



- Dichtemessung – Konzentrationsabhängig -

Dichteänderung von Wasser durch Zudosierung von Kochsalz (NaCl) und automatische Bestimmung einer Kalibrierung bis 10%

Die Dichte von Wasser wird (z.B.) durch darin gelöstes Natriumchlorid verändert. Die jeweilige Dichte kann mit der Menge des Salzes verknüpft werden. Über die experimentell-automatisch ermittelten Beziehungen können durch *zusammenwiegen* gewisser Mengen von Salz und Wasser Lösungen definierter Dichte hergestellt werden – oder durch Messung der Dichte von Salzlösungen der Gehalt genauestens ermittelt werden.

Die Messung ist vergleichsweise einfach: In ein trockenes Temperiergefäß (Messzelle) wird eine genau bestimmte Menge Wasser gegeben (Auswägen), der Messkörper wird eingesetzt und das Gefäß mit dem Zellendeckel verschlossen. Die Vorlage wird temperiert. Sobald das thermische Gleichgewicht erreicht ist, beginnt die Messung. Im Messprogramm ist das so organisiert, zuerst die Dichte des vorgelegten Wassers bestimmt wird. Dann erscheint ein Dialog (mit akustischem Signal) und der Benutzer gibt dabei an, welche Menge Wasser vorgelegt wurde. Ein weiterer Assistenzdialog erscheint, der zur Zugabe auffordert und abfragt, wie viel Salz zugegeben wurde. – Die anfangs kleinen Mengen werden mit einem Spatel zugegeben (aus einem Wägeschiffchen ausgewogen), der Deckel wird dazu kurz angehoben. Das Messprogramm sorgt mittels des Rührers für eine gute Durchmischung und stellt sicher, dass die Temperatur im gewählten Rahmen bleibt. Dann wird die Dichte der Lösung einige Male gemessen. Wieder erscheint ein Dialog und ruft den Prüfer zur Zugabe einer weiteren Menge herbei (natürlich kann auch automatisch dosiert werden ...). Dieser Verfahrensteil läuft fort, bis der Anwender den Ablauf beendet. Die Ergebnisse werden in Echtzeit in Form der Diagramme ausgegeben, so dass der Prüfer über Konzentration und Wirkung unmittelbar Rückkopplung erhält.

Für die Grundqualität von imeter zur Dichtemessung sei auf die folgenden Umstände hingewiesen: (A) Es werden unabhängige Messwerte aufgezeichnet (B) Mittelwerte erhöhen daneben auch die statistische Sicherheit. (C) Die Messunsicherheit wird selbsttätig eingeschätzt, indem insbesondere die Genauigkeit der Temperaturmessung mit der Wärmedehnung von Wasser abgeglichen wird. (D) Die Wägezelle wurde in der Messung automatisch justiert. (E) Es wurde eine technisches Messverfahren ohne systematischen Fehler angewendet (kein Meniskuseffekt, kein Halterungsauftrieb, keine Störung durch Niveauveränderung der Probe, keine Drift). (F) Nur wenige Handgriffe des Anwenders und Angaben in der Software waren notwendig und führten zu einem komplett dokumentierten Ergebnis. (G) So genau und einfach, wie in diesem Beispiel können „Konzentrationen“ weder hergestellt noch gar gemessen werden. (H) Viele komplexe Berechnungen werden von der Software automatisch ausgeführt und zu kompakten Ergebnissen, wie unmittelbar verwendbaren Kalibriergleichungen und anschaulichen Diagrammen, aufbereitet.

©2006 imeter/MSB Breitwieser
MessSysteme
Tel. (+49)(0)821/706450

<http://www.imeter.de>

imeter Anwendungen

In diesem Dokument wird ein automatisch erzeugter **imeter** -Prüfbericht vorgestellt. Die Ausführlichkeit ergibt sich aus der Forderung, dass alle Variablen einer Messung dargestellt werden sollen (können bzw. müssen). Variabel sind nicht nur die Messdaten - sondern auch Umstände und Abläufe und die Eigenschaften der Normale. Dazu passend verfügt **imeter** einerseits über eine Modellersprache, um Mess- bzw. Steuerungsverfahren zu gestalten („was soll der Fall sein“) und andererseits über analytische Fähigkeiten, um zu bewerten, *was der Fall* ist und um darüber in Berichten Rückkopplung zu geben. - **imeter** befreit sehr viel kostbare Arbeitszeit, indem nicht nur das Messen/Steuern/Regeln sondern auch die beurteilungsreife Darstellung automatisiert ist.

Die Formatierungsvorgaben des Berichts bestimmen Art und Umfang der Informationsdarstellung. - Anhand eines vollständigen Berichts wird der Anwender (der Kunde oder wir) in die Lage versetzt, Plausibilität und Validität einer Messung detailliert zu überprüfen.

Der imeter-Prüfbericht auf den folgenden Seiten enthält also Elemente, wie automatische Erläuterungen, auf deren Ausgabe man in der Routine natürlich verzichtet (und die leider wortreich den Fluss der Informationen bzw. das Layout beeinträchtigen).

ID N° 7277 - Fluid Dichte bei Konzentrationsänderung

ausgeführt am Montag, 08 Mai 2006, von imeter

Titel: Wasser/NaCl - Konzentrationsabhängigkeit

Bemerkung:

Konzentrationsabh. Wasser - Kochsalz (NaCl). Wasser vorgelegt. Die NaCl-Zugabe erfolgt per Spatel (nach Gutdünken), wobei das Wägeschiffchen vor und nach Zugabe gewogen wird. Die jeweilige Fehlerangabe ist geschätzt.

Ergebnis: $\rho_{25,00^\circ\text{C}} = 0,997090\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (ρ° Wasser (Agsbg, dest.5.5.))
 $\rho_{\text{Bereich}}: 0,997171 - 1,069934\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
35 Dichtemessungen über 7 Konzentrationsstufen
 $c_{\text{Bereich}}: 0,14\text{‰} - 10\%$ Natriumchlorid 99+% (Aldrich) [m/m]

Bericht

Die Textangaben im Berichtskopfes, oberhalb, werden aus den Einträgen im 'Titel-' und 'Bemerkungsfeld' des Datenblattes gebildet. Das Hauptresultat wird angegeben - und in der ersten Zeile - der Authentifizierungscode zu Messung und Ergebnis.

