

Zur Geschichte der Waagen mit variablem Armlängenverhältnis im Altertum

von

HANS R. JENEMANN

Einführung

In den Beständen des Rheinischen Landesmuseums zu Trier befindet sich eine rudimentäre spätrömische Laufgewichtswaage¹, die einige ungewöhnliche konstruktive Eigenschaften aufweist. Die aus Eisen bestehende, bereits stark korrodierte Waage unterscheidet sich beträchtlich von der meist bekannten, vornehmlich im Bereich des Stammlandes des Römischen Weltreiches, im heutigen Italien, aufgefundenen Form der Laufgewichtswaage. Da bisher von dieser Waage noch kein Bericht vorliegt², seien ihre technischen Merkmale detailliert beschrieben und ihre konstruktiven Besonderheiten, im Vergleich zu anderen Ausführungen der Laufgewichtswaage aus römischer Zeit, diskutiert. Damit soll gezeigt werden, wie sich die „Römische Schnellwaage“ – beginnend mit Konstruktionen relativ einfacher Art und abschließend mit der in Trier als Unikum aufbewahrten Sonderform – entwickelt hat. Darüber hinausgehend soll versucht werden, die Laufgewichtswaage innerhalb der gesamten Gruppe von Wägeinstrumenten, in die sie einzuordnen ist, für die Zeit des Altertums in ihrer Mechanik zu beschreiben. So seien die einzelnen Verbesserungen in ihrer Konstruktion aufgezeigt und diese auf damals schon bekannte physikalische Grundgesetze zurückgeführt³.

1. Waagen mit variablem Armlängenverhältnis

Die Laufgewichtswaage gehört zu den Balken- oder Hebelwaagen mit variablem Armlängenverhältnis. In der Literatur werden solche Instrumente meist als „ungleicharmige“ Waagen bezeichnet – in der englischsprachigen Literatur: „unequal balances“. Sie sollen damit von der als gleicharmig benannten⁴, symmetrisch gestalteten Waage mit zwei Schalen abgegrenzt werden. Hinsichtlich des wägetechnischen Vorgangs ist jedoch die Ungleicharmigkeit der beiden Balkenarme nicht das kennzeichnende Merkmal der hier zur Diskussion stehenden Waagen: Wesentlich für sie ist, daß einer der drei Angriffspunkte von Kräften am Balken – das Lager der Gewichtsschale, das Hauptdrehlager der Waage, das Lager der Lastschale – *beweglich* gestaltet ist. Eines dieser drei Lager wird

¹ Inv. 2131.

² A. Mutz, Römische Waagen und Gewichte aus Augst und Kaiseraugst. Augster Museumshefte 6 (Augst 1983), 14, hat diese Waage abgebildet, jedoch ohne Angabe von detaillierten Meßdaten und ohne Hinweis auf die speziellen konstruktiven Merkmale und wägetechnischen Besonderheiten.

³ Vgl. H. R. Jenemann, Über Ausführung und Genauigkeit von Münzwägungen in spätrömischer und neuerer Zeit. Trierer Zeitschr. 48, 1985, 163–194.

⁴ Eine „gleicharmige“ Waage kann es, wenn man höhere Anforderungen an die Leistungsfähigkeit eines solchen Instrumentes stellt, z. B. eine Auflösung im Verhältnis von 1:10⁶ und höher, nicht geben, da es nicht möglich ist, die beiden Arme des Waagebalkens mit hinreichender Genauigkeit gleich lang zu machen; s. H. R. Jenemann, Über die Grundlagen der Ausführung von Wägungen im Laboratorium. In: Chemie für Labor und Betrieb 33, 1982, 315–320 und 356–358.

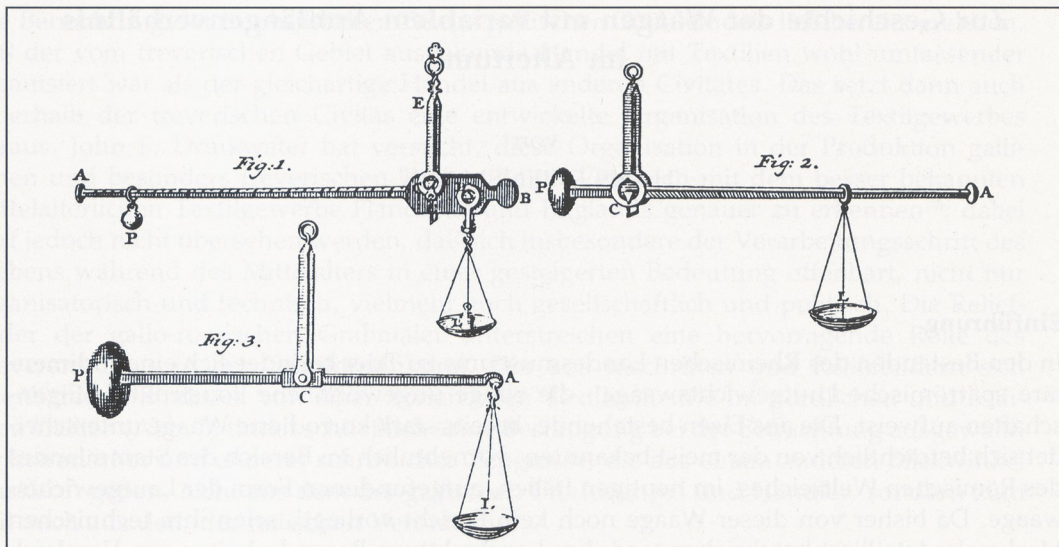


Abb. 1 Drei Arten von einschaligen Hebelwaagen mit variablem Armlängenverhältnis:

Fig. 1: Aufhängung und Lastschale fest, Gegengewicht beweglich (Typus der Römischen Schnellwaage),

Fig. 2: Aufhängung und Gegengewicht fest, Lastschale beweglich,

Fig. 3: Lastschale und Gegengewicht fest, Aufhängung beweglich (Typus der Dänischen Schnellwaage oder des Desemer)

(nach P. v. Musschenbroek, *Cours de Physique experimentale et Mathématique*, Leiden 1769, I Tab. 4)

also, bis die Waage wieder im Gleichgewicht ist, dem Waagebalken entlang verschoben, während die beiden restlichen jeweils unverändert bleiben. Und dadurch ändert sich das Verhältnis der beiden Armlängen zueinander. Die Ungleicharmigkeit ist dagegen nur ein Merkmal sekundärer Art⁵ – im Gegensatz zu solchen Wägeinstrumenten, bei denen die beiden Armlängen des Waagebalkens *konstant* unterschiedlich sind. Als Beispiele für diese stehen etwa die moderne mechanische Laboratoriumswaage mit asymmetrischem Balken⁶ oder die Dezimal-Brückenwaage und noch andere⁷.

Drei verschiedene Typen von Waagen mit variablem Armlängenverhältnis sind möglich, je nachdem welches der drei genannten Lager beweglich gestaltet ist. In der praktischen Ausführung solcher Instrumente geht man meist noch einen Schritt weiter und ersetzt die Gewichtschale durch ein Massenstück unveränderlicher Größe. Außerdem wird der Waagebalken in dem Bereich, dem entlang das beweglich ausgeführte Lager verschoben wird, mit einer Skala versehen, die nach der jeweils gültigen Masseneinheit graduiert ist.

⁵ Die Bezeichnung als „ungleicharmige Waage“ kann bei allen drei Typen dadurch ad absurdum geführt werden, daß es jeweils eine bestimmte Wägeposition gibt, bei der Gleicharmigkeit besteht, vgl. dazu die Einschränkung gem. Anm. 4.

⁶ H. R. Jenemann, *Entwicklung und heutiger Stand der mechanischen Analysenwaage*. In: *Chemie für Labor und Betrieb* 34, 1983, 560–564 und 35, 1984, 74–76; 188–189; 296–300; 390–393.

⁷ M. Raudnitz / J. Reimpell, *Handbuch des Waagenbaus* Bd. 1. *Handbediente Waagen* (Berlin 1955) 96–99.

Man erhält dadurch drei Arten von „Schnellwaagen“⁸, die sich – gegenüber der meist bekannten Form der Balkenwaage mit zwei Waagschalen – dadurch auszeichnen, daß die Wägung ausführbar wird, ohne lose, auf die Gewichtsschale auflegbare Gewichtsstücke benutzen zu müssen. Das Ergebnis wird dann an dem graduierten Balken abgelesen (Abb. 1)⁹.

Der Waagentyp, bei dem das Ausgleichsgewicht beweglich gestaltet ist, ist die hier vordergründig betrachtete Laufgewichtswaage¹⁰. Die zweite Art, mit beweglichem Hauptdrehlager, ist die als Desemer¹¹ und mit noch anderen Namen bezeichnete Waage¹². Die dritte Art, bei der die Lastschale beweglich ist, hat keinen „Trivial“-Namen. Sie ist, wenn überhaupt, in der Praxis nur äußerst selten verwirklicht worden¹³.

Mehrfach ist in der Literatur zu lesen, daß die Laufgewichtswaage an verschiedenen Stellen bereits frühzeitig verwendet worden sei: bei den Ägyptern der Pharaonenzeit um etwa 1400 v. Chr.¹⁴, bei den Etruskern in der vorrömischen Zeit¹⁵ sowie bei den Chinesen

⁸ Der Begriff „Schnellwaage“ ist im Laufe der historischen Entwicklung auf verschiedene Arten von Waagenkonstruktionen angewendet worden und demzufolge nicht eindeutig, so daß er vermieden werden sollte. Im Verlauf dieser Betrachtung soll er auf die hier zur Diskussion stehenden drei Arten von Waagen mit variablem Armlängenverhältnis beschränkt bleiben.

⁹ Die Illustrationen der Abb. 1 sind entnommen von: P. van Musschenbroek, *Cours de Physique expérimentale et mathématique* (Leiden 1769) 1, Taf. 4. – Die Waagentypen nach Fig. 2 und 3 werden heute üblicherweise in umgekehrter Reihenfolge angegeben.

¹⁰ Andere Namen der Laufgewichtswaage: Romana (in Italien), Romaine (in Frankreich), Steelyard (im englischen Sprachbereich), Römische (Schnell-)Waage. – Über die Herkunft der Bezeichnung „steelyard“ vgl. W. A. Scheurer, *The Science of Weighing – Yesterday*. In: Report of the 50th National Conference on Weights and Measures 1965, Ed.: L. J. Chisholm (Washington 1966) 87. Demnach hatte die Hanse, wie auch in anderen Städten, eine Niederlassung in London. Dieser Teil der Stadt wurde „Steelyard“ genannt, wobei die Herkunft des Namens nicht genau bekannt ist. Der Name Steelyard wurde dann auf die dort ausgeführten Wägungen übertragen.

¹¹ Desemer oder (im nördlichen oder östlichen Europa) ähnlich klingende Namen wie Besemer, Besem, Desem, Besman. In England: Bismar, in Frankreich: Danoise. In der Literatur oft auch unter der Bezeichnung Dänische oder Schwedische Schnellwaage. In der Altmark wurde dieser Waagentyp als Uenzel bezeichnet, s. H. Sökeland, Über einen antiken Desemer aus Chiusi und über analoge Desemer. *Zeitschr. f. Ethnologie* 32, 1900, 327–343, bes. 328 und 343.

¹² Abbildungen zweier Varianten des Desemer s. Jenemann, Münzwägungen (Anm. 3) Abb. 3 und 4.

¹³ Bei einer Waage der Inkas aus vorkolumbischer Zeit in: Die Grünenthal-Waage 6, 1967, H. 3, wird gelegentlich vermutet, es habe sich um die Konstruktion nach Typ 3 gehandelt. Der Waagebalken ist symmetrisch gestaltet und mit mehreren Perforierungen versehen, in welche die Schalen für die Last oder auch die Gewichtsstücke eingehängt worden sein sollen. Es ist jedoch ebenfalls denkbar, daß die Bohrungen nichts anderes waren als Bestandteil der reichhaltigen Ornamentik des gleicharmigen Waagebalkens. – S. O. Jansson, Besman och Dattje. In: *Collegium Curiosorum Novum. Yearbook 1979/80: Discourses on miscellaneous subjects* (Uppsala 1981) 3–19, bes. 4, beschreibt eine Waage von Yawnghwe, südliche Shan-Staaten, Burma, und bildet sie ab (nach N. Annandale, *Miscellanea ethnographica. Memoirs of the Asiatic Society of Bengal* 3, 1917). Die Waagschale konnte an verschiedenen Stellen des Waagebalkens, der aus einem runden Stab bestand und dessen längere Seite als Gegengewicht fungierte, eingehängt werden. Zur Wägung größerer Lasten wäre ein solches Instrument – im Gegensatz zu der von Jansson abgebildeten Waage, die zur Wägung von nur kleinen Lasten benutzt wurde – auch kaum sinnvoll zu verwenden: Die auf der Schale befindliche Last ist, wegen der unterschiedlichen Armlängen, mehrfach größer gegenüber dem an dem längeren Hebelarm befindlichen Gegengewicht, so daß eine solche Waage für größere Lasten nur schwierig zu handhaben wäre.

¹⁴ L. Darmstaedter, *Handb. z. Gesch. d. Naturwiss. u. d. Technik* (Berlin 1908) 3; danach sei zur Zeit des Königs Amenophis IV., 1400 v. Chr., die Schnellwaage mit Laufgewicht in Ägypten in Gebrauch gewesen. – F. M. Feldhaus, *Die Technik, ein Lexikon der Vorzeit, der Geschichtlichen Zeit und der Naturvölker* (Leipzig/Berlin 1914; Nachdr. Wiesbaden 1970) 1251. – F. Klemm, *Technik, eine Geschichte ihrer Probleme* (Freiburg/München 1954) 4. – E. Robens/R. Sh. Mikhail, *The Ancient Egyptian Balance. Thermochemica Acta* 82, 1984, 63–80, bes. 64.

¹⁵ R. Vieweg, *Aus der Kulturgeschichte der Waage* (Balingen o. J., ca. 1966) 15.

um etwa 400 v. Chr.¹⁶. Für die gleicharmige Waage der alten Ägypter kann gezeigt werden, daß ihre Anzeigevorrichtung fälschlich als Laufgewicht aufgefaßt wurde¹⁷; aus einer solchen „Waage mit Laufgewicht“ war dann der nächste (Fehl-)Schritt, zur Laufgewichtswaage, nicht mehr groß. Was die Etrusker angeht, ist in deren Stammgebiet tatsächlich eine Laufgewichtswaage gefunden worden. Dieser „Etruscan Steelyard“ befindet sich im Science Museum in London¹⁸. Der Fund wird jedoch auf eine Zeit datiert, in der die Römer bereits seit längerem dort die Herrschaft ausübten, auf das 1. Jahrhundert v. Chr.¹⁹. Hinsichtlich einer sehr frühen chinesischen Laufgewichtswaage erscheint es problematisch, einige besonders früh datierte Erfindungen mit europäischen vergleichen zu können²⁰.

2. Zur Ableitung der mechanischen Grundgesetze im klassischen Altertum

2.1. Die „Mechanischen Probleme“ aus der Schule der Peripatetiker

In der Zeit um etwa 400 v. Chr. begannen die griechischen Naturphilosophen, mechanische Prinzipien unter Verwendung mathematischer Gesetzmäßigkeiten systematisch zu behandeln. In der praktischen Anwendung war davor eine ganze Anzahl von Maschinen bereits lange Zeit bekannt – der Hebel in vielerlei Form sowie verschiedene auf seinem Prinzip beruhende Geräte, wie Zange, Keil oder Axt, und noch andere, wie Rad, Kurbel, Walze oder Rolle.

Die frühest erhalten gebliebene Schrift über die theoretische Behandlung praktischer mechanischer Prinzipien, die „Mechanischen Probleme“ aus der Schule der Peripatetiker, ist in der Zeit um etwa 350 v. Chr. verfaßt. Sie steht aber nicht am Anfang einer theoretischen Mechanik, sondern geht teilweise auf frühere Grundlagen zurück, insbesondere solche aus der Schule der Pythagoreer²¹.

Das Hebelgesetz findet in Kapitel 1 durch das „Prinzip der ungleichen konzentrischen Kreise“ eine auf dynamischer Betrachtung beruhende Erklärung. In Kapitel 20 wird eine Waage diskutiert, deren beide Hebelarme unterschiedlich lang sind: Es wird die Frage gestellt, warum man mit einer solchen Waage mit einem kleinen Gewichtstück große Massen wägen könne, zumal die gesamte Länge des Waagebalkens nur etwa halb so groß sei wie bei einer üblichen, offenbar gleicharmigen Waage. Was dort beschrieben wird, erscheint indessen als ein Instrument, das auf der Funktion des Desemer beruht und nicht auf derjenigen der Laufgewichtswaage. In dieser Weise wird die beschriebene

¹⁶ Dong-Rui Liú, On the Unequal Beam „King“ Copper Balance in the Warring-State Age. In: *Wenwu* (Cultural Relics) 1979, No. 4, 73–76. – Der Verf. dankt Herrn Dr. Sh. Iwata, Tokyo, für die Information gem. Schreiben v. 9. 5. 1982.

¹⁷ H. R. Jenemann, Über die Aufhänge- und Anzeigevorrichtung an der ägyptischen Waage der Pharaonenzeit. *Ber. z. Wissenschaftsgesch.* 11, 1988, 67–82.

