteil mithilfe des Silberklumpens und der Silberanteil mithilfe des Gold-

klumpens bestimmt werden kann. In dieser Reihenfolge werden die beiden Verfahren auch in den Abschnitten [c] und [d] des *carmen de ponderibus* behandelt. Aufgrund der inhaltlichen Übereinstimmungen bleibt zunächst festzuhalten, dass bei der Abfassung des Aachener Texts, wie das Charles Thurot bereits 1869 erwogen hat,[49] das *carmen de ponderibus* als Quelle herangezogen wurde.

Zusammen mit zahlreichen weiteren Teilstücken der Aachener Enzyklopädie ist der betreffende Text auch in der in Montecassino aufbewahrten Handschrift 3 enthalten, die um 879 dort wohl auch niedergeschrieben wurde.[50] Er gibt den Gewichtsunterschied abweichend von der durch Borst rekonstruierten Fassung an – anstatt: *densius est parte sui vicesima* hier: *densius est parte sui vicesima quarta et insuper ducentesima quadragesima*, anstatt: *duodecim denariis, id est vicesima sui parte* hier: *undecim denariis, id est vicesima quarta et ducentesima quadragesima sui parte*.[51] Der Gewichtsunterschied wird hier also anstatt mit $^1/_{20}$ *libra* oder 12 Denaren mit ($^1/_{24}$ + $^1/_{240}$) *libra* oder 11 Denaren angegeben. Aus obigen Überlegungen geht hervor, dass dies möglicherweise der bessere Wert ist. Da von den in der Edition Borsts ausgewerteten 13 Manuskripten, in denen das betreffende Kapitel enthalten ist, alle anderen den Gewichtsunterschied mit $^1/_{20}$ *libra* oder 12 Denaren überliefern, ist es sehr wahrscheinlich, dass die Angaben der Montecassinenser Handschrift in diesem Punkt eine Abwandlung der ursprünglichen Fassung darstellen. Auch die seltsame Formulierung des *libra*-Anteils – ($^1/_{24}$ + $^1/_{240}$) *libra* – spricht dafür, dass sie durch Abänderung der einfachen Angabe der 12-Denar-Variante – $^1/_{20}$ *libra* – entstanden ist.[52]

Außerhalb der Aachener Enzyklopädie erscheint diese zweite Variante außerdem in der Schlettstädter Handschrift 17[53] und im Manuskript Corning, Phillipps 3715.[54] Sie ist hier zusammen mit einer Kompilation unterschiedlicher, vor allem kunsthandwerklicher und metallurgischer Rezepte überliefert, deren Titel im Prolog mit *Mappae Clavicula* angegeben wird.[55] Die Sammlung, im Kern griechischen Ursprungs, ist über Italien ins Frankenreich gekommen.[56] Die Überlieferungsverhältnisse zwischen der Aachener Enzyklopädie und den Handschriften, die den Gewichtsunterschied mit 11 Denaren rechnen, werden weiter unten ausführlich besprochen. Rätselhaft bleibt der Grund für die Korrektur des ursprünglich mit 12 Denaren angegebenen Gewichtsunterschieds. Möglicherweise hat der Verantwortliche für die Erstellung der Abschrift, in der dieser Wert auf 11 Denare abgeändert wurde, nachgewogen und ein anderes Ergebnis als das im Text angegebene erhalten. Nicht auszuschließen ist aber auch, dass man bei der

[49] CHARLES THUROT: *Recherches historiques sur le principe d'Archimède*, in: Revue archéologique 18, 1868, S. 389–406 / 19, 1869, S. 42–49, S. 111–123, S. 284–299, S. 345–360 / 20, 1869, S. 14–33, hier 19, S. 112 f.

[50] ARNO BORST (wie Anm. 1), S. 1076: „Montecassino, Archivio della Badia, 3 (Benevent um 879)". – BERNHARD BISCHOFF: *Katalog der festländischen Handschriften des neunten Jahrhunderts (mit Ausnahme der wisigotischen)*, Teil 2: *Laon–Paderborn*, aus dem Nachlass herausgegeben v. BIRGIT EBERSPERGER, Wiesbaden, 2004, S. 194 Nr. 2804: „Montecassino, 874–892 (879?)". – Nach DIETER BLUME, MECHTHILD HAFFNER u. WOLFGANG METZGER (*Sternbilder des Mittelalters. Der gemalte Himmel zwischen Wissenschaft und Phantasie*, Bd. 1: *800–1200*, Teilband 1.1: *Text und Katalog der Handschriften*, Berlin, 2012, S. 361) geht die neuere Forschung von einer Entstehung in Montecassino, nicht in Benevent aus.

[51] *Die Aachener Enzyklopädie von* 809 (wie Anm. 1), S. 1307 f. (auch im Folgenden).

[52] Darauf weisen bereits CYRIL STANLEY SMITH u. JOHN G. HAWTHORNE hin: *Mappae Clavicula. A Little Key to the World of Medieval Techniques* (Transactions of the American Philosophical Society, Bd. 64/4), übersetzt v. CYRIL STANLEY SMITH u. JOHN G. HAWTHORNE, Philadelphia, 1974, S. 56 Anm. 132.

[53] Sélestat, Bibliotèque Humaniste, 17 (olim 1153 bis, olim Latin 360), fol. 39v–40r, zugänglich unter: *http://bhnumerique.ville-selestat.fr/client/search/asset/4892* .

[54] Corning, Museum of Glass, Phillipps 3715, fol. 42v–43r.

[55] *Mappae Clavicula. A Little Key to the World of Medieval Techniques* (wie Anm. 52), Prolog S. 28, Kap. 2 u. 3 des 6. Buchs der Aachener Enzyklopädie S. 56 f. Nr. 194 u. 194-A., englische Übersetzung, hier auch verkleinerte Faksimiles der beiden Manuskripte. – Transkript des Corning-Manuskripts: THOMAS PHILLIPPS: *Letter adressed to Albert Way, Esq., Director, communicating a transcript af a MS. Treatise on the preparation of Pigments, and on various processes of the Decorative Arts practised during the Middle Ages, written in the twelfth century, and entitled Mappae Clavicula*, Archaeologia 32, 1847, S. 183–244, Kap. 2 der Aachener Enzyklopädie S. 225 Nr. 194. – Neue Edition der *Mappae Clavicula* (ohne die Aachener Texte): *Mappae Clavicula. Alle origini dell'alchimia in Occidente. Testo - Traduzione – Note*, bearb. v. SANDRO BARONI, GIUSEPPE PIZZIGONI u. PAOLA TRAVAGLIO, Saonara (PD), 2013, hier auch ausführliche Zusammenstellung der Literatur bis 2013: GAIA CAPROTTI: *Mappae clavicula nella storiografia*, S. 17–26.

[56] BERNHARD BISCHOFF: *Die Überlieferung der technischen Literatur*, in: *Mittelalterliche Studien. Ausgewählte Aufsätze zur Schriftkunde und Literaturgeschichte,* Bd. 3, Stuttgart, 1981, S. 277–297, hier S. 284 f., S. 287.

Abfassung des in die Aachener Enzyklopädie aufgenommenen Texts einen ursprünglich einmal näher bei 11 Denaren erfassten Wert auf die praktischen 12 Denare „gerundet“ hatte und der Verantwortliche für die Erstellung der Abschrift von diesem Vorgang noch wusste.

Damit sind wir bei der Frage angelangt, wie der in der Aachener Enzyklopädie angegebene, nicht ganz exakte, aber doch recht gute Wert von 12 Denaren zustande gekommen ist. Bernhard Bischoff meinte noch, der Text sei „aus unbekannter Quelle“ in die Aachener Enzyklopädie aufgenommen worden und wie die *Mappae Clavicula* dem „Ursprung nach gleichfalls vormittelalterlich“.[57] Das ist auszuschließen, da als Gewichtseinheit der sicher nachrömische *denarius* mit dem Gewicht von $^{1}/_{20}$ Unze oder $^{1}/_{240}$ *libra* verwendet wird, der anscheinend noch zur Zeit der um 754/55 erlassenen Münzordnung Pippins keine allgemeine Gültigkeit hatte.[58]

Wie oben gezeigt, wurde das *Carmen de ponderibus* bei der Erstellung des Texts als Quelle herangezogen. Es könnte über den langobardischen Gelehrten Paulus Diaconus, der Mönch in Montecassino war, an den Aachener Hof Karls des Großen gekommen sein. Paulus war 782 zu Karl gereist, um die Freilassung seines Bruders, der an einem Aufstand beteiligt gewesen war, zu erreichen.[59] Diese Bitte wurde unter der Bedingung gewährt, dass Paulus unter den am Karlshof versammelten Gelehrten blieb. Nach drei bis fünf Jahren kehrte er nach Montecassino zurück, hielt jedoch mit dem fränkischen Hof weiterhin Kontakt. Aus Montecassino ist ein Brief erhalten, der in der Folge eines Besuchs Karls im Jahr 787 unter anderem die Übersendung eines Exemplars der Benediktsregel, eines 4 *librae* schweren Normgewichts für Brot sowie von Normmaßen für Wein ankündigt.[60] Als Absender nennt der Brief den Abt des Klosters Montecassino, Theodemar; als tatsächlicher Verfasser gilt jedoch Paulus Diaconus.[61] Das Kloster Montecassino muss schon im 8. Jahrhundert im Besitz einer Abschrift des *Carmen de ponderibus* gewesen sein: Bernhard Bischoff verweist auf die Pariser Handschrift BnF lat. 7530 vom Ende des 8. Jahrhunderts, in der unter Berücksichtigung biblischer Maße die im Gedicht gegebene Beschreibung der Einheiten des Gewichts und des Flüssigkeitsmaßes in Prosa übertragen ist.[62] Die Herkunft aus Montecassino ist durch den Inhalt eines in der Handschrift überlieferten Kalendars gesichert.[63] Der im Aachener Text mit 12 Denaren = $^{1}/_{20}$ *libra* angegebene Gewichtsunterschied wurde jedoch nicht aus dem Gedicht übernommen: Die dort genannten 3 Drachmen entsprechen $^{1}/_{25}$ der attischen *libra*; bezogen auf die römische *libra* wären es $^{1}/_{32}$.[64]

Neben dem *Carmen de ponderibus* war auch Vitruvs *De Architectura*, und damit auch der oben zitierte Abschnitt über Archimedes, am Hof Karls des Großen bekannt. Es wird vermutet, dass Alkuin von York, der wahrscheinlich ab 782 die Hofschule leitete, aus England eine Abschrift auf das Festland brachte.[65] Alkuin, der bis 796 am Hof bleib, zitiert Vitruv in einem Brief an Karl sogar wörtlich.[66] Der Bericht

[57] BERNHARD BISCHOFF (wie Anm. 56), S. 290, S. 287.

[58] *Pippini Regis Capitulare* (wie Anm. 18).

[59] STEFANO GASPARRI: Artikel *Paulus Diaconus*, in: Lexikon des Mittelalters 6, 2003, Sp. 1825 f.

[60] *Theodomari abbatis Casinensis epistula ad Karolum regem*, bearb. v. KASSIUS HALLINGER u. MARIA WEGENER, in: *Corpus Consuetudinum Monasticarum*, Bd. 1: *Initia Consuetudinis Benedictinae. Consuetudines saeculi octavi et noni*, hrsg. v. KASSIUS HALLINGER, Siegburg, 1963, S. 137–175.

[61] JEAN NEUFVILLE: *L'authenticité de l',,Epistula ad regem Karolum de monasterio sancti Benedicti directa et a Paulo dictata"*, in: Studia Monastica 13, 1971, S. 295–309, insbes. S. 306–309. Insgesamt belegt NEUFVILLE überzeugend die Authentizität des Briefes, die bis dahin in Zweifel stand, vgl. KASSIUS HALLINGER u. MARIA WEGENER (wie Anm. 60), S. 152 ff.

[62] BERNHARD BISCHOFF (wie Anm. 56), S. 278 Anm. 3: Paris, Bibliotèque nationale de France, lat. 7530, fol. 146v–148r.

[63] SVEN MEEDER: *Monte Cassino's Network of Knowledge: The Earliest Manuscript Evidence*, in: *Writing the Early Medieval West. Studies in Honour of Rosamond McKitterick*, hrsg. v. ELINA SCREEN u. CHARLES WEST, Cambridge, 2018, S. 131–145, hier S. 137. Das Kalendar befindet sich auf fol. 277v–280r.

[64] [REMMIUS FAVINUS] (wie Anm. 39), S. 26/27 Vers 33 ff.: *mina* = 100 Drachmen, „unsere“ *libra* 4 Drachmen weniger, also 96 Drachmen.

[65] BERNHARD BISCHOFF (wie Anm. 56), S. 281. – Vgl. auch HARTWIG SCHMIDT: *Vitruvs De architectura libri decem – Das Buch und seine Bedeutung im Wandel der Zeit*, in: *Der Lehrbuchdiskurs über das Bauen*, hrsg. v. UTA HASSLER, THOMAS MEYER u. CHRISTOPH RAUHUT, Zürich, 2015, S. 296–367, hier S. 330 f.

[66] ALKUIN: *Brief Nr. 308*, bearb. v. Ernst DÜMMLER, in: Monumenta Germaniae Historica, Epistolae 4/2, Berlin, 1895, S. 471 ff. hier S. 472. ALKUIN erwähnt zwei von VITRUV überlieferte Anekdoten über Alexander den

Vitruvs konnte bei der Aufgabenstellung, in einer Gold-Silber-Legierung die Anteile der einzelnen Metalle zu bestimmen, vielleicht die Problematik verdeutlichen; das dort beschriebene, unter realistischen Bedingungen undurchführbare Verfahren half bei der Lösung der Aufgabe jedoch nicht weiter.[67] Möglicherweise hat man in Aachen sogar erfolglos versucht, die Gold- und Silberanteile auf diese Weise zu bestimmen. Dagegen bot die im *Carmen de ponderibus* beschriebene hydrostatische Waage einen praktikablen Lösungsansatz. Man hat dazu die im Gedicht beschriebene, mit einem Laufgewicht ausgestattete Waage nicht nachgebaut, sondern eine herkömmliche Feinwaage verwendet. Es ist anzunehmen, dass umfangreichere experimentelle Untersuchungen erforderlich waren, um das im Aachener Text beschriebene Verfahren zu entwickeln und zu testen. Das gilt insbesondere für die Bestimmung der Anteile der Gold-Silber-Legierung.

