

Juli 2020

Keywords:

Einflussfaktoren auf das Wägeregebnis, Installationsort und Bedienung von Laborwaagen, Kalibrierung und Justierung, physikalische Einflüsse, Luftauftriebskorrektur

Verlässliche Wägeregebnisse

Der richtige Umgang mit Laborwaagen und korrektes Probenhandling

Axel Taube, Dr. Julian Haller, Dr. Ellen Hage, Niclas Ludolph

Sartorius Lab Instruments GmbH & Co. KG, Otto-Brenner-Straße 20, 37079 Goettingen

Correspondence

E-mail: metrology@sartorius.com

Abstract

Wägen ist ein kritischer Prozess in vielen Laboren, der von physikalischen Effekten und den Umgebungsbedingungen am Installationsort beeinflusst wird. Auch einige Probeneigenschaften, wie z.B. die Verdunstung von Flüssigkeiten oder statische Aufladung der Probe, können Einfluss auf das Wägeregebnis haben. Um hochgenaue Wägungen durchzuführen und Fehlinterpretation von Wägeregebnissen zu vermeiden, sind daher Kenntnisse über mögliche Störgrößen und deren Kontrolle hilfreich und notwendig.

Dieses White Paper stellt die wichtigsten Einflussfaktoren auf das Wägeregebnis dar und beschreibt Möglichkeiten, die Störgrößen zu minimieren. Es werden außerdem Empfehlungen für den optimalen Standort und den richtigen Betrieb von Laborwaagen gegeben.

Der richtige Umgang mit Laborwaagen und korrektes Probenhandling

In vielen Arbeitsschritten im Labor kommen heute Waagen zum Einsatz. Wägen stellt eine der häufigsten, kritischsten und zeitaufwändigsten Tätigkeiten dar. Messfehler, die beim Wägen entstehen, können sich negativ auf den gesamten Prozess auswirken.

Bereits mit der Firmengründung 1870 und der Herstellung der weltweit ersten kurzarmigen Analysenwaage hat Sartorius Laborwaagen hergestellt, die die Einwaagen kleinster Substanzmengen bei höchster Wägegenauigkeit erlaubten. Anfangs mussten die Laborwaagen dabei noch in speziellen Wägeräumen, häufig von speziell geschulten Mitarbeitern, bedient werden.

Heute sind Laborwaagen soweit perfektioniert, dass kleinste Einwaagen schnell, einfach und trotzdem mit hochverlässlichen Ergebnissen durchgeführt werden können. Innovative Technologien wie z.B. vollautomatische Nivellier- und Justagefunktionen helfen, die Waagen optimal an ihre Umgebungsbedingungen anzupassen. Dank eines innovativen Human Interfaces und moderner Touchscreen-Anzeige ist die Bedienung von Waagen heute weitgehend intuitiv geworden.

Wägen bleibt aber nach wie vor ein kritischer Prozess, der von physikalischen Effekten und den Umgebungsbedingungen am Installationsort beeinflusst wird. Auch einige Probeneigenschaften, wie z.B. die Verdunstung von Flüssigkeiten oder statische Aufladung der Probe, können Einfluss auf das Wägeregebnis haben. Um hochgenaue Wägungen durchzuführen und Fehlinterpretationen von Wägeregebnissen zu vermeiden, sind daher Kenntnisse über mögliche Störgrößen und deren Minimierung hilfreich und notwendig.

Ziel der vorliegenden Information ist es die wichtigsten Einflussfaktoren, die sich auf die Wägegenauigkeit auswirken können, vorzustellen und Grundregeln des richtigen Umgangs mit Laborwaagen aufzuzeigen. Nach einigen Empfehlungen für den optimalen Standort und den richtigen Betrieb von Laborwaagen, werden Störeinflüsse der Umwelt betrachtet und auf Punkte hingewiesen, die bei der Arbeit mit Laborwaagen beachtet werden müssen, um zuverlässige Wägeregebnisse erzielen zu können.

Waagentypen

Bezogen auf ihre Ablesbarkeit bzw. Auflösung können verschiedene Typen von Laborwaagen unterschieden werden. Die Auflösung wird durch den Teilungswert d klassifiziert (manchmal auch als Skalenintervall bezeichnet). Mit dem Teilungswert wird die kleinste Massendifferenz beschrieben, die auf dem Display der Waage angezeigt werden kann.

Im gesetzlichen Messwesen wird eine andere Einteilung von Waagen vorgenommen, die sich auf den Eichwert (e) der Waage bezieht. Siehe hierzu gesondertes WhitePaper zum Thema „Arbeiten im gesetzlichen Messwesen“ (1).

