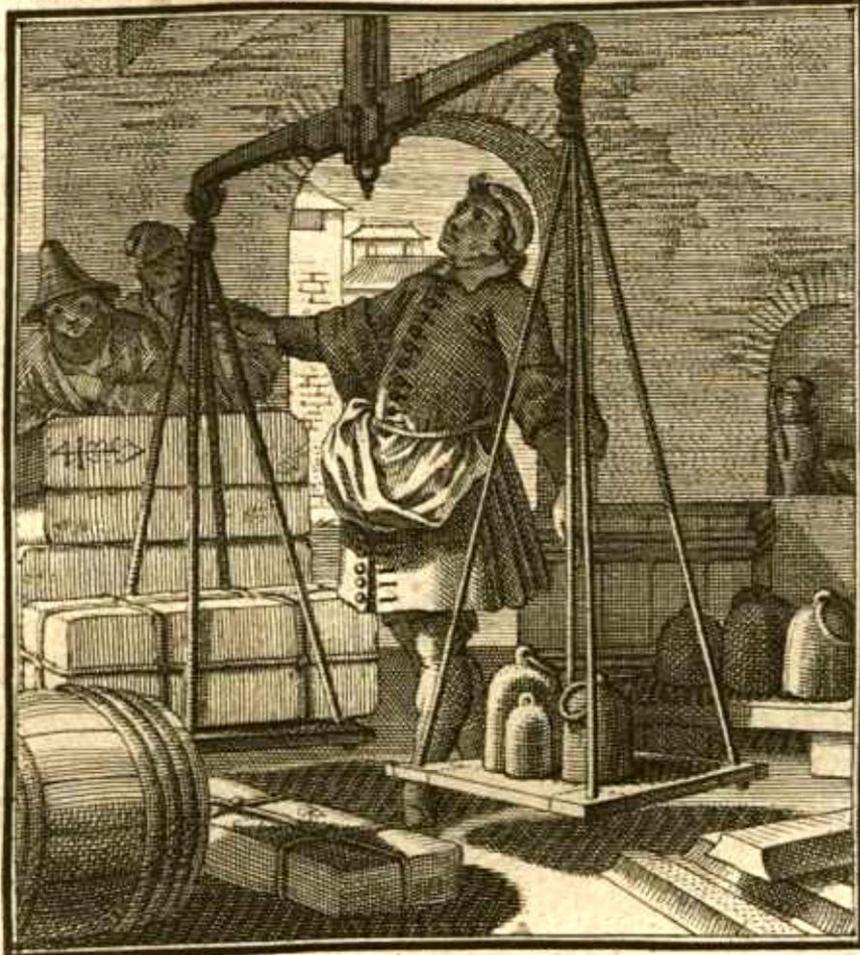


Klaus Schröter

Die Waage

Ein 5000 Jahre altes Kulturgut

*Der Waagemeister.
Wäget auff der Herkens-Wag, Dugend-Glück u. Laster Wag*



*Der Wahrheit muß geheiligt seyn
Die Freundschafts-Zung in allen Sache,
und keinen falschen Ausschlag machen,
wo Recht und Treu gilt allem.
Dann so kan man die Deuchler kennen
wann sie den Fehler Tugend nennen*

Der Wagmeister¹

*Wäget auff der Hertzens-Wag
Tugend-Glück u, Laster Plag*

*Die Wahrheit muß geheiligt seyn.
Die Freundschafts-Zung in allen Sachen
und keinen falschen Ausschlag machen
wo Recht und Treue gilt allein.
Dann so kan man die Heuchler kennen
wann sie den Fehler Tugend nennen.*

¹ Christoff Weigel, Kupferstich 1698, Gemein-Nützliche Hauptstände

Die Waage

Ein 5000 Jahre altes Kulturgut

Vorwort

Diese Betrachtung ist gedacht, interessierte Laien an das überaus komplexe Thema näher heranzuführen und nicht hohen wissenschaftlichen Ansprüchen zu genügen. Dabei soll die Geschichte der Balkenwaage in den Fokus gerückt werden. Weiter sollen Bau- und Funktionsweisen der wichtigsten anderen Waagentypen nicht unerwähnt bleiben.

Vor allem ist mir wichtig, die klassische Balkenwaage als Kulturgut darzustellen, das die Menschheit seit etwa 5000 Jahren begleitet und deren kulturelle und zivilisatorische Entwicklung vorangetrieben hat und nun dazu verurteilt ist, aus unserem Gedächtnis von modernen „Wägemaschinen“ verdrängt zu werden.

Ich möchte die Kommunen ermutigen, Wege zu finden, dieses Kulturgut den Bürgern noch intensiver nahe zu bringen. Das sollte vor allem in Schulen geschehen. Weiter bieten Heimatmuseen geeignete Bühnen, die heimatbezogene, historische Metrologie darzustellen.

Klaus Schröter
Schwelm, März 2021

Ludwig Wieprecht, Ellerhoop gilt besonderer Dank für seine Mitarbeit als Lektor. Er hat zahlreiche Textstellen bearbeitet und somit zur besseren Verständlichkeit beigetragen. Weiter haben seine Ergänzungen diese Betrachtung aufgewertet.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	5
2. Die Waage, ein Element unserer Kulturgeschichte	7
2.1. Die Entstehung der frühen Hochkulturen.	7
2.2 Die Geschichte der gleicharmigen Balkenwaage	9
2.3. Die Waage, ein Symbol für Recht und Gerechtigkeit	15
2.4. Waage und Weltanschauung	22
2.5. Waagen als Werkzeuge für Betrüger	24
2.6. Waage und Marktrecht	30
3. Die Waage, ein Messinstrument.....	31
3.1. Balkenwaagen	31
3.1.1. Gleicharmige Balkenwaagen	32
3.1.2. Ungleicharmige Balkenwaagen	38
3. 2. Neigungswaagen	48
3. 3. Federwaagen	51
3. 4. Brückenwaagen, insbesondere Dezimalwaagen	54
3.5. Substitutionswaagen.....	57
3.6. Elektromechanische Waagen	60
3.6.1. Elektromagnetische Kraftkompensationstechnik.....	60
3.6.2. Dehnmessstreifentechnik (DMS-Technik)	63
3.6.3 Schwingsaitentechnik.....	67
4. Schlussbetrachtung	68
5. Der Verein „Maß und Gewicht“	72

1. Einleitung

Ich wage einen Rückblick auf den Weg, auf dem die Waage uns Menschen in den vergangenen 5000 Jahren begleitet hat und - wo auch immer - zur kulturellen und zivilisatorischen Entwicklung beitrug. Wie hoch ihr Ansehen war und noch ist, erkennt man daran, dass sie bis in die Gegenwart das Symbol für Gerechtigkeit und Recht ist.

Zur Einstimmung zeige ich eine typische Waage, wie sie etwa um 1700 bei uns in allen Krämerläden, auf den Märkten aber auch in den Haushalten wohlhabender Familien anzutreffen waren. Der Zeichner Jacob Leupold bezeichnete sie 1726 als Cramer-Waage.



„Die Cramer-Waage“

Die klassischen Waagen - wie diese beiden Balkenwaagen aus dem 20. Jahrhundert - rücken allmählich aus unserem Blickfeld.



Unterschälige Balkenwaage
Sammlung Klaus Schröter



Oberschalige Balkenwaage
Sammlung Klaus Schröter

Wo wird noch etwas mit Gewichten² auf einer Balkenwaage abgewogen? Vielleicht noch hier und da auf einem Wochenmarkt. Im privaten Bereich sind sie schon lange verschwunden oder zieren vielleicht noch als Dekoration die eine oder andere Fensterbank.

In Supermärkten verwendet man heute „Wägemaschinen“, die mit nichts mehr an eine klassische Waage erinnern. Scannerkassen liefern den Kassenzettel für unverpackte Waren, nachdem integrierte elektronische³ Wagen das Gewicht der Ware erkannt haben. Die meisten Lebensmittel sind aber bereits fertig verpackt, und auf den Etiketten finden wir das Gewicht des Inhalts und den Preis.

Genießen wir den Fortschritt!

Aber gerät dadurch nicht ein 5000 Jahre altes Kulturgut in Vergessenheit? Wissen Kinder noch, was ein Gewichtsstein ist, welche Arten von Waagen es gibt und wie sie funktionieren?



² Physikalisch sind die Bezeichnungen „Gewicht“, „Gewichtsstück“ oder „-stein“ nicht richtig. Auf die Verwendung der korrekten Bezeichnung „Wägestück“ wird in dieser Betrachtung allerdings verzichtet, da dieser Begriff im allgemeinen Sprachgebrauch bis jetzt noch nicht geläufig ist.

³ Der Begriff „elektronische“ Waagen ist zwar gebräuchlich, aber die bessere Bezeichnung wäre „elektrodynamische“ Wagen. Dazu später mehr im Kapitel 3.6. ab Seite 60.

2. Die Waage, ein Element unserer Kulturgeschichte

Unsere kulturelle Entwicklung in Handel, Wissenschaft und Technik begann in der Jungsteinzeit, als die Menschen nicht mehr jagten und sammelten, sondern sesshaft Landwirtschaft betrieben und gelernt hatten, zu zählen, zu messen, zu wiegen und sich in größeren Ansiedlungen zu organisieren. Hieraus entwickelten sich in geeigneten Regionen Hochkulturen.

2.1. Die Entstehung der frühen Hochkulturen.



Jäger und Sammler in der Steinzeit



Ackerbau in der Jungsteinzeit

Es war ein langer Weg, den die Menschheit bis zur Sesshaftigkeit zurücklegte. Dieser Prozess begann vor etwa 12.000 Jahren im Neolithikum (Jungsteinzeit, frühe Bronzezeit) in fruchtbaren und klimatisch geeigneten Gebieten, wo Landwirtschaft betrieben werden konnte. Die Menschen lebten anfänglich in großfamiliären Verbänden. Es entstanden dorffähnliche Siedlungen, in denen sich allmählich der Handel entwickelte, der durch Überwindung der Verwandtschaftsgrenzen an Bedeutung gewann. Anfänglich tauschte man Lebensmittel und Kleidung, Werkzeuge und Dienstleistungen. Spätestens nach der Einführung des Geldwesens aber wurde es notwendig, nicht nur zu zählen und zu messen, sondern auch zu wiegen. Waagen und standardisierte Gewichte gehörten in den alten Kulturregionen etwa seit 3000 v. Chr. zum täglichen Leben. Längenmaße und Hohlmaße waren wesentlich früher bekannt.

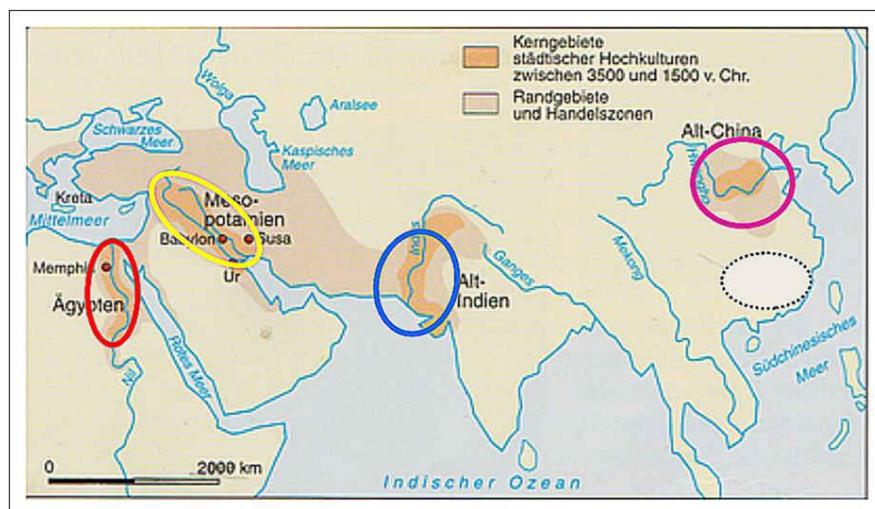
An Handelsrouten bildeten sich Städte, in denen Gesellschaftsordnungen entstanden, die das Zusammenleben der Menschen organisierten. Es waren die Keimzellen von sogenannten Hochkulturen. Als Hochkultur wird in der Geschichtswissenschaft eine frühe Gesellschaftsordnung bezeichnet, die sich u. a. durch folgende Merkmale auszeichnet:⁴

⁴ [https://de.wikipedia.org/wiki/Hochkultur-\(Geschichtswissenschaft\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Hochkultur-(Geschichtswissenschaft))

- Landwirtschaft (Ackerbau, Viehhaltung, Vorratshaltung)
- Stadtgründungen (kulturelle Zentren, Verwaltung, Rechtsprechung)
- Arbeitsteilung (Spezialisierung, Handwerk, Berufe)
- Schulen (Schrift, Zahlen, Wissenschaften, Astronomie, Mathematik)
- Kunst (Musik, Malerei, Architektur)
- Bauwesen (Gebäude, Straßen, Brücken)
- Handel u. Geldwesen (Verkehr, Marktwesen, geregelter Warenaustausch)
- Messwesen (staatlich überwachte Maß- und Gewichtsstandards)

Frühe Hochkulturen entstanden in der Zeit zwischen 3500 und 1500 v. Chr. in den fruchtbaren Tälern großer Flüsse:

- die mesopotamische Kultur an Euphrat und Tigris, ○
- die ägyptische Kultur am Nil, ○
- die Harappa-Kultur am Indus ○ und schließlich
- die chinesischen Kulturen am Gelben Fluss ○ und am Yangzi ⁵ ⋯



Flüsse waren aber keine zwingende Voraussetzung für die Entstehung von Hochkulturen. So entwickelten sich beispielsweise die präkolumbianischen amerikanischen Hochkulturen - zwar wesentlich später - nicht in Gebieten großer Flüsse sondern die der Mayas in den Urwäldern Guatemalas, der Azteken auf den wüstenähnlichen Hochebenen Mexikos oder der Inkas in den unzugänglichen Andenregionen Perus.

⁵ Kai Vogelsang, Geschichte Chinas, Reclam Verlag 2013, S. 99

Nach heutigen Erkenntnissen entwickelte sich unser Messwesen in den Gebieten des östlichen Mittelmeerraums und des Nahen Ostens. Es ist zu vermuten, dass sich etwa zeitgleich auch in den östlichen Kulturzentren (China, Indien) Ähnliches entwickelte. Einige Kulturhistoriker begründen diese Tatsache damit, dass sehr frühe Ost-West-Handelsbeziehungen dafür verantwortlich sein könnten.

Durch den aufblühenden Handel im östlichen Mittelmeerraum gelangte das Wissen über Maß, Waage und Gewicht über Kleinasien zunächst nach Griechenland und dann nach Rom. Die Römer schließlich verhalfen mit der Einführung ihres Messwesens in den von ihnen eroberten Regionen nördlich der Alpen der Waage zu größerer Bedeutung. Zunächst galten hier einheitlich römische Maße und Gewichte. Durch den späteren Zerfall des Römischen Reiches, die Völkerwanderung und die damit verbundenen germanischen Reichsgründungen entstanden territorial unterschiedliche Maße und Gewichte. Auf die Folgen dieser Entwicklung wird hier verzichtet, denn Konstruktion und Anwendung der Waage wurden hiervon nicht beeinflusst.

2.2 Die Geschichte der gleicharmigen Balkenwaage



Die gleicharmige Balkenwaage ist die älteste Form der Waage. Entstanden ist sie wohl aus den Erkenntnissen, die die Menschen bereits vor Urzeiten beim Tragen von Lasten gewonnen haben: das Gefühl für Gleichgewicht.

Seit 5000 Jahren kennt die Menschheit die Waage!
Stimmt diese Behauptung?

Auf diese Frage wird man unterschiedliche Antworten erhalten. So kam beispielsweise K. E. Haeberle in seinem Buch „Zehntausend Jahre Waage“⁶ unter Berufung auf den englischen Ägyptologen und Archäologen Petrie zu der Behauptung, dass Waagen und Gewichte bereits etwa ab 8000 v. Chr. existierten. Diese Auffassung ist falsch und wurde leider mehrfach auch von anderen Autoren übernommen, ohne dass diese ein eigenes gründliches Quellenstudium durchführten. Anerkannte Geschichtswissenschaftler und Metrologen wie Hans R. Jenemann⁷ und andere bezweifelten allerdings Haeberles Interpretationen.

⁶ K. E. Haeberle, 10 000 Jahre Waage – Aus der Entwicklungsgeschichte der Wägetechnik, Balingen 1966

⁷ Hans R. Jenemann, Zehntausend Jahre Waage?, in: Maß und Gewicht ,16/1990, S. 470-487

Der Engländer Flinders Petrie (1853 - 1942) brachte einen Waagebalken aus rötlichem Kalkstein von seinen zahlreichen Forschungsreisen aus Ägypten mit nach England. Er behauptete, dieser Waagebalken stamme aus der Zeit um 8000 bis 7000 v. Chr. Petrie konnte diese Behauptung jedoch nie beweisen.



