

## Volumenbestimmung von E1-Gewichtsstücken

### Automatische Prüfanlage zur Bestimmung des Volumens von Festkörpern

#### Zusammenfassung

Um die, zur Luftauftriebskorrektur erforderliche Bestimmung des Volumen von Gewichtsstücken durchführen zu können und den Anforderungen an ein modernes Metrologieinstitut gerecht zu werden, entwickelten das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) und die Technische Universität Wien im Auftrag und in Zusammenarbeit mit der Fa. Sartorius AG Göttingen eine vollautomatische Unterflur-Wechselanlage für 1 kg-Komparatoren zur direkten Bestimmung des Volumens von E1-Gewichtsstücken und Senkkörpern. Damit kann, auf Basis der hydrostatischen Wägung, serienmäßig das Volumen von Massen zwischen 1 g und 1 kg direkt durch Vergleich mit nur einem Volumennormal (z.B.: Si-Kugel) bestimmt werden. Dabei kommt ein neu entwickeltes, vollautomatisches Wechsel-Übergabesystem sowohl für die vollständig eingetauchten Gewichtsstücke als auch für die Substitutionsgewichte zur Anwendung.

Eingesetzt wird dieses System im Gebiet der Darstellung des Volumens im Zuge der Darstellung der Masse im BEV, aber bereits auch in anderen metrologischen Instituten und akkreditierten Kalibrierlabors.

#### Einleitung

Die Massebestimmung wird mit herkömmlichen Prüfanlagen überwiegend in Luft unter Normalbedingungen durchgeführt. Durch die Masse der Luft (1 m<sup>3</sup> Luft wiegt ca. 1,2 kg) tritt dabei aber ein systematischer Fehler auf. Jeder Körper erfährt einen Auftrieb entsprechend der durch ihm verdrängten Luft (Archimedesprinzip). Durch den Luftauftrieb scheint ein 1 kg Edelstahlgewicht in Luft ca. 0,15 g leichter. Hat der Prüfling die gleiche Dichte

wie die Massereferenz, so kann man den Luftauftrieb vernachlässigen, da beide Gewichtsstücke bei gleicher Masse den gleichen Luftauftrieb erfahren. Hat der Prüfling hingegen eine geringere Dichte als die Massereferenz, so nimmt dieser bei 1 kg Masse mehr Raum ein als die 1 kg Massereferenz. Damit erfährt der Prüfling einen höheren Luftauftrieb und erscheint leichter als er tatsächlich ist.

Daher ist für eine genaue Massebestimmung der Metrologieinstitute, akkreditierten Kalibrierstellen und ähnlichen Laboratorien eine Dichtebestimmung unumgänglich. Das spiegelt sich auch in den internationalen Vorschriften wider; so ist z.B. in der OIML R111 für ein 1 kg E1-Gewicht nur eine Masseoleranz von 0,5 mg zulässig. Ohne Dichtebestimmung der Gewichte und entsprechender Korrektur des Luftauftriebes bei der Massebestimmung ist diese Genauigkeit nicht zu erreichen.

Hochgenaue Dichtebestimmungen von Festkörpern durch Vergleichsmessungen mit Dichtenormalen, wie es das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen in Wien oder andere Metrologieinstitute durchführen, ist in der Regel für größere Mengen an Prüfkörpern auf Grund der langen Vorbereitungs- und Einbauarbeiten in Messzellen zu zeitaufwändig.

#### Vorgaben und Zielsetzung

Aufbauend auf langjährige und hervorragende Zusammenarbeit hat das BEV und das Institut für Fertigungstechnik der TU-Wien, gemeinsam mit der Firma Sartorius AG in Göttingen eine vollautomatische Prüfanlage zur Bestimmung des Volumens von Gewichtsstücken entwickelt und realisiert. Aufgabe war die hydrostatische Bestimmung der Dichte gemäß OIML-R111 (Klasse E1 von mehreren Festkörpern oder Gewichten). Es wird nach dem Komparatorprinzip Masse verglichen und nicht gewogen, wobei durch



Abb. 1: Volumenkomparator VD1005:  
realisierte Anlage im BEV.

entsprechende technische Lösungen die Temperatur im Messbereich möglichst stabil gehalten wird. Diese Forderungen führten zu einer Prüfanlage, welche die Dichte von bis zu acht Gewichten in einem Bereich von 1 g bis 1 kg bestimmt. Die Messunsicherheit ist entkoppelt von der Mechanik und hängt daher von den Umgebungsparametern und der Qualität der Messgeräte ab.