Bezeichnung	Teilungswert d
Präzisionswaage	$\geq 1 \text{ mg} = 0,001 \text{ g}$
Analysenwaage	$0,1 \text{ mg} = 0,0001 \text{ g} = 10^{-4} \text{ g}$
Semimikrowaage	$10 \text{ }\mu\text{g} = 0,01 \text{ mg} = 0,00001 \text{ g} = 10^{-5} \text{ g}$
Mikrowaage	$1 \text{ }\mu\text{g} = 0,001 \text{ mg} = 0,000001 \text{ g} = 10^{-6} \text{ g}$
Ultramikrowaage	$0,1 \text{ }\mu\text{g} = 0,0001 \text{ mg} = 0,0000001 \text{ g} = 10^{-7} \text{ g}$

Tabelle 1: Gängige Bezeichnungen für Waagen in Abhängigkeit vom Teilungswert d .



Abbildung 1: Wägen ist eine der häufigsten und kritischsten Tätigkeiten in vielen Laboren.

Standort der Waage

Eine der wichtigsten Kenngrößen einer Waage ist die Standardabweichung der Wiederholbarkeitsmessung. Sie geht zu einem hohen Maß in die Messunsicherheitsberechnung und Ermittlung der Mindesteinwaage einer Waage ein. Die Güte der Wiederholbarkeitsmessung ist eng mit den Umgebungsbedingungen am Standort der Waage verbunden. Darüber hinaus können ungünstige Installationsbedingungen zu längeren Messzeiten und instabilen Wägewerten führen. Um die Leistungsfähigkeit einer Laborwaage voll ausschöpfen zu können, sollten die nachfolgenden Punkte bereits bei der Wahl des Installationsortes und der Geräteinstallation beachtet werden.

Der Arbeitsraum

- Der Arbeitsraum sollte erschütterungsarm sein. Gebäudeschwingungen, die beispielsweise durch die Vibrationen von Maschinen entstehen, können sich negativ auf das Wägeregebnis auswirken.
- Luftbewegungen durch Fenster, Heizquellen, Auslässe von Klimaanlage oder Lüfter von technischen Geräten (PC oder andere Laborgeräte) erzeugen Turbulenzen, die das Wägeregebnis beeinflussen. Der Installationsort sollte daher möglichst frei von störenden Luftbewegungen sein.
- Der Zutritt zu Laborräumen sollte idealerweise über eine Schiebetür erfolgen, um Luftströmungen durch Türbewegung zu reduzieren.
- Klimaanlage sollten auf geringe Luftströmung eingestellt werden (ggf. Schutzmaßnahmen ergreifen).

Durch entsprechende Filtereinstellungen im Gerätemenü können Laborwaagen an die Umgebungsbedingungen angepasst werden. Werden die Filtereinstellungen auf „unruhige“ oder „sehr unruhige“ Umgebungsbedingungen gesetzt, können daraus aber ggf. längere Messzeiten und ungenauere Ergebnisse resultieren. Es wird daher empfohlen, die Bedingungen des Arbeitsraumes möglichst optimal zu gestalten.

Tipp: Im Rahmen der Installation durch den Sartorius Service, hilft der Servicetechniker, den optimalen Installationsort in Ihrem Labor zu finden. Die Filtereinstellungen der Waage werden auf die jeweiligen Umgebungsbedingungen und passend zur Wägeapplikation optimal eingestellt.

Der Wägetisch

- Wägetische sollten möglichst in einer Raumecke platziert sein, da sich hier der vibrationsärmste Ort eines Gebäudes befindet.
- Wägetische sollten möglichst stabil sein. Am besten geeignet sind ein fest installierter Labortisch, Laborkorpus oder ein spezieller Wägetisch mit Steinplatte.
- Der Wägetisch muss so stabil sein, dass er sich beim Abstützen nicht durchbiegen lässt und möglichst keine Vibrationen überträgt. Beim Abstützen auf den Tisch darf sich die Waagenanzeige nicht ändern.
- Wägetische sollten antimagnetisch (keine Stahlplatte) und gegen statische Aufladungen (kein Kunststoff oder Glas) geschützt sein.
- Auf weiche Unterlagen wie z.B. Schreibmatten unter der Laborwaage sollte auf jeden Fall verzichtet werden.
- Der Wägetisch sollte entweder auf dem Boden stehen oder an der Wand befestigt werden.

Sartorius bietet unterschiedliche Wägetische an, die einen optimalen Installationsplatz für Laborwaagen darstellen. Insbesondere für Semimikro- und Mikrowaagen kann ein spezieller Wägetisch die Qualität der Messergebnisse erhöhen.

Temperatur

Waagen können durch Temperaturänderungen eine Drift (langsame Veränderung der Waagenanzeige) zeigen. Die Temperaturdrift beträgt bei Laborwaagen typischerweise 1 ppm/K bis 2 ppm/K. Dies bedeutet bei einer Temperaturänderung von z.B. 4 K (also z.B. von 19 °C auf 23 °C) eine scheinbare Änderung der Masse um 4 ppm bis 8 ppm. Bei einer Masse von 100 g sind das 0,4 mg bis 0,8 mg. Laborwaagen müssen daher bei Temperaturänderungen vor Gebrauch justiert werden.