Hinweis: Die Aktivierung der Option "ERLÄUTERUNGSTEXTE", die für diese Berichts Ausgabe eingestellt ist, bewirkt, dass der Bericht selbst und erklärungsbedürftige Elemente darin mit Erläuterungen versehen werden, Bearbeitungshinweise für den Anwender werden zusätzlich ausgegeben, außerdem wird auf ggf. unterdrückte Informationen hingewiesen. Die zugehörigen Erklärungen sind formatiert wie dieser Text.

• Bestimmung der Konzentrationsabhängigkeit

Dosis und Wirkung:

Bestimmt für Natriumchlorid 99+% (Aldrich) in Wasser (Agsbg, dest.5.5.) im Konzentrationsbereich $c=0,0138$ bis $10,1\%$. Es liegt eine *exzellente* quadratische Beziehung zwischen Konzentration und Dichte vor:

$$\text{(Gleichung I)} \quad \rho [\text{g}/\text{cm}^3] = f(c_{\text{‰}}) = 0,99710567 + 6,968582\text{E-}3 \cdot (c) + 2,03622\text{E-}5 \cdot (c)^2$$

Korrelationskoeffizient: $r^2=0,9999941$, Standardabweichung: $s = \pm 7,9 \cdot 10^{-5} \text{g}/\text{cm}^3$.

Die Dichtemessung kann für dieses System zwischen $\rho = 0,997171$ bis $1,069934\text{g}/\text{cm}^3$ zur Bestimmung der Konzentration mittels der Gleichung II ebenso angewendet werden:

$$\text{(Gleichung II)} \quad c [\text{‰}] = f(\rho_{[\text{g}/\text{cm}^3]}) = -197,79323 + 253,35941 \cdot \rho - 55,151299 \cdot \rho^2$$

Korrelationskoeffizient: $r^2=0,9999946$, Standardabweichung: $s = \pm 0,010 \%$.

Die zu den Gleichungen angegebene 'Standardabweichung', s , ist die Standardabweichung (der Grundgesamtheit) der Werte gegen die Regressionsgleichung. Die Terme können zu Berechnungen jedoch nur im angegebenen Konzentrationsbereich und bei der Temperatur verwendet werden. Bearbeitungshinweis: In ausgesuchten Fällen sind die in der Gleichung angegebenen Dezimalen ungenügend: der vollständige präzierte Ausdruck, ohne Rücksicht auf sinnvolle oder gültige Stellen, lautet: $0,997105665584142 + 6,96858249348944\text{E-}03 \cdot (c) + 2,03622420897932\text{E-}05 \cdot (c)^2$ sowie $-197,793231974076 + 253,359406215673 \cdot \rho - 55,1512988281881 \cdot \rho^2$.

- Zusammenfassung von Randbedingungen und Operationen während der Messung -

Vorlage: Wasser (Agsbg, dest.5.5.), Masse $61,01 \pm 0,01\text{g}$, angegeben wurde der Wägewert $60,95\text{g}$, Volumen $61,19\text{cm}^3$, Dichte $0,997090\text{g}/\text{cm}^3$ - sie wurde über den Datenbankeintrag 'Wasser' zur Temperatur ermittelt.

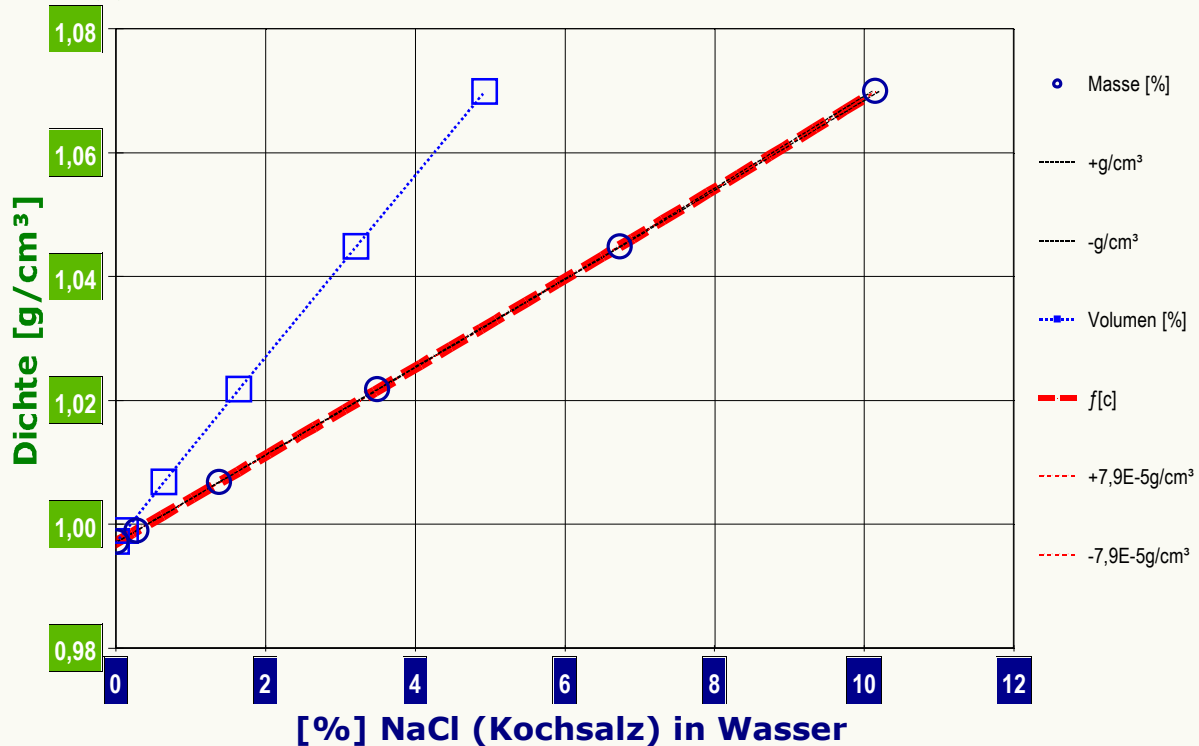
Zudosierung: Natriumchlorid 99+% (Aldrich), 6 Zugaben.

