

SCHRIFTEN ZUR WEINGESCHICHTE

Herausgegeben von der Gesellschaft für Geschichte des Weines

ZUR GESCHICHTE DER DICHTBESTIMMUNG VON FLÜSSIGKEITEN

INSBESONDERE DES TRAUBENMOSTES IN OECHSLE-GRADEN

VON HANS R. JENEMANN



Nr. 98
Wiesbaden 1990
ISSN 0302 0967

SCHRIFTEN ZUR WEINGESCHICHTE · NR. 98

ZUR GESCHICHTE
DER DICHTEBESTIMMUNG
VON FLÜSSIGKEITEN

INSBESONDERE
DES TRAUBENMOSTES
IN OECHSLE-GRADEN

VON HANS R. JENEMANN



GESELLSCHAFT FÜR GESCHICHTE DES WEINES E.V.

Inhalt

1. Einführung	3
2. Die hydrostatische Wägung an der Balkenwaage im Al- tertum	7
3. Die Bestimmung der Dichte flüssiger Körper durch hydro- statische Wägung an der Balkenwaage	10
4. Die Dichtebestimmung flüssiger Stoffe mittels des Aräo- meters	20
4.1 Das Aräometer im Altertum	22
4.2 Das Aräometer im Mittelalter	25
4.3 Das Aräometer zur Zeit der Renaissance und der Aufklärung	25
4.4 Das Aräometer und die Dichtebestimmung des Trau- benmostes	30
4.5 Das nach Ferdinand Oechsle benannte Aräometer .	33
5. Die Weiterentwicklung der Dichtebestimmung in Trau- benmosten	38
Anmerkungen	41

Privatdruck für die Mitglieder der Gesellschaft für Geschichte des Weines e. V.

Kein Teil dieser Schrift darf ohne schriftliche Genehmigung der Gesellschaft in irgendeiner Form reproduziert oder eingespeichert werden. Wiedergabe *einer* Textstelle bis zu höchstens 20 Zeilen nur mit genauer Zitierung (Verfasser, Titel, Jahr, Schriften zur Weingeschichte Nr. xxx) gestattet.

Nicht im Buchhandel

Gesamtherstellung: Wiesbadener Graphische Betriebe GmbH, Wiesbaden

1. Einführung

Wenn im Herbst die Traubenlese beginnt, werden in den einzelnen Weinlagen die sogenannten Oechsle-Grade gemessen. Das Ergebnis dieser Messung gilt als Maß für die Güte des aus den Trauben zu kelternden Weines: Je höher die Oechsle-Grade sind, ein um so höherwertiger Wein ist zu erwarten. Die Oechsle-Grade bilden dann auch die Grundlage für den Preis des Mostes im Handelsverkehr und insbesondere für die spätere Einstufung des gekelterten Weines in Qualitätsgruppen.

Wie viele andere Messungen physikalischer Größen, mit denen die Menschen in ihrer heutigen technischen Umgebung täglich zu tun haben, ist die Bestimmung der Oechsle-Grade eine physikalische Messung – ganz gleich, ob man sich dessen bewußt ist oder nicht.

Die Oechsle-Grade sind eine Maßzahl für die Dichte des Traubenmostes. Diese physikalische Größe der Dichte wird heute meist noch als spezifisches Gewicht benannt, was aber, physikalisch gesehen, nicht korrekt ist: Nach den international verbindlich festgelegten Einheiten, dem 1960 beschlossenen *Système International (SI)*¹, ist die Dichte definiert als die auf die Einheit des Volumens bezogene Masse eines Stoffes², was gleichermaßen für feste, flüssige und gasförmige Körper gilt. Die Masse, eine der sieben Basisgrößen des SI, wird oft noch als Gewicht bezeichnet; das ist allerdings im physikalischen Sinne ebensowenig korrekt wie die Bezeichnung der Dichte als spezifisches Gewicht. Im Handelsverkehr, um den es sich bei der Einstufung der Oechsle-Grade handelt, ist es jedoch weiterhin erlaubt, den Begriff Gewicht und damit auch den des spezifischen Gewichtes zu verwenden.³ So soll denn im Laufe dieser Betrachtung die alte Bezeichnung spezifisches Gewicht teilweise beibehalten werden⁴, schon deswegen, um der historischen Entwicklung gerecht zu werden.⁵

Im *Système International* mit seinen kohärenten Einheiten ist die Einheit der Masse in Kilogramm und die des Volumens in Kubikmeter zu setzen.⁶ Reines Wasser erhält demnach einen Zahlenwert für die Dichte von $\rho_w = 0,001 \text{ kg/m}^3$. Es ist aber praktischer, als Grundlage für das Volumen nicht das Kubikmeter, sondern die davon abgeleitete kleinere „Vorsatz“-Einheit, das Kubikdezimeter – gleich dem Liter – zu nehmen, so daß Wasser die altvertraute Dichtezahl von $\rho_w = 1,000 \text{ kg/dm}^3$ oder $1,000 \text{ kg/l}$ erhält.⁷

Der Traubenmost ist, chemisch betrachtet, eine Lösung verschiedener Substanzen in Wasser. Den Hauptanteil dieser gelösten Stoffe macht der Gehalt an Zucker aus^{7a}, der dann auch im wesentlichen für die Maßzahl der Dichte bestimmend ist: Je größer der Zuckergehalt im Traubenmost, um so größer die Dichte (Tabelle 1).^{7b}

Tabelle 1: Zusammenhang zwischen dem Zuckergehalt einer wässrigen Lösung (bezogen auf Saccharose) und ihrer Dichte.

Konzentration Saccharose (g/l Lösung)	Dichte (kg/l)	Konzentration Saccharose (g/l Lösung)	Dichte (kg/l)
0	1,000	220	1,084
20	1,008	240	1,092
40	1,016	260	1,100
60	1,023	280	1,107
80	1,031	300	1,115
100	1,039	320	1,122
120	1,046	340	1,130
140	1,054	360	1,137
160	1,062	380	1,145
180	1,069	400	1,152
200	1,077	420	1,160

Quelle: E. Vollhase und E. Thymian: Ausgewählte Verfahren zur Untersuchung von Lebensmitteln und Bedarfsgegenständen, Jena 1951, S. 673 ff.

Hinweis: Die angegebenen Dichtewerte beziehen sich auf die Meßtemperatur von 20°C. Zur Umrechnung auf die „wahre Dichte“ bei 4°C sind die Werte mit dem Faktor 0,998203 zu multiplizieren.

Die Dichte des Traubenmostes ist also immer größer als eins; das heißt, der Most ist spezifisch schwerer als Wasser. Je größer demnach die Dichte, um so mehr ist zu erwarten, daß ein hochwertiger Wein gewonnen wird, der einerseits höhere Prozentgehalte von Alkohol enthält und andererseits mehr von den sogenannten Extraktstoffen: Es ist bekanntlich nicht der Alkohol allein, der die Güte des Weines ausmacht. Maßgeblich für den Geschmack sind insbesondere noch organische Säuren, deren Gehalt nicht zu hoch sein sollte, außerdem Glycerin, Ester, Pektine, Proteine und noch andere Extraktstoffe sowie Mineralstoffe und noch Spurenbestandteile. Gemeinsam mit den nicht vergorenen Zuckeranteilen, dem Restzucker, machen diese Stoffe insgesamt das aus, was als Aroma des Weines bezeichnet wird.

Die Konzentration der Extraktstoffe im Traubenmost kann recht unterschiedlich sein, ist indessen stets wesentlich geringer als die des Traubenzuckers. Diesem gegenüber wirken sich die anderen im Most gelösten Stoffe somit beträchtlich weniger auf seine Dichte aus. Es ist aber davon auszugehen, daß im Laufe des Reifeprozesses neben dem Zucker meist auch die anderen Extraktstoffe mit ansteigen. Für die sauren Bestandteile in den Trauben gilt dies jedoch weniger, insbesondere für die Äpfelsäure, die mit zunehmender Reife größtenteils in Zucker umgewandelt wird; der Gehalt an Weinsäure ändert sich dabei aber nur wenig.^{7c} So ist, da die Nichtzuckerbestandteile innerhalb gewisser Grenzen schwanken, letztlich die Dichtebestimmung des Traubenmostes in Hinsicht auf den Zuckergehalt nicht ganz eindeutig. In der Praxis geht man aber von festen Relationen aus; der daraus entstehende Fehler

wirkt sich, wegen des wesentlich geringeren Absolutgehaltes der übrigen Extraktbestandteile, in der Regel nur relativ wenig auf die Genauigkeit der Bestimmung des potentiellen Alkoholgehaltes im Traubenmost aus. Wenn es somit möglich ist, aus der Dichte des Traubenmostes die Qualität des daraus zu kelternden Weines vorauszusagen, kommt es noch ganz entscheidend auf die richtige Behandlung durch den Kellermeister an, dem es obliegt, das ihm anvertraute Gut optimal zu verwalten.

Die Oechsle-Grade sind nun nichts anderes als die Dichtewerte ohne die Eins vor dem Komma und ohne die meist darauf folgende Null sowie ohne Angabe einer Maßeinheit für die Dichte; sie geben also an, wieviel Gramm ein Liter Traubenmost mehr wiegt als ein Liter Wasser. Tabelle 2 veranschaulicht den Zusammenhang an einigen Beispielen.

Unter konventionellen Bedingungen kann man auf die Eins deswegen verzichten, weil sie ein grundsätzlicher Bestandteil der sämtlichen Dichtewerte von Traubenmosten ist; Verwechslungen sind also ausgeschlossen. Um dann, umgekehrt, auf mathematisch korrekte Weise von den Oechsle-Graden zu den vollständigen Dichtewerten zu gelangen, ist die in der Tabelle angegebene Formel zu verwenden.

Die so erhaltenen Oechsle-Grade gelten, worauf bereits verwiesen, als Grundlage für die spätere Qualitätseinstufung des Weines.⁸ Aus Tabelle 3 ist,

Tabelle 2: Zusammenhang zwischen der Dichte des Traubenmostes und Graden Oechsle.

Dichte (kg/l)	Grade Oechsle (° Oe)
1,056	56
1,071	71
1,099	99
1,101	101
1,145	145

$$\text{Dichte} = 1,000 + \frac{\text{Grade Oechsle}}{1000}$$

Tabelle 3: Einstufung des Weines in Qualitätsgruppen nach Grad Oechsle (Rheinhessen-Riesling als Beispiel).

Tafelwein	bis 60 Grad Oechsle
Qualitätswein	ab 60 Grad Oechsle
Qualitätswein mit Prädikat	
Kabinett	ab 73 Grad Oechsle
Spätlese	ab 85 Grad Oechsle
Auslese	ab 92 Grad Oechsle
Beerenauslese und Eiswein	ab 120 Grad Oechsle
Trockenbeerenauslese	ab 150 Grad Oechsle

Quelle: Wegweiser durch das Weinrecht, Anm. 8, S. 27.

für den Rheinhessen-Riesling als Beispiel, die Einteilung des Weines nach Qualitätsgruppen zu ersehen.⁹

Während beim Traubenmost die Dichte ein ziemlich eindeutiges Kriterium zur Qualitätsbeurteilung darstellt, ist dies beim gekelterten Wein wesentlich weniger der Fall: Mit ca. 0,79 kg/l liegt die Dichte des reinen Alkohols beträchtlich unter der des Wassers. Im Laufe der alkoholischen Gärung wird also die Dichte ständig kleiner. Dabei kompensieren sich Dichtewerte von größer als eins, nämlich von Restzucker und den Extraktstoffen, mit solchen kleiner als eins für den Alkohol. Je nachdem, welcher Anteil den Ausschlag gibt, resultieren daraus um etwa 1,000 kg/l liegende Dichtewerte, aus denen keine eindeutigen Rückschlüsse auf die Qualität des Weines zu ziehen sind.

Zur Dichtebestimmung von Flüssigkeiten bestehen verschiedene Möglichkeiten. Von der Definition der Dichte her werden prinzipiell zwei Einzelwerte benötigt, die aus zwei einzelnen Messungen resultieren müßten: Das Volumen der Meßprobe und ihre Masse. Es kann demnach so vorgegangen werden, ein genau vorgegebenes Volumen der Flüssigkeit auf einer geeigneten Waage zu wägen. Außerdem ist darauf zu achten, daß diese Bestimmung bei einer definierten Temperatur vorgenommen wird. Mit steigender Temperatur nimmt bekanntlich die Dichte fast aller Körper infolge ihrer Ausdehnung ab. Wenn beispielsweise die Temperatur gegenüber der Soll-Temperatur zu hoch ist, werden die Meßwerte zu niedrig. Das gilt auch für die anderen Verfahren der Dichtebestimmung, so daß dann, wenn die Messungen bei einer anderen als der Soll-Temperatur ausgeführt werden, Korrekturen am Meßwert anzu- bringen sind.

Es darf angenommen werden, daß die Menschen bereits ziemlich früh gemerkt haben, daß die einzelnen Stoffe unterschiedlich schwer sind. So stellt auch die Wägung einer abgemessenen Stoffmenge das älteste Verfahren zur Dichtebestimmung dar.¹⁰ Im Laufe der Zeit ist dieses Verfahren beträchtlich verfeinert worden, so daß heute die Dichtebestimmung von Flüssigkeiten mittels des Pyknometers ein recht genaues Verfahren ist; es hat jedoch, wenn genaue Werte erreicht werden sollen, den Nachteil, daß es ziemlich zeitaufwendig ist. Schneller und eleganter und dabei ebenfalls ziemlich genau läßt sich die Dichtebestimmung durch hydrostatische Wägung ausführen.

Zur Dichtebestimmung durch hydrostatische Wägung bestehen zwei prinzipiell verschiedene Möglichkeiten, wobei zwei unterschiedliche Grundtypen von Waagen verwendet werden: Die eine an der Balkenwaage und die andere an der Schwimmwaage, dem Aräometer. Beide Verfahren waren bereits im Altertum bekannt, wobei aber an der Balkenwaage ausschließlich die Dichtebestimmung von Festkörpern und am Aräometer – dies jedoch deutlich später – von Flüssigkeiten ausgeführt wurde. Die Dichtebestimmung für Flüssigkeiten an der Balkenwaage wurde erst im Laufe des 17. Jahrhunderts entwickelt; die – in dieser Betrachtung nicht interessierende – Dichtebestimmung fester Körper am Aräometer wurde ebenfalls erstmals im 17. Jahrhundert ausgeführt.

2. Die hydrostatische Wägung an der Balkenwaage im Altertum

Die Grundlagen der Hydrostatik sind von Archimedes von Syrakus (ca. 287 – 212) ausgearbeitet worden.¹¹ Nach dessen Prinzip verliert ein in eine Flüssigkeit eintauchender Körper so viel von seiner Gewichtskraft, wie die von ihm verdrängte Flüssigkeitsmenge wiegt¹²; das bedeutet, daß – relativ gesehen – ein Festkörper beim Eintauchen in eine Flüssigkeit um so mehr von seiner Gewichtskraft verliert, je geringer seine Dichte, also je leichter er ist.

Das Prinzip des Archimedes kann dazu genutzt werden, das Volumen eines unregelmäßig geformten Körpers zu bestimmen: Die Kenntnis des Volumens ist, wie oben postuliert, zur Dichtebestimmung erforderlich. Während bei regelmäßig geformten Körpern die Grunddaten vermessen werden können, um daraus nach einer geometrischen Formel das Volumen zu errechnen, bleibt dieser Weg bei unregelmäßig geformten Körpern versperrt. Voraussetzung, nach der Vorgabe des Archimedes das Volumen bestimmen zu können, ist, daß die Dichte des Mediums, in das der Körper eingetaucht wird, bekannt ist; meist wird Wasser mit der Dichte gleich eins verwendet.

Bei der hydrostatischen Wägung wird zweimal gewogen: Das erste Mal unter den üblichen Bedingungen in Luft zur Bestimmung der Masse, das zweite Mal nach Eintauchen der Meßprobe in Wasser. Die Differenz der beiden Wägungen, der Gewichtsverlust der Probe, führt zu deren Volumen, so daß daraus die Dichte errechnet werden kann (Abb. 1). Aus den beiden Büchern des Archimedes „Über schwimmende Körper“ geht nicht hervor, ob zu seiner Zeit bereits Dichtebestimmungen von Festkörpern nach seinem Prinzip ausgeführt worden sind. Zweifellos hätte Archimedes selbst dazu alle Voraussetzungen gehabt; anzunehmen ist auch, daß er, als er das hydrostatische Prinzip entwickelt hat, entsprechende Versuche ausgeführt hat.

Im Altertum, zur Zeit des Vitruvius, der im 1. Jahrhundert v. Chr. gelebt hat, ist dem Archimedes freilich zugeschrieben worden, die Bestimmung der Dichte von Festkörpern selbst vorgenommen zu haben.¹³ Es ist die bekannte Geschichte von dem Kranz des Königs Hieron von Syrakus¹⁴, wonach der Goldschmied diesen bei der Anfertigung des Kranzes¹⁵ betrogen haben sollte: Während die Masse des Kranzes genau der vorgegebenen Goldmenge entsprach, bestand der Verdacht, daß ein Teil des Goldes durch das weniger wertvolle Silber ersetzt worden sei. Mit dem Ausruf „Heureka – Ich hab’ es gefunden“ habe Archimedes nach dem Einsteigen in die bis zum Rande gefüllte Badewanne entdeckt, wie das Problem zu lösen sei: Das von Archimedes angewandte Verfahren habe darauf beruht, die Schwere des Kranzes zu ermitteln. Das beigemischte Silber hat mit ca. 10,5 kg/l eine wesentlich geringere

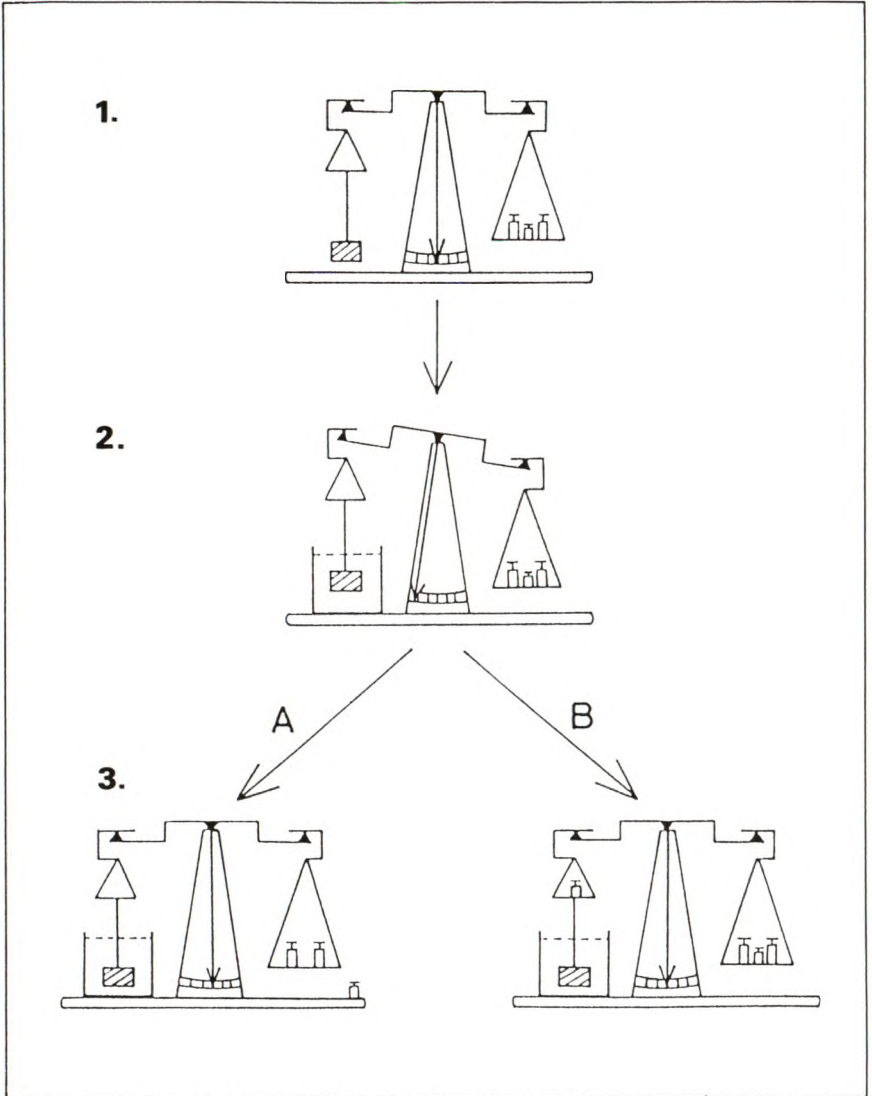


Abb. 1: Hydrostatische Wägung an der gleicharmigen Balkenwaage; 1. Wägung des Festkörpers in Luft, 2. Zustand nach Eintauchen des Festkörpers in Wasser, 3. Feststellung des Gewichtsverlustes: 3A: durch Wegnahme von Gewichtsstücken von der Gewichtsschale (Kompensationsverfahren), 3B: durch Zugabe von Gewichtsstücken auf die hydrostatische Schale (Substitutionsverfahren).

