

Feststoffdichte und Dilatation

- Edelstahl -

Ein einfach zu handhabendes, zeitsparendes, aber ultragenaueres Verfahren, um auch über lange Fristen und Temperaturspannen hinweg korrekt die Dichte zu messen. Das Auslöschverfahren bzw. *Methode der Meniskuseliminierung* wird hier eingesetzt, um die Dichte von Wassereis, welches unter dem Lösemittel gefroren wurde, eines spezifizierten Edelstahls in Temperaturabhängigkeit zu bestimmen – die Messung der Wärmedehnung.

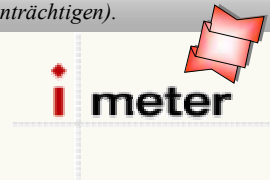
Da durch die Differenzmessungen sämtliche Driftstörungen beseitigt werden und durch die Eliminierung des *Meniskusgewichts* die andere wesentliche Quelle systematischer Fehler aufgehoben ist, erlaubt die Methode sehr sicher und genau, Dichte und Wärmedehnung zu bestimmen. Zusätzlich finden im Messablauf Justierungen der Wägezelle statt.

Die Messung wurde in einem Temperiergefäß ausgeführt. Das Mess-Wasser wurde in den Temperierphasen mit dem integrierten Rührwerk umgewälzt. Natürlich, die Messung läuft vollautomatisch; dabei steuert *imeter* auch einen Ministat -Thermostaten (Peter Huber Kältemaschinenbau GmbH, Offenburg - www.huber-online.com) - für die exakte Temperierung.

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 sind.

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).



imeter V.4.10 rev.24

automatischer Bericht (BC44A2M16312B), imeter/MSB, Augsburg am 24.04.06

ID N° 7246 - Feststoffdichte & Dilatation

ausgeführt am Dienstag, 11 April 2006, von imeter

Titel: Edelstahl - Dilatation

Bemerkung:

Messung unter Abkühlung in entgastem Wasser; Körper an Wolframbügel. Stoff/Prüfkörper Angaben: Remanit 1.4571 (ThyssenKrupp), Kurzname (EN) X6CrNiMoTi 17122, (ASTM) 316 Ti, Austenitischer Stahl; Zusammens.: 0.08% C, 18.5% Cr, 2.5% Mo, 13.5% Ni, 0.7% Ti

Ergebnis: $\rho^{25,00^{\circ}\text{C}} = 7,9307\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}, \kappa = 49,6\cdot 10^{-6}\cdot\text{K}^{-1}$
gemessen in Wasser, Augsburg, Dest.

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 Berichtsausgabe 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.*

Zum angewandten Messprinzip: *Die hydrostatische Methode beruht darauf, dass ein Körper, der in einer Flüssigkeit untergetaucht wird, um genau den Betrag leichter erscheint, der seinem Volumenäquivalent als 'Flüssigkeitsgewicht' entspricht. Über die Dichte der Flüssigkeit, die für die Auftriebskraft verantwortlich ist, wird so das Volumen des Körpers bestimmt. Die Masse wird aus der Wägung ermittelt und das Verhältnis von Masse und Volumen ergibt die Dichte.*

• Vergleichsanalyse zu X6 CrNiMoTi 17 12 2

	Referenzwert	Messung	Abweichung absolut	relativ	Signifikanz
ρ	7,98	7,93	-0,05g·cm ⁻³	0,6%	167
$^{-\Delta\rho/\Delta T}$	395	393	-2 g·m ⁻³ ·K ⁻¹	0,5%	@

Referenz "X6 CrNiMoTi 17 12 2", Bezugstemperatur = 25,00°C. Zum Datenvergleich wurde das genauere Messergebnis auf die Präzision der Referenzangabe um zwei Stellen gekappt. Die Datenbank liefert mit **Stahl, Typ 304**, 7,9g·cm⁻³, einen ähnlichen, ggf. geeigneteren Wert, der Unterschied zum Messwert beträgt gleichwohl 0,03g·cm⁻³.

Der Ergebnisvergleich mit den Angaben, die in der Referenzdatenbank zu 'X6 CRNIMOTI 17 12 2' 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, $^{-\Delta\rho/\Delta T}$ für den Temperaturkoeffizienten; mit "Signifikanz" wird ausgedrückt, um wieviele Male die Messunsicherheit größer ist, als der Unterschied von Mess- und Referenzwert. Das Zeichen "@" bringt zum Ausdruck, dass bei der jeweiligen Größe kein signifikanter Unterschied von Mess- und Referenzwert auftritt. Die Aussagefähigkeit der Signifikanz bei der Bewertung der Temperaturabhängigkeit hängt stark davon ab, dass ein hinreichend großes Temperaturintervall durchgemessen wird.

In folgender Zusammenstellung werden die Ergebniswerte der Messung präsentiert. Die den Zahlenwerten beigeordnete Messunsicherheit ist ohne Erweiterungsfaktor ($k=1$) als Absolutwert und als relative Unsicherheit gegeben. Die Unsicherheit der Ergebnisse wird aus den Angaben über die Dichte des Messfluids, der Unsicherheit der Fluidichte, der Messunsicherheit der Kraft(und Temperatur-)messung sowie dem ermittelten Ergebnis (Masse und Volumen der Probe) - auch im Hinblick auf angebbare Präzision - berechnet (Gauss).

• Ermittelte Probandaten

(Dichte, Volumen, Wichte, spez. Volumen und Koeffizienten sind für 25,00°C angegeben.)