Wirkstoffkonzentration $2169 \pm 0,25\text{mg}/\text{cm}^3$, Dichte $2,17\text{g}/\text{cm}^3$, aus dem Datenbankeintrag für 'NaCl (Kochsalz)' ermittelt. Die Unsicherheit zur Konzentration ist explizit angegeben. Temperaturangabe der Dosierung als Festwert $25,00^\circ\text{C}$. Als gravimetrische Zugabe und Kennzeichnung als Reinstoff, dadurch ist die Dosierkonzentration äquivalent zur Dichte; manuell ausgeführte Operationen/Dosierungen.

Mengenbilanz: Keine Entnahmen zur Laufzeit, zugefügte Menge $6,89\text{g}$, $3,18\text{cm}^3$, finaler Inhalt der Messzelle oder Vorlage $67,90\text{g}$ bzw. $64,37 \pm 0,11\text{cm}^3$ (aus addierten Volumina), tatsächliches Endvolumen $63,46\text{cm}^3$ (Mischungseffekt d.h. - Volumendefekt $-0,91\text{cm}^3 = -1,4\%$), am Ende in der Vorlage enthaltene Wirkstoffmenge: $6,89\text{g}$.

Die Zusammenfassung, oberhalb, stellt Vorgaben und das Ergebnis der Messung knapp dar. Einzelheiten zu den Vorgängen können ggf. mittels der unten ausgegebenen tabellarischen Darstellungen entschlüsselt werden. Wesentliche, ergebnisrelevante Angaben und die Variablen des Vorgehens sowie der Daten werden wiedergegeben. Volumen und Gewichtsangaben werden stets in Massen umgerechnet. - Die Gleichungen zu Dosis und Wirkung fassen die Verhältnisse kompakt zusammen und erlauben die Dichte über die Konzentration einzustellen und die Konzentration über die Dichte zu ermitteln. Die Qualitätsaussage "exzellent" wird aus der Textübersetzung des Korrelationskoeffizienten "0,9999941" erzeugt.

Bearbeitungshinweise: Da zahllose Kombinationen von gravimetrischen, volumetrischen bzw. automatischen und manuellen Operationen mit wechselnden Konzentrationen und mit oder ohne thermische Eventualitäten aufgetreten sein können, ergeben sich vielfältige logische Abhängigkeiten, die ggf. bei einfachen Verfahren nicht in passender Klarheit ausgedrückt sind. Die Überprüfung der möglichst exakten Isothermie für diese Art der Messung - sowie das, dem Prüfstoff gerechte Verfahren (z.B. Wartezeiten bei sehr geringen Konzentrationen) wird nicht von der Software bewertet. Eine durchgängig konsistente Formatierung der Zahlenwerte - d.h. die Ausgabe ausschließlich gültiger Stellen, wird nicht in allen Fällen durch die Algorithmen geleistet; Referenzwerte aus der Datenbank werden beispielsweise mit allen dort angegebenen Stellen aufgeführt. Eine Nachbearbeitung durch den Anwender ist hier evtl. notwendig, wenn der Bericht an externe Stellen weitergegeben werden soll.



Das Diagramm **Konzentrationsverlauf** fasst das Ergebnis der Messung durch die Abbildung der Dichte gegen die Konzentration zusammen. Die Kreismarken stellen die jeweiligen (Mittel-)Werte der Dichte dar; umgebende, feine Linien bilden den Bereich der Unsicherheit ab. Die Kreismarken beziehen sich auf Masse% (m/m), die Quadrate auf Volumen% (V/V). Als fette, gestrichelte Linie ist der Werteverlauf der Gleichung 1 eingezeichnet sowie deren Standardabweichung durch gepunktete Linien. (Die Fehlerbereiche dürften jedoch durch die Skala bedingt, kaum sichtbar sein.)

Die folgende Tabelle präsentiert die Zusammenstellung der zugrunde liegenden Zahlenwerte sowie die Datenbasis der Grafik. Die erste Datenzeile der Tabelle enthält die für die Sicherung des korrekten Ausgangswertes der Dichte wichtige Angabe, $\rho^0 = 0,997090\text{g/cm}^3$, die im Mittel für 4,9 Minuten vor der ersten Dosierung in der Messung bestimmt wurde.

N°	Δm [g]	$\pm\%$	$t_{\Delta c}$	Δt_p [min]	$\bar{\rho}$	c [mg/cm ³] $\pm\%$	c (m/m, V/V)
1.	---	---	---	-4,9 (5)	0,997090	0	0
2.	0,0084	1,2%	12,8	11,0 (5)	0,997170	0,137	1,2%
3.	0,1592	1,3‰	27,6	12,4 (5)	0,998998	2,735	2,7‰, 1,3‰
4.	0,6872	0,29‰	45,1	12,5 (5)	1,006829	13,88	2,1‰
5.	1,3511	0,15‰	62,1	17,1 (5)	1,021750	35,47	1,7‰
6.	2,2010	91ppm	86,0	14,1 (5)	1,044897	69,7	1,5‰
7.	2,4803	81ppm	103,6	17,6 (5)	1,069934	107,0	1,3‰