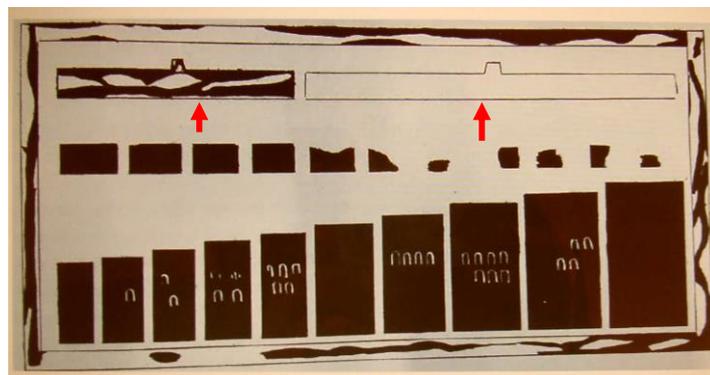
Petrie's Waagebalken aus Kalkstein
Britischen Museum, London



Flinders Petrie

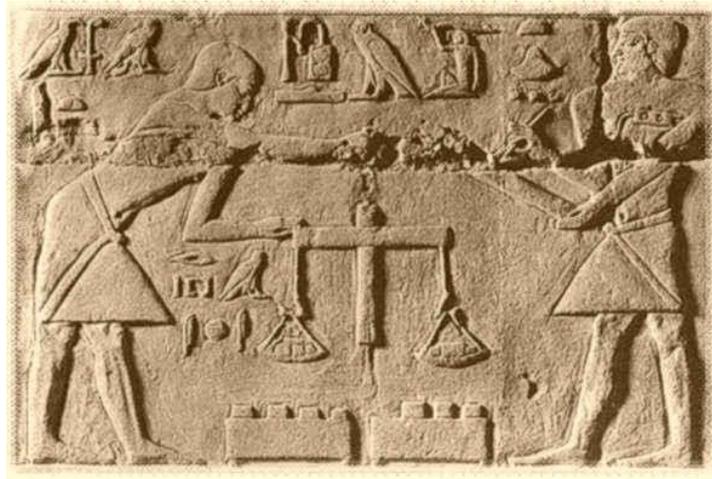
Den Waagebalken erhielt Petrie angeblich von einem „Antiquitätenhändler“, der über den Fundort nichts sagen konnte - es sollte sich um ein Grab aus der Zeit um 7000 v. Chr. handeln. Man fand jedoch bis heute keine Gewichte aus dieser Zeit und keine weiteren Waagen oder Teile davon. Der Petrie-Waagebalken stammt bestenfalls aus der frühen Bronzezeit (3000 bis 2500 v. Chr.).

Die ältesten bekannten Abbildungen von Waagebalken mit Gewichten stammen aus dem Grab des Hesy-re, eines hohen ägyptischen Beamten aus der Zeit um 2650 v. Chr. Der Form nach erinnern die gezeichneten Waagebalken stark an die Form der Petrie-Waage. Das ist ein Hinweis darauf, dass der Waagebalken Petries nicht aus der Zeit um 7000 v. Chr. sondern wesentlich später aus der Zeit um 2500 v. Chr. stammt.



Kopie einer Wandzeichnung aus dem Grab des Hesy-re,
deutlich zu erkennen zwei Waagebalken und Gewichte⁸

⁸ Hans R. Jenemann, Zehntausend Jahre Waage?, in: Maß und Gewicht ,16/1990, S. 470-487



Ägyptisches Relief aus der Zeit um 2500 v. Chr.
Wägeszene mit einer gleicharmigen Balkenwaage. Der Balken erinnert an die Petrie-Waage.

The Oriental Institute of The University of Chicago

Es ist sicher belegbar, dass die Existenz von Waagen und Gewichten in Ägypten sich nicht früher als auf die Zeit um 3000 bis 2500 v. Chr. zurückdatieren lässt. Weitere zuverlässige Hinweise auf die Existenz von weiterentwickelten Balkenwaagen aus der frühen Bronzezeit liefert beispielsweise dieses ägyptische Steinrelief im Tempel Kom Ombo aus der Zeit um 2100 v. Chr.



Kopie eines ägyptischen Reliefs aus der Zeit um 2200 v. Chr.



Tiergewicht aus Bronze aus der Zeit um 2500 v. Chr.

Auch in anderen Regionen findet man die ersten Hinweise auf Waagen nicht früher als aus der Zeit nach etwa 2500 v. Chr.



Hethiter mit Waage,
Kleinasien (etwa 900 v. Chr.)
Louvre, Paris



Assyrien, Relief um 870 v. Chr.
Britisches Museum, London



Aus Griechenland sind zahlreiche Abbildungen von gleicharmigen Balkenwaagen auf Keramiken bekannt.

Dieser Krug entstand um etwa 500 v. Chr.⁹

Nach dem heutigen Kenntnisstand ist ebenfalls belegbar, dass sich auch in anderen Regionen die Existenz von Waagen auf nicht früher als etwa 3000 v. Chr. zurückdatieren lässt. Das weiß man deshalb so genau, weil die organischen Stoffe aus der direkten Umgebung der ältesten Gewichte - egal aus welcher Region sie stammen - nach der C^{14} -Methode keine frühere Datierung zulassen. Die Gewichte sind aus Stein und unterlagen über Jahrtausende keinem Verrottungsprozess. Bei den ersten Waagen war das anders. Sie bestanden wahrscheinlich aus organischen Stoffen wie Holz, Bein und Naturfasern und waren somit dem natürlichen Zerfall ausgesetzt. Die gewerbsmäßige Herstellung von Waagebalken und Schalen aus beständiger Bronze dürfte nicht wesentlich früher als 2500 v. Chr. im Vorderen Orient begonnen haben.

⁹ Vgl. Detlef Scheidt, Maß und Gewicht bei den alten Kulturvölkern - Ursprung und Bedeutung der Waage, BTE, Ingolstadt und Bremen 1997



Mesopotamien um 2030 v. Chr.
Gewicht aus Diurit

prähistorische-archaeologie.de / Louvre, Paris



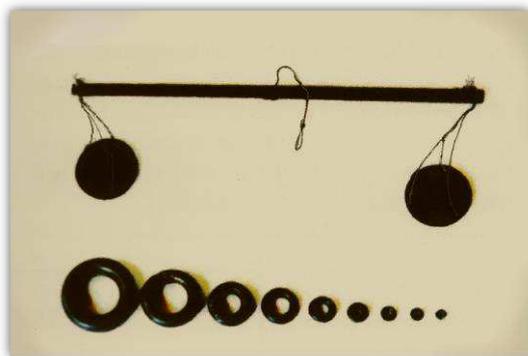
Ägypten / Mesopotamien
Steingewichte aus Hämatit und Basalt
2000 bis 500 v. Chr.

Pfundsmuseum, Kleinsassen, Rhön

Was geschah in den frühen Hochkulturen Chinas?

Dort ist die Waage ebenfalls erst seit etwa 2500 v. Chr. bekannt. Das geht aus dem sogenannten Shang-Shu-Buch hervor - dem Buch der Geschichte. Diese Schrift stammt aus der Zeit der Xia-Dynastie (2200 bis 1800 v. Chr.). Dort heißt es beispielsweise: „Wenn man mit Shi und Jun wiegt, sind die Speicher des Königshofs gefüllt“. Das heißt, wenn gewogen wurde, muss es auch Waagen gegeben haben! Quellen aus früheren Zeiten, die die Existenz von Waagen belegen könnten, sind bisher nicht bekannt.

Die konkreten Formen der frühen Waagen aus der Xia-Dynastie sind uns ebenfalls nicht bekannt. Es gibt weder Beschreibungen noch Artefakte. Sehr wahrscheinlich handelte es sich anfänglich nicht um Balkenwaagen aus beständiger Bronze, von denen es jedoch aus späteren Zeiten - etwa ab der Zeit um 500 v. Chr. - zahlreiche Funde gibt.



Kleine gleicharmige Balkenwaage aus Bronze mit neun ringförmigen Bronzege-
wichten aus der Zhanguo-Periode (453 bis
221 v. Chr.)

Ob die im frühen China vorhandenen Kenntnisse über Waagen die Entwicklung der Völker im Westen (Babylonien und Ägypten) beeinflusst haben oder auch umgekehrt, ist möglich, aber bis jetzt nicht eindeutig nachweisbar.

Im Nordwesten Indiens befand sich das Zentrum der Harappa-Kultur. Dort fand man in der Indus-Region aus der Zeit zwischen 2600 und 1900 v. Chr. zahlreiche Gewichte aus beständigem Gestein (Achat, Granit). Weiter wurden ein Waagbalken und einige Waagschalen aus Bronze gefunden. Die Steingewichte weisen eine große Genauigkeit auf und beziehen sich auf einen Standard von 13,7 g. Somit zeigt sich, dass in der Indus-Kultur etwa ab der Mitte des 3. Jahrtausends v. Chr. die Waage bekannt war¹⁰.



Würfelgewichte der Harappa-Kultur (2600 – 1900 v. Chr.)
©Museum of Fine Arts, Boston¹¹

Zurück in den Nahen Osten und nach Europa.



Fragmente einer bronzenen römisch-byzantinischen
Balkenwaage aus der Zeit um 50 n. Chr.¹²



Römische gleicharmige Balkenwaage
aus Bronze (um 90 n. Chr.)
Die Waage wurde im Raum Heidelberg gefunden¹³.

¹⁰ Jochen Büttner, Waage und Wandel – Wie das Wiegen die Bronzezeit prägt, in: Gerd Graßhoff and Michael Meyer (Eds.), Innovationen der Antike, Mainz: Philipp von Zabern, 2018, 60–78

¹¹ siehe Fußnote 10

¹² Auktionskatalog Münzenhandlung G. Hirsch Nachfolger, München

¹³ Kurpfälzisches Museum, Heidelberg

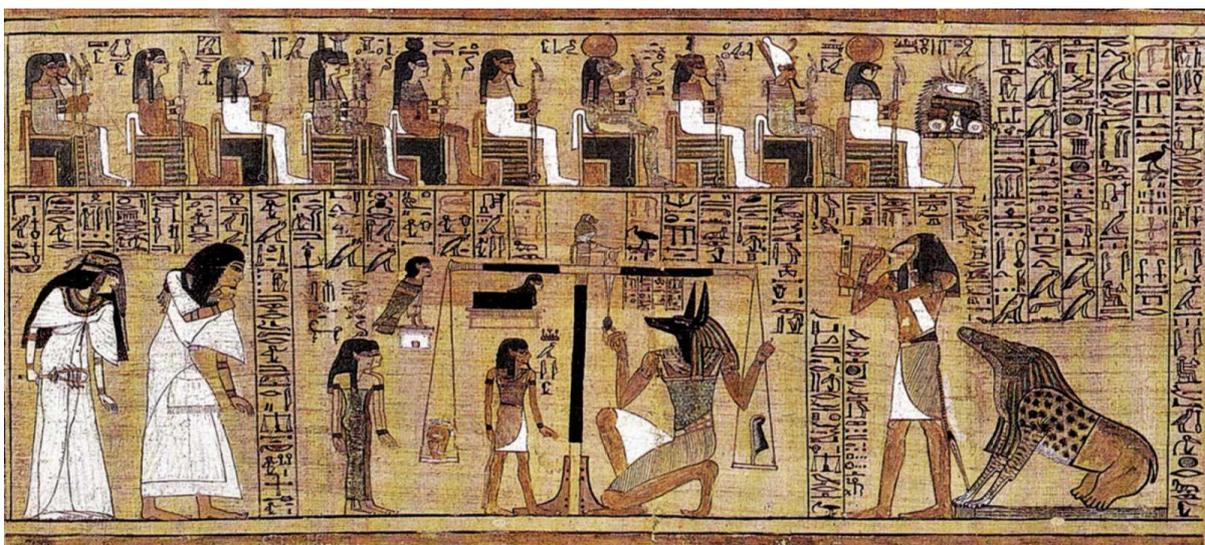
Fazit:

Die ersten gleicharmigen Balkenwaagen entstanden nicht früher als etwa um 3000 v. Chr. Das erzählen uns alte Abbildungen und Steinreliefs in Ägypten und Babylonien sowie alte chinesische Schriften. Auch Funde von Steingewichten, die eindeutig für die Existenz von Waagen sprechen, lassen sich nicht früher als 3000 v. Chr. einordnen. Bisher wurden keine Waagebalken und Schalen oder Reste hiervon aus dieser frühen Zeit gefunden. Das heißt aber nicht, dass sie nicht existiert haben. Im Gegensatz zu Steingewichten haben sie nur nicht die lange Zeit aufgrund ihrer Beschaffenheit aus organischen Stoffen überlebt. Die ältesten archäologischen Funde von Waagen aus Bronze stammen aus der Zeit nach 2000 v. Chr.

2.3. Die Waage, ein Symbol für Recht und Gerechtigkeit

Seit eh und je ist die gleicharmige Balkenwaage das Symbol für Gerechtigkeit, Ausgewogenheit, Wahrheit und Neutralität - im Mittelalter auch für Not und Tod.

In der ägyptischen Mythologie wurde das Herz eines Verstorbenen gegen die Feder der Göttin Maat aufgewogen. Diese Feder war das Symbol für Wahrheit und Gerechtigkeit. War sein Herz schwerer als die Feder, dann starb der Tote einen zweiten, endgültigen Tod. War sein Herz leichter oder zumindest genauso leicht, dann durfte er aufwachen und weiterleben.



Das Totengericht
Papyrus aus der Zeit um 1280 v. Chr.

Britisches Museum, London

Im Mittelalter und zu Beginn der Neuzeit entstanden in Europa zahlreiche Gemälde und Stiche, in denen die gleicharmige Waage ebenfalls als Symbol für Gerechtigkeit dargestellt ist, wie beispielsweise im „Jüngsten Gericht“ von Rogier van der Weyden aus der Zeit um 1450. In der Bildmitte prüft der Erzengel Michael an der Himmelspforte die Seelen der Verstorbenen.



„Das Jüngste Gericht“

Ausschnitt aus dem Polyptychon von van der Weyden aus dem Hôtel-Dieu von 1443, einem ehemaligen Krankenhaus in Beaune/Frankreich.

Die vier apokalyptischen Reiter zählen zu den symbolträchtigsten Wesen des Mittelalters. Sie werden im 6. Kapitel der Offenbarung des Johannes erwähnt und galten als Boten der nahenden Apokalypse, des Jüngsten Gerichts.



Die vier apokalyptischen Reiter^{14, 15, 16}

Das schwarze Pferd symbolisiert Plagen, Hunger und Tod. Sein Reiter trägt eine Waage als Symbol für kommende Notzeiten (Nahrungsmangel, Teuerung, Inflation und Hunger)

*[...] Und als es das dritte Siegel auftrat, hörte ich die dritte Gestalt sagen: Komm! Und ich sah [...] ein schwarzes Pferd. Und der darauf saß, hatte eine Waage in seiner Hand. Und ich hörte eine Stimme mitten unter den vier Gestalten sagen: Ein Maß Weizen für einen Silbergroschen und drei Maß Gerste für einen Silbergroschen; [...]*¹⁷

¹⁴ https://de.wikipedia.org/wiki/Apokalyptische_Reiter

¹⁵ Marie-Madeleine Davy: Initiation à la Symbolique Romane Flammarion 1977, coll. Champs 1999

¹⁶ Diese Abbildungen stammen aus Beatus-Handschriften, die in der Zeit um 900 bis 1100 n. Chr. in Nordspanien entstanden.

¹⁷ Bibel, Neues Testament, Auszug aus der Offenbarung des Johannes, Kapitel 6, Verse 5 und 6

Der Sachsenspiegel galt im Mittelalter im deutschsprachigen Raum allgemein als Gesetzbuch. Da die Gesetzestexte nur von Wenigen gelesen werden konnten, war der Inhalt in einer sogenannten Bilderhandschrift dargestellt. Die folgenden zwei Abbildungen zeigen recht einleuchtende Beispiele, bei der Waagen eine entscheidende Rolle spielen.



Links: Einem Betrüger werden wegen falscher Gewichte die Haare abgeschnitten.
 Rechts: Die Auszahlung des Erbes an den Sohn durch den Vater hatte gerecht zu erfolgen.

Auch in der römischen Rechtsprechung hatte die Waage als Symbol für Gerechtigkeit eine große Bedeutung. Die Göttin Aequitas verkörperte im alten Rom Gleichheit, Gleichmaß, Gelassenheit, Gleichmut und im römischen Recht ganz allgemein Gerechtigkeit. Man findet sie beispielsweise mit einer Waage auf der Rückseite von Münzen der römischen Republik aus der Zeit ab der Mitte des 1. Jahrhunderts n. Chr.



Im Römischen Reich durften zur Unterbindung von Betrügereien kleine Waagen nur mit Daumen und Zeigefinger gehalten werden¹⁸.



Die Aequitas hält hier die Waage richtig mit Daumen und Zeigefinger und verkörpert somit römisches Recht.

Die Justitia stammt wie die Aequitas auch aus der römischen Mythologie und verkörpert ebenfalls die Gerechtigkeit. Sie erlangte im vorchristlichen Rom allerdings nicht die Bedeutung, die sie später etwa ab dem 15. Jahrhundert bis in unsere Gegenwart erlangte. Sie ist heute Sinnbild für das Rechtswesen.



Die Justitia von Maarten van Heemskerck, 1556

Die Augenbinde bedeutet, dass ohne Ansehen der Person Recht gesprochen werden soll; die Waage bedeutet, dass ein Urteil nur nach sorgfältiger Abwägung der Sachlage gefällt werden darf und schließlich verkörpert das Richtschwert, dass Urteile konsequent durchgesetzt werden sollen.

¹⁸ Auskunft von Klaus Weber, Ebersberg



Statue der Justitia am Hamburger Strafjustizgebäude¹⁹.



Diese Statuette stellt die Göttin Justitia dar.

Die Symbolkraft der Waage findet sehr oft auch auf Münzen, Briefmarken und Banknoten ihren Niederschlag.



Mexiko 1875



Mexico 1979



Somalia 2011



Ghana 2007

¹⁹ bildarchiv-hamburg.com



Bavaria mit Waage
Bayerische Banknote vom 1. Januar 1900

Waagen in Stadtwappen haben ihren Ursprung im Mittelalter. Sie symbolisieren das Marktrecht, das den Städten durch Erlass der Lehnsherren übertragen wurde. Hier sind einige Beispiele.