¹⁸ Inv. Nr. des „Etruscan Steelyard“: 1937 – 132.

¹⁹ Science Museum, London: Schreiben v. 6. 9. 1982 an Verf. (Dr. D. Vaughan: Etruscan Steelyard).

²⁰ F. M. Feldhaus, Kulturgeschichte der Technik I/II (Berlin 1928, Nachdr. Hildesheim 1980), I, 21–27.

²¹ Es ist umstritten, wer die „Mechanischen Probleme“ verfaßt hat: Während zu früherer Zeit kaum Bedenken bestanden, sie den Werken des Aristoteles (384–322) zuzurechnen, gelangte man später – ab etwa der Mitte des vorigen Jahrhunderts – überwiegend zur Meinung, daß sie, wegen ihres praktischen Bezugs, nicht in dessen philosophisches Lehrgebäude paßten. Deshalb wurden sie als pseudo-aristotelisch bezeichnet und fehlen in den meisten Ausgaben der Werke des Aristoteles. Aufzufinden sind sie in: *The Works of Aristotle* (Ed.: W. D. Ross) VI, *Opuscula* (Oxford 1913) ohne Paginierung; und: *Aristotle, Minor Works*. Ed.: W. S. Hett (London 1936) 327–411. – Eine systematische Untersuchung neueren Datums führt jedoch den Nachweis, daß die „Mechanischen Probleme“ mit großer Wahrscheinlichkeit tatsächlich ein Werk des Aristoteles sind, und zwar ein relativ früh zu datierendes, vgl. F. Krafft, *Dynamische und statische Betrachtungsweise in der antiken Mechanik* (Wiesbaden 1970) 13–96.

Waage auch durchweg verstanden. Der daraus entstehenden Problematik, daß die mathematische Behandlung wie auch die praktische Herstellung einer Laufgewichtswaage wesentlich einfacher ist als die des Desemer, ist man sich dabei bewußt²².

2.2. Waagen in den mechanischen Werken des Archimedes

Archimedes, ca. 287–212, hat, neben seinen überwiegend rein mathematischen Arbeiten²³, auch mechanische Fragen in ausführlicher Form behandelt. Er faßte die Mechanik als reine Statik auf und leitete die Grundlagen der „Einfachen Maschinen“ aus fundamentalen Sätzen ab, wobei der des Hebels von besonderer Bedeutung war²⁴. Neben den erhalten gebliebenen „De planorum aequilibriis“ ist so gut wie gesichert, daß er auch ein „Buch über Waagen“ geschrieben hat, das jedoch verlorengegangen ist²⁵. Aus den Werken des Heron zu Alexandrien²⁶, von dem anzunehmen ist, daß er in der zweiten Hälfte des zweiten vorchristlichen Jahrhunderts gelebt hat²⁷, läßt sich Archimedes' Buch über die Waagen weitgehend rekonstruieren²⁸. Es ist daraus zu schließen, daß Archimedes an einer Waage mit ungleichen Armlängen zur Ableitung des Hebelgesetzes gekommen ist. Nichts deutet jedoch darauf hin, daß es sich bei den von Heron skizzierten Waagen um solche Typen gehandelt hat, die hier zur Diskussion stehen – gekennzeichnet durch gradierten Balken, Gegengewicht anstelle der zweiten Waagschale und stets wechselnde Verhältnisse der Armlängen²⁹.

Aus einer anderen antiken Quelle scheint aber doch nachweisbar zu sein, daß Archimedes sich bereits eines Laufgewichtes bei Wägungen bedient hat. In den beiden Büchern „Über schwimmende Körper“³⁰, in denen Archimedes die Grundlagen der Hydrostatik entwickelt hat, finden sich die bekannten Gesetzmäßigkeiten über den Auftrieb, dem feste Körper in Flüssigkeiten unterworfen sind – über das Prinzip, das nach Archimedes benannt ist³¹. In der Literatur der Araber ist dann – unter Bezugnahme auf Menelaus,

²² W. R. Knorr, *Ancient Sources of the Medieval Tradition of Mechanics* (Firenze 1982) 126–130.

²³ Archimedes. Werke. Hrsg. von A. Czwalina (Leipzig 1922–25; Nachdr. Darmstadt 1983).

²⁴ Krafft, *Betrachtungsweise* (Anm. 21) 128.

²⁵ Höchstwahrscheinlich bildete die Abhandlung „De planorum aequilibriis“ (über das Gleichgewicht oder über den Schwerpunkt ebener Flächen) mit einer weiteren Abhandlung, „Über Stützen“, mit dem „Buch über die Waagen“ eine Einheit, vgl. Krafft, *Betrachtungsweise* Anm. 21, 106; 121–128.

²⁶ Heron von Alexandria, *Mechanik und Katoptrik*, Hrsg.: L. Nix u. W. Schmidt (Leipzig 1900) Kap. 24–34, bes. 32–34.

²⁷ E. Hoppe, *Geschichte der Physik* (Braunschweig 1926; Nachdr. Braunschweig 1965) 16 f.

²⁸ A. G. Drachmann, *Fragments from Archimedes in Heron's Mechanics*. *Centaurus* 8, 1963, 81–146.

²⁹ Kein Zweifel dürfte indessen daran bestehen, daß Archimedes die Grundlagen erarbeitet hat, Waagen dieses Typus mathematisch zu behandeln und sie damit auch konstruieren zu können.

³⁰ Archimedes, *Werke* (Anm. 23).

³¹ „Über schwimmende Körper“, Buch I, Par. 7: „Ein Körper, der spezifisch schwerer ist als die Flüssigkeit, sinkt in dieser bis zum Grunde herab und wird in der Flüssigkeit um so viel leichter, wie die von ihm verdrängte Flüssigkeitsmenge wiegt.“ – Buch II, Par. 1: „Wenn ein Körper, der spezifisch leichter ist als die Flüssigkeit, schwimmt, so verhält sich sein Gewicht zu dem der Flüssigkeit von gleichem Rauminhalt wie der Rauminhalt des eingetauchten Körpers zu dem Rauminhalt des ganzen Körpers.“ – Nach diesem Prinzip läßt sich die Dichte beliebiger fester und auch flüssiger Körper bestimmen und bei bestimmten Sonderfällen auf deren Zusammensetzung rückschließen – beispielsweise bei einer aus zwei Reinelementen bestehenden Legierung. So wird die bekannte Geschichte von der Krone des Königs Hiero erzählt, von der Archimedes die Dichte bestimmt hat, vgl. Marcus Vitruvius Pollio, *De architectura libri decem*. Hrsg. von C. Fensterbusch (Darmstadt 1981) Buch IX, Vorrede. – Vitruv lebte im 1. Jahr. v. Chr.; das Werk über die Architektur hat er etwa 25 v. Chr. geschrieben.

einen griechischen Mathematiker aus dem 1. Jahrhundert n. Chr.³² – eine Angabe überliefert, wie Archimedes vorgegangen ist, um die ihm gestellte Aufgabe, dem Goldschmied die betrügerische Zumischung von Silber zu der anzufertigenden goldenen Krone nachzuweisen, zu lösen (Abb. 2)³³.

Wenn davon auszugehen ist, daß die auf hydrostatischem Wege ausgeführte Dichtebestimmung an der Krone des Hiero – und zwar unter Verwendung eines verschiebbaren Ausgleichsgewichtes am Waagebalken – tatsächlich auf Archimedes zurückgeht, so wäre dies die erste gesicherte Anwendung eines Laufgewichtes an der Balkenwaage. Es dürfte kein Zweifel daran bestehen, daß Archimedes über alle Voraussetzungen verfügte, eine solche Wägetechnik anzuwenden. Die mit einem zusätzlichen Laufgewicht ausgestattete hydrostatische Waage des Archimedes darf demnach als „Vorläufer“ der späteren einschaligen Laufgewichtswaage bezeichnet werden. Der nächste Schritt, auf die zweite Schale ganz zu verzichten und dafür das Laufgewicht entsprechend größer zu machen, war damit vorgezeichnet.

2.3. Die Schnellwaage (statera) in der Beschreibung des Vitruvius

In dem – wegen der Bestimmung der Dichte an der Krone des Hiero durch Archimedes – bereits genannten Werk des Vitruv über die Architektur finden sich, in Buch X, Angaben über Waagen³⁴. In Kap. I Abs. 6 heißt es, daß die Wägung von Materialien mittels der

³² Al Châzinî, *Book of the Balance of Whisdom*, ca. 1120, teilweise übersetzt von N. Khanikoff, *Journal of the American Oriental Society* 6, 1860, 1–128, sowie von Th. Ibel: *Die Waage im Altertum und Mittelalter* (Diss. Erlangen 1908) 77–159. – Al Châzinî bezieht sich, Teil IV, Kap. 1, auf Menelaus, der im 1. bis 2. Jahrh. n. Chr. gelebt hat. Menelaus schreibt die Ausführung der Dichtebestimmung an der gleicharmigen Waage, wie unter Eintauchen beider Waagschalen und unter Verwendung eines Laufgewichtes ausgeführt, dem Archimedes zu. Die diesbezügliche Schrift des Menelaus ist nicht erhalten geblieben, hat jedoch Al Châzinî offenbar noch zur Verfügung gestanden. Über Arbeiten des Menelaus s. M. Cantor, *Vorlesungen über Geschichte der Mathematik* (Leipzig 1880); vgl. auch Knorr (Anm. 22) 123 u. Taf. 6a. – In dem lateinischen Gedicht „Carmen de ponderibus“, 5. Jahrh. n. Chr., vollständig wiedergegeben von F. Hultsch: *Metrologorum scriptorum II* (Leipzig 1866) 88–98; Vers 124–163 ist beschrieben, wie Archimedes die Bestimmung der Dichte ausgeführt hat. – Diese Stelle in französischer Übersetzung s. M. Berthelot, *La Chimie au Moyen Age* (1893; Nachdr. Osnabrück 1967) 172 f. – Vgl. auch Ibel, a. a. O. 29 u. 51 f., sowie H. Bauerreiß, *Zur Geschichte des spezifischen Gewichtes im Altertum und Mittelalter* (Diss. Erlangen 1914) 40 u. 48.

³³ Archimedes verwendete eine gleicharmige Waage mit zwei Schalen. In die linke gab er so viel reines Gold, wie die zu prüfende Krone (oder Kranz oder Ring oder ähnliches) wog. In die rechte Schale gab er die gleiche Masse reines Silber. Er tauchte nun beide Schalen in Wasser ein. Die Schale mit dem Silber ging, wegen dessen größeren Auftriebs in Wasser, in die Höhe. Er brachte nun auf der Seite des Silbers an dem Waagebalken ein zusätzliches Laufgewicht an, das er so lange verschob, bis die Waage wieder im Gleichgewicht war. Er notierte die Stellung des Laufgewichtes, indem er die Anzahl der Intervalle, ausgehend vom Mittelpunkt, feststellte. Dann ersetzte er, indem er das Silber unverändert ließ, das Gold durch Mischungen von Gold und Silber in bekannten Verhältnissen und verfuhr wie zuvor. Nachdem er sich die Waage auf diese Weise eingerichtet hatte, war er imstande, die Dichte und damit auch die Zusammensetzung des zu untersuchenden Gegenstandes zu bestimmen.

Die hier gegebene Darstellung lehnt sich an die Wiedergabe bei Berthelot an (Anm. 32). – Es wäre ebenso möglich gewesen, das Gold in der linken Schale unverändert zu belassen und die Mischungen von Gold und Silber auf die Silberschale zu legen. – Das physikalische Prinzip der Dichtebestimmung, das von Al Châzinî unter Bezugnahme auf Menelaus, 1. Jahrh. n. Chr., angegeben wird und das mit der in dem Gedicht „Carmen de ponderibus“ angewandten Technik übereinstimmt, unterscheidet sich prinzipiell von dem bei Vitruv (Anm. 31) angegebenen Verfahren: Das zuerst genannte beruht auf dem nach Archimedes benannten Prinzip, dem Auftriebsverfahren, bei Vitruv dagegen wird das sogenannte Überlaufverfahren benutzt – das somit ebenfalls auf Archimedes zurückzuführen wäre und von ihm entdeckt worden sein soll, als er in die bis zum Rande gefüllte Badewanne einstieg. – Die Dichtebestimmung nach dem hydrostatischen Prinzip ist wesentlich genauer als die nach dem Überlaufverfahren und setzt einen beträchtlich höheren Stand physikalischer Kenntnisse voraus. Wenn akzeptiert wird, daß beide Verfahren der Dichtebestimmung auf Archimedes zurückgehen, müßte der zeitliche Ablauf ihrer Entdeckung der gewesen sein, daß zuerst das Überlaufverfahren und später erst das Auftriebsverfahren entwickelt worden ist.

³⁴ Vitruvius (Anm. 31) Buch X.

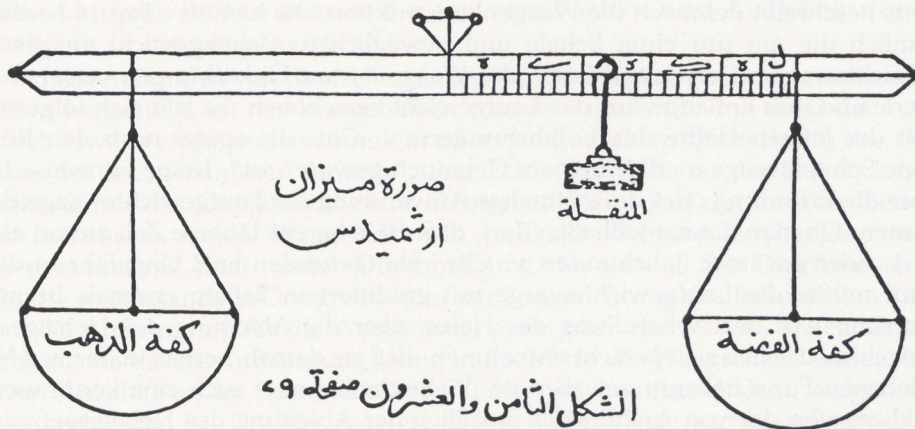


Abb. 2 Hydrostatische Waage des Archimedes: Gleicharmige Hebelwaage mit zusätzlichem Laufgewicht an graduiertem Balken; Beschreibung bei Al Châzinî, Buch der Waage der Weisheit, 1120 (nach Khanikoff [Anm. 32] 86)

Schnellwaage (*trutina*)³⁵, nebst jener Waage mit Gewichtssteinen³⁶, das Leben in gerechter Weise vor Übervorteilungen schütze. In Kap. III Abs. 4 geht Vitruv näher auf die Schnellwaage ein:

Id autem ex *trutinis*, quae *sterae* dicuntur, licet considerare. Cum enim *ansa* propius caput, unde *lancula* pendet, ibi ut centrum est conlocata et *aequipondium* in alteram partem *scapi*, per puncta vagando quo longius aut etiam ad extremum perducitur, paulo et in pari pondere amplissimam pensionem parem perficit per *scapi* librationem, et examinatio longius ab centro recedens ita inbecilliora *aequipondii* brevitatis maiorem vim ponderis momento deducens sine vehementia molliter ab imo susum versum egredi cogit [futurum]³⁷.

³⁵ Der Begriff „*trutina*“ ist in seiner Verwendung in der antiken Literatur nicht ganz eindeutig. Er bezieht sich gelegentlich auf die Laufgewichtswaage, war anscheinend jedoch mehr ein Oberbegriff für sämtliche von den Römern verwendete Waagen, nämlich für die „*libra*“, die gleicharmige Waage mit zwei Schalen, und die eindeutig als „*statera*“ bezeichnete Schnellwaage mit Laufgewicht, vgl. dazu A. Rich, *Illustriertes Wörterbuch der Römischen Altertümer* (Paris/Leipzig 1862) s. v. *libra*, *statera* und *trutina*, und Ch. Daremberg/E. Saglio/E. Pottier (Hrsg.), *Dictionnaire des Antiquités Grecques et Romaines* (Paris 1877–1919; Nachdr. Graz 1962–63), Bd.3, s. v. *libra*, p. 1225. – Der Begriff „*bilanx*“ als Bezeichnung für „Waage“ oder „Balance“ ist für die Antike nicht belegt, s. H. R. Jenemann, Eine römische Waage mit nur einer Schale und festem Gegengewicht. *Arch. Korbl.* 14, 1984, 81–96.

³⁶ Die gleicharmige Waage mit zwei Schalen.

³⁷ Die hier gegebene deutsche Übersetzung des lateinischen Textes lehnt sich (mit leichten Änderungen) an die Wiedergabe in der Vitruv-Ausgabe von J. Prestel, Baden-Baden 1974, an, weil hier der wägetechnische Vorgang zutreffender dargestellt erscheint als in der Ausgabe von C. Fensterbusch (Anm. 31): „Dieses mechanische Prinzip kann man aber auch bei jener Gattung von Waagen (*trutinae*), die man Schnellwaagen (*sterae*) nennt, wahrnehmen. Wird nämlich die Handhabung (*ansa*) näher nach der Seite des Waagebalkens (*caput scapi*), an dem die Waagschale (*lancula*) hängt und an dem sich der Drehpunkt (*centrum*) befindet, gerückt, und das Gegengewicht (*aequipondium*) an der anderen Seite, von einer Einkerbung (*punctum*) zur anderen am Waagebalken verschoben, und zwar möglichst weit zum äußersten Ende hin, so ist man imstande, mit kleineren, im Vergleich zu der Belastung der Waage an Masse ungleichem Gewichte, einer wesentlich größeren Last das Gleichgewicht zu halten.“ – Der Begriff „*ansa*“ für die Handhabung der Waage trifft insoweit zu, als man die Waage bei der Benutzung in der Hand gehalten hat; als wägetechnische Bezeichnung wäre „Aufhängung“ zu verwenden. – Bei der gleicharmigen Waage dient die Schere, innerhalb welcher der Zeiger spielt, als Handhabung bzw. als Aufhängung.