Die Spalten der Tabelle zeigen von links nach rechts die folgenden Inhalte: Die Zeilennummer (1. N°), die jeweilige Dosier- bzw. Entnahmemenge (negativ) als Masse (2. Δm), die zugehörige relative Unsicherheit (3. $\pm\%$), die aus der ursprünglich angegebenen absoluten Unsicherheit berechnet ist, dann die Zeitpunktmittel (4. $t_{\Delta c}$) des Vorgangs im Bezug auf den Start der Messung. Die nächste Spalte zeigt die Dauer zwischen dem Dosierzeitpunkt und dem nachfolgendem Messwert an (5. Δt_p) und den gemessenen (Mittel-)Wert der Dichte in der folgenden Spalte (6. $\bar{\rho}$); weiter, die ideale Konzentration (7. c); 'ideal' bedeutet, die Konzentration die sich aus den Massen und Volumina (per Dichten der Datenvorgaben) ergibt. Die Stellenzahl ist formatiert nach der beigeordneten relativen Unsicherheit (8. $\pm\%$), die aus der Fehlerfortpflanzung der individuellen Einzelfehler, die zu Vorlagen-, Dosier- und Entnahmemengen sowie zu Konzentrationsangaben angegeben wurden, ermittelt ist [die Konzentrationsunsicherheit nimmt mit relativ großen Dosierungen ab - relativ zum Fehler]. Falls verschiedene Konzentrationen dosiert wurden oder gravimetrische- oder volumetrische Operationen **gemischt** auftreten, wird der jeweilige Konzentrationsindex angegeben und/bzw. 'm' für Masse-, 'w' für Gewicht- und 'v' für Volumen- Operationen. Manuelle Operationen sind mit einem Hochkomma (!) gekennzeichnet. Gewichts- bzw. Wägewerte ('w') werden über Flüssigkeits-, Luft- und Kalibriergewichtsdichte jeweils in wahre Massen umgerechnet. Die letzte Spalte gibt zur Orientierung die Konzentration als Massen-Mischungsverhältnis (m/m) und im Volumenverhältnis (V/V) an.

Besonderheiten: Spalte 5, Δt_p , dem zeitlichen Abstand von Dosierung und 'Wirkungsmessung', zeigt in der ersten Zeile den zeitlichen Mittelwert der Messzeiten vor der Dosierung und ggf. in Klammern wieviele Messungen dazu stattfanden. - $\bar{\rho}$ gibt Mittelwerte an (Einzelheiten zu den Messwerten und dem Verfahren finden sich im Abschnitt, der sich den Einzeldaten widmet). Sofern danach, in der Dosierphase, mehrere Messwerte ohne Dosierung aufeinander folgen, werden Mittelwerte in dieser Art angegeben.

Bearbeitungshinweis: Die Art der Zeitangabe ist so gestaltet, damit es einfach wird, abzulesen zu können, ob eine 'korrekte' Zeitspanne zwischen Dosierung und Messung eingehalten ist. Aus den Datentabellen können Informationen gewonnen werden, die nicht im Schema ausgewertet werden; evtl. unter Berücksichtigung der Gefäßoberfläche - 18,44cm² - die Γ -Funktion etc.. Die Zahlenkolonnen in den Tabellen sind durch TAB-Zeichen separiert; so können Sie die Tabellen einfach über die Zwischenablage kopieren und z.B. in Excel einfügen und dort weiterbearbeiten. Die nicht-tabellierten Daten in den Diagrammen können Sie über den Grafik-Editor in die Zwischenablage kopieren, wobei die jeweiligen Spaltentitel ebenfalls enthalten sind. -- Bitte bei genauer Untersuchung der Ergebnisse zu beachten: Als 'Gewicht' gegebene Vorlage-, Dosier- oder Entnahmemengen werden bei der Bilanzierung durchweg in 'Wahre-Massen!' umgerechnet --

• Reale Konzentration, ideale Dichte und Mischungskoeffizient

Die Tabelle gibt Konzentrationen, Dichtewerte und Abweichung zum gemessenen Wert sowie Mischungskoeffizienten zu den bestimmten Konzentrationsstufen an.

N°	t	c_{real}	m/m [%]	$\bar{\rho}$	ρ_{ideal}	$\Delta\rho_{\text{rel.}}$	$\phi_{1/2}$ -Koeff.
1.	8	---	---	0,997090	0,997048	42ppm	1,0000421
2.	24	0,1396	0,01377	0,997170	0,997133	38ppm	1,0000479
3.	40	2,782	0,2739	0,998998	0,998536	0,46‰	1,0004731
4.	58	14,14	1,3818	1,006829	1,004557	2,3‰	1,0022825
5.	79	36,24	3,490	1,021750	1,016216	0,54%	1,0055349
6.	100	71,53	6,738	1,044897	1,034716	0,97%	1,0101541
7.	121	110,25	10,145	1,069934	1,054865	1,4%	1,0150071

In der Tabelle wird in Spalte 2 mit 't' der mittlere Minutenzeitpunkt der Bestimmung (als Orientierungshilfe) nochmals angeführt. Die tatsächlich anzugebende Konzentration, c_{real} , aus dosierter Menge und ermittelten Dichtewerten in der Einheit mg/cm³, zudem die Massekonzentration m/m in Prozentteilen. Die Einheit der Dichteangaben (ρ) ist 'g/cm³'. Mit ρ_{ideal} (5.) wird der Dichtewert angeführt, der sich aus den Datenvorgaben ergibt, wenn keine Volumenbeeinflussung durch einen Mischungseffekt auftritt. In der 6. Spalte, $\Delta\rho$, wird der relative Unterschied zwischen idealer und realer Dichte angegeben. Der Mischungskoeffizient, $\phi_{1/2}$, in der 8. Spalte gelistet, hat keine physikalische Dimension. Er ist spezifisch für die Stoffkombination und bezieht sich auf Vorgabe- bzw. Datenbankangaben zu den Dichten der Komponenten. Da auf den Datenbankangaben bei diesbezüglichen Konzentrationsmessungen die Gehaltsberechnungen beruhen.