Zu welchem Zeitpunkt dies stattfand, ist nicht zu sagen. Es ist durchaus möglich, dass bereits Paulus Diaconus für die Untersuchungen verantwortlich war. Wir können bei ihm, obwohl sich unter seinen erhaltenen Werken keines diesem Gebiet widmet, doch ein praktisches Interesse an naturwissenschaftlichen Themen voraussetzen. Dies wird in einem Abschnitt am Beginn seiner *Historia Langobardorum* deutlich, in dem er die nördlichen Länder beschreibt. Der Sonnenstand sei dort gegenüber den südlichen Ländern unterschiedlich: Während in Italien um Weihnachten der Schatten eines Mannes mittags 9 Fuß lang sei, habe er selbst, als er sich in *Totonis villa* (Diedenhofen, Thionville) im belgischen Gallien aufgehalten habe, seinen Schatten mit 19 $^{1}/_{2}$ Fuß gemessen.[68] Auch Alkuin wäre die Durchführung dieser Experimente zuzutrauen, zusammen mit Paulus Diaconus oder auf dessen Anregung, vielleicht aber auch erst nach dessen Abgang vom Hof. Denkbar wäre ein Zusammenhang mit der Vorbereitung der um 792/93 nachweisbaren Münz- und Maßreform. Bereits der einige Jahre vorher von Paulus Diaconus verfasste Brief aus Montecassino, in dem die Übersendung des 4 *librae* schweren Brotgewichts und der Weinmaße angekündigt wird, lässt auf ein ausgeprägtes Interesse des Hofes am Gewichts- und Maßwesen schließen. Der Dritte unter den Gelehrten am Karlshof, die vorrangig als Verantwortliche in Frage kommen, ist Einhard, Alkuins Nachfolger als Leiter der Hofschule.

Da zwischen den experimentellen Versuchen und der Niederschrift der ab 809 entstandenen Aachener Enzyklopädie mit einiger Wahrscheinlichkeit ein längeres Zeitintervall anzunehmen ist, stellt sich die Frage nach der Abfassungszeit des dort enthaltenen Texts zur hydrostatischen Waage. Er fällt nicht notwendigerweise in die gleiche Zeit wie die Untersuchungen. Dass die Ergebnisse aufgezeichnet wurden, ist selbstverständlich; sehr wohl jedoch kann der Text in der endgültigen Form – unter Zuhilfenahme dieser Aufzeichnungen und des *Carmen de ponderibus* – erst mit der Aachener Enzyklopädie verfasst worden sein.

Nach bisherigem Kenntnisstand steht er im Frühmittelalter hinsichtlich seiner Thematik allein. Dies gilt jedoch nicht für den Text allein. Auch die experimentellen Aktivitäten, die er bezeugt, sind für diese Epoche im abendländischen Raum ohne Beispiel. Dieser Umstand wurde nur deswegen bisher nicht gewürdigt, weil seine originäre Herkunft vom Hof Karls des Großen nicht bekannt war. Zur Einordnung der Leistung des Aachener Gelehrtenkreises sollen in der Folge exemplarisch drei nachkarolingische Texte besprochen werden, sie sich demselben Thema widmen.

Großen und den Architekten Deinokrates, aus dessen Rede er sogar wörtlich zitiert, sowie über den Philosophen Aristoppos, vgl. VITRUV (wie Anm. 31), Liber secundus, Vorrede, 2, S. 74/75 u. Liber sextus, Vorrede, 1, S. 256/257.

67 Eine auffällige Parallele besteht in der Verwendung des Begriffs *massa*, der sowohl bei VITRUV als auch im Text der Aachener Enzyklopädie die beiden aus reinem Gold und Silber hergestellten Klumpen bezeichnet.

68 PAULUS DIACONUS: *Historia Langobardorum*, bearb. v. LUDWIG BETHMANN u. GEORG WAITZ, in: Monumenta Germaniae Historica, Scriptores rerum Langobardicarum et Italicarum saec. VI - IX, Hannover, 1878, S. 12–187, hier S. 50.

Drei nachkarolingische Text zur hydrostatischen Waage

Das sogenannte *Liber Archimedis de insidentibus in humidum* oder *Liber Archimedis de ponderibus*, fälschlicherweise Archimedes zugeschrieben, setzt sich mit dem Phänomen des unterschiedlichen Auftriebs von Körpern verschiedener Dichte umfassend auseinander.[69] Ernest A. Moody und Marshall Clagett nehmen an, dass es im 13. Jahrhundert aus zwei Teilen zusammengesetzt wurde. Da in der Terminologie Parallelen zu den *Etymologiae* des Isidor von Sevilla festzustellen sind,[70] gehen sie beim ersten Teil von einem lateinischen Ursprung aus; dagegen sei der zweite Teil wahrscheinlich aus dem Arabischen übersetzt.[71] Der erste Teil befasst sich in 14 Definitionen mit dem Wägevorgang auf der gleicharmigen Waage. Er unterscheidet bei Gold und Silber bemerkenswerterweise zwischen dem Gewicht und dem spezifischen Gewicht: *gravitas secundum numerositatem* und *gravitas secundum speciem*.[72] Der zweite Teil formuliert zunächst sechs Postulate und anschließend acht Theoreme. Das erste Theorem gibt an, dass das Gewicht jedes Körpers in der Luft gegenüber seinem Gewicht in Wasser um das Gewicht des gleichen Volumens Wasser größer sei – das Archimedische Prinzip![73]

Beim vierten Theorem, das auch unabhängig vom restlichen Text überliefert wurde, handelt es sich möglicherweise um einen späterer Zusatz, vielleicht übersetzt aus dem Griechischen.[74] Zur Bestimmung der einzelnen Massenanteile von aus zwei Materialien gemischten Körpern wird ein gegenüber der Beschreibung der Aachener Enzyklopädie fortgeschrittenes Verfahren angegeben, bei dem der gemischte Körper sowie Referenzkörper aus den beiden Materialien getrennt in der Luft und unter Wasser gewogen werden:[75]

> IV. IN CORPORE EX DUOBUS MTXTO, QUANTUM SIT IN EO DE UTROQUE DECLARARE.
> *Si fuerit aliquod corpus ex duobus mixtum, corporibus notis, et velimus scire quantum in eo sit de utroque ipsorum, ponderabimus unumquodque corporum per se, et in aere et in aqua, et sumemus superabundantiam cuiusque corporis quod habet in aere ad illud quod in aqua, et has superabundantias seorsum ponemus. Deinde ponderabimus corpus mixtum, et in aere et in aqua, et sumemus superabundantiam ponderis quod habet in aere ad illud quod in aqua. Erit ergo proportio levis corporis quod in mixto corpore est, ad ipsum mixtum, sicut superabundantia ponderis mixti ad superabundantiam corporis levioris.*
>
> IV. IN EINEM AUS ZWEI GEMISCHTEN KÖRPER, BESTIMMEN, WIE VIEL IN IHM VON BEIDEN ENTHALTEN IST.
> Falls ein Körper aus zwei bekannten Körpern gemischt ist, und wir wissen wollen, wie viel von diesen beiden in ihm enthalten ist, werden wir jeden einzelnen der Körper für sich abwiegen, in der Luft und im Wasser, nehmen den Überschuss [an Gewicht], den jeder Körper in der Luft gegenüber dem Gewicht im Wasser hat, auf, und halten den jeweiligen Überschuss gesondert fest. Dann werden wir den gemischten Körper wiegen, in der Luft und im Wasser, und nehmen den Überschuss an Gewicht, den er in der Luft gegenüber dem Gewicht im Wasser hat, auf. Es wird dann das Verhältnis des innerhalb des gemischten Körpers vorhandenen leichten Körpers zu diesem gemischten Körper gleich wie der Überschuss an Gewicht des gemischten Körpers gegenüber dem Überschuss des leichteren Körpers sein.

[69] *Liber Archimedis de insidentibus in humidum. Liber Archimedis de Ponderibus*, bearb. v. ERNEST A. MOODY u. MARSHALL CLAGETT: *The Medieval Science of Weights (Scientia de Ponderibus). Treatises ascribed to Euclid, Archimedes, Thabit ibn Qurra, Jordanus de Nemore and Blasius of Parma. Edited with introductions, English translations, and notes*, 2. Aufl., Madison, 1960, S. 33–53. – Ältere Ausgabe: *Liber de ponderibus*, bearb. v. JOHAN L. HEIBERG, in: *Mathematici Graeci minores*, Kopenhagen, 1927, S. 93–107.

[70] ISIDOR VON SEVILLA (wie Anm. 4), Lib. XVI, xxv–xxvii.

[71] ERNEST A. MOODY u. MARSHALL CLAGETT (wie Anm. 69), S. 35, S. 37 ff. Die Autoren weisen auch auf die Parallele zu VITRUV in der Verwendung des Begriffs *massa* hin. Da er auch im Aachener Text zur hydrostatischen Waage benutzt wird (vgl. Anm. 67), ist ein Bezug des ersten Teils des *Liber Archimedis de insidentibus in humidum* zum Text der Aachener Enzyklopädie ebenfalls nicht auszuschließen!

[72] *Liber Archimedis de insidentibus in humidum* (wie Anm. 69), S. 40/41, S. 42/43.

[73] *Liber Archimedis de insidentibus in humidum* (wie Anm. 69), S. 42/43.

[74] ERNEST A. MOODY u. MARSHALL CLAGETT (wie Anm. 69), S. 39, S. 356.

[75] *Liber Archimedis de insidentibus in humidum* (wie Anm. 69), S. 46/47 (eigene Übersetzung).

Auch wenn es nicht explizit angegeben ist, machen die Angaben nur Sinn, wenn die Referenzkörper und der gemischte Körper außerhalb des Wassers von gleichem Gewicht sind. Bei dem „Überschuss an Gewicht“, den die Körper in der Luft gegenüber dem Gewicht im Wasser haben, handelt es sich um den Auftrieb im Wasser. Nach der angegebenen Formel soll dann das Verhältnis zwischen dem Auftrieb des gemischten Körpers und dem Auftrieb des leichteren Referenzkörpers das Verhältnis des im gemischten Körper vorhandenen leichten Körpers zu diesem Gesamtkörper wiedergeben, einfacher ausgedrückt: den Anteil des leichteren Materials. Ob der Volumenanteil oder der Massenanteil gemeint ist, wird nicht gesagt; plausibel wäre letzteres. In *Tab. 2* wird das beschriebene Verfahren für einen 100 g schweren, wieder aus 25 % Silber und 75 % Gold (Massenanteile) bestehenden Körper nachgerechnet. Nach der angegebenen Formel (Verhältnis Auftrieb „Körper Gold + Silber“ zu Auftrieb „Referenzkörper Silber“) müsste der Silberanteil nicht 25 %, sondern 65,80 % betragen. Auch der Volumenanteil von 37,99 % wird nicht korrekt erfasst.

Die richtige Formel würde sich unter Einbeziehung des Auftriebs eines aus Gold hergestellten Referenzkörpers mit gleichem Gewicht ergeben. Rechnerisch lässt sich zeigen, dass der Massenanteil des Silbers dann dem Verhältnis aus der Differenz zwischen dem Auftrieb des gemischten Körpers und des Referenzkörpers aus Gold sowie der Differenz zwischen dem Auftrieb des Referenzkörpers aus Silber und ebenfalls des Referenzkörpers aus Gold entspricht (unterste Zeile in *Tab. 2*). Dass nach der Anleitung des Texts dieser Referenzkörper aus Gold zwar hergestellt werden muss, er jedoch in der angegebenen Formel nicht berücksichtigt wird, legt den Verdacht nahe, dass der Text an dieser Stelle korrumpiert ist. Eine frühere Fassung könnte somit tatsächlich den richtigen Rechenweg beschrieben haben. Der oben erwähnte al-Khāzinī hatte schon anfangs des 12. Jahrhunderts eine komplexe Waage konstruiert, mit der die Legierungsanteile bestimmt werden konnten; er kannte auch die richtige Formel.[76] Der Text kann damit seinen Anspruch, eine Methode zur Ermittlung der Anteile eines aus zwei Materialien gemischten Körpers zu beschreiben, nicht erfüllen. Trotz des methodischen Fortschritts fällt er damit hinter das Verfahren der Aachener Enzyklopädie zurück.