Dichte als das Gold mit ca. 19,3 kg/l. Da das Gold das im Altertum mit Abstand schwerste bekannte Metall war, mußte jede Legierung aus Gold und einem anderen Metall eine deutlich geringere Dichte haben.

Bei der Beschreibung des Vitruvius handelt es sich allerdings nicht um die Ausführung der Dichtebestimmung durch hydrostatische Wägung: Es heißt nämlich, daß Archimedes ein mit Wasser gefülltes Gefäß benutzt habe, in das er den Kranz eintauchte, um dann zu messen, wieviel Wasser dieser verdrängte. Das Verdrängungs- oder Überlaufverfahren ist ein anderes, nämlich einfacheres Verfahren zur Bestimmung des Volumens unregelmäßig geformter Körper, das indessen wesentlich weniger genau ist als das durch hydrostatische Wägung. Für größere Dichteunterschiede, wie in dem angegebenen Fall, reicht die Genauigkeit dieser Methode jedoch völlig aus. Die Erzählung des Vitruvius ist aber der Beweis dafür, daß man im Altertum imstande war, die Dichte von unregelmäßig geformten Körpern zu bestimmen, gleich ob durch hydrostatische Wägung oder nach dem Verdrängungsverfahren.

Aus Quellen anderer Art ist dagegen gesichert, daß im Altertum tatsächlich hydrostatische Wägungen an der Balkenwaage ausgeführt worden sind: Schriften der Araber, die sich ausführlich mit genauen Wägungen befaßt haben, liefern den Beweis; am bekanntesten ist das 1121 geschriebene „Buch der Waage der Weisheit“ von Al Châzinî¹⁶. Von den Arabern, die sich noch direkt auf Archimedes und ihm nachgeordnete Autoren beziehen konnten, sind in vielfältiger Weise Angaben über Wägetechniken überliefert, nach denen aufgrund der Dichte die Zusammensetzung von aus zwei Metallen zusammengesetzten Legierungen ermittelt und die Echtheit von Edelsteinen überprüft wurde.

Die Literatur der Araber schreibt dem Archimedes auch zu, hydrostatische Wägungen selbst vorgenommen zu haben: Unter Bezugnahme auf Menelaos, einen Mathematiker und Astronomen aus Alexandrien, der im 1. nachchristlichen Jahrhundert gelebt hat¹⁷, wird eine gleicharmige „Hydrostatische Waage des Archimedes“ abgebildet und beschrieben.¹⁸ Das ist als Bestätigung dafür aufzufassen, daß in der Zeit nach Archimedes hydrostatische Wägungen tatsächlich ausgeführt wurden und sie damit auch auf ihn zurückzuführen sind – unabhängig davon, ob die Erzählung über die Untersuchung des Kranzes des Königs Hieron auf Tatsachen beruht oder nur eine Legende ist.¹⁹ Nach der von Al Châzinî wiedergegebenen Waage hat Archimedes dabei zusätzlich ein Laufgewicht benutzt und damit – außer der seit bereits lange bekannten Grundform der Waage – das ebenfalls auf ihn zurückgehende Hebelgesetz noch in einer anderen Variante angewandt.^{19a}

Ein weiteres Indiz, daß im Altertum an der Balkenwaage hydrostatisch gewogen wurde, ist eine spezielle Waage mit nur einer Waagschale und festem Gegengewicht; von dieser spätantiken Waage sind zwei Exemplare erhalten geblieben und beschrieben worden.²⁰ An ihr konnte sowohl überprüft werden, ob die Masse des Solidus, einer Goldmünze von 4,55 g, dem Soll-Gewicht entsprach, wie auch festgestellt werden, ob dem Gold minderwertige Metalle beigemischt waren.

3. Die Bestimmung der Dichte flüssiger Körper durch hydrostatische Wägung an der Balkenwaage

Zu der Bestimmung der Dichte von flüssigen Körpern durch hydrostatische Wägung gelangt man, indem die für Festkörper festgelegte Methode umgekehrt wird: Man verwendet einen Senkkörper aus festem Material, etwa aus Glas, taucht ihn in die zu untersuchende Lösung ein und stellt wiederum den Gewichtsverlust fest. Wenn mit demselben Senkkörper in gleicher Weise in einer anderen Flüssigkeit von bekannter Dichte verfahren wird, läßt sich durch einfache Dreisatzrechnung auf die Dichte der Bestimmungslösung rückschließen. Auch hier muß auf Temperaturgleichheit geachtet werden.

Aus dem umfangreichen Schrifttum der Araber lassen sich keine Hinweise dafür finden, daß zu der Zeit, als im 10. bis 14. Jahrhundert das Zentrum der wissenschaftlichen Betätigung im östlichen Mittelmeerraum lag, zur Bestimmung der Dichte von Flüssigkeiten in dieser Weise verfahren worden wäre. Die vorhandenen Methoden – über die Wägung einer abgemessenen Flüssigkeitsmenge oder gegebenenfalls bereits mittels des Aräometers – reichten offenbar völlig aus. Ebenso wenig ist den Schriften der abendländischen Naturforscher, die sich als erste mit hydrostatischen Studien befaßt haben, zu entnehmen, daß sie sich eines solchen Verfahrens bedient hätten. Dies gilt gleichermaßen für die 1586 publizierten hydrostatischen Arbeiten von Simon Stevin (1548 – 1620)²¹ wie auch die in demselben Jahr verfaßte, aber erst wesentlich später erstmals gedruckte Schrift Galileo Galileis (1564 – 1642) über seine spezielle hydrostatische Waage, die „Bilancetta“²², sowie seine späteren hydrostatischen Untersuchungen²³.

Die Schüler Galileis haben sich ebenfalls mit hydrostatischen Studien befaßt und die Überlegungen des Meisters erweitert. Einer von ihnen, Vincenzo Viviani (1622 – 1703), verwendete eine Anordnung, an der auch die Dichte von Flüssigkeiten bestimmt werden konnte.²⁴ Die Waage von Galilei und später auch die von seinem Schüler Castelli (1577 – 1644) waren sowohl mit fest wie auch beweglich angeordneten Waagschalen und außerdem mit einem Laufgewicht ausgestattet gewesen. Die hydrostatische Waage Vivianis für Flüssigkeiten hatte demgegenüber lediglich einen fest installierten Senkkörper A auf der einen Seite und auf der anderen ein Laufgewicht B (Abb. 2). Zuerst wurde die Waage in Luft mittels des Laufgewichtes ausgeglichen und dessen Position vermerkt. Dann wurde der Senkkörper in Wasser und anschließend in die zu untersuchende Flüssigkeit eingetaucht. Die Waage wurde jeweils wieder ins Gleichgewicht gebracht und die Stellung des Laufgewichtes registriert. Durch das Verhältnis der so festgestellten beiden Abstände des Laufgewichtes gegenüber seiner Ausgangsposition ergab sich die unbekannte Dichte

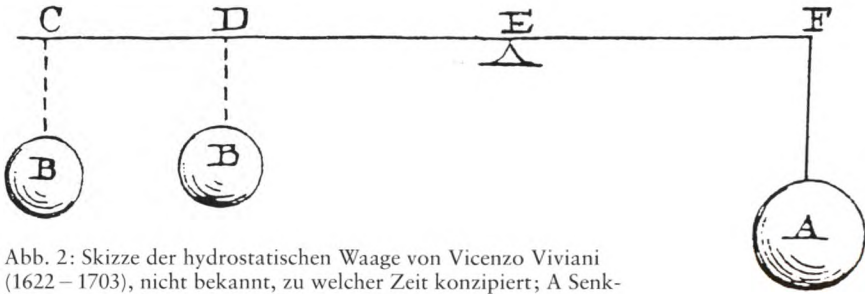


Abb. 2: Skizze der hydrostatischen Waage von Vincenzo Viviani (1622 – 1703), nicht bekannt, zu welcher Zeit konzipiert; A Senkkörper, B Laufgewicht. Quelle: Anm. 24.

der Bestimmungslösung im Vergleich zu der als bekannt vorausgesetzten von Wasser.

Inwieweit Viviani als derjenige zu betrachten ist, der erstmals die Dichte von Flüssigkeiten hydrostatisch an der Balkenwaage bestimmt hat, mag fraglich sein; publiziert worden sind seine diesbezüglichen Arbeiten zu seinen Lebzeiten jedenfalls nicht, siehe Anm. 24. Zudem wird die erst 1718 an ziemlich „versteckter“ Stelle erschienene Publikation kaum über einen engeren Kreis hinaus bekannt geworden sein. Wichtig ist aber, daß er auch zur hydrostatischen Dichtebestimmung von Flüssigkeiten, wie andere vor ihm bereits von Festkörpern, ein Laufgewicht verwendet und damit eine aus dem Altertum herrührende Technik faktisch weitergeführt hat. Zur hydrostatischen Bestimmung von Flüssigkeiten hat er damit Konstruktionen vorweggenommen, die erst wesentlich später zu universeller Verbreitung gelangten.

Allgemeine Kenntnis erreichten dagegen, nachdem sich während des 17. Jahrhunderts noch andere Naturforscher mit hydrostatischen Studien befaßt hatten, die 1690 publizierten „Medicina Hydrostatica“ von Robert Boyle (1627 – 1691)²⁵. In seinen detailliert beschriebenen Untersuchungen befaßte Boyle sich zuerst mit der hydrostatischen Bestimmung von im medizinischen Bereich verwendeten Feststoffen, um dann zu Flüssigkeiten überzugehen:

„We take a solid body, more than heavy enough to sink in water, and carefully observe, once for all, its weight in the air: then we weigh the self-same solid, first in one of the liquors we would examine, and then in another, and so onwards, if there be more than two. And having noted the difference between the solid, and each of the liquors, it is easy to find...the specific weight of each, and the proportions betwixt them.“

Boyle, der die von ihm ausgearbeiteten Experimente auch vor den Versammlungen der Royal Society of London vorführen ließ, arbeitete an der üblichen gleicharmigen Waage mit zwei Schalen (Abb. 3). Der nach dem Eintauchen des Senkkörpers aufgetretene Gewichtsverlust wurde dabei an derjenigen Waagschale ausgeglichen, die der hydrostatischen Seite entgegengesetzt war, also durch Wegnahme von Gewichtsstücken. Diese über lange Zeit hinweg meist angewandte Wägetechnik sollte später als Kompensations-

verfahren bezeichnet werden – im Gegensatz zur Substitutionswägung, bei welcher der Gewichtsausgleich auf derselben Seite wie die vorangegangene Änderung erfolgt und dabei die Waage stets unter konstanter Gesamtbelastung steht²⁶; bei der hydrostatischen Substitutionswägung von Flüssigkeiten müßten also, nachdem die Waage in Luft genau ausgeglichen wurde, Gewichtsstücke auf der hydrostatischen Seite zugefügt werden.

Francis Hauksbee („The elder“, ca. 1666 – 1713), der ebenfalls Experimente vor der Royal Society ausführte, beschrieb 1710 eine von ihm konstruierte hydrostatische Waage, an der sowohl die Dichte von Festkörpern wie auch von Flüssigkeiten bestimmt werden konnte.²⁷ Die Variante für Flüssigkeiten hatte kleine, kurz unter dem Balken aufgehängte Waagschalen, von denen die rechte, hydrostatische Schale F deutlich dünner und leichter als die „allgemeine“ Schale E war (Abb. 4). Tauchte der an der hydrostatischen Schale angehängte Glaskörper G in reines Wasser ein, stand der Balken genau waagrecht. Je nachdem, ob die zu untersuchende Flüssigkeit leichter oder schwerer als Wasser war, ging der Balken entweder auf der linken oder der rechten Seite nach oben. Zum Gewichtsausgleich wurden auf die nach oben gegangene Waagschale Gewichtsstücke aufgelegt. Diese entsprachen dann der Dichtedifferenz der zu untersuchenden Flüssigkeit gegenüber Wasser.

Die hydrostatische Waage Hauksbees, die erhalten geblieben ist und sich heute im St. John's College zu Oxford befindet²⁸, wurde später mehrfach in gleicher Form zur Ausführung hydrostatischer Bestimmungen beschrieben. Eine solche Waage wurde auch von seinem Neffen, Francis Hauksbee („The younger“, 1688 – 1763), benutzt, der ähnliche Experimente wie sein (bedeutenderer) Onkel ausführte²⁹; die hydrostatischen Arbeiten des jüngeren Hauksbee sind ab 1710 zu datieren.³⁰ Auch in dem damals weit verbreiteten Lehrbuch der Physik von J. Th. Desaguliers ist die Dichtewaage Hauksbees abgebildet, und es wird angegeben, wie mit ihr die Dichte von Flüssigkeiten zu bestimmen ist.³¹

Im Laufe des 18. Jahrhunderts wurde die an der gleicharmigen Waage ausgeführte Dichtebestimmung von Flüssigkeiten zum allgemeinen Besitzstand der Naturforscher. In den erstmals vor der Jahrhundertmitte aufgelegten Lehrbüchern der Physik, die den damaligen Wissensstand der Naturerkenntnis in kompakter Form zusammenfaßten, war auch die Hydrostatik, einschließlich hydrostatischer Wägungen zur Dichtebestimmung, Bestandteil des dargebotenen Stoffes. Die Physikbücher der beiden Niederländer Willem 'sGravesande (1688 – 1742) und Pieter van Musschenbroek (1692 – 1761) machten damit den Anfang. Ihre zuerst in Latein verfaßten Bücher wurden in andere Sprachen übersetzt, erschienen später in verbesserten Auflagen und dienten dann anderen Autoren als Vorbild für eigene Darstellungen. Im Physiklehrbuch von 'sGravesande ist eine für damalige Verhältnisse mit höchster Genauigkeit arbeitende hydrostatische Waage abgebildet (Abb. 5)³², die im Verhältnis 1:10⁵ auflöste³³; die kleineren Gewichtsanteile wurden an dieser Waage mittels einer besonderen Meßeinrichtung im Neigungsbereich der Waage ermittelt.³⁴

Abb. 3: Hydrostatische Balkenwaage von R. Boyle, 1690, hier zur Dichtebestimmung von Festkörpern. Quelle: Anm. 25.

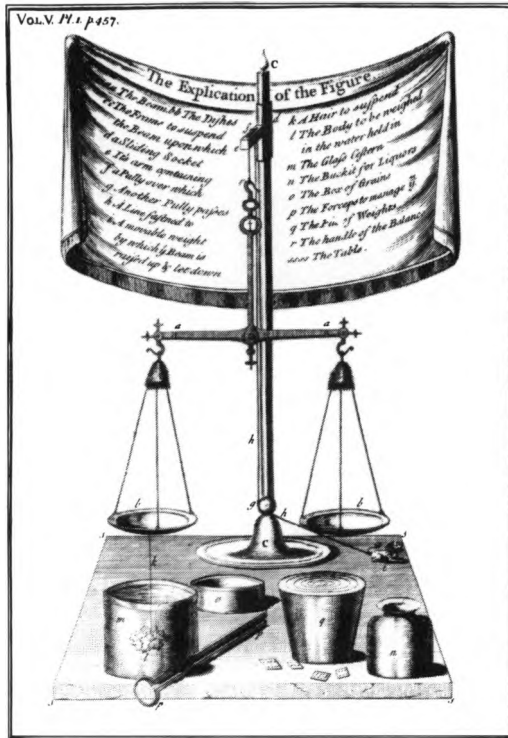
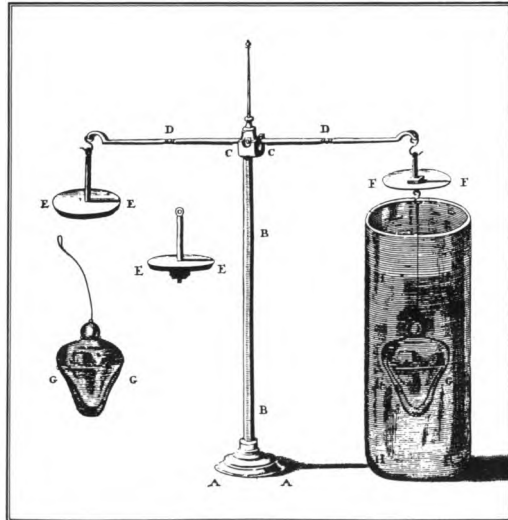


Abb. 4: Hydrostatische Balkenwaage von Fr. Hauksbee d. Älteren, 1710, zur Bestimmung der Dichte von Flüssigkeiten und Festkörpern; E und F Waagschalen für den Gewichtsausgleich, G Senkkörper aus Glas. Quelle: Anm. 27.



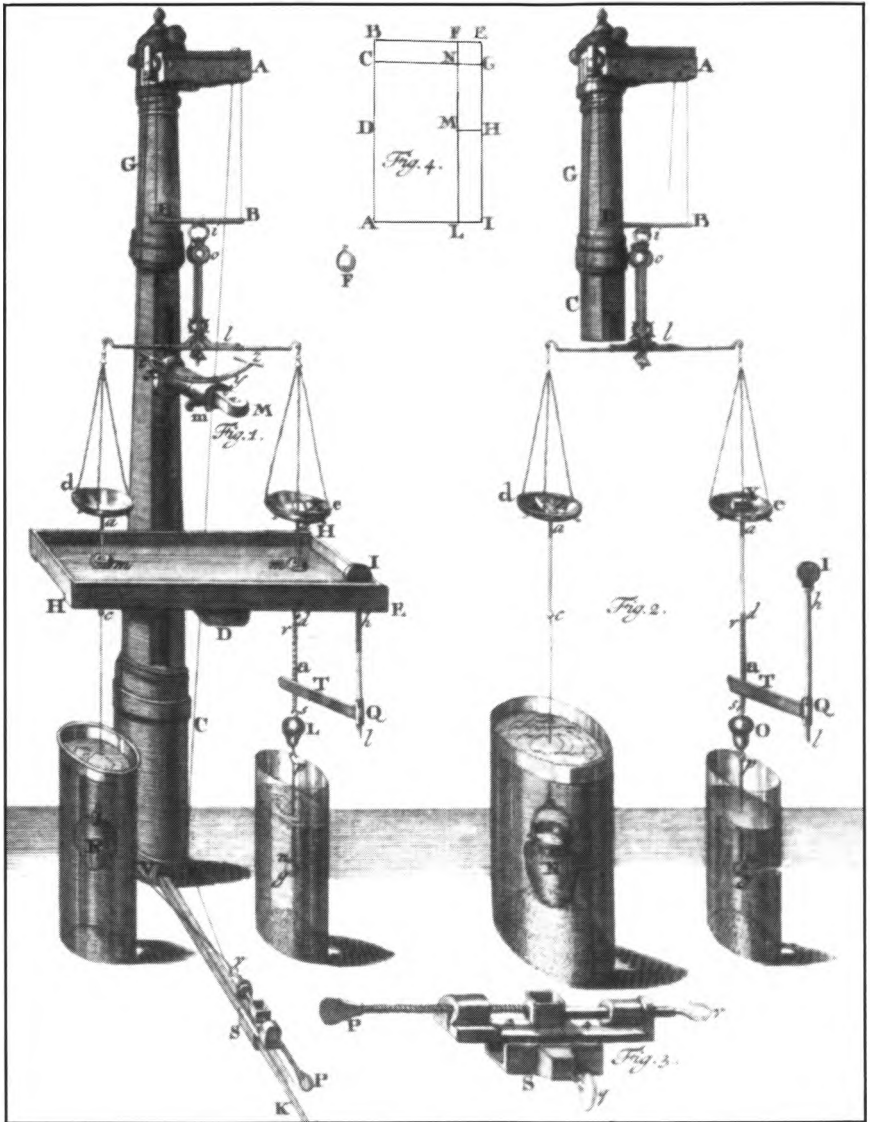


Abb. 5: Hydrostatische Balkenwaage von W. J. 'sGravesande, 1742, linkes Teilbild für hydrostatische Versuche an Flüssigkeiten, rechtes Teilbild an Festkörpern; die kleineren Gewichtsunterschiede werden im Neigungsbereich ermittelt (Skala unter der rechten Schale).
Quelle: Anm. 32.