Vitruvius beschreibt demnach die Waagenkonstruktion, die hier als „Typ 1“ bezeichnet ist, nämlich die mit nur einer Schale und beweglichem Gegengewicht ausgestattete Laufgewichtswaage: Der Gewichtsarm der Waage ist mit Einkerbungen versehen, also graduiert, und ihm entlang wird das Laufgewicht verschoben. Es läßt sich folgern, daß zur Zeit der letzten Hälfte des 1. Jahrhunderts v. Chr. die später nach den Römern benannte Schnellwaage in allgemeinem Gebrauch gewesen ist³⁸. Keine Hinweise lassen sich über die Erfindung oder die erstmalige Anwendung der Laufgewichtswaage daraus entnehmen. Ob man daraus schließen darf, daß diese bereits längere Zeit zuvor, also im frühen 1. oder gar im 2. Jahrhundert v. Chr., stattgefunden hat? Ungefähr in diesem Zeitraum müßte die Laufgewichtswaage mit graduiertem Balken erstmals hergestellt worden sein: Aus der Abhandlung des Heron über die Ableitung des Hebelgesetzes durch Archimedes ließ sich ja nicht entnehmen, daß sie damals bereits in der von Vitruv beschriebenen Form bekannt gewesen ist. Vielleicht hat aber auch eine kontinuierliche Entwicklung von der von Archimedes anlässlich der Ableitung des Hebelgesetzes skizzierten ungleicharmigen³⁹ oder der von ihm zur Bestimmung der Dichte verwendeten, mit einem zusätzlichen Laufgewicht ausgestatteten gleicharmigen Waage zu der Statera der Römer geführt? Die Voraussetzungen, ein solches Instrument herstellen zu können, waren jedenfalls durch die von den griechischen Naturphilosophen entwickelten Gesetzmäßigkeiten gegeben⁴⁰.

3. Verschiedene konstruktive Ausführungen der Römischen Schnellwaage anhand von Fundstücken

Aus der Zeit des Römischen Altertums sind viele Laufgewichtswaagen – die meisten davon nur unvollständig erhalten – zutage gefördert worden. Diese Instrumente sind von teilweise unterschiedlicher Konstruktion. Die Frage mag gestellt werden, ob über einen vier bis fünf Jahrhunderte hinwegreichenden Zeitraum eine gewisse technische Entwicklung stattgefunden hat, die zu einer Verbesserung in der Gebrauchstüchtigkeit der Laufgewichtswaage führte. Von dem frühesten Fund, dem bereits erwähnten „Etruscan Steelyard“ des Science Museums, wird angegeben, daß er aus dem 1. Jahrhundert v. Chr. datiert⁴¹. Nördlich der Alpen aufgefundene Exemplare der Laufgewichtswaage sind in die Zeit der Anwesenheit der Römer einzuordnen, bis in die Zeit nach 400 n. Chr. Es soll versucht werden, die einzelnen Funde in einer solchen Reihenfolge vorzustellen, nach der eine technische Entwicklung erfolgt sein könnte.

³⁸ Somit wäre die Benennung der Laufgewichtswaage als „Romana“, Römische Schnellwaage, (Anm. 10), auch durchaus berechtigt. Es wird indessen auch versucht, den Namen auf das arabische „Romana“ oder „Rummana“ (Granatapfel – als Bezeichnung für das Laufgewicht) zurückzuführen, vgl. Raudnitz/Reimpell (Anm. 7) 310. – Diese Bezugnahme geht vermutlich auf J. Leupold, *Theatrum staticum universale* (Leipzig 1726; Nachdr. Hannover 1982) I, 36, zurück. – B. Kisch, *Scales and Weights* (New Haven/London 1965; 4. Aufl. 1977) 60, weist dazu nach, daß die von Leupold angegebene Quelle dubios ist; er hält eine solche Ableitung für „very doubtful“.

³⁹ Heron (Anm. 26).

⁴⁰ Über die Verwendung einer Waage von der Art des Desemer ergeben sich aus der Literatur der Römer keine Hinweise. Nichtsdestoweniger muß, wie vereinzelte Fundstücke ausweisen, vgl. Sökeland (Anm. 11) 339 f., ein solches Gerät etwa im 1. Jahrh. n. Chr. oder bereits früher bekannt gewesen sein – wenn auch, gegenüber der häufig verwendeten Laufgewichtswaage, in stark eingeschränktem Umfang.

⁴¹ Science Museum, s. Anm. 19.

3.1. Die Laufgewichtswaage mit massivem Balken und Aufhängung „Ring in Loch“ in fest angebrachter Öse

Bei den meisten Funden von römischen Laufgewichtswaagen, gleich ob aus Bronze oder aus Eisen hergestellt, ist der Waagebalken massiv – und zwar mit nach dem „freien“ Ende sich etwas verjüngendem, rundem oder quadratischem Querschnitt; das Quadrat steht bei der letztgenannten Variante „über Eck“. Am Ende ist der Balken kugelartig verstärkt, damit das Laufgewicht nicht abrutschen kann. Auf der anderen Seite, dem kurzen Balkenarm, ist der Waagebalken in vertikaler Richtung zur Längsachse etwas aufgeweitet und mit einer runden Durchbohrung von etwa 10 mm Durchmesser versehen. In die so entstandene Öse greift, quer zur Längsrichtung des Balkens, ein Ring ein, an dem die Aufhängung für die Waagschale, meist über vier Ketten, angebracht ist. So entsteht die klassische Aufhängung „Ring in Loch“ für die Waagschale, wie sie in einer größeren Anzahl von im Stammland der Römer, im heutigen Italien, aufgefundenen Geräten vorhanden ist. Die hier gezeigte Laufgewichtswaage wurde in Pompeji gefunden (Abb. 3).

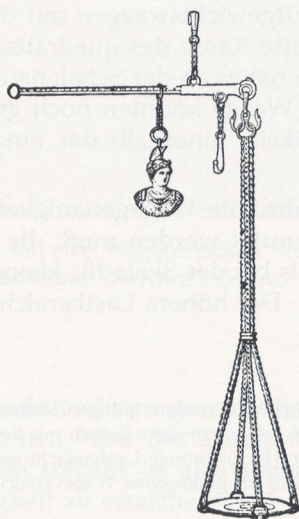


Abb. 3 Römische Laufgewichtswaage mit zwei Wägebereichen, entsprechend mit zwei Handhaben. Aufhängung Ring-in-Loch in höckerartigen Ansätzen am Balken; Fundort Pompeji (nach Ibel [Anm. 32] 63)

In differierender Entfernung von der Schalenabhängung – bei der hier abgebildeten Waage in etwa $1/4$ der gesamten Länge des Balkens, also im Verhältnis 3:1 zwischen Gewichts- und Lastarm – ist im oberen Teil des Balkens eine höckerartige Ausbuchtung vorhanden, die fest mit diesem verbunden und ebenfalls durchbohrt ist. In diese vorspringende Öse greift in einer weiteren, jedoch umgekehrt (nach oben) angeordneten Ring-in-Loch-Aufhängung die Handhabe oder die Aufhängevorrichtung für die gesamte Waage ein, die von Vitruv so genannte *ansa*. Der Gewichtsarm, der längere Teil des Balkens, ist gleichmäßig graduiert und an ihm das oft kunstvoll gestaltete Laufgewicht

eingehängt. An der hier abgebildeten Waage wäre das Laufgewicht imstande, einer maximal dreifach größeren Last das Gleichgewicht zu halten und damit deren Masse zu bestimmen⁴².

Nach der hier gegebenen Beschreibung gestaltete Laufgewichtswaagen – mit nur einem Wägebereich – wurden relativ wenige aufgefunden⁴³. Die meisten sind, wie auch bei der hier abgebildeten Waage, noch mit einer zweiten Skala, die sich an der entgegengesetzten Kante von der ersten befindet, ausgestattet – auf dem Bild also nach unten zeigend. Um an dieser zweiten Gewichtsskala arbeiten zu können, ist die Waage mit einer zweiten Handhabe versehen, die hier, zwischen der ersten, in Funktion befindlichen Handhabe und der Lastschale, nach unten gerichtet ist. Man muß also den Balken um 180° drehen, damit diese Handhabe nach oben gelangt. Waagschale und Laufgewicht müssen ebenfalls in die neue Wägestellung gebracht werden. Da der Lastarm jetzt kleiner und der Gewichtarm größer geworden ist, hat sich das Verhältnis zwischen beiden geändert; und dasselbe Laufgewicht ist jetzt imstande, einer entsprechend größeren Last das Gleichgewicht zu halten⁴⁴. Bei den einzelnen Laufgewichtswaagen war das Längenverhältnis der beiden Handhaben zu der Schalenauflage unterschiedlich⁴⁵. Vereinzelt sind auch Laufgewichtswaagen mit drei Wägebereichen aufgefunden worden. Hier ist noch eine dritte Kante des quadratisch geformten, massiven Balkens graduert und eine dritte, noch näher an der Schalenauflage befindliche Handhabe vorhanden. Mit einer solchen Waage konnten noch größere Lasten gewogen werden. Oder es bestand die Möglichkeit, innerhalb der einzelnen Wägebereiche besser zu differenzieren.

Es mag einleuchten, daß die absolute Wägegenauigkeit um so geringer wird, je höher der Lastbereich der Waage benutzt werden muß; die einzelnen Teilstriche sind dann wesentlich enger benachbart als bei der Skala für kleinere Lasten, oder sie entsprechen größeren Gewichtsunterschieden. Der höhere Lastbereich wird deshalb nur dann benutzt

⁴² Es ist nicht erforderlich, daß das Laufgewicht zu dem gültigen Maßsystem eines Landes in einer festen Relation steht; es kann prinzipiell beliebig groß sein, muß dann jedoch mit den auf dem Balken verzeichneten Einheiten korrelieren. Bei vielen Fundstücken ist das zugehörige Laufgewicht nicht erhalten geblieben. Wenn bei ihnen die Skaleneinteilung erkennbar ist, läßt sich, im praktischen Wägeversuch, die Größe des Laufgewichtes rekonstruieren, vgl. Paret (Anm 62) 74 f.

⁴³ Vielleicht ist daraus zu schließen, daß die meist aufgefundenen Geräte, mit zwei Wägebereichen, aus einem bereits fortgeschrittenen Stadium der Entwicklung herrühren. Die Anfangszeit der Verwendung der Laufgewichtswaage – an der Ausführung mit nur einem Wägebereich – wäre demnach deutlich früher zu datieren, vgl. Anm. 38.

⁴⁴ Bei der nach einer zeichnerischen Darstellung wiedergegebenen Abb. 3 befindet sich die zweite (innere) Aufhängung etwa in der Hälfte zwischen der Aufhängung der Lastschale und der ersten, äußeren Handhabe. Das bedeutet, daß hier das ursprüngliche Verhältnis von etwa 3:1 zwischen Last zum Laufgewicht auf das neue Verhältnis von 7:1 erweitert wird, wenn auf den größeren Wägebereich übergegangen wird, vgl. Anm. 45.

⁴⁵ Es ist in dieser Darstellung nicht beabsichtigt, detailliert auf die Graduierung einzelner Waagen und die Größe des zugehörigen Laufgewichtes einzugehen. An anderer Stelle können solche Zahlen nachgelesen werden, vgl. Paret (Anm. 62); Lazzarini (Anm. 51); Mutz (Anm. 2). – Was die Erweiterung des ersten Wägebereichs im Verhältnis $A : 1$ um einen bestimmten Faktor n angeht, so daß ein neuer Wägebereich $(n \cdot A) : 1$ entsteht, läßt sich eine Formel aufstellen, aus der die Lage der zweiten Aufhängung b im Verhältnis zur ersten ($a = 1$) berechnet werden kann:

$$b = \frac{A + 1}{n \cdot A + 1}$$

Beispiel: Das Verhältnis des ersten Wägebereichs betrage 3:1, demnach ist $A = 3$; der Wägebereich solle um den Faktor $n = 3$ erweitert werden. Der Punkt b liegt, gemessen von der Schalenauflage, bei 0,4 der ersten Aufhängung. Das neue Verhältnis beträgt somit 3,6:0,4, also 9:1. In ähnlicher Weise läßt sich, umgekehrt, auch berechnen, wie groß bei gegebenen Verhältnissen der beiden Aufhängungen der „Erweiterungsfaktor“ ist. Anstelle der teilweise unübersichtlichen Zahlenwerte, die in den hier zitierten Publikationen angegeben sind, würden sich damit die wägetechnischen Daten besser vergleichbar machen lassen.

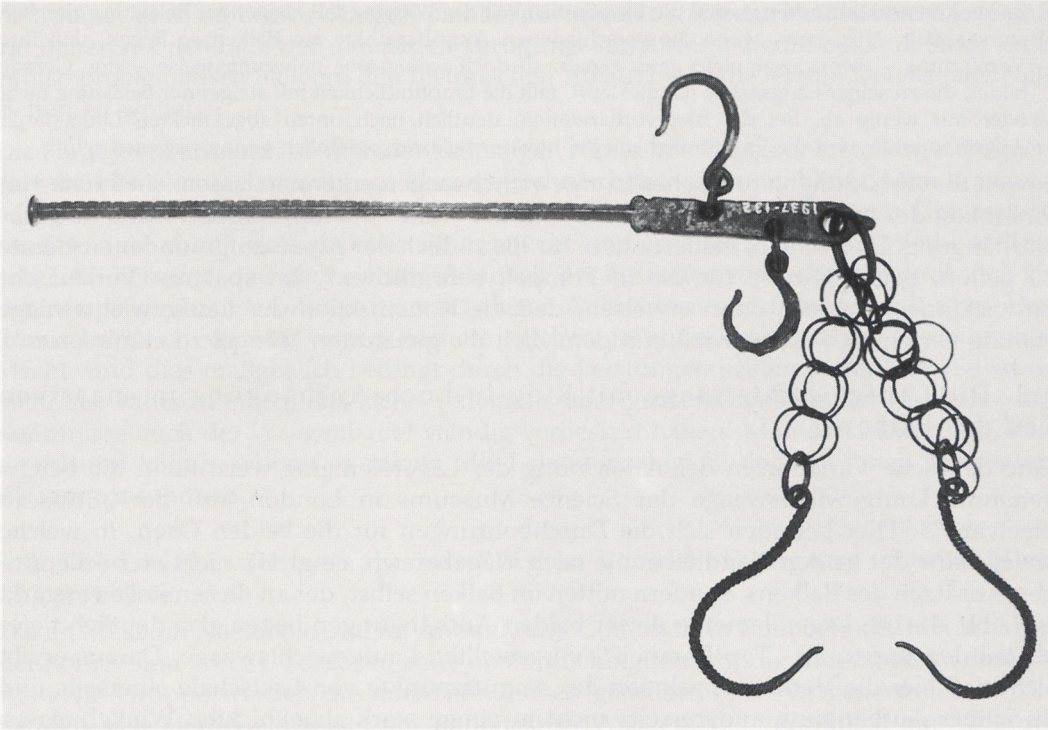


Abb. 4 Römische Laufgewichtswaage mit zwei Wägebereichen. Aufhängung Ring-in-Loch in Ösen im massiven Teil des Balkens. „Etruscan Steelyard“, Science Museum, London (Trustees of the Science Museum, London)

worden sein, wenn der niedere nicht mehr ausgereicht hat. In diesem Sinne ist auch die Bemerkung bei Vitruv zu verstehen, daß das Laufgewicht möglichst weit bis zum äußeren Ende verschoben werden soll. Es ist also allgemein angestrebt worden, eine möglichst optimale Wägegenauigkeit zu erreichen⁴⁶.

Bei näherer Betrachtung der hier erläuterten Frühform der Laufgewichtswaage zeigt sich freilich, daß an ihr noch keine idealen Konstruktionsergebnisse verwirklicht worden sein konnten:

1. Bei der Ring-in-Loch-Aufhängung sind relativ breite Berührungsflächen der Lagerelemente vorhanden. Daraus resultiert eine stärkere Reibung und aus dieser eine nicht besonders gute Beweglichkeit in den Lagerelementen. Die Empfindlichkeit der Anzeige wird deshalb begrenzt gewesen sein.
2. Die beiden Ringe der Handhaben greifen hier in Ösen ein, die, als Ausbuchtungen des Balkens, fest mit diesem verbunden sind und deutlich höher über seiner Längsachse liegen. Demgegenüber ist die Waagschale relativ niedrig aufgehängt, nämlich unter der Längsachse des Balkens. Eine solche

⁴⁶ Bei der Verwendung der Laufgewichtswaage ist zu berücksichtigen, daß die an ihr erreichbare Wägegenauigkeit, verglichen mit der mit Gewichtsstücken ausgleichenden Zweischalenwaage, verhältnismäßig gering ist. Die Laufgewichtswaage der Römer, wie sie in Abb. 3 dargestellt ist, dürfte bei optimaler, d. h. äußerster Stellung des Laufgewichtes kaum eine bessere Wägegenauigkeit als im Verhältnis $1:10^2$ zugelassen haben. Befand sich das Laufgewicht sehr nahe am Drehpunkt, wurde das Wägergebnis noch ungenauer.