Tab. 2: Gold und Silber nach dem Liber Archimedis de insidentibus in humidum

	a	*Masse des Körpers:*	*100,00*	*g*	
	b	*Dichte Gold:*	*19,30*	*g/cm³*	
	c	*Dichte Silber:*	*10,50*	*g/cm³*	
	d	*Dichte Wasser:*	*1,00*	*g/cm³*	
	e	*Massenanteil des Silbers:*	*25,00*	*%*	*Rechenweg:*
Referenzkörper Gold	*f*	*Volumen:*	*5,18*	*cm³*	*a : b*
	g	*Auftrieb:*	*5,18*	*„g“*	*d × f*
Referenzkörper Silber	*h*	*Volumen:*	*9,52*	*cm³*	*a : c*
	i	*Auftrieb:*	*9,52*	*„g“*	*d × h*
Körper Gold + Silber	*j*	*Volumen Gold:*	*3,89*	*cm³*	*a × (1 – e) : b*
	k	*Volumen Silber:*	*2,38*	*cm³*	*a × e : c*
	l	*Volumen gesamt:*	*6,27*	*cm³*	*j + k*
	m	*Auftrieb:*	*6,27*	*„g“*	*d × l*
		Anteil Silber laut angegebener Formel:	***65,80***	***%***	*m : i*
		Volumenanteil Silber laut richtigem Rechenweg:	*37,99*	*%*	*k : l*
		Massenanteil Silber laut richtigem Rechenweg:	*25,00*	*%*	*(m – g) : (i – g)*

[76] Ausführliche Beschreibung bei THOMAS IBEL (wie Anm. 34), S. 112–152, Formel (hier zur Berechnung des schwereren Materials) S. 149. – Eine übersichtliche perspektivische Zeichnung gibt HEINRICH BAUERREIß: *Zur Geschichte des spezifischen Gewichtes im Altertum und im Mittelalter*, Dissertation Universität Erlangen, 1914, S. 51 Fig. 5.

Betrachten wir nun als zweites nachkarolingisches Beispiel einen bereits neuzeitlichen Text: Auch Giambattista della Porta (1535–1615, *Abb. 6*)[77] widmet sich in der 1589 erschienenen 20-bändigen Ausgabe seiner *Magia naturalis* der Frage, wie man herausfinden könne, ob ein Metall rein oder mit anderen Metallen vermischt sei, so wie Gold und Silber in vergoldeten Gefäßen oder Münzen. Er verweist auf Vitruvs Beschreibung der angeblich von Archimedes benutzten Methode, stellt jedoch richtig fest, dass sie bei kleinen Gegenständen nicht praktikabel sei. *Iam modus inuentus est* – „Nun ist ein Verfahren erfunden", das sogar bei kleinen Münzen anwendbar sei, so dass man „Superheureka, Superheureka" ausrufen könne – es ist die bereits in der Aachener Enzyklopädie beschriebene hydrostatische Waage![78]

Abb. 6: Giambattista Della Porta

> *Habeas exactissimam stateram, vel lances, in altera earum quoduis metallum appone, in altera tantundem eiusdem metalli, sed in sua specie purissimi, & quùm lances in aere æquilibrabunt, eas in vase aquæ pleno impones, & sub aqua immergas, circiter semipedem. Tunc mirabilis quædam res erit: nam lances, quæ in aere æquèlibrabant, in aquis variant naturam, & inęquales erunt: nam impurum metallum summa petit, sincerum ima: cuius ratio hęc est, quod aurum purum cum ea specie grauius est omni impuro auro, quia purum aurum, minorem locum occubat, ergo grauius pendit ex superiori ratione. Vnde si scire voluerimus quantum argenti in eo auro sit, pone tantum auri puri in altera lance, quantum sufficit, vt lances sub aquis pares sint, ęquatas in aere substollito, & pondus, quod in aquis addideras, erit mistionis pondus. Si scire velis, quantum auri fuerit in deauratione alicuius vasis. Pone vas in altera lance, & in altera tantum argenti purissimi, quantum vt ęquèlibrent in aere lances: mox in aquis mergas, & vas descendet, pone in altera lance tantum auri, quod sub aquis ęquiponderet, extrahe, & pondus erit auri deaurationis.*
>
> Du brauchst eine sehr exakte Waage bzw. Waagschalen. In eine von ihnen lege ein beliebiges Metall, in die andere genauso viel desselben Metalls, aber von seiner Art das reinste, und wenn die Schalen in der Luft im Gleichgewicht sind, führe sie in ein mit Wasser gefülltes Gefäß und tauche sie unter Wasser, ungefähr einen halben Fuß tief. Nun wird Wunderbares geschehen: Denn die Waagschalen, die in der Luft im Gleichgewicht waren, ändern im Wasser ihre Natur und werden ungleich. Denn das unreine Metall strebt nach oben, das reine nach unten. Die Ursache dafür ist, dass das reine Gold nach seiner Art schwerer ist als alles unreine Gold, weil das reine Gold weniger Platz einnimmt, also aus dem oben angeführten Grund die Waage mehr belastet. Wenn wir daher wissen wollen, wie viel Silber in diesem Gold vorhanden ist, lege so viel reines Gold in die andere Schale, wie nötig ist, dass die Schalen unter Wasser gleich sind, dann ziehe die ins Gleichgewicht gesetzten Schalen heraus, und das Gewicht, das du im Wasser hinzugefügt hattest, ist das Gewicht der Zumischung. Wenn du wissen willst, wie viel Gold in der Vergoldung eines beliebigen Gefäßes enthalten ist: Lege das Gefäß in eine Schale, und in die andere so viel reinstes Silber, dass die Schalen in der Luft im Gleichgewicht sind. Dann tauche sie ins Wasser, und das Gefäß senkt sich ab; nun lege in die andere Schale so viel Gold, dass sie unter Wasser im Gleichgewicht ist, ziehe alles heraus, und das Gewicht wird jenes des Goldes der Vergoldung sein.

Wie der Aachener Text beschreibt auch Della Porta zwei Möglichkeiten: einerseits die Bestimmung des Silberanteils mit einem in der Luft gleich schweren Gegengewicht aus reinem Gold, andererseits die Bestimmung des Goldanteils mit einem ebenfalls in der Luft gleich schweren Gegengewicht aus Silber. Ob er vom Text der Aachener Enzyklopädie Kenntnis erlangt hatte, wissen wir nicht, wenn ja, dann hat er ihn gründlich missverstanden. Prüfen wir seine Angaben zum Goldanteil des vergoldeten Gefäßes nach: Della Porta meint, das Gewicht des unter Wasser bis zum Gleichgewicht zugefügten Goldes sei gleich groß wie jenes der Vergoldung. Überprüfen wir diese Annahme: Das Gold des Bechers würde sich mit dem auf der Gegenseite zugefügten Gold die Waage halten. Da außerdem das Silber des Bechers mit einer gleich großen Masse des Gegengewichts im Gleichgewicht wäre, würde auf der Seite des Gegengewichts Silber mit der Masse der Vergoldung des Bechers außerhalb des Gleichgewichts übrig blieben. Der Aachener Autor lehrt uns, dass auf der Gegenseite an Silber – ungefähr – nur $^1/_{20}$ des Goldgewichts bis

[77] Foto bei *Wikipedia*, gemeinfreies Werk, URL *https://de.wikipedia.org/wiki/Giambattista_della_Porta* .

[78] GIAMBATTISTA DELLA PORTA: *Magiae naturalis libri XX*, Neapel, 1589, S. 285 f., Zitat S. 286 (eigene Übersetzung). Die erste, nur vier Bände umfassende Ausgabe erschien bereits 1558.

zum Gleichgewicht aufgelegt werden muss (vgl. *Abb. 5*). Nimmt man dazu – wie Della Porta – Gold, dann wird zum Gewichtsausgleich wegen des geringeren Auftriebs sogar noch etwas weniger Metall benötigt. Folgte man also den Angaben Della Portas, dann würde man die Masse der Vergoldung in geradezu grotesker Weise unterschätzen.

Es war keinem Geringeren als Galileo Galilei (1564–1642, *Abb. 7*)[79] vorbehalten, im Europa der frühen Neuzeit zu der von Della Porta derart unzulänglich behandelten Frage den Stand wiederherzustellen, den in der Antike bereits Archimedes erreicht hatte. Noch vor dem Erscheinen von Della Portas oben zitiertem Text hatte er im jugendlichen Alter von 22 Jahren eine Abhandlung verfasst, die in der erst 1656 erschienenen Erstausgabe den Titel *La bilancetta* – „Die kleine Waage" – erhielt.[80] Galileo beginnt mit der Bemerkung, das Mittel, mit dem Archimedes die Dieberei des Goldschmieds aufgedeckt habe, scheine noch unbekannt zu sein, denn das Verfahren, das Anschwellen oder Überlaufen des Wassers zu messen, sei doch sehr grob und ungenau. Nach Lektüre der Bücher des Archimedes sei ihm ein Verfahren in den Sinn gekommen, von dem er glaube, dass sich dessen auch Archimedes bedient habe.

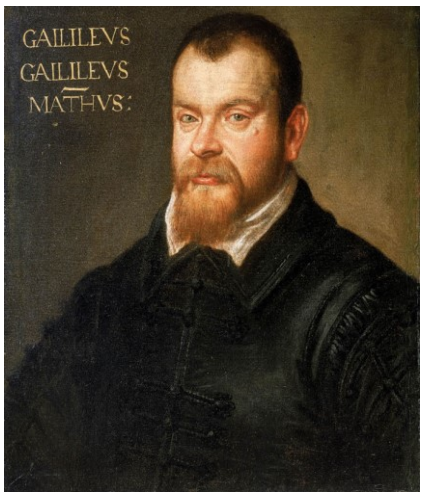


Abb. 7: Galileo Galilei, Gemälde von Tintoretto, ca. 1602–1607

Galileo schlägt eine Waage vor, bei der auf der Gegenseite des Goldes, des Silbers oder der Gold-Silber-Legierung zunächst im gleichen Abstand vom Drehpunkt ein gleichgewichtiges Gegengewicht aufgehängt ist, das in Richtung zur Mitte verschoben werden kann. Nach Eintauchen des Goldes und Silbers ins Wasser wird – außerhalb des Wassers – dieses Gegengewicht jeweils bis zum Gewichtsausgleich zur Mitte hin verschoben und die Position auf dem Balken markiert. Aus den Abständen zwischen diesen Markierungen und der Position des Gegengewichts beim Wiegen einer Gold-Silber-Legierung unter Wasser kann deren Zusammensetzung bestimmt werden. Galileos *bilancetta* nutzt also, wie die Waage aus dem *Carmen de ponderibus* (*Abb. 3*) zum Gewichtsausgleich das Hebelgesetz, unterscheidet sich jedoch in der Funktionsweise. Er hat das Verfahren nicht nur erdacht, sondern mit der *bilancetta* auch Wägungen von Gold und Silber sowie von verschiedenen Edelsteinen in der Luft und im Wasser durchgeführt.[81]

Die Bemessung der Metalle beim Metallguss

Das 3. Kapitel des 6. Buches der Aachener Enzyklopädie betrifft den Metallguss. Für eine Unze und eine *libra* Wachs werden jeweils die zugehörigen Gewichte verschiedener Metalle und Metalllegierungen angegeben. Die Metallgewichte beziehen sich demnach auf die im Wachsausschmelzverfahren benötigten Mengen. Bei dieser im Mittelalter üblichen Methode wird das Gussobjekt zunächst als sogenannte verlorene Form in Wachs hergestellt.[82] Die Hohlform, in die das Metall gegossen wird, entsteht durch Ummanteln der Wachsform, etwa mit Lehm, und anschließendem Ausschmelzen, eigentlich Ausbrennen des Wachses. Aufgrund der unterschiedlichen Dichten der Metalle entsprechen dem Volumen des zu gießenden Gegenstands, dessen Wachsmodell im vorliegenden Fall gewogen werden musste, unterschiedliche

[79] Foto bei *Wikipedia*, gemeinfreies Werk, URL *https://de.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei* .

[80] GALILEO GALILEI: *La Bilancetta*, in: *Le Opere di Galileo Galilei. Edizione nazionale sotto gli auspicii di Sua Maestà il Re d'Italia*, Bd. 1, hrsg. v. ANTONIO FAVARO, Florenz, 1890, S. 209–220. – Deutsche Übersetzung: GALILEO GALILEI: *Schriften, Briefe, Dokumente*, hrsg. v. ANNA MUDRY, ungekürzte Sonderausgabe in einem Band, Wiesbaden, 2005, S. 45–49. – Zur Entstehungsgeschichte: ANNIBALE MOTTANA: *Galileo's La bilancetta: The first Draft and Later Additions*, in: Philosopha Scientiæ 21, 2017, S. 165–179.

[81] GALILEO GALILEI: *Tavola delle proporzioni delle gravità in specie de i metalli e delle gioie pesate in aria ed in aqqua*, in: *Le Opere di Galileo Galilei. Edizione nazionale sotto gli auspicii di Sua Maestà il Re d'Italia*, hrsg. v. ANTONIO FAVARO, Florenz, 1890, S. 221–228. – Vgl. ANNIBALE MOTTANA (wie Anm. 80), S. 169 f.

[82] CLAUDE BLAIR u. JOHN BLAIR: *Copper Alloys*, in: *English Medieval Industries. Craftsmen, Techniques, Products*, hrsg. v. JOHN BLAIR u. NIGEL RAMSAY, London/Rio Grande, 1991, S. 81–106, hier S. 86 f.

Metallgewichte. Verfahrensbedingt musste der Gießer darüber hinaus noch einen gewissen Zuschlag berücksichtigen, beispielsweise aufgrund des Einfließens des Metalls in die zur Vermeidung von Luftblasen notwendigen Luftabzugskanäle. Der praktische Hintergrund des Texts war in Aachen durch die im Bereich des Katschhofs (südlich des Rathauses) nachgewiesene metallverarbeitende Werkstätte gegeben, die wohl bereits um das Jahr 800 in Betrieb war.[83] Im Einzelnen werden die folgenden Gewichte angesetzt (Textverbesserungen gegenüber der Edition Borsts sind fett gedruckt):[84]

III. DE MENSURA CAERAE ET METALLI IN OPERIBUS FUSILIBUS

In fundendis operibus cuius ponderis metallum quodlibet ad certum caerae pondus respondere debeat.