Der Mischungskoeffizient, $\phi_{1/2}$, ist zur Konzentrationsbestimmung bei entsprechenden Dichtemessungen anzuwenden. Er ist eine Funktion der jeweiligen Dichte und kann durch Einsetzen des Dichtewertes ρ in der folgenden Gleichung erhalten werden

$$\phi_{1/2} = 0,4601860 + 0,8550176 \cdot \rho - 0,3144906 \cdot \rho^2 \quad (r^2 = 0,999944, s = 4,8 \cdot 10^{-5}).$$

Bearbeitungshinweis: Die Überprüfungsmessung der Vorlage - bevor mit der Dosierung begonnen wurde - zeigt eine Abweichung von +0,000042g/cm³ zum Wert im Referenzdatensatz. Es ergibt sich eine fehlerhafte Angabe des Vorlagevolumens, wie in der Zusammenfassung genannt, von -2,358E-3cm³. Dieser Unterschied ist in der obigen Tabelle und Gleichung für die reale Konzentration eingearbeitet. - D.h. die Abweichung ist für die 'reale Konzentration' berücksichtigt. -- Es ist für die erweiterte Einsatzmöglichkeiten zu empfehlen, mit passenden Referenzen zu arbeiten bzw. entsprechend sorgfältig zu verfahren! Eventuell ist auch eine Referenzdatenkorrektur angezeigt. Es ist hier von besonderer Wichtigkeit, dass zur Messung exakte Isothermie herrscht. Jegliche Stoffbewegungen und Unsicherheit muss im Messprogrammdialog genau angegeben sein. Ggf. können die Präzision der Referenzdaten (auch des Messkörpers) nachträglich genau ermittelt und korrigiert werden.

• Vergleich des Anfangswertes (ρ^0)

	Referenzwert	Messung	Abweichung absolut	relativ	Signifikanz
ρ	0,997048	0,99709	+0,000042g·cm ⁻³	40ppm	5

Referenz "Wasser", Bezugstemperatur = 25,00°C.

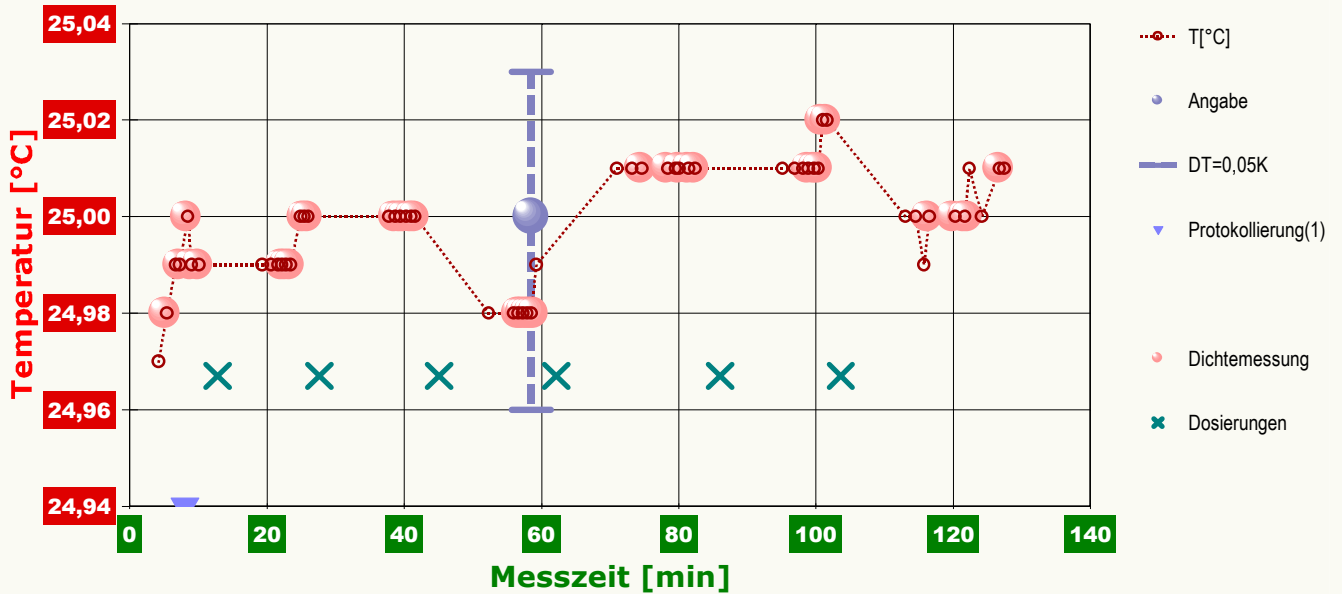
Der Ergebnisvergleich mit den Angaben, die in der Referenzdatenbank zu 'WASSER' gefunden werden, stellt die Werteübereinstimmung unabhängig von der Temperatur dar. Der Unterschied wird als absolute Differenz "Probenwert Minus Referenzwert" und als relative Abweichung angegeben. Das Symbol ρ steht für die Messgröße; mit "Signifikanz" wird ausgedrückt, um wieviele Male die absolute Unsicherheit größer ist, als der Unterschied von Mess- und Referenzwert.

• Einzelheiten zur Dichtemessung

• 35 Dichtemesswerte

Gesamte Dauer 2,1 Stunden; Temperaturverlauf im gesamten Zeitraum in etwa isotherm bei 25°C.

Diagramm Temperaturprofil:



Im Diagramm "Temperaturprofil", oben, wird eine Übersicht zum zeitlichen Verlauf der Vorgänge und der jeweils aufgezeichneten Temperatur gezeigt. Die Grafik hat informativen Charakter - sie dient der Rückkopplung und Zusammenfassung. -- Zur Bedeutung der eingezeichneten Symbole: Die Kreismarkierungen zeigen Temperaturmesswerte an, die kugelförmigen Marken stehen für Zeitpunkt und Temperaturzuordnung von Auftriebsmesswerten. Die x-Kreuze referieren die Zeitpunkte von Mengenbewegungen (Dosierungen und/oder Entnahmen) und je nach Methode zugleich die zur Operation gehörende Temperaturablesung (-> Volumen/Konzentrationsbezug); . Das Dreieck zeigt den Zeitpunkt, zu dem vom Prüfer die oben angegebene Anmerkung in das Protokoll eingetragen wurde.

•Datentabelle

Die nachfolgende Aufstellung gibt die Daten zu den Einzelergebnissen an.