Dichte	$\rho = 7,9307$	$\pm 0,0003$	g/cm³	40ppm
Temperaturkoef. $^{-\Delta\rho/\Delta T}$	$k = 393$	$\pm 72,6$	g/m³·K⁻¹	20%
Ausdehnungskoeff.	$\alpha = 49,6$	$(\alpha = 16,5)$	10⁻⁶·K⁻¹	
Volumen	$V = 18,6546$	$\pm 0,0007$	cm³	40ppm
Masse	$m = 147,9439$	$\pm 0,0002$	g	1ppm
Wägewert	$W = 147,9437$	$\pm 0,0002$	g	
- alternative Größen, nicht SI-Einheiten -				
Gewicht	$G = 1450,768$	mN	147,9372p	
Wichte	$\gamma = 7,9315$	p/cm³	77,782mN/cm ³	
relative Dichte	$\rho_w = 7,9309$	$\rho_4^{25,00}$		
spez. Volumen	$v_s = 0,12609$	cm³/g		
Volumen	$V_L = 18,6550$	mL		

Die Aufstellung gibt Materialeigenschaften zusammen mit individuellen Probandaten aus. Zur isobaren thermischen Wärmedehnung werden drei Kennzahlen angegeben: Der Temperaturkoeffizient der Dichte ($^{-\Delta\rho/\Delta T}$), der kubische Ausdehnungskoeffizient (κ) und, in Klammern, der lineare Ausdehnungskoeffizient (α), da er nur bei isotropen Stoffen aus der Volumenänderung angegeben werden kann. In die Berechnungen fließen ein, die Angabe zur Luftdichte $\rho_{Luft}=1,2\text{kg/m}^3$, zur Fallbeschleunigung $g=9,80769\text{m/s}^2$ sowie zur Temperatur $T=25^\circ\text{C}$. Die Temperaturangabe ist über die Wirkung auf die Dichte des Messfluids, 'Wasser, Augsburg, Dest.', für die Ergebnisberechnung von doppelter Wichtigkeit. Mit 'Wägewert' wird der Wert angegeben, den eine Waage zeigt, die mit einem Massestück von 8,000g/cm³ justiert ist. Der Unterschied von Wägewert und Masse wird mit der Luftdichte umso größer, je mehr die Dichte des Justiergewichts der Waage von der Probandichte abweicht. Das 'Gewicht' wird als wirkende Gewichtskraft, korrigiert um den Luftauftrieb des Volumens angegeben ($G = m \cdot g - V \cdot \rho \cdot g$). Im Angabewert 'Wichte' (spezifisches Gewicht) geht über die Gewichtskraft die lokale Erdanziehung ein; der Wert ist berechnet nach $\gamma = \rho \cdot g / 9,80665$ ('Pond': 1p = 9,80665mN). Die dimensionslose 'relative Dichte' (=Dichtezahl) ist bezogen auf Wasser bei 4°C ($\rho = 0,999975\text{g/cm}^3$) und ist als Vergleichsgrößenangabe zu älteren Quellen hilfreich, denn die Wasserdichte bei 4°C ist ein relativ verlässlicher Bezug. Der Wert entspricht (normalerweise) der 'specific gravity'. Die Dichte von Wasser zwischen 3,9°C und 4,1°C unterscheidet sich kaum, so dass auch die historisch erfolgten ITS-Anpassungen beim Abgleichen kaum ins Gewicht fallen. Das spezifische Volumen ist die reziproke Dichte ('wieviel mL davon ergeben ein Gramm'). Zur Vollständigkeit wird das Volumen in der alten Hohlmaß- Einheit 'Liter' bzw. Milliliter nach alter Definition mitangegeben (Bezug auf das Volumen von 1kg Wasser bei 4°C).

Es besteht kaum ein Unterschied von Masse und Wägewert, die Probe hat nahezu die Dichte des Justiergewichts.

Die Dichtangabe wurde aus dem Temperaturverlauf der Einzelergebnisse ermittelt, ebenso die Angaben zur Wärmedehnung. Die Standardabweichung der Schätzung im Bezug auf die Messwerte beträgt absolut $2,61 \cdot 10^{-4} \text{g/cm}^3$, Grundlage ist die Regressionsgleichung:

$$\rho(T) = f(\zeta[^\circ\text{C}]) = 7,9404 - 4,176E-4 \cdot \zeta + 8,89E-6 \cdot \zeta^2 - 4,7E-7 \cdot \zeta^3 + 6E-9 \cdot \zeta^4$$

