



Anton Paar

SEIT 1967

DENSITY MEASUREMENT TM

GOOD DENSITY MEASUREMENT, ALSO EINE PERFEKTE DICHEMESSUNG, BRAUCHT BESONDERE SORGFALT UND AUFMERKSAMKEIT IN DEN FOLGENDEN FÜNF BEREICHEN:

WASSER-CHECK, JUSTIERUNG,
PROBENVORBEREITUNG,
PROBENFÜLLUNG UND REINIGUNG.

Seit 1967 ist die Anton Paar GmbH in der Entwicklung und Herstellung von hochpräzisen und zuverlässigen Dichtemessgeräten für Industrie und Wissenschaft tätig.

Diese Broschüre beruht auf unseren Erfahrungen, die wir in über fünfzig Jahren Tätigkeit auf dem Gebiet der Dichtemessung gewonnen haben.

Folgen Sie diesen Anweisungen und Sie sind auf dem besten Weg, genaue und reproduzierbare Dichtemessergebnisse zu erhalten.

WASSER-CHECK

Führen Sie täglich vor der ersten Messung einen Wasser-Check durch.

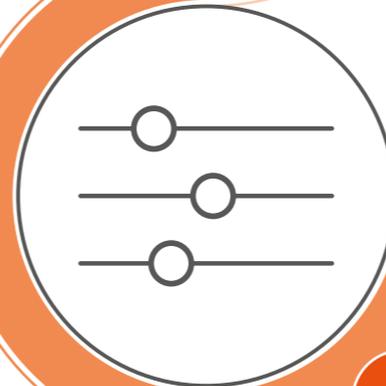
1



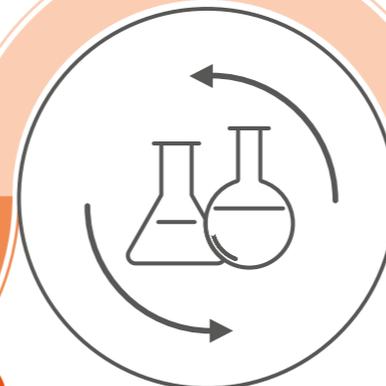
JUSTIERUNG

Wenn der Wasser-Check mehrmals trotz gründlicher Reinigung misslingt, führen Sie eine Luft-/Wasserjustierung durch.

2



3



PROBENVORBEREITUNG

Um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, müssen die Proben sorgfältig und immer auf dieselbe Art vorbereitet werden.

REINIGUNG

Entfernen Sie gleich nach der Messung die Probe aus der Messzelle und reinigen Sie die Messzelle regelmäßig.

5



4



PROBENFÜLLUNG

Befüllen Sie die Messzelle sorgfältig und blasenfrei.

Führen Sie einen **Wasser-Check** durch, jeden Tag vor Ihren Messungen.



Regelmäßig durchgeführte Wasser-Checks stellen sicher, dass Ihre Dichte- und Konzentrationsmessungen eine gleich bleibend hohe Genauigkeit aufweisen.

Der Wasser-Check ist erfolgreich, wenn die gemessene Dichte innerhalb des geforderten Toleranzintervalls liegt. Dieses Toleranzintervall hängt von der Art der Anwendung ab und ist üblicherweise in der Pharmaindustrie kleiner als in der Getränkeindustrie.

ABLAUF

- Füllen Sie frisch entgastes, hochreines (z. B. bidestilliertes oder deionisiertes) Wasser in die Messzelle.
- Starten Sie die Messung.
- Vergleichen Sie die gemessene Dichte mit dem Referenzwert: $\rho_{\text{Wasser}} = 0,998203 \text{ g/cm}^3$ | für $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

BEISPIEL

Für Erfrischungsgetränke wird meistens eine Toleranz von $\pm 1 \times 10^{-4} \text{ g/cm}^3$ gefordert. Der Wasser-Check ist dann erfolgreich, wenn die ermittelte Dichte zwischen $0,9981 \text{ g/cm}^3$ und $0,9983 \text{ g/cm}^3$ liegt.

WENN DER WASSER-CHECK MISSLINGT, VERSUCHEN SIE FOLGENDES:

- Nehmen Sie frisches hochreines Wasser.
- Wiederholen Sie den Wasser-Check.

WENN DER WASSER-CHECK NOCHMALS MISSLINGT:

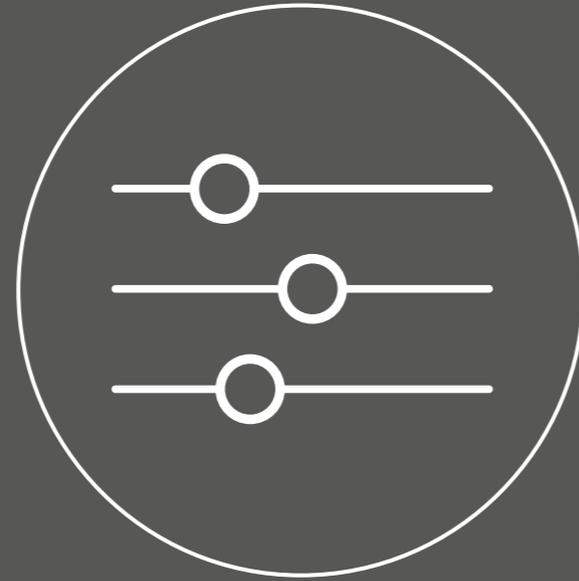
- Reinigen Sie die Messzelle gründlich.
- Nehmen Sie frisches hochreines Wasser. Wiederholen Sie den Wasser-Check.