Seifhennersdorf
Sachsen



Oberhaid
Westerwald



Hemmoor
Niedersachsen



Schlüchtern
Hessen



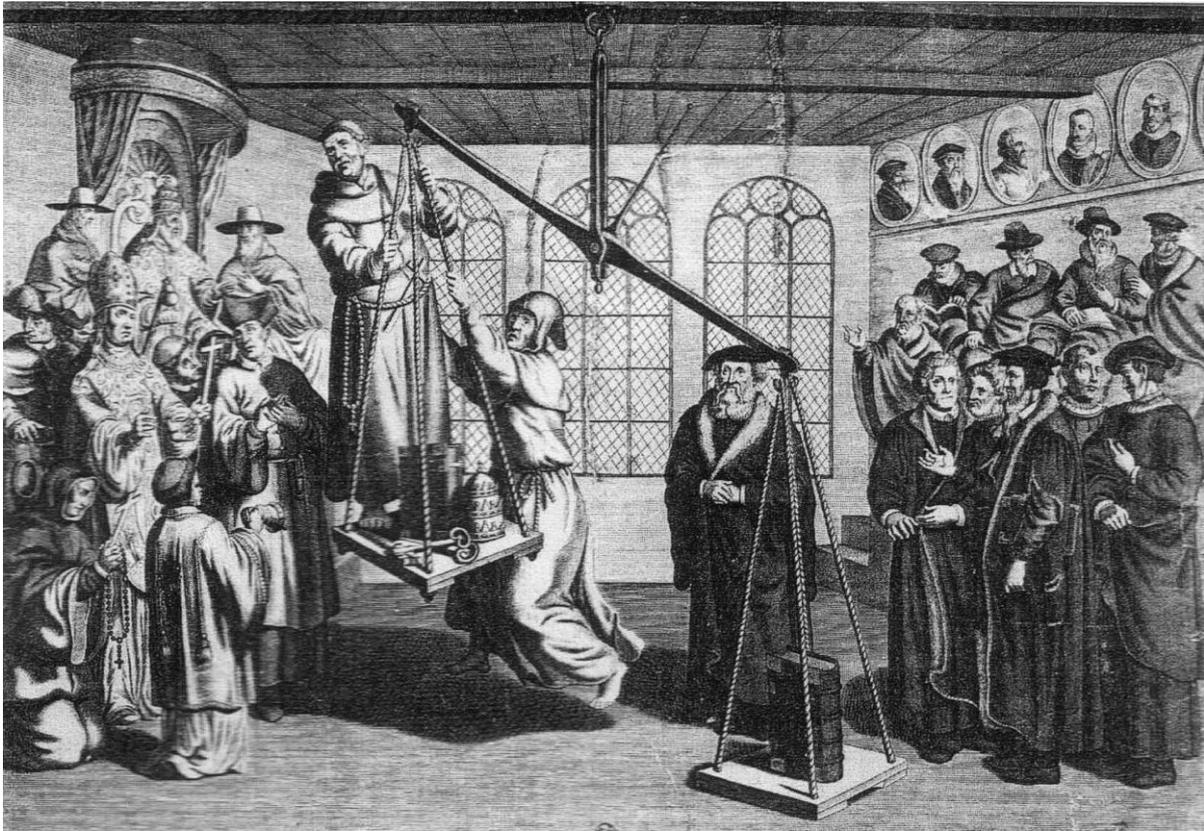
Wilthen
Sachsen

Oft findet man in Stadtwappen auch die Justitia, manchmal auch in Gestalt eines Engels. Das bedeutet, dass der Stadt als besonders hochrangiges Privileg das der Rechtsprechung übertragen wurde.

2.4. Waage und Weltanschauung

Im Deutschen Hugenottenmuseum in Bad Karlshafen wird ein Kupferstich aus dem Jahre 1638 mit dem Titel „Die Waage der Religion“ gezeigt. Dieser Stich macht eine recht provokante Aussage.

Die Reformatoren Calvin und Luther beobachten eine Szene an einer großen gleicharmigen Balkenwaage. Ein katholischer Priester wird gegen die Lutherbibel gewogen.



Die Waage der Religionen²⁰

Ein zweiter Priester zerrt an der Waage. Sowohl er als auch die zusätzlichen Gegenstände aus Gold und Silber auf der linken Waagschale vermögen nicht, die Waage zugunsten des Klerus ausschlagen zu lassen. Na ja, es herrschte Religionskrieg.

Bei den Hexenprozessen spielte die Waage eine große Rolle. Um eine Frau der Hexerei zu überführen, wurde sie beispielsweise gegen ein vorher willkürlich festgesetztes Gewicht gewogen. Wenn sie weniger wog, war es klar, dass sie eine Hexe war. Sollte sie aber mehr wiegen, dann wurde sie beschuldigt, dass sie mit Hilfe des Teufels die Waage verhext habe.

In einigen aufgeklärten Regionen Europas konnten sich Beschuldigte ein entlastendes Gutachten über ein normales menschliches Gewicht beschaffen. Diese Gutachten wurden meist von den Gerichten anerkannt.

Oudewater - eine kleine Stadt in den Niederlanden - war privilegiert, solche Gutachten zu erstellen. So reisten im 17. Jahrhundert der Hexerei beschuldigte Frauen aus dem ganzen Deutschen Reich, wenn sie die Möglichkeit dazu hatten, nach Oudewater, um sich dort bestätigen zu lassen, dass ihr Körpergewicht be-

²⁰ Deutsches Hugenottenmuseum, Bad Karlshafen

zogen auf Alter und Körpergröße normal sei. Somit verfügte Oudewater lange Zeit über eine hervorragende Einnahmequelle²¹.



Diese Abbildung erschien 1884 in einer deutschen Familienzeitschrift und ist eine Kopie des Original-Holzstichs von Fritz Bergen.

2.5. Waagen als Werkzeuge für Betrüger

Seit eh und je versuchte man beim Handel zu betrügen. Das war früher nicht anders als heute, obwohl in alten Schriften immer wieder dazu aufgefordert wurde, korrekt mit Maßen, Gewichten und Waagen zu verfahren, wie folgende Beispiele bezeugen.

Bibel, Altes Testament (3. Moses 19 / Verse 35 und 36):

*„Ihr sollt nicht unrecht handeln im Gericht,
mit der Elle, mit Gewicht, mit Maß“*

*„Rechte Waage, rechtes Gewicht, rechter Scheffel
und rechte Kannen sollen bei euch sein“.*

²¹ Vgl. Wilhelm Gottlieb Soldan, Geschichte der Hexenprozesse, Stuttgart 1843

In Sure 26 des Korans lauten die Verse 182 und 183:

„Und wiegt mit richtiger Waage!

*Und betrügt die Leute nicht um ihr Vermögen
und stiftet auf Erden kein Unheil und Verderben!“*

Rabbi Schimon ben Gamliel gibt um 150 n. Chr. folgenden Rat:

*„Der Krämer reinige seine Maße zweimal in der Woche,
reibe seine Gewichte einmal in der Woche ab
und reinige die Waage vor jedem Wiegen“.*

Heimatkunde-Schweim.de Skrupellose Kaufleute ließen sich allerdings von solchen Ratschlägen nicht beeinflussen. Sie erkannten recht bald, dass sie schneller zu Wohlstand gelangten, wenn sie Maße, Waagen und Gewichte in ihrem Sinne anwendeten. Dabei kam ihnen die Unwissenheit in der Bevölkerung im Umgang mit Waage und Gewicht gerade recht.



Die kritische Abbildung aus dem 19. Jahrhundert bringt die Misere recht deutlich zum Ausdruck²²:

Ein Händler kauft bei einem Bauernweib Federn. Da gerade keine Gewichte vorhanden sind, legt er seine Hand in die Waagschale und sagt: „Wir brauchen keine Gewichte, meine Faust wiegt gerade ein Pfund.“

²² <https://prometheus-bildarchiv.de>

Waage und Münzwesen

Münzen bestanden in früheren Zeiten aus wertvollen Metallen wie Gold und Silber. Das rief Betrüger auf den Plan. Hier wurde ein Stückchen abgeschnitten und dort ein wenig abgefeilt. Das fiel kaum auf, denn ob die Masse der Münzen dem Standard entsprachen, konnte nur mit empfindlichen Waagen, speziellen Münzwaagen (Goldwaagen) und entsprechenden Münzgewichten überprüft werden.



Kölner Münzwaage von 1651²³

Lange Zeit war der einfachen Bevölkerung der Gebrauch, ja sogar der Besitz von Münzwaagen verboten. Nur Finanzbeamte, privilegierte Großkaufleute und Geldwechsler durften Münzen mit der Waage überprüfen.



„Der Geldwechsler und seine Frau“²⁴

²³ Staatliche Kunstsammlung Dresden, Mathematisch-Physikalischer Salon

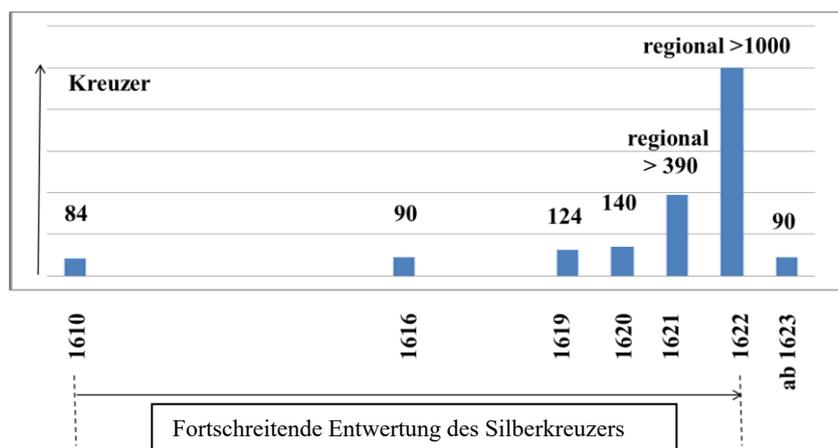
²⁴ Gemälde von Marinus van Reymerswaele, 17. Jahrhundert

Auf Gold- bzw. Münzwaagen will ich hier nicht näher eingehen. Das Thema ist so komplex, dass es den Rahmen dieser Betrachtung sprengen würde. Ich verweise auf zahlreiche Veröffentlichungen beispielsweise in „Maß und Gewicht, Zeitschrift für Metrologie“.

Das Unwesen der „Kipper und Wipper“

Wegen der wachsenden Nachfrage stieg ab etwa der Mitte des 15. Jahrhunderts in Europa der Silberpreis. Als dann noch die Silbergewinnung ab etwa 1560 in den wichtigsten deutschen Produktionsstätten im Harz, im Erzgebirge und in Tirol zurückging, stieg der Silberpreis im Deutschen Reich so stark an, dass der Materialwert der Silbermünzen höher war als ihr Nennwert. Dadurch entstand zu Anfang des 17. Jahrhunderts ein galoppierender Wertverlust des Kreuzers²⁵. Das war der Beginn einer der schwersten Geldkrisen in Europa. Verlierer der Krise waren wie immer all diejenigen, die an den aufgeprägten Nominalwert der Kleinmünzen glaubten. Gewinne hingegen machten Münzherren, Spekulanten und Münzfälscher, die „Kipper und Wipper“, wie die Münzfälscher damals genannt wurden. Diese Münzverbrecher suchten mit ihren empfindlichen Münzwaagen aus den im täglichen Geldverkehr umlaufenden Münzen gute, schwere Silberkreuzer heraus und verkauften sie trotz Verbots ins Ausland oder brachten sie nach dem Umschmelzen mit höherem Kupferanteil wieder in Umlauf.

Die Graphik zeigt die Entwertung des Silberkreuzers durch immer höheren Kupferanteil gegenüber dem Reichstaler aus reinem Silber:



²⁵ Der Kreuzer war in der Zeit des Dreißigjährigen Krieges die wichtigste Münze im täglichen Zahlungsverkehr

Ein sogenannter guter Reichstaler aus Silber hatte um 1610 den Wert von 84 Kreuzern. Dagegen musste man 1622 in manchen deutschen Regionen tausend und mehr Kreuzer für einen guten Reichstaler hinlegen²⁶.

Der lautmalerische Doppelbegriff „Kipper und Wipper“ beruht auf dem Wippen der Waagbalken und dem Aussortieren (altdeutsch: Kippen) der besseren Münzen aus dem Geldumlauf.



Werkstatt eines Kippers und Wippers²⁷

Eine weitere „Einnahmequelle“ bestand darin, dass vollwertige Münzen an den Rändern durch Beschneiden etwas „erleichtert“ wurden. Auch das gehörte zum Handwerk der Kipper und Wipper.



Vorder- und Rückseite eines beschneiten Prager Silbergroshens, bei dem die Randbeschriftung teilweise fehlt²⁸.

²⁶ https://de.wikipedia.org/wiki/Kipper-und_Wipperzeit

²⁷ Ebenda

²⁸ <http://www.numispedia.de/Beschneidung>



.... Es ist kein Stadt / es ist kein Land / da man nicht mercket ihre Hand /
kippern und wechseln Tag und Nacht / sie habens schon dahin gebracht /
daß gute Müntz ist weggeführt / dafür man jetzt nur Kupffer spürt...

Dieser zeitgenössische Kupferstich²⁹ aus dem Jahre 1622 bringt die Misere der damaligen Zeit deutlich zum Ausdruck. Er zeigt eine Szene, bei der ein Geldfälscher sich in den Fesseln der Justitia und der Avaritia befindet - ein Kampf der Gerechtigkeit gegen Geiz und Habsucht. Die Avaritia verkörperte eine der sieben Todsünden nämlich Geiz und Habsucht. Die Justitia mit ihrer Waage kennen wir bereits. Sie verkörpert das Gegenteil, die Gerechtigkeit.

Das Unwesen der Kipper und Wipper wurde von den Obrigkeiten nicht nur toleriert, sondern sogar weitgehend im Hinblick auf leere Staatskassen gefördert. Die hohen Kriegskosten konnten kaum mehr beglichen werden. In ganz Deutschland wurde aus der Silber- eine Kupferwährung. Im Dezember 1623 schließlich wurde das sogenannte „lange Geld“ auf ein Achtel des Nennwertes abgewertet. Gegen die Verantwortlichen der dunklen Geschäfte wurde erst 1637 - nach dem Tode Kaiser Ferdinands II. - ermittelt, doch waren zu diesem Zeitpunkt die meisten Hauptbeteiligten bereits verstorben.

²⁹ Eduard Fuchs: Die Juden in der Karikatur. Ein Beitrag zur Kulturgeschichte. München, Albert Langen, 1921

2.6. Waage und Marktrecht



Mittelalterliche Marktszene an der Stadtwaage³⁰

Mit Stadtrecht war eine Kommune berechtigt, eine Stadtmauer zu errichten, Märkte abzuhalten und alle Waren, die die Stadttore passierten, zu wiegen, zu messen und mit einer Steuer zu belegen. Zur Prüfung der wägbaren Waren standen Waagen unterschiedlicher Größe und Bauart an den Toren bereit.

Stadtmauern verloren ab dem späten Mittelalter mehr und mehr die Bedeutung, die Städte vor militärischen Angriffen zu schützen, wobei es bei dem Vorteil blieb, den Warenverkehr ausschließlich durch die Stadttore zu erzwingen und somit zu kontrollieren.

³⁰ Städtischer Waageplatz im Mittelalter nach einem Holzstich von 1869; in: Maß und Gewicht, 11/1989, S. 223 (Titelblatt)

3. Die Waage, ein Messinstrument

Nun möchte ich die Waage als Instrument zur Messung der Gewichtskraft darstellen. Dabei ist es nicht zu vermeiden, manchmal auch auf technische Einzelheiten näher einzugehen.

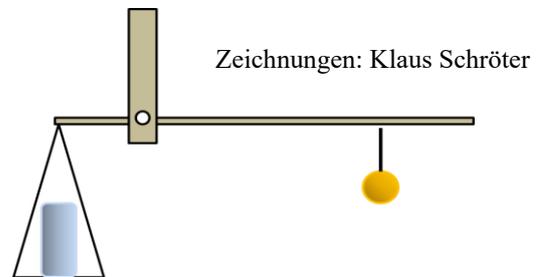
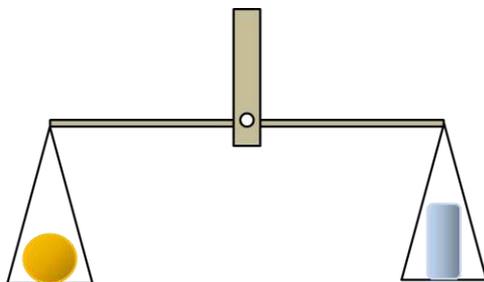
Man unterscheidet drei Grundarten von Waagen.

- Balkenwaagen
- Neigungswaagen
- Federwaagen

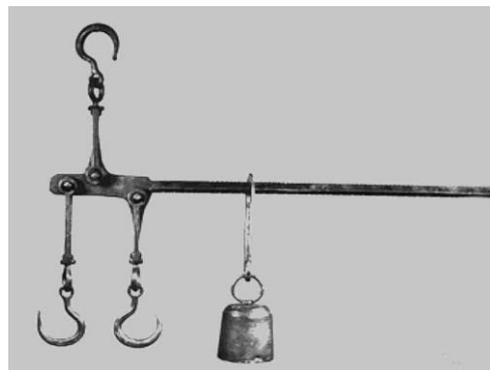
Elektronische Waagen³¹ beruhen physikalisch auf den Prinzipien der Balken- und Federwaagen.

3.1. Balkenwaagen

Balkenwaagen gibt es in zwei grundsätzlich unterschiedlichen Bauarten, und zwar gleicharmige und ungleicharmige Balkenwaagen.



gleicharmig

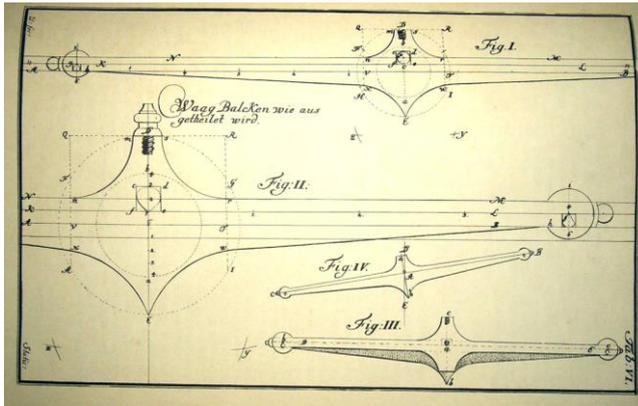


ungleicharmig

³¹ Die Bezeichnung „Elektronische Waagen“ ist gebräuchlich aber nicht ganz korrekt. Richtig wäre die Bezeichnung „Elektromechanische Waagen“. Dazu später mehr.