Ad caerae	*unciam unam,*	
stagni	*unciae septem*	*et denarii septendecim,*
aeris albi	*unciae octo*	*et denarii sedecim,*
aeris cypri	***unciae novem***	***et denarius unus,***
auricalci	*unciae novem*	*et denarii tres,*
argenti	*unciae decem*	*et denarii duodecim,*
plumbi	*unciae duodecim*	*et denarii sex,*
auri	*unciae novemdecim*	*et denarii octo.*

Item si caerae fuerit libra, stagni septem librae et unciae decem et denarii quattuor mittendi sunt, quia quot uncias caera habuerit, tot septem uncias et septendecim denarios stagni pondus habere debebit. Et ideo si caerae fuerit libra, id est duodecim unciae, duodecies septem unciae stagni, quae faciunt septem libras, et duodecies septendecim denarii mittendi sunt, qui faciunt ducentos quattuor denarios, id est uncias decem et denarios quattuor.

Si fuerit caerae libra, aeris albi librae octo sumendae sunt et duodecies sedecim denarii, quod sunt centum nonaginta duo denarii, qui faciunt uncias novem et denarios duodecim.

In libram caerae aeris cypri librae novem et denarii duodecim mittendi sunt.

Sic in libram caerae auricalci librae novem et duodecies tres denarii, qui faciunt unciam unam et denarios sedecim.

Contra libram caerae argenti librae decem et duodecies duodecim denarii.

Simili modo in libram caerae plumbi librae duodecim et duodecies sex denarii mittendi sunt.

In auri fusione contra libram caerae auri librae novemdecim et duodecies octo denarii, quod sunt unciae ***quattuor*** *[*anstatt: *tres] et denarii sedecim.*

III. ÜBER DAS BEMESSEN VON WACHS UND METALL IN GUSSARBEITEN

Welches Gewicht eines beliebigen Metalls bei Gussarbeiten für ein bestimmtes Gewicht des Wachses benötigt wird.

Für Wachs	eine Unze	
Zinn	sieben Unzen	und siebzehn Denare,
aes album	acht Unzen	und sechzehn Denare,
Kupfer	**neun Unzen**	**und ein Denar,**
auricalcum	neun Unzen	und drei Denare,
Silber	zehn Unzen	und zwölf Denare,
Blei	zwölf Unzen	und sechs Denare,
Gold	neunzehn Unzen	und acht Denare.

Ebenso müssen auf eine *libra* Wachs vom Zinn sieben *librae*, zehn Unzen und vier Denare vergossen werden, weil das Gewicht des Zinns in der Anzahl der Unzen des Wachses jeweils sieben Unzen und siebzehn Denare betragen muss. Und deswegen müssen auf eine *libra* Wachs, das heißt zwölf Unzen, zwölfmal sieben Unzen

[83] SEBASTIAN RISTOW u. DANIEL STEINIGER: *Forschungen an den Bronzen des Aachener Domes*, in: Kölner und Bonner Archaeologica 6, 2016, S. 143–168, hier S. 145 f.

[84] *Die Aachener Enzyklopädie von 809* (wie Anm. 1), S. 1309 f. (eigene Übersetzung).

> Zinn, das sind sieben *librae*, und zwölfmal siebzehn Denare vergossen werden, die zweihundertvier Denaren entsprechen, das heißt zehn Unzen und vier Denaren.
>
> Auf eine *libra* Wachs müssen vom *aes album* acht *librae* und zwölfmal sechzehn Denare genommen werden, das sind hundertzweiundneunzig Denare, die neun Unzen und zwölf Denaren entsprechen.
>
> Auf eine *libra* Wachs müssen vom Kupfer neun *librae* und zwölf Denare vergossen werden.
>
> So auch auf eine *libra* Wachs vom *auricalcum* neun *librae* und zwölfmal drei Denare, die eine Unze und sechzehn Denare ausmachen.
>
> Für eine *libra* Wachs vom Silber zehn *librae* und zwölfmal zwölf Denare.
>
> In gleicher Weise müssen auf eine *libra* Wachs vom Blei zwölf *librae* und zwölfmal sechs Denare vergossen werden.
>
> Beim Goldguss für eine *libra* Wachs vom Gold neunzehn *librae* und zwölfmal acht Denare, das sind **vier** [anstatt: drei] Unzen und sechzehn Denare.

Die Liste umfasst insgesamt fünf Reinmetalle und zwei Legierungen – *aes album* und *auricalcum* – auf die noch einzugehen ist. Im ersten Teil beziehen sich die jeweiligen Metallgewichte auf eine Unze, im zweiten Teil auf eine *libra* Wachs. In der letzten Zeile überliefern fast alle Handschriften einen Schreibfehler: 12 × 8 Denare = 96 Denare, also nicht 3, sondern 4 Unzen (zu 20 Denaren) + 16 Denare. Hier hat wohl bei der üblichen Schreibweise der Zahl Vier – *IIII* – ein Schreiber den letzten Strich vergessen. Richtig ist die Zahl allerdings in der Pariser Handschrift BnF lat. 12292 aus der Mitte des 9. Jahrhunderts geschrieben, in der der Text unabhängig von der Aachener Enzyklopädie zusammen mit *De probatione auri et argenti* überliefert ist.[85] Die richtige Schreibweise könnte hier noch auf eine korrekte Vorlage zurückgehen; nicht auszuschließen ist allerdings auch eine Berichtigung durch einen aufmerksamen Schreiber. An dieser Stelle ist deshalb eine Textkorrektur von *tres* auf *quattuor* berechtigt, wie dies bereits Valentin Rose – noch ohne Kenntnis der Pariser Handschrift – vorschlug.[86]

Im ersten Teil des Texts schreiben sämtliche Manuskripte für Kupfer: *aeris cypri unciae novem et denarii tres*. Nach dem im zweiten Teil angegebenen Wert müsste es jedoch *et denarius unus* heißen: (9 *librae* + 12 Denare) : 12 = 9 Unzen + 1 Denar. Im zweiten Teil folgt im Anschluss das *auricalcum*, das im ersten Teil fehlt. Rose hat darauf hingewiesen, dass dieses Stück offenbar beim Übertragen verloren gegangen ist.[87] Die Rückrechnung von der Angabe des zweiten Teils würde beim *auricalcum* hier ein Gewicht von *unciae novem et denarii tres* ergeben, also den falschen Wert des Kupfers. Der fehlende Text lässt sich damit rekonstruieren. Oben ist die Konjektur von *unciae* bis *auricalci* eingetragen (Fettdruck); aufgrund der Textgleichheit (*unciae novem et*) kann das fehlende Stück jedoch erst weiter hinten begonnen und dann auch erst weiter hinten geendet haben.

Diese Überlegungen werden durch einen weiteren Text bestätigt, der zuerst im Codex Harleianus 2767 erscheint, einem heute im Britischen Museum aufbewahrten Abkömmling des Vitruv-Exemplars, das wahrscheinlich mit Alkuin auf das Festland gekommen war. Dort sind im Anschluss an Vitruvs *De achitectura* von verschiedenen Händen einige Anhänge eingetragen. Der erste lautet *(Abb. 8)*:[88]

[85] Paris, Bibliothèque nationale de France, lat. 12292, fol. 1r–1v, zugänglich unter:
URL *https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b85721911/f13.item* .
Datierung des betreffenden Teils der Handschrift nach *Biblioteca Laureshamensis digital*,
URL: *https://hs-lorsch.bsz-bw.de/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=732* .
Ebenfalls richtig (*unciae IIII*): Malibu, The J. Paul Getty Museum, Ludwig XII.5 (Phillipps Mss 12145), Anfang 12. Jahrhundert, vgl. MARIE-THÉRÈSE CAM u. CATHERINE JACQUEMARD: *Les interpolations médiévales dans la tradition manuscrite de M. Cetius Faventinus*, in: Revue d'histoire des textes 32 (2002), 2003, S. 107–181, hier S. 167, S. 169 Anm. 163, zur Handschrift S. 113.

[86] VALENTIN ROSE (wie Anm. 28), S. XXX.

[87] VALENTIN ROSE (wie Anm. 28), S. XXIX.

[88] London, British Library, Harley 2767, fol. 162v, zugänglich unter:
URL *http://www.bl.uk/manuscripts/FullDisplay.aspx?ref=Harley_MS_2767* .
Die beiden letzten Blätter befinden sich jetzt in der Handschrift Oxford, Bodleian Library, Rawlinson D. 893, fol. 135 u. 136, vgl. BERNHARD BISCHOFF (wie Anm. 50), S. 115 Nr. 2455. – Transkription der Kurzliste zum Metallguss nach VALENTIN ROSE (wie Anm. 28), S. XX (eigene Übersetzung).

Uncia caerae colligit in fusura aeris uncias VIII et denarios XVI, aeris cypri uncias VIIII et denarium I, stagni uncias VII et denarios XVII, argenti uncias X et dentarios XII, plumbi libram I et denarios VI, auri libram et uncias VII et denarios VIII.

Die Unze Wachs nimmt beim Guss vom *aes* 8 Unzen und 16 Denare auf, vom Kupfer 9 Unzen und 1 Denar, vom Zinn 7 Unzen und 17 Denare, vom Silber 10 Unzen und 12 Denare, vom Blei 1 *libra* und 6 Denare, vom Gold 1 *libra*, 7 Unzen und 8 Denare.

Auf eine Unze Wachs werden für das Kupfer ebenfalls 9 Unzen + 1 Denar angegeben; auch die übrigen Werte entsprechen denen des Texts der Aachener Enzyklopädie. Eine Abhängigkeit des längeren Texts von dieser Kurzliste ist auszuschließen, da hier die beiden Legierungen fehlen. Umgekehrt handelt es sich beim kürzeren Text aufgrund der abweichenden Reihenfolge – Zinn kommt hier nach Kupfer – und der unterschiedlichen Formulierungen – beispielsweise beim Casus von *uncia* und *denarius* oder den Gewichtsangaben bei Blei und Gold – auch um keinen Auszug aus dem längeren. Beide schöpfen jedoch angesichts der identischen Werte aus einer gemeinsamen Quelle.

In *Tab. 3* wird für die fünf Reinmetalle überprüft, inwieweit die Angaben der Metallgewichte praxistauglich sind.[89] Nicht berücksichtigt sind die thermischen Volumenveränderungen beim Abkühlen und mögliche Dichtenänderungen der Metalle durch Verunreinigungen. Aus der Anzahl der Unzen Metall, die nach den Angaben des Texts das Volumen einer Unze Wachs einnehmen, und der Dichte des Wachses werden die theoretischen Dichten der Metalle berechnet und mit den tatsächlichen Dichten verglichen. Die berechneten und die tatsächlichen Werte stimmen nicht ganz überein, jedoch beträgt die Abweichung maximal ca. 4 %. Die Liste war bei der praktischen Arbeit sicherlich sehr gut brauchbar, zumal aufgrund des beim Guss notwendigen Zuschlags eine ganz exakte Übereinstimmung nicht erforderlich war.

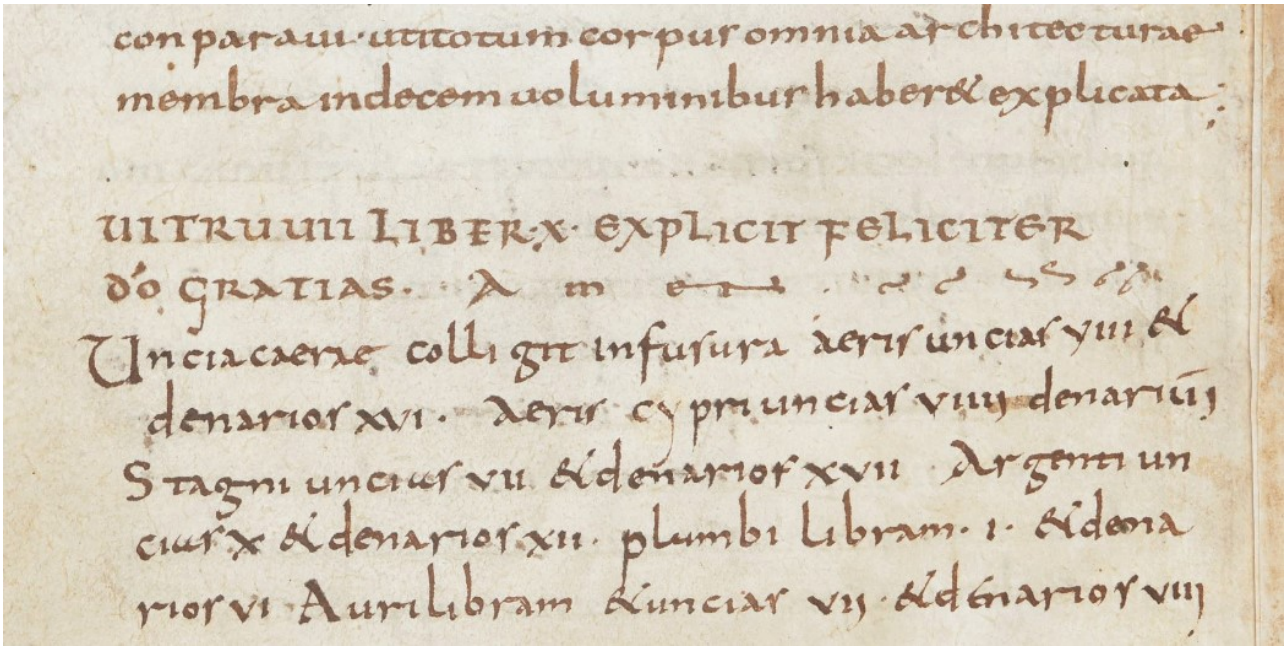


Abb. 8: Die Kurzliste zum Metallguss im Codex Harleianus 2767, fol. 162v (British Library). Darüber der Schluss von Vitruv: De Architectura

[89] Dichte von Bienenwachs nach HARALD WITTHÖFT: *Umrisse einer historischen Metrologie zum Nutzen der wirtschafts- und sozialgeschichtlichen Forschung. Maß und Gewicht in Stadt und Land Lüneburg, im Hanseraum und im Kurfürstentum/Königreich Hannover vom 13. bis zum 19. Jahrhundert*, Bd. 1 (Veröffentlichungen des Max-Planck-Instituts für Geschichte, Bd. 60/1), Göttingen, 1979, S. 498: Dort werden Werte von 0,95 – 0,98 g/cm^3 angegeben. Dichte der Metalle nach HANS-RUDOLF CHRISTEN (wie Anm. 30), S. 518 Tab. 16.1 u. S. 656 Tab. 24.1, Arsen: S. 487 Tab. 15.1, Zink: S. 662 Tab. 24.2.