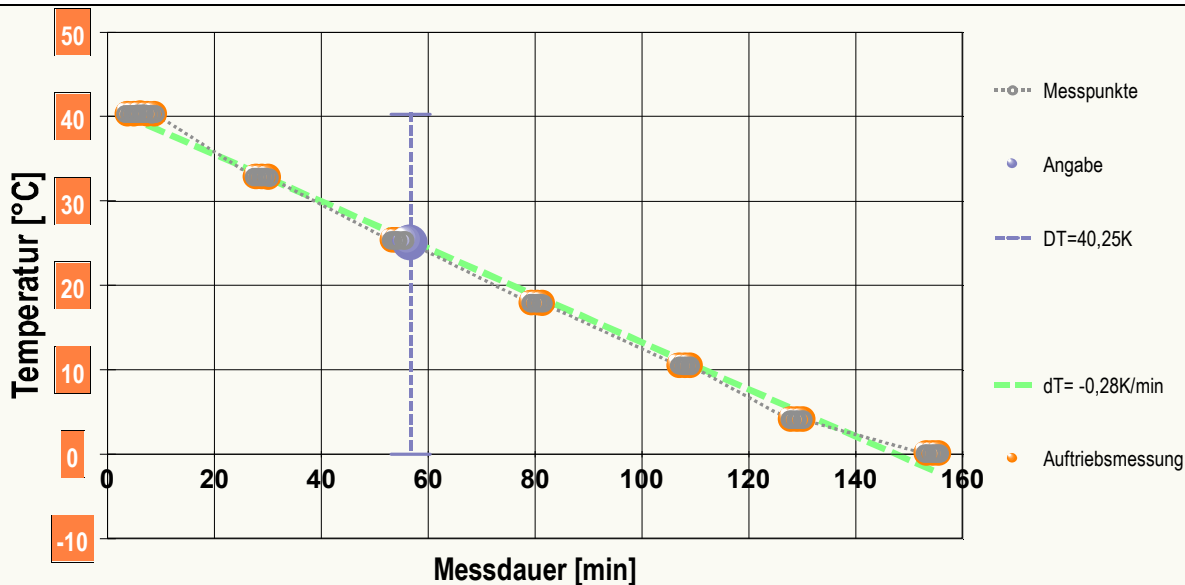
Die Qualität der Schätzung, gemäß Korrelationskoeffizient, $r^2=0,99952$, ist *ziemlich gut*. Da die Streuung kleiner ist, als die Fehlerschätzung, kann von einer formalen Richtigkeit der Messung ausgegangen werden. Die Temperaturkoeffizienten sind im Verlauf nicht konstant.

Der Temperaturkoeffizient wurde aus einer Regression über die Differenzenquotienten ermittelt. Einzelheiten dazu folgen am Ende des Berichts.

• 23 Dichtemesswerte

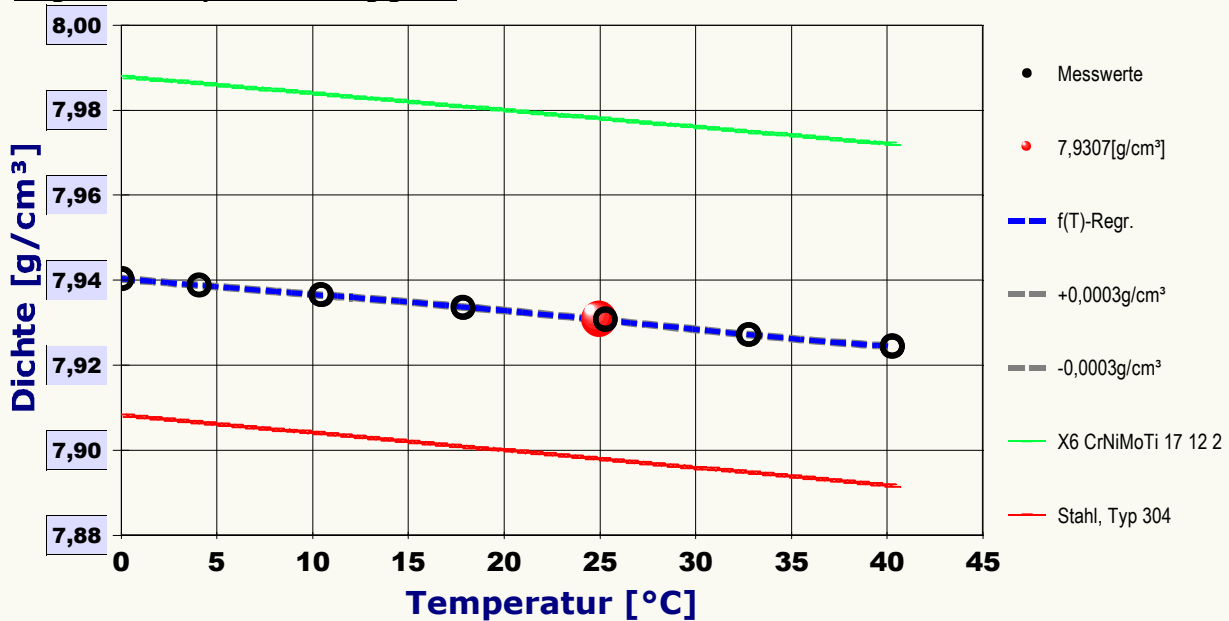
gesamte Dauer 2,6 Stunden; stufig abfallender Temperaturverlauf der Messwerte, sieben Temperierstufen; im Mittel 6,7K Temperaturunterschied je Niveau und mit jeweils rund drei Messwerten besetzt.

Diagramm 'Temperaturverlauf und Ereignisse'



Im Diagramm "Temperaturverlauf und Ereignisse" wird eine Übersicht zum zeitlichen Verlauf der Vorgänge und der dabei gemessenen Temperatur gezeigt. Die Grafik hat zuerst informativen Charakter - sie dient der Rückkopplung und Übersicht. -- Zur Bedeutung der eingezeichneten Symbole: Die Kreismarkierungen zeigen die Temperaturmessungen an, die kugelförmigen Marken stehen für Zeitpunkt und Temperaturzuordnung von Auftriebsmesswerten. Anzeige von Zeitpunkt und Temperatur der Ergebnisangabe durch eine Kugel sowie die aufgetretene Temperaturspanne durch den senkrechten Strich.