Balkenkonstruktion bedingt, daß die Empfindlichkeit der Wägung mit steigender Belastung ziemlich stark abfällt. Nur dann, wenn die verschiedenen Angriffspunkte am Balken so liegen, daß ihre Verbindung – wenn zwar nicht ganz genau, so doch wenigstens näherungsweise – eine Gerade bildet, die zu seiner Längsachse parallel läuft, fällt die Empfindlichkeit mit steigender Belastung nicht oder nur wenig ab. Bei der hier vorhandenen, deutlich nach unten abgeknickten Linie dieser Angriffspunkte wird die Empfindlichkeit bei höherer Belastung ziemlich gering gewesen sein⁴⁷.

Soweit die Abbildungen römischer Laufgewichtswaagen erkennen lassen, sind viele von ihnen von der hier skizzierten Frühform mit der relativ unempfindlichen Ring-in-Loch-Aufhängung. Dies scheint insbesondere für die südlich der Alpen aufgefundenen Geräte zu gelten, beispielsweise für die in Pompeji befindlichen⁴⁸. Im späteren Verlauf der Entwicklung wird sich dann erweisen, daß die Konstruktion der Laufgewichtswaage ständig verfeinert werden wird, mit dem Ziel, die genannten Mängel zu eliminieren.

3.2. Die Laufgewichtswaage mit Ring-in-Loch-Aufhängung im massiven Teil des Balkens

Eine deutliche Variation in der Anordnung der Lagerelemente weist dann die bereits genannte Laufgewichtswaage des Science Museums in London auf, der „Etruscan Steelyard“⁴⁹. Hier befinden sich die Durchbohrungen für die beiden Ösen, in welche jeweils eine der beiden Handhaben, je nach Wägebereich, eingreift, nicht an höckerartigen Ansätzen des Balkens, sondern mitten im Balken selbst, der an dieser Stelle verstärkt ist (Abb. 4). Die Lagerelemente dieser beiden Aufhängungen liegen also deutlich tiefer als bei der zuerst, als „Typ Pompeji“, vorgestellten Laufgewichtswaage. Daraus ergibt sich, daß hier die Verbindungslinien der Angriffspunkte von Lastschale einerseits und jeweiliger Aufhängung andererseits nicht in einem stark abgeknickten Winkel gegenüber dem Balken verlaufen, sondern wesentlich näher parallel in Richtung zu dessen Längsachse.

Vergegenwärtigt man sich die Bedingungen, Waagen konstruktiv so zu gestalten, daß sie möglichst empfindlich arbeiten, wird folgendes erkennbar: Einer der beim Typ Pompeji genannten Mängel, der abgeknickte Verlauf der Lagerelemente, tritt bei dem „Etruscan Steelyard“ nicht oder zumindest wesentlich weniger ausgeprägt auf. Die deutlich andere konstruktive Ausführung wird also dazu geführt haben, daß dieses Gerät im höheren Lastbereich empfindlicher als die Laufgewichtswaage des Typs Pompeji gewesen ist. Und als Folgerung daraus wird sich ergeben haben, daß seine Genauigkeit in diesem Bereich besser war.

Wenn jetzt nicht bekannt wäre, auf welche Zeit diese Laufgewichtswaage durch das Science Museum angesetzt wird (in das 1. Jahrhundert v. Chr.), würde man sie – aufgrund der konstruktiv besseren Gestaltung – sicherlich später als die in Pompeji gefundenen datieren. Diese sind zeitlich ziemlich genau, nämlich kaum früher als in den Zeitraum zwischen 50 bis 75 n. Chr., einzugrenzen. Allerdings darf man davon ausgehen, daß dieser Typus bereits recht lange vor der Zerstörung von Pompeji (79 n. Chr.) benutzt worden ist. Nichtsdestoweniger ist es möglich, daß eine konstruktiv bessere Lösung vor einer weniger guten verwirklicht worden ist – ein in der Geschichte der Technik relativ seltener Fall. Es ist indessen ebenso denkbar, daß, innerhalb begrenzter

⁴⁷ Jenemann, Grundlagen (Anm. 4).

⁴⁸ Kisch (Anm. 38) Abb. 16 u. 24. – Vgl. auch die Skizzen bei Lazzarini (Anm. 51).

⁴⁹ Science Museum, Etruscan Steelyard, s. Anm. 18 u. 19.

Zeiträume, gewisse Entwicklungen parallel zueinander stattgefunden haben. Ohne daß die näheren Umstände der damaligen Fertignungsverhältnisse heute bekannt sind, muß es also problematisch bleiben, den historischen Ablauf bis in die letzten Details nachvollziehen zu wollen.

Die Frage ist überhaupt, ob man den damaligen römischen Waagenherstellern zubilligen darf, bereits genaue Erkenntnisse über die technischen Zusammenhänge beim Waagenbau gehabt zu haben. Nun ist nicht nur aus dem Verlauf der römischen Geschichte, sondern auch durch viele gesicherte Fundstücke und erhalten gebliebene Werke technischer Art bekannt, daß die Leistungsfähigkeit der gesamten römischen Technik sich zu der infrage kommenden Zeit in einer ständigen Aufwärtsentwicklung befunden hat. Das Römische Reich war im ersten nachchristlichen Jahrhundert auf dem Gipfel seiner Macht, und dies maßgeblich bedingt durch die Leistungen seiner Techniker⁵⁰. So ist es mehr als wahrscheinlich, daß sich – jedenfalls über größere Zeitspannen gesehen – die Kenntnisse auch der Waagenbauer ständig verbessert haben. Man darf sicher sein, daß sie erkannt hatten, worauf es ankam, die Leistungsfähigkeit der von ihnen gefertigten Waagen zu erhöhen.

3.3. Die Laufgewichtswaage mit Ring-in-Loch-Aufhängung in beweglich angebrachter Öse

Die im Museo Nazionale und im Antiquarium Comunale in Rom befindlichen Waagen der Römer sind von M. Lazzarini einer ausführlichen Betrachtung unterzogen worden⁵¹. Als erste Gruppe werden die dort befindlichen gleicharmigen Waagen vorgestellt. Es handelt sich hierbei einerseits um höherlastige Waagen, die vermutlich zur Wägung solcher Wirtschaftsgüter verwendet wurden, bei denen es – wegen ihres Wertes – auf genauere Wägungen ankam, beispielsweise größere Massen von Edelmetall. Außerdem sind einige feinere gleicharmige Waagen dargestellt, die empfindlicher und zur genauen Wägung von Materialien von relativ geringer Masse bestimmt waren. Teilweise waren sie mit einem zusätzlichen Laufgewicht und einer am Zeiger angebrachten Visiereinrichtung versehen, um gegenüber der Schere die genaue Einstellung des Gleichgewichtes erkennen zu können⁵². Über die Zeit der etwaigen Herstellung finden sich bei Lazzarini keine Angaben. Den römischen gleicharmigen Waagen wird indessen auch eine solche zugerechnet, die mit einem nach oben umklappbaren Waagebalken ausgestattet ist (Fig. 7 bei Lazzarini); nach H. Steuer sind solche Geräte jedoch einer späteren Zeit, dem hohen Mittelalter, zuzuordnen⁵³.

Bei den Statera unterscheidet Lazzarini verschiedene Typen: Neben Typ 1, der Römischen Schnellwaage, und Typ 2, der „Danoise“ (Desemer)⁵⁴, nennt er als Besonderheit noch eine „Ägyptische Waage“, bei der Hauptdrechachse und Gewichtarm als fest bezeichnet werden, der Lastarm dagegen variabel gewesen sein soll⁵⁵. Es müßte sich

⁵⁰ L. Sprague de Camp. Die Ingenieure der Antike (Düsseldorf 1964).

⁵¹ M. Lazzarini, Le Bilance Romane del Museo Nazionale e dell'Antiquarium Comunale di Roma. Atti della Accademia Nazionale dei Lincei, Classe di Scienze Morali, Storiche e Filosofiche, 8. Ser., 3, 1948, 221–254.

⁵² Jenemann, Münzwägungen (Anm. 3) 174 ff.

⁵³ H. Steuer, Zusammenklappbare Waagen des Hohen Mittelalters, Arch. Korbl. 7, 1977, 295–300.

⁵⁴ Lazzarini (Anm. 51) 226 ff.

⁵⁵ Lazzarini (Anm. 51) 229.

demnach um die hier als „Typ 3“ bezeichnete Waage gehandelt haben⁵⁶. Es besteht jedoch keinerlei Anlaß, die Ägypter mit der Verwendung eines solchen Gerätes in Zusammenhang zu bringen⁵⁷.

Lazzarini teilt den Typ der Romana, also die eigentliche Statera, nach der Anzahl der Wägebereiche ein: als erste Gruppe die nur selten benutzte mit nur einem Wägebereich und als zweite die mit zwei Wägebereichen. Einige von ihnen sind von der hier als „Typ Pompeji“ bezeichneten Art, mit den höckerartigen Ausbuchtungen am Waagebalken, in deren Ösen die Handhaben eingreifen. Nun weist ein Teil der Skizzen bei Lazzarini aus, daß in einem bestimmten Stadium eine äußerlich zwar geringfügig erscheinende, in ihrer Auswirkung jedoch sehr wirksame Änderung eingetreten sein muß: Die höckerartigen Ausbuchtungen am Waagebalken, an denen die Ringe für die beiden Handhaben eingehängt waren, sind jetzt durch eine Vorrichtung ersetzt, die wie eine Art Zwischenglied fungiert⁵⁸. Dazu sind in den Balken, quer zu seiner Längsrichtung, an den beiden Aufhängungen Achsen eingesetzt, an denen das Zwischenglied gelagert ist. Und das Zwischenglied ist mit einer als Ring ausgeführten Öse versehen, in welche die Aufhängung der Waage eingreift, vgl. dazu Abb. 5 – die Waage mit drei Wägebereichen, die ebenfalls mit solchen Zwischengliedern ausgestattet ist.

Ein Zwischenglied dieser Art fungiert gewissermaßen als Übertragungselement für die auf den Balken einwirkende Kraft – in diesem Fall das Eigengewicht der Waage einschließlich der zu bestimmenden Last. Die Einwirkung auf den Balken erfolgt nämlich, wenn ein Zwischenglied eingeschaltet ist, nicht an der Stelle, an der die Kraft an diesem ansetzt, sondern dort, wo es seinerseits Kontakt mit dem Balken hat. Bedingt durch seine freie Beweglichkeit, führt es also zur direkten Übertragung der angreifenden Kraft auf die im Balken eingelassene Achse.

Diese konstruktive Anordnung hat zum Ergebnis, daß die stark nach unten abgeknickte Verbindung der einzelnen Angriffspunkte, wie sie bei dem bisher dominierenden Typus bestanden hat, so gut wie beseitigt ist. Damit wird erreicht, daß die Empfindlichkeit der Wägung bei höherer Belastung – und damit auch die Genauigkeit der Wägung – beträchtlich weniger abfällt, ja nahezu konstant bleibt. Das hier erstmals nicht nur bei römischen Waagen, sondern bei Waagen überhaupt anzutreffende Zwischengelenk wird bei den späteren Ausführungen quasi zum Standardzubehör werden. Es übt zudem noch in anderer Hinsicht einen günstigen Einfluß auf den Wägevorgang aus: Auf die Waage wirkende Stöße, etwa infolge der Lasteinwirkung auf die Schale oder während des Schwingungsvorgangs, wirken sich nicht voll auf den Waagebalken aus, sondern werden abgemildert.

Wegen der Herstellung der mit dem Zwischengelenk ausgestatteten Laufgewichtswaage, die bei Lazzarini ebenfalls nicht datiert ist, darf mit größter Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, daß sie zu einer Zeit erfolgte, in der Pompeji bereits untergegangen war. Ihre Konstruktion stellt eine bedeutende Verbesserung des davor dominierend gewesenen Typus dar. So wird man sie vielleicht in das 2. Jahrhundert n. Chr. datieren dürfen.

⁵⁶ Vgl. Anm. 13, s. Abb. 1.

⁵⁷ Vgl. Anm. 14; nach der Angabe Lazzarinis wäre dies eine andere Version für die Funktion der ägyptischen Waage, die, vor allem in der deutschsprachigen Literatur, mehrfach fälschlich als Laufgewichtswaage verstanden wird.

⁵⁸ Lazzarini (Anm. 51) Bildtafel 1 Abb. 16 und 17.

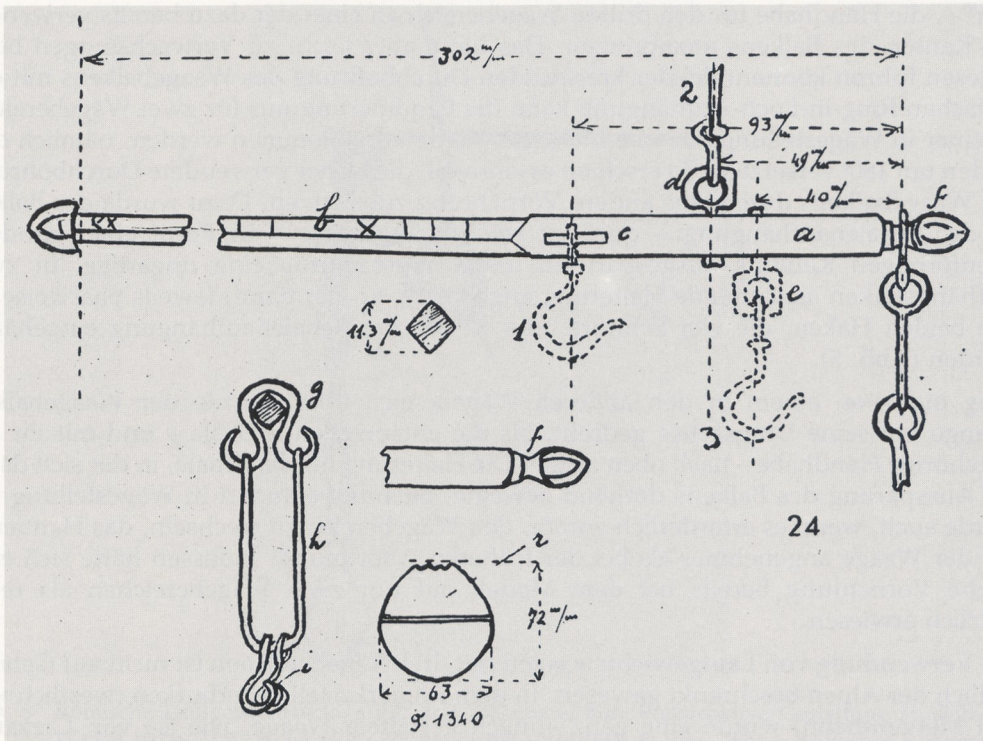


Abb. 5 Römische Laufgewichtswaage mit drei Wägebereichen und drei beweglich gelagerten Zwischengelenken für die Handhaben; Aufhängung der Waagschale an Zwischengelenk, das am Balken drehbar gelagert ist. Fundort: Albanien 1917 (nach Lazzarini [Anm. 51] Taf. 2)

3.4. Die Laufgewichtswaage mit drei Wägebereichen und Lagerung der Schalenaufhängung in Drehringgelenk

Lazzarini zeigt noch zwei andere Modelle von Laufgewichtswaagen, an denen offenbar weitere konstruktive Änderungen vorgenommen wurden. Es handelt sich um Geräte mit drei Wägebereichen, für die wiederum detaillierte Berechnungen über die Skaleneinteilung gegeben werden: eine dieser Schnellwaagen wurde 1917 in Albanien gefunden⁵⁹. Wie bei der zuvor genannten Laufgewichtswaage (mit zwei Wägebereichen) sind die Zwischengelenke für den Eingriff der Handhaben ebenfalls beweglich am Balken gelagert. Um jetzt für diese dritte Wägeposition eine Skala anbringen zu können, wurde eine der beiden noch freien Kanten des Balkens, bei dem der Querschnitt ein auf der Spitze stehendes Quadrat war, graduiert; die vierte Kante des Balkens blieb damit ohne Einteilung.

Zur Einrichtung der Laufgewichtswaage mit einem dritten Wägebereich wurde auch die Schalenaufhängung konstruktiv neu gestaltet. Zwar ist es prinzipiell möglich – und an der Schnellwaage der Römer in einem einzigen bekannten Fall auch verwirklicht wor-

⁵⁹ Lazzarini (Anm. 51) 238–241 mit Abb. 21–23, S. 248–254 mit Abb. 24–27.

den⁶⁰ –, die Handhabe für den dritten Wägebereich an einer der dazu bereits verwendeten Kanten des Balkens anzubringen. Das hätte aber leicht zu Verwechslungen beim Ablesen führen können: Bei der kreisrunden Durchbohrung des Waagebalkens mit der einfachen Ring-in-Loch-Aufhängung kann die Graduierung nur für zwei Wägebereiche an einer in Wägestellung oben befindlichen Kante vorgenommen werden, nämlich den beiden um 180° versetzten. So erschien es sinnvoll, die bisher verwendete Durchbohrung des Waagebalkens durch eine andere Vorrichtung zu ersetzen. Dazu wurde der Balken an der Schalenaufhängung – quer zu seiner Längsachse – in Form einer runden, rillenförmigen Kehlung ausgespart. In dieser Nute wurde eine ringartige, in zwei Aufhängehaken auslaufende Halterung angebracht, an der dann, jeweils paarweise an den beiden Haken, die vier Schnüre oder Ketten der Schalenaufhängung eingehängt wurden (Abb. 5).