Tab. 3: Die Gewichte beim Metallguss

		Angabe Gewicht			Dichte berechnet:	Dichte tatsächlich:	Abweichung berechnet –
		unciae	den.	= unciae	g/cm³	g/cm³	tatsächlich
caera	*Bienenwachs*	*1*	*0*	*1,00*		*0,96*	
stagnum	*Zinn*	*7*	*17*	*7,85*	*7,54*	*7,31*	*3,09 %*
aes (album)	*Bronze?*	*8*	*16*	*8,80*	*8,45*		
aes cyprum	*Kupfer*	*9*	*1*	*9,05*	*8,69*	*8,90*	*-2,38 %*
auricalcum	*Messing? (bleihaltig)*	*9*	*3*	*9,15*	*8,78*		
argentum	*Silber*	*10*	*12*	*10,60*	*10,18*	*10,50*	*-3,09 %*
plumbum	*Blei*	*12*	*6*	*12,30*	*11,81*	*11,34*	*4,13 %*
aurum	*Gold*	*19*	*8*	*19,40*	*18,62*	*19,30*	*-3,50 %*

Dieser Vergleich kann bei den beiden Legierungen nicht durchgeführt werden, da ihre genaue Zusammensetzung unklar ist. Beim *aes album* möchte man zunächst an das sogenannte Weißkupfer (Weißer Tombak) denken, eine grauweiße Legierung aus 63 % Kupfer und 37 % Arsen.[90] Dagegen spricht jedoch, dass die für das *aes album* errechnete Dichte nur wenig unter der des Kupfers liegt. Da die Dichte des Arsens nur 5,77 g/cm³ beträgt, wäre die Dichte des *aes album* bei einem ähnlich hohen Arsenanteil wie beim Weißkupfer gegenüber dem reinen Kupfer erheblich reduziert. Der Wert würde für Bronze (Kupfer-Zinn) viel besser passen. *Aes* war eine übliche Bezeichnung für Bronze, die auch am Aachener Hof gebräuchlich war. Einhard erwähnt in seiner *Vita Karoli Magni* die bronzenen Gitter und Türen der Aachener Marienkirche: Karl der Große habe seine Kirche mit Gittern und Türen *ex aere* ausgeschmückt.[91] Metallurgische Analysen bestätigen, dass sie in Aachen gefertigt wurden.[92] In der Kurzliste wird das *aes album* nicht erwähnt: Beim entsprechenden Gewichtswert steht dort nur *aeris*. Mit einiger Wahrscheinlichkeit ist dies die richtige Schreibweise und das Adjektiv *album* hier fehl am Platz. Trifft dies zu, dann war das *aes album* in der Quelle, die beiden Fassungen als Vorlage diente, enthalten und wurde in den Text der Aachener Enzyklopädie mit dem falschen, zum *aes* gehörenden Gewichtswert übernommen. Der angegebene Wert wäre dann auf Bronze zu beziehen. Die Aufnahme der Bronze in die Liste würde sich dadurch erklären, dass die beim Bronzeguss anfallenden Reste, beispielsweise das Metall im Gusskanal, vielleicht gelegentlich auch Altmetall, erneut vergossen wurden.

Die Legierungen des Kupfers mit Zinn und Zink, im heutigen Sprachgebrauch als Bronze und Messing scharf unterschieden, besaßen im Mittelalter eine variable Zusammensetzung, und auch bei den Begrifflichkeiten – *aes* und *auricalcum* – gab es Überschneidungen.[93] Da wir hier den Begriff *aes*, so wie ihn auch Einhard verwendet, wohl der Bronze zuordnen dürfen, müsste es sich beim *auricalcum* um eine Legierung ähnlich dem Messing handeln. Vergleichen wir aber für das *auricalcum* und das Kupfer die aus den Angaben berechneten Dichten, dann liegt der Wert des *auricalcums* höher als der des Kupfers, während die Dichte einer reinen Kupfer-Zink-Legierung aufgrund der geringeren Dichte des Zinks (7,1 g/cm³) kleiner ist als diejenige des Kupfers. Wenn die Angaben für das *auricalcum* und das Kupfer in ihrer Relation zueinander korrekt sind, dann muss beim *auricalcum* ein weiterer Legierungsbestandteil mit größerer Dichte zulegiert gewesen sein. Abgesehen von den Edelmetallen kommt nur Blei in Frage. Tatsächlich wiesen die mittelalterlichen Kupferlegierungen, gleich ob sie mehrheitlich Zinn oder Zink enthielten, zusätzlich sehr häufig auch beträchtliche Bleianteile auf.[94] Besondere Beachtung verdient ein im Kölner Schnütgen-Museum aufbewahrtes Weihrauchfass, bei dessen verschiedenen Teilen dem Kupfer neben ca. 6–7 % Zink und ca. 1,5–3 % Zinn auch ca. 14–18 % Blei zulegiert ist. Egon Wamers hält

[90] KARL KARMARSCH: *Kupfer*, in: *Technologische Encyklopädie oder alphabetisches Handbuch der Technologie, der technischen Chemie und des Maschinenwesens*, Bd. 9, hrsg. v. JOHANN JOSEPH PRECHTL, Stuttgart, 1838, S. 1–57, hier S. 36.

[91] EINHARD: *Vita Karoli Magni*, bearb. v. OSWALD HOLDER-EGGER, in: Monumenta Germaniae Historica, Scriptores rerum Germanicarum in usum scholarum separatim editi 25, 6. Aufl., Hannover, 1911, S. 30 (Kap. 26).

[92] SEBASTIAN RISTOW u. DANIEL STEINIGER (wie Anm. 83), insbes. S. 162 f.

[93] CLAUDE BLAIR u. JOHN BLAIR (wie Anm. 82), S. 81.

[94] OTTO WERNER: *Analysen mittelalterlicher Bronzen und Messinge*, Teil IV, in: Berliner Beiträge zur Archäometrie 7, 1982, S. 35–174, hier beispielsweise S. 37 Tab. IV. A 2 (Zinn-Bronze Kruzifixe), S. 81 Tab. IV. B 7 (Messing-Leuchter mit überdurchschnittlich hohem relativem Bleigehalt), S. 94 Tab. IV. C 3 (Bronze-Rauchfässer) u. S. 102 Tab. IV C 6 (Messing-Rauchfässer).

eine Entstehung im weiteren Umkreis der Aachener Hofschule Karls des Großen für wahrscheinlich.[95] Die als „zinkhaltige Bleibronze“ angesprochene Legierung kann man, da sie erheblich mehr Zink als Zinn enthält, auch als bleihaltiges Messing auffassen. Das *auricalcum* könnte ähnlich zusammengesetzt gewesen sein, jedoch wegen des nur geringen Dichteunterschieds zum Kupfer einen etwas geringeren Bleigehalt aufgewiesen haben.

Wie beim Text zur hydrostatischen Waage ist auch hier eine antike Herkunft ausgeschlossen, da als Gewichtseinheit ebenfalls der *denarius* mit dem Gewicht von $^{1}/_{240}$ *libra* verwendet wird. Der Zweck der ausführlichen Beispielrechnungen, insbesondere beim Gewicht des auf eine *libra* Wachs zu vergießenden Zinns, scheint gerade in der didaktischen Vermittlung dieser Gewichtsrechnung zu liegen. Ein Zusammenhang des Texts mit der in Aachen nachgewiesenen Metallgießerei liegt nahe. Sowohl die Notwendigkeit zur Bestimmung der beim Guss benötigten Metallgewichte wie auch die zur Durchführung erforderlichen Voraussetzungen waren erst nach ihrer Einrichtung gegeben. Die gesuchten Metallgewichte erhielt man am einfachsten, indem man zunächst einen Satz von Wachskörpern mit dem einheitlichen Gewicht von einer Unze herstellte, diese mit den verschiedenen Metallen ausgoss und anschließend die Gusskörper abwog. Sicher wurden die Ergebnisse aufgezeichnet und der Werkstätte in Form einer Liste zur Verfügung gestellt. Wahrscheinlich hat man für die größeren Gussobjekte auch die auf die *libra* bezogenen Metallgewichte berechnet, so wie es im Text der Aachener Enzyklopädie gezeigt wird.

Einhard, dem die Oberaufsicht über die Bauten am Karlshof übertragen war, dürfte damit auch für die Metallgießerei Verantwortung getragen haben.[96] In der Hofgesellschaft trug er nach dem Werkmeister der alttestamentlichen Stiftshütte (Ex 35, 30–35) den Beinamen *Beseleel*, wohl eine Anspielung auf sein Interesse für Architektur und Kunsthandwerk.[97] Vielleicht erwähnt er in der *Vita Karoli Magni* die Türen und Gitter der Marienkirche gerade deswegen, weil er an ihrer Herstellung beteiligt gewesen war. Es ist gut möglich, dass er selbst die Ermittlung der Metallgewichte veranlasst hat. Später, als er als Leiter der Hofschule maßgeblich bei der Abfassung der Aachener Enzyklopädie mitwirkte, könnte er sich daran erinnert und dafür gesorgt haben, dass die Aufzeichnungen zusammengefasst und zusammen mit dem inhaltlich verwandten Text zur hydrostatischen Waage mit aufgenommen wurden, obwohl beide Texte nicht ganz zum komputistisch bestimmten Themenschwerpunkt passten.

Überlieferungsgeschichtliche Fragen

Giulia Brun weist in ihrer 2015 vorgelegten Dissertation die im Codex Harleianus 2767 überlieferte Kurzliste zum Metallguss den Rezeptsammlungen mit griechischem Hintergrund zu. Im Gegensatz zu der beispielsweise von Bernhard Bischoff vertretenen Auffassung, dass es sich bei der oben bereits erwähnten *Mappae Clavicula* um ein einheitliches Werk handle,[98] zu dem auch der um 800 niedergeschriebene Codex 490 aus Lucca gehört,[99] trennt sie eine nach dieser Handschrift – den *Compositiones lucenses* – benannte Tradition ab.[100] Brun beruft sich hier auf Francesca Tolaini, die neben einem Kern A (*Mappae Clavicula*) einen weiteren, im Vergleich zum ersten recht heterogenen Kern B (*Compositiones lucenses*) identifiziert. Sie denkt auch hier bei den meisten Texten an griechische Vorläufer, die während des 6. bis

[95] EGON WAMERS: *Ein Räuchergefäß aus dem Schnütgen-Museum. Karolingische „Renovatio“ und byzantinische Kontinuität*, in: Wallraf-Richartz-Jahrbuch 44, 1983, S. 29–56, hier S. 32, S. 50 ff.

[96] JOSEF FLECKENSTEIN: Artikel *Einhard*, in: Lexikon des Mittelalters 3, 2003, Sp. 1737 ff.

[97] STEFFEN PATZOLD: *Ich und Karl der Große. Das Leben des Höflings Einhard*, Stuttgart, 2013, S. 65, S. 71.

[98] BERNHARD BISCHOFF (wie Anm. 56), S. 286.

[99] Lucca, Biblioteca Capitolare, 490, Datierung nach BERNHARD BISCHOFF (wie Anm. 50), S. 131 Nr. 2524.

[100] GIULIA BRUN: *The transmission and circulation of Practical Knowledge on Art and Architecture in the Middle Ages. The case of Compositiones lucenses tradition and its Connection to Vitruvius' De architectura*. Dissertation Polytechnikum Mailand, 2015, S. 11–31. – Zusammenfassende Darstellung bei BRUN: *Transmission and Circulation of Written Knowledge on Art in the Middle Ages. The Case of the Compositiones lucenses Tradition and the Connection with Vitruvius' De architectura*, in: Medioevo Europeo. Rivista di filologia e altra medievalistica 1, 2017, S. 18–31, hier insbes. S. 20–24.

7. Jahrhunderts aus dem Griechischen übertragen worden seien.[101] Brun weist die im Codex Harleianus 2767 in seinem ursprünglichen Umfang im Anschluss an Vitruvs *De architectura* angehängten Texte der *Editio minor* zu, einer verkürzten Version der *Compositiones lucenses*. Heute bildet die Kurzliste zum Metallguss den Abschluss des Codex (*Abb. 8*); Bernhard Bischoff hat jedoch die zwei fehlenden Blätter in einer in Oxford aufbewahrten Handschrift wiedergefunden.[102] Brun zählt auch die Kurzliste, obwohl sie in den Handschriften nach der Tradition der *Compositiones lucenses* selbst nicht enthalten ist, zur *Editio minor*.[103] Neben dem Harleianus ist die *Editio minor* noch in fünf weiteren Codices überliefert, immer im Anschluss an *De architectura*.[104]

Brun erwähnt auch den langen Text zur Bemessung der Metalle beim Metallguss, jedoch nur aus Handschriften, die frühestens im 10. Jahrhundert geschrieben wurden.[105] Seine Herkunft aus der ab 809 verfassten Aachener Enzyklopädie ist ihr unbekannt, da sie Arno Borsts grundlegende Edition nicht kennt. Damit bleibt ihr auch der Zusammenhang der Kurzliste mit der Aachener Enzyklopädie verborgen. Dies musste zur Fehleinschätzung führen, dass die Texte, die in den sechs Handschriften im Anschluss an *De architectura* gemeinsam erscheinen, auch eine gemeinsame frühere Überlieferung teilen. Die fränkische Herkunft der Kurzliste ist jedoch bereits durch die Verwendung des *denarius* mit dem Gewicht von $^{1}/_{240}$ *libra* zweifelsfrei gesichert. Auch die beiden folgenden Texte in Bruns *Editio minor*, die ebenfalls in den Handschriften nach der Tradition der *Compositiones lucenses* nicht enthalten sind,[106] haben einen klaren Bezug zur Aachener Enzyklopädie. Es handelt sich um zwei metrologische Listen zu den Gewichten und Flüssigkeitsmaßen: *De ponderibus* und *De liquidis*.