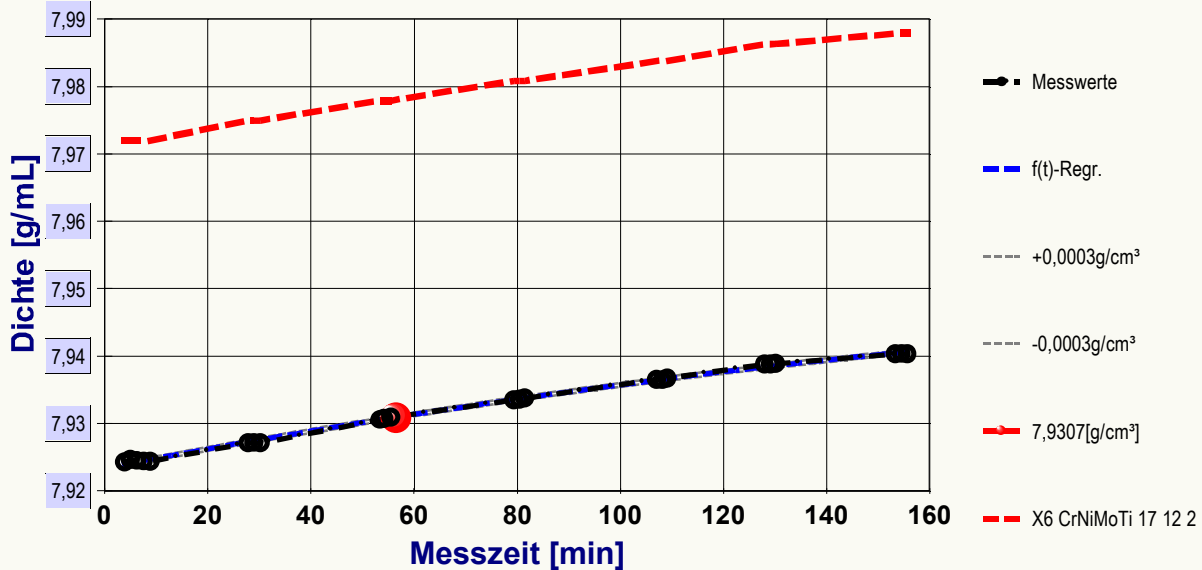
Diagramm 'Temperaturabhängigkeit'



Das Diagramm, "Temperaturabhängigkeit", oben, zeigt die 23 Dichtemesswerte als Kreissymbol in Temperaturabhängigkeit an. Es werden Messwerte bzw. der Angabewert mit einem Bereich der Unsicherheit in Form einer gestrichelten Linie eingefasst. Je nach Vorhandensein wird der Verlauf der Regressionsfunktion zu den Messwerten gezeigt, entsprechende Referenzwerte bzw. der Stoff mit der besten Übereinstimmung.

Im Diagramm zur Temperatur- und Zeitabhängigkeit ist der Werteverlauf von "X6 CrNiMoTi 17 12 2" entsprechend der Referenzdaten eingezeichnet. Im oberen Schaubild ist daneben noch der Datenbank-Stoff mit der ähnlichsten Dichte bei 25,00°C markiert ("Stahl, Typ 304"). Die für den Prüfkörper berechnete Messunsicherheit wird durch die Breite der Schraffur für den Referenzverlauf als Dichtebereich ausgewiesen - auch wenn diese wegen der Skalierung als Bereich unsichtbar ist. (Die vorhandene Unsicherheit der Referenzangabe wird im Diagramm nicht dargestellt.)

Diagramm 'Dichte-Zeitverlauf'



Im Diagramm, "Dichte-Zeitverlauf", oben, sind die einzelnen Messwerte als Kreissymbole in zeitlicher Sequenz abgebildet. Um die Ausgleichsfunktion bzw. die Messwerte ist der Unsicherheitsbereich eingezeichnet.

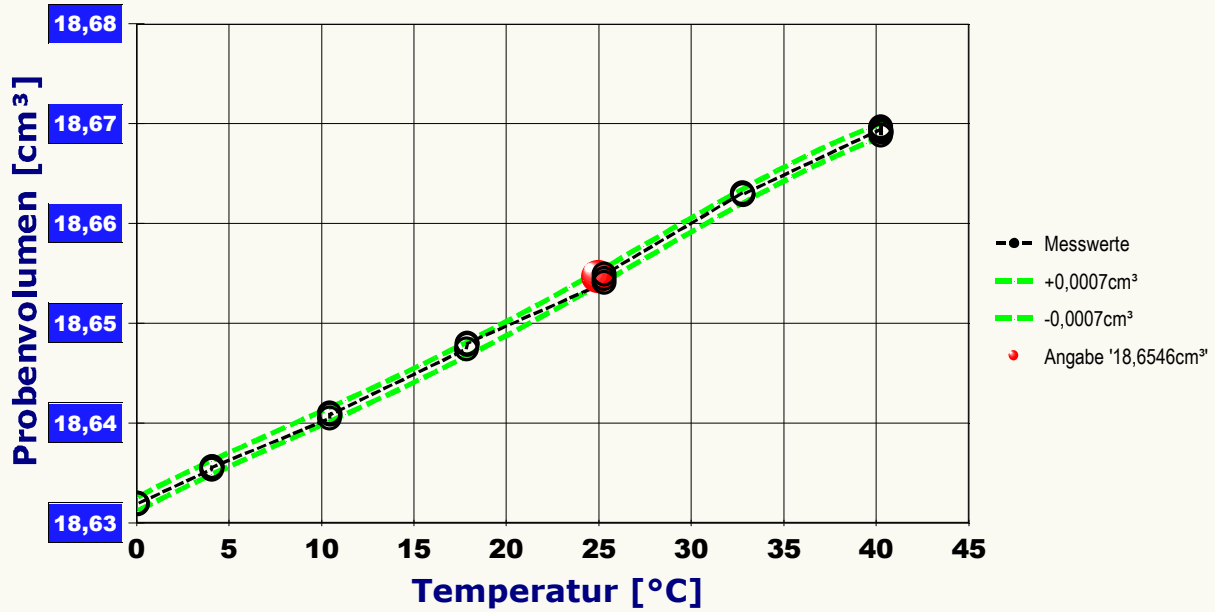
Tabelle der Detaildaten:

N°	Zeit	T	ρ_{FI}	ρ_{Probe}	V_{Probe}	$\Delta t_{Akqu.}$	ΔT	$\Delta \rho_{Probe}$	N
1.	3,9	40,26	0,992114	7,92429	18,66967	1,2	-	-	2
2.	5,0	40,26	0,992114	7,92464	18,66884	1,8	0,00	4,3E-5	3
3.	6,2	40,29	0,992102	7,92451	18,66916	3,0	0,00	8,5E-5	4
4.	7,6	40,26	0,992114	7,92442	18,66936	1,2	-	-	2
5.	8,8	40,26	0,992114	7,92438	18,66946	3,6	-	-	4
6.	27,9	32,81	0,994763	7,92714	18,66296	0,6	-	-	2
7.	28,9	32,80	0,994766	7,92717	18,66290	4,2	0,00	1,3E-4	5
8.	30,1	32,76	0,994779	7,92709	18,66307	5,4	-0,01	6,0E-5	6
9.	53,4	25,29	0,996968	7,93057	18,65489	1,2	-	-	2
10.	54,2	25,29	0,996968	7,93074	18,65448	0,6	-	-	2
11.	55,5	25,29	0,996968	7,93092	18,65407	1,2	-	-	2
12.	79,4	17,88	0,998615	7,93350	18,64799	1,2	-	-	2
13.	80,3	17,88	0,998615	7,93355	18,64788	5,4	-	-	6
14.	81,4	17,84	0,998622	7,93374	18,64744	1,2	-	-	2
15.	107,1	10,48	0,999653	7,93654	18,64085	1,2	-	-	2
16.	108,2	10,45	0,999656	7,93648	18,64100	1,2	-	-	2
17.	109,1	10,44	0,999656	7,93670	18,64047	2,4	-	-	3
18.	128,0	4,10	0,999968	7,93879	18,63558	1,2	-	-	2
19.	129,1	4,07	0,999968	7,93879	18,63558	4,2	0,00	4,3E-5	5
20.	130,2	4,06	0,999968	7,93888	18,63537	1,2	-	-	2
21.	153,3	0,06	0,999840	7,94034	18,63194	1,2	-	-	2
22.	154,5	0,05	0,999839	7,94037	18,63186	3,6	-	-	4
23.	155,6	0,04	0,999838	7,94033	18,63197	1,2	-	-	2

Die Tabelle listet die wesentlichen Daten in der Akquisitions-Reihenfolge nummeriert auf. Von links nach rechts: **Zeit** gibt den Zeitpunkt des Messwertes ab Beginn des Ablaufs in Minuten an, **T** die Temperatur in Celsiusgraden und ρ_{FI} die zugehörige Dichte von **'Wasser, Augsburg, Dest.'** in g/cm^3 , die den Massstab der Messung darstellt. Die dazu ermittelte Probendichte ρ_{Probe} , ist ebenfalls in der Einheit g/cm^3 gegeben. **V** ist das Volumen der Probe bei der Temperatur in cm^3 , die aus dem Auftrieb gemäß der Flüssigkeitsdichte berechnet ist. Die Auftriebskraft kann sich durch verschiedene Effekte verändern, insbesondere durch Temperaturangleichung (Konvektion, Volumen Anpassung) oder Quellung, Auflösung. Die Verfolgung - als Stabilitätskriterium des Messwertes - wird über die Zeitdauer $\Delta t_{Akqu.}$ die in Sekunden angegeben ist. Im selben Zeitraum kann sich die Temperatur ändern (Angabe ΔT in Temperaturgraden) und auch die Dichte der Probe $\Delta \rho_{Probe}$ (wobei die evtl. vorliegende Änderung der Flüssigkeitsdichte hier nicht ausgegeben wird). Temperatur, Dichte und Volumenangaben der ersten Spalten stellen jeweils die Werte am Ende der 'Beobachtungsdauer' dar. **N** gibt die Anzahl der aufgenommenen Messwerte zur Auftriebskraft an. Dichte und Volumen werden um eine Dezimale genauer ausgegeben, um Trends anzuzeigen. Die Δ -Angaben zu Temperatur, Dichte über die registrierte Beobachtungsdauer $\Delta t_{Akqu.}$ helfen eventuelle Störungen beim Messablauf zu finden. Ein rel. großer Zeitraum ist bei einem Gleichgewichtsverfahren der Auftriebsbestimmung ein Hinweis auf Probleme, z.B. Wandkontakt, Quellung, Auflösung oder Wärmeaustauscheffekte und kann im anderen Fall die Stabilität der Wägung anzeigen.

BEARBEITUNGSHINWEIS: Die Tabelle kann per "Paste und Copy" sehr einfach z.B. nach Excel transferiert um ggf. dort weiterbearbeitet zu werden. Ebenso, die Daten, die in ungekürzter Präzision hinter den Diagrammen stehen, sie können aus dem Diagrammfenster geordnet und als Zahlenwerte (und/oder als Bild) einfügbar in die Zwischenablage übernommen werden.