WENN DER WASSER-CHECK NOCHMALS MISSLINGT:

Führen Sie eine Luft-/Wasserjustierung durch.

MEIN WASSER-CHECK: DAS TOLERANZLIMIT FÜR MEINEN WASSER-CHECK IST

Wenn der Wasser-Check mehrmals trotz gründlicher Reinigung misslingt, führen Sie eine **Luft-/Wasserjustierung** durch.



Beachten Sie, dass bei einer Justierung die Gerätekonstanten so verändert werden, dass das Messgerät den gewünschten Messwert anzeigt. Um eine Kontinuität und Vergleichbarkeit von Ergebnissen zu gewährleisten, soll also eine Justierung nur dann durchgeführt werden, wenn der Wasser-Check trotz Verwendung von frisch entgastem, hochreinem Wasser und trotz Reinigung der Messzelle misslingt. Mangelhafte Reinigung ist in den allermeisten Fällen die Ursache von Messfehlern – eine Justierung ist nur als letzter Ausweg vorzunehmen.

ABLAUF

- Gebräuchliche Justiermedien sind trockene Luft und frisch entgastes, hochreines (bidestilliertes oder deionisiertes) Wasser.
- Folgen Sie den Anweisungen der automatischen Justierprozedur Ihres Messgeräts.
- Protokollieren Sie die Justierung in Ihren Justieraufzeichnungen.

URSACHE	WIRKUNG	EINFLUSS AUF DIE DICHTe
Aggressive Reinigung	Das Volumen der Messzelle wird vergrößert	Scheinbar niedrigere Dichte
Ineffiziente Reinigung	Das Volumen der Messzelle wird verkleinert	Scheinbar höhere Dichte

GRÜNDE, WARUM NEBENEFFEKTE EINER REINIGUNG DURCH EINE JUSTIERUNG KOMPENSIERT WERDEN MÜSSEN



IN DER VERGANGENHEIT WURDE EMPFOHLEN, EINMAL WÖCHENTLICH EINE JUSTIERUNG DURCHFÜHREN. DIESE EMPFEHLUNG IST MITTLERWEILE ÜBERHOLT. JUSTIEREN SIE IHR MESSGERÄT NUR DANN, WENN DIE MESSWERTE AUSSERHALB DER GEFORDERTEN TOLERANZ LIEGEN.

MEINE JUSTIERMEDIEN SIND

Justiermedium 1 _____

Dichte 1 _____

Justiermedium 2 _____

Dichte 2 _____

Justiermedium 3 _____

Dichte 3 _____

Um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, müssen die **Proben** sorgfältig und immer auf dieselbe Art **vorbereitet** werden.

IHRE PROBE ENTHÄLT GASE.

Es gibt verschiedene Methoden, um flüssige Proben zu entgasen. Die beste Methode für Ihre Anwendung richtet sich nach der Art der Probe und nach der Art und Menge des gelösten Gases. Beachten Sie, dass sich die Zusammensetzung mancher Proben während der Vorbehandlung möglicherweise geringfügig verändert, da flüchtige Anteile der Probe verdampfen können.



RÜHREN

- Rühren Sie die Probe kraftvoll für 2 bis 15 Minuten (je nach Rührgerät), bis keine Blasenbildung mehr erkennbar ist.
- Sie können die Probe nach dem Rühren auch durch einen Faltenfilter laufen lassen, um eine noch gründlichere Entgasung zu gewährleisten.

ULTRASCHALLBAD

Stellen Sie Ihre Probe 5 bis 10 Minuten lang in ein Ultraschallbad, bis es in der Probe zu keiner Blasenbildung mehr kommt.

KOCHEN

- Kochen Sie die Flüssigkeit mehrere Minuten, um gelöste Luft zu entfernen.
- Füllen Sie ein gereinigtes Glasgefäß mit der gekochten Flüssigkeit und decken Sie das Gefäß ab.
- Warten Sie, bis die Flüssigkeit sich ungefähr auf die Messtemperatur abgekühlt hat.

IHRE PROBE IST AGGRESSIV.

- Befolgen Sie die Sicherheitsanweisungen betreffend Probenhandhabung, Reinigung, Spülung und Entsorgung (z. B. Verwendung von Schutzbrille, Handschuhen, Atemschutz, Entlüftung usw.).
- Bevor Sie die Probe in Ihr Dichtmessgerät füllen, vergewissern Sie sich, dass alle probenberührenden Teile probenbeständig sind.

IHRE PROBE IST VISKOS.

- Erwärmen Sie die Probe, um die Viskosität zu verringern.
- Für hochviskose Proben verwenden Sie eine Heizoption, damit die Probe im Probenein- und -auslass nicht erstarrt.
- Wenn Sie ein Probenfüllsystem verwenden, überprüfen Sie, für welche Viskositäten Ihr Füllsystem geeignet ist.

IHRE PROBE IST FLÜCHTIG.

- Verschließen Sie Ihre Probengefäße mit passenden Verschlusskappen.
- Schwenken Sie das Probengefäß vorsichtig, um kondensierte Tropfen in die Flüssigkeit zurückzubringen.
- Für hochflüchtige Proben verwenden Sie ein Probenfüllsystem, das Ihre Probe unter Druck einfüllt.



KOCHEN SIE KEINE ENTZÜNDLICHEN FLÜSSIGKEITEN – HOHE BRANDGEFAHR!