Musschenbroek bediente sich einer ähnlichen Waage, wie Hauksbee sie angegeben hatte.³⁵ Er änderte dessen Angaben zur Dichtebestimmung dahingehend ab, daß sich die Waage nicht mit dem in Wasser eingetauchten Senkkörper, sondern in Luft im Gleichgewicht befand. Der bei der Bestimmung der einzelnen Flüssigkeiten auftretende Gewichtsverlust wurde dann in allen Fällen auf der „hydrostatischen“ Seite ausgeglichen. Mit dieser Änderung nach Musschenbroek wurde, nachdem Hauksbee die Waagschale auf der hydrostatischen Seite lediglich für die Flüssigkeiten schwerer als Wasser benutzt hatte, die Substitutionswägung ständiger Bestandteil der hydrostatischen Wägung³⁶ – und dies auch für Flüssigkeiten. Ebenso wie bereits andere vor ihm gab auch Musschenbroek dem Kapitel über die Hydrostatik eine Tabelle der Dichte diverser Materialien bei, wobei er die Aufstellung beträchtlich erweiterte.³⁷

Von den vielen speziellen hydrostatischen Waagen, die in der Folgezeit zur Dichtebestimmung noch konzipiert wurden, seien lediglich einige genannt: Der schwäbische Mechaniker-Pfarrer Ph. M. Hahn (1739 – 1790) stellte 1774 eine „allgemeine hydrostatische Waage“ vor, die nicht nur zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes von festen und flüssigen Körpern, sondern außerdem zu diversen anderen Zwecken dienen sollte: als Kaufmanns-, Gold- und Probierwaage.³⁸ Das Besondere an dieser Waage war, daß sie mit einem kleinen, als „Sattel“ gestalteten Laufgewicht ausgestattet war (Abb. 6). Diese Konstruktion kombinierte also das Prinzip der Gewichtewaage mit dem der Laufgewichtswaage. Ohne sich dessen bewußt zu sein, stellte Hahn damit die Verbindung zu Konstruktionen her, die vor bereits nahezu 200 Jahren und in der Zeit danach von Galilei und seinen Schülern verwirklicht worden waren und die ihrerseits Ähnlichkeit mit hydrostatischen Waagen aus weit zurückliegender Zeit hatten. Mit den Waagen der italienischen Naturforscher hatte die Hahnsche Konstruktion aber gemeinsam, daß sie kaum über einen engeren Interessentenkreis bekannt geworden ist.³⁹ Hahn hat an ihr aber das verwirklicht, was später an der wissenschaftlichen Waage, wenn auch in anderer Form, als „Reiter“ bezeichnet werden sollte. Der Beschreibung seiner hydrostatischen Waage fügte Hahn dann noch Auszüge aus der Dissertation seines Landsmannes Johann Joseph Reuss über die Neckar-Weine in deutscher Übersetzung bei.⁴⁰

In seinen Werkstattbüchern stellte Hahn noch weitere Überlegungen an, um die hydrostatische Wägung von Flüssigkeiten zu verbessern. Er skizzierte darin eine „besondere“ hydrostatische Waage, die mit einem festen Gegengewicht auf der rechten Seite versehen war; der Senkkörper war auf der Gegenseite unterhalb der Waagschale angebracht (Abb. 7).⁴¹ Während die Waage nach Abb. 6 in üblicher Weise als Kompensationswaage arbeitete, entsprach die Anordnung der besonderen hydrostatischen Waage dem Substitutionsprinzip. Das hatte den Vorteil, daß die hydrostatischen Grade sich direkt aus den aufgelegten Gewichtsstücken ergaben, ohne subtrahieren zu müssen.

Zu späterer Zeit, im 19. Jahrhundert, sollten die hydrostatischen Waagen von Friedrich Mohr (1806 – 1879) und von Georg Westphal (1836 – 1902) zu

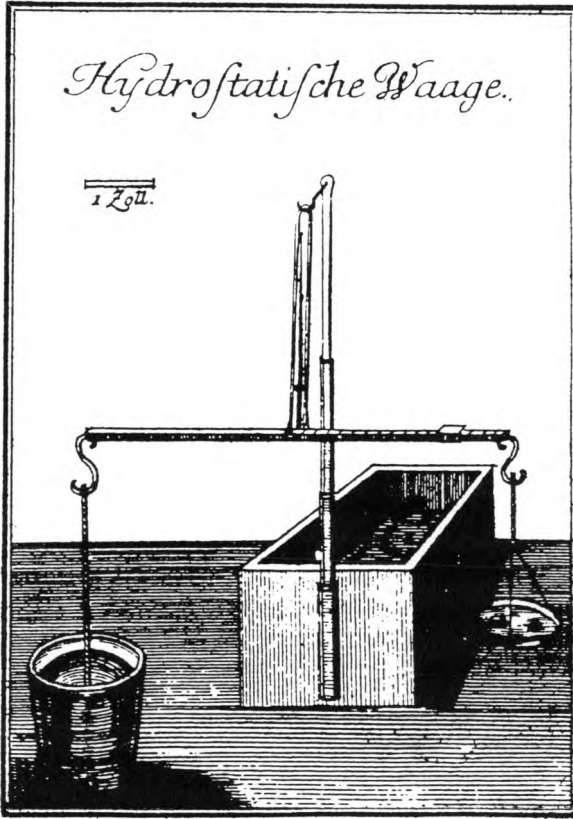


Abb. 6: Hydrostatische Balkenwaage von Ph. M. Hahn, 1774, Senkkörper an der linken Aufhängung, Ausgleich der kleineren Gewichtsteile mittels Laufgewicht („Sattel“) am graduierten, rechten Balkenarm. Quelle: Anm. 38.

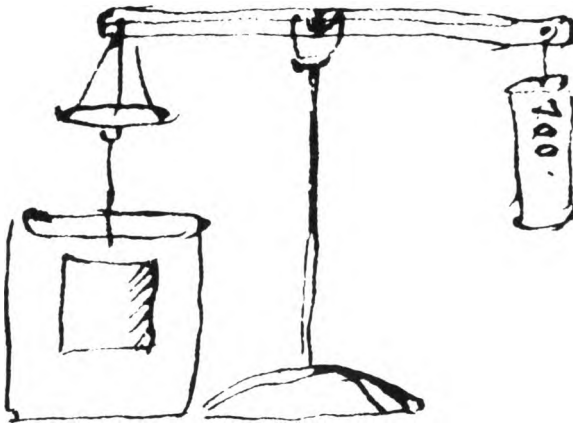
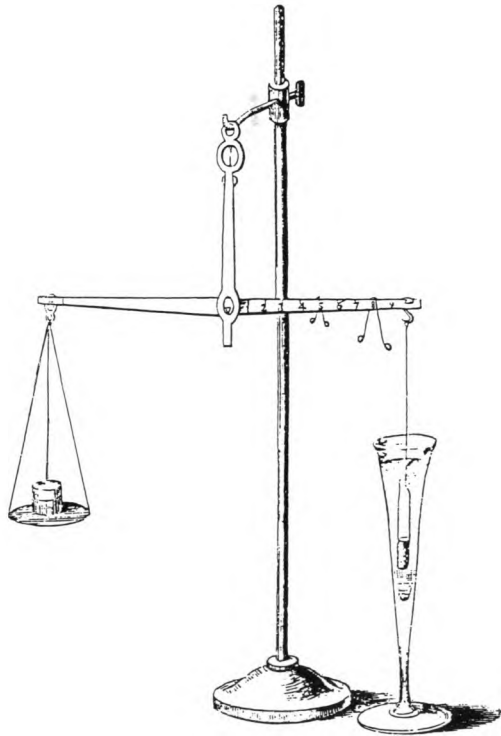


Abb. 7: Skizze einer „besonderen“ hydrostatischen Waage von Ph. M. Hahn, 1774, speziell für Flüssigkeiten. Quelle: Anm. 41.

besonderer Bedeutung gelangen. Beide waren speziell zur Dichtebestimmung von Flüssigkeiten eingerichtet. Die Mohrsche Dichtewaage war eine gleicharmige Waage, bei der auf der einen Seite eine Waagschale und auf der anderen ein Senkkörper aus Glas angehängt war (Abb. 8).⁴² Der rechte Arm der Waage, auf der Seite des Senkkörpers, war in zehn Abschnitte graduiert. In Luft war die Waage durch Gewichtsstücke auf der linken Seite austariert. Nach dem Eintauchen in Wasser glich ein genau angepaßtes Reitergewicht, das in die Kerbe „10“, also direkt an der Aufhängung des Senkkörpers, eingehängt wurde, dessen Gewichtsverlust wieder aus. Tauchte man dann den Senkkörper in eine andere Flüssigkeit ein, wurde die Waage mit Hilfe von Reitergewichten ebenfalls wieder austariert. Gleich ob für leichtere oder schwerere Flüssigkeiten als Wasser ergab sich die zu bestimmende Dichte direkt aus der Position dekadisch abgestufter Reitergewichte in den einzelnen Kerben.

Der Mechaniker Otto Autenrieth in Ulm variierte die Mohrsche Waage und machte sie für den praktischen Gebrauch bequemer. Er ließ die Waag-

Abb. 8: Hydrostatische gleicharmige Balkenwaage von F. Mohr, 1847, einzelne Reitergewichte am graduierten Waagebalken auf der hydrostatischen Seite.
Quelle: Anm. 42.



schale weg und ersetzte sie durch ein festes Gegengewicht (Abb. 9).⁴³ Ansonsten war die Handhabung die gleiche wie bei dem Muster nach Mohr. Einige Jahre später beschrieb der Mechaniker Georg Westphal in Celle ebenfalls eine sogenannte einarmige Dichtewaage und bildete sie in genau gleicher Weise wie zuvor Autenrieth ab.⁴⁴ Als nach ihm benannte „Westphal-Waage“ sollte dieses Instrument in den Laboratorien bald zu recht großer Verbreitung gelangen.

Unterzieht man die verschiedenen zur Dichtebestimmung von Flüssigkeiten verwirklichten Konstruktionen einer vergleichenden Betrachtung, wird erkennbar, daß sie Variationen über ein und dasselbe Grundthema sind. Die Grundlage ist bei allen das Hebelgesetz, gleich, ob mit konstantem oder variablem Hebelverhältnis, teilweise auch in Kombination miteinander. Vereinzelt wird dabei die Waage nicht völlig wieder ins Gleichgewicht zurückgebracht, sondern in schräger Stellung belassen, so daß die restlichen Gewichtsanteile im Neigungsbereich zu bestimmen sind. So stellen die zu späterer Zeit vorgestellten Modelle letztlich keine echten neuen Waagentypen dar. Dabei mag durchaus zutreffen, daß die Kenntnis über die frühen Konstruktionen nur sehr wenig verbreitet gewesen ist, so daß diese den späteren Herstellern kaum bekannt gewesen sind. Was dann im einzelnen geändert wird, ist die Balkenseite, auf welcher der Gewichtsausgleich vorgenommen wird, oder die Art, in welcher Weise die verschiedenen Möglichkeiten miteinander kombiniert werden. Und daraus ergeben sich die einzelnen Varianten.

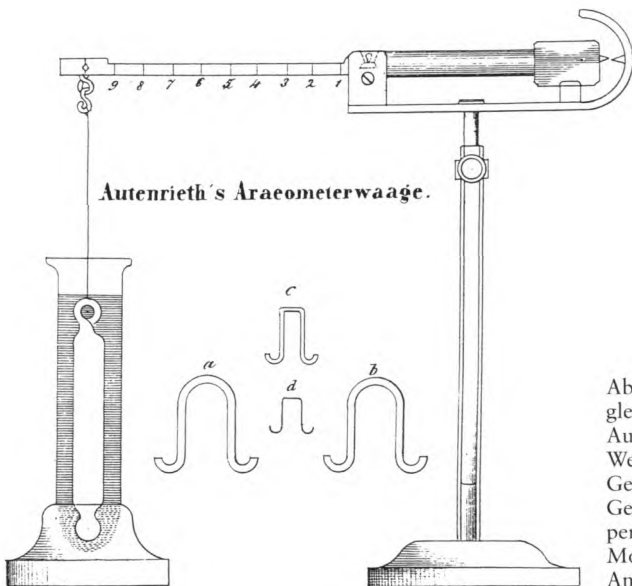


Abb. 9: Hydrostatische ungleicharmige Waage von O. Autenrieth, 1860, sogen. Westphal-Waage, festes Gegengewicht anstelle der Gewichtsschale, Senkkörper und Reitergewichte wie Mohrsche Waage. Quelle: Anm. 43 (Dingler).

Wodurch sich solche Instrumente dann noch unterscheiden, mag die Genauigkeit sein, in der sie die Untersuchungsergebnisse liefern. Eine Sicherheit auf mindestens zwei, meist aber auf drei Dezimalen nach dem Komma wird jedoch auch bei den weniger leistungsfähigen Geräten erreichbar gewesen sein. Und das reichte in den meisten Fällen zur Charakterisierung der zu untersuchenden Proben völlig aus. Mangels geeigneter chemischer Analysenverfahren war die Dichtebestimmung zu früherer Zeit oft die einzige Möglichkeit, zu konkreten Kenntnissen über die in einer Flüssigkeit vorhandenen Bestandteile zu gelangen.

So sind denn auch die unterschiedlichsten Materialien auf ihre Dichte untersucht worden. Und gelegentlich finden sich Angaben über die spezifischen Gewichte bestimmter Weinsorten. Über den Traubenmost sind die Informationen aus früherer Zeit dagegen nur sehr spärlich. Sie wurden erst dann umfassend, als das Aräometer zu verbreiteter Anwendung gelangte.

4. Die Dichtebestimmung flüssiger Stoffe mittels des Aräometers

Das Aräometer ist auch noch unter anderen Bezeichnungen bekannt, als Senkspindel oder als Senkwaage oder auch – auf seine spezielle Verwendung bezogen – als Solwaage, als Branntweinwaage, als Bierwaage und schließlich auch als Most- oder Weinwaage. Im Gegensatz zu dem völlig in die Flüssigkeit eintauchenden, an einem dünnen Draht aufgehängten Senkkörper, der in direkter Verbindung mit einer Balkenwaage verwendet wird, ist das Aräometer so konstruiert, daß es in der Flüssigkeit schwimmt; die Eintauchtiefe ist dann das Maß für die zu bestimmende Dichte (Abb. 10). In der deutschen Benennung wäre es deshalb konsequenter, das Aräometer als Schwimmwaage denn als Senkwaage zu bezeichnen.

Auch das Aräometer beruht auf den von Archimedes erstmals aufgestellten Gesetzmäßigkeiten. In völliger Analogie zu dem vollständig in eine Flüssigkeit eintauchenden Körper gilt nämlich, daß, wenn ein Körper schwimmt, er so tief eintaucht, daß das von ihm verdrängte Volumen so viel wiegt wie er selbst.⁴⁵ Wenn die Dichte der Flüssigkeit ziemlich groß ist, taucht das Aräometer somit weniger tief ein als bei spezifisch leichteren Flüssigkeiten.

Das Aräometer kann aus verschiedenen Materialien hergestellt sein. Früher verwendete man meist Metalle als Werkstoffe. Metalle haben aber den Nachteil, daß sie in der Flüssigkeit korrodieren oder bei zu dünner Wandung eingedrückt werden können. Heute benutzt man meist Glas, das diese Nachteile nicht hat; sollte es zerbrechen, muß es durch ein neues Instrument ersetzt werden. Auch die äußere Form kann ziemlich verschieden sein (Abb. 11). Es kam ganz auf die Vorstellung des Herstellers an, welche Form er für die günstigste hielt. Die heutigen Aräometer haben durchweg im Hauptteil eine gestreckte, zylindrische Form. Das bietet sich schon deswegen an, weil zur Herstellung lange Glasröhren verwendet werden, von denen im kontinuierlichen Betrieb kleinere Stücke automatisch abgetrennt werden. Diese werden dann auf der einen Seite zugschmolzen und auf der anderen zu einem dünnen Röhrchen ausgezogen.

Innen ist das Aräometer also hohl. Damit es sich immer in aufrechter Position in der Flüssigkeit befindet, wird es im unteren Teil beschwert, beispielsweise mit Schrotkörnern. Durch das Ausziehen des oberen Teils zu einem dünnen Stiel, siehe Abb. 10, erreicht man dort, wo sich die Skala befindet, eine möglichst große Genauigkeit der Ablesung. Teilweise ist noch ein Thermometer eingeschmolzen, um zu ermitteln, wieviel die Meß- von der Soll-Temperatur abweicht und daraus den Meßwert entsprechend korrigieren zu können.

Als sogenannte Mostwaage ist das Aräometer zur Bestimmung der Dichte des Traubenmostes eingerichtet. Graduiert ist diese Mostwaage nach den eingangs

Abb. 10: Skalenaräometer: Die Eintauchtiefe ist abhängig von der Dichte der Flüssigkeit.

