

Neuzeitliche Feinstwaagen

Von Dr. A. EBERT, Ing.-Chemiker, Basel

Die beschaulichen Zeiten sind wohl vorüber, da der Chemiker geruhsam die Schwingungen des Zeigers vor der Skala der analytischen Waage verfolgt. Die Ursache hierzu ist aber nicht nur die Hast der heutigen Zeit, sondern das Verlangen, bei der Erreichung einer größtmöglichen Genauigkeit der Wägungen die menschliche Gesundheit und Leistungsfähigkeit durch die vereinfachte Handhabung der Geräte weitgehend zu schonen. Diese Forderungen besitzen ihre besondere Bedeutung für mikroanalytische und für Serienwägungen. Die Konstruktion der neuzeitlichen Feinstwaagen ist denn auch das Ergebnis einer verständnisvollen Zusammenarbeit von Waagebauern und Benutzern der Geräte.

Wir bringen nachfolgend Beschreibungen einiger sol-

cher Waagen, die sich praktisch bewährt haben, in der

Reihenfolge der Anfangsbuchstaben der herstellenden Firmen.

A. I. LAVOISIER (1743–1794)

Hartmann & Braun AG., Frankfurt a. M. Die *Torsionswaagen* dieser Firma sind besonders zur raschen Gewichtsermittlung von Fasermaterialien aller Art, von Holzschliff- und Papierproben, von Glühlampenfäden, Fruchtsamen, dann auch für Aschebestimmungen, zu mikroskopischen Blutuntersuchungen, für die Messung der Oberflächenspannung von Flüssigkeiten u. dgl. vorgesehen.

Das Prinzip der Torsionswaagen ist aus Abb. 1 ersichtlich. An der drehbaren Achse *a*, welche sich in geschlif-

fenen Edelsteinlagern bewegt, sind die Feder f und der Waagebalken w mit dem Zeiger g befestigt. Das äußere Ende der Feder f ist mit dem Zeiger m verbunden und ebenso mit dem Hebel h . An der Achse a greifen somit zwei Drehmomente an: in der einen Drehrichtung dasjenige der am Waagebalken w hängenden Last, in der anderen Richtung das Drehmoment, das durch die Torsion der Feder f erzeugt wird.

Mit dem Zeiger m wird der Nullpunkt des Instrumentes festgelegt, z. B. in horizontaler Stellung. Der Balkenzeiger g gibt dann zwangsläufig den Nullpunkt an der Skala an, wobei die Feder f spannungsfrei wird. Wird nun am Haken des Waagebalkens w eine Wäageprobe angehängt, so muß der Hebelarm h entgegengesetzt dem Sinne des Uhrzeigers so lange gedreht werden, bis der Balkenzeiger g seine ursprüngliche Lage wieder einnimmt. Als Maß für das Gewicht der Wäageprobe dient somit die Federspannung.

An der Achse a ist ein (in der Abbildung sichtbares) Aluminiumblech befestigt, das sich im Felde eines permanenten Magneten befindet. Durch die Bewegung werden in dem Blech Wirbelströme induziert, die auf die Drehbewegung bremsend wirken. Dies ermöglicht die rasche Feststellung der Gewichte zu untersuchender Proben, was sich besonders bei Serienwägungen gleich schwerer Produkte angenehm bemerkbar macht.

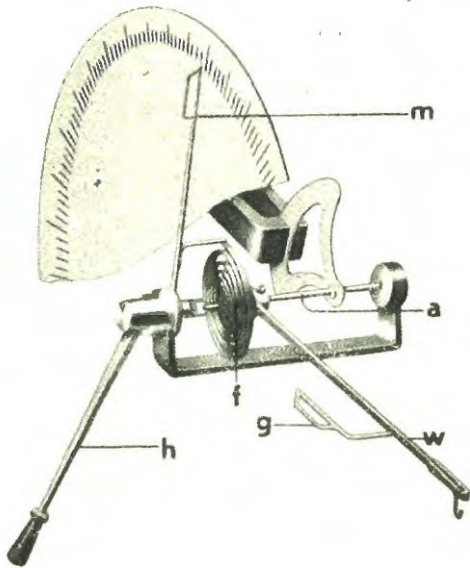


Abb. 1. Prinzip der Torsionswaage (Beschreibung im Text)