BEARBEITEN SIE DIE PROBEN MIT FLÜCHTIGEN GIFTIGEN BESTANDTEILEN STETS IN EINER ADÄQUATEN UMGEBUNG (Z. B. UNTER EINEM ABZUG), VOR ALLEM BEIM KOCHEN DER PROBE.

Wenn Sie weitere Informationen brauchen, wie Sie am besten Ihre Probenvorbereitung durchführen, kontaktieren Sie bitte Ihre lokale Anton Paar-Vertretung.

Befüllen Sie die Messzelle sorgfältig und blasenfrei.



AUTOMATISCHES FÜLLEN MIT PROBENFÜLLSYSTEMEN

Der Einsatz von Probenfüllsystemen ist die einzige Möglichkeit, um Füllfehler durch die bedienende Person zu vermeiden. Da Probenfüllsysteme die Messvorgänge jedes Mal auf dieselbe Weise durchführen, sind sie auch die ideale Lösung, um stets wiederholbare Ergebnisse zu erzielen. Kritische Proben, wie hochviskose Proben oder Proben mit flüchtigen Bestandteilen, können ebenfalls ohne Probleme gefüllt werden. Zusätzlich bieten viele Probenfüllsysteme eine automatische Reinigung an.

ABLAUF

- Füllen Sie Ihre Proben in passende Probengefäße und bestücken Sie das Magazin.
- Wenn Ihr Probenfüllsystem eine automatische Reinigung unterstützt, vergewissern Sie sich, dass genügend Reinigungsflüssigkeit in den dafür vorgesehenen Behältern vorhanden ist.
- Entleeren Sie das Abfallgefäß, bevor Sie eine neue Messserie starten.
- Überprüfen Sie die Geräteeinstellungen.
- Definieren Sie eine Probenliste für Ihre Messungen.
- Starten Sie die Messung.

MANUELLES BEFÜLLEN MIT SPRITZE

Die Probe kann auch einfach mit einer Spritze ins Dichtemessgerät gefüllt werden. Es erfordert ein gewisses Maß an Training, um Proben blasenfrei zu füllen und wiederholbare Ergebnisse zu bekommen.

ABLAUF

- Drücken Sie die Probe langsam und kontinuierlich in die Messzelle.
- Vergewissern Sie sich, dass die Messzelle blasenfrei befüllt ist.
- Überprüfen Sie die Geräteeinstellungen.
- Starten Sie die Messung.

Pastöse Materialien werden mittels Spritze in die Messzelle gefüllt. Wenn eine Probe sehr hochviskos ist, dann füllen Sie die Spritze, indem Sie den Spritzenkolben komplett entfernen, die Probe mit einem Löffel durch die größere Öffnung einfüllen und den Kolben wieder einsetzen.



BEVOR SIE PROBENFLÜSSIGKEITEN IN IHR DICHTEMESSGERÄT FÜLLEN, VERGEWISSERN SIE SICH, DASS ALLE PROBENBERÜHRENDE TEILE PROBENBESTÄNDIG SIND.

MEINE PROBENFÜLLUNG

Entfernen Sie gleich nach der Messung die Probe aus der Messzelle und **reinigen Sie die Messzelle** regelmäßig.



REINIGEN UND TROCKNEN SIE DIE MESSZELLE ZUMINDEST NACH JEDEM ARBEITSTAG ODER JEDER ARBEITSSCHICHT.

EIN HÄUFIGERES REINIGEN KANN NOTWENDIG SEIN, ...

- wenn Sie Justierungen durchführen.
- wenn Sie eine Probe messen, die mit der vorhergehenden Probe nicht mischbar ist (z. B. Wasser nach einer petrochemischen Probe).
- wenn Sie eine Messung mit einer minimalen Probenmenge durchführen wollen.
- wenn Sie eine Probe messen, die chemisch mit der vorhergehenden Probe reagieren könnte.

Die eleganteste Art, ein Messgerät zu reinigen, ist die Verwendung von einem Probenfüllsystem, das eine automatische Reinigung unterstützt. Vergewissern Sie sich in diesem Fall, dass die verwendeten Reinigungsflüssigkeiten auf Ihre Proben abgestimmt sind.

ABLAUF

- Reinigen Sie die Messzelle, indem Sie zwei Reinigungsflüssigkeiten verwenden:
 - Reinigungsmittel 1 löst und beseitigt Probenreste in der Messzelle. Diese Flüssigkeit muss ein gutes Lösungsmittel für alle Probenkomponenten sein.
 - Reinigungsmittel 2 beseitigt Reinigungsflüssigkeit 1 und wird durch einen Strom trockene Luft leicht verdampft, um das Trocknen der Zelle zu beschleunigen. Reinigungsflüssigkeit 2 muss ein gutes Lösungsmittel für Reinigungsflüssigkeit 1 sein.
- Trocknen Sie die Messzelle, indem Sie den Schlauch der internen Luftpumpe an den Einlassadapter anschließen und die Pumpe aktivieren.
- Prüfen Sie durch eine Messung der Luftdichte, ob die Reinigung und das Trocknen erfolgreich waren (= Luftprüfung).
- Vergleichen Sie die gemessene Dichte mit dem Referenzwert: $\rho_{\text{Luft}} = 0,001199 \text{ g/cm}^3$ | bei $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $p = 1013 \text{ mbar}$



BEVOR SIE PROBENFLÜSSIGKEITEN IN IHR DICHTEMESSGERÄT FÜLLEN, VERGEWISSERN SIE SICH, DASS ALLE PROBENBERÜHRENDE TEILE PROBENBESTÄNDIG SIND (SIEHE BETRIEBSANLEITUNG).