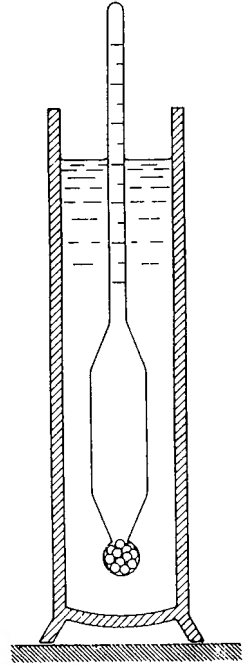
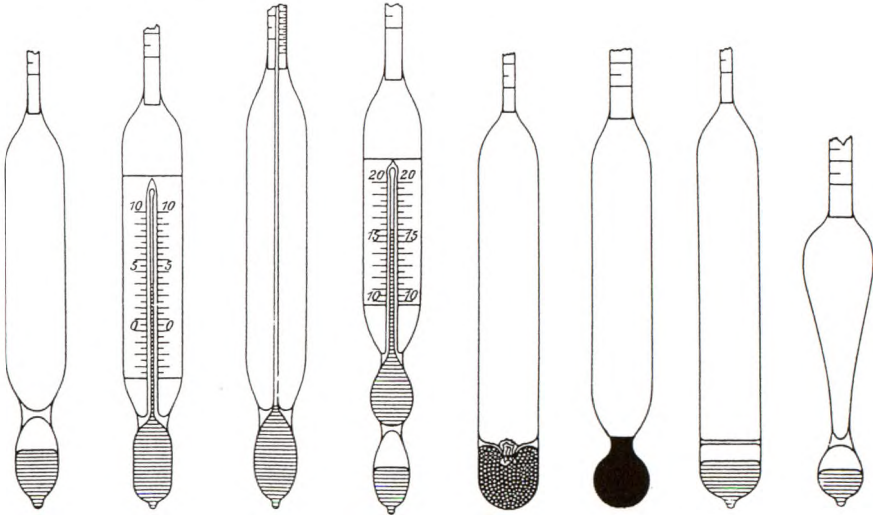


Abb. 11: Verschiedene Formen neuerer Skalenaräometer (ohne Stiel). Quelle: Anm. 76.



bereits genannten Oechsle-Graden. Fragt man danach, von wem die Mostwaage, die auch, weniger korrekt, als Weinwaage bezeichnet wird, herrühre, erhält man meist als Antwort, daß sie von Oechsle erfunden sei. Schließlich werde an diesem Instrument ja nach Graden Oechsle gemessen. Und man erfährt dann noch, daß es sich um den Pforzheimer Goldschmied und Mechaniker Ferdinand Oechsle gehandelt habe, der von 1774 – 1852 gelebt hat.⁴⁶

Informiert man sich indessen in der Literatur, ist daraus zu entnehmen, daß die erstmalige Herstellung einer speziellen Mostwaage noch anderen, früheren Erfindern zugeschrieben wird. So sei es der schwäbische Mechaniker-Pfarrer Philipp Matthäus Hahn gewesen, der in seiner Werkstatt Waagen zur Untersuchung des Traubenmostes hat herstellen lassen.⁴⁷ Und wiederum andere verweisen auf den Sohn des Stuttgarter Leibmedicus Reuss, der in seiner 1773 gedruckten Dissertation ein Wein-Aräometer beschrieben habe, um damit die Qualität der einzelnen Traubenmoste prüfen zu können.⁴⁸

Die Frage ist freilich, inwieweit es berechtigt ist, von der Erfindung einer speziellen Most- oder Weinwaage zu sprechen. Denn Aräometer waren bereits bekannt, ehe die hier Genannten sich mit speziell zur Qualitätsbestimmung des Traubenmostes vorgesehenen Spindeln befaßt haben. In der Literatur des Abendlandes sind bereits wesentlich früher mehrfach solche Instrumente abgebildet und beschrieben worden, allerdings zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes anderer Flüssigkeiten. Es bereitet dann keine prinzipiellen Schwierigkeiten, ein bereits bekanntes, für eine bestimmte Flüssigkeit eingerichtetes Aräometer so zu variieren, daß es für jede beliebige andere Flüssigkeit verwendet werden kann. So muß lediglich die Gesamtmasse des Aräometerkörpers, also einschließlich des Schrotballastes, im Verhältnis zum Volumen für den gewünschten Bereich eingestellt werden. Schließlich ist es dann noch in geeigneter Weise zu kalibrieren.

4.1. Das Aräometer im Altertum

Der Nachweis läßt sich führen, daß das Aräometer bereits im Altertum bekannt gewesen ist. Aus drei verschiedenen Quellen läßt sich belegen, daß die erstmalige Verwendung des Aräometers auf etwa das 4. nachchristliche Jahrhundert zu datieren ist.

In einem Brief des Synesius von Cyrene (ca. 370 – ca. 430) an seine Lehrerin Hypatia von Alexandrien wird ein als Hydroskop bezeichnetes Instrument beschrieben.⁴⁹ Synesius war ein neuplatonischer Philosoph, der um etwa 400 zum Christentum übertrat und 410 Bischof von Ptolemais wurde.⁵⁰ Hypatia war eine wegen ihrer Schönheit und Gelehrsamkeit gleichermaßen berühmte Frau; sie verblieb beim überkommenen Glauben und wurde im Jahre 415 von einer christlichen Volksmenge in brutaler Weise ermordet.⁵¹ In dem Brief heißt es, das Hydroscoptium bestehe aus einem zylindrischen Rohr und habe die Größe und Gestalt einer Pfeife (Flöte). Der Länge nach sei eine gerade Linie aufgetragen, die von mehreren Querstrichen durchschnitten werde; und diese geben das Gewicht des Wassers an. An dem einen Ende sei es mit einem als

Baryllion bezeichneten Kegel beschwert, dessen Basis direkt an die Röhre anschließe.^{51a} Deshalb stehe das Instrument in Wasser senkrecht und lasse anhand der Einschnitte erkennen, wie schwer das Wasser ist.

Verwendet wurde das Hydroskop offenbar zu pharmazeutischen Zwecken, nämlich um die Qualität eines zu Heilzwecken benutzten Wassers zu prüfen. Denn Synesius hatte sich, wie er zu Beginn seines Briefes vermerkt, nicht wohl befunden. Aus dem Text des Briefes ist weiterhin erkennbar, daß das mit einer Skala ausgestattete Aräometer zur damaligen Zeit, also um die Wende vom 4. zum 5. Jahrhundert, bereits bekannt gewesen ist. Als eine Neuheit war es also nicht zu betrachten, so daß seine Erfindung um eine mehr oder minder große Zeitspanne früher anzusetzen ist.⁵²

Die zweite, ebenfalls noch aus der Spätantike herrührende Beschreibung des Aräometers ist in dem Lehrgedicht „Carmen de ponderibus“ enthalten.⁵³ Seit längerem gilt als gesichert, daß dieses Gedicht von Priscianus Caesariensis (aus Caesarea in Mauretanien) verfaßt worden ist⁵⁴, der im 5. und 6. Jahrhundert gelebt und im 6. Jahrhundert zu Konstantinopel die lateinische Sprache gelehrt hat.^{54a} Die Beschreibung des Aräometers durch Synesius ist demnach älter als die von Priscianus.

Das Gerät, das in dem Gedicht nicht mit einem besonderen Namen belegt wird, bestand aus einem Zylinder, der entweder aus Silber oder aus Kupfer gefertigt war. Am unteren Ende war es durch einen Kegel beschwert, der so bemessen war, daß es nicht völlig eintauchen konnte, aber auch nicht obenauf schwamm. Eine feine Linie führte von der Oberfläche von oben herab und war in so viele Abschnitte unterteilt, wie der Zylinder Scripula-Einheiten hatte. Mit dem Gerät konnte dann die Schwere einer jeden Flüssigkeit erforscht werden: In der leichteren tauchte es tiefer ein, in der schwereren ragten mehrere Teile heraus.

Was für die hier zu führende Betrachtung besonders wichtig ist, ist die Aussage, daß mit diesem frühen Aräometer auch die Qualität des Weines untersucht wurde.⁵⁵ Es heißt, daß der Wein verschieden war, je nach dem Ort des Wachstums und dem Alter. Zahlenmäßig ist dieser Unterschied zwar nicht belegt; aus einer solchen Angabe ist aber zu schließen, daß die Genauigkeit der Messung bereits recht gut gewesen sein muß, denn die Unterschiede der Dichte im ausgegorenen Wein sind relativ gering und zudem nicht besonders aussagekräftig.⁵⁶ So konnte die aus der Messung sich ergebende Aussage auch nur auf eine relativ eng begrenzte Lage bezogen gewesen sein. Oder: ist es nicht ebenso gut oder noch eher denkbar, daß die Prüfung sich bereits auf den Traubenmost bezogen hat? Denn auch heute sagt man oft Weinwaage anstelle Mostwaage, oder man spricht von der Weinlese, wo es doch richtiger Traubenlese heißen müßte.

Die dritte, sehr ausführliche Beschreibung des Aräometers verdanken wir dem bereits genannten arabischen Gelehrten Al Châzinî in seinem „Buch von der Waage der Weisheit“.⁵⁷ Es ist bereits darauf hingewiesen worden, daß zu den Arabern eine so gut wie ununterbrochene Überlieferung aus der Literatur des Altertums bestanden hat. Die Überschrift des Kapitels bei Al Châzinî

lautet: „Über die Herstellung eines Instrumentes, um die flüssigen Körper nach Schwere und Leichtigkeit zu messen und darüber, wie man es benützt – nach Pappos, dem Byzantiner“.⁵⁸ Pappos war ein griechischer Mathematiker, der um die Wende vom dritten zum vierten Jahrhundert gelebt hat.⁵⁹ Wenn Pappos von Al Châzinî als Erfinder des Aräometers benannt wird, steht dies mit den anderen Hinweisen nicht im Widerspruch, da dieses Instrument bereits nach dem Brief des Synesius als bekannt anzusehen ist. Somit bestehen keine Bedenken, die erstmalige Herstellung des Aräometers auf etwa den Beginn des 4. Jahrhunderts anzusetzen, nämlich durch Pappos.

In der Einleitung bespricht Al Châzinî zuerst das Prinzip, auf dem das Aräometer beruht und behandelt in sechs Abschnitten ausführlich seine Fertigung wie auch die Anwendung des Instrumentes. Außerdem gibt er noch eine Abbildung davon, aus dem sich die Einteilung rekonstruieren läßt (Abb. 12).^{59a}

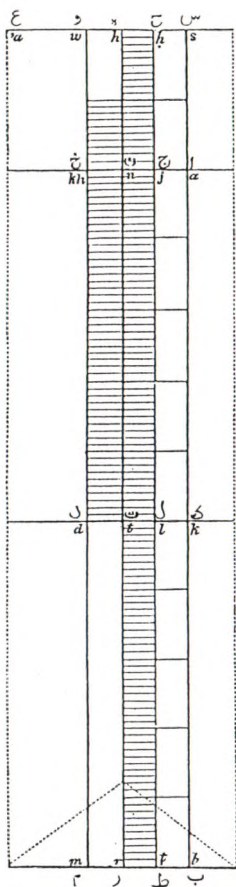


Abb. 12: Skalenaräometer nach Pappos, mit kegelartigem Unterteil. Quelle: Anm. 16 (Khanikoff).

4.2. Das Aräometer im Mittelalter

Das während der Spätantike entwickelte Aräometer ist also durch die Araber weiter verwendet worden. Das scheint vor allem für den östlichen Mittelmeerraum zu gelten, dort nämlich, wo es allem Anschein nach erfunden worden ist und wohin sich auch das Zentrum der wissenschaftlichen Tätigkeit verlagert hatte. Keinerlei Kenntnisse liegen dagegen vor, ob zu dieser Zeit solche Instrumente auch im zentralen Abendland bekannt gewesen sind. Daß dort die Gelehrten des ausgehenden Mittelalters sehr wohl mit dem Begriff der „Schwere der Stoffe“, dem spezifischen Gewicht, vertraut gewesen sind, ist aus einer Schrift des Nikolaus von Cues (1401 – 1464) zu entnehmen.⁶⁰

Cusanus stellt darin fest, daß die Schwere des Wassers sich mit der Jahreszeit ändere⁶¹; somit war ihm bekannt, daß sie von der Temperatur abhängt. Man werde auch ein anderes Gewicht finden, je nachdem man Quellwasser prüft oder solches, das längere Zeit in der Erde geflossen ist.⁶² Er kommt auch auf das Gewicht des menschlichen Blutes und des Urins zu sprechen. Er will daraus auf den Gesundheitszustand, auf das Alter und sogar auf die Abstammung schließen, denn verschieden sei das Gewicht des Blutes und des Urins bei einem gesunden oder kranken, einem jungen oder alten Menschen, einem Alemannen oder Afrikaner. Und das Gewicht des Urins gebe den besten Aufschluß über das Befinden des Menschen, besser als die trügerische Farbe; daher empfiehlt er den Ärzten dieses Mittel, um die richtige Diagnose zu stellen.⁶³

Leider gibt Cusanus nicht an, welchen Verfahrens man sich zweckmäßigerweise dazu zu bedienen habe. Zu verwundern wäre es nicht, wenn es das Aräometer gewesen wäre. Es wäre ebensowenig abwegig, wenn er dort, wo er während eines großen Teiles seines Lebens wirksam gewesen ist, auch einmal auf den Gedanken gekommen wäre, die Reben der Mosel darauf zu prüfen, welche Wirksamkeit von ihnen in gesundheitlicher Hinsicht zu erwarten ist.

4.3. Das Aräometer zur Zeit der Renaissance und der Aufklärung

Was die Araber später von ihren umfangreichen Kenntnissen über die Wägetechnik weitergegeben haben, ist im einzelnen nicht bekannt. Eine direkte Übernahme in schriftlicher Form kann, wenn überhaupt, nur in sehr eingeschränktem Umfang stattgefunden haben; die diesbezüglichen Werke sind erst zu wesentlich späterer Zeit bekannt geworden.⁶⁴ Nicht auszuschließen ist aber, daß im Mittelmeerraum die Kenntnis von Instrumenten zur schnellen Bestimmung der Schwere von Flüssigkeiten erhalten geblieben ist. So scheint das Aräometer in Kreisen des Handwerks, etwa im Bereich der Salzsiederei, mehr bekannt gewesen zu sein, als die spärlichen Berichte vermuten lassen.⁶⁵ Im Jahre 1556 ist denn auch der Brief des Synesius und das Gedicht „Carmen de ponderibus“ veröffentlicht worden, wobei die Einrichtung und der Gebrauch des darin behandelten Instrumentes richtig erklärt wurden – Beweis dafür, daß es zu jener Zeit bekannt war.⁶⁶

Konkreter wird es dann zu Beginn des 17. Jahrhunderts. In der 1603 gedruckten „Haligraphia“ gibt Johan Thölden an, wie die Salzsolen mittels verschiedener Methoden probiert werden können und ihr Gehalt erforscht werden kann.⁶⁷ Zuerst gibt Thölden Verfahren an, die noch als konventionell zu bezeichnen sind: Eine abgemessene Menge der Sole wird zur Trockenen eingedampft und der Rückstand gewogen.⁶⁸ Ohne Eindampfen der Probe und damit einfacher könne das Salz aber mit der Probierspindel bestimmt werden, von der Thölden zwei Arten angibt und auch beschreibt, wie sie zu kalibrieren sind:

Bei der ersten Art handelt es sich um ein oben spitz zulaufendes Gefäß, das unten mit Blei ausgegossen wird, damit die Spindel in senkrechter Position in der Meßprobe verbleibt (Abb. 13).⁶⁹ Das Instrument wird dann wie folgt abgeteilt: In einer abgemessenen Menge Wasser wird ein Loth⁷⁰ Salz aufgelöst und in diese Lösung die Spindel eingetaucht. Die Stelle, bis zu der die Spindel einsinkt, wird durch einen Punkt gekennzeichnet. Von Grad zu Grad aufsteigend wird in dieser Weise weiter verfahren. Mit dieser Spindel konnte, nach Thölden, jede Salzlösung auf ihren Gehalt untersucht werden.

Von besonderem Interesse mag sein, daß Thölden nicht nur die erste Beschreibung eines Skalenaräometers in der europäischen Literatur gibt – und zwar in einer stoffspezifischen, konzentrationsabhängigen Graduierung, hier als Gewichtskonzentration – indem die Masse des gelösten Stoffes auf ein definiertes Volumen oder auch auf eine ebenfalls definierte Masse des Lösungsmittels bezogen wird. Er empfiehlt, als Alternative dazu, gleich noch das, was später als Gewichtsaräometer bezeichnet werden wird⁷¹: An einem hohlen, eiförmigen Gefäß aus Holz oder Messing, das ebenfalls mit Blei beschwert und noch mit einem langen Hals ausgestattet ist, wird unten ein Ring angebracht, in den ein Gewicht eingehängt werden kann (Abb. 14). In reinem Wasser taucht das Instrument bis genau zur Spitze ein. Enthält das Wasser aber Salz, muß ein Gewicht angehängt werden, um die gleiche Eintauchtiefe zu erreichen. Aus der Größe des Gewichtes läßt sich dann auf den Salzgehalt der Probe rückschließen.^{71a}

Thölden erhebt nicht den Anspruch, der Erfinder der beiden von ihm beschriebenen Instrumente zu sein: Er beschreibt offenbar Techniken, die zumindest bei der Salzgewinnung seit bereits längerer Zeit gebräuchlich waren. Man darf also sicher sein, daß die Verwendung von Spindeln zur Bestimmung der Schwere von Flüssigkeiten mehr oder weniger weit in das 16. Jahrhundert zurückreicht. Es bleibt aber offen, inwieweit nicht doch in irgendeiner Form eine Verbindung zu den Instrumenten der Araber bestanden hat.

Die beiden von Thölden beschriebenen Instrumente, von denen nachfolgend das Skalenaräometer vorrangig betrachtet werden soll, waren also dazu vorgesehen, den Gehalt von Salzsolen zu bestimmen. Thölden fügt noch hinzu, daß man sie, außer für „gemeines Salz“, auch für Vitriol⁷², Alaun, Salpeter oder für andere Salze verwenden könne⁷³, wobei unausgesprochen ist, inwieweit die vorgenommene Kalibrierung auch für andere Stoffe brauchbar bleibt. Es hätte indessen keinerlei Probleme bereitet, solche Spindeln

Abb. 13: Skalenaräometer von J. Thölden, 1603, für Salzsolen, kalibriert nach „Salzgraden“. Quelle: Anm. 67.

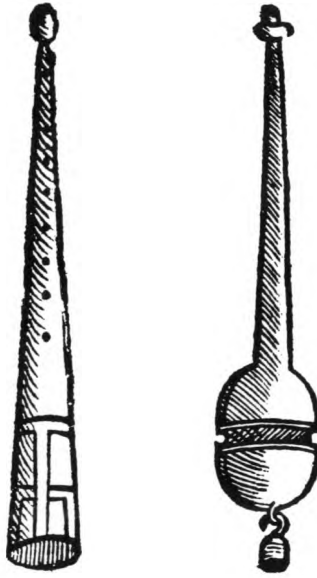


Abb. 14: Gewichtsaräometer von J. Thölden, 1603 für Salzsolen. Quelle: Anm. 67.

auch zur Untersuchung einer jeden anderen Flüssigkeit einzurichten. Die Kalibrierung mußte dazu demjenigen Stoff angepaßt werden, der sich in Wasser gelöst befand – gleich ob das Aräometer, wie bei Thölden, ebenfalls in „Gewichtsgraden“ oder auch in Gewichts- oder Volumenprozenten kalibriert werden sollte, so daß das Ergebnis direkt den Gehalt dieses zu prüfenden, aber auch nur dieses einzigen Stoffes angab. Von einer eigenständigen Erfindung des Aräometers als Bierspindel, Brantweinspindel, Milchspindel, Ölspindel und noch anderen war es demnach später nicht mehr berechtigt zu sprechen, auch nicht von der Most- oder Weinspindel. Das Muster war jetzt vorgegeben, einschließlich nach einer anderen Systematik graduerter Instrumente, wie die nach „willkürlicher“ oder nach dichtemäßiger Graduierung.

So ist denn in der Folgezeit eine ganze Anzahl recht unterschiedlicher Aräometer für „besondere Lösungen“ angegeben worden. Einige davon werden in dem 1726 erschienenen „Theatrum hydrostaticum“ des Jacob Leupold abgebildet.⁷⁴ Auch werden die Instrumente ständig in ihrer Konstruktion verbessert, um dadurch ihre Meßgenauigkeit zu erhöhen. Über nach genau definierten Richtlinien konzipierte Aräometer, die sicher reproduzierbare Ergebnisse liefern sollten, ist im späteren Verlauf eine ziemlich große Anzahl von Publikationen erschienen. Auch hinsichtlich des Materials, aus dem die Meßgeräte gefertigt waren, wurden Verbesserungen erreicht: Holz, das in

Kontakt mit Wasser aufquillt, wie auch Materialien, die gegenüber aggressiven Stoffen im Wasser anfällig sind, gelangten nicht mehr zur Anwendung.