Ging man von einem in den anderen Wägebereich über, wurde der Waagebalken solange um seine Längsachse gedreht, bis die entsprechende Skala – und mit ihr die zugehörige Handhabe – nach oben zeigte. Die Halterung für die Schale, in der sich dabei die Aussparung des Balkens drehend bewegte, blieb unverändert in Wägestellung. So wurde auch, wenn es erforderlich wurde, den Wägebereich zu wechseln, das Hantieren mit der Waage angenehmer als bei der früheren Anordnung. Indessen hätte sich eine solche Vorrichtung bereits bei dem Modell mit nur zwei Wägebereichen als recht nützlich erwiesen.

Die Verwendung von Laufgewichtswaagen mit drei Wägebereichen ist nicht auf Gebiete südlich der Alpen beschränkt gewesen. In dem Römerkastell Osterburken (westlich von Bad Mergentheim) wurde eine ganz ähnlich gestaltete Waage, wie sie von Lazzarini beschrieben wurde, gefunden. Sie hat ebenfalls drei Wägebereiche und eine fast identische Aufhängung für die Schale. Das Instrument, über das bereits im Jahre 1867 berichtet wurde⁶¹, befindet sich heute im Badischen Landesmuseum zu Karlsruhe (Abb. 6).

In einer zusammenfassenden Darstellung hat O. Paret 1939 über „Römische Schnellwaagen und Gewichte“ berichtet, die damals aus Funden in Südwestdeutschland bekannt gewesen sind⁶². In dieser Übersicht werden einige Laufgewichtswaagen der allgemeinen, meist üblichen Art vorgestellt, die von Mitteilungen anderer Autoren bereits bekannt waren. Dann geht Paret ausführlich auf Funde relativ seltener Art ein, über die bis dahin noch nicht berichtet worden war. So bildet er eine 1892 bei Ehningen (Kreis Böblingen) gefundene Römische Schnellwaage mit drei Wägebereichen ab, bei der die Handhaben I und III an ein und derselben Kante des Balkens angebracht sind; die Handhabe II befindet sich an der gegenüberliegenden Kante⁶³. Die Anordnung der Ringe für die drei Handhaben entspricht der Aufhängung „Ring in Loch“ an höckerartigen Ansätzen des Balkens, wie sie für den „Typ Pompeji“ als charakteristisch angegeben wurde. Auch ist für die Aufhängung der Waagschale noch nicht das Drehgelenk vorhanden, sondern sie greift – in gleicher Weise wie bei der Zweibereichswaage – ebenfalls noch „Ring in Loch“ an. Wie bei dieser Waage die Einteilung der Skalen, insbesondere für die an derselben

⁶⁰ Vgl. Paret (Anm. 62) 77 f.

⁶¹ L. J. Mone, Römische Schnellwaagen. Zeitschr. f. d. Gesch. d. Oberrheins 20, 1867, 402–406. – s. Paret (Anm. 62) 82 f.

⁶² O. Paret, Von römischen Schnellwaagen und Gewichten. Saalburg-Jahrb. 9, 1939, 73–86.

⁶³ Paret (Anm. 62) 77 f.

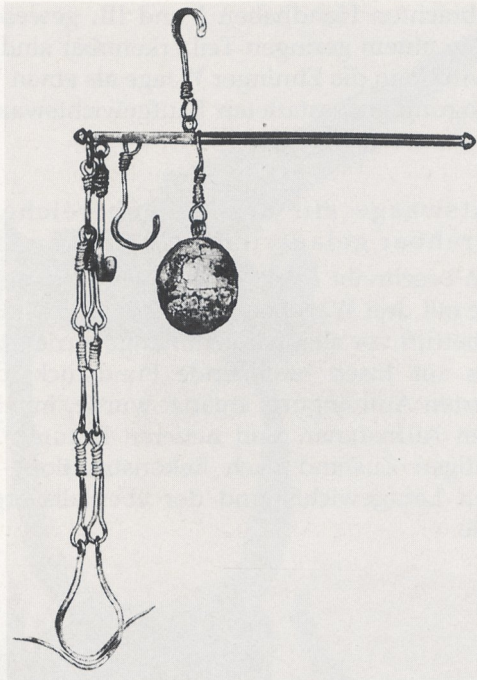


Abb. 6 Römische Laufgewichtswaage mit drei Wägebereichen; konstruktive Gestaltung ähnlich wie Waage nach Abb. 5. Fundort: Römerkastell Osterburken 1867 (Foto: Badisches Landesmuseum, Karlsruhe)

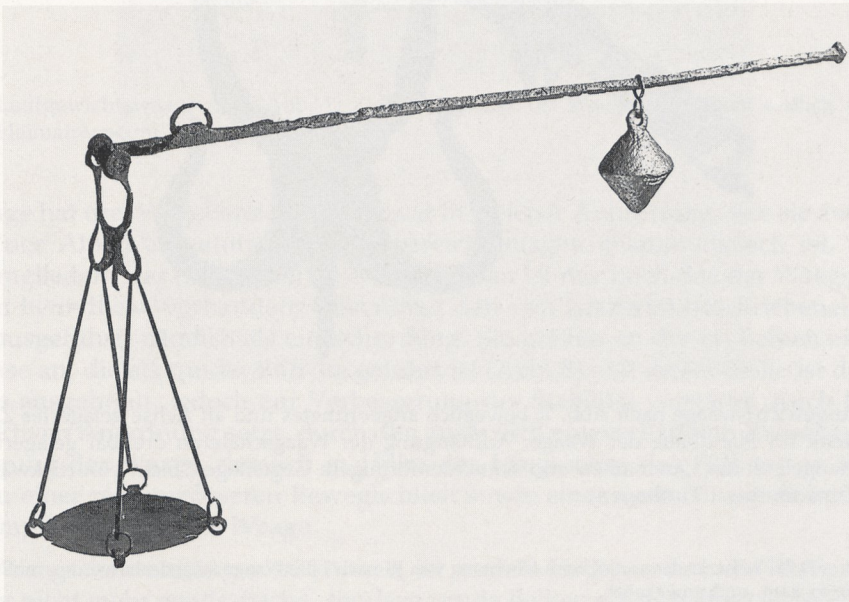


Abb. 7 Römische Laufgewichtswaage mit drei Wägebereichen; Gesamtansicht, teilweise rekonstruiert. Fundort: Tuttlingen 1935 (Foto: Heimatmuseum Tuttlingen)

Kante des Balkens angebrachten Handhaben I und III, gewesen ist, ließ sich, da die Markierungen nur noch zu einem geringen Teil erkennbar sind, nicht mehr rekonstruieren⁶⁴. Wahrscheinlich wird man die Ehninger Waage als einen Vorgänger der mit einer drehbaren Schalenauflösung ausgestatteten Laufgewichtswaage mit drei Wägebereichen auffassen dürfen.

3.5. Die Laufgewichtswaage mit drei Wägebereichen und Aufhängung der Waagschale an drehbar gelagertem Querbalken

In sehr detaillierter Form beschreibt Paret noch eine besonders interessante Form der Römischen Schnellwaage mit drei Wägebereichen, die 1935 in der Nähe von Tuttlingen gefunden wurde⁶⁵. Dies betrifft vor allem die Aufhängevorrichtung für die Waagschale. Heute befindet sich das aus Eisen bestehende Fundstück, das inzwischen an der besonders stark korrodierten Aufhängung ergänzt wurde, im Heimatmuseum zu Tuttlingen; die hier gezeigten Aufnahmen sind neueren Datums⁶⁶. Die Gesamtaufnahme (Abb. 7) zeigt den heutigen Zustand nach Rekonstruktion – einschließlich des im Original nicht erhaltenen Laufgewichts und der ebenfalls ergänzten, mit Schnüren aufgehängten Waagschale.



Abb. 8 Laufgewichtswaage nach Abb. 7; beweglich angeordnetes und an Achse gelagertes Zwischengelenk für Handhabe der Waage. Aufhängung der Waagschale an drehbar gelagertem Zwischengelenk mit Querbalken und schneidenförmigem Gegenlager, Sicht von rückwärts (Foto: Heimatmuseum Tuttlingen)

⁶⁴ Paret (Anm. 62) 78, bemerkt dazu, daß beim Übergang von III nach I die Waage so gedreht werden mußte, daß die Last nach links kam, und umgekehrt.

⁶⁵ Paret (Anm. 62) 75–77.

⁶⁶ Verf. dankt Herrn Karlheinz Müller, Leiter des Heimatmuseums Tuttlingen, für die mit Schreiben v. 22. 8. 1986 erhaltenen, neu hergestellten Aufnahmen der Tuttlinger Römischen Schnellwaage.



Abb. 9 Laufgewichtswaage nach Abb. 7; Zwischengelenk für Waagschale, Sicht seitlich vorn (Foto: Heimatmuseum Tuttlingen)

Die Waage hat drei Wägebereiche, und zwar in gleicher Anordnung, wie sie auch für die südlich der Alpen aufgefundenen Dreibereichswaagen charakteristisch ist. Von den Zwischengliedern der (fehlenden) drei Handhaben ist nur noch das der Waagschale am nächsten befindliche vorhanden. Gegenüber den von Lazzarini beschriebenen sind sie anders ausgeführt, nämlich als einfacher Ring. Sie greifen an der im Balken eingelassenen Achse an, die als runder Stift ausgeführt ist (Abb. 8). An dieser Stelle ist der Balken ebenfalls ausgehöhlt, jedoch zur Verbesserung der Stabilität verstärkt. Auch bei dieser konstruktiven Anordnung setzt, durch den zusätzlich eingeschalteten Zwischenring, die Aufhängung der Waage ziemlich in Höhe der Längsachse des Balkens an und führt damit zu einer reibungsloseren Beweglichkeit sowie einer auch bei stärkerer Belastung guten Empfindlichkeit der Waage.

Um die Waagschale anhängen zu können, ist an dem Ende, an dem die Last aufgehängt wird, der nicht mehr quadratische, sondern runde Balken etwas tailliert – ähnlich wie bei der von Lazzarini beschriebenen Dreibereichswaage. Anders als bei der Waage aus Albanien greift hier jedoch nicht das in der Kehlung befindliche Zwischenglied der

Schalenaufhängung ein, sondern es ist ein insgesamt 67 mm langes Querstück eingesetzt (Abb. 9). Der an dem Balken angreifende Teil der Aufhängevorrichtung für die Schale bildet also eine ringartige Umfassung und setzt sich nach den beiden Seiten horizontal weiter fort. Der so gebildete Querbalken ist damit gegenüber dem Balken frei beweglich gestaltet. Und diese Beweglichkeit ist, wenn der Balken um seine Längsachse gedreht wird, auch heute noch vorhanden (Abb. 10). An den beiden Armen dieses Querbalkens hängt dann, mittels zweier Ösen, ein gabelartiges Zwischenglied, das sich nach unten in die bereits bekannte Aufhängung für die Waagschale fortsetzt.

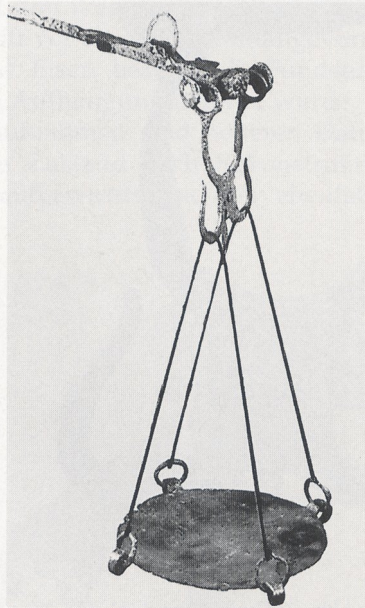


Abb. 10 Laufgewichtswaage nach Abb. 7; Waagebalken gegenüber Abb. 8 und 9 um 90° gedreht (Foto: Heimatmuseum Tuttlingen)

Was dann an dem Querbalken noch besonders auffällig erscheint, ist, daß er an den Stellen, an denen er durch die beiden Ösen des Zwischengliedes umfaßt wird, nach oben schneidenförmig angeschärft ist. Die Ausmaße des Querbalkens sind hier in der Höhe also deutlich größer als in der Dicke⁶⁷. Paret, der die Tuttlinger Waage genau untersucht hat, gibt von ihrer konstruktiven Gestaltung eine zeichnerische Wiedergabe, die hier teilweise reproduziert ist (Abb. 11). Im rechten Teil zeigt sie, als Grundriß, die nach den Seiten sich balkenartig fortsetzende Umfassung *m* mit dem Zwischengehänge *g*. Unten links schließt sich der Seitenriß dieser Vorrichtung an, an dem die beiden seitlichen Schneiden mit dem an ihnen angreifenden Zwischengehänge erkennbar sind. Und links

⁶⁷ Es ist davon auszugehen, daß die schneidenförmige Gestaltung des Querbalkens ursprünglich noch deutlicher ausgeprägt gewesen, durch die inzwischen erlittene Korrosion jedoch verringert worden ist.

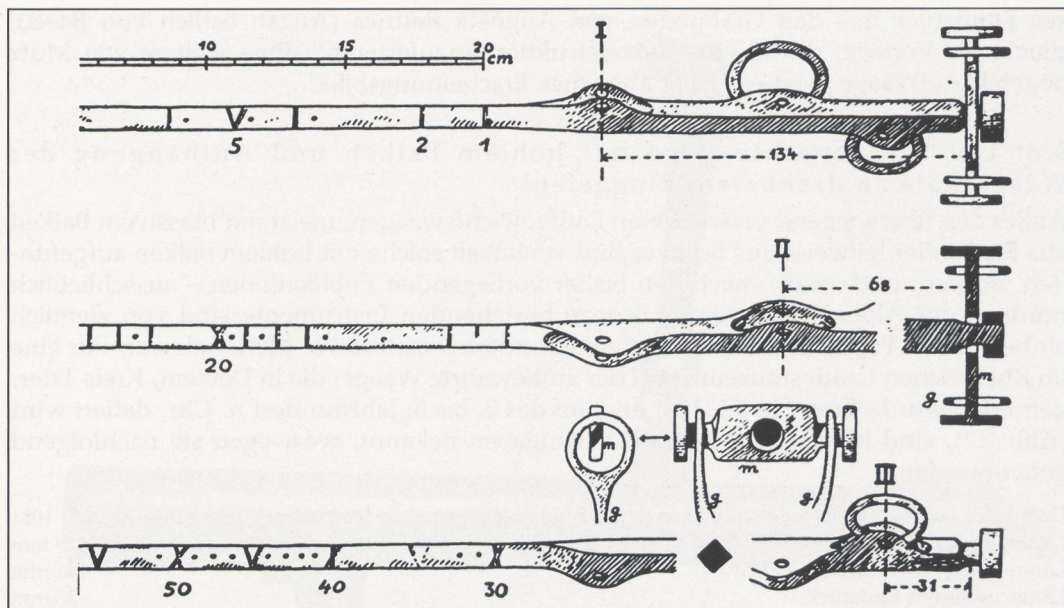


Abb. 11 Konstruktive Gestaltung der Laufgewichtswaage nach Abb. 7 (nach Paret [Anm. 62] Taf. 26)

davon zeigt der Aufriß die Vorrichtung aus der Ansicht, wie sie sich anschauen ließe, wenn sie nicht teilweise durch einen kreisförmigen Abschluß des Querbalkens verdeckt wäre⁶⁸.

Paret bemerkt noch, daß sich, soweit ihm Exemplare der Römischen Schnellwaage bekannt geworden seien, entsprechende Stücke nur in der Schweiz befänden. So seien 1871 in Baden (Schweiz) zwei eiserne Schnellwaagen gefunden worden, die mit ihren drei Aufhängungen und dem dreh- und schwenkbaren Arm für die Schale wie auch in anderen Details der Tuttlinger Waage entsprechen⁶⁹. Da noch eine weitere, aus Bronze bestehende Waage mit drei Skalen, die aus dem Kanton St. Gallen stammt, ebenfalls die drehbare und nicht nur schwenkbare Aufhängung der Schale besitze, liege es nahe, in dieser Waagenart eine in der Schweiz heimische Form anzunehmen. Die Tuttlinger Waage wäre dann von der nahen Schweiz an die obere Donau gekommen⁷⁰.

Zu der Vermutung Paret's über die Herkunft der Dreibereichswaagen mit schwenk- und drehbarem Zwischengelenk ist noch zu ergänzen, daß auch Mutz Waagen beschrieben hat, die der von Paret vorgestellten genau gleichartig sind⁷¹. Eine davon, ein rudimentä-

⁶⁸ Die Schneide des Querbalkens ist bei dem Aufriß der Tuttlinger Waage nicht in genau symmetrischer Lage gezeichnet. Paret (Anm. 62) 77, bemerkt dazu, daß die Schneideteile des Querbalkens ursprünglich vermutlich in der Mitte waren und später durch Nachfeilen verändert wurden.

⁶⁹ Anz. f. Schweiz. Altertumskunde 2, 1872, 338 ff. und Taf. 31, 1. – F. Stähelin, Die Schweiz in römischer Zeit (Basel 1927) Abb. 85 (zitiert nach Paret [Anm. 62] 85).