Die beiden Texte sind den entsprechenden Abschnitten im 7. Buch der Aachener Enzyklopädie nah verwandt. Werden dort aber in kompilierender Weise vielfach verschiedene Berechnungsweisen vorgestellt, beschränken sich die beiden Listen zumeist auf eindeutige Angaben, die alle auch im Maßtext der Aachener Enzyklopädie aufgeführt sind. Ob es sich um Vorgängertexte oder Auszüge handelt, ist unklar. Da sie schon in zwei sehr frühen Abschriften der Aachener Enzyklopädie mit überliefert sind, hat sie Borst in seine Edition mit aufgenommen.[107] Sie geben zwar die antiken Gewichts- und Maßeinheiten in der korrekten Reihenfolge wieder, jedoch in anderen Verhältnissen zueinander: So bilden hier 6 *dragmae* die Unze,[108] 9 *cyathi* die *hemina* (hier: *emina*) und 24 *sextarii* den *modius*.[109] Nach den antiken Maßverhältnissen, wie sie auch das *carmen de ponderibus* überliefert, wären es 8 *dragmae* auf die Unze, 6 *cyathi* auf

[101] FRANCESCA TOLAINI: *De tinctio omnium musivorum. Technical recipes on glass in the so-called Mappae Clavicula*, in: *When Glass Matters. Studies in the History of Science and Art from Graeco-Roman Antiquity to Early Modern Era*, hrsg. v. MARCO BERETTA, Florenz, 2004, S. 195–219, hier S. 195–200, insbes. S. 196.

[102] Oxford, Bodleian Library, Rawlinson D. 893, fol. 135 u. 136, vgl. BERNHARD BISCHOFF: *Die wiedergefundenen Schlussblätter des Vitruvius Harleianus*, in: Philologische Wochenschrift 62, 1943, Sp. 504.

[103] GIULIA BRUN (wie Anm. 100, 2015), zur Editio minor S. 115–156, zur Kurzliste insbes. S. 129 u. BRUN (wie Anm. 100, 2017), S. 25 ff., insbes. S. 26 Tab. 4: Bei dem dort nach fol. 40r des Schlettstädter Codex 17 eingetragenen Text handelt es sich nicht um die Kurzliste, sondern um das Kapitel zur Bemessung der Metalle beim Metallguss aus der *Aachener Enzyklopädie*.

[104] GIULIA BRUN (wie Anm. 100, 2017), S. 22 Tab. 1: Sélestat, Bibliotèque Humaniste, 17, fol. 212v–214r, Leiden, Rijksuniversiteit Bibliothek, VFL 88, fol. 106r–107r, Madrid, Real Biblioteca de Escorial, III.F.19, fol. 84r–85r, New York, Metropolitan Museum, Pl. 1, fol. 89r–91v u. Florenz, Biblioteca Medicea Laurenziana, PL. XXXX.10, fol. 60r–60v.

[105] GIULIA BRUN (wie Anm. 100, 2015), S. 145: „The same text, complete with all metals, started circulating at least since the 10th century […]."

[106] GIULIA BRUN (wie Anm. 100, 2017), S. 26 Tab. 4.

[107] *Die Aachener Enzyklopädie von 809* (wie Anm. 1), S. 1328 f., S. 1332, zu den Handschriften BORST S. 1080 f.: „Paris, Bibl. Nationale, Nouvelle acquisition latine 1613 (Tours nach 825)" u. „Rom. Bibl. Vallicelliana, E 26 (Lyon um 815)".

[108] 2 *oboli* = 1 *scripulum*, 3 *scripuli* = 1 *dragma*, 1 *dragma* + 1 *scripulus* (= $^{1}/_{3}$ *dragma*) + 1 *obulus* (= $^{1}/_{6}$ *dragma*) = 1 *quadrans* (= 1 $^{1}/_{2}$ *dragmae*), 2 *quadrantes* = 1 *stater* (= 3 *dragmae*), 2 *stateres* = 1 *uncia* (= 6 *dragmae*).

[109] 6 *sextarii* = 1 *congius*, 4 *congii* = 1 *modius* (= 24 *sextarii*).

die *hemina* und 16 *sextarii* auf den *modius*.[110] Rechnet man die Angaben zusammen, kommt man auf einen 72 *librae* schweren *modius*,[111] während der antike *modius* nur 26 $^{2}/_{3}$ *librae* an Wasser/Wein fasste.

Die 3 *modii* umfassende, 80 *librae* schwere *amphora* müsste demnach 216 *librae* wiegen. Ich fasse diese Angaben als Versuch auf, einen frühmittelalterlichen, 72 *librae* schweren *modius* mit den antiken Maßeinheiten unter einen Hut zu bringen. Er dürfte in der Zeit vor dem 794 im Frankfurter Kapitular verkündeten *modius publicus* einige Verbreitung gehabt haben. Die Autoren der Aachener Enzyklopädie sprechen sich ausdrücklich, obwohl es sich aufgrund der Angaben der übrigen karolingischen Schriftquellen nicht um den *modius publicus* handeln kann, für den 72 *librae* schweren *modius* aus.[112] Den nach meiner Auffassung 120 *librae* schweren *modius* der Reform von 792/93 deuten sie als *talentum* mit dem 24-fachen eines 5 *librae* schweren *sextarius* ebenfalls an. Obwohl eigentlich eine Gewichtseinheit, kann mit dem 120 *librae* schweren *talentum*, im Abschnitt zu den Flüssigkeitsmaßen als Vielfaches des *sextarius* – eines Hohlmaßes – aufgeführt, ebenfalls nur ein Hohlmaß gemeint sein. Da die Autoren aber dennoch so entschieden das kleinere Maß präferieren, darf davon ausgegangen werden, dass das 794 verkündete Reformmaß nachhaltig auf erhebliche Widerstände stieß.[113]

Bei einer der Handschriften, in denen Bruns *Editio minor* enthalten ist, handelt es sich um den oben im Zusammenhang mit dem 2. Kapitel des 6. Buches der Aachener Enzyklopädie zur hydrostatischen Waage bereits erwähnten Schlettstädter Codex 17, der nach Bischoff im frühen 10. Jahrhundert in St. Gallen entstand.[114] Da das 2. Kapitel hier gemeinsam mit dem 3. Kapitel zur Bemessung der Metalle beim Metallguss überliefert wird, treffen in dieser Handschrift die beiden Texte zum Metallguss – der längere aus der Aachener Enzyklopädie und die von Brun mit einer unzutreffenden Herkunft versehene Kurzliste – aufeinander. Anhand des Stemmas von *Abb. 9* sollen die Überlieferungswege der drei Texte zwischen Aachen und dem Schlettstädter Codex skizziert und die ungelösten Fragen angesprochen werden. Die Handschrift vereinigt die technischen Rezepte der nach Brun separaten Tradition des Codex 490 aus Lucca (*Compositiones lucenses*) mit der nach dieser Auffassung „eigentlichen“ *Mappae Clavicula*;[115] darüber hinaus enthält sie noch weitere Texte technischen Inhalts, die in *Abb. 9* nicht separat aufgeführt sind.

Betrachten wir zunächst die beiden Texte der Aachener Enzyklopädie: Der Beschreibung der hydrostatischen Waage diente das *Carmen de Ponderibus* als Vorbild. Ob der in die Aachener Enzyklopädie aufgenommene Text schon früher fertig erstellt worden war oder auf der Grundlage älterer Aufzeichnungen erst verfasst wurde, ist unklar. Im Zusammenhang mit der rechnerischen Überprüfung der Angabe, dass der Gewichtsunterschied von einer *libra* Gold und Silber unter Wasser 12 Denare betrage, wurde auch eine zweite Variante besprochen, die den Wert mit 11 Denaren angibt. Sie ist neben dem Schlettstädter Codex auch im Phillipps-Corning-Manuskript enthalten, das im 12. Jahrhundert wohl in England entstand und ebenfalls die *Mappae Clavicula* überliefert, auch die Rezepte in der Tradition der *Compositiones lucenses* (nach Brun).[116] Der dritte Textzeuge mit dieser Variante ist die Montecassinenser Handschrift 3,

110 [REMMIUS FAVINUS] (wie Anm. 39), S. 24/25 Vers 24: *Vncia fit dragmis bis quattuor* (GEUS übersetzt hier versehentlich falsch: „zweimal acht Drachmen“), S. 28 /29 Vers 73: *At cotyle* [= *hemina*, siehe Vers 67 f.] *cyathos bis ternos una receptat*, S. 28/29 Vers 65 f.: *modium; sextarius istum Sedecies haurit*.

111 1 *coclear* = $^{1}/_{2}$ *dragma*, 3 *cocleares* = 1 *concla* (= 1 $^{1}/_{2}$ *dragmae*), 8 *conclae* = 1 *cyatus* (= 12 *dragmae* = 2 *unciae*, siehe Anm. 108), 9 *cyati* = 1 *hemina* (= 18 *unciae* = 1 $^{1}/_{2}$ *librae*), 2 *heminae* = 1 *sextarius* (= 3 *librae*), 6 *sextarii* = 1 *congius* (= 18 *librae*), 4 *congii* = 1 *modius* (= 72 *librae*). Ein verwandter Text mit Gewichtsangaben der einzelnen Hohlmaße in *librae* befindet sich im Wessobrunner Codex, München, Bayerische Staatbibliothek, Clm 22053, fol. 63v–64r. Zugänglich unter: URL *http://daten.digitale-sammlungen.de/bsb00031771/image_1* .

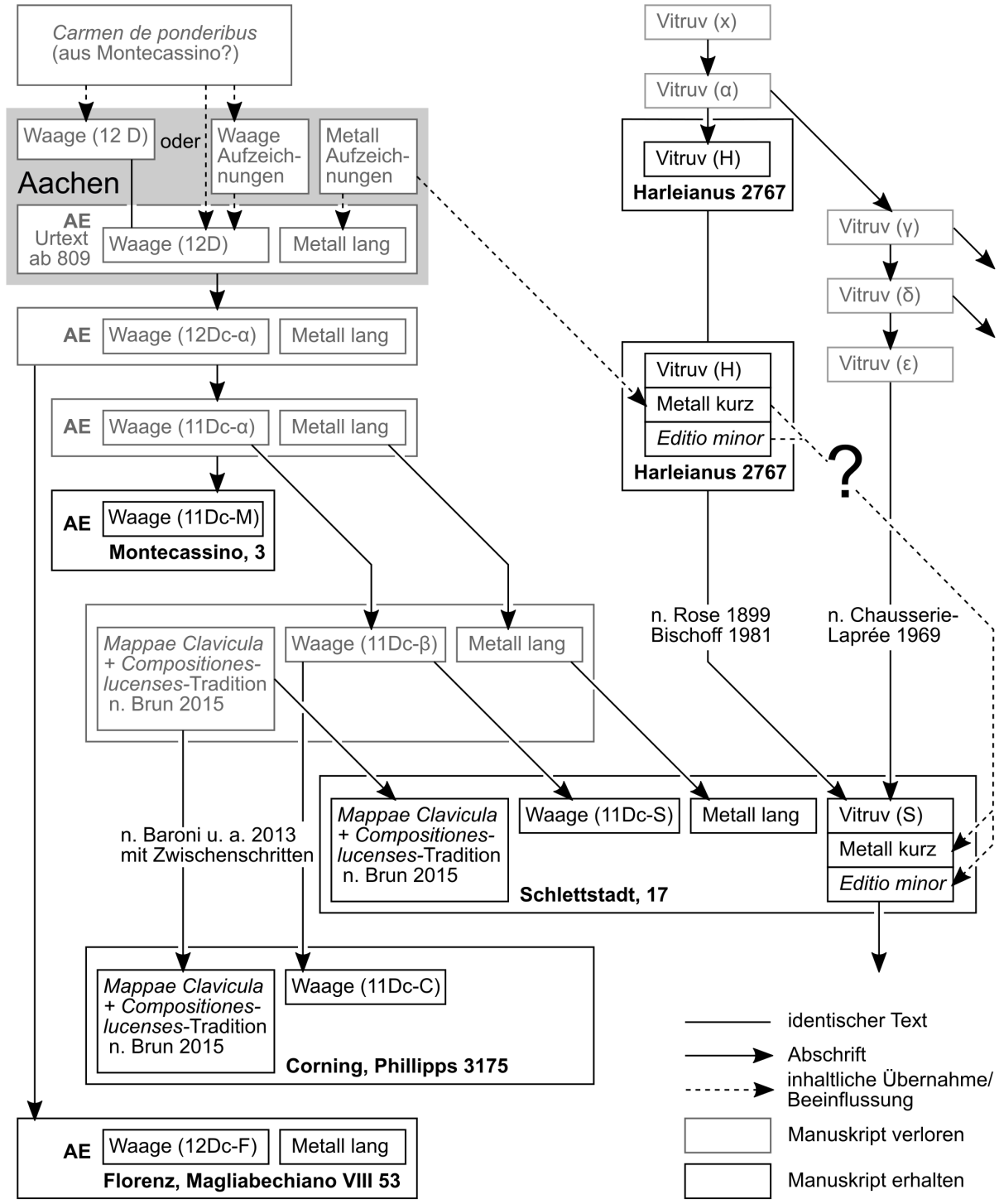
112 *Die Aachener Enzyklopädie von 809* (wie Anm. 1), S. 1331.