Es wird dann auch angestrebt, das Aräometer universeller verwendbar zu machen. Dies wurde dadurch erreicht, daß die Graduierung der Skala nicht mehr auf einen bestimmten gelösten Stoff bezogen, sondern so vorgenommen wurde, daß verschiedene Flüssigkeiten damit untersucht werden konnten. Eine solche universelle Graduierung hatten die beiden im Jahre 1768 von Antoine Baumé (1728 – 1804) beschriebenen Aräometer, das eine für Flüssigkeiten leichter und das andere schwerer als Wasser (Abb. 15).⁷⁵ Für Flüssigkeiten leichter als Wasser nahm Baumé als „Fixpunkte“ reines Wasser und eine Salzlösung von einem Teil Kochsalz auf 9 Gewichtsteile Wasser. Er bezeichnete die jeweiligen Eintauchstellen mit 10 bzw. 0 und teilte diesen Abstand in zehn gleiche Teile; die Marke „10“ entsprach also reinem Wasser. Er verlängerte sodann die Skala über die 10 hinaus um weitere 40 Teile nach oben. Für Flüssigkeiten schwerer als Wasser nahm er als Fixpunkte reines Wasser und eine Salzlösung, die 15% Kochsalz enthielt (85 Gewichtsteile Wasser und 15 Teile Kochsalz). Er teilte diesen Abstand in 15 Teile und verlängerte die Skala um 35 weitere Teile nach unten.

Die Aräometer nach Baumé, die nach heutigem Verständnis nach völlig willkürlichen Kriterien geteilt waren, erfreuten sich indes sehr lange einer ziemlich weiten Verbreitung; bei Likörwein waren sie beispielsweise noch 1950 üblich. Außer dem Bauméschen Aräometer gab es später noch verschiedene andere mit willkürlicher Teilung, von denen jedes für sich in Anspruch nahm, gleichmäßiger graduiert zu sein.⁷⁶ Um diesen verschiedenartigen Teilungen gerecht zu werden, hat man dann auch Aräometer hergestellt, die nebeneinander zwei oder drei Skalen hatten. Teilweise waren sie zusätzlich noch mit der Graduierung zur direkten Gehaltsermittlung (in Gewichts- oder Volumenprozenten oder auch in jeweiligen „Graden“) für einen bestimmten gelösten Stoff versehen; auch gehörten meist noch Umrechnungstabellen dazu.

Die in der geschichtlichen Entwicklung dritte Art von Aräometern, die zu Bedeutung gelangten, sind – neben denen für „besondere Lösungen“ und den willkürlich geteilten – die nach dem spezifischen Gewicht kalibrierten; allerdings sind diese im Laufe der Zeit zu den am universellsten eingesetzten und damit weitaus bedeutendsten geworden. Die Voraussetzung, solche Instrumente herzustellen, mußte die gewesen sein, daß der Begriff des auf Wasser bezogenen spezifischen Gewichtes allgemein bewußt geworden war. So sind denn in der Literatur des 17. und vor allem des 18. Jahrhunderts in zunehmendem Umfang Angaben über Zahlenwerte des spezifischen Gewichtes verschiedener Materialien aufzufinden. Bereits 1603 stellte M. Ghetaldi zwei Tabellen auf, in denen die „Schwere“ der einzelnen Stoffe zueinander als Verhältniszahl aufgeführt ist. In einer der Spalten ist auch angegeben, wie sich diese Schwere gegenüber der von Wasser verhält – es handelt sich also um die ersten auf Wasser bezogenen Werte des spezifischen Gewichtes.⁷⁷ Die meisten der anderenorts aufzufindenden Werte sind jedoch nicht als Verhältniszahlen,

sondern in den Gewichtseinheiten der in den jeweiligen Ländern gültigen Maßsysteme, in Unzen, Drachmen oder Granen, angegeben und sind meist auf einen Kubikzoll des Landesmaßes bezogen.⁷⁸ Sollen solche Werte miteinander verglichen werden, muß bekannt sein, in welchem der damaligen Maßsysteme die Daten ermittelt wurden, um sie dann umzurechnen.

Bei den vor der Royal Society of London ausgeführten Experimenten war es indessen bereits gegen Ende des 17. Jahrhunderts allgemein üblich geworden, das spezifische Gewicht ausschließlich auf Wasser zu beziehen. So wird in den „Philosophical Transactions“ des Jahres 1685 eine ca. 50 Stoffe – flüssige und feste Materialien – enthaltende Liste abgedruckt, in der die

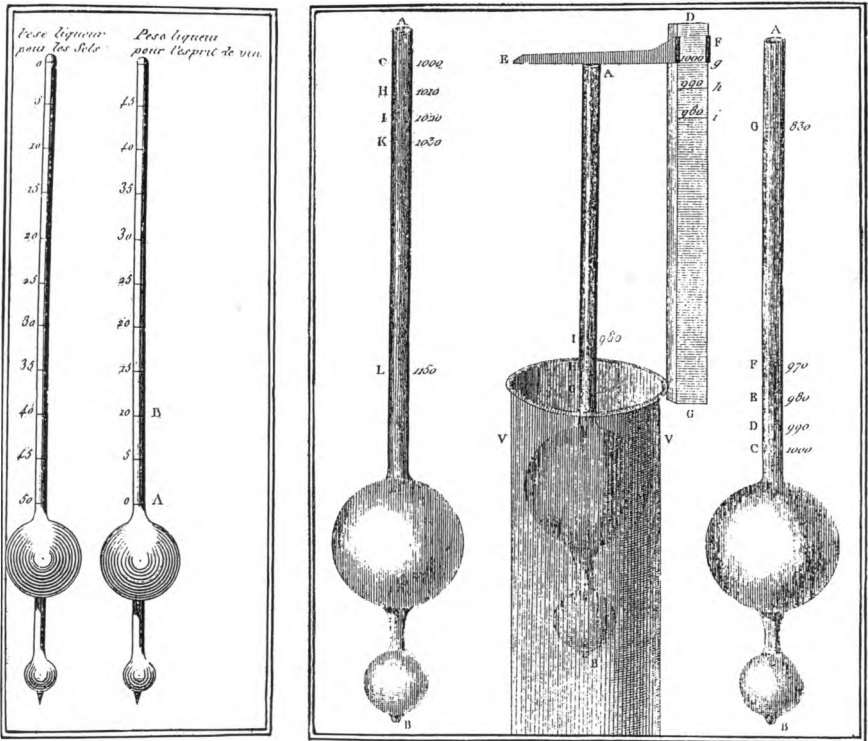


Abb. 15: Zwei Skalenaerometer von A. Baumé, 1768, in „willkürlicher“ Kalibrierung, links für Flüssigkeiten schwerer als Wasser (Pèse liqueur pour les sels), rechts für Flüssigkeiten leichter als Wasser (Pèse liqueur pour l'esprit de vin). Quelle: Anm. 75 (1818).

Abb. 16: Zwei Skalenaerometer von M. J. Brisson, 1790, kalibriert nach dem spezifischen Gewicht, links für Flüssigkeiten schwerer, rechts leichter als Wasser; in der Mitte: Vorrichtung zum Kalibrieren. Quelle: Anm. 85.

„Specific Gravity“ auf Wasser = 1000 bezogen ist.⁷⁹ Auch Robert Boyle verfährt in seinen hydrostatischen Experimenten in gleicher Weise⁸⁰, ebenso Fr. Hauksbee der Jüngere bei der Verwendung der von seinem Onkel konstruierten hydrostatischen Waage.⁸¹ In englischen Publikationen wird in der Folgezeit die Verwendung des auf Wasser bezogenen spezifischen Gewichtes ständig beibehalten, ohne nochmals auf die vorher üblich gewesenen „krummen Zahlen“ zurückzugreifen.

Auf dem Kontinent dagegen sind die Naturforscher noch längere Zeit bei der früheren Gewohnheit verblieben.⁸² Erst P. van Musschenbroek schließt sich einige Jahrzehnte später dem in England gegebenen Beispiel an; das von ihm verfaßte Lehrbuch der Physik war das nach der Mitte des 18. Jahrhunderts am meisten verbreitete. So enthält die 1739 erschienene französische Ausgabe eine sehr umfangreiche Tabelle mit den spezifischen Gewichten der unterschiedlichsten Materialien, sämtlich bezogen auf Wasser.⁸³ Nachdem die Publikationen der englischen Physiker auf dem Kontinent offensichtlich nur wenig bekannt geworden waren – jedenfalls was die hydrostatischen Studien angeht – wurden die „Grade nach Musschenbroek“ bei späteren Arbeiten zur Grundlage der Berechnungen. Erwähnt sei noch, daß der Engländer R. Davies im Jahre 1748 eine vollständige Übersicht über alle bis dahin erschienenen Publikationen gibt, in denen Zahlenangaben über spezifische Gewichte enthalten sind. In insgesamt zehn nach Stoffklassen geordneten Tabellen führt er sämtliche bis dahin bekannte Daten über spezifische Gewichte auf und rechnet sie, soweit noch in anderen Einheiten angegeben, auf Wasser um.⁸⁴

In einer späteren Ausgabe seines Lehrbuches gibt Musschenbroek eine detaillierte Beschreibung des Aräometers und verwendet dazu eine willkürliche Teilung.^{84a} Seine Dichtewerte hatte er an der hydrostatischen Balkenwaage ermittelt. Erst wesentlich später, um 1790, werden dann in ausführlicher Form Aräometer beschrieben, die es erlauben, direkt die Werte des spezifischen Gewichtes abzulesen, ohne umrechnen zu müssen (Abb. 16).⁸⁵ Die Problematik solcher Instrumente ist es, daß sie weitaus schwieriger zu kalibrieren sind als die proportional geteilten Skalen mit willkürlicher Graduierung. Allerdings sind an anderer Stelle bereits früher Aräometer gefertigt worden, von denen ebenfalls direkt das spezifische Gewicht angegeben wurde, ohne daß sie jedoch über mehr als eine lokale Bekanntheit hinausgingen. Es ist dabei von besonderer Bedeutung, daß diese Geräte dazu bestimmt waren, das spezifische Gewicht des Traubenmostes zu ermitteln.

4.4. Das Aräometer und die Dichtebestimmung des Traubenmostes

Bereits seit längerem war bekannt, daß die unterschiedliche Qualität von Traubenmosten und den daraus hergestellten Weinen mit dem spezifischen Gewicht in Zusammenhang steht. Hydrostatische Wägungen, gleich an welcher Waage ausgeführt, waren also imstande, konkrete Aussagen darüber zu treffen. So ist es wiederum Jacob Leupolds „Theatrum hydrostaticum“ aus

dem Jahre 1726, in dem einige Mitteilungen über die Prüfung diverser Flüssigkeiten enthalten sind, nämlich mit der „Beschreibung einer neu-inventirten Maschine, vermittelst welcher man alle Liquores, als Weine, Wasser, Oehle, Spiritus und dergleichen, auf das accurateste probiren und examiniren kann“.⁸⁶ Es handelte sich um die von dem Ingenieur Cass in Cassel neu konstruierte hydrostatische Waage, die freilich nach einem neuartigen Prinzip, dem der Neigungswaage, arbeitete.⁸⁷ Nach der Angabe Leupolds könne man durch solche Prüfungen aus einem größeren Angebot den besten Wein ermitteln und die anderen nach ihrer Qualität einordnen. Und wenn zwei verschiedene Weine miteinander verschnitten sind, könne festgestellt werden, in welchem Verhältnis dies geschehen sei. Weiterhin könne geprüft werden, ob der Wein verfälscht oder „angekünstelt“ sei, denn „lässet sich also dieses Instrument nicht, wie die Zunge durch den lieblichen Geschmack, wie künstlich solcher auch hinein practiciret, betrügen“; hier könnte z. B. der nachträglich eingebrachte Zucker eine zu hohe Dichte des Weines verursacht haben. Und schließlich könne unter allen anderen der Most ausgelesen werden, aus welchem der am besten haltbare Wein zu erwarten sei.

Von Leupold werden dazu allerdings keine Zahlenwerte genannt. Die Frage ist dann auch, ob solche Untersuchungen von Leupold selbst ausgeführt worden sind oder ob er diese Angaben von anderer Stelle übernommen hat. Jedenfalls darf spätestens zu dieser Zeit, im frühen 18. Jahrhundert, als bekannt vorausgesetzt werden, daß die Traubenmoste in ihrer Dichte unterschiedlich waren und Zusammenhänge bestanden zwischen der Dichte des Mostes und der „Schwere“ des daraus hergestellten Weines.

Zahlenwerte finden sich dann in der Dissertation des oben genannten Johann Joseph Reuss aus dem Jahre 1773 über die Moste und Weine vom Neckar⁸⁸, nachdem sein Vater, der Leibmedicus Reuss, bereits im Jahre 1762 einige Prüfungen dieser Art vorgenommen hatte.⁸⁹ J. J. Reuss kommt damit die Priorität zu, als erster systematische Untersuchungen an Traubenmosten und verschiedenen Weinsorten im Labormaßstab ausgeführt zu haben. Er prüfte dazu mittels eines selbst hergestellten Aräometers die Dichte des Mostes von verschiedenen Rebensorten in Abhängigkeit vom Reifezustand. Darüber hinaus stellte er Überlegungen an, wodurch es erreicht werden könne, einen besseren Wein zu gewinnen als den, den die Natur geliefert hat und bemerkt dazu: „Da man unsere Weine (womit die aus seiner engeren Heimat, vom Neckar, gemeint sind) der allzuvielen Wässerigkeit und Säure beschuldigt, so sind Versuche angestellt worden, ob man nicht allenfalls der Natur zu Hilfe kommen könnte“⁹⁰, und zwar durch:

1. „subtile Ausdünstung“ der wässerigen Teile des Mostes,
2. Zutun Zuckers vor seiner Gärung,
3. Zutun Weingeists (weil auch dieser eine Geburt aus der Süßigkeit sei), und
4. Verbindung dieser Mittel.

Hinsichtlich der Zugabe von Zucker zu dem Traubenmost erreicht Reuss recht gute Ergebnisse, wobei er betont, es sei etwas ganz anderes, als wenn dieser nach abgeschlossener Gärung einem sauren Wein, um die Zunge zu

betrügen, beigemischt wird.⁹¹ Auch über die Verbindung des Weingeistes mit dem Most gelangt Reuss zu einem ähnlich guten Ergebnis, da durch die Gärung eine innige Verbindung mit dem Säuren des Weines eintrete und dieses abgemildert und versüßt werde, wobei er keine Spur seines Daseins zurücklasse – im Gegensatz zur Zugabe von Weingeist zu dem bereits vergorenen Wein, da ein solcher Betrug vom erfahrenen Kenner durch sein zartes Zungen- und Geruchsgefühl entdeckt werde.⁹² Und was die Ausdünstung angehe, werde bei starkem Evaporieren zwar derjenige Fehler der Neckarweine behoben, welcher in der allzuvielen Wässerigkeit besteht. Der Wein werde stärker, aber auch härter und saurer und dem Munde weniger angenehm.⁹³ Reuss empfiehlt deshalb, nur mittelmäßig zu evaporieren und das übrige durch Zucker oder einen Teil Weingeist zu ersetzen. Auf diesem Wege erlangten die Weine eine angenehme Eigenschaft, die dem Rheinwein sehr nahe komme.⁹⁴

Die Gradeinteilung des von Reuss verwendeten Aräometers entsprach solchen, die zur Untersuchung von Solen verwendet wurden. Ausgegangen wurde dazu von Wasser, dessen Schwere zu 0 Grad festgelegt war. Zur Kalibrierung wurden dann 128 Teile Wasser zugrundegelegt und nach und nach ein Teil Wasser durch einen Teil Salz ersetzt. Eine Salzlösung von 1 Grad hatte demnach 1 Teil Salz auf 127 Teile Wasser, eine von 20 Grad hatte 20 Teile Salz auf 108 Teile Wasser.⁹⁵

Die von dem Leibmedicus Reuss und seinem Sohn eingeführte systematische Prüfung des Traubenmostes und des daraus hergestellten Weines sollte dann in den südwestdeutschen Ländern zur ständigen Gepflogenheit werden, um später auch in den anderen Weinbaugebieten übernommen zu werden. Die bereits vorgestellte hydrostatische Balkenwaage von Ph. M. Hahn, s. Abb. 6, wurde unter anderem auch dazu verwendet, Traubenmoste wie auch die daraus hergestellten Weine zu prüfen.⁹⁶ Hahn benutzte dazu allerdings konsequent die „Grade nach Musschenbroek“⁹⁷. Hahn zeigte außerdem, wie die Grade nach Reuss auf die von Musschenbroek umzurechnen sind und stellte dazu eine Tabelle auf⁹⁸: Ein Grad nach Reuss entspricht einer Differenz von $5\frac{17}{31}$ Graden nach Musschenbroek. Um dann zu den für den Traubenmost immer über 1000 liegenden Graden nach Musschenbroek zu gelangen, war das Ergebnis der Umrechnung noch mit 10.. oder 1... zu ergänzen.⁹⁹

Ph. M. Hahn beschränkte die Herstellung hydrostatischer Geräte nicht allein auf die Balkenwaage. Dem von Reuss gegebenen Beispiel folgend, fertigte er auch Aräometer an, die, neben der Prüfung anderer Flüssigkeiten, auch zur Untersuchung des Traubenmostes und des Weines vorgesehen waren. Dies geht aus den Eintragungen aus Hahns Tagebüchern¹⁰⁰ wie auch aus biographischen Notizen hervor, in denen die von ihm ausgeführten Arbeiten aufgeführt sind; gesondert beschrieben hat er sie nicht. Demnach hat er neben der „allgemeinen“ hydrostatischen Waage, das ist die Balkenwaage, die für den Bereich von 700 bis 1600 Graden vorgesehen war, auch „einfache“ hydrostatische Waagen hergestellt, die von 990 bis 1100 oder 1200 Graden anzeigten – offenbar also Aräometer.¹⁰¹ Aus diesen Angaben ist erkennbar, daß

Hahn nicht nur seine Balkenwaage nach der 1000teiligen hydrostatischen Skala eingerichtet hat. In gleicher Weise tat er dies auch mit seinen Aräometern. Damit darf er als der erste gelten, der Aräometer zur Anzeige von „richtigem“ spezifischem Gewicht hergestellt hat, und das deutlich früher als Brisson.¹⁰²

4.5 Das nach Ferdinand Oechsle benannte Aräometer

Die bei Ph. M. Hahn bestandene Nachfrage nach Aräometern, die zur Prüfung des Traubenmostes eingerichtet waren, ist Beweis dafür, daß solche Instrumente zunehmend verwendet wurden. Derjenige, mit dessen Namen die Mostwaage später so gut wie zu einem Synonym wurde, war dann der Mechaniker Oechsle in Pforzheim. Christian Ferdinand Oechsle (1774–1852), so war sein vollständiger Name, war der Sohn eines Glasmachers, der in der Zeit von 1785–1789 in Buhlbach im Schwarzwald, westlich von Baiersbronn, in einer Glashütte tätig war.¹⁰³ In jungen Jahren kam Oechsle zuerst zu einem Goldschmied in Öhringen, östlich Heilbronn, in die Lehre. Um 1794 ging er nach Pforzheim, wo zu dieser Zeit das Goldschmiedegewerbe bereits gut entwickelt war.¹⁰⁴ Im Jahre 1800 wurde er Kabinettmeister in einer neu gegründeten Goldwarenfabrik, in der er 10 Jahre verblieb. Sein Interesse ging jedoch mehr in eine andere Richtung: Er eröffnete eine mechanische Werkstatt, von der es heißt, daß in ihr in den ersten Jahren ihres Bestehens vor allem diverse Waagen für den praktischen Gebrauch gefertigt wurden.¹⁰⁵ Das Jugendportrait Oechsles (Abb. 17) stammt vermutlich aus dieser Zeit.¹⁰⁶

Aus einem Preisverzeichnis von 1825 geht hervor, daß Oechsle inzwischen sein Programm mehr auf pharmazeutische und physikalische Instrumente umgestellt hatte.¹⁰⁷ Zur damaligen Zeit war es noch üblich, aufwendigere Laboratoriumsgeräte aus dem westlichen Ausland, aus Paris oder London, zu beschaffen. Einem geschickten Künstler eröffneten sich also gute Chancen, für solche Instrumente Abnehmer zu finden. Und das Preisverzeichnis zeigt, daß Oechsle darin erfolgreich war. Neben verschiedenen Waagen, die für Apotheken geeignet sind, Medizinalgewichten, diversen Thermometern, Uhren sowie speziellen elektrischen Geräten, werden auch Aräometer angeboten, nach Beck, Baumé und Tralles.¹⁰⁸ Es wird am Ende noch vermerkt, daß alle in die genannten Fächer einschlagenden Artikel von Herrn Oechsle gefertigt würden; die Kunden konnten also Instrumente nach ihren eigenen Angaben in Auftrag geben.