MEINE REINIGUNGSFLÜSSIGKEITEN SIND

Probe _____

Reinigungsmittel 1 _____

Reinigungsmittel 2 _____

Probe _____

Reinigungsmittel 1 _____

Reinigungsmittel 2 _____

Weitere Tipps für gute Dichtemessungen.



**VERWENDEN SIE EINEN ROBUSTEN
LABORTISCH.**



**SORGEN SIE FÜR EINE SAUBERE
UMGEBUNG.**



**LASSEN SIE IHR INSTRUMENT EINMAL
IM JAHR ISO 17025 KALIBRIEREN.**



**VERMEIDEN SIE DIREKTE
SONNENEINSTRALUNG ODER
LUFTZUG DURCH BELÜFTUNG.**



**VERMEIDEN SIE EINE WÄRMEQUELLE
IM UMKREIS VON 2 METERN.**



**VEREINBAREN SIE EINE REGELMÄSSIGE
WARTUNG DURCH EINE TECHNISCHE
SERVICEFACHKRAFT.**



**FÜHREN SIE REGELMÄSSIGE
KALIBRIERUNGEN MIT EINEM GUT
SPEZIFIZIERTEN STANDARD DURCH.**

Liste **typischer Proben** und empfohlener Reinigungsflüssigkeiten

PROBE	EMPFOHLENE REINIGUNGSFLÜSSIGKEIT 1	EMPFOHLENE REINIGUNGSFLÜSSIGKEIT 2
AFTERSHAVE, PARFUM	Alkohol	-
BIER	Wasser, enzymatischer Laborreiniger*	Alkohol
BIERWÜRZE	Wasser, enzymatischer Laborreiniger*	Alkohol
TREIBSTOFF	Reinigungsbenzin	Aceton, Alkohol
FLÜSSIGSEIFE UND WASCHMITTEL	Wasser	Alkohol
SCHMIERÖL	Reinigungsbenzin	Aceton, Alkohol
MILCH, SAHNE	Wasser, enzymatischer Laborreiniger*	Alkohol
MOTORÖL	Reinigungsbenzin	Aceton, Alkohol
ORANGENSAFT	Wasser	Alkohol
SCHNAPS	Alkohol	-
SOFTDRINKS	Wasser	Alkohol
SALATDRESSING, MAYONNAISE	Reinigungsbenzin	Alkohol
SHAMPOO	Wasser	Alkohol
SONNENSCHUTZMITTEL	Reinigungsbenzin	Alkohol
HOLZSCHUTZMITTEL AUF LÖSEMittelBASIS (AUF WASSERBASIS)	Reinigungsbenzin (Wasser)	Alkohol

* Die Verwendung eines Laborreinigers wird für eine gründliche Reinigung empfohlen. Spülen Sie nach der Anwendung die Messzelle mit viel Wasser.

DICHTE („WAHRE DICHTE“)

Dichte ρ wird als „Masse durch Volumen“ definiert:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

ρ _____ Dichte
 m _____ Masse
 V _____ Volumen

Die Einheit der Dichte ist kg/m³ oder g/cm³. 1 g/cm³ = 1000 kg/m³.

Die Masse ist unabhängig von äußeren Gegebenheiten wie Luftauftrieb oder Gravitation. Masse entspricht dem Gewicht im Vakuum.

Mit der Biegeschwingermethode wird die wahre Dichte von Flüssigkeiten und Gasen gemessen.

Die Dichte von Flüssigkeiten und Gasen ist stark temperaturabhängig. Die Grundlage jeder genauen Dichtemessung ist deshalb eine genaue Temperaturmessung oder -kontrolle. In der Regel sinkt die Dichte mit steigender Temperatur, da auf Grund der thermischen Bewegung die Moleküle mehr Raum brauchen.

Hinweis: Wasser ist eine einzigartige Flüssigkeit. Das Dichtemaximum liegt mit $\rho = 0,999972 \text{ g/cm}^3$ bei einer Temperatur von 3,98 °C.

SCHEINBARE DICHTE

Scheinbare Dichte ρ_{app} wird als „Gewicht in Luft durch Volumen“ definiert:

$$\rho_{app} = \frac{W}{V}$$

ρ_{app} _____ scheinbare Dichte
 W _____ Gewicht in Luft
 V _____ Volumen

Üblicherweise wird kg/m³ oder g/cm³ als Einheit für scheinbare Dichte verwendet. Man beachte, dass sich die Werte von (wahrer) Dichte und scheinbarer Dichte unterscheiden. Scheinbare Dichte ist kleiner als wahre Dichte.

Die scheinbare Dichte kann unter Berücksichtigung des Luftauftriebs der Probe und des Wägegewichts und der Dichte des Wägegewichts berechnet werden. Heutzutage wird Stahl als Referenzmaterial für das Wägegewicht verwendet. Früher war es Messing.

$$\rho_{app} = \frac{\rho_{wahr, Probe} - \rho_{Luft}}{1 - \frac{\rho_{Luft}}{\rho_{Stahl \text{ oder Messing}}}}$$

ρ_{app} _____ scheinbare Dichte
 $\rho_{wahr, Probe}$ _____ wahre Dichte der Probe
 ρ_{Luft} _____ wahre Dichte von Luft
 $\rho_{Stahl \text{ oder Messing}}$ _____ wahre Dichte von Stahl oder Messing
 Dabei gilt: $\rho_{Messing} = 8,4 \text{ g/cm}^3$ und $\rho_{Stahl} = 8,0 \text{ g/cm}^3$