- Die Raumtemperatur im Labor sollte möglichst konstant sein.
- Direkte Sonneneinstrahlung am Installationsort der Waage (und dadurch hervorgerufene Wärmeentwicklung) sollte vermieden werden, abgedunkelte Fenster sind optimal.
- Waagen sollten nicht in direkter Nähe von Heizkörpern oder Fenstern stehen.
- Der spezifizierte Einsatztemperaturbereich der Waage, wie er in den technischen Spezifikationen der Waage beschrieben ist, muss beachtet werden.

Die meisten Sartorius Laborwaagen sind mit einer automatischen Kalibrier- | Justiervorrichtung „IsoCAL“ ausgestattet. Diese erkennt Temperaturänderungen und führt, wenn entsprechend eingestellt, vollautomatisch interne Justierungen durch.

Dadurch werden die Einflüsse von Temperaturänderungen einfach und automatisch kompensiert. Sofern eine Waage über die automatische Kalibrier- | Justiervorrichtung „IsoCAL“ verfügt, sollte diese immer eingeschaltet sein.

Luftfeuchte

Die relative Luftfeuchte (rF) am Aufstellort der Waage sollte zwischen 40 % und 60 % liegen. Eine relative Luftfeuchte von 20 % bis 80 % sollte auf keinen Fall unter- oder überschritten werden, da es bei sehr hoher Luftfeuchte zu einer Betauung kommen kann bzw. bei sehr geringer Luftfeuchte zu elektrostatischen Effekten.

Es empfiehlt sich, Luftfeuchte und Temperatur im Labor kontinuierlich zu überwachen. Sartorius bietet zur einfachen Überwachung von Luftfeuchte, Temperatur und Luftdruck sogenannte Klimamodule an. Bei einigen Waagen können diese direkt in der Rückwand des Windschutzes installiert werden. Die Klimadaten können dann über das Waagendisplay angezeigt und bei Wägungen mit ausgedruckt werden.

Luftzug

Hochauflösende Laborwaagen verfügen immer über einen sogenannten Windschutz, um den Wägeraum gegen den Einfluss störender Luftströmungen zu schützen. Trotzdem sollten folgende Punkte beachtet werden:

- Laborwaagen sollten nicht im Luftstrom von Klimaanlagen oder Geräten mit Ventilatoren wie Computern oder großen Laborgeräten installiert sein.
- Ein ausreichender Abstand zu Heizkörpern muss eingehalten werden.
- Waagen sollten nicht neben Türen und Fenstern installiert werden.
- Hochauflösende Waagen sollten nicht an stark frequentierten Orten betrieben werden, da sich bewegende Personen einen Luftzug verursachen.

Bedienung der Waage

Erste Inbetriebnahme

- Vor der Nutzung der Waage muss die notwendige Anwärmzeit eingehalten werden. Diese ist notwendig, damit sich in der Waage ein thermisches Gleichgewicht einstellt. Dazu wird die Waage nach der Installation an die Netzspannung angeschlossen. Die Anwärmzeiten sind vom Waagentyp und Modell abhängig (für Mikrowaagen bis zu 12 Stunden, Semimikrowaagen und Analysenwaagen ca. 6 Stunden, Präzisionswaagen ca. 3 Stunden). Die in der Bedienungsanleitung angegebene Anwärmzeit sollte auf jeden Fall eingehalten werden.

- Laborwaagen sollten weder nachts noch an Wochenenden vom Netz getrennt werden, da sonst beim Wiedereinschalten die Anwärmzeit erneut eingehalten werden muss. Laborwaagen sollten daher bei Nichtgebrauch nur in den Stand-by-Modus geschaltet werden.
- Eine Vermeidung von Positionsänderungen der Waage im weiteren Betrieb erhöht die Zuverlässigkeit ihrer Wägeregebnisse.

Nivellieren der Waage

Waagen sind physikalisch gesehen Kraftsensoren. Neigungsänderungen der Waage führen zu Änderungen der Krafteinleitung und verfälschen so das Wägeresultat. Waagen müssen daher immer nivelliert sein.

- Die Waage muss mit den Fußstellschrauben entsprechend der Libelle ausgerichtet werden. Die Luftblase muss sich innerhalb des Kreises befinden, idealerweise genau in der Mitte.
- Die korrekte Nivellierung sollte regelmäßig überprüft werden.
- Nach jeder Nivellierung muss die Waage neu justiert werden.

Einige Sartorius Waagen verfügen über eine permanente Echtzeit-Nivellierkontrolle. Diese erkennt sofort jede Schrägstellung der Waage und warnt den Benutzer. Je nach Menüeinstellung kann bei Schrägstellung auch der Datentransfer an Drucker und Computer temporär gesperrt werden. Waagen der Cubis® Reihe verfügen darüber hinaus über eine Vorrichtung zur automatischen, motorisierten Nivellierung. Dieses System ermöglicht die einfache, schnelle und unkomplizierte Nivellierung.



Abbildung 2: Vollautomatische Nivellierung bei Waagen der Cubis® Baureihe.