Diagramm 'absolutes Volumen'



Die Darstellung, "absolutes Volumen", oben, zeigt die Entwicklung des Probenvolumens im Verlauf der Messung. Neben den als Kreise eingetragenen Werten, ist die Unsicherheit des Volumens durch gestrichelte Linien abgebildet. Der angegebene Volumenwert ist als Kugel eingetragen.

• Thermische Volumenentwicklung

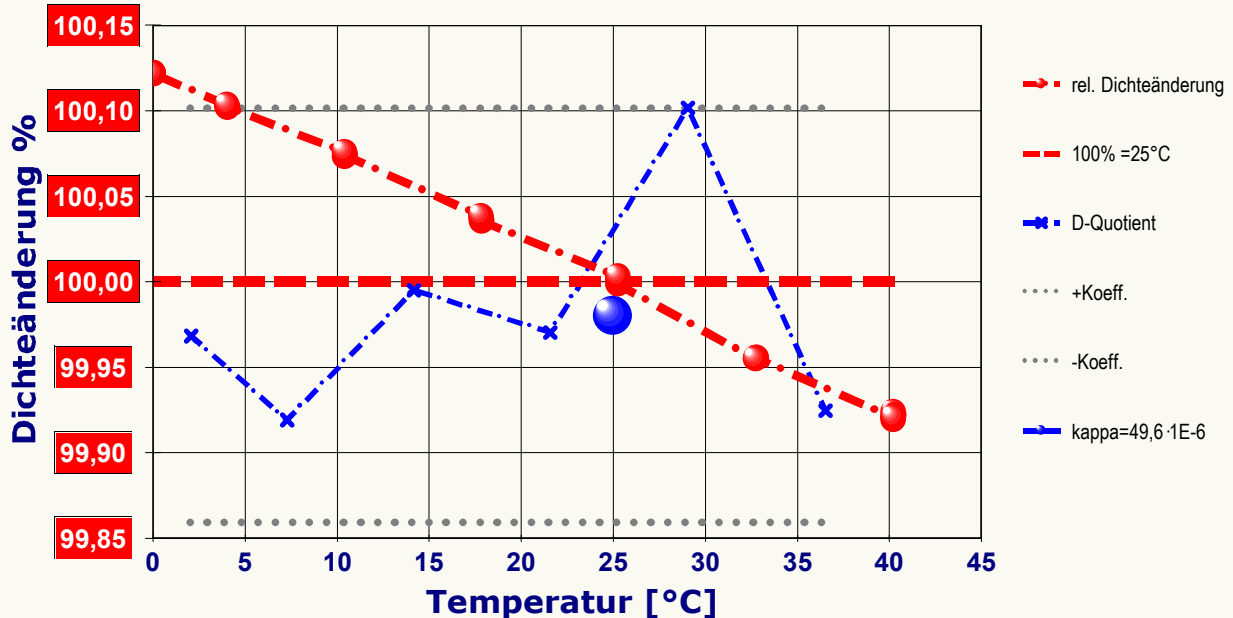
Die Entwicklung des Probenvolumens mit der Temperatur wird durch die folgende Gleichung beschrieben:

$$V_T[\text{cm}^3] = f(\zeta[^\circ\text{C}]) = 18,6318 + 0,00098032 \cdot \zeta - 2,088 \cdot 10^{-5} \cdot \zeta^2 + 1,10 \cdot 10^{-6} \cdot \zeta^3 - 1,5 \cdot 10^{-8} \cdot \zeta^4$$

Die Korrelation ist, wie bei der Dichte, ziemlich gut ($r^2 = 0,99952$), die Standardabweichung der Gleichung gegen die Messwerte beträgt absolut $3,31 \cdot 10^{-4} \text{cm}^3$ und relativ 18ppm. In diesem Fall wurde die unerwartet große Streuung dazu verwendet, die Unsicherheit der Volumenangabe über diese Standardabweichung ($k=2$) festzulegen. (vgl. Diagramm *absolutes Volumen*.)

Die Fehlerangabe des Volumens wird sonst, analytisch, aus der Fehlerfortpflanzung ermittelt. Auf jedenfall besteht hier **Klärungsbedarf!**
BEARBEITUNGSHINWEIS: Die Behandlung des Volumens betrifft diejenigen Fälle, in welchen die Volumeneigenschaft bestimmter Prüfkörper in Frage steht. So kann mittels der Temperaturfunktion eine rationale Handhabung dieser individuellen Eigenschaft ermöglicht werden. -- Die Funktionsgleichung wird im Bewertungsschema nicht verwendet; allein die Standardabweichung dient zur Überprüfung und allfälligen Korrektur der Unsicherheitsannahme des Volumens. -- Die Dichtewerte werden jedenfalls aus den originären Volumendaten bestimmt.

Diagramm 'relative Dichteänderung'



Mit "relative Dichteänderung", das oberhalb gezeigt ist, wird die im Verlauf eingetretene Dichte-änderung in einer normalisierten Anzeige präsentiert. Neben der relativen Entwicklung der Dichte im Bezug auf den Angabewert wird das daraus hervorgehende Differential gezeigt. Gegenüber der ebenfalls abgebildeten Unsicherheit des Ausdehnungskoeffizienten zeigt der Verlauf ggf. nicht-lineare Verhaltensweisen unmittelbar. Die Skala ist ggf. sehr vergrößert, so dass an den im folgenden Text ausgegebenen Extremwerten, geprüft werden muss, ob tatsächlich eine bedeutende Änderung im Temperaturverlauf vorliegt.