RELATIVE DICHTE

Die relative Dichte SG (manchmal auch als scheinbare relative Dichte D bezeichnet) wird berechnet, indem die Dichte einer Probe ρ_{Probe} durch die Dichte von reinem Wasser ρ_{Wasser} bei bestimmten Temperaturen dividiert wird:

$$D^{20/4} = SG^{20/4} = \frac{\rho_{Probe} \text{ bei } 20 \text{ °C}}{\rho_{Wasser} \text{ bei } 4 \text{ °C}}$$

$D^{T1/T2} = SG^{T1/T2}$ _____ scheinbare relative Dichte bezogen auf bestimmte Temperaturen
 ρ_{Probe} _____ Dichte der Probe
 ρ_{Wasser} _____ Dichte von reinem Wasser
 At 4 °C: $\rho_{Wasser} = 0,999972 \text{ g/cm}^3$
 At 20 °C: $\rho_{Wasser} = 0,998203 \text{ g/cm}^3$

Die relative Dichte ist dimensionslos, d. h. sie hat keine Einheit.

SCHEINBARE RELATIVE DICHTE

Die scheinbare relative Dichte SG_{app} (manchmal auch als scheinbare relative Dichte D_{app} bezeichnet) wird berechnet, indem die scheinbare Dichte einer Probe $\rho_{app, Probe}$ durch die scheinbare Dichte von reinem Wasser $\rho_{app, Wasser}$ bei bestimmten Temperaturen dividiert wird:

$$D_{app}^{20/20} = SG_{app}^{20/20} = \frac{\rho_{app, Probe} \text{ bei } 20 \text{ °C}}{\rho_{app, Wasser} \text{ bei } 20 \text{ °C}}$$

$D_{app}^{T1/T2} = SG_{app}^{T1/T2}$ _____ scheinbare relative Dichte bezogen auf vorgegebene Temperaturen
 $\rho_{app, Probe}$ _____ scheinbare Dichte der Probe
 $\rho_{app, Wasser}$ _____ scheinbare Dichte des Wassers

Die relative Dichte ist dimensionslos, d. h. sie hat keine Einheit. Bei Messungen mit dem Pyknometer wird die scheinbare relative Dichte auf folgende Weise bestimmt:

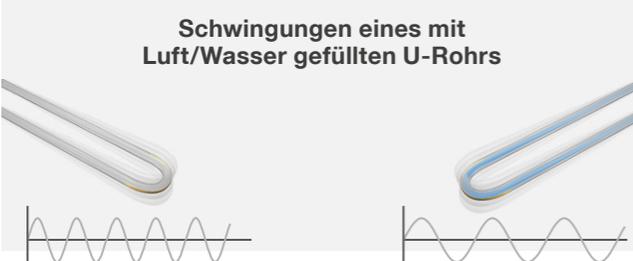
$$D_{app}^{20/20} = \frac{\text{Gewicht}_{Probe+Flasche} - \text{Gewicht}_{Flasche}}{\text{Gewicht}_{Wasser+Flasche} - \text{Gewicht}_{Flasche}}$$

	LUFT BEI T = 20 °C, P = 1013 MBAR	WASSER BEI T = 20 °C
WAHRE DICHTE ρ	0,00120	0,99820
RELATIVE DICHTE $SG^{20/20}$	0,00120	1
RELATIVE DICHTE $SG^{20/4}$	0,00120	0,99823
SCHEINBARE RELATIVE DICHTE $SG_{app}^{20/20}$	0	1

BIEGESCHWINGERMETHODE

Mit der Biegeschwingermethode wird die wahre Dichte von Flüssigkeiten gemessen. Die Probe wird in einen U-förmigen Messschwinger gefüllt, der elektronisch zur Schwingung in seiner Eigenfrequenz angeregt wird. Die Eigenfrequenz ändert sich je nach Dichte der Probe. Durch präzise Messung der Eigenfrequenz und eine passende Justierung kann die Dichte der Probe ermittelt werden. Auf Grund des großen Einflusses der Temperatur auf die Dichte muss die Messzelle sehr genau thermostatisiert werden.

Schwingungen eines mit Luft/Wasser gefüllten U-Rohrs



Moderne Hochpräzisions-Dichtemessgeräte bieten außerdem:

- eine Viskositätskorrektur:** Sie ermöglicht genaue Messergebnisse über einen weiten Viskositätsbereich der Probe.
- einen Referenzschwinger:** Er sorgt für genaue Messergebnisse über einen weiten Temperaturbereich mit nur einer Justierung bei einer Temperatur.

FORCED OSCILLATION METHOD

Seit der Einführung der digitalen Dichtemessgeräte galt die konstante Anregung stets als Maß der Dinge. Diese Technologie hat ihre Grenzen erreicht.



Pulsed Excitation Method

Patented technology exclusively by Anton Paar (Patent AT 516420 B1)

Die „Pulsed Excitation Method“ beschreibt, dass das U-Rohr durch Impulse zur Schwingung angeregt wird. Sobald eine konstante Amplitude erreicht ist, wird die Impulssequenz beendet. Die Schwingung des U-Rohrs wird gemessen, während sie frei und ohne jegliche Einflüsse abklingt. Anregung und Abklingen wechseln sich stets ab.

Die Vorteile sind:

- Die User erhalten mehr Informationen als bei herkömmlichen Methoden.
- Die Viskositätskorrektur ist besser.
- Die „Pulsed Excitation Method“ liefert bessere Ergebnisse für Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit.