Seine Tätigkeit in der Goldverarbeitung und Schmuckherstellung übte Oechsle allerdings noch weiterhin aus. Er wurde 1820 Großherzoglich Badischer Goldkontrolleur und faßte seine Erfahrungen in einem Handbuch für Goldarbeiter¹⁰⁹ und einer Anleitung zum Berechnen und Bearbeiten von Goldlegierungen¹¹⁰ zusammen.

Der Sohn Oechsles, Christian Ludwig Oechsle (1814–1897), der bereits frühzeitig in der Werkstatt des Vaters tätig war und sie später auch leitete, gab 1855 einen umfangreichen, 553 Artikel enthaltenden Katalog heraus.¹¹¹



Abb. 17: Christian Ferdinand Oechsle (1774–1852), Jugendportrait. Quelle: Stadtarchiv Pforzheim.

Aus den mit Illustrationen versehenen Gerätebeschreibungen geht hervor, auf welchem hohem Niveau das Fertigungsprogramm der Werkstatt gestanden hat.¹¹²

Es wird heute kaum noch genau zu ermitteln sein, wann Oechsle sich erstmals mit der Mostwaage befaßt hat – dem einzigen der von ihm gefertigten Instrumente, das heute noch mit seinem Namen verbunden ist. Das noch relativ bescheidene Preisverzeichnis von 1825 enthält noch kein Most- oder Weinaräometer. Dies schließt allerdings nicht aus, daß er solche Instrumente, gleich wie sie kalibriert gewesen sein mögen, doch auf Bestellung gefertigt hat; erinnert sei an den Hinweis am Ende der Preisliste. In dem Katalog von 1855 sind aber allein 36 Artikel zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes aufgeführt, darunter auch Aräometer für Branntwein, Bier, Most und Wein¹¹³; abgebildet ist keines von ihnen, ebensowenig ist angegeben, wie diese Aräome-

ter kalibriert waren. Zu dieser Zeit gehörten solche Instrumente offenbar bereits zum festen Programm der Werkstatt.

Es scheint aber um etwa 1830 gewesen zu sein, daß Oechsle nähere Überlegungen über die Mostwaage angestellt hat.¹¹⁴ 1836 erscheint dann eine vierseitige Anleitung zum Gebrauch dieses speziellen Aräometers.¹¹⁵ Eingangs betont Oechsle, daß die Waage nach dem spezifischen Gewicht eingeteilt sei, wobei das Gewicht des Wassers 100 Grade betrage.¹¹⁶ Er weist auf Fehlermöglichkeiten hin, die bei unsachgemäßem Gebrauch entstehen können und gibt verschiedene Beispiele, aus denen zu ersehen ist, daß das Aräometer die typische „Einteilung nach Oechsle“ hat (Abb. 18).¹¹⁷

Aus dem Text der Oechsleschen Gebrauchsanleitung ist indessen nicht erkennbar, in welcher Beziehung die Gradzahlen der Mostwaage zum spezifischen Gewicht stehen: Wenn diese Teilung nach den von Oechsle genannten und später auch nach ihm benannten Graden völlig neu gewesen und insbesondere durch ihn erstmals angewendet worden wäre, wäre doch anzunehmen, daß er auf den Zusammenhang mit den Zahlenwerten für das spezifische Gewicht hätte eingehen müssen.¹¹⁸ Das tut er aber nicht und bringt zudem noch den falschen Hinweis über die „100 Grade des Wassers“. Weiterhin fällt auf, daß Oechsle für eine sehr frühe Zeit verkürzte Dichtezahlen, die späteren

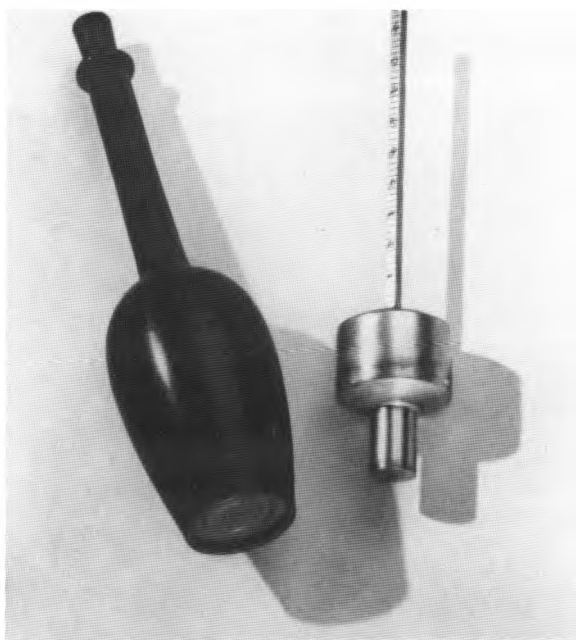


Abb. 18: Mostwaage von
F. Oechsle mit Etui,
vermutlich um 1850.
Quelle: Anm. 103.

„Oechsle-Grade“, angibt: Es heißt nämlich, daß der Wein – es müßte hier allerdings richtiger „Most“ heißen – anno 1811 eine Gradzahl von 80–85 und ein Jahr später in manchen Gegenden (nur) 58 Grade und nur dort, wo er beinahe immer gut werde, 75 Grade gehabt habe.¹¹⁹

Nun ist aber, wie aus der oben skizzierten Entwicklung der mechanischen Tätigkeit Oechsles wie auch aus der erstmals im Jahre 1836 vorgelegten Beschreibung seiner Mostwaage hervorgeht, auszuschließen, daß er zu dieser Zeit (1811) bereits Aräometer, geschweige solche mit der Graduierung nach der verkürzten Dichtezahl, gefertigt hat. Zur Qualitätsprüfung des Traubenmostes hat es also die Gradeinteilung mit den „vereinfachten“ Zahlenwerten bereits gegeben, ehe er sich damit befaßt hat. Oechsle hat demnach nichts anderes getan, als eine schon bekannte und auch benutzte Teilung des Aräometers zu übernehmen. Und diese von ihm gefertigte Mostwaage ist dann, ausgehend von den südwestdeutschen Weinbaugebieten, die auch für die anderen Regionen maßgeblich geworden. Die Einteilung mit den speziellen Gradzahlen führte zu den heute noch gebräuchlichen „Oechsle-Graden“.

Es ist dabei auffällig, daß das Aräometer für den Traubenmost das erste gewesen ist, das sich mit einer Teilung nach dem spezifischen Gewicht durchgesetzt hat – und das ausgerechnet in den südwestdeutschen Weinbaugebieten sowie in der benachbarten Schweiz. Die bis dahin benutzten Aräometer für sämtliche anderen Flüssigkeiten waren, wie oben aufgezeigt, nach anderen Kriterien graduiert. Und solche nach Gewichts- oder Volumenkonzentrationen oder auch nach willkürlichen Gesichtspunkten kalibrierte Aräometer haben sich als Salzspindeln, Bierspindeln, Saccharometer, Alkoholometer und noch andere ebenso wie die nach Baumé, Beck, Tralles und anderen bis in die heutige Zeit hinein halten können.¹²⁰ Es wäre also eher zu erwarten gewesen, daß zur Prüfung des Mostes ebenfalls ein Aräometer angewendet worden wäre, das den Zuckergehalt entweder in einer konzentrationsabhängigen Einheit oder nach einer willkürlichen Graduierung anzeigte, wie dies in verschiedenen anderen Weinbauländern erfolgt ist^{120a} – aber nicht nach der Dichte. Wie konnte es dazu kommen?

In der Anfangszeit der systematischen Untersuchung von Traubenmosten in Südwestdeutschland ist ja auch ein willkürlich kalibriertes Aräometer verwendet worden, nämlich das nach den Reusschen Graden eingerichtete; bei ihm entsprach die Dichte von Wasser einem Skalenwert von null Grad – also genauso wie bei dem späteren Oechsle-Aräometer.¹²¹ Philipp Matthäus Hahn ging aber dazu über, konsequent die auf Wasser gleich 1000 Grade bezogenen Werte „nach Musschenbroek“ zu verwenden, gleich, ob er dies für seine hydrostatische Balkenwaage oder auch für seine Aräometer tat¹²²; nach der eigenen Aussage Hahns war zu dieser Zeit der „Musschenbroekische 1000theilige Maas-stab bey allen Gelehrten bekannt und angenommen“¹²³. Und Hahnsche Aräometer waren, ebenso wie die von Reuss, ausdrücklich zur Untersuchung des Traubenmostes eingerichtet gewesen.

Hahn gab dann zusätzlich an, wie die mit null beginnenden Reusschen Grade auf die nach Musschenbroek umzurechnen waren, wobei ein Grad

nach Reuss einer Differenz von $5\frac{17}{31}$ Einheiten nach Musschenbroek entsprach. Wäre jetzt jemand den von Hahn aufgezeigten Weg der Umrechnung der Reusschen Grade auf die entsprechenden Einheiten nach Musschenbroek weiter gegangen, hätte sich daraus die – ebenfalls wie die nach Reuss – mit null beginnende „Oechsle-Skala“ ergeben. Offenbar ist dies auch getan worden: Ein solcher Schritt ist nicht mehr groß und war um so eher in einer Region zu vollziehen, in der ein Aräometer mit einer bei null beginnenden Skala bekannt war.

Es läßt sich also zeigen, daß sich die Teilung der Mostwaage nach Oechsle-Graden auf die in Württemberg gebräuchlich gewesene Graduierung von Aräometern in Dichtewerten zurückführen läßt. Vielleicht hat es zwischen Hahn und Oechsle noch einen heute nicht mehr bekannten Mechaniker, ein „missing link“, gegeben, der ein solch vereinfachtes Aräometer bereits hergestellt hat. Oder die Vereinfachung des Hahnschen Aräometers ist einfach von der Praxis ausgegangen, um dann von Oechsle übernommen zu werden. So ist es also richtig, die Einteilung der Mostwaage auf Philipp Matthäus Hahn zurückzuführen. Als eigentliche Erfinder der Mostwaage können indes weder Reuss, noch Hahn, noch Oechsle bezeichnet werden: Das Aräometer war bereits lange zuvor bekannt.

5. Die Weiterentwicklung der Dichtebestimmung in Traubenmosten

Mit der Durchsetzung des Aräometers ist die Entwicklung der Dichtebestimmung von Traubenmosten nicht zu Ende gewesen. Andere, bereits bekannte Verfahren wurden verfeinert, so daß ihre Genauigkeit verbessert wurde. Dies gilt insbesondere für die Pyknometermethode, die nach ihrem Prinzip – Wägung eines abgemessenen Flüssigkeitsvolumens – bereits auf das Altertum zurückgeht. Von den Arabern und später von europäischen Naturforschern sind spezielle Gefäße entwickelt worden, durch die das Volumen der Meßprobe genau definiert werden konnte. Das Pyknometerverfahren ist heute eines der genauesten Verfahren zur Dichtebestimmung von Flüssigkeiten und wird für Traubenmoste vor allem dann verwendet, wenn es darauf ankommt, im Laboratorium eine Absolutbestimmung auszuführen, die auch geeignet ist, andere, als Relativmethoden arbeitende Verfahren zu kalibrieren; dabei spielt es keine Rolle, daß es verhältnismäßig zeitaufwendig ist.

Auch die Arbeitsweise der Dichtebestimmung von Flüssigkeiten durch hydrostatische Wägung ist verfeinert worden, insbesondere durch Verbesserung der Wägetechnik und konsequente Anwendung der Substitutionswägung – allerdings weniger für Traubenmoste, sondern bei Wägungen metrologischer Art. Für spezielle metrologische Untersuchungen wurde auch die Methode der kommunizierenden Röhren, die auf Arbeiten zurückgeht, die von der Accademia del Cimento in Florenz bereits im 17. Jahrhundert ausgeführt wurden, weiter ausgearbeitet: Diese Methode beruht darauf, daß bei zwei miteinander kommunizierenden Flüssigkeiten, die sich das Gleichgewicht halten, die Höhen sich umgekehrt verhalten wie die spezifischen Gewichte.¹²⁴

Die Leistungsfähigkeit der Aräometer wurde ebenfalls ständig weiter verbessert. Für die Traubenmoste ist man später jedoch davon abgegangen, sie aus Silber oder einem anderen Metall zu fertigen, wie Oechsle dies getan hat. Man benutzte serienmäßig produzierte Aräometer aus Glasröhren, die in gleicher Weise kalibriert wurden. Aber auch das zur Dichtebestimmung des Traubenmostes verwendete Aräometer ist in neuerer Zeit weitgehend verdrängt worden: Seit den 50er Jahren wird eine optische Methode angewendet, die bequemer und auch genauer ist. Es handelt sich um die Messung des Brechungsexponenten mittels des Refraktometers. Dieses Verfahren beruht darauf, daß der Brechwert einer wässrigen Lösung von Traubenzucker mit zunehmender Konzentration größer wird, und zwar gleichlaufend mit den Dichtewerten. Anhand der ermittelten Brechzahl werden die Oechsle-Grade aus einer Tabelle entnommen (Tabelle 4). Alternativ kann die Ableseskala des

Tabelle 4: Zusammenhang zwischen der Brechzahl und Graden Oechsle.

Brechzahl (n_D)	Grad Oechsle	Brechzahl (n_D)	Grad Oechsle
1,3431	30	1,3621	80
1,3450	35	1,3640	85
1,3469	40	1,3659	90
1,3488	45	1,3678	95
1,3507	50	1,3697	100
1,3526	55	1,3716	105
1,3545	60	1,3735	110
1,3564	65	1,3754	115
1,3583	70	1,3773	120
1,3602	75	1,3792	125

Quelle: Lexikon der Ökologie, hrsg. von Ludwig Jakob, Neustadt a. d. W. ²1986.

Refraktometers direkt in Oechsle-Graden oder auch Dichtewerten kalibriert werden. Auch hier sind die anderen im Traubenmost gelösten Bestandteile zusätzlich zu berücksichtigen, da sie sich in ähnlicher Weise auf die Brechung auswirken wie die Dichte. Bei der optischen Messung des Traubenmostes sind also die Oechsle-Grade nach wie vor erhalten geblieben.

Es mag von Interesse sein, daß die refraktometrische Qualitätsprüfung des Traubenmostes sich auf die für das Bier zurückführen läßt: Carl August von Steinheil entwickelte bereits 1844 eine Methode, nach der es möglich war, sowohl den Gehalt an Alkohol wie auch an Extraktstoffen in Bier zu bestimmen.¹²⁵ Steinheil wandte dazu ein kombiniertes optisch-hydrostatisches Verfahren an und bestimmte den Brechungsindex der Probe mit Hilfe des Refraktometers (Abb. 19).¹²⁶

Zu den bisher genannten Verfahren zur Dichtebestimmung des Mostes ist noch zu ergänzen, daß in den Prüflabors zunehmend ein ganz neuartiges Verfahren angewendet wird, die sogenannte *Biegeschwingermethode*: Ein definiertes Volumen der flüssigen Probe wird in eine Meßzelle eingebracht und nimmt darin an der ungedämpften Schwingung eines Biegeschwingers teil, dessen Eigenfrequenz dadurch verändert wird. Die Änderung der Resonanzschwingung, gemessen im leeren und gefüllten Zustand der Meßzelle, führt direkt zur Dichte.¹²⁷ Dieses Relativverfahren ist gegenüber der aräometrischen Methode um mindestens zwei Größenordnungen besser reproduzierbar und führt innerhalb weniger Minuten zum Ergebnis. Hinsichtlich der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ist es auch gegenüber der pyknometrischen Methode um eine ganze Größenordnung überlegen. Zur Qualitätsbestimmung des Traubenmostes allein würde eine solch leistungsfähige Methode nicht benötigt, sie läßt sich jedoch anwenden, um Weinproben zu identifizieren und miteinander zu vergleichen.

Was schließlich den Oechsle-Grad angeht, ist die Frage, ob er in alle Zukunft Bestand haben wird. Denn dieser verkürzte Dichtewert gehört nicht

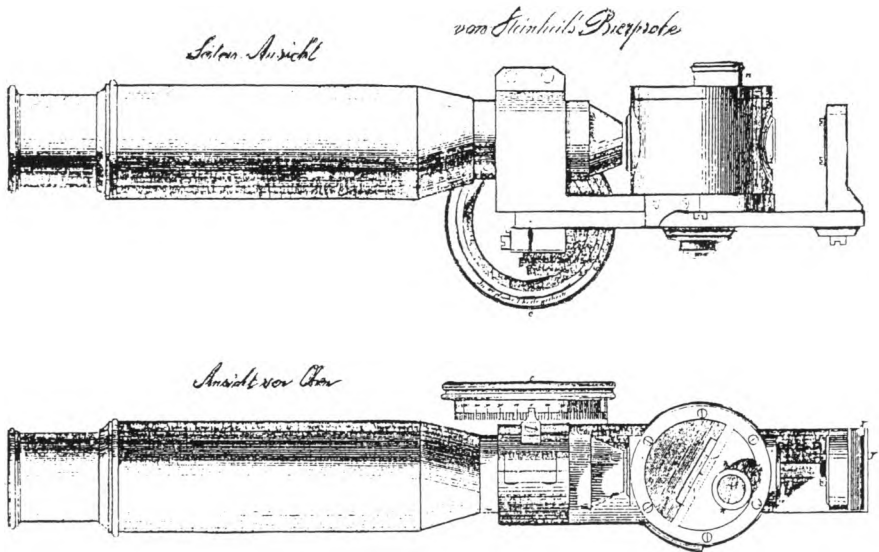


Abb. 19: Refraktometer von Carl August von Steinheil, 1844, eingerichtet zur Untersuchung des Extraktgehaltes in Bieren, Teilbild oben: Seitenansicht, Teilbild unten: Ansicht von oben. Quelle: Anm. 125.

zu den gesetzlichen Einheiten. Und nach dem Einheitengesetz (GEM) dürfen nur diese im geschäftlichen und amtlichen Verkehr verwendet werden.¹²⁸ In den Ergebnissen der Weinlabors tritt der Oechsle-Wert als verkürzter Dichtewert jedoch ständig auf. Er dient ja auch zur offiziellen Einstufung in Qualitätsgruppen.¹²⁹ Im Weingesetz erscheint der Oechsle-Grad zwar nicht, durch die „Hintertür“ der Umrechnung in Volumenprozent des „potenziellen“ Alkoholgehaltes nach Anlage 1 der Weinverordnung ist er nichtsdestoweniger dessen integrierender Bestandteil.¹³⁰

Der Verfasser dankt für bereitwillig erteilte Auskünfte: Frau K. Bahlo-Dittmann, Deutscher Normenausschuß, Berlin, Frau A. Kreisel, Chemisches Untersuchungsamt, Mainz, Herrn Professor Dr. P. Claus, Geschäftsführendes Vorstandsmitglied der Gesellschaft für Geschichte des Weines e. V., Geisenheim, und Herrn Kurt Müller, Chemisches Laboratorium, Mainz.