N°	t[min]	T[°C]	ρ [g·cm ⁻³]	$\Delta\rho$ [g·cm ⁻³]	W [g]	ΔW [g]	Δt [s]	N
1.	5,1	24,98	0,9970919	0,0000000	40,1144	-	1,1	2
2.	7,1	24,99	0,9970899	0,0000000	40,1146	-	1,1	2
3.	8,2	25,00	0,9970899	0,0000010	40,1146	-0,0001	2,1	3
4.	8,8	24,99	0,9970918	0,0000000	40,1144	-	1,1	2
5.	9,9	24,99	0,9970879	0,0000000	40,1148	-	3,1	4
6.	22,0	24,99	0,9971710	0,0000000	40,1064	-	1,1	2
7.	22,6	24,99	0,9971690	0,0000000	40,1066	-	1,0	2
8.	23,2	24,99	0,9971700	0,0000000	40,1065	-	1,0	2
9.	25,2	25,00	0,9971710	0,0000000	40,1064	-	3,1	4
10.	25,8	25,00	0,9971690	0,0000000	40,1066	-	1,0	2
11.	38,5	25,00	0,9989808	0,0000000	39,9234	-	1,1	2
12.	39,3	25,00	0,9990016	0,0000000	39,9213	-	1,1	2
13.	39,8	25,00	0,9990025	-0,0000009	39,9212	0,0001	2,1	3
14.	40,9	25,00	0,9990035	0,0000000	39,9211	-	3,1	4
15.	41,4	25,00	0,9990035	0,0000000	39,9211	-	3,1	4
16.	56,5	24,98	1,0068290	0,0000011	39,1298	-0,0001	2,1	3
17.	57,0	24,98	1,0068300	0,0000000	39,1297	-	1,1	2
18.	57,7	24,98	1,0068290	0,0000001	39,1298	-	1,1	2
19.	58,2	24,98	1,0068300	0,0000000	39,1297	-	1,1	2
20.	58,8	24,98	1,0068290	0,0000001	39,1298	-	1,1	2
21.	74,4	25,01	1,0217550	-0,0000010	37,6205	0,0001	5,2	6
22.	78,2	25,01	1,0217530	0,0000000	37,6207	-	1,1	2
23.	79,9	25,01	1,0217570	-0,0000001	37,6203	-	1,1	2
24.	81,3	25,01	1,0217420	0,0000000	37,6218	-	1,1	2
25.	82,2	25,01	1,0217450	0,0000000	37,6215	-	1,1	2
26.	98,7	25,01	1,0448740	0,0000000	35,2828	-	1,1	2
27.	99,6	25,01	1,0448820	-0,0000020	35,2820	0,0002	2,1	3
28.	100,2	25,01	1,0449100	0,0000000	35,2791	-	1,1	2
29.	100,7	25,02	1,0449090	-0,0000001	35,2792	-	1,1	2
30.	101,4	25,02	1,0449110	0,0000001	35,2790	-	1,1	2
31.	116,2	25,00	1,0699320	0,0000000	32,7490	-	1,1	2
32.	119,9	25,00	1,0699340	0,0000010	32,7488	-0,0001	2,1	3
33.	121,5	25,00	1,0699330	0,0000000	32,7489	-	1,1	2
34.	122,0	25,00	1,0699350	0,0000001	32,7487	-	1,1	2
35.	126,6	25,01	1,0699350	-0,0000001	32,7487	-	1,1	2

In der Tabelle gibt die Spalte 't' den Zeitpunkt des Messwertes, 'T', die Temperatur und 'p' den Dichtewert an. - In der Aufstellung werden auch diagnostische Daten ausgegeben: In der Spalte 'Δp' wird ggf. die Änderung der Dichte während der Akquisitionszeit des Messwertes wiedergegeben; mit 'Δt' wird die Messdauer der jeweiligen Beobachtung bezeichnet. Mit 'W' wird der Wäge-Endwert wiedergegeben - in der Dokumentation entspricht er dem Wert 'W2' an welchem für 'W2*' Korrekturen (Meniskus) vorgenommen werden. Die Rubrik 'ΔW' gibt die zuvor eingetretene Änderung des Wägewertes wieder. Mit 'N' wird die Zahl der dabei aufgezeichneten Wägewerte angegeben. BEARBEITUNGSHINWEIS: Je nach 'Dokumentationszweck' kann die Stabilisier- oder Beobachtungsdauer, das Abklingen

dynamischer Veränderungen anzeigen (Wärmeaustausch), die Stabilität des Messwertes dokumentieren, bzw. Störungen anzeigen. Im Normalfall, jedoch, deutet eine längere Spanne mit entsprechendem Δp Probleme an, etwa, dass ein Wandkontakt auftritt, dass Strömungen wirken oder der Temperaturgradient zu groß ist und sich der Auftrieb spürbar ändert.

• Messkörper

Eingesetzter Messkörper 'Quarz-0703a', Masse $140,9169 \pm 0,00015 \text{g}$, Volumen^(25°C) $101,1026 \pm 0,00015 \text{cm}^3$, kubischer Ausdehnungskoeffizient $1,41 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$, Kompressionsmodul 0GPa <oder nicht gesetzt>. Die Druckangabe, die zur Vervollständigung des Ergebnisses oben angegeben ist, wird aus der Luftdichte bei der Angabetemperatur ermittelt ($\rho_{\text{Luft}} = 100 \text{kPa}$) und aus dem hydrostatische Druck ($\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 0,44 \text{kPa}$) der auf den Messkörper in der Eintauchtiefe von 45mm im Mittel wirkt.

• Messunsicherheit

Die Messauflösung der Wägeeinheit (0,1mg) erlaubt mit dem Messkörper und bei der Fluidichte die maximale Auflösung zu $0,0000010 \text{g/cm}^3$ (1,0ppm), die für die Messung angegebene Messunsicherheit der Wägung ($\pm 0,2 \text{mg}$) bedeutet messkörperbezogen $\pm 2,0 \cdot 10^{-6} \text{g/cm}^3$. Die Fehlerfortpflanzung der Messkörperdaten ergibt eine Unsicherheit von $\pm 1,5 \cdot 10^{-6} \text{g/cm}^3$. Entscheidend ist jedoch die Unsicherheit durch die Temperaturmessung: Bezogen auf die Dichte und Wärmeausdehnung von Wasser (Referenzwert) erlaubt die Messauflösung des Temperatursensors (0,01K) die Auflösung der Dichte zu $\pm 2,6 \cdot 10^{-6} \text{g/cm}^3$ anzugeben. Die einschränkend vorgegebene Unsicherheit der Temperaturmessung ($\pm 0,03 \text{K}$) bedeutet demnach eine Unsicherheit von $\pm 7,7 \cdot 10^{-6} \text{g/cm}^3$. Insgesamt wird somit die Messunsicherheit der Dichtemessung zu $\pm 8,1 \cdot 10^{-6} \text{g/cm}^3$ bestimmt.