KONZENTRATIONSMESSUNG

Die Konzentration eines Gemischs aus zwei Komponenten (eines binären Gemischs) kann über eine Dichtemessung bestimmt werden. Wenn zwei Proben mit den bekannten Dichten A und B gemischt werden, dann ergibt sich im Normalfall daraus eine Probe, deren Dichte zwischen den Werten A und B liegt. Der genaue Wert hängt vom Mischungsverhältnis und somit von der Konzentration ab.



Eine Konzentrationsmessung ist auch für so genannte quasi binäre Gemische möglich:

- Gemische mit zwei dominierenden Komponenten. Zusätzliche Inhaltsstoffe sind zwar in kleinen Konzentrationen enthalten, aber auf Grund des geringen Einflusses auf die Gesamtdichte können diese Komponenten vernachlässigt werden.
- **Beispiel:** Die Hauptbestandteile von zuckerhaltigen Erfrischungsgetränken sind Wasser und Zucker. Für die Zucker Konzentrationsbestimmung (°Brix) können alle anderen Inhaltsstoffe ignoriert werden.
- Gemische bestehend aus mehreren Komponenten, von denen aber nur eine variiert. Alle anderen Komponenten bleiben immer gleich.
- **Beispiel:** Für die Produktion von Infusionen werden mehrere Inhaltsstoffe genau entsprechend einer Rezeptur abgewogen. Dieses Gemisch, dessen Zusammensetzung immer konstant bleibt, wird im zweiten Arbeitsschritt mit Wasser verdünnt. Die Konzentration dieser Lösung kann mittels Dichtemessung bestimmt werden.

KALIBRIERUNG

Eine Kalibrierung wird als „die Tätigkeit zur Ermittlung des Zusammenhangs zwischen dem ausgegebenen Wert eines Messgerätes und dem zugehörigen, durch Normale festgelegten Wert einer Messgröße (Referenzwert) unter vorgegebenen Bedingungen“ definiert. Eine Kalibrierung wird durchgeführt, um die Qualität von Messungen und der Justierung zu validieren. Der Referenzwert eines Dichtestandards wird durch ein Zertifikat angegeben. Die Unsicherheit des Standards und die Referenzmethode sind entscheidend, um die Qualität der Messungen so hoch wie möglich zu halten.

Empfehlung: Führen Sie 1 bis 2 Kalibrierungen pro Jahr mit einem Dichtestandard durch, der vorzugsweise nach

ISO 17034 zertifiziert und als 3-mal besser als das Gerät spezifiziert ist.

WERKSKALIBRIERUNG

Jedes Messgerät, das einen Produktionsstandort von Anton Paar verlässt, ist ab Werk kalibriert. Es wird mit einem Werkzertifikat geliefert, ist nach der Lieferung sofort messbereit und liefert sehr präzise Messergebnisse.

KALIBRIERUNG NACH ISO 17025

Eine Kalibrierung nach ISO 17025 ist auf internationale SI-Einheiten rückführbar und dient als zuverlässige und international anerkannte Referenz für Audits.

JUSTIERUNG

Unter Justierung versteht man das Einstellen oder Abgleichen eines Messgerätes, um systematische Messabweichungen so weit zu beseitigen, wie es für die vorgesehene Anwendung erforderlich ist. Eine Justierung wird nach einer Kalibrierung durchgeführt, wenn die festgestellte Messabweichung außerhalb der festgelegten Toleranz liegt.

Für die Berechnung der Gerätekonstanten werden bei einer Justierung von Dichtemessgeräten die Werte der Dichtestandards und die gemessenen Schwingungsperioden herangezogen. In der Regel werden für eine Justierung zwei Standards benötigt, darunter beispielsweise trockene Luft und frisch entgastes, hochreines (z. B. bidestilliertes) Wasser.

ISO-17034-ZERTIFIZIERTE REFERENZMATERIALIEN

Bei ISO-17034-zertifizierten Dichtestandards sind die angegebenen Referenzwerte aufgrund der kontinuierlichen Überwachung während der gesamten Lebensdauer des Standards gültig. Außerdem sind sie auf SI-Einheiten rückverfolgbar.