Anmerkungen

¹ DIN 1301, Teil 1: Einheiten – Einheitenennamen, Einheitenzeichen. Berlin 1978; Johannes Hoppe-Blank: Vom Metrischen System zum Internationalen Einheitensystem – 100 Jahre Meterkonvention, PTB-Bericht ATWD-5. Braunschweig 1975; Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Hrsg.): Die SI-Basiseinheiten – Definition, Entwicklung, Realisierung. Braunschweig 1975, Sonderdruck aus den PTB-Mitteilungen 85 (1975).

² DIN 1306: Dichte – Begriffe, Angaben: Berlin 1984. – Die Dichte von Wasser wird bezogen auf eine Temperatur von 4° C, bei der das Wasser seine größte Dichte hat, und einen Luftdruck von $p = 1,01325$ bar. – Die Bestimmungen der Dichte werden im allgemeinen bei 20° C ausgeführt (oder auf diese Temperatur bezogen, z. B. indem am Meßwert eine auf die Meßtemperatur bezogene Korrektur angebracht wird). Um von dem so erhaltenen Dichtewert („d 20/20“) zur „wahren Dichte“ („d 20/4“) zu gelangen, ist mit dem Faktor 0,9982 zu multiplizieren. Früher ist die Dichtebestimmung bei 15° C vorgenommen worden.

³ DIN 1305: Masse, Kraft, Gewichtskraft, Gewicht, Last – Begriffe; Berlin 1977.

⁴ Konsequenter wäre es, anstelle von Dichte den Begriff „Spezifische Masse“ zu verwenden, siehe Hans R. Jenemann: Zur Geschichte des Begriffes Dichte, im Druck.

⁵ Heinrich Bauerreiß: Zur Geschichte des spezifischen Gewichtes im Altertum und Mittelalter, Dissertation, Erlangen 1914.

⁶ DIN 1301, Teil 1 (wie Anm. 1).

⁷ DIN 1301, Teil 2: Einheiten – Allgemein angewendete Teile und Vielfache; Berlin 1978; s. a. Anm. 2.

^{7a} Durch den Vorgang der Photosynthese wird das Kohlendioxid der Luft unter Aufnahme von Wasser und gleichzeitiger Abgabe von Sauerstoff – über komplexe Zwischenvorgänge – zuerst in Zucker vom Typ der Hexose umgewandelt, ein Vorgang, der sich vor allem in den Blättern abspielt. Aus dem so entstandenen Mono-Saccharid bildet sich dann das Poly-Saccharid Stärke, eine Verkettung zahlreicher Zuckermoleküle. Während des Reifeprozesses wird die Stärke wieder in Mono-Saccharide aufgespalten, die von den Blättern in die Traubenbeeren abfließen, s. dazu E. Vogt und B. Götz: Weinbau, Stuttgart 1979, S. 61 – 63. In der ausgereiften Traube sind die beiden Mono-Saccharide Glucose (Traubenzucker) und Fructose (Fruchtzucker) in etwa gleichem Verhältnis enthalten.

^{7b} Aus praktischen Gründen wird der Zusammenhang zwischen Zuckergehalt und Dichte von Zuckerlösungen allgemein auf das Di-Saccharid Saccharose (Rohrzucker) bezogen: Das Gemisch der beiden in der Traube enthaltenen Mono-Saccharide Glucose und Fructose, s. Anm. 7a, läßt sich, unter Aufnahme von Wasser, auch durch Spaltung von Saccharose gewinnen („Invertzucker“). So war es bei der Kalibrierung eines früher zur Dichtebestimmung von Zuckerlösungen viel verwendeten Aräometers, dem Saccharometer nach Balling, das gelegentlich auch für Traubenmoste benutzt wurde, üblich, Saccharose vorzugeben. Solche Aräometer zeigten also direkt den Gesamtzucker im Traubenmost an, wobei aber noch die übrigen Extraktanteile mit eingeschlossen waren.

^{7c} F. Drawert und H. Steffan: Biochemisch-physiologische Untersuchungen an Traubenbeeren; III. Stoffwechsel von zugeführten ¹⁴C-Verbindungen und die Bedeutung des Säure-Zucker-Metabolismus für die Reifung von Traubenbeeren, in: *Vitis* 5 (1966), S. 377 – 384, bes. S. 380 f.

⁸ Im „Gesetz über Wein, Likörwein, Schaumwein, weinhaltige Getränke und Branntwein aus Wein“ (Weingesetz), Neufassung, Bundesgesetzblatt Nr. 32 v. 31. August 1982, findet sich kein Hinweis auf den Oechsle-Grad. In Par. 1, Begriffsbestimmungen, Abs. 5, heißt es,

daß für den vorhandenen und potentiellen Alkoholgehalt und den natürlichen Alkoholgehalt die Begriffsbestimmungen des Anhangs I der Verordnung (EWG) Nr. 337/79 anzuwenden sind. Durch Rechtsverordnung kann das Umrechnungsverfahren zur Ermittlung der Alkoholgehalte geregelt werden – d.h. also von den in den einzelnen Ländern ermittelten Meßwerten auf den Alkoholgehalt. – In der „Verordnung über Wein, Likörwein und weinhaltige Getränke“ (Weinverordnung vom 4. August 1983), Neufassung, Bundesgesetzblatt Nr. 36 v. 12. August 1983, Par. 1, Umrechnung von Oechsle-Graden in Volumenprozent Alkohol, wird zu Par. 1 Weingesetz erläutert, daß die Ermittlung des natürlichen Alkoholgehaltes in Volumenprozent aus den Oechsle-Graden nach einer in der Anlage 1 aufgeführten Tabelle zu erfolgen habe. In dieser Weinverordnung ist indessen der Oechsle-Grad ebenfalls nicht definiert; nach Par. 5 (Prüfungsverfahren) dieser Verordnung, Abs. 5, sind dagegen die analytisch festgestellten Werte in den Einheiten Gramm oder Kilogramm pro Liter bzw. in Volumenprozent anzugeben. – Eine Definition des Oechsle-Grades findet sich im „Wegweiser durch das Weinrecht“ (hrsg. von W. Becker, H. Järgen, J. Koy und R. Sebastian), Mainz³ 1983, S. 23, und zwar als Anmerkung zu der Festlegung der natürlichen Mindestalkoholgehalte für die einzelnen Weinbauzonen. Demnach zeigen die Oechsle-Grade an, um wieviel Gramm ein Liter Most mehr wiegt als ein Liter Wasser bei 20°C.

⁹ Nach dem Weingesetz, Par. 11, Abs. 3, gelten für die einzelnen Weinbaugebiete unterschiedliche Mindestalkoholgehalte der verschiedenen Qualitätsklassen. Tabelle 3 ist dem Wegweiser durch das Weinrecht, s. Anm. 8, S. 27, entnommen.

¹⁰ Karl B. Hofmann: Kenntnisse der klassischen Völker von den physikalischen Eigenschaften des Wassers, in: Sitzungsberichte der Philosophisch-Historischen Klasse der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften (Wien) 163 (1909), 2. Abhandlung, S. 5 ff.; und dies gilt prinzipiell nicht nur für Flüssigkeiten, sondern – vorausgesetzt, daß die Einzelteile gegenüber dem Gesamtvolumen relativ klein sind – auch für feste Körper. Im Altertum war bekannt, daß die einzelnen Getreidesorten, auch von verschiedener Herkunft, unterschiedlich schwer waren, siehe Plinius d. Ältere: *Naturalis historiae*, Buch 18 (Botanik – Ackerbau), Kap. 11 – 21; vgl. die modernen Begriffe Schüttdichte, Füllichte, Litergewicht u. ä.

¹¹ Archimedes von Syrakus: Über schwimmende Körper, Buch 1 und 2, in Ausgaben der Werke von Archimedes, z.B. in der Übersetzung von A. Szwalina, Darmstadt, *1983.

¹² Archimedes (wie Anm. 11), Buch 1, Par. 7.

¹³ Marcus Vitruvius Pollio: Zehn Bücher über Architektur, Vorrede zu Buch 9, z.B. in der Übersetzung von C. Fensterbusch, Darmstadt³ 1981.

¹⁴ König Hiero II. von Syrakus (griech.: Hieron), Regierungszeit von 265 – 215.

¹⁵ Corona (lat.): Der Kranz, oft auch mit „Krone“ übersetzt.

¹⁶ Al Châzîni: Buch der Waage der Weisheit, ca. 1120; in Teilen übersetzt von N. Khanikoff: *Analysis and Extracts of Book of the Balance of Whisdom – An Arabic Work on the Water-Balance*, in: *Journal of the American Oriental Society* 6 (1860), S. 1 – 128; und von Thomas Ibel: *Die Waage im Altertum und Mittelalter*, Diss., Erlangen 1908, S. 80 – 162.

¹⁷ Zu Menelaos s. Paulys Real-Encyclopädie der Classischen Altertumswissenschaft, 29. Halbband, 1931, Sp. 834 f.

¹⁸ Khanikoff (wie Anm. 16), S. 86; Ibel (wie Anm. 16), S. 52; Bauerreiß (wie Anm. 5), S. 48. – Ibel, S. 181 – 187, gibt noch an, daß sich im Escorial (bei Madrid) die Abschrift einer Handschrift des Menelaos befindet, in der eine zweischalige Waage des Mânâtus beschrieben wird, die zur Bestimmung der Zusammensetzung von Gold-Silber-Legierungen vorgesehen war. Bei ihr war eine der Schalen, die ebenfalls beide eingetaucht wurden, beweglich angeordnet, so daß sie selbst als Laufgewicht fungierte.

¹⁹ In ziemlich ähnlicher Form wird die Bestimmung der Dichte an dem Kranze des Hieron in dem Lehrgedicht „*Carmen de ponderibus*“, Vers 124 – 163, beschrieben, das dem Priscianus aus Caesarea (in Mauretanien) zugeschrieben wird; Priscianus hat im 6. Jahrhundert n. Chr. in Konstantinopel die lateinische Sprache gelehrt, s. Anm. 53 und 54.

^{19a} Hans R. Jenemann: Wie hat Archimedes die Dichte des Kranzes des Hieron bestimmt?, in: *Acta Metrologiae Historicae III – Travaux du V. Congrès International de la Métrologie Historique*, Linz 1989, im Druck.

²⁰ Hans R. Jenemann: Eine römische Waage mit nur einer Schale und festem Gegengewicht, in: *Archäologisches Korrespondenzblatt* 14 (1984), S. 81 – 96.

²¹ Simon Stevin: *Beghinselen des Waterwichts*, Leyden 1586.

²² Galileo Galilei: *La Bilancetta*, verfaßt 1586, erstmals gedruckt in der ersten, zweibändigen Ausgabe der *Opera di Galilei*, Bologna 1655–56; s.a. spätere Ausgaben der Werke Galileis, z.B. Bd. 4, Milano 1810, S. 243–250; deutsche Übersetzung s. Galileo Galilei – *Schriften, Briefe, Dokumente*, hrsg. von A. Mudrey, 2 Bde., München 1987, Bd. 1, S. 45 – 49.

²³ Galileo Galilei: *Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua o che in quelle si muovono*, Florenz 1612; z. B. Bd. 2, Milano 1809, S. 165 – 310.

²⁴ Vincenzo Viviani: *Osservazioni intorno alla Bilancetta di Galileo Galilei*, enthalten in Ausgaben der Werke Galileis, z.B. Milano 1810, S. 263 – 270. – Aus den bibliographischen Unterlagen geht nicht hervor, wann Viviani das Traktat verfaßt hat. Erstmals gedruckt wurde die Arbeit, als Bestandteil der dreibändigen Florentiner Ausgabe der Werke Galileis, im Jahre 1718.

²⁵ Robert Boyle: *Medicina hydrostatica or Hydrostatics applied to the materia medica*, London 1690, enthalten in: *The Works of the Honourable Robert Boyle*, Bd. 5, London 1772, S. 453 – 489, bes. S. 471.

²⁶ Hans R. Jenemann: Zur Geschichte der Substitutionswägung und der Substitutionswaage, in: *Technikgeschichte* 49 (1982), S. 89 – 131, vgl. Abb. 1.

²⁷ Francis Hauksbee (in Vine-Office-Court, Fleet-Street): *A Description of an Hydrostatical Ballance, for finding the Specifick Gravities of Liquids and Solids with ease and accuracy*, in: John Harris, *Lexicon Technicum*, Bd. 2, London 1710, p. Hhh. – Mit der demonstrativen Ausführung von Experimenten hat Hauksbee bereits 1704 begonnen, s. *Dictionary of Scientific Biography*, hrsg. von Ch. C. Gillespie, Vol. VI, New York 1972, Stichwort Hauksbee, S. 169 – 175, bes. S. 169, so daß davon auszugehen ist, daß er seine hydrostatische Waage bereits vor der Publikation in John Harris' Lexikon konstruiert hat.

²⁸ R. T. Gunther: *Early Science in Oxford*, Bd. 1, Oxford 1923, S. 240f.

²⁹ Francis Hauksbee: *A Course of Mechanical, Optical, Hydrostatical, and Pneumatical Experiments; the Explanatory Lectures read by William Whiston*, London o. D., s. Anm. 30.

³⁰ Aus den Angaben von Richard Davies: *Tables of specific Gravities, extracted from various Authors*, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 45 (1748), S. 416 – 489, bes. S. 430, geht hervor, daß der jüngere Hauksbee "about the year 1710", gemeinsam mit Mr. Whiston, begonnen hat, hydrostatische Lektionen zu geben, zu welchem Zweck er "a thin volume in 4^o" drucken ließ; anderenorts, z.B. auch im *British Union Catalogue*, wird diese Anleitung auf „ca. 1730“ datiert.

³¹ J. T. Desaguliers: *A Course of Experimental Philosophy*, Vol. II, London 1744, S. 194 – 200, Plate 18, Fig. 12 – 15.

³² Guillaume Jacob 'sGravesande: *Elémens de Physique*, Bd. 1, Leiden 1746, S. 377 – 417 („De la Pesenteur & de la Pression des Fluides“); nach der 3. Auflage in Latein, Leiden 1742.

³³ Die hydrostatische Waage 'sGravesandes ist erhalten geblieben und wird heute im Museum Boerhaave zu Leiden aufbewahrt.

³⁴ Hans R. Jenemann: Zur Entwicklungsgeschichte der Neigungswaage, in: *Wägen und Dosieren* 11 (1980), S. 210 – 215 und 248 – 253.

³⁵ Pierre van Musschenbroek: *Essai de Physique*, Bd. 1, Leiden 1739, S. 398 – 415 („Des Corps plongés dans les Liquides; & de leur Pesenteur spécifique“); nach der holländischen Ausgabe, Leiden 1736.

³⁶ s. Jenemann, Substitutionswägung, Anm. 26.

³⁷ s. Musschenbroek, Anm. 35, S. 411 – 414.

³⁸ Philipp Matthäus Hahn: Beschreibung mechanischer Kunstwerke, Drittes Stück, Beschreibung einer allgemeinen hydrostatischen Waage, Stuttgart 1774.

³⁹ Hans R. Jenemann: Der Mechaniker-Pfarrer Philipp Matthäus Hahn und die Ausbreitung der Feinmechanik in Südwestdeutschland, in: Zeitschrift für Württembergische Landesgeschichte 46 (1987), S. 117 – 161.

⁴⁰ Hahn, Anm. 38, S. 61 – 98 („Auszug aus Herrn D. Reußens Inaugural-Dissertation von dem Neccarmost und den Neccarweinen“).

⁴¹ Ph. M. Hahn: Werkstattbuch III, 1774 – 1781, Cod. hist 108,6 der Württ. Landesbibliothek, Stuttgart, Reprint Stuttgart 1989, S. 24 (Bd. 3 der Quellen und Schriften zu Philipp Matthäus Hahn, hrsg. v. Württ. Landesmuseum Stuttgart); s. a. Hans R. Jenemann: Philipp Matthäus Hahn und die Verwirklichung arbeitssparender und bequemer Waagen, in: Blätter für Württembergische Kirchengeschichte 80/81 (1980/1981), S. 142 – 174, bes. S. 158 f.

⁴² Friedrich Mohr: Lehrbuch der pharmazeutischen Technik, Braunschweig 1847, S. 285 – 289.

⁴³ Otto Autenrieth: Aräometer-Waage zur Bestimmung des spezifischen Gewichts von Flüssigkeiten, in: Württembergisches Gewerbeblatt 1860 (Nr. 40), S. 355 – 357, und in: Polytechnisches Journal (Hrsg.: Dingler) 159 (1861), S. 109 – 111.

⁴⁴ Georg Westphal: Über Wagen zur Bestimmung des spezifischen Gewichts von Flüssigkeiten, in: Zeitschrift für Analytische Chemie (Hrsg.: Fresenius) 9 (1870), S. 233 – 236.

⁴⁵ Archimedes, Anm. 11, Buch 2, Par. 1.

⁴⁶ Max Gary: Der Öchslegrad, in: Wirtschaft und Wandel, Heft 5/1972, S. 50 – 52, bes. S. 50.

⁴⁷ Alfred Munz: Philipp Matthäus Hahn, Sigmaringen 1977, S. 25.

⁴⁸ Pfarrer Christian Gottlieb Göz: Bemerkungen über Weinwaagen, in: Oekonomie-Wochenblatt 5 (1794), S. 165 f.; über den Autor s. R. Brey Mayer, in: Blätter für Württ. Kirchengeschichte 83/84 (1983/1984), S. 54 – 96, bes. S. 76 f.

⁴⁹ Johann Beckmann: Beyträge zur Geschichte der Erfindungen, Bd. 4, Leipzig 1799, S. 242 – 271 (Kapitel „Wasserwaage, Salzspindel“), stellt die Vorgeschichte des Aräometers im Altertum dar, wobei er sich auf frühere Quellen aus der abendländischen Literatur bezieht. Er geht dabei ausführlich auf die beiden bis dahin bekannten Berichte aus dem Altertum ein (Brief des Synesius und Gedicht „Carmen de ponderibus“). Den Brief des Synesius bringt er S. 249 f. in deutsch, griechisch und lateinisch; s. a. E. Gerland: Zur Geschichte der Erfindung des Aräometers, in: Annalen der Physik 237 (1877; Bd. 1 der Reihe von Wiedemann), S. 150 – 157; sowie Hofmann, Anm. 10, S. 18 und 60 – 62.

⁵⁰ Paulys Realencyclopädie der Classischen Altertumswissenschaft, 2. Reihe, 8. Halbband, 1932, Sp. 1362 – 1365.

⁵¹ Pauly, Anm. 50, 17. Halbband, 1914, Sp. 242 – 249.

^{51a} An anderen Stellen steht gelegentlich das Baryllion (fälschlich) als Bezeichnung für das gesamte Hydroskop.