Der gegenseitige weite Abstand der Teilstriche an der Skala von ca. 0,5 mm erleichtert die Ablesung der Gewichte. Der Meßbereich der Torsionswaagen läßt sich in weiten Grenzen abtufen, wobei die Genauigkeit der empfindlichsten Waage rund + 0,01 mg beträgt. Sollen mehrere Meßbereiche erfaßt werden, wie z. B. von 0 bis 2500 mg und von 2500 bis 5000 mg, so wird die Torsionsfeder durch ein angehängtes Ausgleichsgewicht vorgespannt, das dem Endwert des unteren Meßbereiches ent-

spricht. Man kann damit auch relativ hohe Gewichte mit einer großen Genauigkeit messen. Derselbe Zweck wird erreicht, wenn ein zweiter Waagebalken mit entgegengesetzter Wirkung angebracht wird, der ein festes Gegengewicht trägt. Dasselbe gleicht maximal 90% des Gesamtmeßbereiches aus, so daß nur das letzte Zehntel des gesuchten Gewichtes durch die Torsion der Feder ausgeglichen werden muß.

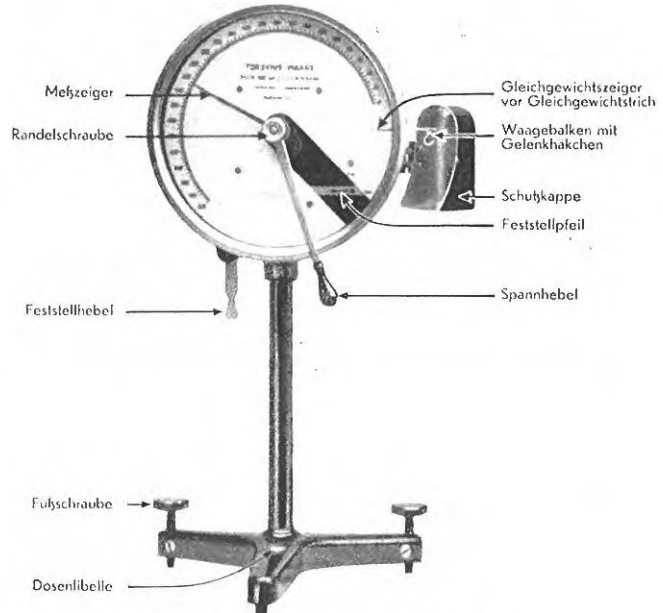


Abb. 2. Ansicht der Torsionswaage von Hartmann & Braun AG., Frankfurt a. M.

Das Wäagegut wird auf geeignete Weise an dem in Abb. 2 sichtbaren Gelenkhäkchen befestigt, das durch einen gefensterten Schutzkasten vor störenden Luftströmungen bewahrt wird.

Dr. Ing. Kurt Kirsch, Elektrofeinbau, Berlin-Charlottenburg. Die elektrischen Feinstwaagen dieser Firma sind vorzugsweise für Wägungen im Milligrammbereich bestimmt und werden in verschiedenen Typen bis zu einer Belastung von 300 mg hergestellt.

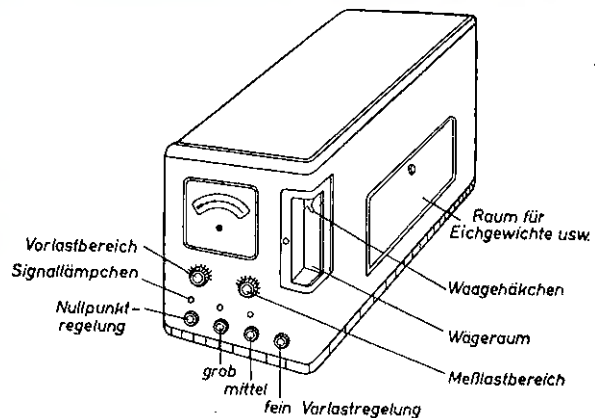


Abb. 3. Äußere Ansicht einer elektrischen Feinstwaage

Abb. 3 zeigt die äußere Ansicht einer solchen Waage. Für die Wägung wird am «Nullpunktregler» der Zeiger des Anzeigeinstrumentes auf den Nullpunkt eingestellt. Das Aufleuchten einer Signallampe meldet die Arbeitsbereitschaft der Waage. Das Wägegut wird direkt auf die Wägeschale gebracht oder auch an das Häkchen angehängt, das sich im Wägeraum befindet und gegen störende Luftströmungen durch die verschließbare Cellonfenstertüre gesichert ist. Das Gewicht der Wägeschale wird durch Bedienung des Drehknopfes «Vorlast» ausgeglichen. Erreicht das Gewicht des Wägegutes den eingeschalteten Meßbereich von z. B. 15 μ mg bis 3 mg oder von 0,15 mg bis 30 mg, so kann das Resultat der Wägung sofort abgelesen werden. Ist der Ausschlag an der Skala zu klein, so wird ein kleinerer Meßbereich eingeschaltet durch die Bewegung des Knopfes «Meßlastbereich». Diese Handhabungen sind so einfach, daß sie nach kurzer Anleitung auch durch ungeschulte Hilfskräfte ausgeführt werden können.