113 Hierzu ausführlich: STEFAN WINTERMANTEL: *... id est centum viginti librarum. Der karolingische modius publicus nach den Schriftquellen*, S. 51–58, online auf: *Propylaeum-DOK*, DOI *https://doi.org/10.11588/propylaeumdok.00004986* .

114 Siehe Anm. 53, Datierung nach BERNHARD BISCHOFF (wie Anm. 56), S. 281, S. 282 Anm. 20. Die Texte aus der Aachener Enzyklopädie befinden sich auf fol. 39r–40r.

115 GIULIA BRUN (wie Anm. 100, 2015), S. 264.

116 Siehe Anm. 54, Datierung nach BERNHARD BISCHOFF (wie Anm. 56), S. 285, zum Inhalt GIULIA BRUN (wie Anm. 100, 2015), S. 274.



AE	Aachener Enzyklopädie – Urtext und Überlieferung
Waage	Text zur hydrostatischen Waage aus der AE: *Omne aurum purum ...*
(12D)	Gewichtsunterschied *libra* Silber/Gold unter Wasser 12 Denare, Lesart *mixtionem*
(12Dc ...)	Gewichtsunterschied *libra* Silber/Gold unter Wasser 12 Denare, Lesart *commixtionem*
(11Dc ...)	Gewichtsunterschied *libra* Silber/Gold unter Wasser 11 Denare, Lesart *commixtionem*
Metall lang	Text zur Bemessung der Metalle beim Metallguss aus der AE: *In fundendis operibus ...*
Metall kurz	Kurzliste zur Bemessung der Metalle beim Metallguss: *Uncia caerae colligit ...*
Vitruv	Vitruv: *De architectura*

Abb. 9: Stemma der Überlieferung der drei Texte zur hydrostatischen Waage und zum Metallguss zwischen Aachen und dem Schlettstädter Codex 17

die wohl dort um 879 auch niedergeschrieben wurde.[117] Der Text steht hier noch im Zusammenhang mit Teilen der Aachener Enzyklopädie. Die drei Manuskripte haben eine weitere Abänderung gemeinsam: Sie schreiben anstatt: *per mixtionem inesse videatur* nun: *per commixtionem inesse videatur*. Diese Lesart findet sich, ebenfalls im Kontext der Aachener Enzyklopädie, aber auch in der um 1456 in Florenz entstandenen Handschrift Magliabechiano VIII 53,[118] die den Gewichtsunterschied noch mit 12 Denaren rechnet (12Dc-F).[119] Im Rahmen der Überlieferung der Aachener Enzyklopädie dürfte es also einen Textzeugen (12Dc-α) gegeben haben, der bereits *commixtionem* schrieb, bei dem jedoch die Änderung der Gewichtsangabe von 12 auf 11 Denare noch nicht vollzogen war.

Da der Text aus Montecassino (11Dc-M) verschiedene Verschreibungen und eine Auslassung von vier Wörtern zeigt,[120] die in den Versionen im Schlettstädter Codex (11Dc-S) und im Phillipps-Corning-Manuskript (11Dc-C) nicht vorkommen, kann auf einen weiteren Vorgänger (11Dc-α) geschlossen werden, von dem sich alle drei ableiten. Auch er steht noch in der Tradition der Aachener Enzyklopädie. Über ihn gelangte auch der Text zur Bemessung der Metalle beim Metallguss, der in der Handschrift aus Montecassino nicht enthalten ist, in den Schlettstädter Codex. Dabei ist jedoch ein Zwischenschritt (11Dc-β) anzunehmen: Die Versionen (11Dc-S) und (11Dc-C) haben weitere vom Urtext abweichende Lesarten gemeinsam,[121] jedoch kann sich die jüngere nicht von der älteren ableiten, da das Phillipps-Corning-Manuskript nicht direkt vom Schlettstädter Codex abhängt. Nach dem s*temma codicum* der von Sandro Baroni u. a. 2013 vorgelegten neuen Edition der *Mappae Clavicula* sind bis zum Phillipps-Corning-Manuskript noch weitere Zwischenschritte anzunehmen.[122] Die beiden Aachener Texte sind also mit den technischen Rezepten in die Schlettstädter Handschrift gekommen. Nicht in Frage kommt dafür der in ihr ebenfalls enthaltene Vitruv-Auszug des M. Cetius Faventinus, mit dem die beiden Texte in verschiedenen späteren Handschriften als Interpolation ebenfalls auftreten: Der Text zur hydrostatischen Waage gibt den Gewichtsunterschied hier immer mit 12 Denaren an.[123]

Aufgrund der beiden Varianten mit Gewichtsangaben von 11 und 12 Denaren und weiterer unterschiedlicher Lesarten konnten verschiedene Stationen identifiziert werden, über die die beiden Texte aus der Aachener Enzyklopädie in den Schlettstädter Codex gelangten. Leider bislang nicht zu ermitteln ist der Ort, an dem die Änderung der Gewichtsangabe von 12 auf 11 Denare erfolgte. Offen bleibt auch die wichtige Frage, wann und wo die Texte an die Rezeptsammlung angefügt wurden. Sie wäre auch für deren Überlieferungsgeschichte wichtig. In beiden Fragestellungen deuten die verschiedenen Bezüge nach Italien; sicher ist das jedoch keinesfalls.

Zu einem anderen Überlieferungsstrang gehört die Kurzliste zur Bemessung der Metalle beim Metallguss. Die Frage, auf welchem Weg sie von Aachen in den Schlettstädter Codex kam, ist eng verknüpft mit der Diskussion um die Überlieferung von Vitruvs *De architectura*, die an dieser Stelle nur angeschnitten werden kann. Der älteste bekannte Textzeuge der Schrift Vitruvs ist der Codex Harleianus 2767. Er entstand wohl zu Anfang des 9. Jahrhunderts im Umfeld des karolingischen Hofes;[124] vielleicht gehörte er sogar der Hofbibliothek Karls des Großen an.[125] Unstrittig ist, dass er sich von demjenigen Archetypen (x) ableitet (siehe Stemma *Abb. 9*), der wahrscheinlich mit Alkuin an den Hof kam. Jean-Pierre Chausserie-Laprée nimmt als Zwischenstufe eine weitere Handschrift (α) an.[126] Die Kurzliste (*Abb. 8*)

[117] Siehe Anm. 50.
[118] ARNO BORST (wie Anm. 1), S. 1073: „Florenz, Bibl. Nazionale Centrale, Magliabechiano VIII 53 (Florenz um 1465)“.
[119] *Die Aachener Enzyklopädie von* 809 (wie Anm. 1), S. 1307.
[120] *Die Aachener Enzyklopädie von* 809 (wie Anm. 1), S. 1307 f.: Es fehlt *inclinatur aurum, totidem partibus*.
[121] Zur Überlieferung der beiden Handschriften SANDRO BARONI u. a. (wie Anm. 55), *stemma codicum* S. 39. Bei *Quapropter si inveneris opus aliquod auro formatum* fehlt in beiden Texten *auro*, statt *est referendum* schreiben beide: *conferendum est*.
[122] SANDRO BARONI u. a. (wie Anm. 55), *stemma codicum* S. 39.
[123] MARIE-THÉRÈSE CAM u. CATHERINE JACQUEMARD (wie Anm. 85), S. 115, S. 131 ff., u. S. 167–171.
[124] Siehe Anm. 88, Datierung nach BERNHARD BISCHOFF (wie Anm. 50), S. 115 Nr. 2455.
[125] BERNHARD BISCHOFF (wie Anm. 56), S. 282.
[126] JEAN-PIERRE CHAUSSERIE-LAPRÉE: *Un nouveau stemma Vitruvien*, in: Revue des Études Latines 47, 1969, S. 347–377, hier Stemma S. 377.

wurde jedoch erst später nachgetragen, ebenso die auf den von Bischoff in der Oxforder Handschrift wiedergefundenen Blättern eingetragenen, von Giulia Brun der *Editio minor* zugewiesenen Texte. Bischoff gibt an, dass diese Nachträge zu vier verschiedenen Händen ungefähr aus dem 2. Viertel des 9. Jahrhunderts gehören.[127] Brun meint dagegen, dass die Kurzliste wahrscheinlich erst um das 10. Jahrhundert hinzugefügt worden sei.[128]

Die von verschiedenen Händen geschriebenen Nachträge würden dafür sprechen, dass die entsprechenden, in fünf weiteren Codices an *De architectura* angehängten Texte,[129] von denen wir hier nur den Text in der Schlettstädter Handschrift betrachten, vom Codex Harleianus abstammen. Mit dieser Überlegung geht das Stemma Valentin Roses konform, das den Schlettstädter Codex als direkten Nachfolger des Codex Harleianus beschreibt.[130] Auf der Grundlage einer sorgfältigen Analyse der Textunterschiede hat Chausserie-Laprée 1969 jedoch ein neues Stemma erschlossen, nach dem die Vitruvschrift im Schlettstädter Codex über die verlorenen Handschriften (γ), (δ) und (ε) vom ebenfalls verlorenen Zeugen (α) abstammt (*Abb. 9*).[131] Bischoff hat 1981 am direkten Abhängigkeitsverhältnis jedoch festgehalten und dem Stemma Chausserie-Laprées ausdrücklich widersprochen: Es trage nicht der Tatsache Rechnung, dass die übrigen Handschriften „den Anhang von Rezepten, der im Harleianus durch originale Eintragung von mehreren Händen zustandegekommen ist, abschriftlich übernommen haben".[132]

Wenn wir an Chausserie-Laprées Stemma festhalten wollen, dann müssen wir einen Transfer der angehängten Texte zwischen dem Codex Harleianus und dem Vitruv-Text im Schlettstädter Codex – wie in *Abb. 9* eingezeichnet – oder einem seiner Vorgänger annehmen. Das ist wenig wahrscheinlich, aber auch nicht gänzlich ausgeschlossen, wenn beide Handschriften in einer Bibliothek zusammentrafen und man hinsichtlich dieser Anhänge die eine an die andere angleichen wollte. Vollends komplex wird die Sachlage jedoch, wenn wir auch dem von Brun vorgelegte Stemma der *Editio minor* folgen: Sie nimmt für die Anhänge der beiden Codices einen gemeinsamen Vorgänger an.[133] Die Texte müssten dann aus diesem Vorgänger von vier verschiedenen Händen – also wohl etappenweise – an das Ende des Harleianus geschrieben worden sein.

Damit ist auch die Überlieferung der Kurzliste zum Metallguss mit Unsicherheiten belastet. Ungeklärt bleibt insbesondere die wichtige Frage, an welchem Ort sie an die Schrift Vitruvs angehängt wurde. Selbst wenn das betreffende Exemplar zur Hofbibliothek Karls des Großen gehört haben sollte, wäre dies wohl nicht in Aachen geschehen, denn Karl hatte in seinem von Einhard überlieferten Testament verfügt, die Bücher nach seinem Tod zu verkaufen und den Erlös den Armen zu geben.[134] Einhard selbst war nach dem Zeugnis eines seiner Briefe im Besitz eines Vitruv-Exemplars.[135] Da er die Oberaufsicht über die Bauten des Hofes und damit wohl auch über die Aachener Metallgießerei innehatte, könnte er auch über die Kurzliste zum Metallguss oder die Aufzeichnungen, nach denen sie abgefasst wurde, verfügt haben, war vielleicht sogar für die Bestimmung der Metallgewichte verantwortlich gewesen. So ist denkbar, wenn auch natürlich nicht beweisbar, dass die Vitruvschrift und die Kurzliste oder die zugrunde liegenden Aufzeichnungen in seinem Besitz zusammentrafen und Teil eines Konvoluts blieben, aus dem dann später die Anhänge, zumindest der erste von ihnen, die Kurzliste (*Abb. 8*), an *De architectura* angefügt wurden.

127 BERNHARD BISCHOFF (wie Anm. 50), S. 115 Nr. 2455. – 1943 schrieb er die Kurzliste, die Maßtexte (*De ponderibus* und *De liquidis*), das nachfolgende medizinische Rezept und „ebenso vielleicht" einen Teil der technischen Rezepte einer ersten Hand zu, zwei weitere Rezepte jedoch einer Hand „von etwas jüngerem Typ", siehe BISCHOFF (wie Anm. 102), Sp. 504.

128 GIULIA BRUN (wie Anm. 100, 2015), S. 259.

129 Siehe Anm. 104.

130 VALENTIN ROSE (wie Anm. 28), Stemma S. IX.

131 JEAN-PIERRE CHAUSSERIE-LAPRÉE (wie Anm. 126), Stemma S. 377.

132 BERNHARD BISCHOFF (wie Anm. 56), S. 281 f. u. Anm. 12.

133 GIULIA BRUN (wie Anm. 100, 2015), Stemma S. 142.

134 Testament Karls des Großen bei EINHARD (wie Anm. 91), S. 40 (Kap. 33). – Vgl. DORIS HABERL: *Die Hofbibliothek Karls des Großen als Kristallisationspunkt der karolingischen Renaissance: Geschichte, Umfeld, Wirkungen*, in: Perspektive Bibliothek 3.1, 2014, S. 111–139, hier S. 115.

135 EINHARD: *Brief Nr. 57*, bearb. v. KARL HAMPE, in: Monumenta Germaniae Historica, Epistolae 5/3, Berlin, 1899, S. 137 f.