Wägegefäß und Waagschale

Einwaagegefäße sind typischerweise Schalen, Reagenzgläser, Flaschen, Phiolen oder Kolben. Sie sind üblicherweise aus einem Polymer, Glas oder einem Metall hergestellt. Es ist darauf zu achten, dass das Bruttogewicht des Wägebehälters zuzüglich des zu wiegenden Materials die maximale Kapazität der Waage nicht überschreitet.

- Für Einwaagen sollte das kleinstmögliche Wägegefäß genutzt werden. Dadurch werden Strömungskräfte am Wägegefäß reduziert. Manchmal kann es jedoch sinnvoll sein, größere Wägegefäße zu nutzen (z.B. Messkolben), wenn eine Probe nach dem Wiegen verdünnt werden muss, da ein Umfüllen der Probe nach dem Wägevorgang zu Fehlern führen kann.
- Es muss sichergestellt sein, dass das Wägegefäß mit der Probe kompatibel ist und es keine Rückwirkung auf das Probenmaterial gibt.
- Einwägegefäße aus Kunststoffmaterialien können sich elektrostatisch aufladen (bei geringer Luftfeuchtigkeit ist dies auch bei Glas möglich). Einwägegefäße sollten daher nach Möglichkeit aus Materialien bestehen, die sich nicht statisch aufladen.
- Wägegefäße sollten aus nichtmagnetischen Materialien bestehen, um magnetische Kräfte auf das Wägesystem zu vermindern (siehe unten).
- Fingerabdrücke am Wägegefäß können das Wägeregebnis verfälschen. Wägegefäße und Wägeobjekte sollten daher nicht mit bloßen Fingern, sondern immer mit Handschuhen oder geeigneten Pinzetten angefasst werden.

Sartorius bietet für Premiumwaagen eine Vielzahl unterschiedlicher Halter für Probengefäße an. Diese bieten optimale Voraussetzungen für ergonomisches und effizientes Arbeiten und ermöglichen störungsfreie und sichere Einwaagen.



Abbildung 3: Geeignete Probenhalter erleichtern die Arbeit mit Laborwaagen.

Aufbringen des Wägegutes

- Durch die Handwärme können Temperatur- und Luftfeuchteffekte entstehen, die das Wägeregebnis verfälschen. Es sollte daher vermieden werden mit den Händen in den Wägeraum zu greifen. Probengefäße und Proben sollten daher immer mit geeigneten Pinzetten in den Wägeraum eingebracht werden.
- Waagen können ggf. einen geringen Messfehler bei außermittiger Belastung aufweisen. Um diesen zu vermeiden bzw. zu reduzieren, sollte das Wägegefäß bzw. das Wägegut möglichst mittig auf der Waageschale aufgesetzt werden.

Windschutz

- Die Windschutztüren sollten nur so weit wie nötig geöffnet werden, so bleibt das Klima im Wägeraum konstant und das Wägeregebnis wird nicht beeinflusst.

Automatische Windschutztüren der Sartorius Premiumwaagen lassen sich einfach anlernen. Dadurch kann eine optimale Öffnung des Windschutzes einfach eingestellt werden.

Wägevorgang und Ablesen des Wägeergebnisses

- Zu Beginn jeder Wägung sollte darauf geachtet werden, dass die Waage exakt Null anzeigt. Durch Betätigen der Tara- | Nullstelltaste kann die Waage auf Null gestellt und so ein Nullpunktfehler vermieden werden.
- Der Windschutz muss immer vor dem Ablesen der Anzeige geschlossen werden.
- Nach dem Aufbringen von Probe | Prüfgewicht muss auf den Stillstand der Waage gewartet werden. Das Einheitensymbol z.B. "g" oder "mg" wird bei Sartoriuswaagen als Stillstandsymbol genutzt und gibt das Wägeergebnis frei.
- Bei längeren Pausen zwischen einzelnen Wägungen (>15 min.) sollte die Waagschale vor erneuter Benutzung kurz be- und entlastet und anschließend die Waagenanzeige tariert | nullgestellt werden.
- Kontinuierliche Abläufe erhöhen die Messgenauigkeit!

Im Gerätemenü können die Stillstandsbedingungen auf die Bedürfnisse der jeweilige Wägeapplikation hin eingestellt werden. Im Rahmen der Geräteinstallation durch Sartorius kann der Sartorius Servicetechniker entsprechend beraten.

Pflege der Waage

- Waagschale und Wägeraum stets sauber halten.
- Zum Wägen sollten ausschließlich saubere Wägegefäße eingesetzt werden.
- Probenpartikel sollten mit einem Pinsel oder Mini-Staubsauger entfernt werden. Zur Reinigung sollten ggf. Waagschale und Schirmring herausgenommen werden.
- Flüssigkeiten mit saugfähigem Tuch aufnehmen.
- Zur Reinigung genügen einfache Fensterputzmittel und fusselfreie Lappen.



Abbildung 4: Laborwaagen von Sartorius lassen sich einfach und unkompliziert reinigen.

Kalibrierung und Justierung

- Waagen sollten in regelmäßigen Intervallen mit einem genau bekannten Prüfgewicht kalibriert werden, um die Einhaltung der vordefinierten Anforderungen sicherzustellen. Bei der Kalibrierung wird die Abweichung der Waagenanzeige vom Sollwert überprüft.