3.1.1. Gleicharmige Balkenwaagen

Gleicharmige, unterschalige Balkenwaagen bestehen aus einem Waagebalken, der genau in der Mitte gelagert ist und nach beiden Seiten um diesen Drehpunkt schwingen kann. An den beiden Enden des Balkens befinden sich in exakt gleichen Abständen zur Drehachse die Aufhängepunkte für die hängenden Waagschalen. Das System ist dann stabil, wenn der Schwerpunkt des gesamten Systems unterhalb der Drehachse liegt.



Hersteller von Waagen waren es seit eh und je gewohnt, präzise zu arbeiten. Sehr genaue Konstruktionszeichnungen waren hierfür wichtige Voraussetzungen.

Jacob Leupold zeichnete 1726 diese Waagebalken für gleicharmige Waagen. Auffallend ist die Präzision der Zeichnungen³².

Die Arbeit an großen Marktwagen war körperlich sehr anstrengend. Schwere Kisten, Ballen oder Fässer mussten auf die Lastseite und die entsprechenden Gewichte auf die andere Seite der Waage gebracht werden. Erschwert wurde die Arbeit noch durch die hinderlichen Ketten und Seile, an denen die Waagschalen aufgehängt waren sowie das Hin- und Herschaukeln der Waagschalen. Das Relief von der Nürnberger Stadtwaage zeigt überaus deutlich die schwere Arbeit.



Sandsteinrelief (1794)
Germanisches Nationalmuseum, Nürnberg

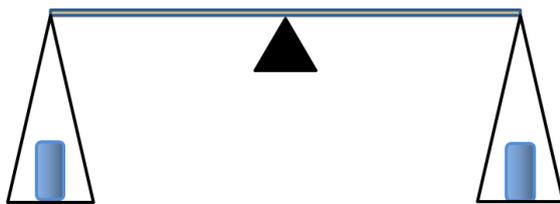
³² Jacob Leupold, *Theatrum staticum universale*. 1. *Theatrum staticum – Das ist der Schau-Platz der Gewicht-Kunst und Waagen ...*, Nachdruck Hannover 1982

Genau wie bei den großen ist auch bei kleineren Waagen, bei denen die Waagschalen ebenfalls an Ketten oder Schnüren hängen, das Arbeiten erschwert.

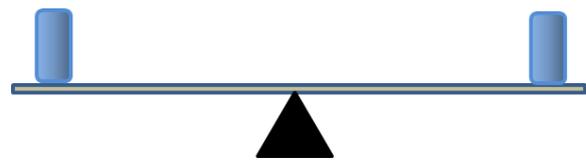


Etwas Erleichterung verschaffen starre Metallbügel statt Ketten oder Seilen. Dass hiermit jedoch die Maximalbelastbarkeit der Waage reduziert wird, ist der Preis für die Erleichterung

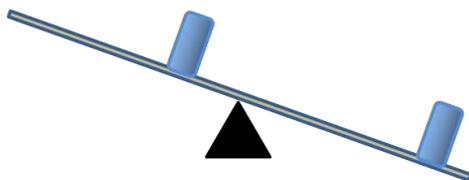
Mit oberhalbigen Balkenwaagen wäre die Arbeit einfacher. Aber wie kann eine solche Waage funktionieren?



unterschälige / stabil



oberschälige / labil



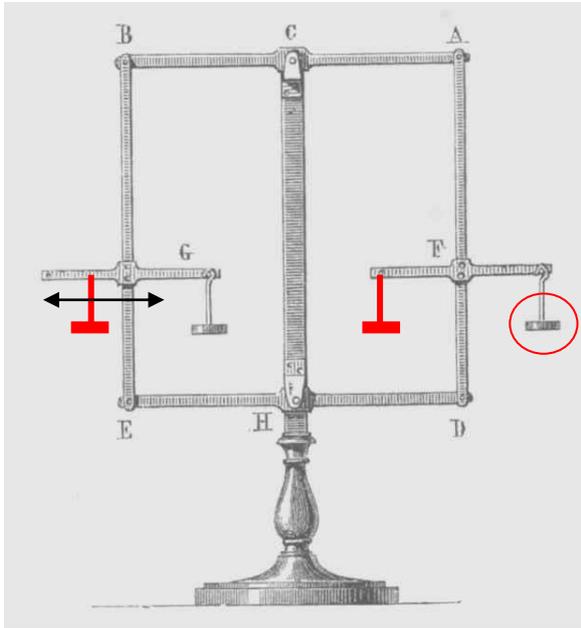
Zeichnungen: Klaus Schröter

Ein labiles System kann in der Praxis nicht funktionieren. Außerdem müssen die Abstände der Schwerpunkte von Gewicht und Last auf dem Waagebalken und deren Abstände zum Drehpunkt exakt gleich sein. Wie konnte das Problem gelöst werden?

Tafelwaagen Bauart „Roberval“

Der französische Mathematiker Gilles Personne de Roberval machte eine wegweisende Entdeckung. Am 21. August 1669 führte Roberval in der Pariser Königlichen Akademie der Wissenschaften einen bemerkenswerten Versuch vor.

An einem Parallelogramm aus Kupferstangen konnte man die an waagrechten Stangen hängenden Gewichte jeweils nach links oder rechts bewegen, ohne das Gleichgewicht zu stören, und ohne dass sich die Form des ursprünglichen Parallelogramms änderte.



Robervals Experimentalparallelogramm



Gilles Personne de Roberval
1602 - 1675

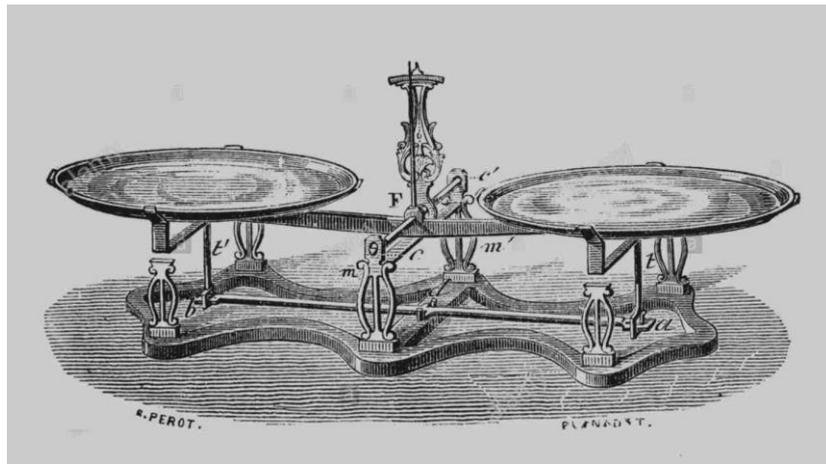
Die Erkenntnisse Robervals wurden von Joseph Béranger, einem französischem Waagenbauer, für die Konstruktion einer völlig neuartigen Waage verwendet.



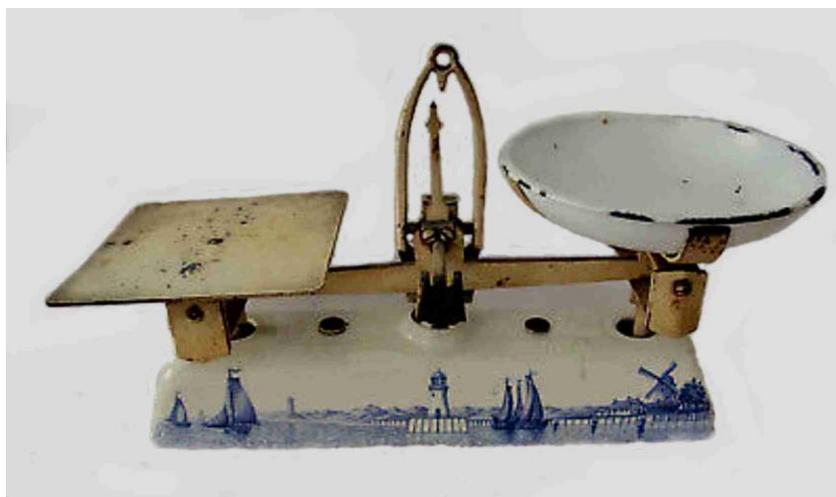
Das Roberval-Prinzip, umgesetzt von Joseph Béranger

Zeichnungen: Klaus Schröter

Man erkennt bei dieser Konstruktion von Béranger das Parallelogramm von Roberval. Diese Waage, eine so genannte oberhalbige Tafelwaage, bleibt auch dann im Gleichgewicht, wenn man gleich große Gewichte auf der einen oder der anderen Waagschale beliebig nach innen oder außen verschiebt. Wird allerdings eine Seite entlastet, senkt sich der Balken zur anderen Seite.



Zeichnung einer Waage nach dem Roberval-Prinzip



Entsprechende Küchenwaage um 1915

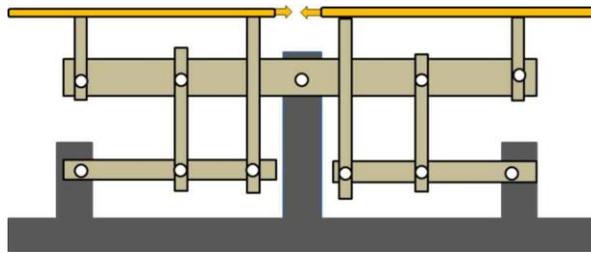


Briefwaage aus England nach dem Roberval-Prinzip
Ende 19./Anfang 20. Jahrhundert

Tafelwaagen Bauart „Béranger“

Im Laufe der Zeit gab es zahlreiche Versuche, die Genauigkeit von Tafelwaagen zu verbessern. 1847 brachte Joseph Béranger eine Tafelwaage mit einer neuen Konstruktion auf den Markt. Dieser Waagentyp ist bis heute als Béranger-Waage bekannt.

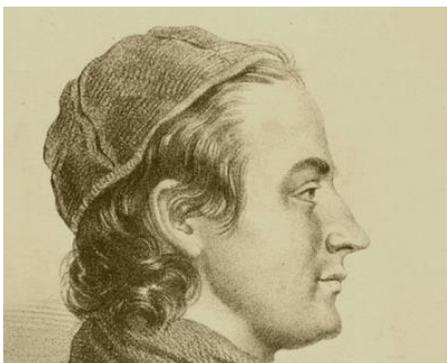
Prinzip einer Béranger-Waage



Zeichnung: Klaus Schröter



Béranger-Waage um 1850
Sammlung Michel Heitzler, Frankreich



Joseph Béranger war um die Mitte des 19. Jahrhunderts in Europa der bedeutendste Wegbereiter auf dem Gebiet der Waagenherstellung, besonders für overschalige Waagen.

Joseph Béranger (1802 – 1870)



Béranger-Waage um 1860

Sammlung Michel Heitzler, Frankreich



„Philadelphia“

Béranger-Waage nach 1866

Sammlung Michel Heitzler, Frankreich

Diese beiden sehr prachtvollen Exemplare verdeutlichen eindrucksvoll die hohe Bedeutung und das Ansehen der Waage im 19. Jahrhundert. Wenn eine solche Waage neben einer zur damaligen Zeit ebenso kunstvoll gestalteten Registrierkasse auf der Theke eines „Kolonialwaren“-Geschäftes stand, beeindruckte das die Kunden und verlieh dem Kaufmann Ansehen und Seriosität.

3.1.2. Ungleicharmige Balkenwaagen

Hierzu zählen:

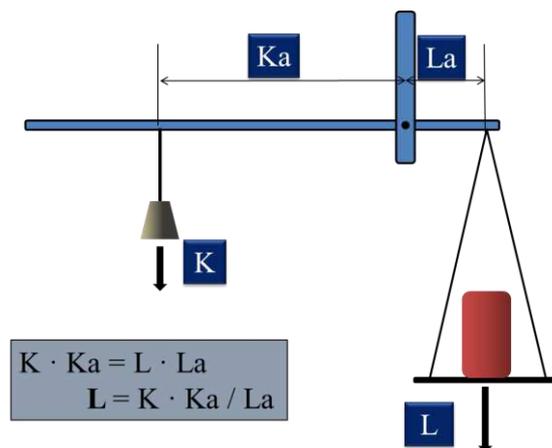
- Laufgewichtswaagen oder Schnellwaagen für kleine und große Lasten
- Besemer für kleine bis schwere Lasten

Laufgewichtswaagen oder „römische Schnellwaagen“

Bei diesem Waagentyp unterscheidet man Laufgewichtswaagen mit beweglichem Laufgewicht und Laufgewichtswaagen mit hülsenförmigem Waagebalken und durchschiebbarer Skalenstange.

Wie funktioniert eine Laufgewichtswaage?

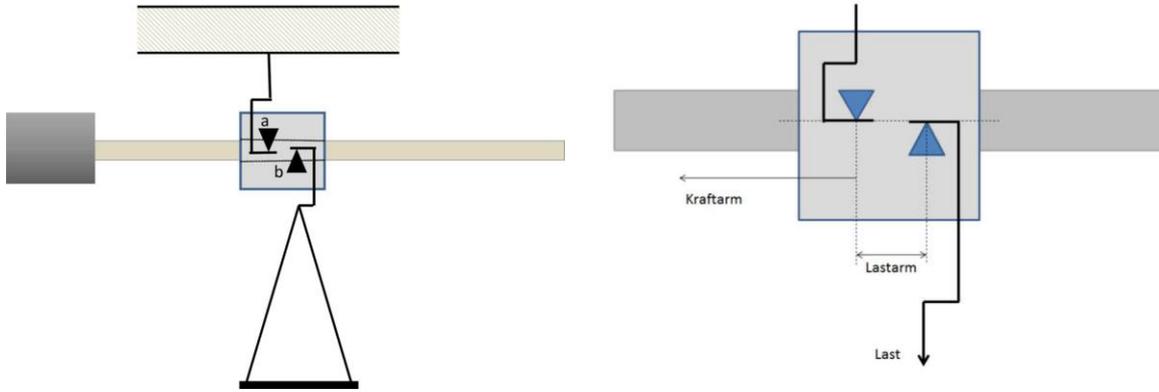
Das Prinzip beruht darauf, dass nach Auflegen einer Last (L) am Lastarm (La) ein Gewicht notwendig ist, das an einem bestimmten Punkt auf dem Kraftarm (Ka) eine Gegenkraft (K) erzeugt, um die Waage im Gleichgewicht zu halten. Aus den Größen Lastarm, Kraftarm und der Masse des Wägestückes - des Laufgewichtes - lässt sich nach dem Hebelgesetz die Masse des Wägegutes errechnen. Skalen von Laufgewichtswaagen sind grundsätzlich gleichförmig (äquidistant) geteilt.



Prinzip einer Schnellwaage

Zeichnung: Klaus Schröter

Neben den Laufgewichtswaagen mit beweglichem Laufgewicht dürfen Laufgewichtswaagen mit hülsenförmigem Waagebalken und durchschiebbarer Skalenstange nicht unerwähnt bleiben.



Zeichnungen: Klaus Schröter



Laufgewichtswaage durchschiebbarer Skalenstange
Sammlung Klaus Schröter





Römische Schnellwaage, Bronze
etwa 50 n. Chr.

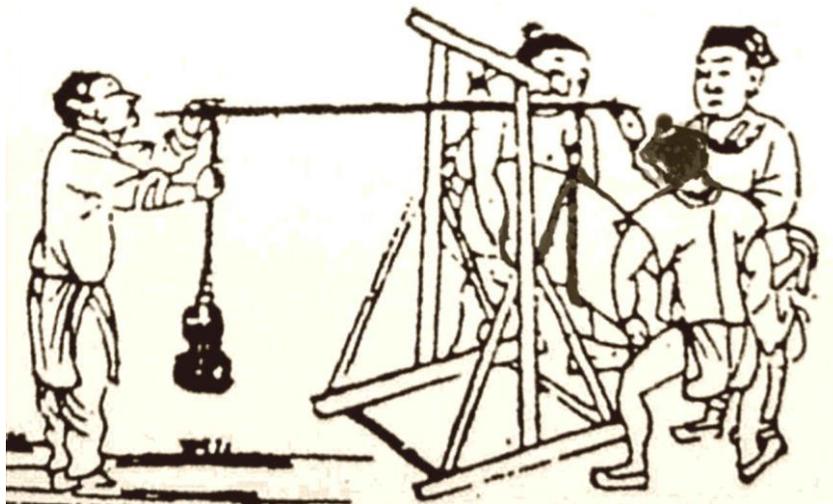
Geschichte der Schnellwaage

Nahezu 2500 Jahre lang war bereits die gleicharmige Balkenwaage bekannt, als etwa um 500 v. Chr. die ersten ungleicharmigen Balkenwaagen, die sogenannten Schnellwaagen auftauchten, ein völlig neuer Waagentyp.

Diese Erfindung sollen die Römern gemacht haben. Das wird von einigen Historikern bestritten. Sicherlich ist auf jeden Fall den Römern die schnelle Verbreitung der Schnellwaage im Mittelmeerraum und in den nordeuropäischen Regionen zuzuschreiben.

Die chinesischen Laufgewichtswaagen entstanden etwa um die gleiche Zeit wie im östlichen Mittelmeerraum. Ob es dabei gegenseitige Beeinflussungen gab, ist nicht eindeutig belegbar. Ein weiterer Streitpunkt der Archäologen und Historiker.

Diese chinesische Zeichnung aus dem 6. Jahrhundert zeigt eine Szene, bei der Salz auf einer großen Laufgewichtswaage gewogen wird.





Dieses Fresko aus der Zeit der Yuan-Dynastie im 14. Jh. n. Chr. zeigt einen chinesischen Fischverkäufer mit seiner Laufgewichtswaage.

Aus dieser Zeit wurden zahlreiche Laufgewichte gefunden. Das zeigt, dass dieser Waagentyp sehr verbreitet war.

Schnellwaagen haben in China eine lange Tradition. Sie werden beim einfachen Handel bis in die Gegenwart verwendet. Sie werden aber auch hier immer mehr von modernen elektronischen Waagen aus dem öffentlichen Leben verdrängt.