Die Arbeitsweise der Waage ist aus der schematischen Darstellung der Abb. 4 ersichtlich. Zwischen den Polen des Dauermagneten 1 ist das drehbare System (Achse 2, Waagebalken 3, Spiegel 4 und Spule 5) angeordnet. Die Spule bewirkt bei dem über die Federn 6 erfolgenden Stromzufluß ein Drehmoment, das dem belasteten Waagebalken entgegengesetzt ist.

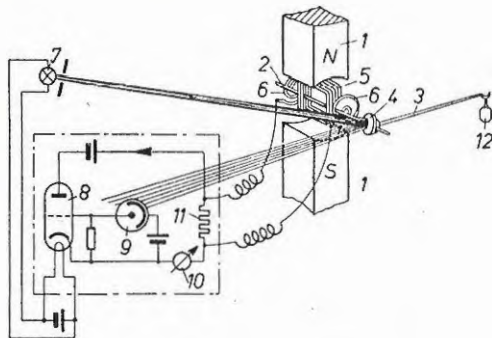


Abb. 4. Die Arbeitsweise der elektrischen Feinstwaage von Dr. KINSCH, Berlin

In der Ruhestellung wird ein von der Lichtquelle 7 kommender Lichtstrahl vom Spiegel 4 auf die Photozelle 9 geworfen. Diese liegt im Gitterkreis des Verstärkers 8 und erzeugt bei Vollbeleuchtung eine so hohe negative Gitterspannung, daß kein Anodenstrom fließt. Wird die Waage aber durch ein Gewicht 12 belastet, so bewegt sich das Drehsystem mit dem Spiegel 4; der Lichtstrahl wandert von der Photozelle 9 fort, und diese erzeugt zufolge der geringeren Belichtung eine niedrigere negative Vorspannung am Verstärkereingang, so daß ein Anodenstrom zustande kommt. Derselbe fließt über den Widerstand 11 und zum Teil über die Drehspule 5. Der Strom in der Spule erzeugt ein elektrisches Drehmoment, das dem mechanischen Drehmoment entgegenwirkt und das Meßwerk soweit zurückdreht, bis die beiden Kräfte im Gleichgewicht sind. Das Meßwerk nimmt nun eine

neue Lage ein, die durch diejenige Photozellenbeleuchtung bestimmt wird, die den für den Gleichgewichtszustand erforderlichen Anodenstrom erzeugt. Dieser Strom stellt ein Maß für das angehängte Gewicht 12 dar und kann an dem Meßinstrument 10 abgelesen werden, das in Gewichtseinheiten geeicht ist. Die Waage erreicht in Sekundenbruchteilen den Gleichgewichtszustand und erlaubt damit die Ablesung. Der stufenweise umschaltbare Widerstand 11 dient der Eichung. Weder Stromschwankungen noch Alterserscheinungen der Verstärkerröhren beeinflussen die Meßgenauigkeit der Waage. Es ändert sich hierdurch lediglich der Arbeitswinkel der Spule 5 und damit die Photozellenbeleuchtung, damit der Gleichgewichtszustand wiederhergestellt wird.

Bei einer hohen Meßgenauigkeit sind Ablesungen bis zu fünf Stellen erreichbar. Da die Temperaturschwankungen korrigiert werden können, sind die Wägungen bei jeder beliebigen Raumtemperatur durchführbar. Unter Zuschaltung von entsprechenden Einrichtungen können Registrierwägungen ausgeführt werden. Ferner lassen sich physikalische und chemische Größenänderungen feststellen, die auf Gewichtsschwankungen zurückzuführen sind. Durch die Vereinigung der elektrischen Feinstwaage mit einem Quotientenmesser ist auf einfache Weise die Bestimmung von spezifischen Gewichten möglich.

E. Mettler, Zürich, baut seine verschiedenen Analysenwaagen nach dem Grundsatz einer robusten und einfachen Konstruktion bei höchstmöglicher Genauigkeit der Ergebnisse und unter tunlichster Ausschaltung von Fehlermöglichkeiten.