Kalibrieren = Abweichung feststellen

- Die Häufigkeit der Kalibrierung sollte im Qualitätsmanagementsystem festgelegt sein und sich an der Kritikalität der Anwendung orientieren. Siehe hierzu gesondertes White Paper zum Thema „Prüfintervalle und Toleranzen“ (2).
- Beim Kalibrieren müssen die Toleranzen der verwendeten Prüfgewichte beachtet werden! Beispielsweise kann bei der Verwendung eines 200 g Gewichtes der Klasse E2, allein wegen der zulässigen Gewichtstoleranz, die Anzeige um bis zu 0,30 mg vom Nennwert 200 g abweichen.
- Um eine bei einer Kalibrierung festgestellte Abweichung zu minimieren, muss die Waage justiert werden.

Justieren = Abweichung minimieren

- Kalibrierungen sind insbesondere auch notwendig, wenn die Waage zum ersten Mal in Betrieb genommen wird, nach Reparaturen, bei Standortwechseln, nach dem Nivellieren und wenn sich die Umgebungsparameter (Temperatur, Luftfeuchte oder Luftdruck) verändert haben.
- Ist die Funktion „isoCAL“ aktiviert, justiert sich die Waage automatisch in regelmäßigen Abständen und bei Temperaturänderungen. Mit der automatischen Kalibrierung | Justierung kann ggf. auch das Zeitintervall für routinemäßige Überprüfungen mit externen Kalibriergewichten vergrößert werden.
- Darüber hinaus sollte neben den Routineprüfungen eine regelmäßige Rückführung der Messergebnisse auf das nationale Normal hergestellt werden. Dies kann im Rahmen einer akkreditierten Kalibrierung geschehen, die auch die Messunsicherheit der Waage im Gebrauch dokumentiert. Siehe hierzu gesonderte White Paper zu den Themen „Kalibrierscheine von akkreditierten Anbietern“ (3), „Der Kalibrierschein nach EURAMET cg-18“ (4); „Kalibrierrichtlinie EURAMET cg-18 für elektronische, nichtselbsttätige Waagen“ (5).
- Um die Richtigkeit der vergangenen Wägeergebnisse zu validieren, wird empfohlen, Kalibrierungen vor und nach der Durchführung von Wartungsarbeiten an der Waage durchzuführen.

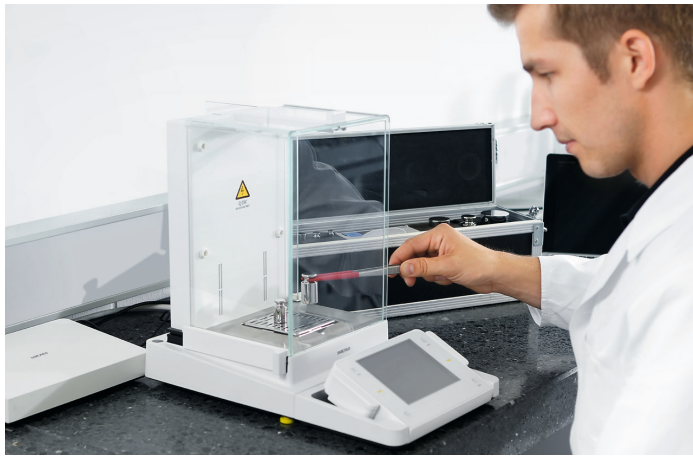


Abbildung 5: Waagen sollten in regelmäßigen Intervallen mit geeigneten Prüfgewichten kalibriert werden.

Externe oder interne Justierung

Grundsätzlich lässt sich fast jede Waage mit einem externen Prüfgewicht justieren („externe Justierung“) – lediglich bei Waagen für gesetzliche Anwendungen ist diese Funktion nicht erlaubt, um eine absichtlich falsche Justierung und damit eine Manipulation zu verhindern. Bei der Verwendung von externen Prüfgewichten sollte darauf geachtet werden, dass diese regelmäßig rekali­briert werden.

Neben der Möglichkeit zur externen Justierung verfügen die meisten Sartorius Laborwaagen auch über ein im Gehäuse fest verbautes Justiergewicht, mit dem sich Waagen einfach und komfortabel per Knopfdruck justieren lassen. Diese automatische Justier­vorrichtung hat gegenüber der externen Justierung eindeutige metrologische Vorteile, da ein intern verbautes Justiergewicht werkseitig sehr genau bestimmt und vor Veränderungen durch Benutzung (Fingerabdrücke, Kratzer, Abnutzung, ...) und Verschmutzung (Staub, ...) bestmöglich geschützt ist.

Im Rahmen der Geräterwartung durch den Sartorius Service wird die Masse des internen Justiergewichtes überprüft und im Bedarfsfall neu bestimmt. Die Justierung des internen Prüfgewichtes durch den Anwender wird nicht empfohlen.