• Technisches Verfahren

Die Werte wurden mit der genauen Methode (Meniskuseliminierung, imeter-Patentverfahren) bestimmt, wodurch also die einzelnen Auftriebsmessungen voneinander unabhängig sind und systematische Fehler durch die Messkörperaufhängung/Phasengrenze sowie durch die Eintauchtiefe ausgeschlossen werden. -- Die Absenkung des Messbehälters vor der Auftriebsmessung von 1,941mm führt mit der Querschnittsfläche der Aufhängung ($\varnothing = 0,0314 \text{mm}^2$) zu einer Korrektur der Auftriebskraft über das Volumen $0,061 \text{mm}^3$ bei jeweiliger Flüssigkeitsdichte.

Anhand des dokumentierten Verfahrens, des Temperaturgangs, der Ausgabe der Tabelle, der Messkörperdaten und der evaluierten Unsicherheiten (insbesondere derer, die erst durch den Temperaturgang des Messgegenstand offenbar werden) werden in diesem Bericht Informationen ausgegeben, die die Überprüfung der Einzelwerte und Schlussfolgerungen ermöglichen. Ergebnisse in prinzipiell höherer Qualität zu erhalten, ist schlicht undenkbar.

• Datenbankvergleich zum Anfangswert (ρ°)

1. Wasser ¹	0,997048	0,0%
2. Wasser, SMOW ¹	0,997048	0,0%
3. Wasser, Augsburg, Dest. ¹	0,997043	0,0%
4. Wasser (40°+) ¹	0,997163	0,0%
5. Morpholin ²	0,9959	0,1%
6. "Diol 1" ¹	1,000603	0,4%
7. TEGO Polyether ¹	1,00500	0,8%
8. Liquor cerebrosppinalis ²	1,007	1,0%
9. Skydrol LD-4 ¹	1,00801	1,1%
10. 2-Nitropropan ²	0,9835	1,4%
11. Ethanolamin ²	1,0136	1,7%
12. Pyridin ¹	0,9786	1,9%
13. ProCell ¹	1,0237	2,7%
14. Methylformiat ²	0,9672	3,0%

¹: Für 25,00°C berechneter Referenzwert, ²: Tabellierter Referenzwert.
(Auswahl nur aus Referenzdaten, Stand 30.05.06)

Die Liste wird in fallender Reihenfolge der Übereinstimmung aus den besten Treffern in den Einträgen der Referenzdatenbank generiert. Die Vergleichsdaten werden in der Präzision der jeweiligen Eintragsangabe formatiert und die relative Abweichung zum Angabewert der Messung angegeben. BEARBEITUNGSHINWEIS: Die Herkunft bzw. Richtigkeit der jeweiligen Referenzdaten sowie ggf. Zusatzinformationen kann über den Vermerk zur Substanz in der Referenzdatenbank geprüft werden.

In diesem Bericht werden nicht alle verfügbaren Diagramme ausgegeben. Sie können die Ausgabe der Grafiken durch Aktivierung der entsprechenden "Checkboxen" (unter der Registerkarte "Optionen") bewirken.

Nicht angezeigte Charts: Diagramm 2, "Dichte-Temperaturverlauf", zeigt die 35 Dichtemesswerte in Temperaturabhängigkeit an. Je nach den gewählten Messumständen bzw. Einstellungen können Temperaturabhängigkeit mit Referenzvergleichen abgebildet werden. Mit Diagramm 3, "zeitliche Entwicklung", werden Messwerte in zeitlicher Form angezeigt. Bei isothermen Bedingungen und längeren Messzyklen können Verläufe beobachtet werden, die die Stabilität der Probe oder der Messbedingungen zur Anzeige bringen. Der temperaturkompensierte Verlauf der Referenz zu "Wasser" wird parallel zu den Messwerten angezeigt.

Berichtseinstellungen - aktivierte Ausgabeeinstellungen: Datenbankvorschläge anzeigen, Erläuterungstexte, Detaillierte Ergebnisse, Allgemeine Angaben, Vergleichsanalyse, Bearbeitungshinweise, formatierte Tabellen, Audit-Trail, Prüfmittelüberwachung, Online-Protokoll, Status und Ausführungshinweise, Berichtseinstellungen, Authentifizierungen.

Form und Informationsfülle des Prüfberichts ist dadurch bedingt, dass Messdaten durch die zahlreichen Freiheitsgrade sehr vielgestaltig auftreten können. Die Variablen der Messung müssen vollständig dargestellt werden können und so verifizierbar sein. Vollständigkeit ist Voraussetzung für die Überprüfbarkeit und Haltbarkeit der Resultate sowie abgeleiteter Schlussfolgerungen. Nicht zuletzt erfordern einschlägige Bestimmungen (GxP, FDA cfr. 11/21 etc.), zusammen mit schlicht zeitökonomischen Erwägungen, diesen hiermit großteils erledigten Aufwand. [Prüfberichte, wie dieser, werden dynamisch aus Metadaten erzeugt und benötigen daher sehr wenig Speicherplatz in der Datenbank]. Bei Routinemessungen und/oder für die evtl. parallel noch papierne geführte Ablage, sollten die Prüfberichte zur Ressourcenschonung durch entsprechende Einstellungen der Formatier- und Ausgabeeinstellungen auf das Wesentliche gekürzt werden. Das ganze 'File' inklusive der zu Grunde liegenden Rohdaten ist stets über die ID (hier Nummer 7277, Datenbank imeterData14) auffindbar und als Referenz oder Vergleich nutzbar. Ggf. nachfolgende ausgegebene Informationen enthalten, je nach Einstellungen und Berichtsvorlage (Stil = 'bauhaus'), verschieden detaillierte Begleitinformationen, wie