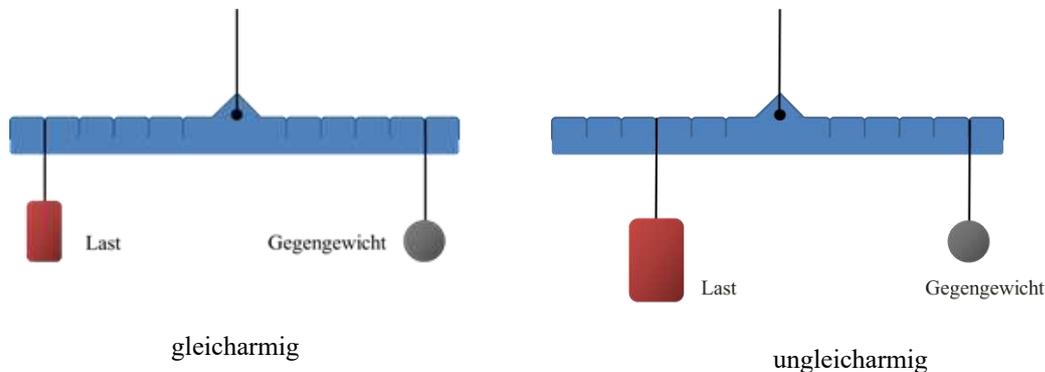
Eine interessante chinesische Waage



Chinesischer Waagbalken aus der Zeit um 400 bis 300 v. Chr.

Dieser chinesische Waagbalken aus Bronze stammt etwa aus dem 4. Jahrhundert v. Chr. Auf dem Balken erkennt man Strichformationen in gleichen Abständen. Solche Balken besitzen an ihren Enden keine Aufhängeschlaufen oder Aufhängepunkte zum Anhängen von Gewichten oder Schalen. Die Abstände der Striche auf den Oberseiten korrespondieren mit dem Längenmaßsystem aus dieser Zeit, so dass einige Forscher hier nicht von Waagebalken, sondern von Längenmaßen sprechen - keine überzeugende Annahme.

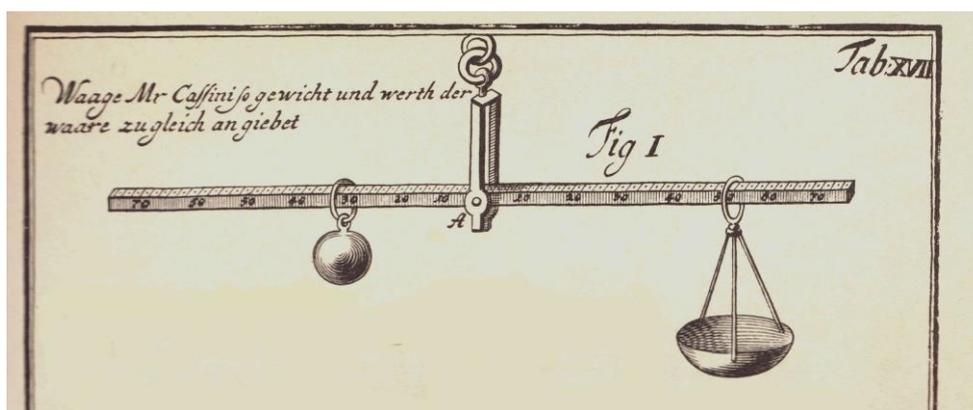
Es handelt sich hier nach meiner Auffassung um den Balken einer Waage, die sowohl gleicharmig als auch ungleicharmig verwendbar ist. Diese Konstruktion lässt den Schluss zu, dass in China bereits im 5., sicher aber im 3. Jahrhundert v. Chr. die Hebelgesetze bekannt gewesen sein mussten. (Archimedes formulierte die Hebelgesetze um 250 v. Chr.)



Zeichnungen: Klaus Schröter

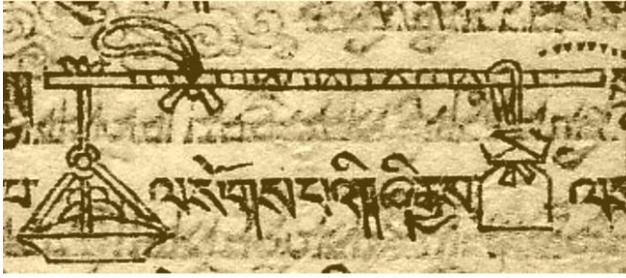
Solche Waagen waren ziemlich vielseitig einsetzbar, da man nicht nur am Lastarm sondern auch am Kraftarm unterschiedliche Längen nutzen konnte. Der Nachteil war, dass man nach jedem Wägevorgang eine komplizierte Rechenaufgabe zu lösen hatte, und dass dadurch die Ergebnisse nicht immer fehlerfrei waren. Ich denke mir, dass sich deswegen dieser Waagentyp gegenüber der einfachen Schnellwaage nicht durchsetzen konnte.

Auch im europäischen Raum war dieser Waagentyp bekannt. Jacob Leupold zeichnete 1726 eine solche Waage. Das Besondere dieser Konstruktion war, dass man das Gewicht und gleichzeitig den Wert der Ware ermitteln konnte.



Waage nach Caffini aus dem 18. Jahrhundert³³

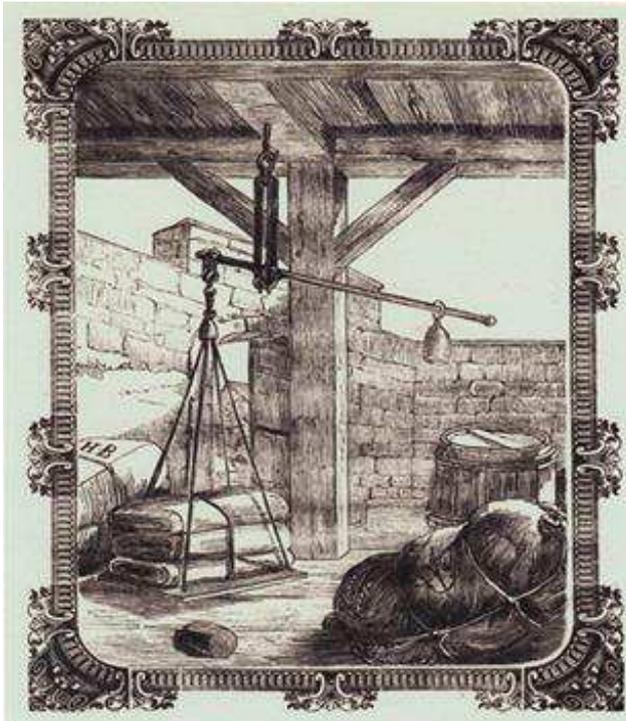
³³ Jacob Leupold, *Theatrum staticum universale*. 1. *Theatrum staticum* – Das ist der Schau-Platz der Gewicht-Kunst und Waagen ..., Nachdruck Hannover 1982



Dieser tibetanische Druck von 1685 zeigt eine Schnellwaage, wie sie wohl in Tibet zu dieser Zeit verwendet wurde³⁴.



(retuschiert)



Schnellwaagen sind seit der Römerzeit auch nördlich der Alpen weit verbreitet. Es können große Lasten mühelos mit Schnellwaagen gewogen werden. Das Hantieren mit schweren Gewichten entfällt. Diese Darstellung aus der Mitte des 19. Jahrhunderts zeigt eine große Schnellwaage mit einer Höchstlast bis etwa 300 kg.

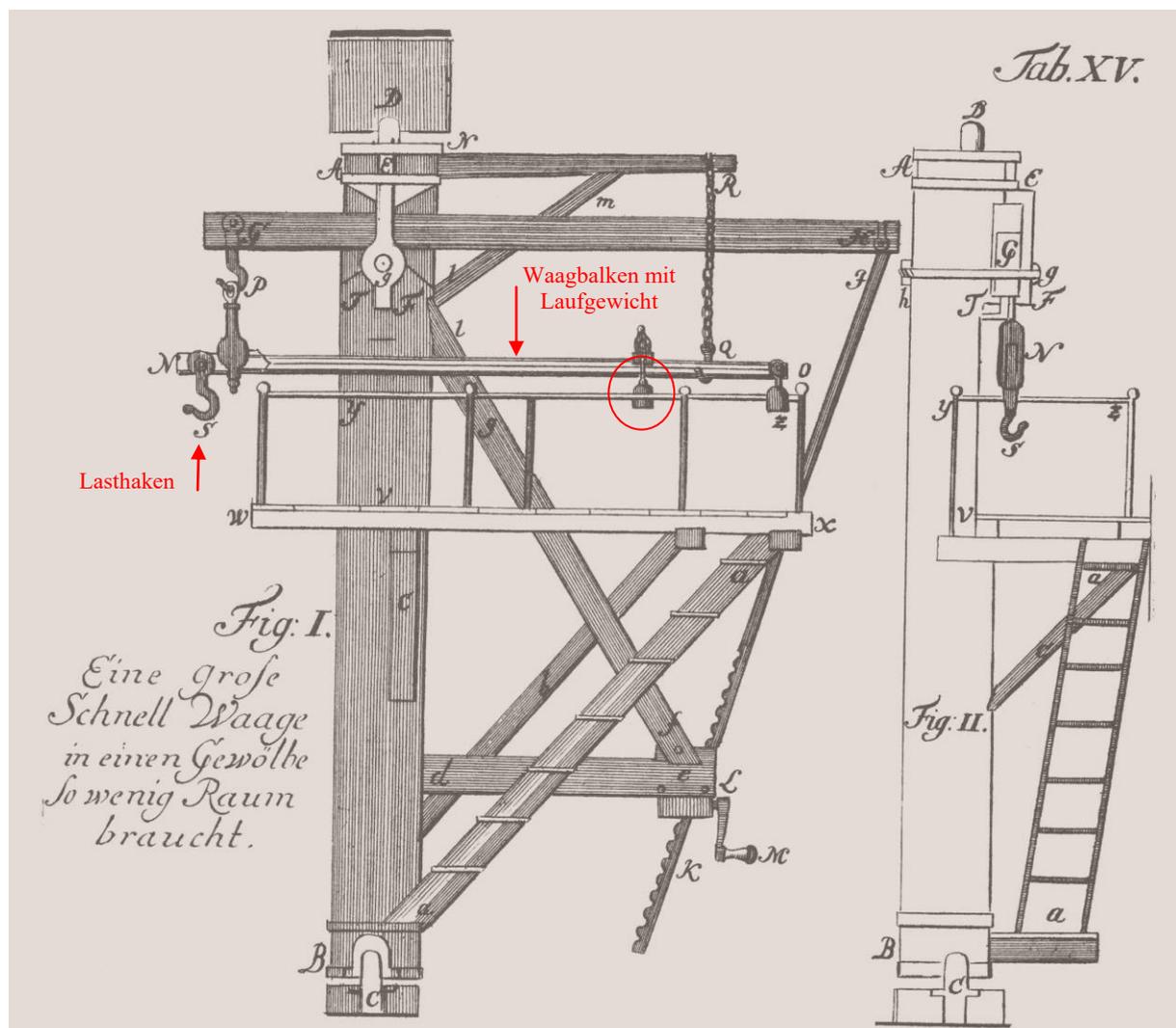
Schnellwaagen trifft man weltweit noch bis in die heutige Zeit an, vor allem auf Märkten in noch unterentwickelten Regionen - obwohl auch dort allmählich Federwaagen und elektronische Waagen Einzug halten.

Die Schnellwaage konnte aber die alte gleicharmige Balkenwaage nicht verdrängen. Dank ihrer höheren Genauigkeit wird die gleicharmige Balkenwaage weiterhin insbesondere als Fein- und Analysenwaage bis in die Gegenwart genutzt.

³⁴ https://www.wikiwand.com/de/Tibetische_Maßeinheiten

Waagen für große Lasten

Schon seit dem Mittelalter wurden Gebühren für die Nutzung der Landstraßen erhoben. Das Geld wurde u. a. für deren Instandhaltung verwendet. Zu Beginn des Industriezeitalters nahm der Verkehr auf den unbefestigten Landstraßen vor allem mit schweren Transportwagen immer mehr zu. Die Instandhaltungskosten stiegen enorm. Darum beschloss beispielweise die englische Regierung bereits im Jahre 1741 die Erhebung von Straßenbenutzungsgebühren für Fuhrwerke. Die Höhe der Gebühr richtete sich erstmals nach dem Gewicht der Fahrzeuge. Das Wiegen der hohen Lasten bereitete keine Schwierigkeiten, denn bereits seit Anfang des 18. Jahrhunderts wurden Waagen nach dem Schnellwaagenprinzip entwickelt, mit denen man große Lasten, beispielsweise komplette Fuhrwerke wägen konnte.



Fuhrwerkwaage um 1700³⁵

N: Waagbalken mit Laufgewichten / S: Haken für die Last

³⁵ Jacob Leupold, *Theatrum staticum universale*. 1. *Theatrum staticum* – Das ist der Schau-Platz der Gewicht-Kunst und Waagen ..., Nachdruck Hannover 1982

Besemer

Ulrich Biber veröffentlichte in „Maß und Gewicht“ einen Artikel über Besemer³⁶. Zur Erklärung des Prinzips wird ein Teil hieraus zitiert:

Technik:

[...]Es ist die einfachste Waage, die man sich denken kann. Sie lässt sich aus Materialien herstellen, die sich fast überall finden lassen.

Der Besemer gehört zu den ungleicharmigen Balkenwaagen. Der Lasthaken ist an einem Endpunkt des Waagebalkens fixiert, ebenso das gewichtskonstante Gegengewicht am anderen. Veränderbar ist der Auflagepunkt, die Mittelschneide. Dies steht im Gegensatz zur römischen Schnellwaage, bei der die Mittelschneide fixiert ist und das Gegengewicht verschoben werden kann.

Die Skalenteilung ist beim Besemer eine „harmonische Teilung“, d. h. die Abstände pro Gewichtseinheit werden in Richtung Lasthaken immer kleiner, das hat zum Ergebnis, dass große Lasten nur sehr ungenau gewogen werden können. Die römische Schnellwaage dagegen weist eine „arithmetische Teilung“ auf, d.h. die Abstände pro Gewichtseinheit sind gleich. Da die mathematischen Grundlagen der harmonischen Teilung sehr kompliziert sind oder gar nicht bekannt waren, wurde die Lage der Skalenfixpunkte mit Sicherheit empirisch ermittelt.

Die „Schneiden“ und damit der Schwerpunkt liegen nicht annähernd in einer Ebene; eine Anzeigevorrichtung für die Horizontale fehlt vollständig Die Mittelschneide ist nicht genau definiert; beim Fixieren der Schnurschleife zur Ableseung kann man diese absichtlich oder unabsichtlich verschieben oder verdrehen. Auch ist Holz ein nicht sehr konstanter Werkstoff (Feuchtigkeit, „Holz arbeitet“ etc.). Dadurch ist ein genaues Wiegen nicht möglich, man kann höchstens eine mehr oder weniger quantitative Schätzung vornehmen. Dem Irrtum, der Übervorteilung, ja, dem Betrug sind Tür und Tor geöffnet. Trotzdem findet man geichtete Exemplare. [...]

In Skandinavien versuchte man die Technik zu verbessern, indem man Eisen als Material verwendete und die verschiebbare Mittelschneide der Mittellinie und damit dem Schwerpunkt näherte. [...]

Geschichte:

Da es sich um das einfachste denkbare Wiege-Instrument handelt, war es in frühen Zeiten bestimmt weit verbreitet.

³⁶ Ulrich Biber: Einiges über „Besemer“, das sind Wiegestöcke; in: Maß und Gewicht – Zeitschrift für Metrologie, 59/2001, S. 1419

Die erste Erwähnung war wohl [...] im 20. Kapitel in dem Aristoteles zugeschriebenen Werk „*Questiones mechanicae*“ - entstanden im 4. Jahrhundert v. Chr. - als Waage zum Fleischwiegen auf dem Markt.

Im römischen Reich, so ergaben archäologische Funde, existierten Besemerwaagen in einer sehr extravaganten Form: Die Skala ist nicht im Waagebalken angebracht, sondern befindet sich auf einer Skalenleiste, die über dem Waagebalken liegt und in diesem befestigt ist. Jenemann hat diese Waagen, es sind bisher acht bekannt geworden, beschrieben und kritisch betrachtet und sogar mit einem Exemplar Wägeversuche unternommen. Sie sind wohl in die Jahrhunderte um Christi Geburt zu datieren. In Bodenfunden haben sich natürlicherweise nur Waagen aus Metalllegierungen erhalten; inwieweit Exemplare aus Holz vorhanden waren, lässt sich nicht mehr feststellen. Immerhin zeigt Jenemann³⁷ in seinem Bericht eine Abbildung eines indischen Reliefs aus dem 2. Jahrh. n. Chr., auf der ein Besemer, wahrscheinlich aus Holz, abgebildet ist. Der Typ des „römischen“ Besemers „starb dann aus“, er ist später nicht mehr zu finden.

Es scheint ein weit verbreiteter Waagentyp gewesen zu sein. Man findet ihn z. T. noch heute, z. T. in archäologischen Funden oder Abbildungen in Asien und Südamerika (Peru). Zu uns kam er vermutlich im 10. Jahrh. im Verlauf der Wikingerzüge vom Schwarzen Meer über Rußland ins nördliche Europa (Skandinavien, Nord-Deutschland, Nord-England). Dies ist hier auch sein Verbreitungsgebiet geblieben.[...]

Wegen ihrer einfachen Handhabung waren die Besemer bis in unser Jahrhundert im bäuerlichen Umfeld im Gebrauch. Sie dienten dem schnellen Abwiegen von Futterrationen, Fischen und ähnlichem, wobei es auf die Genauigkeit nicht so sehr ankam. [...]