Physikalische Einflüsse

Analysenwaagen, speziell Semimikro-, Mikro- und Ultramikrowaagen, reagieren auf kleinste Änderungen. Sie müssen deshalb auch unerwünschte physikalische Einflussgrößen anzeigen, die durch das Wägegut und | oder den Probenbehälter hervorgerufen werden.

Mögliche Einflussgrößen, die zu Messfehlern führen:

- Probenbehälter oder Wägegut sind nicht akklimatisiert.
- Das Wägegut ist hygroskopisch oder verdunstet.
- Probenbehälter oder Wägegut sind elektrostatisch geladen.
- Probenbehälter oder Wägegut sind magnetisch.
- Effekte durch die Erdbeschleunigung.
- Luftauftrieb | Dichte des Wägegutes.

Temperaturunterschiede

Es können folgende Effekte auftreten:

- Schlechte Wiederholbarkeit.
- Unerwartete Wägeergebnisse.
- Gewichtsanzeige „driftet“, obwohl die Anzeige bei unbelasteter Waage stabil ist.

Wägegefäß und Proben sollten vor der Wägung akklimatisiert sein. Ein Temperaturgefälle zwischen Wägegut und Umgebung verursacht Luftströmungen entlang des Wägegefäßes. Am Gefäß entlangstreichende Luft erzeugt eine nach oben oder unten gerichtete Kraft. Ein warmer Gegenstand erscheint durch aufströmende Luft leichter, ein kalter durch abströmende Luft schwerer.

Möglichkeiten um diesen Effekt zu reduzieren:

- Probe | Probenbehälter akklimatisieren.

Feuchtigkeitsaufnahme | Verdunstung

Es können folgende Effekte auftreten:

- Die Gewichtsanzeige erhöht oder verringert sich kontinuierlich, die Gewichtsanzeige „driftet“, obwohl die Anzeige bei unbelasteter Waage stabil ist.
- Gewichtsverlust kann beim Verwiegen flüchtiger Stoffe (z.B. Verdunstung von Alkohol) auftreten, aber z.B. auch bei Wasser oder feuchten Proben, wenn die Luftfeuchtigkeit sehr gering ist.
- Gewichtszunahme kann beim Verwiegen hygroskopischer Stoffe (Feuchtigkeitsaufnahme aus der Luft) auftreten.

Möglichkeiten um diesen Effekt zu reduzieren:

- Probenbehälter optimieren, ggf. abdecken. Beim Arbeiten mit Verschlussdeckeln ist darauf zu achten, dass vor dem Wägevorgang das Wägegefäß inklusive Verschlusses tariert wird.
- Mess- und Erlenmeyerkolben sind gegenüber Bechergläsern mit großer Öffnung geeigneter.
- Möglichst Gefäße mit kleinen Öffnungen verwenden.

- Grundsätzlich sollten die Probenbehälter so klein wie möglich gewählt werden.
- Probenbehälter | Probe nicht mit bloßen Fingern anfassen, Fingerabdrücke sind hygroskopisch.
- Verwenden einer sogenannten Verdunstungsfalle.

Elektrostatik

Elektrostatische Aufladungen treten bei Substanzen oder Probengefäßen mit niedriger elektrischer Leitfähigkeit und großer Oberfläche auf (z.B. Kunststoffe, Glas, pulvrige Substanzen). Geringe Luftfeuchtigkeit begünstigt elektrostatische Aufladung.

Es können folgende Effekte auftreten:

- Die Gewichtsanzeige driftet in eine Richtung.
- Die Anzeigewerte sind nicht reproduzierbar.

Möglichkeiten um diesen Effekt zu reduzieren:

- Raumfeuchte erhöhen (eine relative Luftfeuchte von 40 % - 60 % ist optimal).
- Wägegut durch Metallbehälter oder mit Metallfolie abschirmen.
- Einsetzen eines Ionisationsgebläses, durch das statische Ladung vom Wägegefäß bzw. Wägegut abgetragen wird.

Einige Sartoriusmodelle sind mit integriertem Ionisator erhältlich. Dieser ist in der Rückwand des Windschutzes verbaut und kann einfach über das Bedienfeld der Waage aktiviert werden. Durch den Einsatz eines Ionisators können elektrostatische Effekte vermieden werden.



Abbildung 6: Waage mit in der Rückwand eingebautem Ionisator.

Magnetische Effekte

Magnetische Wägegüter und magnetische Probenbehälter (Nickel, Eisen, Stahl usw.) erzeugen Kraftfelder, die auf das Wägesystem wirken.

Es können folgende Effekte auftreten:

- Die Wägewerte sind stabil, aber nicht reproduzierbar.
- Je nach Position oder Drehung des Wägegutes auf der Waagschale werden andere Werte angezeigt.

Möglichkeiten um diesen Effekt zu reduzieren:

- Nicht magnetische Materialien benutzen.
- Entmagnetisierung von Wägegütern und Probenbehältern, soweit möglich.
- Magnetische Kräfte können abgeschirmt werden, wenn das Wägegut auf eine Mu-Metallfolie gelegt wird.
- Abstand zwischen Wägegut und Waagschale vergrößern, indem das Wägegut z.B. auf ein umgestülptes Becherglas gelegt wird.