Programmausführung & Audit-Trail

Für diese Messung wurde das Messprogramm "DKonz_Cowboy" ausgeführt. Zeitraum der Messung, am 08.05.06 zwischen 18:51:19 und 20:58:48, Laufzeit 2,1 Stunden. Eine detaillierte Ablaufdokumentation wurde nicht aufgezeichnet. Auf ein zusätzliches Protokoll wurde auch verzichtet. Die Messung wurde programmgemäß ausgeführt. Das Ergebnis wurde erstmals am 08.05.06 um 20:59 zur Ansicht gebracht. Die Originaldaten sind unverändert.

Unter dem Eintrag 7277 ist der Datensatz in der Datenbank 'imeterData14' wieder auffindbar.

Prüfmittel

Die Wägeeinheit (WZ224-CW) wurde zuletzt 41,0 Sekunden nach dem Beginn dieser Messung von imeter bei einem 1-Tage Intervall der Prüfmittelüberwachung justiert. Die letzte vollständige Überprüfung/Justierung der Positioniervorrichtung von imeter (ID16405542) erfolgte am 06.01.05. Systemdaten: Auflösung des Wägesystems 0,1mg, Messunsicherheit^{*)} 0,2mg, Dichte der Justiermasse^{*)} 8,000 g/cm³, Luftdichte^{*)} 1,2kg/m³, Umrechnungen von Masse nach Kraft mit dem Wert 9,80769m/sec² für die Fallbeschleunigung^{*)}. Die Messauflösung der Temperaturmessung beträgt 0,01K, die Unsicherheit^{*)} 0,03K. Akquisitions-Softwareversion imeter 4.1.110, LizenzN° *3037-4759*, Windows 5.1- Betriebssystem auf PC Ser.N°143431694 (C, iTop).

^{*)}: Die gekennzeichneten Angaben der Systemdaten können nachträglich angepasst werden - etwa um individuelle Messunsicherheiten der Fühler wirksam werden zu lassen. Änderungen auch an diesen Daten werden im Audit-Log protokolliert und können zurückgenommen werden.

automatische In-Process-Justierung:

Zeit: 1,5 [min] Korrektur: 0,0022 [g]

Die während der Messung automatisch ausgeführten Wägezellen-Justierungen sind mit relativem End-Zeitpunkt und korrigierter Abweichung oberhalb dokumentiert (die kompletten Halbier- und Justierprotokolle sind in der Datei 'imeterData14.cal' gesondert gespeichert).

Kommentar: < **Vergleich mit Referenzdaten: CRC Handbook (75.th) 6-13, Rogers & Pitzer (J.Phys.Chem.Ref.Data, 11, 15, 1982), ibid bzgl.der Angaben zum spezifischen Volumen wässriger NaCl-Lösungen bei 25°C in Abhängigkeit von der Molalität. Der Vergleich findet über die in Masse% umgerechneten Konzentrationen und über die Werte, die dazu aus der automatisch ermittelten Gleichung zur jeweiligen Konz. erhalten werden, statt:**

c=0,1mol/kg (0,58100 %m/m):	ref.:1,00117, n.d.Gl I: 1,00116 g/cm ³	=> Abw.: -0,00001 g/cm ³
c=0,25mol/kg (1,43996 %m/m):	ref.:1,00722, n.d.Gl I: 1,00718 g/cm ³	=> Abw.: -0,00004 g/cm ³
c=0,5mol/kg (2,83904 %m/m):	ref.:1,01710, n.d.Gl I: 1,01705 g/cm ³	=> Abw.: -0,00005 g/cm ³
c=0,75mol/kg (4,19896 %m/m):	ref.:1,02677, n.d.Gl I: 1,02673 g/cm ³	=> Abw.: -0,00004 g/cm ³
c=1mol/kg (5,52133 %m/m):	ref.:1,03623, n.d.Gl I: 1,03620 g/cm ³	=> Abw.: -0,00003 g/cm ³

Die absolute Standardabweichung der Gleichung Gl.I gegen die Messwerte ($\pm 7,9 \cdot 10^{-5}$ g/cm³) ist deutlich größer als die Abweichung gegen die Referenzwerte. > Kommentar

Per "Kommentar" können Dokumentationen frei mit beschreibenden Texten versehen werden. Hier eingebrachte Eingaben oder Änderungen werden nicht über das "Audit-Log" verwaltet. (Falls eine z.B. rechtlich wichtige Bemerkung mit Zeit und Name rechtlich verbindlich festgehalten werden sollte, dann sei diese über das "Bemerkungsfeld" im Datenblatt eingetragen.)

imeter
intelligent, integriert,
automatisiert -
physikalische Messtechnik
verfeinert, kombiniert und
zusammengefasst -
ein besseres Messgerät für

- ◆ Flüssigkeitsdichte
- ◆ Festkörperdichte
- ◆ Oberflächenspannung
- ◆ Viskosität
- ◆ Sedimentation
- ◆ Konsistenz u.A.

Kreative Freiräume
einfache Handhabung
Überlegene Technik



Weitere Beispiele zur Dichtemessung (Weblink):

http://www.imeter.de/interim/2_DichteFL#Beispiele

Allgemeine Infos über die Dichte (Weblink):

http://www.imeter.de/interim/2_DichteFL_A.htm

Übersicht zu imeter (PDF-Dokument):

<http://www.imeter.de/download/imeter-kompakt.pdf>

Wir setzen imeter auch gerne für Messungen & Auftragsuntersuchungen ein. Warum probieren Sie es nicht einfach aus?

©2006 imeter/MSB Breitwieser MessSysteme
Verantwortung: Michael Breitwieser,
Morellstrasse 6, D-86159 Augsburg
Tel. (+49)0821/706450, Fax 0821/7473489
<http://www.imeter.de>