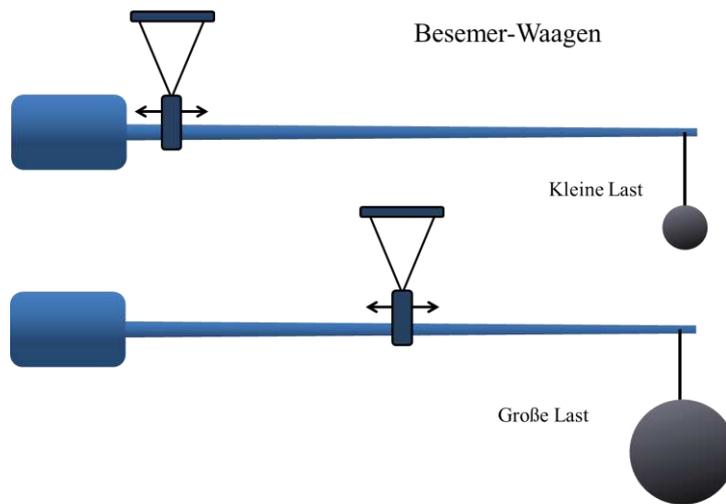


Hölzerner Besemer
Lübeck, 19. Jahrhundert

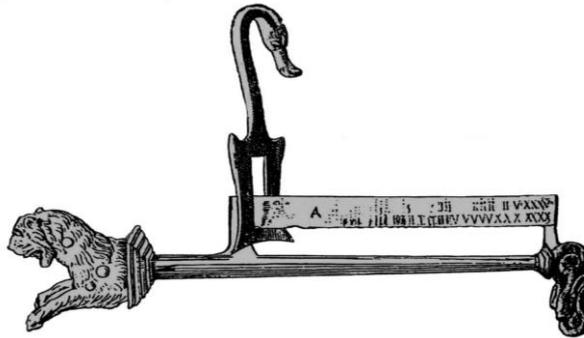
Sammlung Henning Homann, Hamburg

³⁷ Hans R. Jenemann: Die Besemer-Waage im Altertum; in: Jahrbuch des römisch-germanischen Zentralmuseums Mainz, 41(1994), S.

Funktionsprinzip des Besemers



Zeichnung: Klaus Schröter

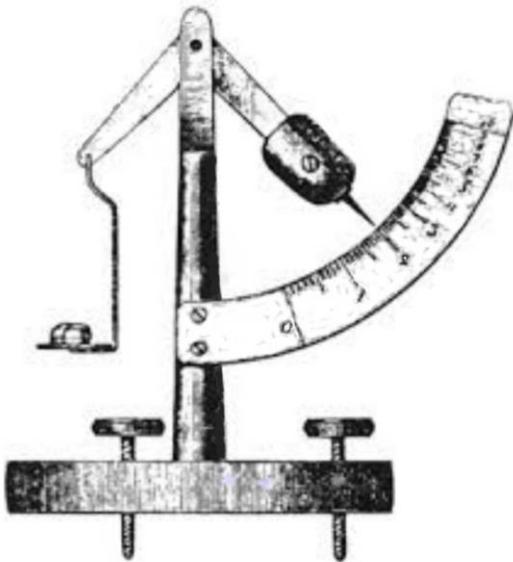


Frührömische Waage
Toskana, ca. 2. Jh. v. Chr.

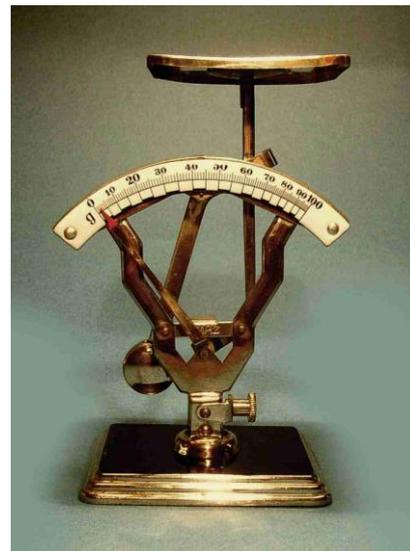


Frührömische Waage
ca. 2. Jh. v. Chr.

3. 2. Neigungswaagen



Bei der Neigungswaage wird durch die Last ein Gegengewicht an einem Hebel aus seiner Ruhelage bewegt. Die Größe des Ausschlagwinkels, also die Neigung des Gewichtes, dient als Maß für die Größe der Last, die auf einer bogenförmigen Skala abgelesen werden kann. Im Gegensatz zur Balkenwaage wird die zu bestimmende Masse eines Wägegutes nicht mit einem anderen Gewicht kompensiert, sondern gegen die Schwerkraft durch die Auslenkung eines konstanten Gewichtes an einem Hebel aus der Ruhelage. Die klassische Briefwaage ist hierfür ein Beispiel³⁸.



Briefwaagen der Firmen J. Ph. Maul (links) und J. Maul (rechts)

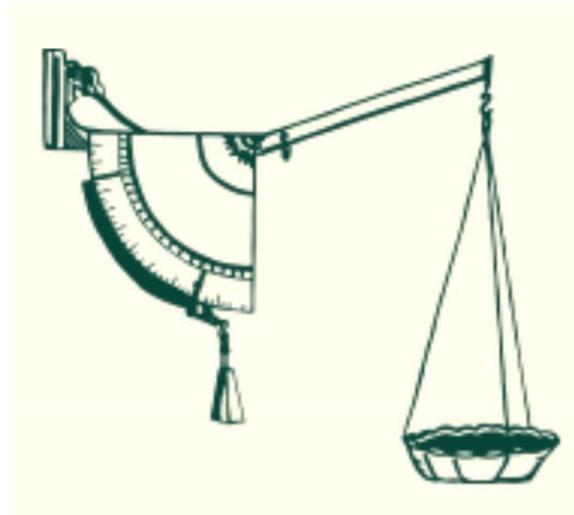
Sammlung Klaus Schröter

Auf der Suche nach dem Erfinder der Neigungswaage stößt man meist auf den „schwäbischen Mechanikerpfarrer“ Philipp Matthäus Hahn. Er lebte von 1739 bis 1790. In England und Frankreich werden andere Erfinder genannt. Hahn wandte das Prinzip der Neigungswaage erstmalig 1763 an und konstruierte damit seine „Bequeme Hauswaage“.

³⁸ <https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Neigungswaage>

Die Hahnsche Neigungswaage

Das Prinzip der Hahnschen Neigungswaage wurde 161 Jahre später bei der ersten eichfähigen deutschen Schaltgewichtswaage mit Neigungseinrichtung als Anzeige angewandt, die von der Firma Bizerba in Balingen ab 1924 hergestellt wurde. Die Neigungswaage ist eine der erfolgreichsten Konstruktionen in der Jahrtausende währenden Geschichte der Waage. Auch unter den Namen Pendelwaage, Zeigerwaage, Quadrantenwaage oder Winkelwaage ist dieses Wäginstrument bekannt geworden.



Prinzip der Hahnschen Neigungswaage



Kaufmannswaage
Bizerba Neigungswaage um 1960

Bizerba, Balingen



Bizerba Neigungswaage
Deutsche Bundespost um 1960

Bizerba, Balingen

Neigungswaagen mit zwei Hebeln



Große Stückgutwaage
mit Kreiszeigermesskopf.

Höchstlast 270 kg



Klassische „bilaterale“ Briefwaage mit zwei
Hebeln (bis 100 g und bis 500 g)

Sammlung Klaus Schröter

Große Stückgutwaagen fanden wegen ihrer einfachen Handhabung weite Verbreitung in der Industrie und sind nach wie vor in zahlreichen Betrieben anzutreffen. Sie werden jedoch nur noch selten hergestellt.

Mechanische Briefwaagen werden heute - wie fast alle anderen mechanisch arbeitenden Waagen - allmählich total von elektronischen Waagen verdrängt.

3. 3. Federwaagen

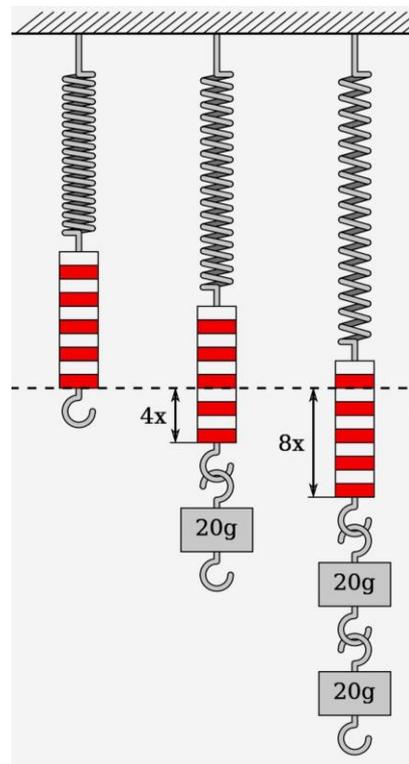
Die Federwaage nutzt zur Messung von Kräften die elastische und reversible Verformbarkeit von Materialien wie harten, bisweilen auch spröden Metallen in Form von Schraubenfedern, Spiralfedern, Blattfedern, Tellerfedern oder Federstäben.



Die Formänderung einer Feder ist innerhalb des elastischen Verhaltens des Stahls nach dem Gesetz von Robert Hooke proportional der einwirkenden Kraft. Bei Überbelastung der Feder kann sie plastisch verformt werden bzw. bei spröden Materialien brechen.

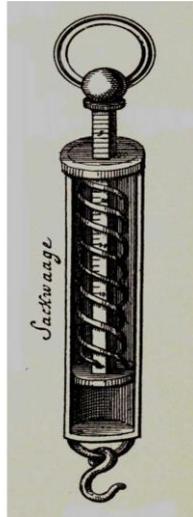
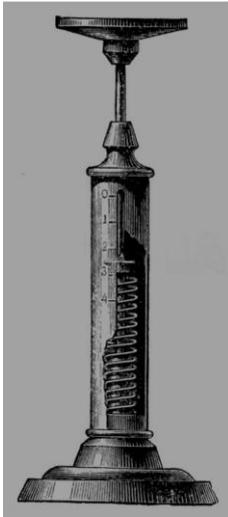
Die in weiten Bereichen lineare Abhängigkeit des Wegs von der einwirkenden Kraft lässt einfache Waagenkonstruktionen zu.

Robert Hooke erkannte bereits in der Mitte des 17. Jahrhunderts diese Gesetzmäßigkeit. Aber erst etwa 100 Jahre später wurde das Prinzip als Waage genutzt³⁹.



³⁹ https://de.wikipedia.org/wiki/Hookesches_Gesetz0

Federwaagen können nach dem Zug- und Druckprinzip funktionieren. In beiden Fällen bewirkt eine Kraft eine Verformung der Feder.



Beide Waagen funktionieren nach dem Druckfederprinzip. Die Briefwaage (links) stammt aus der Zeit Ende 19. / Anfang 20. Jahrhundert. Die Taschenwaage (rechts) wurde von Leupold 1726 gezeichnet.

Federwaagen fanden und finden wegen ihrer unkomplizierten Bauweise und Handhabung nach wie vor in vielen Bereichen Anwendung.

Bekannt sind die sogenannten Taschenwaagen oder auch Sackwaagen, die nach dem Zugfederprinzip funktionieren und ab dem 19. Jahrhundert bis heute wegen ihrer einfachen Handhabung weit verbreitet sind. Sie werden vor allem bei Anglern und Jägern geschätzt.



Sammlung Klaus Schröter

Die Waage rechts, eine sogenannte Mondwaage oder Biegefederwaage, besitzt an Stelle einer Spiralfeder einen geöffneten elastischen Stahling, den man als eine Spiralfeder mit nur einer Windung oder als stark gekrümmte Blattfeder auffassen kann. Auch dieser Waagentyp ist ein Beispiel für das Zugfederprinzip.



Haushalts- oder Küchenwaagen um 1900

In fast allen Haushalten waren gegen Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts solche Waagen anzutreffen. Der Zuspruch war recht groß, da sie einfacher als Balkenwaagen zu bedienen waren. Außerdem waren sie preiswert. Bei diesen Waagen wurde das Zugfeder-Prinzip angewendet.

Neben den elektronischen Küchenwaagen gibt es auch heute noch ein relativ großes Angebot von preiswerten Federwaagen für den täglichen Gebrauch im Haushalt.



Kleine Haushaltswaage



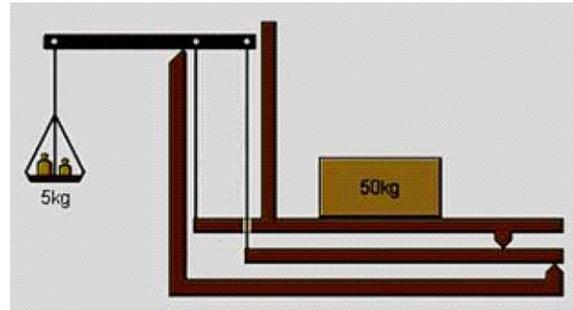
Marktwaaage.

3. 4. Brückenwaagen, insbesondere Dezimalwaagen

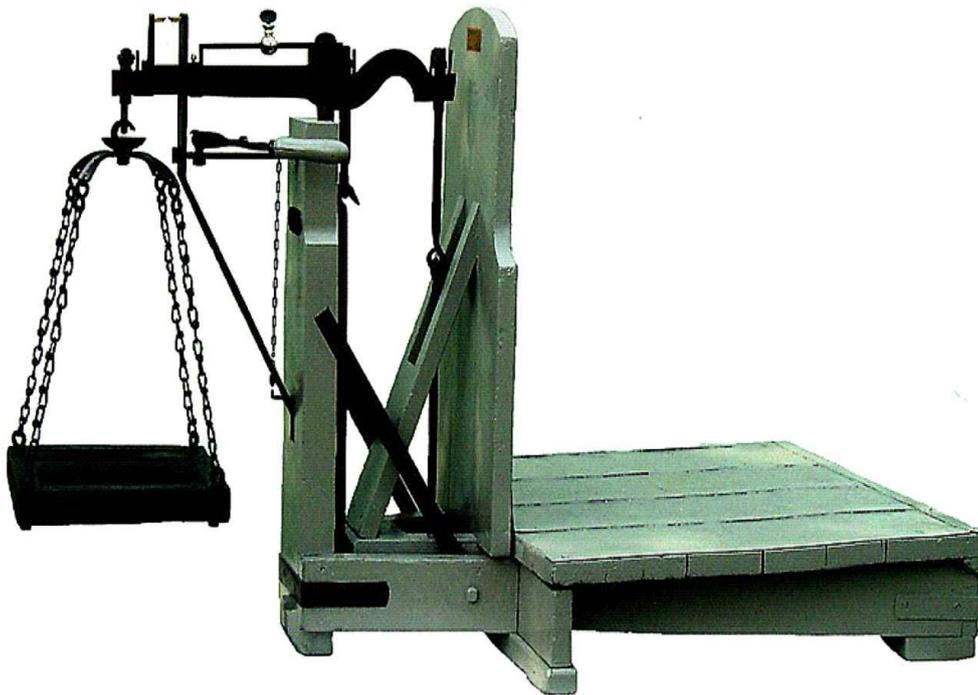
Ähnlich wie bei den gleicharmigen Balkenwaagen erschweren auch bei Schnellwaagen die Ketten und Seile der Lastschalen die Arbeit.

Der Benediktinermönch Friedrich Alois Quintenz (*1774 in Gengenbach; † 1822 in Straßburg) meldete im Jahr 1821 in Straßburg die Erfindung eines neuen Waagentyps zum Patent an. Er erfand als eine spezielle Brückwaagenart eine tragbare Dezimalbrückenwaage.

Durch seine Erfindung wurde die Arbeit an der Waage wesentlich erleichtert. Es störten keine Seile oder Ketten. Schwere Lasten mussten nicht hoch gehoben werden. Man konnte sie einfach auf die Brücke schieben oder fahren. Außerdem benötigt man nur ein Zehntel der Wägegutmasse an Gewicht zur Gleichgewichtseinstellung.



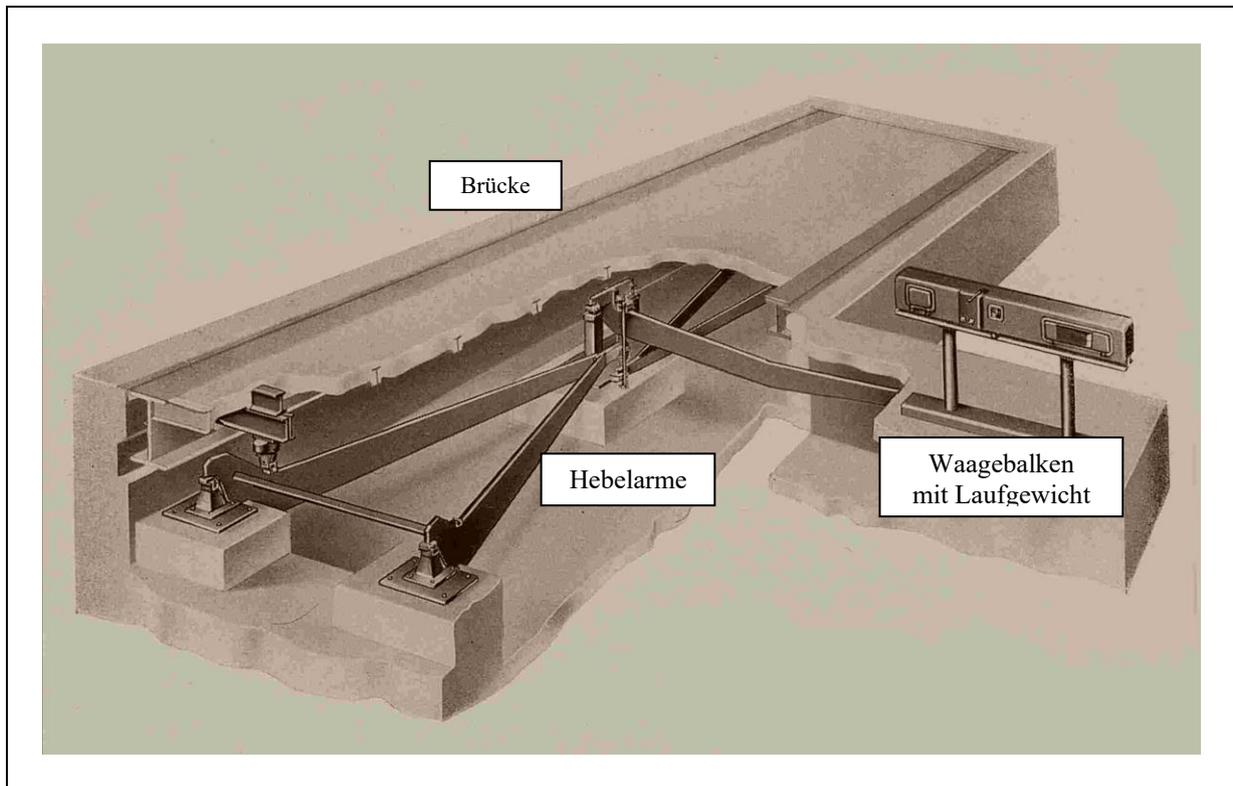
Zeichnung: Klaus Schröter



450-kg-Brückenwaage um 1920
Hersteller: August Brömel, Arnstadt

Heimtmuseum Schwelm / Sammlung Klaus Schröter

Noch bis etwa in die 1980er Jahre wurden mechanische, nach dem Hebelprinzip arbeitende Brückenwaagen mit einer Höchstlast von zwanzig und mehr Tonnen hergestellt. Solche Waagen sind inzwischen von elektromechanischen Waagen verdrängt worden. Diese sind zwar nicht genauer, jedoch preiswerter, wartungsfreundlicher, und sie liefern schneller das Ergebnis.