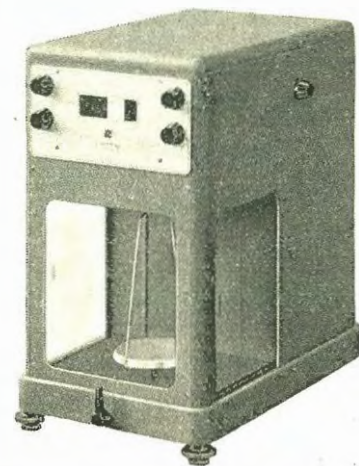


Abb. 5. Außenansicht einer Mettler-Waage

Abb. 5 zeigt die Außenansicht einer solchen Mettler-Waage im soliden Aluminiumgehäuse. Der leichtgängliche, völlig abschließbare, helle Wägeraum weist eine einzige großdimensionierte Waageschale auf. Der Gewichtssatz aus antimagnetischem, rostfreiem Stahl ist im hinteren Teil des Gerätes untergebracht. Es erübrigt

sich somit das Auflegen der Gewichte von Hand, wodurch dieselben vor mechanischen Beschädigungen wie vor korrodierenden Einflüssen gesichert sind. Die konstante, gleichmäßige Belastung des Waagebalkens verunmöglicht dessen Durchbiegung, so daß eine ständig gleichbleibende Empfindlichkeit der Waage bis zur Maximalbelastung gewährleistet ist. Diese Maximalbelastung beträgt je nach der Waagentype 20 bis 200 g.

Die Schneiden und Pfannen bestehen aus synthetischem Saphir, der wesentlich härter ist als der für solche Zwecke vielfach verwendete Achat und somit einen geringeren Verschleiß aufweist.

Die wohlgedachte Bauweise der Mettler-Waagen erlaubt es, die Wägungen in einer drei- bis viermal kürzeren Zeit durchzuführen, als es bei anderen Waagen möglich ist. Dabei beschränkt sich die Tätigkeit des Wägenden darauf, die an der Vorderseite der Waage angebrachten Knöpfe zu drehen und das Gewicht der Wägung an einer einzigen, in Augenhöhe befindlichen Skala abzulesen, wie Abb. 6 zeigt. Da eine fehlerhafte



Gewicht = 123,7306 g

Abb. 6

Handhabung der Waagen ausgeschlossen ist, können selbst ungelernete Hilfskräfte nach einer kurzen Instruktion die Wägungen ausführen.

In Abb. 7 ist das Prinzip der Mettler-Waagen schematisch dargestellt. Es darf noch darauf hingewiesen werden, daß der große optische Ablesebereich von 115 mg und die Genauigkeit von $\pm 0,1$ mg bei den üblichen Waagentypen ebenso beachtliche Faktoren sind wie bei den Mikrowaagen, welche bei einer Belastbarkeit von 20 g einen optischen Bereich von 20 mg und eine Genauigkeit von $\pm 0,02$ mg aufweisen.

Diese höchstmögliche Genauigkeit besitzt ihre ganz besondere Bedeutung, wenn kleinste Mengen von Substanzen gewogen werden sollen. Man erreicht das einwandfreie Resultat durch die Ausführung einer Differenzwägung innerhalb des optischen Bereiches. Sie kann ohne Betätigung des Gewichtsmechanismus durch zwei Wägungen mit dem gleichen Zählwerkstand ausgeführt werden, wobei auch die möglichen kleinen Fehler der Gewichte eliminiert werden.

L. Oertling, Ltd., London. Auf einer mehr als hundert Jahre zurückreichenden Erfahrung im Waagenbau fußend, hat die Firma ihre Geräte den Anforderungen der Praxis angepaßt. Die Entwicklung der Oertling-Waagen findet ihren Niederschlag in den Analysenwaagen Nr. 52 FM und Nr. 62 FM. Bei einer Tragfähigkeit der beiden Waageschalen von je 200 g lassen sich bei dem Modell Nr. 52 FM zwischen 0 und 0,1 g Reitergewichte im Totalbetrag von 0,1 g auf den rechten Arm des Waagebalkens auflegen. Das Modell Nr. 62 FM (Abb. 8) erlaubt im Gebiete von 0 bis 0,01 g eine Reiterbelastung bis zu 1 g. In beiden Fällen erfolgt die Auflage der Reiter von außen ohne Öffnen der Türen.