Magnetische Effekte treten auch auf, wenn sich im Probengefäß ein Magnetrührkern („Rührfisch“) befindet. Diese gehören grundsätzlich nicht auf die Waage.

Erdbeschleunigung

Waagen messen die Erdbeschleunigung. Diese ändert sich mit der Höhe (ca. 1 ppm pro 3 m Höhenunterschied) und der geographischen Breite (ca. 92 ppm/° wobei 1° ca. 120 km in Nord-Südrichtung entspricht). Eine Erhöhung des Standortes um ca. drei Stockwerke (9 m) macht sich bei einer Analysenwaage bemerkbar: beispielsweise werden statt 200,0000 g nur noch 199,9997 g angezeigt, d.h. 0,3 mg zu wenig.

Möglichkeiten, um diesen Effekt zu reduzieren:

- Waagen müssen immer am Aufstellort justiert werden. Dies gilt insbesondere auch für jede Neuauftellung und bei jedem Standortwechsel.

Luftauftriebseffekte

Waagen zeigen zwar immer eine Masse an, messen aber physikalisch gesehen in Wirklichkeit eine Kraft. Bei einer Justierung „lernt“ die Waage entsprechend, welcher Masse m die aktuell gemessene Kraft F entspricht – in einer leicht vereinfachten Darstellung durch einen Faktor c : $m = c \cdot F$. Über diesen Faktor wird anschließend jede gemessene Kraft in eine anzuzeigende Masse umgerechnet.

Damit diese Umrechnung stimmt, sollten alle Kräfte, außer der Gewichtskraft des Wägegutes so weit wie möglich eliminiert werden (horizontale Kräfte durch Schrägstellung, Konvektions- | Reibungskräfte durch schlechte Akklimatisierung des Wägegutes, magnetische und elektrostatische Kräfte, ...).

Eine Kraft, die sich allerdings nicht eliminieren lässt, ist die Auftriebskraft: Das archimedische Prinzip besagt, dass ein Körper in dem ihn umgebenden Medium so viel an Auftriebskraft erfährt, wie das von ihm verdrängte Volumen des umgebenden Mediums wiegt.

Für Wägungen bedeutet dies, dass ein Wägegut z.B. in Luft und im Vakuum zwar die gleiche Masse besitzt, aber nicht die gleiche (Netto-)Kraft auf die Waage erzeugt, da der Gewichtskraft in Luft und Vakuum unterschiedliche Auftriebskräfte entgegenwirken. Konkret hat dieser physikalische Effekt zwei wichtige Konsequenzen für genaue Wägungen:

1) Bei Wägungen ist das umgebende Medium normalerweise Luft. Diese hat im Mittel eine Dichte von $1,2 \text{ mg/cm}^3$. Ein Kalibriergewicht aus Stahl (Dichte 8 g/cm^3) mit einer Masse von 200 g hat z.B. ein Volumen von 25 cm^3 . Das entsprechend verdrängte Luftvolumen von 25 cm^3 hat bei der genannten Luftdichte von $1,2 \text{ mg/cm}^3$ eine Masse von 30 mg .

Wird die Waage nun mit den 200 g justiert, beträgt die Gewichtskraft (am Beispiel von Göttingen) $1,962310 \text{ N}$ und die Auftriebskraft $0,000294 \text{ N}$ – d.h. bei der Justierung „lernt“ die Waage, dass eine Kraft von $1,962310 \text{ N} - 0,000294 \text{ N} = 1,962016 \text{ N}$ einer Masse von 200 g entspricht.

Ändert sich nun z.B. durch Temperatur-, Luftfeuchte- und/oder Luftdruckänderung die Dichte der Luft auf 1 mg/cm^3 , dann entsprechen die vom 200 g -Gewicht verdrängten 25 cm^3 Luft einer Masse von 25 mg . D.h. die Auftriebskraft beträgt nur noch $0,000245 \text{ N}$, und die Waage berechnet aus der Kraft $1,962310 \text{ N} - 0,000245 \text{ N} = 1,9620645 \text{ N}$ eine Masse von $200,005 \text{ g}$. Das 200 g -Gewicht erscheint also um 5 mg schwerer, obwohl sich seine Masse nicht geändert hat.

Diese Beispielrechnung verdeutlicht, wie wichtig das regelmäßige Justieren von Waagen insbesondere nach Temperaturänderungen ist, bzw. warum die interne Justierfunktion „IsoCAL“ bereits bei kleinen Temperaturänderungen eine Justierung fordert.

2) Waagen werden immer mit Gewichten justiert, die eine Dichte von ungefähr 8 g/cm^3 aufweisen. Wägegut, das eine andere Dichte aufweist, erfährt allerdings eine andere Auftriebskraft. Als Beispiel sei hier wieder die obige Waage genannt, die bei einer Luftdichte von $1,2 \text{ mg/cm}^3$ mit einem 200 g -Gewicht justiert wurde. Betrachtet man nun ein Wägegut mit einer Dichte von 1 g/cm^3 (z.B. Wasser) und einer Masse von ebenfalls 200 g , so hat dieses ein Volumen von 200 cm^3 – das entsprechende verdrängte Luftvolumen hat dann eine Masse von 240 mg und die Auftriebskraft auf das Wägegut beträgt $0,002355 \text{ N}$.