⁵² Beckmann, Anm. 49, S. 265 f., zeigt auf, daß das Aräometer sowohl Plinius dem Älteren (1. Jh. n. Chr.) als auch Galen (2. Jh. n. Chr.) noch nicht bekannt gewesen ist. Beckmann weist auch darauf hin, S. 263, daß es, nach P. van Musschenbroek: Cours de Physique Experimentale et Mathematique, Tome 2, Leyden 1769, S. 231, falsch ist, Hypatia als Erfinderin zu bezeichnen; s. dazu auch Gerland, Anm. 49, S. 151 f. – Gerland, S. 152 – 154, weist außerdem nach, daß es ebenfalls unrichtig ist, unter Bezugnahme auf eine Notiz von Salverte: Wer hat das Aräometer erfunden?, in: Annalen der Physik 6 (1800), S. 125 – 128, Archimedes die Erfindung des Aräometers zuzuschreiben, s. Anm. 53

⁵³ Beckmann, Anm. 49, S. 258 – 259, bringt aus dem Gedicht den lateinischen Text über das Aräometer einschließlich deutscher Übersetzung und weist auf frühere Publikationen hin, in denen das Gedicht abgedruckt ist; s. a. Salverte, Anm. 52 (einschl. deutscher Übersetzung). Einen vollständigen Abdruck s. bei Friedrich Hultsch: Metrologicorum scriptorum reliquiae, Vol. II, Leipzig 1866, S. 88 – 98, bes. S. 93 – 95 (Vers 91 – 123). – Im Anschluß

darán, Vers 124–162, behandelt das Gedicht die Untersuchung des Kranzes des Hiero durch Archimedes, was denn auch der Grund dafür gewesen ist, diesem die Erfindung des Aräometers zuzuschreiben, s. Anm. 19 und 52.

⁵⁴ Beckmann, Anm. 49, S. 256; Gerland, Anm. 49, S. 154f. In der Zeit zuvor wurde meist Rhemnius Fannius als Verfasser genannt, wonach das Aräometer schon im 1. Jahrhundert n. Chr. bekannt gewesen wäre, vgl. Anm. 52.

^{54a} Zu Priscianus s. Pauly, Anm. 50, 24. Halbband, 1954, Sp. 2328–2346; dort heißt es allerdings, Sp. 2345, Priscianus sei nicht der Verfasser des Gedichtes.

⁵⁵ Carmen de ponderibus, Anm. 53, Vers 98–101.

⁵⁶ Kriterien zur Qualitätsbeurteilung des Weines, vgl. den Text zu Tabelle 3.

⁵⁷ Al Châzinî, Anm. 16.

⁵⁸ Khanikoff, Anm. 16, S. 40–53.

⁵⁹ Zu Pappos und seinen Lebensdaten s. Pauly, Anm. 50, 36. Halbband, 2. Drittel, Sp. 1084–1106. – Die Schreibweise des Namens ist mit Pappus und Pappos unterschiedlich.

^{59a} Die Frage ist zu stellen, ob das Aräometer nach Pappos in der Abbildung der arabischen Literatur richtig wiedergegeben ist: Konstruktiv gesehen erscheint es wenig sinnvoll, den aus massivem Metall gestalteten und als Beschwerung fungierenden Kegel nach innen umzustülpen. Wesentlich praktischer dürfte es gewesen sein, den Kegel so anzusetzen, daß die Spitze nach unten zeigte, wie in ähnlicher Weise auch spätere Aräometer gestaltet waren; vgl. dazu die Beschreibung durch Synesius, Anm. 49.

⁶⁰ Nicolai de Cusa: Idiota de staticis experimentis, in: Opera omnia, iussi et auctoritate Academiae Litterarum Heidelbergensis, Vol. 5, Leipzig 1937, S. 118–139; in deutscher Übersetzung: Der Laie über Versuche mit der Waage, hrsg. von H. Menzel-Rogner, in: Schriften des Nikolaus von Cues, hrsg. von E. Hoffmann, Heft 5, Leipzig 1942.

⁶¹ Cues (Menzel-Rogner), Anm. 60, S. 20.

⁶² Cues (Menzel-Rogner), Anm. 60, S. 20.

⁶³ Cues (Menzel-Rogner), Anm. 60, S. 21.

⁶⁴ s. Anm. 16.

⁶⁵ Edmund O. v. Lippmann: Zur Geschichte des Saccharometers und der Senkspindel, in: Chemiker-Zeitung 36 (1912), S. 385f.

⁶⁶ Lippmann, Anm. 65, S. 386.

⁶⁷ Johan Thölden (Hessum, d.h. aus Hessen): Haligraphia, das ist Gründliche und eigentliche Beschreibung aller Saltz Mineralien, o. O. 1603.

⁶⁸ Thölden, Anm. 67, S. 30f.

⁶⁹ Thölden, Anm. 67, S. 31f.

⁷⁰ Loth: Ältere Gewichtseinheit von unterschiedlicher Größe. Als Handelsgewicht 1/32 Pfund des jeweiligen Landesgewichtes. Das Lot war auch ein kleines Gold-, Silber- und Münzgewicht, s. R. Klimpert, Lexikon der Münzen, Maße, Gewichte, Zählarten und Zeitgrößen aller Länder der Erde, Berlin 1896, Ndr. Graz 1972, S. 204f.

⁷¹ Thölden, Anm. 67, S. 33f.

^{71a} Das Gewichtsaräometer darf nicht mit der Aräometerwaage verwechselt werden, die später mehrfach beschrieben worden ist, z. B. [J. G.] Tralles: Beschreibung und allgemeine Theorie einer neuen Wage, in: Abhandlungen der Königl. Akademie der Wissenschaften in Berlin 1804–1811, Mathematische Klasse, Berlin 1815, S. 65–81. – Solche Instrumente wurden später zu Meßgeräten höchster Präzision, auch zur Ausführung metrologischer Wägungen, entwickelt, s. Reinhard Probst: Untersuchung eines hydrostatischen Wägewerfahrens hoher Genauigkeit, Bericht der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, PTB-Me-45, Braunschweig 1983.

⁷² Vitriol: frühere Bezeichnung für die in Wasser löslichen schwefelsauren Salze (Sulfate) bestimmter Schwermetalle.

⁷³ Thölden, Anm. 67, S. 34.

⁷⁴ Jacob Leupold: Theatrum hydrostaticum, Pars II von Theatrum staticum universale, Leipzig 1726, S. 193–236, bes. Tafel 4.

⁷⁵ Antoine Baumé: Description d'un Pèse-liqueur, pour connaître la quantité de sel contenue dans chaque quintal d'eau; Construction d'un nouvel Aréomètre, ou Pèse-liqueur de comparaison, pour connaître les degrés de rectification des liqueurs spiritueuses, in: *Elémens de Pharmacie* (par A. Baumé), div. Ausgaben, z. B. Paris 1818, Bd. 1, S. 559 – 568; erstmals publiziert in: *L'Avant-Coureur* 1768, N° 45, 50, 51 & 52, 1769, N° 2.

⁷⁶ J. Domke und E. Reimerdes: *Handbuch der Aräometrie*, Berlin 1912, S. 142 – 148 (Aräometer mit willkürlicher Skala).

⁷⁷ Marino Ghetaldi: *Promotus Archimedes seu de variis corporum generibus gravitate et magnitudine comparatis*, Rom 1603, bes. S. 32 und 33; die Tabellen Ghetaldis sind später mehrfach in anderen Darstellungen nachgedruckt worden.

⁷⁸ Unze, Drachme, Gran: Untereinheiten des Nürnberger Medizinal- oder Apotheker-Pfundes, dessen Masse 357,85 g beträgt, siehe Klimpert, Anm. 70, S. 272. Auch andere, davon abweichende Maßsysteme gelangten zur Anwendung. – Die Länge des Zolls, der mit dem Kubikzoll auch die Grundlage für das Raummaß bildete, war in den einzelnen Ländern ebenfalls unterschiedlich.

⁷⁹ A further List of the Specific Gravity of bodys, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 15 (1685), Nr. 169, S. 927 – 929.

⁸⁰ Robert Boyle: A previous Hydrostatical way of estimating Ores, in: *The Works*, Bd. 5, s. Anm. 25, S. 489 – 507, bes. S. 506f., s. a. *Phil. Trans.* 16 (1686/1687), Nr. 192, S. 488 – 490.

⁸¹ Hauksbee the younger, Anm. 29 und 30.

⁸² s. J. Leupold, Anm. 74, S. 202ff.

⁸³ Musschenbroek, Anm. 35, S. 411 – 414. – Die Bezugsbasis ist Regenwasser mit dem spezifischen Gewicht 1,000; für destilliertes Wasser wird dann 0,993 angegeben.

⁸⁴ R. Davies, Anm. 30.

^{84a} Musschenbroek, Anm. 52, S. 230.

⁸⁵ [M. J.] Brisson: Manière de construire un Aréomètre . . . qui fait connaître la pesenteur spécifique des liqueurs . . . sans qu'il soit besoin d'aucun calcul, in: *Histoire de l'Académie Royale des Sciences* 1788, Paris 1791, *Mémoires* S. 583 – 589.

⁸⁶ Leupold, Anm. 74, S. 220 – 222; Leupold bildet, Tafel 7, diese Waage in Grund-, Auf- und Seitenriß ab. Die Casssche Waage ist erhalten geblieben und befindet sich heute im Astronomisch-Physikalischen Kabinett des Hessischen Landesmuseums zu Kassel, s. H. Michel und A. Kirchvogel: *Messen über Zeit und Raum*, Stuttgart 1965, S. 24; hergestellt war sie von Ernst Elias Bessler.

⁸⁷ Jenemann, Neigungswaage, Anm. 34, S. 211f.

⁸⁸ Christian Friedrich Jaeger (Praes.): *Musta et vina neccarini . . . , pro gradu doctoris medicinae proponit, . . . auctor Johannes Josephus Reuss*, Tübingen 1773; *Sign. med. Diss.* 50a der Württ. Landesbibliothek, Stuttgart. – Siehe die Auszüge in deutscher Übersetzung von Ph. M. Hahn, Anm. 38 und 40.

⁸⁹ Reuss, Anm. 88, S. 12, vgl. Hahn, Anm. 38, S. 31.

⁹⁰ Reuss, Anm. 88, S. 35 (Par. 57), vgl. Hahn, Anm. 38, S. 77.

⁹¹ Reuss, Anm. 88, S. 41 (Par. 62), vgl. Hahn, Anm. 38, S. 87f.

⁹² Reuss, Anm. 88, S. 41f. (Par. 63), vgl. Hahn, Anm. 38, S. 88f.

⁹³ Reuss, Anm. 88, S. 39f. (Par. 59), vgl. Hahn, Anm. 38, S. 85.

⁹⁴ Reuss, Anm. 88, S. 39f. (Par. 59 und 60), vgl. Hahn, Anm. 38, S. 85f.

⁹⁵ Reuss, Anm. 88, S. 8f. (Par. 9), vgl. Hahn, Anm. 38, S. 61f.

⁹⁶ Hahn, Anm. 38, S. 30ff.

⁹⁷ Musschenbroek, Anm. 83.

⁹⁸ Hahn, Anm. 38, S. 24f.

⁹⁹ Beispielsweise entsprechen 14 Grade nach Reuss einer Differenz von $77\frac{21}{31}$ Graden nach Musschenbroek. Ein solcher Traubenmost hat damit etwa $1077\frac{1}{2}$ Grade nach Musschenbroek oder ein spezifisches Gewicht von 1,077. – Voraussetzung, eine solche Umrechnung vorneh-

men zu können, ist die, daß die Dichte proportional der Konzentration an gelöstem Stoff zunimmt, was für verdünntere Lösungen näherungsweise zutrifft.

¹⁰⁰ Philipp Matthäus Hahn: Die Kornwestheimer Tagebücher 1772–1777, hrsg. von M. Brecht und R. F. Paulus, Berlin 1979; ders.: Die Echterdinger Tagebücher 1780–1790, hrsg. von M. Brecht und R. F. Paulus, Berlin 1983.

¹⁰¹ (Anonym): Philipp Matthäus Hahn, in: Schwäbisches Magazin von gelehrten Sachen 4 (1777), S. 950–955, bes. S. 953. – (Anonym): Pfarrer Hahn zu Echterdingen, in: Beilage zur Schwäbischen Chronik 1790, S. 116–118 und 137–139, bes. S. 138; außerdem wird noch eine speziell zu Weinuntersuchungen vorgesehene „Weinwaage, mit Gewichtchen, zu richtiger Erkennung der Güte des Weins, besonders des noch süßen Mostes etc, sammt einer gedruckten Beschreibung“ aufgeführt.

¹⁰² Brisson, Anm. 85.

¹⁰³ Paul Debo: Tüftler, Probierer, Könner: Drei Generationen Oechsle, in: Pforzheimer Geschichtsblätter 3 (1971), S. 201–217, bes. S. 201.

¹⁰⁴ Debo, Anm. 103, S. 204, s. auch Richard Hachenberger: Oechsle und die Mostwaage, in: Rebe und Wein 40 (1987), S. 310–316, bes. S. 311

¹⁰⁵ Debo, Anm. 103, S. 204; Hachenberger, Anm. 104, S. 311; es heißt, Oechsle habe Brücken- und Präzisionswaagen hergestellt. Um Präzisionswaagen im späteren Sinne kann es sich jedoch kaum gehandelt haben: Oechsles Verzeichnis von 1825, s. Anm. 107, führt Hand-, Gran- und Tarierwaagen auf, deren Auflösungsvermögen kaum über $1:10^4$ hinausgegangen sein dürfte.

¹⁰⁶ Verf. dankt dem Stadtarchiv Pforzheim für das mit Schreiben v. 21. 5. 1985 übersandte Jugendportrait Oechsles; es ist nicht bekannt, auf welche Zeit genau das Portrait zu datieren ist. Auch aus späterer Zeit ist ein Portrait Oechsles vorhanden, s. Debo, Anm. 103, Bildteil; Hachenberger, Anm. 104, S. 310.

¹⁰⁷ Verzeichnis derjenigen pharmaceutischen und physikalischen Instrumente, welche von Hrn. Mechanikus Ferdinand Oechsle in Pforzheim gefertigt werden, in: Polytechnisches Journal (Dingler) 17 (1825), S. 125.

¹⁰⁸ Das Aräometer nach Beck hatte, ähnlich wie das von Baumé, eine „willkürliche“ Teilung, s. Domke/Reimerdes, Anm. 76, S. 144 und 147; das Aräometer von Tralles war ein Alkoholometer, das den Alkohol in Volumenprozenten anzeigte, s. Domke/Reimerdes, S. 148–151.

¹⁰⁹ Chr. Ferdinand Oechsle: Kleines Handbuch für Goldarbeiter, Pforzheim ³1860, hrsg. von Chr. Ludwig Oechsle.

¹¹⁰ Chr. Ferdinand Oechsle: Praktische Anleitung zum Berechnen der Goldlegirung . . . nebst Legirungs-Tabellen, Pforzheim ²1851, hrsg. von Chr. Ludwig Oechsle.

¹¹¹ Verzeichniss physikalischer und chemischer Instrumente, Apparate und Maschinen, welche bei Christian Ludwig Oechsle . . . in Pforzheim verfertigt werden, Braunschweig 1855.

¹¹² Die Oechsle-Werkstatt ist im Laufe der Zeit unter der Leitung von Chr. L. Oechsle in ihrer Bedeutung zurückgegangen. Nach dessen Tod 1897 wurde die Werkstatt nicht mehr weitergeführt.

¹¹³ Verzeichniss 1855, Anm. 111, Art.-Nr. 75-110.

¹¹⁴ Hachenberger, Anm. 104, S. 312.

¹¹⁵ Ferdinand Oechsle: Über den Gebrauch der Most- und Weinwaage, Pforzheim, Juni 1836, 4 pp.

¹¹⁶ Es ist unverständlich, daß Oechsle für Wasser eine Gradzahl von 100 angibt, da doch Wasser mit 1000 Grad die Grundlage der auf null reduzierten Skalenteilung bildet.

¹¹⁷ Oechsle gibt der kurzen Beschreibung seiner Mostwaage keine Abbildung bei. Aus dem Verzeichnis von 1855, Anm. 111, Art.-Nr. 105, geht jedoch hervor, daß dieses Aräometer aus Silber gefertigt und ihm eine Beschreibung beigegeben war; alternativ war es, Art.-Nr. 107, auch in außen vergoldetem Neusilber (Legierung aus Kupfer, Zink und Nickel;

„Argentan“) lieferbar. – Debo, Anm. 103, Bildteil, bildet eine Oechsle-Mostwaage, gemeinsam mit dem Etui, ab; s. auch Hachenberger, Anm. 104, S. 312.

¹¹⁸ Vgl. Tabelle 2.

¹¹⁹ Oechsle, Anm. 115, S. 2 der unpaginierten Anleitung.

¹²⁰ s. Domke/Reimerdes, Aräometrie, Anm. 76; Dahlen, Weinbereitung, Anm. 120a; Babo/Mach, Kellerwirtschaft, Anm. 120a.

^{120a} H. W. Dahlen: Die Weinbereitung, Braunschweig 1882, S. 304–309; A. v. Babo und E. Mach: Kellerwirtschaft ¹1885, S. 550–554. – So sind auch in deutschen Weinbaugebieten, neben dem Oechsle-Aräometer, stellenweise anders kalibrierte Aräometer verwendet worden, z. B. das Saccharometer nach Balling oder die Klosterneuburger Mostwaage, die den Zuckergehalt in Gewichtsprozenten angeben.

¹²¹ Hahn, Anm. 38, S. 26–28.

¹²² Musschenbroek, Anm. 83; s. die früheren Tabellen der englischen Naturforscher, Anm. 79–81.

¹²³ Hahn, Anm. 38, S. 16.

¹²⁴ K. Scheel: Raummessung und spezifisches Gewicht, in: Handbuch der Physik, Band II, Elementare Einheiten und ihre Messung, red. von Karl Scheel, Berlin 1926, S. 146–164, bes. S. 156–158.

¹²⁵ Carl August von Steinheil: Steinheil's Gehaltsmesser und dessen Anwendung als Bierprobe, in: Kunst- und Gewerbeblatt, Jg. 30, Bd. 22 (1844), Sp. 227–245; ders.: Steinheil's optisch-aräometrische Bierprobe in ihrer neuesten vereinfachten Form, ibd. Jg. 32, Bd. 24 (1846), Sp. 4–19.

¹²⁶ Der Zusammenhang zwischen Lichtbrechung und Dichte von Stoffen ist bereits von Newton untersucht worden, siehe Sir Isaac Newtons Optik oder Abhandlung über Spiegelungen, Brechungen, Beugungen und Farben des Lichts (1704), in der Ausgabe von William Abendroth, I. Buch, Leipzig 1898, S. 57–60. Demnach stehen Substanzen von sehr verschiedener Dichte in gleichem Verhältnis wie ihre brechenden Kräfte.

¹²⁷ O. Kratky, H. Leopold und H. Stabinger: Dichtemessungen an Flüssigkeiten und Gasen auf 10^{-6} g/cm³ bei 0,6 cm³ Präparatvolumen, in: Zeitschrift für Angewandte Physik 27 (1969), S. 273–277; dies.: The Determination of the Partial Specific Volume of Proteins by the Mechanical Oscillator Technique, in: Enzyme Structure (Methods in Enzymology) 27, Part D, 1973, S. 98–110.

¹²⁸ Gesetz über Einheiten im Meßwesen (GEM) v. 5. Juli 1969, Par. 1, Anwendungsbereich: (1) Im geschäftlichen Verkehr sind Größen in gesetzlichen Einheiten anzugeben, wenn für sie Einheiten nach den §§ 2 bis 4 . . . festgesetzt sind; für die gesetzlichen Einheiten sind die Namen und Kurzzeichen zu verwenden, die nach den §§ 3, 4 und 6 sowie nach einer auf Grund des § 5 erlassenen Rechtsverordnung zulässig sind.

¹²⁹ Wegweiser durch das Weinrecht, Anm. 8, S. 27–32.

¹³⁰ Weinverordnung, s. Anm. 8.