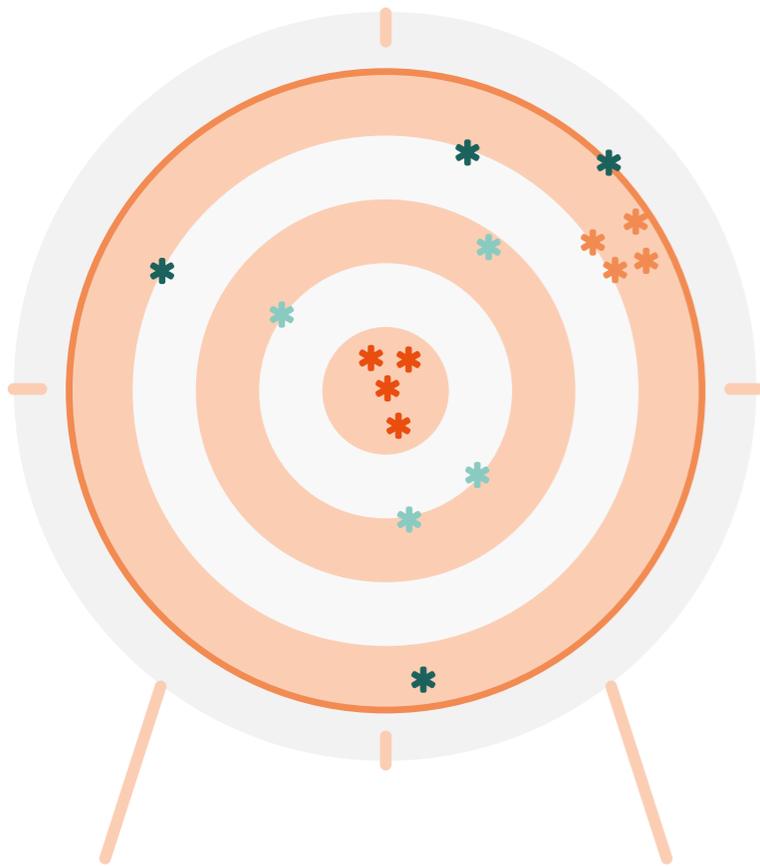
GENAUIGKEIT

Die Genauigkeit beschreibt qualitativ, wie nahe das Messergebnis am wahren Wert der Messgröße liegt.

Ein quantitatives Maß für die Messgenauigkeit ist die Messunsicherheit.

Genauigkeit und Präzision

- * Nicht genau, nicht präzise
- * Genau, nicht präzise
- * Nicht genau, präzise
- * Genau, präzise



PRÄZISION

Die Präzision beschreibt qualitativ, wie nahe die Messergebnisse unter gegebenen Messbedingungen beieinander liegen. Es wird zwischen Wiederholpräzision und Vergleichspräzision unterschieden.

MESSUNSICHERHEIT

Die Messunsicherheit ist das Intervall, in dem der wahre Wert einer Messgröße mit angegebener Wahrscheinlichkeit erwartet werden kann.

In die Messunsicherheit gehen ein: die Unsicherheit des Messgeräts, die Unsicherheit der Kalibrierstandards und die Unsicherheit des Messprozesses (Probenvorbereitung, Probenbefüllung ...).

Die Standardunsicherheit kann gemäß der Beschreibung in „Guide to the expression of uncertainty in measurement“ (GUM), JCGM 100:2008 bestimmt werden.

WIEDERHOLPRÄZISION

Die Wiederholpräzision gibt an, wie nahe Messergebnisse derselben Messgröße, ausgeführt unter exakt denselben Messbedingungen, beieinander liegen.

Diese idealen Messbedingungen führen zu einer minimalen Streuung der Messergebnisse.

Die Wiederholbedingungen umfassen:

- dasselbe Messverfahren,
- dieselbe anwendende Person,
- dasselbe Messgerät, benutzt unter denselben Bedingungen,
- denselben Ort,
- Wiederholung innerhalb einer kurzen Zeitspanne.

Die Wiederholpräzision kann durch die Wiederholstandardabweichung ausgedrückt werden. Diese Standardabweichung wird aus Messungen berechnet, die unter wiederholbaren Bedingungen ausgeführt wurden.

ERWEITERTE VERGLEICHSPRÄZISION

Die erweiterte Vergleichspräzision gibt an, wie nahe Messergebnisse derselben Messgröße, ausgeführt unter veränderten Messbedingungen, beieinander liegen.

Diese Bedingungen führen zu einer maximalen Streuung der Messergebnisse.

Die erweiterten Vergleichsbedingungen umfassen:

- Messprinzip
- Messmethode
- Anwendende Person
- Messgerät
- Referenzmaterial
- Ort
- Benutzungsbedingungen
- Zeit

Die geänderten Messbedingungen müssen angegeben werden.

Die Vergleichspräzision kann quantitativ durch die Vergleichsstandardabweichung ausgedrückt werden. Die Vergleichsstandardabweichung wird bestimmt, indem unter Vergleichsbedingungen Messungen durchgeführt werden, die zur Berechnung der Standardabweichung dienen.

MESSABWEICHUNG

Der Messfehler ist ein gemessener Größenwert abzüglich eines Referenzwertes. Zufällige Messfehler und systematische Messfehler können unterschieden werden.

ZUFÄLLIGE MESSABWEICHUNG

Der zufällige Messfehler ist die Komponente eines Messfehlers, die auf eine unvorhersehbare Weise bei wiederholten Messungen variiert. Es müssen viele Messungen durchgeführt werden, um zufällige Messfehler zu eliminieren. Der Mittelwert dieser Messungen tendiert gegen den wahren Wert.

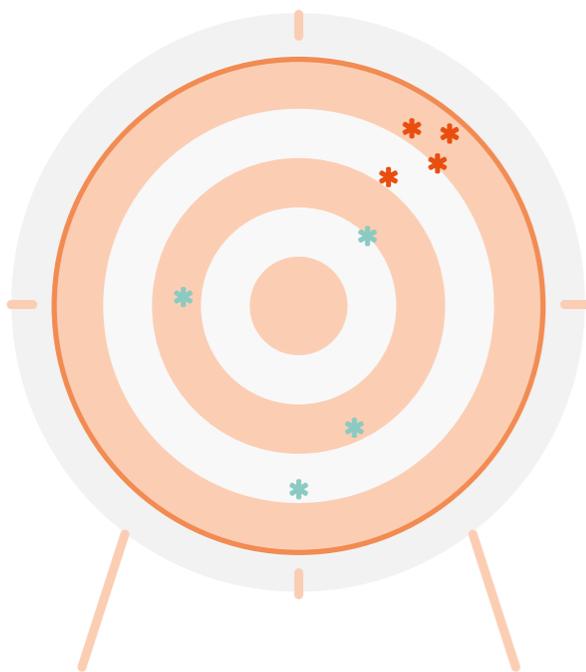
SYSTEMATISCHE MESSABWEICHUNG

Die systematische Messabweichung ist der Mittelwert, der sich aus einer unbegrenzten Anzahl von Messungen derselben Messgröße ergibt, die unter Wiederholbedingungen ausgeführt worden sind, minus dem wahren Wert der Messgröße.