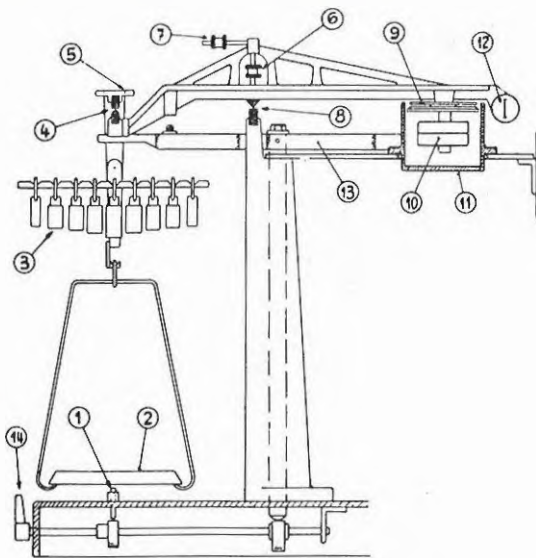


Abb. 7. Schema der Mettler-Waagen

- 1 Schalenbremse, 2 Waagschale, 3 Gewichtsatz, 4 Saphirschneide,
- 5 Tragplättchen für Gewichte und Gehänge, 6 Justiergewicht (Empfindlichkeit), 7 Justiergewicht (Nullpunkteinstellung), 8 Saphirschneide (Hauptlager), 9 Scheibensatz (Feuchtigkeitsausgleich),
- 10 Festes Gegengewicht, 11 Luftdämpfer, 12 Optische Skala,
- 13 Abhebevorrichtung, 14 Arretierhebel

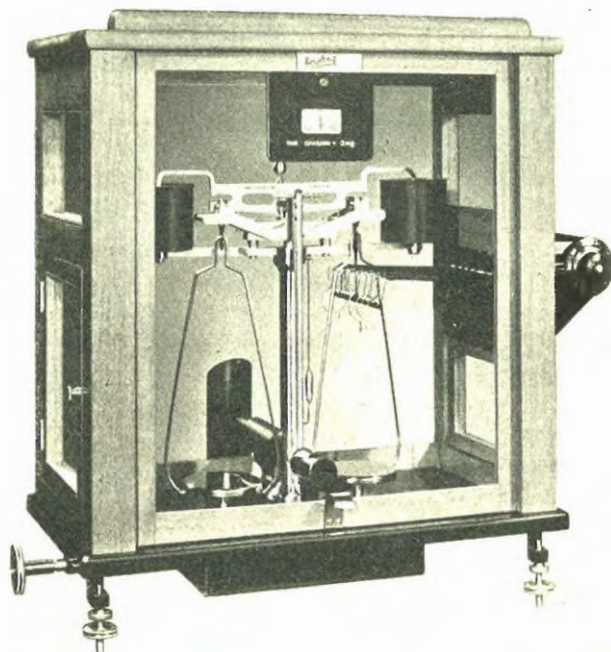


Abb. 8. Oertling-Waage, Modell Nr. 62 FM

Die Gewichtsangabe wird mit einer Empfindlichkeit von 0,2 mg pro Teilung auf eine in Augenhöhe befindliche Skala übertragen. Hierzu dient ein prismatischer Reflektor, der am Ende des Zeigers angebracht ist. Die Skala des Modells Nr. 52 FM weist 500 Teilstriche mit Fünfernumerierung und einer beidseitigen «Reserve» von 5 Strichen auf, was dem Betrag von 0 bis 0,1 g entspricht. Demgegenüber ist das Modell Nr. 62 FM mit einer Skalenteilung von 50 Strichen versehen (plus beidseitiger «Reserve»), entsprechend einem Gewicht von 0 bis 0,01 g in Zehnerteilung. Der Abstand der Teilstriche beläuft sich auf 1,5 mm.

Eine weitere Verfeinerung im Waagenbau bilden die Oertling-Mikrowaagen, von welchen das Modell Nr. 141 in Abb. 9 zu sehen ist. Bei einer Tragfähigkeit von 30 g pro Schale weist die Waage eine Empfindlichkeit von 0,01 mg auf. Der Balken ist bei diesem Modell durch eine Glasscheibe vom unteren Wägeraum abgetrennt, was zur Schonung von Balken und Gewichten besonders dann wichtig ist, wenn korrodierende Substanzen abgewogen werden müssen. Die Projektionslampe für das optische System befindet sich außerhalb des Wägerkastens, und der Lichtstrahl wird durch ein Calorex-