### Aufbau des Systems

Die Prüfanlage hat einen turmartigen Aufbau (Abb. 2). In der untersten Etage des Systems befindet sich ein doppelwandiger Flüssigkeitsspeicher. Der äußere Teil dient zum Thermostatisieren, enthält normales Wasser und wird über einen externen Thermostat versorgt und geregelt. Durch Leitbleche wird eine gleichmäßige Umströmung des inneren Flüssigkeitsspeichers allseitig gewährleistet. Eine 40 mm Isolierung des gesamten Systems und isolierte Einlagebleche garantieren eine stabile Temperierung. Die Isolierung der einzelnen Etagen der Prüfanlage verhindert auch beim Betreiben mit höheren Temperaturen eine Konvektionsströmung am Komparator. Der innere Flüssigkeitsspeicher, sprich die Messzelle, wurde vom Volumen her minimiert, um möglichst geringe Mengen der hochreinen Messflüssigkeit zu benötigen und wird, bis auf eine kleine Einbringöffnung, allseitig von der Temperierungsflüssigkeit umspült. Durch die allseitige Temperierung kann eine Temperaturschichtung innerhalb der Messzelle auf ein vernachlässigbares Maß reduziert werden. Die Temperatur der Messflüssigkeit wird über zwei diagonal angebrachte, hochgenaue Messfühler (25 Ohm SPRT Standard Platin Resistent Thermometer nach ITS 90) bestimmt.

Sowohl für die Substitutionsgewichte als auch für die Prüfgewichte wurde eine Unterfluranordnung gewählt (Abb. 3 und 4). Dadurch werden Ecklastprobleme an der Wägezelle ausgeschlossen. Das eigens entwickelte Wechslersystem ermöglicht das direkte Auflegen der Gewichte von 1 g bis 1 kg sowie Dichtenormale in Kugelform ohne Umbauten und die präzise Übergabe auf das Gehänge des Komparators. Mit der Gewichtseinbringvorrichtung werden die Gewichte präzise auf den Magazinplätzen im Messflüssigkeitsbehälter positioniert.

Die gesamte Steuerung sowie alle elektronischen Komponenten sind in einem Schaltschrank untergebracht (Abb. 1). Gesteuert wird das System über einen Industrie-PC, welcher gleichzeitig die Auswertung der Daten übernimmt. Zur Bestimmung der Umgebungsparameter besitzt die Anlage Aufnehmer für Luftdruck, Luftfeuchte und Lufttemperatur. Darüber hinaus ist die Anlage mit einer Reihe von Sensoren ausgestattet, die einen fehlerlosen Messablauf sicherstellen.

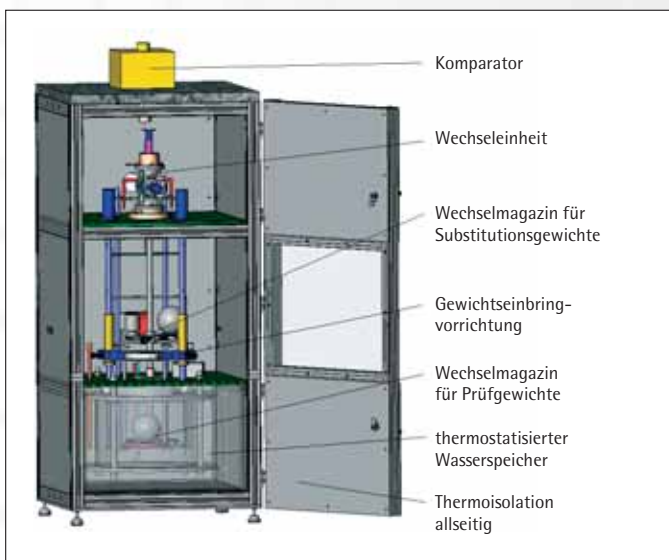


Abb. 2: CAD-Modell der Anlage.



Abb. 3: Magazin der Substitutionsgewichte, Einbringvorrichtung und Draufsicht auf das Magazin der Messzelle.



Abb. 4: Gehänge und Wechselsystem.