Systematische Messabweichungen und deren Ursachen sind entweder bekannt oder unbekannt. Für bekannte systematische Messabweichungen können Korrekturen durchgeführt werden.

Messabweichungen:

- * Zufällige Messabweichung
- * Systematische Messabweichung



AUFLÖSUNG

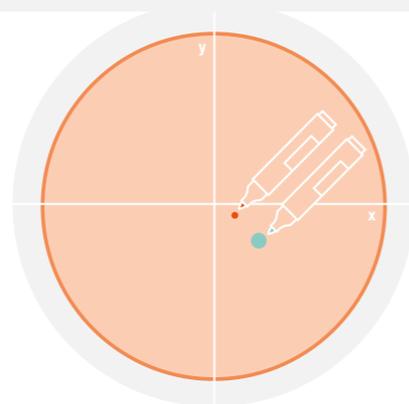
Die Auflösung beschreibt das Vermögen eines Gerätes, zwischen nahe beieinander liegenden Messwerten eindeutig zu unterscheiden. Eine hohe Auflösung bedeutet, dass sehr kleine Unterschiede festgestellt werden können. In einem digitalen System ist die Auflösung die kleinste Differenz zwischen zwei Messwerten. In analogen Systemen entspricht die Auflösung dem kleinsten wahrnehmbaren Unterschied, der verlässlich festgestellt werden kann.

Ein üblicher Fehler ist die Annahme, dass Instrumente mit hoher Auflösung genauere Ergebnisse liefern. Hohe Auflösung heißt nicht zwingend hohe Genauigkeit.

Die Genauigkeit eines Systems kann niemals über der Auflösung liegen!

- **Allegorie für eine hohe Auflösung**
Mit einem feinen Stift kann man kleine Punkte setzen.

- **Allegorie für eine niedrige Auflösung**
Mit einem dicken Stift kann man keine feinen Zeichnungen fertigen.



ARITHMETISCHER MITTELWERT

Der arithmetische Mittelwert x_0 ist die Summe der Messergebnisse dividiert durch die Anzahl der durchgeführten Messungen n:

$$x_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

x_0 _____ Mittelwert
 x_i _____ Ergebnis der i-ten Messung
 n _____ Anzahl der Messungen

Der Mittelwert gibt keinerlei Aufschluss über die Streuung von Messergebnissen.

Beispiel:

Eine Serie von Dichtemessungen liefert folgende Ergebnisse:

Arithmetischer Mittelwert (mit $n = 6$):
 $x_0 = 0,9982037 \text{ g/cm}^3$

$x_1 = 0,998203 \text{ g/cm}^3$
 $x_2 = 0,998203 \text{ g/cm}^3$
 $x_3 = 0,998204 \text{ g/cm}^3$
 $x_4 = 0,998203 \text{ g/cm}^3$
 $x_5 = 0,998204 \text{ g/cm}^3$
 $x_6 = 0,998205 \text{ g/cm}^3$

Tipp: In Microsoft Excel kann für die Berechnung des arithmetischen Mittelwerts die Funktion „MITTELWERT(Zahl1,Zahl2,...)“ verwendet werden.

EMPIRISCHE STANDARDABWEICHUNG

Die empirische Standardabweichung s charakterisiert die Streuung der Ergebnisse für eine Reihe von Messungen. Sie wird folgendermaßen berechnet:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x_0)^2}$$

s _____ empirische Standardabweichung
 n _____ Anzahl der Messungen
 x_i _____ Ergebnis der i-ten Messung
 x_0 _____ arithmetischer Mittelwert

Der Mittelwert wird meist in Verbindung mit der Standardabweichung angegeben. Der Mittelwert beschreibt das Zentrum der Daten, die Standardabweichung beschreibt die Streuung dieser Messdaten.

Das Beispiel des arithmetischen Mittelwerts wird verwendet, um die empirische Standardabweichung zu berechnen:

$x_0 = 0,9982037 \text{ g/cm}^3$
 $n = 6$

$$s = \sqrt{\frac{(x_1 - 0,9982037)^2 + (x_2 - 0,9982037)^2 + \dots + (x_6 - 0,9982037)^2}{5}}$$

$s = 0,000001 \text{ g/cm}^3$

Tipp: In Microsoft Excel kann für die Berechnung der empirischen Standardabweichung die Funktion „STABW(S(Zahl1,Zahl2,...))“ verwendet werden.

Was macht Good Density Measurement, also eine perfekte Dichtemessung, **eigentlich** aus?

DER GESAMTE MESS-WORKFLOW MUSS IM AUGENBLICK BEHALTEN WERDEN: VOM ANFANG BIS ZUM ENDE, VOM ERSTEN MOMENT, IN DEM SIE IHRE ARBEIT IM LABOR BEGINNEN, BIS ZUM REINIGUNGSVORGANG GANZ ZUM SCHLUSS. SOLANGE SIE DIE „FÜNF BEREICHE“ IMMER IM BLICK HABEN, SIND SIE AUF DEM RICHTIGEN WEG ...



WWW.ANTON-PAAR.COM/DENSITY