Auf die Waage wirkt also eine Kraft von $1,962310 \text{ N} - 0,002355 \text{ N} = 1,959955 \text{ N}$, die die Waage in eine angezeigte Masse von $199,790 \text{ g}$ umrechnet. Die Waage zeigt also gut 200 mg zu wenig an, obwohl sie korrekt justiert wurde.

Um diesen Fehler zu korrigieren, muss die Dichte ρ_w des Wägegutes bekannt sein – dann können Anwender aus dem angezeigten Wert l die wahre Masse m_w des Wägegutes gemäß folgender Formel berechnen:

$$m_w = l \cdot \frac{1 - \rho_L / \rho_M}{1 - \rho_L / \rho_w}$$

Für die Dichte ρ_L der Luft und die Dichte ρ_M des Justiergewichtes können typischerweise $\rho_L = 0,0012 \text{ g/cm}^3$ und $\rho_M = 8 \text{ g/cm}^3$ angenommen werden, so dass sich die Gleichung vereinfacht zu:

$$m_w = l \cdot \frac{0,99985}{1 - (0,0012 \text{ g/cm}^3 / \rho_w)}$$

In der funktionalen Tabelle „Luftauftriebskorrektur“ können Anwender auch durch Eingabe des angezeigten Wertes l und der Dichte ρ_w des Wägegutes in die Tabelle selber die wahre, auftriebskorrigierte Masse m_w des Wägegutes berechnen lassen.

Bei Sartorius-Waagen der Cubis®-Reihe kann die Umrechnung auch durch die Waage selber durchgeführt werden. Bei den Modellen MCA... der Cubis® II-Serie ist hierfür die optionale App 306 „Air Buoyancy Correction“ erhältlich, bei der durch die Eingabe der Dichte des Wägegutes die wahre Masse berechnet wird.

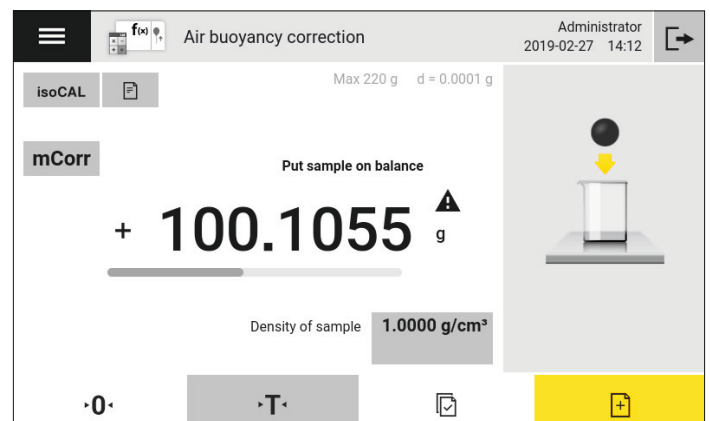


Abbildung 7: Berechnung und Darstellung des Luftauftriebseffektes.

Literatur

1. Sartorius White Paper:
Arbeiten im gesetzlichen Messwesen (Einsatz und Prüfung von Laborwaagen im gesetzlich regulierten Umfeld), 2020.
2. Sartorius White Paper:
Prüfintervalle und Toleranzen (Wie werden Prüfintervalle und Toleranzen praxisnah und risikobasiert definiert), 2020 (geplant).
3. Sartorius White Paper:
Kalibrierscheine von akkreditierten Anbietern (Welchen Vorteil bietet unsere Akkreditierung dem Anwender), 2020 (geplant).
4. Sartorius White Paper:
Kalibrierrichtlinie EURAMET cg-18 für elektronische, nichtselbsttätige Waagen (Vorgaben, Optionen und Umsetzung der Richtlinie durch Sartorius), 2020 (geplant).
5. Sartorius White Paper:
Der Kalibrierschein nach EURAMET cg-18 (Kalibrierscheine verstehen und Ergebnisse praxisnah anwenden), 2020 (geplant).


Dieses White Paper ist Teil des White Paper Bundles „Best Practice Guide: Lab Weighing“. Um dieses dynamisch um Aktualisierungen und Korrekturen ergänzen zu können und gleichzeitig Anwenden eine möglichst eindeutige Referenzierung z.B. in ihren QM-Dokumentationen zu ermöglichen, sind diese mit einer Versionierung versehen.

Versionshistorie

Version	Datum	Änderungen
1.0	Juli 2020	Initiale Version

Germany

Sartorius Lab Instruments GmbH & Co. KG
Otto-Brenner-Strasse 20
37079 Goettingen
Phone +49 551 308 0

 For further contacts, visit
www.sartorius.com