

Messung von Dichte und Ausdehnungskoeffizient an 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. die *Methode der Meniskuseliminierung* wird hier eingesetzt, um die Dichte des spezifizierten Edelstahls in Temperaturabhängigkeit zu bestimmen. Da durch die Differenzmessungen sämtliche Driftstörungen beseitigt werden und durch die Eliminierung des *Meniskengewichts* 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 Messwasser wurde in den Temperierphasen mit dem integrierten Rührwerk umgewälzt. Die Messung lief vollautomatisch; dabei steuerte IMETER auch einen Ministat-Thermostaten (Peter Huber Kältemaschinenbau GmbH,) 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. Variabel sind ja nicht nur die Messdaten, sondern auch Umstände, Abläufe und die Eigenschaften der Normale. Daher verfügt IMETER zum einen über eine Modelliersprache, um Mess- bzw. Steuerungsverfahren zu gestalten („*was soll der Fall sein*“), zum anderen über analytische Fähigkeiten, um zu bewerten, *was der Fall* ist und um darüber in Berichten Rückkopplung zu geben.

IMETER spart sehr viel Arbeitszeit ein, indem nicht nur das Messen, Steuern und Regeln, sondern auch die beurteilungsreife Darstellung automatisiert ist!

Die Einstellungsvorgaben des Berichts bestimmen dabei Art und Umfang der Informationsdarstellung. Anhand eines vollständigen Berichts wird der Anwender in die Lage versetzt, Plausibilität und Validität einer Messung detailliert zu überprüfen.

ID N° 7246 - Density of Solids & Coefficient of thermal Expansion

Title: **Edelstahl - Dilatation**

Remarks:

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

Result: $\rho_{25,0^{\circ}\text{C}} = 7,9313 \pm 0,0002 \text{ g/cm}^3$, $\kappa = (56,4 \pm 2,7) \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$
X6 CrNiMoTi 17 12 2 x measured in 'Water, Augsburg, air-free'

Report

Messprinzip: Die Dichtebestimmung beruht auf der Messung von Masse und Volumen. Die Volumenbestimmung erfolgt dabei durch die hydrostatische Methode als Auftriebswägung. Diese basiert darauf, dass ein in einer Flüssigkeit untertauchender Körper um so viel leichter erscheint, wie die seinem Volumen entsprechende Flüssigkeitsmenge wiegt. Die Dichte der Flüssigkeit, hier Water, Augsburg, air-free, muss sehr genau bekannt sein. Sie ist der Maßstab. Die Bestimmung der Masse erfordert außerdem die Kenntnis des Volumens, damit der Luftauftrieb korrigiert werden kann. In dieser Messung wurde das Volumen 23 Mal durch voneinander unabhängige Auftriebswägungen bestimmt. Die verwendete Meniskus-Eliminier-Technik zeichnet sich durch das Fehlen (bekannter) systematischer Fehler aus und

ermöglicht die überhaupt genaueste Dichtemessung an realen Körpern. Und indem die Messungen bei verschiedenen Temperaturen durchgeführt wurden, kann die Abhängigkeit der Materialdichte von der Temperatur und somit der Ausdehnungskoeffizient bestimmt werden. Die Sicherheit der Ergebnisse wird aus der Analyse der Messunsicherheiten der Einflußgrößen hergeleitet. Zu den Faktoren gehören Spezifikationen und Zustand der Instrumentierung, die Bestimmtheit der Flüssigkeitsdichte und die in der Messung beobachtete Stabilität der Kraft- und Temperaturmessung. Angaben dazu finden Sie in jeweiligen Abschnitten dieses Prüfberichts.

• Ermittelte Probendaten - X6 CrNiMoTi 17 12 2 x

- Angaben für $\vartheta = 25,00 \pm 0,03^\circ\text{C}$, Luftdichte bei der Probenwägung $\rho_a = 1,112 \pm 0,0012 \text{ kg/m}^3$ -