• Thermodilatation

Für die Analyse wurden die Einzelwerte in jeweiligen Temperaturniveaus zu insgesamt sieben Gruppen zusammengefasst. Aus den daraus erhaltenen sechs Differenzenquotienten ($^{-\Delta\rho/\Delta T}$) wird, da keine taugliche Abhängigkeit festzustellen ist, der Mittelwert verwendet. -- Im Diagramm 'relative Dichteänderung' sind die Differenzenwerte, skaliert über die relative Dichteänderung, eingezeichnet und mit dem Fehlerbereich umfasst. Dieser Bereich ist über die Unsicherheit des Temperaturkoeffizienten bestimmt ($\pm 72,6\text{g/m}^3\cdot\text{K}^{-1}$), die selbst aus der Standardabweichung der Differenziale ermittelt und gesetzt wurde ($k=2$). -- Die Extremwerte der Temperaturkoeffizienten, wie in 'relative Dichteänderung' eingetragen, reichen von $357\text{g/m}^3\cdot\text{K}^{-1}$ bei $7,3^\circ\text{C}$ bis $466\text{g/m}^3\cdot\text{K}^{-1}$ bei $29,0^\circ\text{C}$. Die Maximal- und Minimumwerte des kubischen thermischen und isobaren Ausdehnungskoeffizienten (κ) betragen:

$$\begin{aligned} 7,3^\circ\text{C} & : \quad \kappa = 45,1 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1} \quad (\alpha \sim 15,0) \\ 29,0^\circ\text{C} & : \quad \kappa = 58,8 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1} \quad (\alpha \sim 19,6) \end{aligned}$$

Mittelwert \pm Standardabweichung von κ über den Temperaturbereich der 6 Werte:

$$2,1 \text{ bis } 36,5^\circ\text{C} : \quad \kappa = (49,6 \pm 4,6) \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1} \quad \alpha = (16,5 \pm 1,5) \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}.$$

Nur dann, wenn die Probe nicht anisotrop ist, kann der lineare thermische und isobare Ausdehnungskoeffizient (α) im benannten Bereich angenommen werden.

Anschaulich bedeutet α , dass sich ein Stab von einem Meter Länge pro Grad um $16,5\mu\text{m}$ ausdehnt; für eine Dehnung um 1mm wäre ein ΔT von $60,6$ Graden erforderlich.

• Auswertungshinweise

Messflüssigkeit 'Wasser, Augsburg, Dest.', Temperatur/Dichte-Daten wurden aus der Referenzdatenbank entnommen. Die Unsicherheit des Zahlenwertes der Flüssigkeitsdichte wurde individuell zur Messung angegeben. Die Flüssigkeitsdichte, $\rho_{\text{Fl.}}$, wurde demnach gemäß folgender Bestimmungsgleichung zur Temperatur berechnet:

$$\rho_{\text{Fl.}} = f(\zeta[^\circ\text{C}]) = (99983557,6 + 6766,661 \cdot \zeta - 901,5886 \cdot \zeta^2 + 9,517959 \cdot \zeta^3 - 0,1000876 \cdot \zeta^4 + 5,54\text{E-}4 \cdot \zeta^5) / 1\text{E}8, \text{ Unsicherheit } \pm 5 \cdot 10^{-6} \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}.$$

• Technik

Einsatz einer variablen Prüfkörperaufhängung. Zur Probenbefestigung wurden $0,1863\text{g}$ in der Messung untertauchendes Befestigungsmaterial mit der Dichte $18,7\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ bei 25°C - mit dem kubischen Ausdehnungskoeffizienten $12,9 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ - berücksichtigt. In der angewandten Patentmethode, dem Meniskuseliminierverfahren, wurde der Aufhängerquerschnitt mit $0,0314\text{mm}^2$ angegeben. Über den Niveauunterschied von durchweg $18,006\text{mm}$ zwischen Bezugskraft- und Auftriebskraft-Messung ergibt sich ein Beitrag von $0,57\text{mm}^3$ (\sim Mikroliter), um den der Volumenauftrieb korrigiert wird. Das Gewicht von Prüfkörper und Halterung (gesamt $148,13\text{g}$) wurde im Datenblatt angegeben.

Es wird eine Anzahl verschiedener Prüfkörperbefestigungen und Arbeitsmodi sowie Kombinationen daraus zur Messung angeboten. Aus diesem Grund ist die Angabe zur Rückkopplung über die eingesetzte Technik notwendig.

Die Tabelle unten zeigt die besten Hits in der Datenbank und deren prozentuale Abweichung zum Dichtemesswert. Einige der Referenzeinträge sind mit Zusatzinformationen versehen. Bei Mineralien werden oft die Mohs-Härte 'MH', Strichfarbe 'SF', metallischer/nichtmetallischer Glanz 'mG/nmG' u.a. Angaben ausgegeben. Bei Metallen und Legierungen werden einige spezifisch Angaben mitgeliefert, die bei gewissen Fragestellungen zur Identifizierung dienen können: 'M' = E-Modul [kp/mm^2], 'Ts' Schmelztemperatur [$^\circ\text{C}$], 'wLF' Wärmeleitfähigkeit [cal/cm s K], 'k' linearer thermischer Ausdehnungskoeffizient [$1\text{E-}6/\text{K}$], 'sW' spezifische Wärme [cal/K g], 'eLF' Elektrische Leitfähigkeit [m/Ohm mm^2] und 'RkT' Temperaturkoeff. des el. Widerstands [$1/\text{K}$] (Die angegebenen Einheiten sind leider veraltet). Es steht Ihnen frei die Referenzdaten entsprechend zu erweitern oder zu verändern, sodass Zusatzinformationen hier ausgegeben werden.