⁷⁰ Paret (Anm. 62) 86.

⁷¹ A. Mutz, Über römische Mass- und Gewichtssysteme und ihre Anwendung bei Schnellwaagen. Basler Volkskalendar, Jahrb. d. Nordwestschweiz 1965, 51–57 – Vgl. Mutz, Römische Waagen und Gewichte (Anm. 2) 38–40.

res Fundstück aus den Grabungen von Augusta Raurica (Augst; östlich von Basel), diene als Vorlage, davon eine Rekonstruktion anzufertigen⁷². Eine weitere von Mutz abgebildete Waage zeigt ein ganz ähnliches Erscheinungsbild⁷³.

3.6. Die Laufgewichtswaage mit hohlem Balken und Aufhängung der Waagschale an drehbarem Ringgelenk

Außer den überwiegend verwendeten Laufgewichtswaagen, meist mit massivem Balken aus Eisen oder teilweise aus Bronze, sind vereinzelt solche mit hohlem Balken aufgefunden worden, und zwar – nach den bisher vorliegenden Publikationen – ausschließlich nördlich der Alpen⁷⁴⁻⁷⁶. Diese aus Bronze bestehenden Instrumente sind von ziemlich einheitlichem Typus und weisen einige besondere konstruktive Merkmale auf. Für eine im Rheinischen Landesmuseum zu Trier aufbewahrte Waage, die in Detzem, Kreis Trier, gefunden wurde (Inv.-Nr. 15, 108) und auf das 2. bis 3. Jahrhundert n. Chr. datiert wird (Abb. 12), sind bisher noch keine Detailangaben bekannt, weswegen sie nachfolgend genannt seien.

Daten der Laufgewichtswaage aus Bronze mit hohlem Balken, Landesmuseum Trier, Inv.-Nr. 15, 108:	
Gesamtlänge Metallteil:	229 mm
Länge glattes, zylindrisches Rohr:	191 mm
Länge gesamtes Endstück:	38 mm
Abstand zwischen geschlossenem Ende und Mitte des Ringgelenks:	21 mm
Abstand Mitte Ringgelenk und erster Aufhängung:	68 mm
Abstand Mitte Ringgelenk und zweiter Aufhängung:	147 mm
Äußerer Durchmesser zylindrisches Rohr (Nähe Schalenaufhängung):	18 mm
Äußerer Durchmesser Ringgelenk:	29 mm

In der Form, wie die Laufgewichtswaage mit hohlem Balken hier abgebildet ist, kann sie keine wägetechnische Funktion gehabt haben: Der Bereich zwischen der zweiten Aufhängung und dem offenen Ende des zylindrischen Metallrohrs, auf dem ein Laufgewicht hätte bewegt werden können, ist viel zu kurz. Die Waage gewinnt ihre Funktion erst dadurch, daß das zylindrische Rohr mit einem geeigneten Holzstab verlängert wird, der in sein freies Ende eingesteckt wird. Auf diesem Holzstab müßte auch die Skaleneinteilung eingezeichnet sein. Ein völlig eingetrockneter, etwas konisch zulaufender und an einem Ende abgebrochener Holzstab, der sich jetzt noch im Inneren des Rohres befindet, wird vermutlich dieses Verlängerungsstück gewesen sein. Das Holzfragment ist 135 mm lang, an seinem glatten (dünnere) Ende hat es einen mittleren Durchmesser von 13

⁷² Mutz, *Mass- und Gewichtssysteme* (Anm. 71) 55.

⁷³ Mutz, *Römische Waagen und Gewichte* (Anm. 2) 40–43.

⁷⁴ Westdt. Zeitschr. 19, 1900, 292, berichtet über eine in Mainz, am Gautor, bei Ausgrabungen in einem Brunnen gefundene Laufgewichtswaage.

⁷⁵ Saalburg-Jahrb. 3, 1912, 47–48, enthält eine Notiz über eine bei Ausgrabungen im Römerkastell Zugmantel (ca. 10 km nördlich von Wiesbaden) gefundene Laufgewichtswaage. Es wird dazu vermerkt, daß zwei verschiedene, zu der Waage gehörende Laufgewichte gefunden worden seien – das eine für das „Leichtgewicht“ und das andere für das „Schwergewicht“. Sie seien dann, jeweils beim Übergang von einem in den anderen Wägebereich, ausgetauscht worden, in gleicher Weise wie zwei zugehörige Waagschalen. Wenn diese Angabe richtig wäre, würde dies jedoch völlig dem Prinzip der Mehrbereichs-Laufgewichtswaage widersprechen, wonach allein die Änderung des Hebelverhältnisses bei diesem Übergang maßgeblich ist und das Laufgewicht unverändert bleibt. Zu dieser Angabe weist Paret (Anm. 62) 83 f., nach, daß jeweils ein Laufgewicht und eine Schale zu einer anderen Waage gehört haben müssen.

⁷⁶ Mutz, *Römische Waagen und Gewichte* (Anm. 2) 28–31 (über Waage Nr. 2) u. 31–35 (über Waage Nr. 3), beide in Augst.

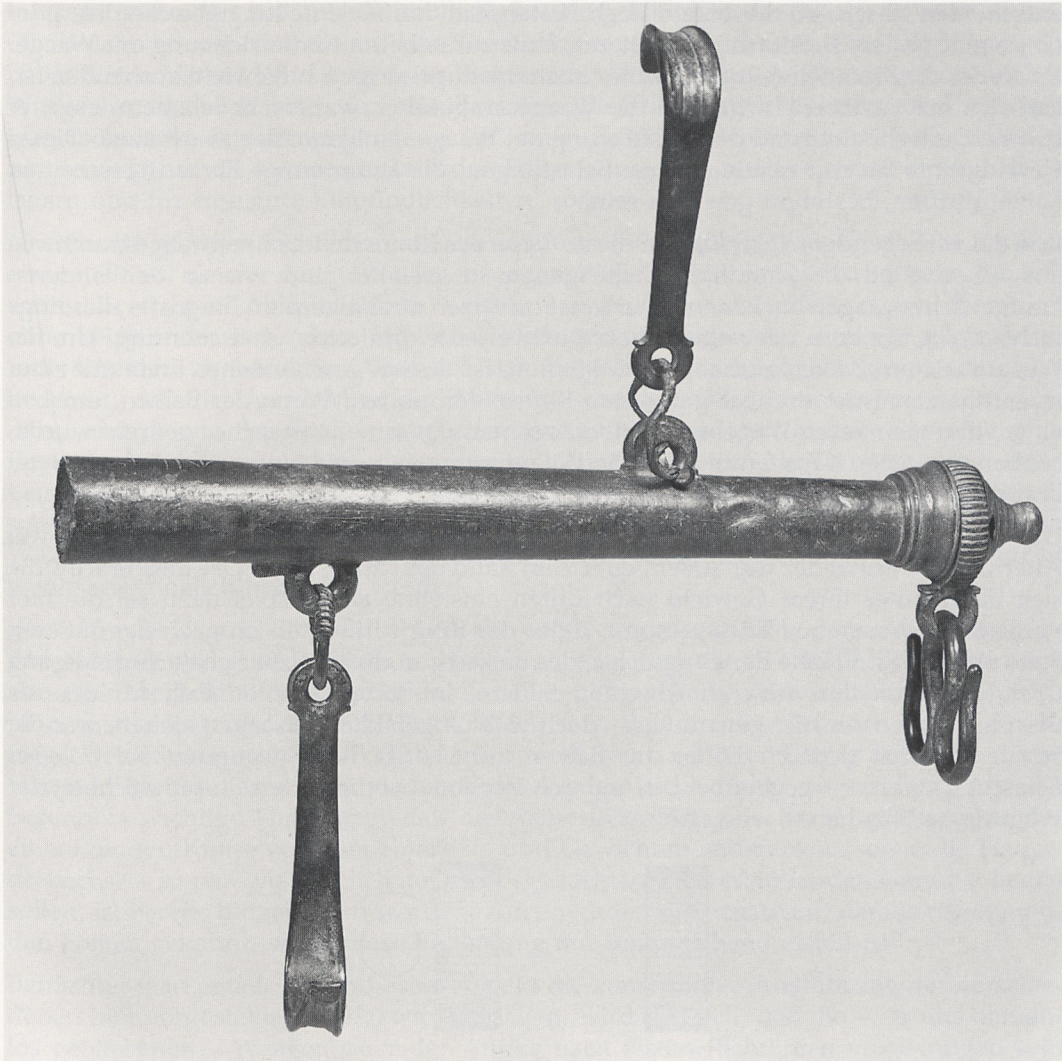


Abb. 12 Laufgewichtswaage aus Bronze mit hohlem Balken und drehbar gelagertem Ringgelenk;
Fundort: Detzem a. d. Mosel b. Trier, Inv. 15,108 des Rheinischen Landesmuseum, Trier
(Foto: RLM Trier RE 87,214/8)

mm, an dem abgebrochenen Ende von 17 mm. Eine Skaleneinteilung für das Laufgewicht ist nicht (mehr?) erkennbar. Der Arbeitsbereich des zugehörigen Laufgewichtes hätte somit vom Ende des eingesteckten, jedoch noch vollständigen Holzstabes bis zur äußeren Aufhängung im Metallteil gereicht⁷⁷.

Auf dem Endstück des glatten zylindrischen Rohres, also zwischen der zweiten Schalen-aufhängung und dem offenen Ende, ist die Zahl XV eingraviert. Es wird sich heute kaum

⁷⁷ In dem Bericht über die Ausgrabungen im Römerkastell Zugmantel (Anm. 75) wird, einschließlich dem hölzernen Waagebalken, eine Rekonstruktion dieses Typs der Laufgewichtswaage abgebildet.

entscheiden lassen, ob diese Zahl noch Bestandteil der Skalenteilung gewesen ist, oder ob sie eine andere Bedeutung gehabt hat, etwa zur näheren Kennzeichnung der Waage. Da weder die Skaleneinteilung bekannt noch das zugehörige Laufgewicht vorhanden ist, läßt sich der Lastbereich, für den die Waage vorgesehen war, nicht rekonstruieren; er läßt sich jedoch, aufgrund der Ausführung der Waage, einigermaßen abschätzen: Dieses Gerät konnte für nur relativ geringe Belastungen, die kaum einige librae überschritten haben dürften, bestimmt gewesen sein.

Wie die vorliegenden Abbildungen dieses Typs der Römischen Schnellwaage durchweg ausweisen, sind die Handhaben, die genau so gestaltet sind wie an den anderen Laufgewichtswaagen auch, an ringartigen Fortsätzen des Balkens im Eingriff – allerdings nicht direkt, sondern über einen (heute teilweise deformierten) Zwischenring. Um die Waagschale am Balken aufhängen zu können, ist dessen geschlossenes Ende mit einer ringartigen, um ihn drehbar gelagerten Kapsel verbunden. Wenn der Balken, um von einem in den anderen Wägebereich überzugehen, um seine Längsachse gedreht wurde, blieben ringartige Kapsel und Schale in Wägeposition – so wie dies auch bei den zuletzt besprochenen Waagen der Fall war.

Um die Schale an dem Drehgelenk anbringen zu können, gab es anscheinend zwei Alternativen: Entweder war außen, quer zum Rand des Ringes, eine Öse angebracht, die sich dann unter ihrem Gewicht nach unten einstellte; als Beispiel dazu sei die hier vorgestellte Waage aus Trier genannt. Oder der Ring verjüngte sich nach der äußeren Seite und ging, in Höhe der Längsachse des Balkens, in die Öse zur Schalenaufhängung über, die dann den äußeren Abschluß bildete. Im letztgenannten Fall, für den als Beispiele einige der hier genannten, jedoch nicht abgebildeten Waagen stehen, war die Schale dadurch deutlich höher am Balken aufgehängt, was wiederum bei höherer Belastung zu einer – gegenüber der anderen Version – verbesserten Empfindlichkeit der Wägung geführt haben wird (Abb. 13).

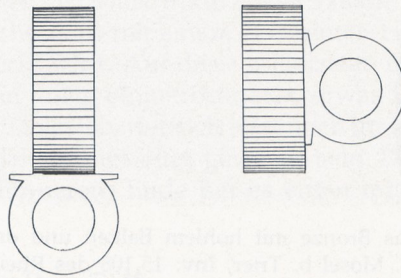


Abb. 13 Römische Laufgewichtswaage aus Bronze mit hohlem Balken; zwei Varianten zur Aufhängung der Waagschale an drehbar gelagertem Ringgelenk: links: Aufhängung unterhalb der Längsachse des Balkens; rechts: Aufhängung in Höhe der Längsachse des Balkens

3.7. Zur Gestaltung der konstruktiven Details römischer Laufgewichtswaagen

Wie aus der Betrachtung der hier vorgestellten Römischen Schnellwaagen deutlich erkennbar ist, weichen ihre konstruktiven Details mehr oder weniger voneinander ab. Die Frage mag sein, ob solche Unterschiede rein zufällig und ohne tiefere Bedeutung oder ob sie dadurch verursacht sind, daß im Laufe der Zeit eine gewisse Weiterentwick-

lung stattgefunden hat, um dadurch die Leistungsfähigkeit der Waage zu verbessern. Ob es dann so war, daß die antiken Konstrukteure sich von bestimmten Überlegungen haben leiten lassen? Wird man dann Richtlinien, die heute bei der Konstruktion solcher Waagen maßgeblich sind, auf die damalige Zeit übertragen können? Auf gewisse wägetechnische Zusammenhänge ist im Laufe dieser Betrachtung bereits hingewiesen worden – so auf die Notwendigkeit, den Balken einer Waage ausreichend beweglich zu lagern und für eine gute Empfindlichkeit zu sorgen.

Nach heute gültigen Richtlinien erwartet man von einer guten Waage⁷⁸, daß sie optimal eingestellt ist, um für einen möglichst breiten Wägebereich einsetzbar zu sein. Sie soll weiterhin eine gute Ablesbarkeit aufweisen; man muß also imstande sein, zwischen zwei nahe beieinander liegenden, möglichst niedrigen Teilungen der Anzeige noch sicher unterscheiden zu können. Dabei soll das Wäageergebnis möglichst genau sein. Das bedeutet, daß die Unsicherheit der Ablesung – zahlenmäßig charakterisiert durch die dabei auftretende Streuung – möglichst gering sein soll; man fordert also eine gute Reproduzierbarkeit der Ablesungen innerhalb enger Grenzen. Als Voraussetzung, diese Leistung zu erbringen, muß die Waage ausreichend empfindlich und in ihrer mechanischen Konstruktion präzise gearbeitet sein. Ihre Beweglichkeit darf durch die beim Wägevorgang auftretenden Gegenkräfte, also durch die systembedingte Reibung, nur so wenig wie möglich behindert werden.

Was dann eine gute Empfindlichkeit als Voraussetzung angeht, daraus eine niedrige Ablesbarkeit und gute Reproduzierbarkeit zu erreichen, ist es erforderlich, bestimmte konstruktive Richtlinien einzuhalten. So soll der Waagebalken einerseits in seiner Masse möglichst gering, andererseits aber so stabil sein, daß er unter Belastung nicht durchbiegt. Der Schwerpunkt des Balkens soll nur um einen geringen Betrag unterhalb seiner Hauptdrehachse liegen, um dadurch die Waage nicht „faul“ zu machen. Auf die besonders wichtige Forderung, daß die Achsen der Waage – die Angriffspunkte der einwirkenden Kräfte von Last einerseits und Gewichten andererseits sowie die Hauptdrehachse – so nah wie möglich auf einer (gedachten) sie verbindenden Geraden liegen sollen, ist bereits hingewiesen worden. Auch wurden die negativen, daraus resultierenden Folgen genannt, wenn diese Bedingung nur unzureichend erfüllt ist⁷⁹.

Betrachtet man gerade unter diesem Aspekt die konstruktive Ausführung der verschiedenen hier vorgestellten Laufgewichtswaagen, wird deutlich, daß die – für uns namenlos gebliebenen – Waagenbauer der Antike nach festen Richtlinien vorgegangen sein müssen, um dadurch optimale Ergebnisse zu erreichen. So ist auch zu erkennen, daß eine stetige Weiterentwicklung stattgefunden hat, um die ursprünglich nicht besonders hohe Leistungsfähigkeit zu steigern. Das begann mit der einfachen Aufhängung Ring-in-Loch, wie sie an der Einbereichs- und frühen Zweibereichswaage, deren Beweglichkeit und Empfindlichkeit noch ziemlich gering waren, zuerst üblich war.

Wenn man die Zweibereichswaage des Science Museums, den „Etruscan Steelyard“, nicht als eine Sonderentwicklung betrachten will, von der keine Wege weiterführten, sind die daran erkennbaren Änderungen bereits als beachtlich zu bezeichnen: Die Ösen sowohl zur Aufnahme der Lastschale wie auch zur Aufhängung der Waage selbst liegen jetzt nahezu in der Ebene der Längsachse des Balkens. Inwieweit es berechtigt ist,

⁷⁸ DIN 8120, Begriffe im Waagenbau, Teil 3, Meß- und eichtechnische Benennungen und Definitionen (Berlin 1981).