Schlussfolgerungen

Obwohl schon lange bekannt, ist bis heute in der internationalen Forschung nicht überall durchgedrungen, dass die in zahlreichen Handschriften überlieferten Texte zur hydrostatischen Waage und zur Bemessung der Metalle beim Metallguss ursprünglich Bestandteil der ab 809 verfassten Aachener Enzyklopädie waren. Dies hat dazu geführt, dass die mit dem betreffenden Text der Aachener Enzyklopädie verwandte Kurzliste zum Metallguss als Teil der *Editio minor* in die Tradition der im Kern antiken Rezeptsammlungen gestellt wurde. Nun konnten für die Verbreitung der drei Aachener Texte im Überschneidungsfeld der Überlieferungen der *Mappae Clavicula* bzw. der *Compositiones lucenses* sowie von Vitruvs *De architectura* einige Anhaltspunkte gewonnen und die wichtigsten Fragen formuliert, leider aber nicht geklärt werden. Unter Berücksichtigung dieser Erkenntnisse könnte eine integrierende Untersuchung der Überlieferungen aller dieser Texte oder Textfamilien, die an dieser Stelle nicht geleistet werden kann, neue Ergebnisse, auch zu deren Tradierung, erschließen.

Der Nachweis, dass es sich bei den beiden Kapiteln der Aachener Enzyklopädie zur hydrostatischen Waage und zum Metallguss nicht um antike, sondern um originär karolingische Texte handelt, ist von erheblicher wissenschaftshistorischer Relevanz. Um den Gewichtsunterschied der *librae* Gold und Silber unter Wasser auf Basis des Denargewichts von $^1/_{240}$ *libra* festzustellen (*Abb. 4*) und auf dieser Grundlage die beiden Verfahren zur Ermittlung der Gewichtsanteile einer Gold-Silber-Legierung – unter Verwendung entweder eines Gegengewichts aus Silber (*Abb. 5*) oder aus Gold – auszutesten, waren in beträchtlichem Umfang experimentelle Untersuchungen erforderlich. Einen gewissen experimentellen Charakter kann man auch der Ermittlung der Gewichte der Metalle beim Metallguss nicht absprechen.

Die beiden Kapitel der Aachener Enzyklopädie lassen damit Ansätze naturwissenschaftlicher Forschung erkennen. Thematisch befassen sie sich mit Gewicht und Volumen – Größen, die auch im Maßwesen eine zentrale Rolle spielen. Die Texte zeigen auf, was wir dem Gelehrtenkreis am Karlshof auch auf diesem Gebiet zutrauen dürfen. Bereits Harald Witthöft vermutete, dass die Planer der um 792/93 durchgeführten Maßreform ein geschlossenes Maß- und Gewichtssystem im Auge hatten, bei dem die Einheiten der verschiedenen Größen – Länge, Fläche, Volumen und Gewicht bzw. Masse – miteinander verbunden waren; er konnte den Volumina der von ihm angenommenen Hohlmaße jedoch noch kein einheitliches Längenmaß zuordnen.[136] Das Maßsystem der Römer war auf diese Weise in sich geschlossen: Die 80 *librae* schwere, ca. 26 l fassende *amphora* trug auch den Namen *quadrantal*, da ihr Volumen zumindest ungefähr von einem Kubus gebildet wurde, dessen Kantenlängen dem ca. 29,6 cm langen römischer Fuß und dessen Seitenflächen dem römischen Quadratfuß entsprachen.[137] Das *Carmen de ponderibus* beschreibt die *amphora* auf der Grundlage dieses Würfels.[138]

Aus dem *Carmen de ponderibus* war den Aachener Gelehrten das Verhältnis zwischen der *amphora* und dem römischen Fußmaß bekannt. In meiner Arbeit zu den karolingischen Hohlmaßen habe ich auf der Grundlage der Schriftquellen ausführlich begründet, dass der im Frankfurter Kapitular von 794 verkündete *modius publicus* mit einem Kubus in Beziehung stand, dessen Kantenlänge 42,81 cm betrug.[139] Dies ist das Grundmaß, nach dem der Zentralbau der Marienkirche Karls des Großen bemessen wurde.[140] Es handelt sich um den *cubitus* (Ellenmaß) mit der 1 $^1/_2$-fachen Länge eines 28,54 cm langen Fußmaßes, das sich neben dem Atrium der Marienkirche auch an der karolingischen Abteikirche von Inda (Kornelimünster) und der Einhardsbasilika in Michelstadt-Steinbach nachweisen lässt.[141]

136 HARALD WITTHÖFT (wie Anm. 25), S. 248–251.

137 FRIEDRICH HULTSCH: *Griechische und römische Metrologie*, 2. Bearbeitung, Berlin, 1882, S. 112 f., S. 125 f. Rechnerisch ergibt sich mit einem Libragewicht von 326,592 g gegenüber dem gängigen Wert von 29,6 cm eine etwas größere Fußlänge von knapp 29,7 cm.

138 [REMMIUS FAVINUS] (wie Anm. 39), S. 26/27, S. 28/29 Vers 59–63.

139 STEFAN WINTERMANTEL (wie Anm. 113), insbes. S. 109–113, auch im Folgenden.

140 STEFAN WINTERMANTEL: *Geometrie, Maß und Zahl an der Aachener Marienkirche Karls des Großen, an der karolingischen Abteikirche in Kornelimünster und an der Einhardsbasilika in Michelstadt-Steinbach*, in: Zeitschrift des Aachener Geschichtsvereins 119/120, 2017/18, S. 51–194, hier S. 106–112. – Siehe auch WINTERMANTEL (wie Anm. 113), S. 9–16.

141 STEFAN WINTERMANTEL (wie Anm. 140), S. 166–191.

Bezogen auf den Kubus mit einer Kantenlänge von 42,81 cm füllte der ca. 39,2 l große *modius* des Flüssigkeitsmaßes den halben Kubus aus. Er wog an Wasser oder Wein 120 *librae*.[142] Der ca. 52,3 l große Getreidemodius entsprach $^2/_3$ des Kubus oder einem Wassergewicht von 160 *librae*. Da nach einem schon in der Antike verwendeten Richtwert das Verhältnis der Volumina einer jeweils gleich schweren Füllung mit Weizen und mit Wasser/Wein mit 4 : 3 anzusetzen ist,[143] fasste der Getreidemodius an Weizen ebenfalls ca. 120 *librae*. Ein wohl wenig gebräuchlicher, ca. 78,5 l großer Mehlmodius mit einem Wassergewicht von 240 *librae* entsprach dem ganzen Kubus; mit Mehl gefüllt lag sein Gewicht wenigstens ungefähr wieder bei 120 *librae*.

Der *modius* des Flüssigkeitsmaßes und der Weizenmodius griffen in ihrer Staffelung zwei antike Hohlmaße wieder auf: Der sizilische *metretes* (oder *cadus*) mit einem Wasser-/Weingewicht von 120 *librae* war ein im Westen des Mittelmeeres gebräuchliches Weinmaß; der sizilische *medimnos* mit einem Weizengewicht von ebenfalls ca. 120 *librae* war als Weizenmaß weit verbreitet.[144] Sie werden auch im *Carmen de ponderibus* erwähnt.[145] Da sie gegenüber der römischen *amphora* das 1 $^1/_2$- oder 2-Fache fassten, wären ihre Volumina auch mit 1 $^1/_2$ oder 2 Würfeln, deren Kantenlänge vom römischen Fußmaß gebildet werden, darstellbar. Ihr gemeinsames Gewicht war ein 120 *librae* schweres Talent, das ungefähr der Traglast eines Mannes entsprach.[146] Der karolingische *modius publicus* des Flüssigkeitsmaßes – und damit auch das antike Maß! – hat im Fernhandel als *Anker* und im Bodenseegebiet als *Eimer* bis in die Neuzeit überlebt.[147]

Das karolingische Maßwesen orientiert sich, wie auch der Gebrauch der hydrostatischen Waage, an antiken Vorbildern. Der geläufige Begriff der *karolingischen Renaissance* beschreibt dieses Verhältnis jedoch nur unvollkommen. Percy Ernst Schramm hat ihn rundweg abgelehnt; er spricht stattdessen von *correctio* im Sinne einer von Karl persönlich betriebenen planmäßigen Wiederherstellung nur des für gut Befundenen. Ziel sei nicht eine „Wiedergeburt" der – heidnischen! – Antike gewesen, aber: „Wie immer und wo immer ‚Wahres' und ‚Richtiges', das den Weg zu weisen vermochte, aufzuspüren war, wurde es genommen."[148] Im Maßwesen wurde nicht der römische *modius*, der, wie auch das *Carmen de ponderibus* berichtet,[149] den dritten Teil der *amphora* fasste, wiederhergestellt; stattdessen übernahm man für den *modius publicus* größere, praktischere Hohlmaße, deren Füllungsgewicht an der Traglast eines Mannes ausgerichtet war. Auch bei der hydrostatischen Waage hat man das im *Carmen de ponderibus* beschriebene Vorbild nicht 1 : 1 umgesetzt, sondern auf das Laufgewicht (*Abb. 3*) verzichtet. Der Gewichtsunterschied der *librae* Gold und Silber unter Wasser musste auf Grundlage der karolingischen Gewichtseinheiten durch Versuche neu ermittelt werden; dies gelang recht genau.

Nicht verstanden hat man dagegen das Wesen des hydrostatischen Auftriebs, das bereits Archimedes beschrieben hatte. Dies führte über die inadäquate Übernahme des Begriffs *densius* zur falschen Annahme, dass Gold um seinen zwanzigsten Teil dichter als Silber sei. Insofern fiel man hinter die Antike zurück. In der Folgezeit wurde jedoch auch der in Aachen erarbeitete Wissenstand lange Zeit nicht mehr erreicht. Noch im 16. Jahrhundert war ein nicht unbedeutender Gelehrter wie Giambattista della Porta nicht in der Lage, die Ermittlung der Zusammensetzung einer Gold-Silber-Legierung mit der hydrostatischen Waage korrekt zu beschreiben. Dies konnte erst wieder der junge Galileo Galilei; und er verstand auch das Archimedische Prinzip. Albert Einstein würdigt Galileo als „father of modern physics and in fact of the

[142] Die Werte stimmen exakt überein, wenn die *libra* mit 326,592 g und die Dichte des Wassers mit 0,999 g/cm^3 angesetzt werden.

[143] AUGUST OXÉ (wie Anm. 11), S. 104, vgl. auch S. 94, S. 110, S. 158 u. S. 172. Daneben wurde für die Gewichtsrelation von Wasser und Weizen auch das Zahlenverhältnis 25 : 18 verwendet.

[144] AUGUST OXÉ (wie Anm 11), S. 117, S. 121 u. S. 140.

[145] [REMMIUS FAVINUS] (wie Anm. 39), S. 28/29 Vers 64 u. 85.

[146] AUGUST OXÉ (wie Anm 11), S. 116, S. 121 u. S. 174 (oder 2 „kleine Talente" mit halbem Gewicht).

[147] STEFAN WINTERMANTEL (wie Anm. 113), S. 118–121. – Zum Eimer im Bodenseegebiet: FRANK GÖTTMANN: *Altes Maß und Gewicht im Bodenseeraum – Systeme und Kontinuitäten*, in: Zeitschrift für Württembergische Landesgeschichte 48, 1989, S. 25–68, hier S. 31 ff.

[148] PERCY ERNST SCHRAMM: *Karl der Große. Denkart und Grundauffassungen – Die von ihm bewirkte Correctio („Renaissance")*, in: Historische Zeitschrift 198, 1964, S. 306–345, hier S. 340 f.

[149] [REMMIUS FAVINUS] (wie Anm. 39), S. 28/29 Vers 65.

whole of modern natural science“, weil er verstanden habe, dass Schlussfolgerungen, die durch logische Überlegungen getroffen werden, zwingend einer experimentellen Verifizierung bedürfen.[150] Galileos *La bilancetta* erlangt insbesondere dadurch wissenschaftshistorische Bedeutung, dass er bereits die in dieser seiner ersten Schrift niedergelegten Überlegungen experimentell nachgemessen hat.[151]

Die Aachener Gelehrten waren in dieser Hinsicht erstaunlich modern, denn auf der Grundlage dessen, was sie dem *Carmen de ponderibus* entnehmen konnten, und sicherlich auch eigener Überlegungen haben auch sie – anders wäre die Ermittlung des angegebenen Gewichtswerts gar nicht möglich gewesen – mit der hydrostatischen Waage experimentelle Messungen durchgeführt.

Abbildungsnachweis

Abb. 1: St. Gallen, Stiftsbibliothek, Cod. sang. 731, Seite 111 *(www.e-codices.ch)*,
Permalink: URL *https://www.e-codices.unifr.ch/de/csg/0731/111* . Creative Commons-Lizenz 4.0 (CC BY NC – Namensnennung, nicht kommerziell): URL *https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/* .
Abb. 2: *Utrecht-Psalter*, Universitätsbibliothek Utrecht, Ms. 32, fol. 6r, zugänglich unter:
URL *https://psalter.library.uu.nl/page?p=18&res=2&x=0&y=0* .
Abb. 3: Zeichnung des Verfassers nach THOMAS IBEL: *Die Wage im Altertum und im Mittelalter*, Dissertation Unversität Erlangen, 1908, S. 52 Fig. 12.
Abb. 6: Foto bei *Wikipedia*, gemeinfreies Werk, URL *https://de.wikipedia.org/wiki/Giambattista_della_Porta* .
Abb. 7: Foto bei *Wikipedia*, gemeinfreies Werk, URL *https://de.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei* .
Abb. 8: London, British Library, Harley 2767, fol. 162v, zugänglich unter:
URL *http://www.bl.uk/manuscripts/FullDisplay.aspx?ref=Harley_MS_2767* .
Die Grafiken von *Abb. 4*, *Abb. 5* u. *Abb. 9* wurden vom Verfasser erstellt.

[150] ALBERT EINSTEIN: *On the Method of Theoretical Physics*, in: Philosophy of Science 1, 1934, S. 163–169, hier S. 164.
[151] Vgl. ANNIBALE MOTTANA (wie Anm. 80), S. 169.