• Datenbankvergleiche

1. Stahl, CrNi ²	7,9	0,4%	
2. CrNi-Stahl ²	7,9	0,4%	7,8 bis 8,0
3. Stahl, Typ 304 ¹	7,9	0,4%	
4. X6 CrNiMoTi 17 12 2 ¹		7,98	0,6% (Remanit 4571: von ThyssenKrupp Datenblatt 01/04)
5. Eisen ¹	7,87	0,8%	*M 21550. Ts 1530. wLF 0,18. k 11,7. sW 0,11. eLF 10,3. RkT 6,57*
6. CrNi-Stahl ²	8	0,9%	7,8 bis 8,0
7. Eisen, Barren ¹	7,86	0,9%	wie auch C-Stahl
8. Stahl C 15 ¹	7,85	1,0%	*M 20800. Ts 1510. wLF 0,12. k 11,1. sW 0,11. eLF 9,3. RkT 5,7*
9. 41Cr4 ¹	7,84	1,2%	*M 20700. Ts 1490. wLF 0,1. k 11. sW 0,11. eLF 8. RkT -*
10. Stahl C 35 ¹	7,84	1,2%	*M 20600. Ts 1490. wLF 0,12. k 11,1. sW 0,11. eLF 8,6. RkT 5,2*
11. Zinnober ²	8,1	2,1%	SF rot, nmG aber auch auch mG, MH 2 - 6,5
12. Stahl, Nickel ¹	8,13	2,5%	
13. 36% Ni-Stahl ¹	8,13	2,5%	*M 14500. Ts 1450. wLF 0,025. k 0,9. sW 0,123. eLF -. RkT -*
14. Messing, weiss ¹	8,2	3,4%	

¹: Für $25,00^\circ\text{C}$ berechneter Referenzwert, ²: Tabellierter Referenzwert.
(Auswahl nur aus Referenzdaten, Stand 24.04.06)

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.

Berichtseinstellungen - aktivierte Ausgabeeinstellungen: Datenbankvorschläge anzeigen, Erläuterungstexte, Detaillierte Ergebnisse, Allgemeine Angaben, Vergleichsanalyse, alternative Einheiten, Zusatzinformationen, 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 (Falsifizierbarkeit). Vollständigkeit ist Voraussetzung für die Kontrollierbarkeit und Haltbarkeit der Resultate und abgeleiteter Aussagen. 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 den Daten erzeugt und benötigen daher sehr wenig Speicherplatz in der Datenbank]. Gleichwohl, bei Routinemessungen und/oder für die evtl. parallel noch papieren geführte Ablage, können Prüfberichte durch entsprechende Einstellungen der Formatier- und Ausgabeeoptionen oder durch manuelle Veränderung der Vorlage auf das Wesentliche eingekürzt und ausgedruckt werden. Das ganze 'File' inklusive der "Grund-Rohdaten" ist stets über die ID (hier Nummer 7246, Datenbank imeterData14) auffindbar und als Referenz oder Vergleich nutzbar. Ggf. nachfolgende ausgegebene Informationen enthalten, je nach Einstellungen und Berichtsvorlage (Stil = 'formal-i1'), verschieden detaillierte Begleitinformationen, wie die Angaben zur Ausführung der Messung, den Audit-Trail und Hinweise zur Prüfmittelüberwachung.

Programmausführung & Audit-Trail

Für diese Messung wurde das Messprogramm "**FK_Dichte_Ausdehnungskoeff**" ausgeführt. Zeitraum der Messung, am 11.04.06 zwischen 21:24:24 und 00:00:31, Laufzeit 156,1 Minuten. Eine Ablaufdokumentation wurde nicht aufgezeichnet. Auf ein zusätzliches Protokoll wurde auch verzichtet. Die Messung wurde programmgemäß ausgeführt. Das Ergebnis wurde erstmals am 12.04.06 um 00:10 zur Ansicht gebracht. Die Originaldaten sind unverändert. Unter der Nummer 7246 ist der Datensatz in der Datenbank '**imeterData14**' abgelegt.

Prüfmittel

Das Wägesystem (WZ224-CW) wurde zuletzt um 23:56, während 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 4.1.109, 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 und erneut berechnet werden.

automatische In-Process-Justierungen:

1.	Zeit: 1,0	[min]	Korrektur: -0,0016	[g]
2.	Zeit: 78,4	[min]	Korrektur: -0,0004	[g]
3.	Zeit: 106,4	[min]	Korrektur: -0,0004	[g]
4.	Zeit: 126,7	[min]	Korrektur: -0,0002	[g]
5.	Zeit: 152,2	[min]	Korrektur: -0,0001	[g]

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

„Der automatische Bericht zeigt eine Datenlage und interpretiert diese. Die „Datenlage“ ist die Folge dessen, was in einer Messung getan wurde bzw. wird und wie die Probe und Umstände interagieren. – Die Messung ist ein Vorgang dessen Ablauf und Randbedingungen in einem Skript formuliert sind. Mehr als zu wissen, was man erzielen will, braucht man kaum. Man entwerfe Regeln und sehe, wie die Materie reagiert! Die Sprache und die Techniken stehen bereit für genaueste, rückführbare, wohldokumentierte und wiederholbare Eigenschaftserfahrungen. -- Diagramme und auch der Bericht entstehen während der Messung in Echtzeit.

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

i meter

Weitere Beispiele zur Dichtemessung (Weblink):

http://www.imeter.de/interim/6_DichteFK.htm#Beispiele

Allgemeine Infos zum Thema Dichte & Messung (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>