⁷⁹ Jenemann, Grundlagen (Anm. 4).

vermuten zu dürfen, daß eine solche Änderung bewußt vorgenommen worden ist, wird sich heute kaum noch entscheiden lassen. Möglicherweise wird man festgestellt haben, daß die Wägeleistung bei der bisher üblich gewesenen Anordnung zu wünschen übrigließ, um dann die Ursache davon zu erkennen und schließlich die konstruktive Folgerung zu ziehen.

Im späteren Verlauf werden einige der von Lazzarini detailliert beschriebenen Laufgewichtswaagen eine deutliche Leistungssteigerung erbracht haben: Man hat sowohl für die Aufhängung der Waage mittels der Handhabe als auch – bei der Dreibereichswaage – für die Waagschale Zwischengelenke eingeführt. Diese führten nicht nur zu einer reibungsfreieren Beweglichkeit als bei der einfachen Ring-in-Loch-Aufhängung, sondern verbesserten auch die Empfindlichkeit der Waage im höheren Lastbereich, weil dadurch die bis dahin bestandene „gebrochene“ Achsenlinie weitgehend beseitigt wurde.

Legt man den Stand der bis heute aufgefundenen Laufgewichtswaagen zugrunde⁸⁰, scheint es so zu sein, daß es im Kernland der Römer, im heutigen Italien, kaum noch zu einer echten Weiterentwicklung gekommen ist⁸¹. Es hat demnach den Anschein, daß diese später nördlich der Alpen stattgefunden hat, ohne daß es möglich ist, zu sagen, wo genau dies gewesen ist.

So sind die Änderungen an konstruktiven Details, über die von Paret über die Tuttlinger Waage berichtet wurde und die in gleicher Form an noch weiteren Fundstücken erkennbar sind, besonders wichtig gewesen. Durch deren Verwirklichung konnte die Leistungsfähigkeit der Laufgewichtswaage nochmals erheblich verbessert werden. Neben der Verwendung eines an „richtigen“ Achsen angreifenden Zwischengliedes, um daran die Waage in empfindlicher Position aufhängen zu können, erscheint die Lagerung der Schale von besonderer Wichtigkeit: Die in gleicher Höhe mit der Längsachse des Balkens, an dem drehbar angebrachten Querbalken, aufgehängte Waagschale ist in zwei Ebenen beweglich gelagert. Diese Anordnung entspricht völlig dem erst wesentlich später erfundenen Cardanischen Gelenk und gleicht prinzipiell auch derjenigen des Zwischengelenks für die Waagschale, wie es an modernen Feinwaagen zur Anwendung gelangt⁸². Und was dann besonders überrascht, ist die Feststellung, daß der Querbalken, an dem die Waagschale aufgehängt ist, an zwei Stellen schneidenförmig angeschärft wurde. Kein Zweifel dürfte daran bestehen, daß das ganz bewußt in dieser Form ausgeführt wurde, um dadurch die Reibung zu reduzieren und damit die Beweglichkeit der Waage zu verbessern⁸³.

Eine Parallelentwicklung wird dann zur Laufgewichtswaage mit hohlem Balken – den man als Hülse benutzt hat, um ihn mit einem Holzstab zu verlängern – geführt haben; bisher ist auch diese Variante anscheinend nur nördlich der Alpen aufgefunden worden.

⁸⁰ Vgl. die Bemerkung von Paret (Anm. 62) 86, der für die weiter entwickelte Form der Laufgewichtswaage annimmt, daß es sich um „eine in der Schweiz heimische Form“ gehandelt habe.

⁸¹ Eine endgültige Aussage über diese Vermutung könnte erst dann getroffen werden, wenn eine noch größere Anzahl von in Italien gefundenen Römischen Schnellwaagen bekannt wäre. Wie bei vielen anderen Kleinfunden mag eine die fortgeschrittenere Form der Laufgewichtswaage betreffende bisherige Fundleere darin begründet sein, daß sie nicht vollständig publiziert sind.

⁸² H. R. Jenemann, Eine kurze Entwicklungsgeschichte der wissenschaftlichen Waage. In: L. Bosch/H. R. Jenemann: Festschr. z. 125jährigen Jubiläums d. Firma Gebr. Bosch, Jungingen (Jungingen 1977) 29–66, bes. 45.

⁸³ Die heutige Kenntnis über die Erfindung schneidenförmig geschärfter Achsen geht allgemein dahin, daß sie erstmalig im 16. oder 17. Jahrh. angewendet worden seien, vgl. K. E. Haeberle, Zehntausend Jahre Waage (Jugenheim/Balingen 1967) 63.

Eine solche Konstruktion ließe sich einerseits dadurch begründen, daß auf diese Weise die damals gewiß knapp und nicht billig gewesene Bronze teilweise durch das beliebig zur Verfügung stehende Holz ersetzt werden konnte; sie führt aber auch zu einem insgesamt leichteren Waagebalken – mit den oben genannten positiven Auswirkungen auf die Wägung. Auch an dieser speziellen Ausführung der Römischen Schnellwaage läßt sich eine mit der an der Waage mit massivem Balken vergleichbare Entwicklung beobachten: Zuerst wurde die relativ unempfindliche Ring-in-Loch-Aufhängung angewendet, wobei sich die Drehgelenke in unterschiedlicher Höhe befanden. Dann jedoch wurde die Konstruktion geändert, indem anders gestaltete Gelenke verwendet wurden, durch die eine deutlich empfindlichere Wägung erreicht werden konnte.

Was dann die Skaleneinteilung der Mehrbereichswaagen anlangt, wurde, indem die Aufhängung jeweils im Verhältnis 1:2 oder 1:3 geändert wurde, eine optimale Lösung gefunden, um einerseits einen ausreichend großen Wägebereich zu erhalten, andererseits aber bei voller Ausnutzung der Skalenlänge noch günstig ablesen zu können. So wurde es möglich, wenn eine der Skalen nicht mehr ausreichte, schnell in den nächst höheren Lastbereich umzuwechseln. Umgekehrt stand der nächst niedere Lastbereich zur Verfügung, wenn das Laufgewicht sich bereits zu nahe an der Lastschale befand. So wurde, wie bei Vitruvius angegeben, für das Laufgewicht eine Position verwirklicht, die sich möglichst weit am Ende des Balkens befand. Der Sinn davon ist darin zu erkennen, eine möglichst hohe Wägegenauigkeit zu sichern. Reichte dann, nach oben, der Wägebereich nicht mehr aus, konnte auf eine höherlastige Waage übergegangen werden: Wie die Funde ausweisen, gab es Waagen für verschiedene Lastbereiche. Umgekehrt konnte auch auf eine kleiner dimensionierte Waage zurückgegangen werden, um dadurch für feinere Wägungen eine bessere Auflösung im Ergebnis zu gewinnen.

In vergleichbarer Weise, wie es für die bereits von ihrer Konstruktion her genauere gleicharmige Waage der Römer bekannt ist⁸⁴, wurde also angestrebt, bei der im Gebrauch praktischeren Laufgewichtswaage ebenfalls eine optimale Wägegenauigkeit zu erreichen. Wie die im Laufe der Zeit verbesserten Konstruktionen ausweisen, ist nichts anderes denkbar, als daß die römischen Waagenkonstrukteure zu Erkenntnissen gelangt sind, die denen aus wesentlich späterer Zeit analog und auch heute noch gültig sind. So konnte das Auflösungsvermögen der ursprünglich ziemlich unempfindlichen Laufgewichtswaage beträchtlich verbessert werden.

Es mag verständlich sein, daß man dann auch bemüht war, entsprechend genauer ablesen zu können, um die so gewonnene, verbesserte Empfindlichkeit nutzen zu können. Voraussetzung dazu war, daß sich die Waage bei Einstellung des Gleichgewichtes in einer stets gleichbleibenden horizontalen Lage befand. Nun ist gesichert, daß vornehmlich bei höherlastigen Waagen ein Führungsrahmen benutzt wurde, damit der Balken beim Wägevorgang nicht umschlagen konnte⁸⁵. Ob es dann so war, daß man sich – anstelle eines Zeigers – einer zusätzlichen Hilfsvorrichtung bediente, um mit einer spitzwinklig zulaufenden Bronzeleiste an dem Führungsrahmen die horizontale Lage stets gleichmäßig einstellen zu können? Jedenfalls wird vermutet, daß eine solche

⁸⁴ Jenemann, Münzwägungen (Anm. 3).

⁸⁵ E. Nowotny, Zur Mechanik der antiken Waage. Jahresh. Österr. Arch. Inst., Beibl. 16, 1913, 5–36, bes. 5 ff., und 179–196 (Nachträge). – Der Führungsrahmen ist besonders gut auf einem Flachrelief mit einer Laufgewichtswaage erkennbar, das in Neumagen a. d. Mosel gefunden wurde und sich heute im Rheinischen Landesmuseum zu Trier befindet; Abbildung s. Haerberle (Anm. 83) 54 f.

Technik angewendet worden sei⁸⁶. Später wird über diese Vermutung noch hinausgegangen und angenommen, die genannten Bronzeleisten hätten sogar als „Meßkeil“ gedient, um an ihrer Einteilung abzulesen, wie groß die noch vorhandene Abweichung in der Höheneinstellung des Balkens und damit von der genau waagerechten Stellung gewesen sei⁸⁷. Daraus sei dann die noch verbleibende geringe Gewichts-differenz ermittelt worden. Das würde aber bedeuten, daß bei der Verwendung eines solchen Meßkeils das Prinzip der Neigungswaage angewendet worden wäre, deren Gesetzmäßigkeiten jedoch erst wesentlich später abgeleitet worden sind⁸⁸.

Sicherlich ist es problematisch, heute noch den Nachweis dafür führen zu können, wie es zur Zeit der Antike ermöglicht wurde, die durch die konstruktiven Verbesserungen erhöhte Genauigkeit der Laufgewichtswaage ablesemäßig zu erfassen.

4. Die Laufgewichtswaage mit hohlem Balken und Drehringgelenk im Rheinischen Landesmuseum zu Trier: Abschluß und Höhepunkt der technischen Entwicklung der Laufgewichtswaage im Altertum

Von der aus stark korrodiertem Eisen bestehenden Laufgewichtswaage, Inv. 2131, des Rheinischen Landesmuseums zu Trier (Abb. 14) ist der Fundort nicht bekannt. Es ist jedoch wahrscheinlich, daß die Waage aus Trier oder seiner Umgebung stammt. Sie gelangte im Jahre 1879, als „Geschenk des H. Justizrath Bettingen“, in den Besitz des Museums. Wegen der Unsicherheit der Herkunft können (bisher) keine Aussagen über eine Datierung gemacht werden. Man hielt sie jedoch bereits bei der Aufnahme „stillschweigend“ für römisch. Dafür spricht, nach den Erfahrungen des Museums, auch der Oxydationsgrad, wenngleich ein solches Urteil als subjektiv bezeichnet wird. Wenn also, nach dem bloßen Erscheinungsbild, der Ursprung mit großer Wahrscheinlichkeit römisch ist, kann er, nach Mitteilung des Museums, nicht exakt bewiesen werden⁸⁹.

Die Waage hat, einschließlich der beiden Handhaben und der Schalenaufhängung, eine Masse von 999,5 g^{89a}. Der innere Durchmesser des hohlen Balkens beträgt am Ende 26 mm. Die Gesamtlänge, gemessen von der Spitze des ornamentartigen Abschlusses bis zum besonders stark korrodierten Endteil, ist 340 mm; vielleicht war die Waage ursprünglich noch etwas länger gewesen. Ganz analog zu den bereits vorgestellten Waagen aus Bronze mit hohlem Balken hat auch hier der Balken sicherlich als Hülse gedient, um durch einen eingeführten Holzstab verlängert zu werden. Das ist auch daraus zu schließen, daß der Abstand von der zweiten Aufhängung, der äußeren Handhabe, bis zum Ende ziemlich gering ist: sonst wäre nur sehr wenig Spielraum für den Arbeitsbereich des (nicht mehr vorhandenen) Laufgewichts gewesen. Erfahrungsgemäß beträgt diese Länge mindestens das Zweifache der Entfernung zwischen äußerer Handhabe und der Aufhängung für die Lastschale.

⁸⁶ Nowotny (Anm. 85) 33. Nowotny sagte dazu wörtlich: „Ich wage die Vermutung, daß durch behutsames Einschieben je eines solchen Bronzestäbchens zwischen Wagebalken und Führungsrahmen jene obenerwähnte Gleichheit des Balkens gemessen wurde.“

⁸⁷ O. Spiegler, Meßverfahren an römischen Waagen. *Travaux du Ier Congrès International de la Métrologie Historique*. (Hrsg.: Z. Herkov, Zagreb 1975) 215–232, bes. 228.

⁸⁸ H. R. Jenemann, Zur Entwicklungsgeschichte der Neigungswaage. *Wägen und Dosieren* 11, 1980, 210–215 und 248–253.

⁸⁹ Aus dem Schreiben Tgb. Nr. 867/126/Bi/S vom 14. 3. 1979 des Rheinischen Landesmuseums Trier an Verf.

^{89a} Im ursprünglichen vollständigen Zustand dürfte die Waage noch um etwa 20 bis 30% schwerer gewesen sein – unbeschadet davon, daß gewisse Anteile von ihr durch Korrosion von Eisen zu dem schwereren Eisenoxid übergegangen sind.

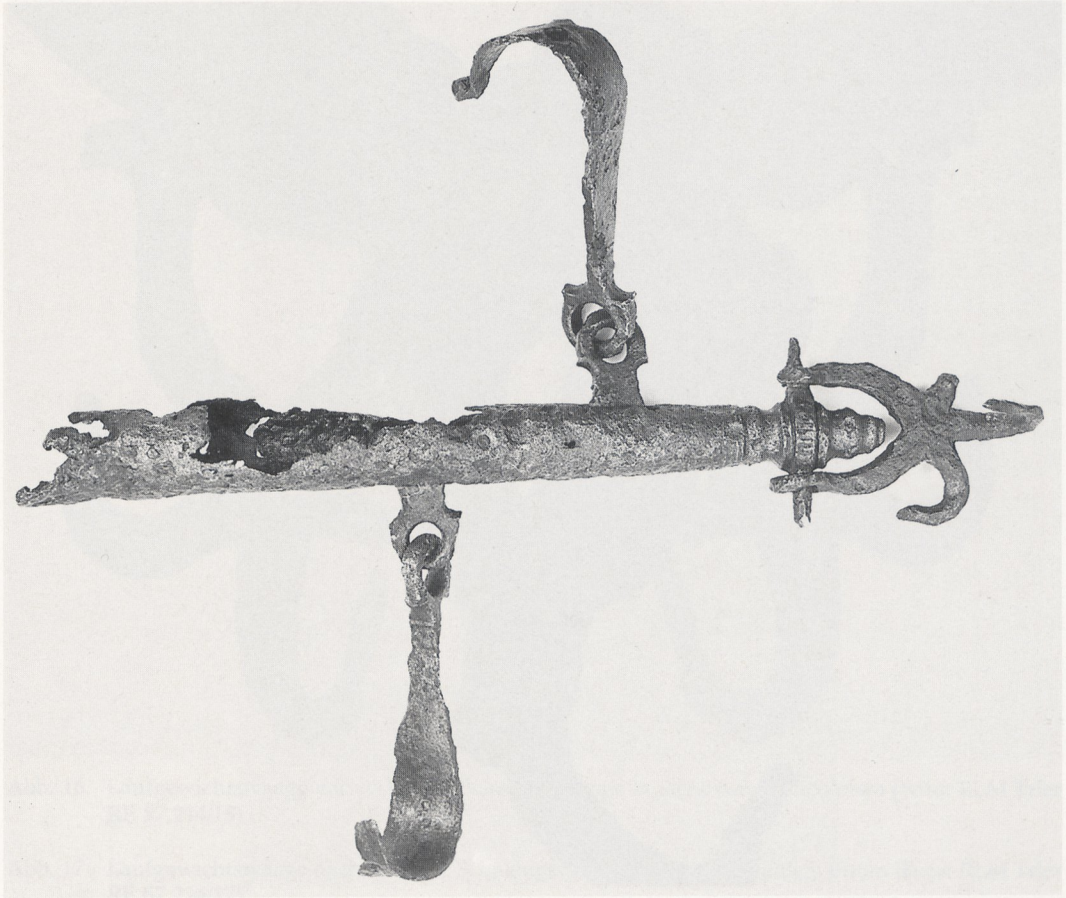


Abb. 14 Laufgewichtswaage aus Eisen mit hohlem Balken; Gesamtansicht; Fundort vermutlich bei Trier, Inv. 2132 des Rheinischen Landesmuseums, Trier (Foto: RLM Trier RD 81,15)

Der Abstand von der Mitte der Schalenabhängung bis zur Spitze des ornamentartigen Endteils beträgt 35 mm, bis zur Mitte der ersten Handhabe 70 mm und bis zur zweiten 130 mm. Und diese Schalenabhängung ist – abgesehen von dem sich nach außen verjüngenden, ornamentartigen Abschluß – prinzipiell gleich wie die an der Waage aus Tuttlingen eingerichtet: In einer rinnenartigen Einbuchtung ist ein mit einer „Quer-Riffelung“ versehener Ring gelagert, dessen äußerer Durchmesser 29 mm beträgt (Abb. 15). An diesem Ring sind zwei sich nach außen etwas verjüngende Fortsätze, in welche die beiden Ösen der Schalenabhängung einfassen, diametral angebracht. Auch hier ist also ein um die Längsachse drehbarer – richtiger: drehbar gewesener – Querbalken vorhanden, so daß die gesamte Vorrichtung wie ein Cardanisches Gelenk fungiert. Die beiden Fortsätze von je 25 mm Länge haben – mit 4,5 mm zu 9,5 mm des einen und 7,0 mm zu 10,0 mm des anderen Fortsatzes – eine deutliche Orientierung nach einer, gegenüber der Dicke, größeren Höhe. Nach ihrem heutigen Zustand kann man sie zwar nicht als ausgesprochene „Schneiden“, wie von Paret über die Tuttlinger Waage berichtet, bezeichnen. Es ist indessen höchst wahrscheinlich, daß diese Lager für die Schalen-



Abb. 15 Laufgewichtswaage nach Abb. 14; Schalengehänge an drehbar gelagertem Ringgelenk mit zwei seitlichen Fortsätzen; schneiderförmige Ausführung des Lagers für das Schalengehänge. Sicht von schräg oben (Foto: RLM Trier RE 87,215/15)

aufhängung ursprünglich aus angeschärften Kanten bestanden haben, die jedoch durch Abnutzung im Gebrauch abgerundet und dann durch die starke Korrosion weiter abgeflacht wurden. Das ringartige Gelenk ist völlig festgerostet, so daß seine Beweglichkeit um die Längsachse des Balkens heute nicht mehr gegeben ist. Das Zwischengehänge, das an dem so fixierten Querbalken angreift, ist dagegen um die beiden Fortsätze frei drehbar.