Prinzip einer 20-t-Fahrzeugwaage⁴⁰

Die Kraft, die das Fahrzeug auf die Brücke ausübt, wird von Hebeln unter der Brücke aufgenommen und auf die Anzeigevorrichtung, hier ein Laufgewichtsbalken übertragen.

⁴⁰ J. Rempell, E. Krackau, Handbuch des Waagenbaus, Bd. 1: Handbediente Waagen, Berlin – Hamburg 1955, Bild 350

In den Bereichen Kleinhandel und Haushalt fanden verbreitet Brückenwaagen als sogenannte Tischdezimalwaagen Anwendung.



Links: Tischdezimalwaage mit einer Schale zur Aufnahme der Gewichte, rechts eine Brückenwaage mit einer Laufgewichtseinrichtung, Höchstlast: jeweils 25 kg

Sammlung Klaus Schröter



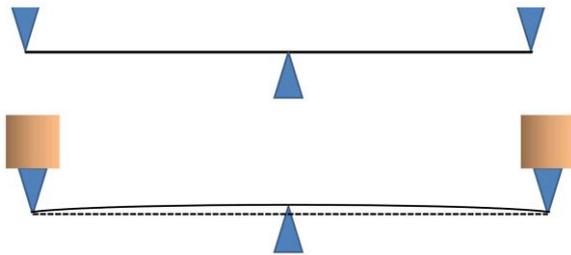
Laufgewichtsbrückenwaage als Haushaltswaage, um 1950

Sammlung Klaus Schröter

Solche Küchenwaagen mit Laufgewichten waren aus den Haushalten unserer Eltern und Großeltern nicht wegzudenken.

3.5. Substitutionswaagen

Die Empfindlichkeit gehört zu den wichtigsten Eigenschaften einer Waage. Je präziser eine Balkenwaage arbeiten soll, umso empfindlicher muss sie reagieren. Das trifft besonders bei Analysenwaagen zu. Die Empfindlichkeit einer Waage ist u. a. dann optimal, wenn sich alle Schneiden (Auflagepunkte) auf einer Linie befinden.



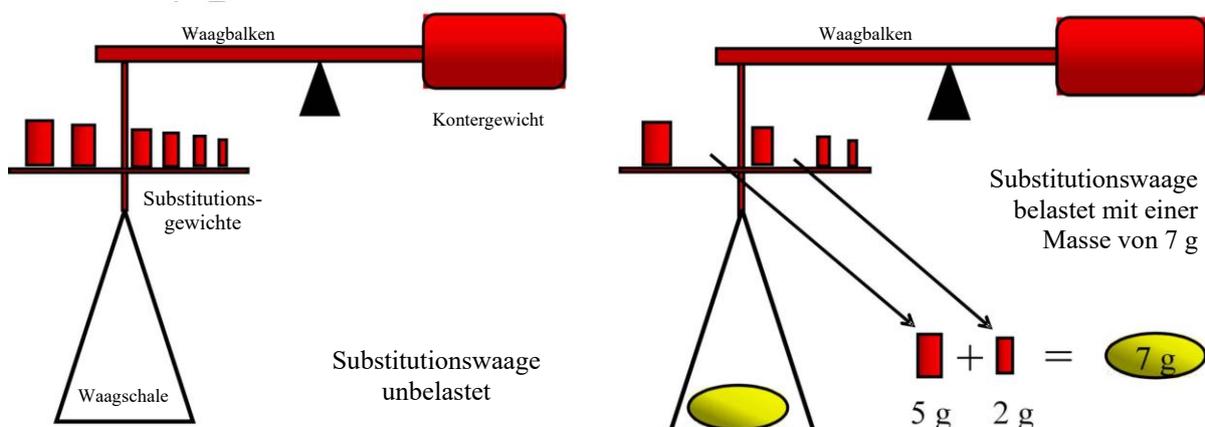
Zeichnung: Klaus Schröter

Bei Belastung eines Waagbalkens biegt er sich immer - wenn auch kaum wahrnehmbar - leicht durch. Dadurch befinden sich die drei Schneiden nicht mehr auf einer Linie. Die Empfindlichkeit nimmt somit mit der Höhe der Belastung ab.

Durch geeignete Konstruktionen der Waagbalken lässt sich dieser Nachteil beseitigen. Jedoch sind solche Maßnahmen immer damit verbunden, dass der Waagbalken schwerer wird, was wiederum zur Folge hat, dass die Empfindlichkeit abnimmt. Das Substitutionsprinzip soll bewirken, dass der Balken einer Waage über den gesamten Wägebereich gleich belastet wird, damit Empfindlichkeit und Reproduzierbarkeit nicht beeinflusst werden.

Das erreicht man, indem die Waage von vorneherein auf der Lastseite mit einem definierten Gewichtssatz bestückt ist. Auf der Kraftseite befindet sich ein entsprechendes Kontergewicht. Somit befindet sich der Waagbalken bauseitig im Gleichgewicht.

Funktionsprinzip Substitutionswaage



Zeichnungen: Klaus Schröter

Zur Bestimmung der Masse eines Wägegutes, das sich auf der Waagschale befindet, werden nun intern so viele Gewichte von der Lastseite genommen, bis sich das Gleichgewicht wieder einstellt. Die Gesamtmasse der entfernten Gewichte entspricht dann der Masse des Wägegutes.

Die Substitutionswaage ist bereits seit dem 18. Jahrhundert bekannt. Bereits 1756 untersuchte J. Amiot das Substitutionsprinzip an einer ungleicharmigen Waage⁴¹. Die Erkenntnisse gerieten aber in Vergessenheit, bis 1950 der Schweizer Erhard Mettler dieses Prinzip bei seinen völlig neuen Analysenwaagen anwendete. Die Vorteile des Substitutionsprinzips kamen vor allem bei Analysenwaagen zur Geltung. Substitutions-Analysenwaagen gehören zu den präzisesten mechanischen Waagen, die je gebaut wurden. Man erreicht mit ihnen eine Genauigkeit von weniger als einem zehntausendstel Gramm bei einer Höchstlast von maximal zweihundert Gramm.



Mettler B 5



Mettler B 6

Mettler-Analysenwaagen aus den 1960er Jahren
Sammlung Klaus Schröter



Waagebalken der Mettler B 5



Substitutionsgewichte

⁴¹ Manfred Kochsiek, Handbuch des Wägens, 2. Auflage 1989, S. 751

Die Fa. Sartorius in Göttingen als traditioneller Hersteller von ebenfalls hoch empfindlichen Analysenwaagen widersetzte sich lange und nachdrücklich dem Substitutionsprinzip, bis man schließlich dem Wettbewerbsdruck nachgeben musste. Qualitativ unterscheiden sich Mettler-Waagen und Sartorius-Waagen nicht.



Substitutions-Analysenwaage von Fa. Sartorius, Göttingen. Das rechte Bild zeigt das Innenleben einer solchen Waage⁴².

⁴² Fotos: Fa. Sartorius, Göttingen

3.6. Elektromechanische Waagen⁴³

Etwa zwischen 1970 und 1980 vollzog sich der Übergang von mechanischen zu elektromechanischen Waagen. Sie sind bedienungsfreundlich, robust und relativ preiswert bei gleichzeitig höchst möglicher Genauigkeit. Heute sind mechanischen Waagen weitgehend von elektronischen Waagen verdrängt worden.

Die überwiegende Mehrzahl von elektromechanischen Waagen weisen prinzipielle Parallelen zu herkömmlichen Waagen auf. Durch eine Kraft wird ein Waagbalken oder eine elastische Metallkonstruktion aus seiner Lage gebracht oder reversibel verformt. Die Änderungen werden durch unterschiedliche Verfahren erkannt, elektronisch verarbeitet und auf einem Display angezeigt.

Es gibt eine Vielzahl von Techniken, die man beim Bau von elektromechanischen Waagen anwenden kann. Ich möchte hier aber nur die drei wichtigsten Prinzipien beschreiben, die z. Z. hauptsächlich angewendet werden:

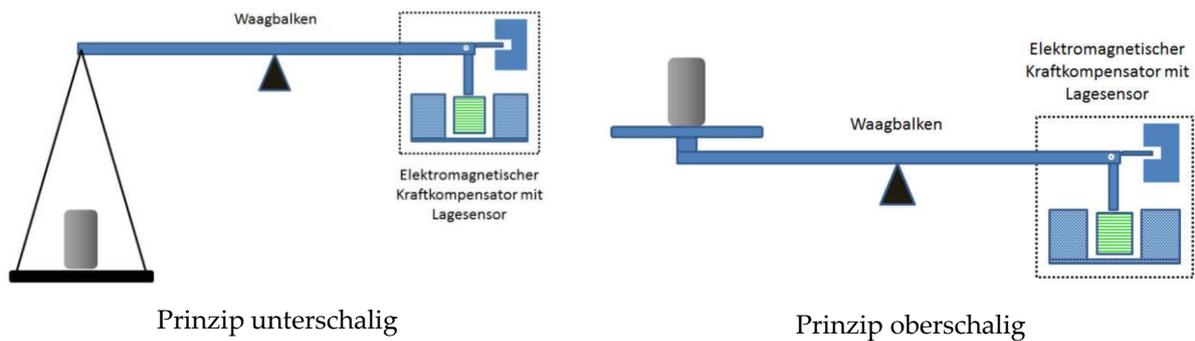
- Kraftkompensationstechnik
- Dehnmessstreifentechnik
- Schwingsaitentechnik

3.6.1. Elektromagnetische Kraftkompensationstechnik

Diese Technik findet vor allem bei der Herstellung von Analysenwaagen Anwendung.

Die ersten Analysenwaagen mit elektromagnetischer Kraftkompensation beruhen auf Prinzipien der klassischen Balkenwaage. Dabei befindet sich auf der einen Seite des Waagbalkens die Lastschale und auf der anderen Seite eine elektrische Spule, die sich im Magnetfeld eines Dauermagneten befindet. Die elektrische Spule wirkt gleichzeitig als Kontergewicht, so dass sich das System im unbelasteten Zustand im Gleichgewicht befindet. Wirkt auf der Lastseite eine Kraft, verändert sich die Lage des Waagbalkens. Das wird von einem Lage-sensor erkannt. Ein Rechner erhält ein entsprechendes Signal und steigert solange den Stromfluss in der Spule, bis diese eine Gegenkraft erzeugt, die das System wieder ins Gleichgewicht bringt. Die Strommenge ist ein Maß für die einwirkende Kraft.

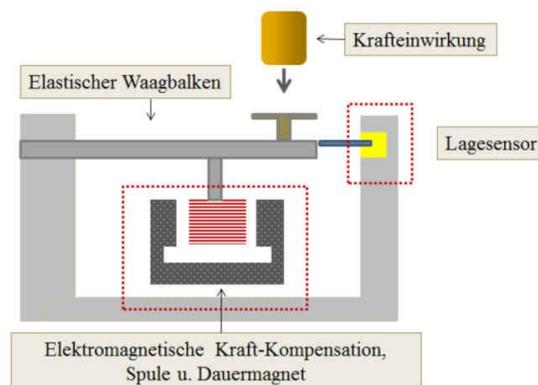
⁴³ Umgangssprachlich: Elektronische Waagen



Zeichnungen: Klaus Schröter

Da dieses Prinzip ziemlich teuer in der Herstellung und nicht robust genug im Umgang ist, verfolgte man das Waagbalkenprinzip nicht weiter.

Bei den heutigen Waagen mit kraftkompensierenden Messzellen wirkt die Gewichtskraft eines zu wägenden Gegenstandes auf einen festmontierten, elastischen Waagebalken beziehungsweise auf eine elastische Metallkonstruktion, die dadurch, für das menschliche Auge kaum wahrnehmbar, aus den Nulllagen gebracht werden. Genau wie beim vorher beschriebenen Waagbalkenprinzip wird auch hier die Abweichung nach derselben elektrischen Methode kompensiert.



Zeichnung Klaus Schröter

Diese Abbildung zeigt sehr vereinfacht das Funktionsprinzip einer Waage mit einer Kraftkompensationsmesszelle

Dieses Messprinzip führt zu sehr genauen Resultaten. Bei Höchstlasten von 100 bis 200 g erreicht man Ablesegenauigkeiten bis zu 0,1 mg. Solche Waagen sind sehr verbreitet und werden in Serie gefertigt.

Bei Ultramikrowaagen werden bei wesentlich geringeren Höchstlasten von beispielsweise ≤ 4 g Ablesegenauigkeiten bis 0,1 μg und weniger erreicht. Ultramikrowaagen werden nur für besondere Zwecke hergestellt, wo es auf höchst mögliche Genauigkeit ankommt (Forschung, Eichwesen)⁴⁴.

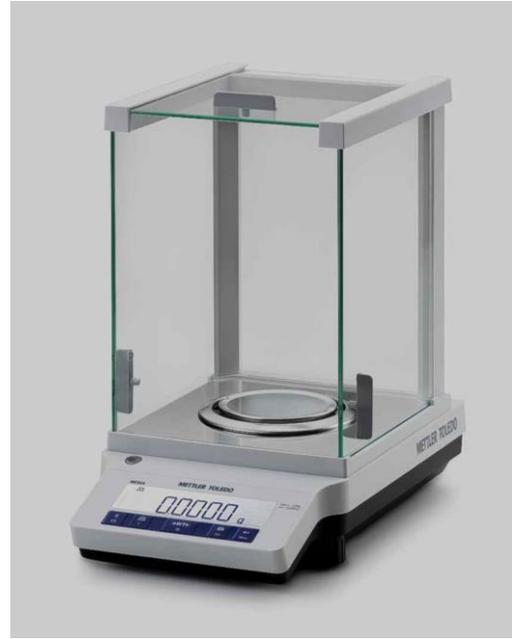
⁴⁴ Manfred Kochsiek, Handbuch des Wägens, Braunschweig, 2. Auflage 1988, S. 185-187

Beispiele für moderne Analysenwaagen mit Kraftkompensationsmesszellen

Höchstlast: 120 g / Ablesbarkeit: 0,1 mg



Analysenwaage SARTORIUS CUBIS® 524P



Analysenwaage Mettler-Toledo ME104E ⁴⁵



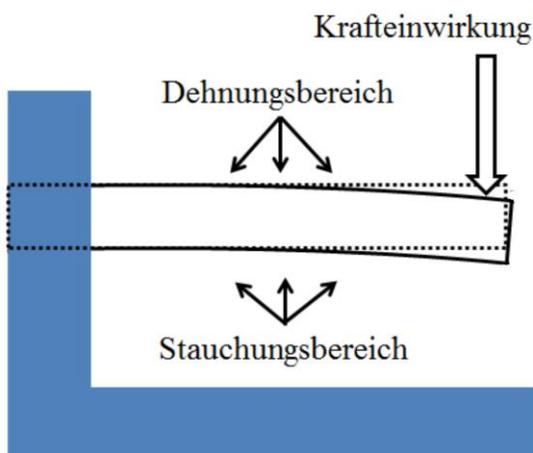
Ultramikrowaage Mettler-Toledo Excellence XPR2U⁴⁶
Max. Belastbarkeit: 2,1 g / Ablesbarkeit: 0,0001 mg (0,1 µg)

⁴⁵ © METTLER TOLEDO / www.mt.com

⁴⁶ ebenda

3.6.2. Dehnmessstreifentechnik (DMS-Technik)

Waagen mit der sogenannten Dehnmessstreifentechnik finden heute wohl die breiteste Anwendung. DMS-Wägezellen ermöglichen Wägebereiche von Zehntelmilligrammen bis zu tausend Tonnen. Sie sind robust, einfach in der Herstellung, praktisch wartungsfrei und in explosionsgefährdeten Bereichen durch hermetische Abkapselung sicher verwendbar.



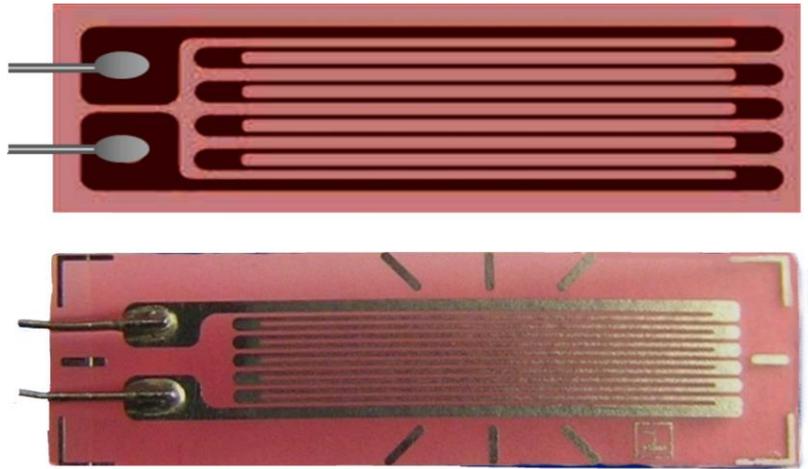
Zeichnung: Klaus Schröter

Wesentliche Bestandteile von DMS-Wägezellen können beispielsweise elastische Metallkörper in unterschiedlichen Formen wie Blöcken, Stäben, Rohren, Ringen usw. sein. Wirken mechanische Kräfte auf solche einseitig eingespannte Körper, verändern sich durch Stauchung und/oder Dehnung ihre Oberflächenstrukturen. Diese Veränderungen werden von Dehnmessstreifen erkannt.