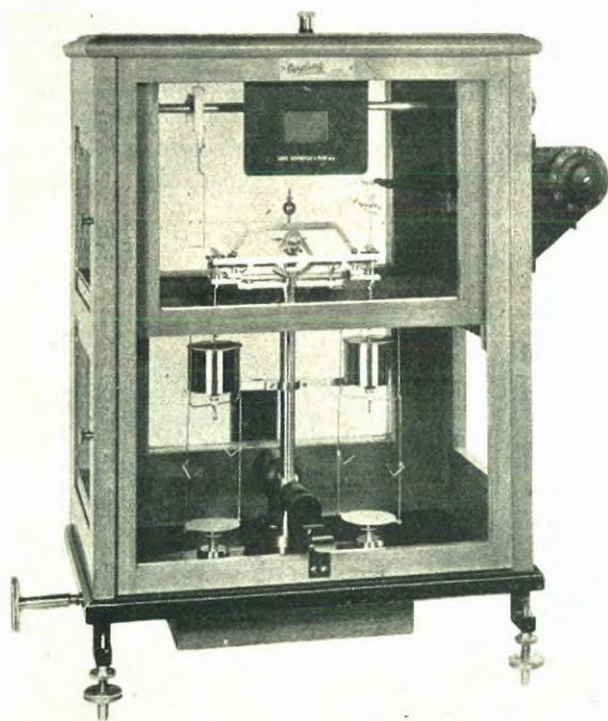


Abb. 9. Die Oertling-Mikrowaage Nr. 141

fenster auf die Skala geworfen. Ein Wärmeeinfluß durch die Beleuchtung auf das Wägesystem ist dergestalt ausgeschlossen.

Der Waagebalken ist mit Korundschneiden versehen und besteht, ebenso wie die Grammbruchteilgewichte, aus einer Chromnickellegierung. In ihrer weiteren Ausstattung entsprechen die Oertling-Waagen den Anforderungen der Neuzeit in weitestem Ausmaße.

S. A. D. A. M. E. L. (Société Anonyme des Appareils de Mesure et de Laboratoire, La Chaux-de-Fonds). Die Funktion von *Thermowaagen* besteht darin, Veränderungen chemischer Substanzen, wie z. B. die Oxydation von Metallen, die Dehydratation wasserhaltiger Salze, von Fasern u. dgl., unter dem Einfluß der Temperatur während verschiedenen Zeiten fortlaufend festzustellen.

Bei den Thermowaagen dieser Firma (System CHEVENARD) ist, in Abweichung von anderen Konstruktionen, die Heizvorrichtung über der Waage angeordnet, so daß störende Wärmeströmungen beseitigt sind. Weitere Einzelheiten über den Bau der Thermowaage (System CHEVENARD) läßt Abb. 10 erkennen. Der kreuzförmige Waage-

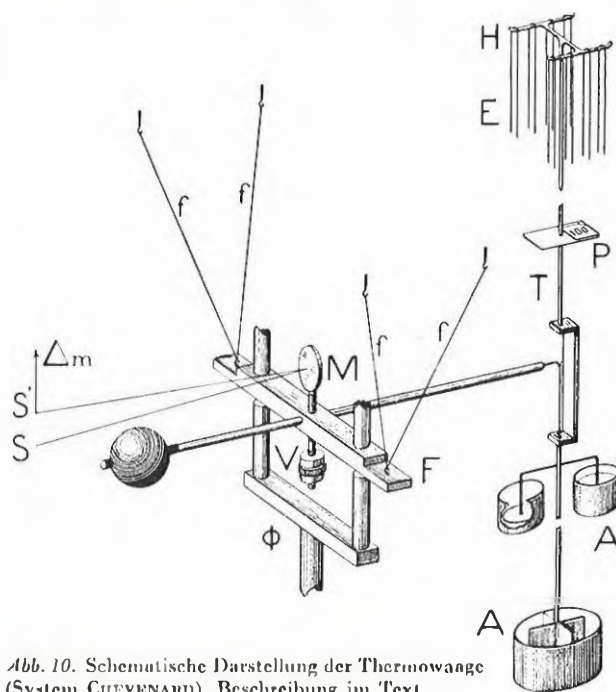


Abb. 10. Schematische Darstellung der Thermowaage (System CHEVENARD). Beschreibung im Text

balken *F* ist an den Wolframdrähten *f* von 0,05 mm Durchmesser aufgehängt. Auf diese Weise wird nicht nur die Reibung von Schneiden auf Lagern vermieden, sondern auch eine unveränderlich horizontale Lage des Waagebalkens sichergestellt, der aus Invar, dem gegen Wärmeeinflüsse weitgehend unempfindlichen Material, besteht. Am kürzeren Ende des ungleicharmigen Waagebalkens ist ein feststellbares Gewicht (in der Skizze als Kugel dargestellt) angebracht. Der längere Arm steht über zwei Wolframdrähte mit der ausbalancierten Achse und dem Träger *T* in Verbindung, der seinerseits den gabelförmigen Halter *H* aufweist. Dieser Halter dient zur Aufhängung von drahtförmigen Versuchsstücken *E*, während auf der Schale *P* pulverisierte Materialien untergebracht werden können. Träger und Halter bestehen aus Siliciumguß; die Schale kann aus demselben Material oder aus Alundum bzw. aus Platin angefertigt werden.