## Messablauf

Im Gegensatz zu anderen bekannten Systemen wird bei dieser Anlage unter Verwendung eines Massekomparators jedes Prüfgewichte direkt mit einer Volumenreferenz verglichen. Dies bedeutet jedoch entweder, dass die Prüfgewichte eine eigene Referenz ähnlicher Masse benötigen oder aber, dass durch Substitutionsgewichte in der Luft der Wägewert jedes Prüfgewichts an die Referenz unterschiedlicher Masse

angepasst werden muss. Beide Alternativen sind mit der Anlage abgedeckt. Es ist daher möglich, Prüfgewichte unterschiedlicher Massen an eine Volumenreferenz (z.B. eine Si-Kugel) direkt anzuschließen. Die Dichte der Messflüssigkeit als Überträger wird zwar laufend bestimmt, ist aber durch den direkten Anschluss an das Volumennormal zweitrangig. Sicherzustellen ist nur, dass innerhalb einer Messung (ca. 2 Minuten) die Dichte unverändert bleibt. Die Messvorbereitungen beginnen, indem man, geführt durch die Software, die Referenzgewichte, die Prüfgewichte und die entsprechenden Substitutionsgewichte einbringt. Verwendet wird dabei eine Gewichtseinbringvorrichtung, wobei lediglich auf die „Luftblasenfreiheit“ der Prüfgewichte in der Flüssigkeit zu achten ist. Für Referenz und Prüfgewichte stehen insgesamt neun Plätze zur Verfügung. Nach der Eingabe der Reihenfolge und Zyklanzahl kann die eigentliche Messung gestartet werden.

## Software

Die Software (Abb. 5) unterstützt den Bediener bei der Vorbereitung und der Durchführung der Messungen. Neben dem vollautomatischen Messprogramm können aber auch alle Vorgänge einzeln ausgeführt werden (Single-Step-Modus). Des Weiteren zeigt sie dem Bediener alle Messwerte der Sensoren in Echtzeit sowie den aktuellen Messfortschritt an.

Ergebnis jeder Messung ist das Volumen, die Dichte und die Masse jedes Prüfgewichtes mit einer kompletten Dokumentation der Messbedingungen und Vorgabewerte. Die Ausgabe der Messwerte mit allen zugehörigen Daten erfolgt entweder im Rohformat oder bereits ausgewertet als Messprotokoll.

Im Zuge der Validierung des Systems und der ersten Anlage im BEV haben interne Vergleichsmessungen mit der Prüfanlage zur Darstellung der Festkörperdichte im BEV bei einem Senkkörper (Pyrex-Glaskugel: Masse ca. 119 g, Volumen ca. 97 cm<sup>3</sup>) Abweichungen im Volumen kleiner 0,9 mm<sup>3</sup> und Abweichungen in der Masse kleiner 0,07 mg ergeben. Auch die Vergleiche mit Normalgewichtsstücken im BEV haben hervorragende Ergebnisse gebracht.

Eine Anlage wird bereits zur Bestimmung des Volumens für Gewichtsstücke mit der Masse von 1 g bis 1 kg, als Glied in der Darstellung der Masse im BEV und zu laufenden internen und externen Kalibrierungen eingesetzt.

Christian Buchner, Dietmar Steindl, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Wien  
Johannes Bernreiter, Christoph Einspieler, Institut für Fertigungstechnik, Technische Universität, Wien

Kennziffer: 245

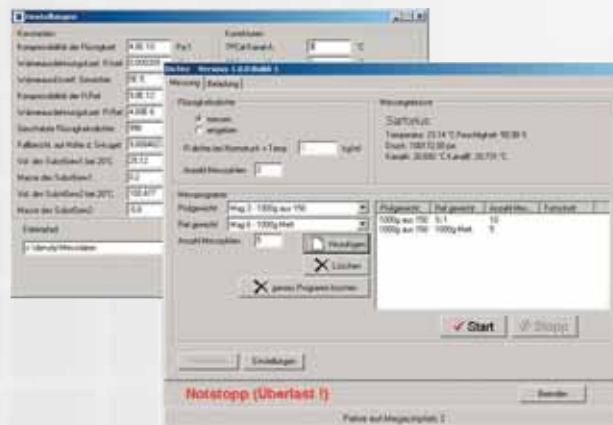


Abb. 5: Software.