Dieses Schalengehänge ist nun genau gleich wie bei der Laufgewichtswaage aus Tuttlingen gestaltet: Das um den Querbalken beweglich angeordnete U-förmige Teil hat zwei hakenförmige Ansätze zum paarweisen Einhängen der insgesamt vier Ketten für die Waagschale; einer davon ist abgebrochen oder wegkorrodiert. An einem dritten Haken konnte das Wägegut, anstatt es auf die Schale zu legen, direkt angehängt werden. Die beiden Detailaufnahmen (Abb. 16 und 17) zeigen das Zwischengehänge gegenüber dem in seiner fixierten Stellung korrodierten Lager in Wägeposition. Die Schale einschließlich der zugehörigen Ketten ist nicht vorhanden.

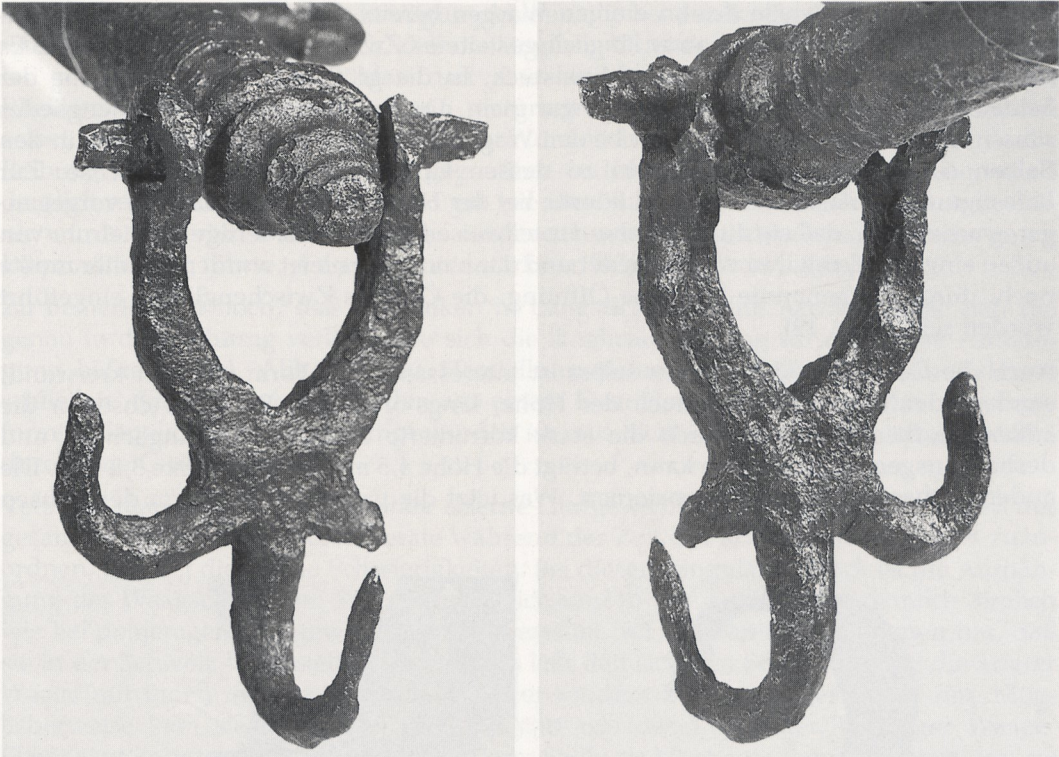


Abb. 16 Laufgewichtswaage nach Abb. 14; Schalengehänge in Sicht von seitlich oben (Foto: RLM Trier RE 87,214/15)

Abb. 17 Laufgewichtswaage nach Abb. 14; Schalengehänge in Sicht von seitlich unten (Foto: RLM Trier RE 87,214/17)

Die beiden „Handhaben“ zur Aufhängung der Waage – die jedoch, da es sich offenbar um ein Gerät für größere Lasten gehandelt hat, nicht dazu gedient haben können, sie während der Benutzung in der Hand zu halten – erscheinen ebenfalls übereinstimmend mit denen der hier zuletzt vorgestellten Waagen der Römer. Sie bestehen beide aus Haken, die nach außen kontinuierlich breiter werden. In der Wägeposition wurde einer von ihnen mit seinem stärksten Teil an einem Deckenbalken oder ähnlichem eingehängt. Nach der anderen Seite verjüngt sich der Haken, um in einem Ring zu enden. Und dieser Ring faßt dann unten in die Öse eines Zwischengliedes ein, für das im Mantel des hohlen Balkens eine längliche Aussparung von 30 x 8 mm vorhanden ist (Abb. 18).

Man erkennt, daß die Funktion dieser Waage völlig analog zu der von anderen Exemplaren aus der Spätzeit des behandelten Entwicklungszeitraums gewesen ist: Ging man, unter Drehen des Waagebalkens um 180° um seine Längsachse, von einer Stellung der Aufhängung in die andere über, blieben der geriffelte Ring mit seinen beiden Fortsätzen und die Waagschale unverändert in waagrechtter Wägeposition.

Wofür jetzt, gegenüber den anderen bisher betrachteten Laufgewichtswaagen, eine andere konstruktive Lösung gefunden wurde, ist die Lagerung der Aufhängung am

Balken. Hier ist, anstelle des an einigen Waagen bereits verwendeten einfachen Zwischenrings, ein echtes, und zwar länglich gestaltetes Zwischenglied vorhanden. Es hat zwei Ösen und ein massives Mittelstück. In die größere, außen befindliche der beiden Ösen faßt der Ring der Aufhängung ein. Die zweite Öse des Zwischengliedes umschließt – und zwar für jede der beiden Wägepositionen – jeweils eine mitten in den Balken eingelassene und senkrecht zu dessen Längsrichtung stehende Achse. Zur Befestigung der Achsen im Mantel könnte bei der Herstellung der Waage so vorgegangen worden sein, daß sie durch das bereits teilweise geschlossene fertige Mantelrohr von außen eingesetzt, mit ihm verschmiedet und dann noch vernietet wurden. Vorher mußte noch, durch die genannte längliche Öffnung, die Öse des Zwischengliedes eingeführt worden sein (Abb. 19).

Auch die Gestaltung der Achsen selbst ist interessant: Ihre Form ist nicht kreisrund, sondern deutlich, und zwar nach der Höhe, längs-orientiert. Bei der Achse für die äußere Aufhängung, die durch die stark korrodierte Stelle gut zugänglich ist und deshalb ausgemessen werden kann, beträgt die Höhe 4,5 mm und die Dicke 3,2 mm. Die andere Achse ist ähnlich dimensioniert. Was jetzt die ursprüngliche Form der Achsen



Abb. 18 Laufgewichtswaage nach Abb. 14; innere Handhabe mit Ring, der in die Öse des im Balken gelagerten Zwischengliedes einfaßt (Foto: RLM Trier RE 87,215/2)

Abb. 19 Laufgewichtswaage nach Abb. 14; Lagerung des Zwischengelenks für die Handhabe an schneiderförmiger Achse im hohlen Waagebalken (Foto: RLM Trier RE 87,214/10)

angeht, ist – aus der gleichen Erwägung heraus, die bei der Schalenaufhängung geführt wurde – äußerst wahrscheinlich, daß die längliche Orientierung früher noch ausgeprägter gewesen ist als heute. Man darf also sagen, daß die Laufgewichtswaage des Rheinischen Landesmuseums, wenn nicht mit „regelrecht“ angeschärften Schneiden selbst, so doch zumindest mit einer Vorform davon ausgestattet war. Dadurch wurde die Reibung an der Hauptdrehachse, gegenüber anderen Ausführungsformen, nochmals deutlich reduziert. Durch die hier so gut wie ideal in einer Ebene verlaufende Achsenlinie wurde weiterhin erreicht, daß die ausgezeichnete Beweglichkeit zu einer sehr guten Empfindlichkeit führte, die auch unter stärkster Belastung kaum abfiel.

Zu bemerken ist noch, daß der Balken in Längsrichtung eine Art Nahtstelle hat, die genau in der Richtung verläuft, wo sich die längliche Öffnung für die innere Aufhängung befindet, vgl. Abb. 19. Zur Herstellungstechnik des Balkens läßt dies darauf schließen, daß er durch Schmieden aus einem Eisenklumpen oder einer bereits vorgeformten länglichen Platte gefertigt worden ist und nicht – wie von Mutz angegeben⁹⁰ – durch eine Gießtechnik⁹¹.

Versucht man nun, die rudimentäre eiserne Laufgewichtswaage mit hohlem Balken der gesamten Entwicklung dieser Geräte während der Zeit des Römischen Altertums zuzuordnen, bereitet dies keine Schwierigkeiten: Bei diesem singulären Stück ist die Aufhängung der Waagschale vom Prinzip her gleich und in der Ausführung ziemlich ähnlich wie bei denjenigen Laufgewichtswaagen gestaltet, für die Paret angenommen hat, daß sie in der Schweiz hergestellt wurden. Dies läßt den sicheren Schluß zu, daß die Trierer Waage mit ihnen in einer technologisch verwandten Beziehung gestanden hat. Möglicherweise kam sie aus derselben Werkstatt wie der Typus der Tuttlinger Waage. Ebenso gut konnte man sich diese an anderer Stelle als Muster genommen haben, um sie noch weiter zu entwickeln. Daß die Trierer Waage mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit deutlich später anzusetzen ist, darf dann noch aus ihrem ornamentartigen Abschluß, der in dieser Art ebenfalls einmalig ist, abgeleitet werden. Schließlich steht sie auch zu den Bronze-Waagen mit hohlem Balken in sehr enger Beziehung. Dies gilt nicht nur wegen des hohlen Balkens selbst, sondern auch hinsichtlich des um den Balken drehbaren Ringes, der ebenfalls in einer für diese Waagen typischen Quer-Riffelung ausgeführt ist. Die Elemente der konstruktiven Gestaltung der Trierer Waage aus Eisen erscheinen indessen deutlich weiter entwickelt als die der Bronze-Waagen.

Durch den Vergleich charakteristischer, übereinstimmender technischer Details ist somit als gesichert anzusehen, daß diese interessante Waage mit einigen anderen, die hier vorgestellt wurden, technisch verwandt ist. Und daraus läßt sich mit höchster Sicherheit

⁹⁰ Mutz, Römische Waagen und Gewichte (Anm. 2) 13 f.

⁹¹ Nach J. R. Maréchal, Zur Frühgeschichte der Metallurgie (Lammersdorf 1962) 112 und 116, konnte man das durch Holzkohle reduzierte Eisen, wegen der nur relativ niedrigen erreichbaren Temperaturen, im Frühstadium nur im festen Zustand gewinnen. Auch unter der späteren Verwendung von Gebläsen lag die Verhüttungstemperatur nicht viel höher als 1000° C. – Selbst A. Mutz, Die Kunst des Metaldrehens bei den Römern (Basel 1972) 11, gibt an, daß Eisenguß in Europa erst seit dem frühen 15. Jahrhundert möglich gewesen ist. Auch zu dieser Zeit mußte es noch problematisch erscheinen, Eisen in einer solch dünnen Schicht von etwa 2 mm wie bei der Trierer Laufgewichtswaage mit langem, hohlem Balken zu gießen.

folgen, daß sie noch in die Zeit des spätrömischen Altertums einzuordnen ist⁹². Wo allerdings ihre Fertigungsstelle gelegen hat, wird, wie auch für die anderen Instrumente ähnlicher Konstruktion, im Dunkel der abgelaufenen Geschichte bleiben.

Aber noch weitere Rückschlüsse lassen sich ziehen: Es dürfte kein Zweifel bestehen, daß die andersartige Gestaltung der Trierer Waage einen beträchtlichen Fortschritt in der technischen Entwicklung beinhaltet, insbesondere gegenüber denjenigen mit massivem eisernem Balken. Gegenüber den entsprechenden Bronze-Waagen – für welche die von Mutz angegebene Gießtechnik als wahrscheinlich anzusehen ist⁹³ – stellte die Ausführung des hohlen Balkens in Eisen einen weiteren Entwicklungsschritt dar⁹⁴. Das bedeutet also, daß die Trierer Waage deutlich später als einerseits die Laufgewichtswaagen mit massivem, aber auch als die Bronze-Waagen mit hohlem Balken einzustufen ist. Wenn für die beiden letztgenannten Gruppen eine Herstellungszeit zwischen etwa der Mitte des 2. und dem Ende des 3. Jahrhunderts angenommen werden darf⁹⁵ – ist die Trierer Laufgewichtswaage am meisten fortgeschritten und gehört daher in das 4. oder gar das 5. Jahrhundert n. Chr. – in die Zeit also, als Treveris bereits eine der vier Hauptstädte und Kaiserresidenz des Römischen Reiches war. Eine spätere Zeit, als dann bereits die Franken zu den Nachfolgern der Römer geworden waren, ist als kaum wahrscheinlich anzunehmen.

Fest steht auch, daß die zu der genannten Zeit erreichte Fertigungstechnik wieder verlorengegangen ist. So bleibt die Ausführung des hohlen Balkens mit den darin eingelassenen Lagerelementen ein Unikum, das bisher an noch keiner anderen Stelle nochmals angetroffen wurde. Sie mußte zu in jeder Hinsicht ausgezeichneten Wägeleistungen geführt haben. Und was die erstmalige Herstellung von Lagerelementen mit angeschärften Schneiden angeht, ist die bisherige Ansicht, dies sei erst in der Neuzeit erfolgt, zu revidieren: Wenn auch ohne kontinuierliche Fortsetzung und mit einer Unterbrechung von mehr als 1000 Jahren, ist den unbekanntenen Ingenieuren der Antike diese Priorität zuzuerkennen; in gleicher Weise gilt dies ja für viele andere, inzwischen aber wieder verlorengegangene Techniken. So darf die rudimentäre Laufgewichtswaage des Rheinischen Landesmuseums zu Trier als der im 4. oder 5. Jahrhundert erreichte Höhepunkt einer Entwicklung angesehen werden, die damit auch ihren Abschluß gefunden hat⁹⁶.

Der Verfasser dankt dem Rheinischen Landesmuseum zu Trier für die Erlaubnis, die dort befindlichen Laufgewichtswaagen vermessen zu dürfen.

⁹² Nach dem Ergebnis systematischer Untersuchungen an moderneren Waagen (s. H. R. Jenemann, Die langarmigen Präzisionswaagen im Liebig-Museum zu Gießen, Gießen 1988) ist es möglich, aus typischen übereinstimmenden Konstruktionsdetails sichere Rückschlüsse auf dieselben oder miteinander in Beziehung stehende Hersteller zu gewinnen – auch wenn diese nicht bekannt sind. Was Waagen aus der Antike angeht, weichen zu späterer Zeit gefertigte Instrumente von den hier behandelten, die gruppenmäßig als zusammengehörend zu betrachten sind, in so vielen wesentlichen Details voneinander ab, daß weder Zusammenhänge über die Hersteller noch über die Herstellungszeit bestehen können.

⁹³ Mutz, Römische Waagen und Gewichte (Anm. 2) 28–34, und Mutz, Metaldrehen (Anm. 91) 11. – Das Zulegen anderer Metalle, insbesondere bei der Bronze das Zinn, ggf. noch zusätzliche andere Elemente, verbessert die an sich schlechte Gießbarkeit des Kupfers beträchtlich.

⁹⁴ Zu früheren Zeiten sind technische Entwicklungen innerhalb beträchtlich längerer Zeiträume abgelaufen, als dies heute der Fall ist. Dies gilt auch für die Entwicklung der Waage.

⁹⁵ Paret (Anm. 62) – Lazzarini (Anm. 51).

⁹⁶ Von einer Reihe antiker Objekte, auch solchen, die nur rudimentär erhalten sind, wurden moderne funktionsfähige Reproduktionen angefertigt. Bei dem singulären Stück der Trierer Laufgewichtswaage wäre ein ebensolcher Nachbau sicherlich von großem Interesse.