Der Oberteil des Trägers *T*, einschließlich dem Halter *H* und der Schale *P*, wird für die Durchführung der Untersuchungen in einen (nicht gezeichneten) Wider-

standsofen eingeführt, wobei die Dämpfer *A* dafür sorgen, daß das System vor pendelnden Bewegungen und vor der Berührung mit den Wandungen des Ofens bewahrt wird.

Jede Veränderung der Maße *Am* bedingt die Verschiebung eines durch den Konkavspiegel *M* projizierten Punktes *S* nach *S'*. Diese Bewegungen des Lichtpunktes werden auf dem lichtempfindlichen Papier eines Thermographen als Kurve aufgezeichnet. Ein Gewicht von 100 mg, das beispielsweise zum Eichen des Gerätes auf die Schale *P* aufgelegt wird, bewirkt einen Ausschlag von 50–60 mm. Es lassen sich somit unter Verwendung der üblichen Thermographen mit der Thermowaage Gewichtsunterschiede bis zu 400 mg graphisch festhalten. Die Prüflinge dürfen ein Gewicht von 100 mg bis zu 10 g besitzen. Während den vorbereitenden Arbeiten wird die Waage von der beweglichen Gabel ϕ in ihrer Grundstellung festgehalten. Mit einem Thermostaten können im Ofen Temperaturen bis zu 1050°C mit einer Genauigkeit von ± 1 Grad einreguliert werden.

Die Versuche lassen sich in zweckentsprechender Weise bei Anwesenheit von Luft, von Gasen oder Dämpfen durchführen, wobei Abdeckungen dafür sorgen, daß die Temperatur in den gewünschten Grenzen konstant gehalten wird. Abb.11 zeigt die Ansicht einer solchen Thermowaage von außen.

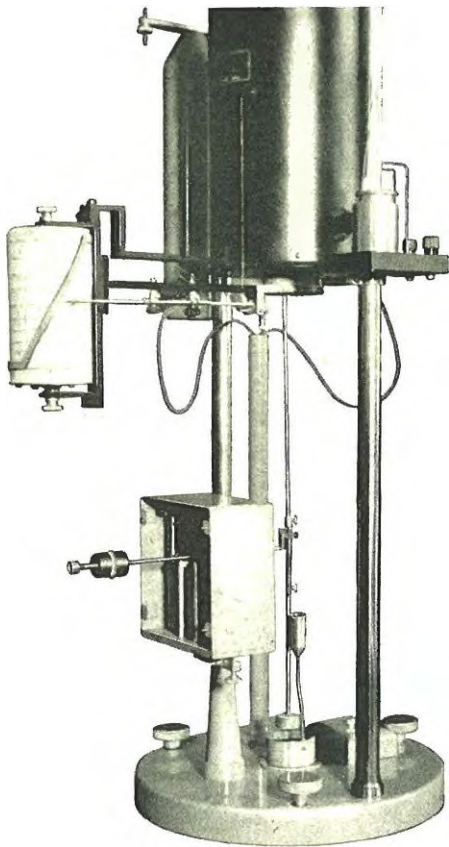


Abb. 11. Außenansicht einer Thermowaage der S.A.D.A.M.E.L.

Sartorius-Werke AG., Göttingen. Abweichend von der üblichen Kastenform hat diese Firma für ihre *Selecta-Waagen* eine zylindrische Form gewählt (Abb. 12). Das



Abb. 12. Die «Sartorius-Selecta» fällt durch ihre zylindrische Form angenehm auf

bedeutet nicht nur ein Zugeständnis an den modernen Geschmack, sondern es sollen damit auch wesentliche wägetechnische Vorteile erzielt werden. Das runde Leichtmetallgehäuse mit Glasschiebetüren ermöglicht eine gute Raumausnutzung, es schirmt die äußeren Strahlungseinflüsse ab und verhindert die störenden Luftströmungen beim Bewegen der üblichen Klapp-türen.

Das Innere der Selecta-Waagen ist in drei Kammern geteilt, von denen die eine die Lastschale, die zweite den Gewichtsteil und die dritte den Waagebalken enthält, der hierdurch gegen äußere Einflüsse noch besonders geschützt ist. Das Gehäuse läßt sich leicht von der Grundplatte abheben, wodurch alle Teile der Waage leicht zugänglich werden (Abb. 13).