Dehnmessstreifen

Lord Kelvin entdeckte bereits Ende des 19. Jahrhunderts folgendes Phänomen: Wenn ein Kupferdraht gestaucht oder gedehnt wird, ändert sich sein elektrischer Widerstand. Bei Stauchung nimmt der elektrische Widerstand ab und bei Dehnung zu.

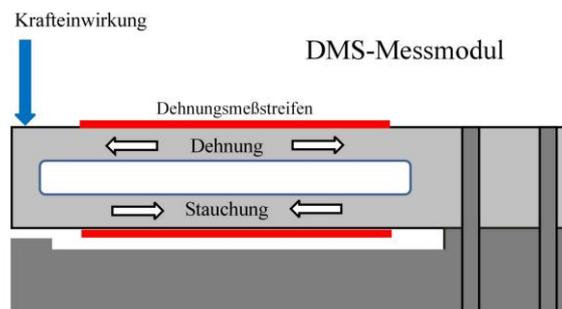
Dehnmessstreifen bestehen aus einem elastischen Substrat, das mit elektrisch leitenden und in Reihe geschalteten, ebenfalls hoch elastischen Leiterbahnen bedruckt ist. Sie ändern schon bei geringsten Verformungen ihren elektrischen Widerstand, was messtechnisch genutzt wird.



Dehnmessstreifen (DMS)

DMS-Messzellen für Waagen

Ein elastischer Metallblock ist waagrecht fest montiert. Wenn an der vorgegebenen Stelle eine Kraft senkrecht einwirkt, so verändert sich die Form des Metallkörpers. Wird die Krafteinwirkung vollkommen zurückgenommen, nimmt das Metallbauteil wieder seine ursprüngliche Form an. Die für das menschliche Auge kaum oder nicht wahrnehmbaren Verformungen werden allerdings von den Dehnmessstreifen erkannt. Die Änderungen der elektrischen Stromflüsse werden elektronisch verarbeitet, das Ergebnis wird auf einem Display angezeigt.



Zeichnung: Klaus Schröter

Dehnmessstreifen werden unter Beachtung größter Sorgfalt auf das Substrat aufgeklebt. Als Verklebungsmittel verwendet man Cyanacrylat-Kleber, besser bekannt als Sekundenkleber. Sie sind heute im Handel für wenige Euro erhältlich, so dass praktisch jeder sich seine DMS-Messzelle selbst herstellen kann.

Praktisch alle elektromechanischen Waagen, denen man täglich begegnet, sind mit DMS-Wägezellen ausgestattet. Industriewaagen mit einer Höchstlast von

beispielsweise 150 kg verfügen über eine Ablesegenauigkeit bis zu 1,0 g, kleinere mit einer Höchstlast von unter 500 g bis zu 0,1 g.



DMS-Wägezelle, geeignet für Belastungen bis 3 kg.
BOSCHE WÄGETECHNIK



DMS-Wägezelle geeignet bis 200 t
MTS-Messtechnik Sauerland



DMS-Wägezelle geeignet bis 1000 t
Soemer Wägetechnik

Beispiele für moderne Waagen mit DMS-Messzellen



Personenwaage⁴⁷



Industriewaage⁴⁸



Kassenwaage⁴⁹

Heimatkunde-Schwelm.de

Kranwaagen für hohe Lasten⁵⁰



Höchstlast: 10.000 kg
Ablesbarkeit: 2 kg



Höchstlast: 6.000 kg
Ablesbarkeit: 2 kg

⁴⁷ <https://www.soehnle.de/en/products/details/details/body-balance-shape-f4/>

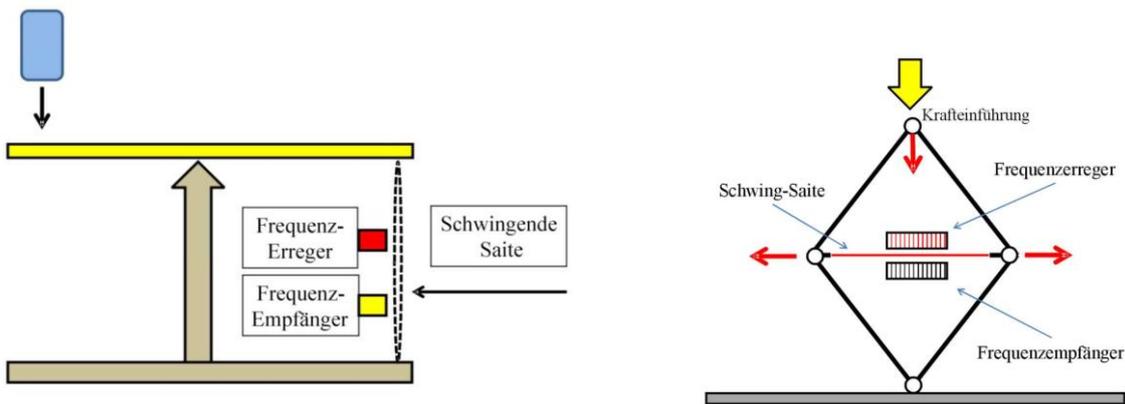
⁴⁸ <https://www.waegetechnik-nord.de/wtn-produkte/industriewaagen.html>

⁴⁹ CL5500-D Waage, E&S Kassensysteme GMBH

⁵⁰ <https://www.kern-sohn.com/shop/de/industriewaagen/haengewaagen-kranwaagen>

3.6.3 Schwingsaitentechnik

Die Schwingsaitentechnik ermöglicht den Bau von Waagen mit ebenfalls höchster Empfindlichkeit und Genauigkeit. Bei diesem System wirkt eine Gewichtskraft auf ein mechanisch vorgespanntes Saitensystem, das durch einen Oszillator zum Schwingen angeregt wird. Abhängig von der Last wird das Saitensystem mehr oder weniger gespannt und somit die Frequenz verändert. Diese Frequenzänderung wird erkannt und gemessen. Sie ist ein Maß für das aufgestellte Gewicht⁵¹.



Sehr vereinfachte Darstellungen des Schwingsaiten-Messprinzips

Zeichnung: Klaus Schröter

Moderne Analysenwaage
Ablesbar von 125 g bis 0,001 mg.



Schwingsaitenmesszelle⁵²



Analysewaage⁵³
ausgerüstet mit einer Schwingsaitenmesszelle

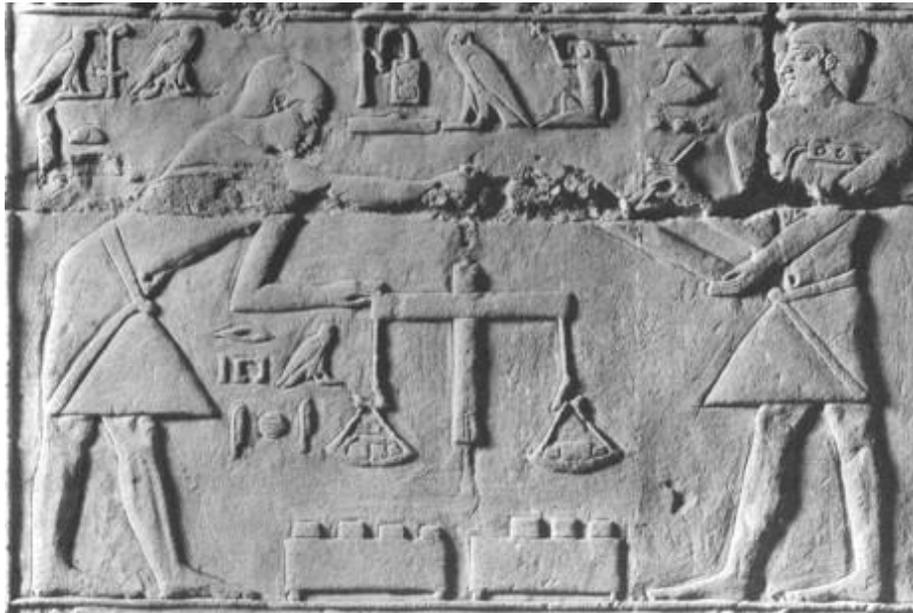
⁵¹ Vergl. „Waagentechnik im Wandel der Zeiten“, Waagen-Museum, Balingen

⁵² PESCALE WÄGETECHNIK, 72406 Bisingen

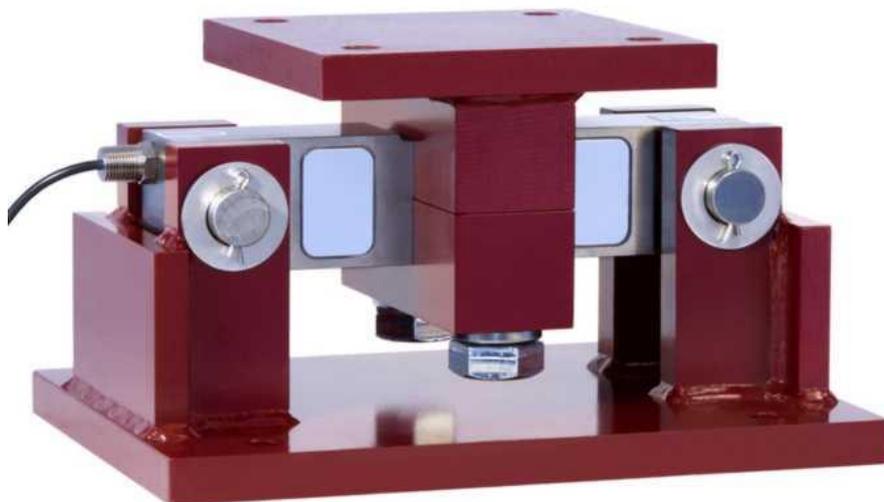
⁵³ PESCALE WÄGETECHNIK, 72406 Bisingen

4. Schlussbetrachtung

Ein langer Weg über einen Zeitraum von 5000 Jahren liegt nun hinter uns - von den ältesten uns bekannten Waagen aus der Zeit um 3000 v. Chr. bis zur hochmodernen DMS-Wägezelle mit Höchstlasten bis 1000 t aus unserer Zeit. Leider geraten die Balkenwaagen, die uns Menschen Jahrtausende täglich begleitet haben, immer mehr in Vergessenheit. In einigen Jahren sind sie - wenn überhaupt - nur noch in Museen zu bewundern.



Ägyptisches Relief aus der Zeit um 2500 v. Chr.⁵⁴

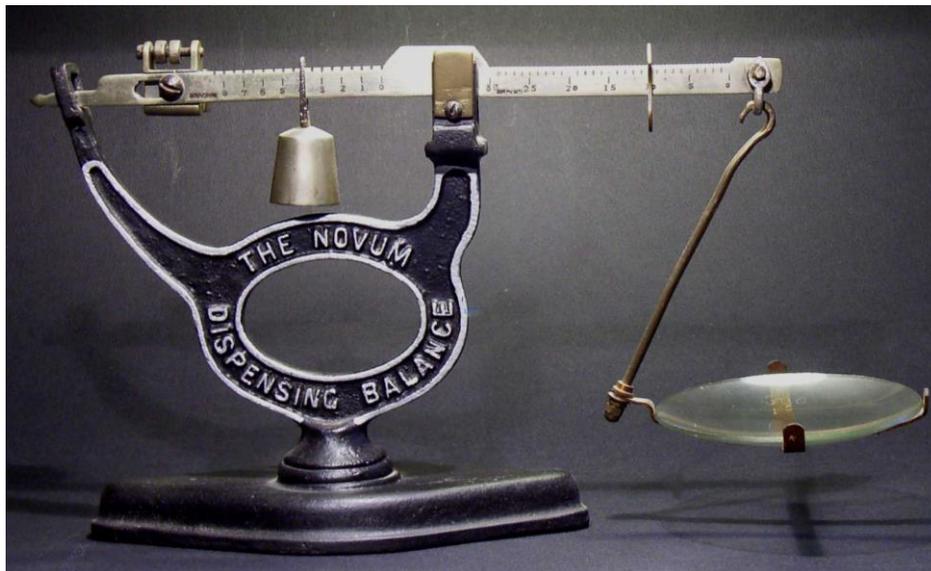


Robuste 200-t-DMS-Messzelle⁵⁵

⁵⁴ The Oriental Institute of The University of Chicago

⁵⁵ MTS MessTechnik Sauerland GmbH

Abschließend zeige ich hier noch einige sehenswerte Beispiele für historische Balkenwaagen.



England, 19. Jahrhundert
Ungleicharmige Apothekerwaage

Sammlung Klaus Schröter



England, um 1870
Kleine Drogeriewaage

Sammlung Klaus Schröter



Waage der Deutschen Reichspost

Sammlung Klaus Schröter

Was ist zu tun, damit die klassische Balkenwaage nicht ganz in Vergessenheit gerät?



Kinder beschäftigen sich im Kindergarten mit einer Spielzeugwaage⁵⁶

Fangen wir doch einfach mit unseren Kindern schon ganz früh im Kindergarten an! Zeigen wir ihnen wie „Wiegen“ geht, was Gewichte sind, wozu man sie braucht und wie Waagen funktionieren. Bringen wir unsere verantwortlichen Politiker dazu, dass auch im Geschichts- und Physikunterricht die historische Bedeutung der Balkenwaagen entsprechend behandelt wird.

⁵⁶ <http://kiga-kita-kindergartenbedarf.blogspot.de>

Es gibt weltweit Bemühungen, Waagen und Gewichte als bedeutende Elemente unserer Kulturgeschichte nicht zu vergessen. Davon zeugen Sammlungen in öffentlichen und privaten Museen, so z. B. im „Pfunds-Museum“ in Kleinsassen in der Rhön. Hier präsentierte Prof. Reinhardt Kremer bis zu seinem Tod im Jahre 2020 neben anderen metrologischen Gegenständen Waagen und Gewichte, die er über mehrere Jahrzehnte gesammelt hatte.



Eine Schulklasse im Pfunds-Museum

Prof. Kremer verfolgte das Ziel, möglichst vielen Menschen, vor allem Jugendlichen, das Wissen über Waage und Gewicht nahezubringen. Gern gesehene Gäste waren und sind auch heute noch Schulklassen⁵⁷.



Die Jugendlichen durften sich bei Kremer frei im Museum bewegen. Dabei zeigten sie vor allem Interesse an Waagen und Gewichten, wie hier zwei Jungen das Prinzip der Dezimalwaage erkennen.

Fotos: Klaus Schröter, 2008

Wenn Sie Fragen zu dieser Betrachtung haben, dann nehmen Sie bitte mit mir Kontakt auf.

Klaus Schröter, Höhenweg 16, 58332 Schwelm
Tel. Nr. : ++49-(0)2336-3130
E-Mail : kl_schroeter@web.de

⁵⁷ Der Eigentümer des ehemals privaten Museums ist nun der Verein „Pfunds-Museum Kleinsassen e.V.“, der das Museum im Sinne von Reinhardt Kremer weiterführt.

5. Der Verein „Maß und Gewicht“

„Maß und Gewicht“

Verein für Metrologie e.V.

Messen und Wiegen ist ein Forschungs- und Sammelgebiet, mit dem sich die Mitglieder des Vereins „Maß und Gewicht“ beschäftigen. Wir sammeln, restaurieren, erforschen und berichten über Waagen, Gewichte, Längenmaße, Hohlmaße, Münzwaagen usw. Im Jahre 1987 wurde der Verein gegründet, dem mittlerweile etwa 350 Mitglieder (Stand: Oktober 2012) aus zwölf Ländern angehören.

Unsere Mitglieder erhalten viermal jährlich die Hefte unserer „Zeitschrift für Metrologie“ (ISSN 0933-4246). Die Aufsätze in dieser Zeitschrift werden von den Mitgliedern selbst geschrieben. Mit jedem Heft bekommen die Mitglieder auch Informationen über neue Literatur sowie Hinweise auf Ausstellungen, Veranstaltungen und die Schwester-Vereine in anderen Ländern. Mitglieder können in der Vereinszeitschrift auch Anzeigen für Kauf und Verkauf aufgeben.



Verein für Metrologie e.V.

Zweimal jährlich (Frühjahr und Herbst) finden an unterschiedlichen Orten in Deutschland Sammlertreffen statt. Dabei werden Vorträge über Themen der historischen Metrologie gehalten. Ferner findet bei jedem Sammlertreffen eine Kauf- und Tausch-Börse für Mitglieder statt. Diese Treffen werden meist von mehr als 100 Mitgliedern und Gästen besucht, um das gegenseitige Kennenlernen und den Austausch von Informationen zu ermöglichen. Bei Bedarf richtet der Verein für seine Mitglieder Auktionen aus. Das können Saalauktionen oder auch schriftliche Auktionen sein.

Neben der „Zeitschrift für Metrologie“ gibt der Verein eine weitere Schriftenreihe mit der Bezeichnung „Beihefte zur Zeitschrift für Metrologie“ (ISSN 1430-1881) heraus. In den Beiheften werden Vorträge, die zu den Sammlertreffen gehalten werden, abgedruckt. Weiter dient diese Schriftenreihe der Veröffentlichung umfangreicherer Beiträge zur Metrologie.

Wenn Sie Fragen zum Verein „Maß und Gewicht“ haben, können Sie sich über das Internet an den Verein wenden.

(<http://www.mass-und-gewicht.de>)

Auch ein direkter telefonscher Kontakt mit dem Leiter der Redaktion Claus Borgelt ist möglich.

++49-(0)2602-9972166