Die Selecta-Waagen werden in drei Modellen hergestellt, deren Charakteristiken sich aus der folgenden Tabelle ergeben:

Modell	Tragkraft in Gramm	Ablesegenauigkeit		Automatisches Zählwerk bis	Projektions-skala in mg
		in mg	pro Skalen-teilstrich		
Standard .	200	1/10	2/10	199,9 g	0–10
Rapid . .	200		1 *	199,9 g	0–100
Semi-Mikro	100		1/10 **	99,9 g	0–10

* Mit Nonius 1/10, ** mit Nonius 1/100

Das Standard-Modell stellt eine bewährte Analysenwaage dar, das Modell Rapid mit verstärkter Luftdämpfung ist besonders für Serienwägungen geeignet

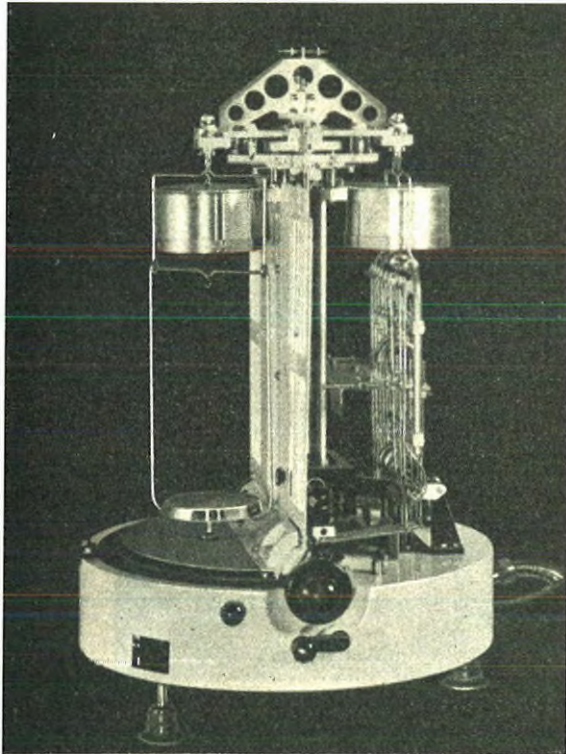


Abb. 13. Nach Abnahme des Gehäuses sind alle Teile der Waage leicht zugänglich

und das Semi-Mikromodell für Halbmikroanalysen. Alle Selecta-Waagen sind mit Achatschneiden, Kreishogenarretierung und vollautomatischer Gewichtsauflage versehen.

Die *Mikro-Analysenwaage MDP 4* von konservativer Form (Abb. 14) soll die höchstmögliche Genauigkeit erreichen lassen. Ihre besonderen Vorzüge sind: Bruchgrammauflage und Reiterverschiebung von außen; Ablesegenauigkeit 0,005 mg, mit Nonius auf 0,001 mg; Be-

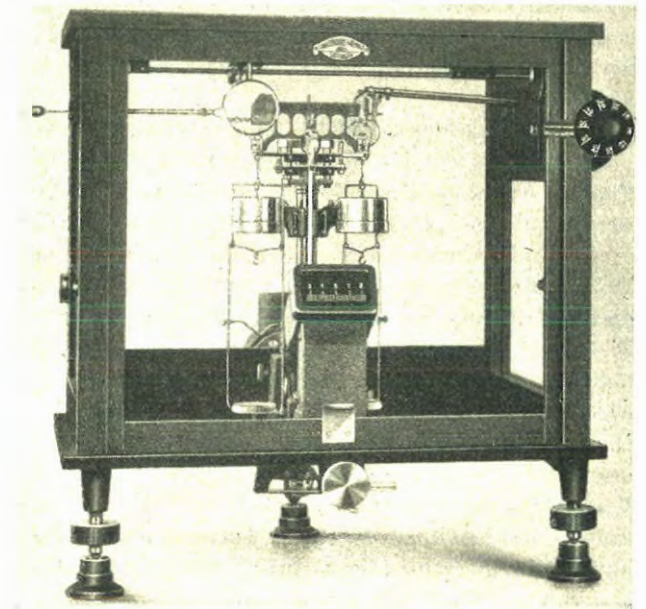


Abb. 14. Die neue Mikro-Analysenwaage MDP 4 der Sartorius-Werke

leuchtungseinrichtung mit automatischem Quecksilberschalter und Transformier, um nur die wichtigsten Besonderheiten zu nennen. Selbstredend ist auch diese Waage mit korrosionsbeständigen Metallteilen, Achatpfannen bzw. -schneiden und Luftdämpfung ausgestattet.

Wegen der hohen Anforderungen an dieses Gerät werden die Waagen vor dem Verlassen des Werkes zunächst im Klimaraum auf Temperatur- und Feuchtigkeitseinflüsse sowie Streufehler sorgfältig geprüft. Diese Kontrolle ist insofern von Bedeutung, als schon Temperaturunterschiede von nur 0,1 °C zwischen den beiden Hälften des Waagebalkens bei einer Belastung von 100 g Fehler von etwa 0,2 mg verursachen können.