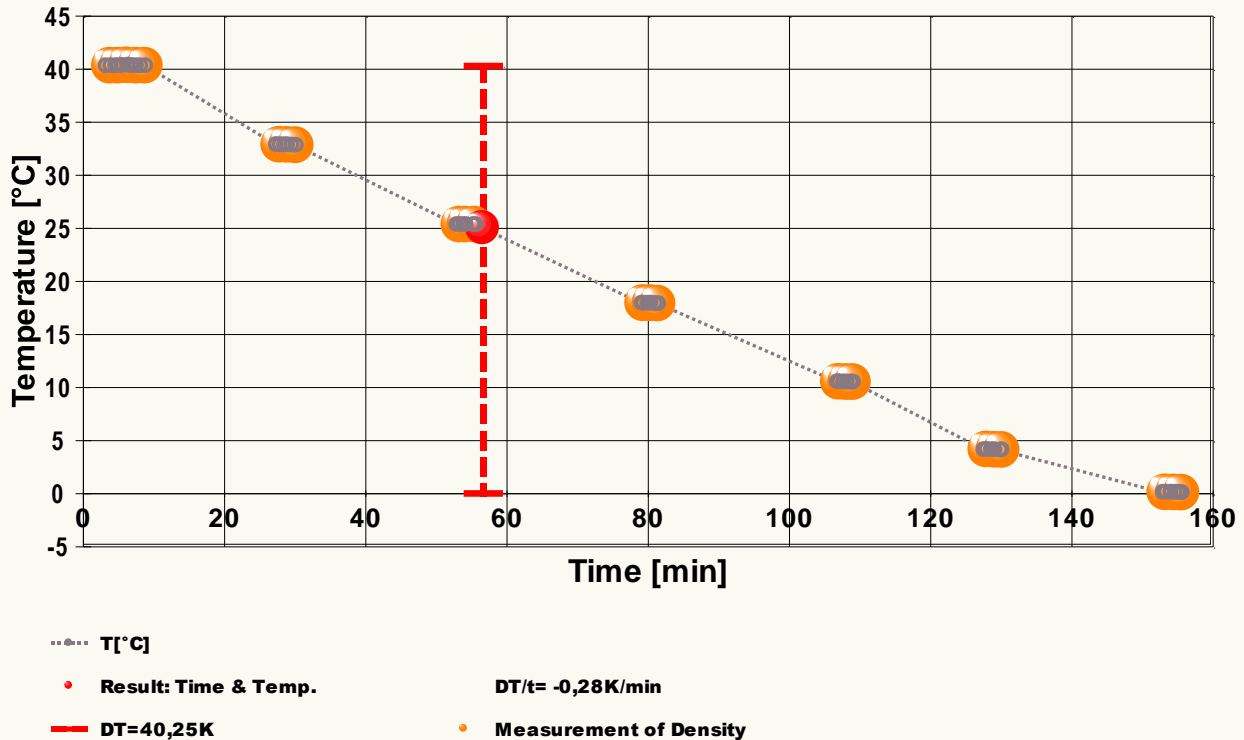
Dichte, spezifische Masse	ρ	7,9313	$\pm 0,00024$	g/cm^3	30 ppm
Ausdehnungskoeffizient	κ	56,4	$\pm 2,7$	$10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$	4,8%
Probenvolumen	V	18,6531	$\pm 0,00058$	cm^3	31 ppm
Masse der Probe	m	147,9439	$\pm 0,00041$	g	2,8 ppm
Wägewert, Probengewicht	W	147,9437	$\pm 0,00042$	g	
relative Dichte	ρ_4^{ϑ}	7,9315	---	ρ_{20}^{ϑ}	7,9456
spezifisches Volumen	v_s	0,12608	cm^3/g		
- Auf Standardbedingungen normalisierte Stoff- und Körpermaßeinheiten zu $\rho_a = 1.20 \text{ kg/m}^3$ und $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ -					
konventioneller Wägewert	W_k	147,9437	g		
Gewichtskraft	G	1451,328	mN	1450,832 p	
Wichte, spez. Gewicht	γ	77,806	N/cm^3	77,779 p/cm ³	

Die Aufstellung gibt Materialeigenschaften zusammen mit individuellen Probendaten aus. Die Messunsicherheiten sind mit dem Erweiterungsfaktor $k=2$ angegeben (Details dazu finden Sie bitte weiter unten in diesem Prüfbericht). Die Dichte entspricht nur dann einer Reinstoff-spezifischen Masse, wenn in der Messung tatsächlich die Reindichte gemessen werden konnte, andernfalls ist das Ergebnis eine Rohdichte bzw. scheinbare Dichte sowie eine scheinbare Masse. Zur isobaren thermischen Wärmedehnung können drei Kennzahlen für die Messtemperatur 25°C angegeben werden: Der Temperaturkoeffizient der Dichte ($\frac{\Delta\rho}{\Delta T} = -447 \text{ mg/gK}$), der angegebene kubische Ausdehnungskoeffizient (κ) und der lineare Ausdehnungskoeffizient mit $\alpha = 18,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, der nur für isotrope Materialproben angegeben werden darf. Mit dem 'Wägewert' wird der Gewichtswert angegeben, den die Waage unter der angegebenen Luftdichte anzeigt. Der Unterschied von Wägewert und Masse vergrößert sich mit der Luftdichte umso stärker, je mehr die Dichte der Probe von der Dichte des Justiergewichts der Waage abweicht. Hier besteht kaum ein Unterschied von Masse und Wägewert, die Probe hat nahezu die Dichte des Justiergewichts. Für die Angabe des 'konventionellen Wägewertes', der 'Gewichtskraft' und der 'Wichte' $\gamma = \rho \cdot g / 9.80665$ ('Pond': $1 \text{ p} = 9.80665 \text{ mN}$) wurde die Probenmasse mit der Standardluftdichte und -fallbeschleunigung umgerechnet. Die dimensionslose 'relative Dichte' (=Dichtezahl) ist bezogen auf Wasser bei 4°C ($\rho = 0.999975 \text{ g/cm}^3$) und 20°C ($\rho = 0.998207 \text{ g/cm}^3$). Sie ist als verlässliche Vergleichsgrößenangabe zu älteren Quellen hilfreich. Das spezifische Volumen ist die reziproke Dichte ('wie viele Milliliter ergeben ein Gramm (Masse)'). Die Dichte in der Einheit 'Unzen per cubic Inch' (Unzen pro Kubikzoll) beträgt $4,5846 \text{ oz/in}^3$. Im Folgenden erhalten Sie Beschreibungen zu den Einzelheiten der durchgeführten Messung.

• 23 Dichtemesswerte

Gesamtdauer der Aufzeichnungen in der Messung drei Stunden; stufig, zwischen $40,3$ und $0,0^\circ\text{C}$ abfallender Temperaturverlauf mit wechselnden Temperierstufen.

(1) Diagramm 'T(t)' - zur Temperatur im Verlauf der Messung:



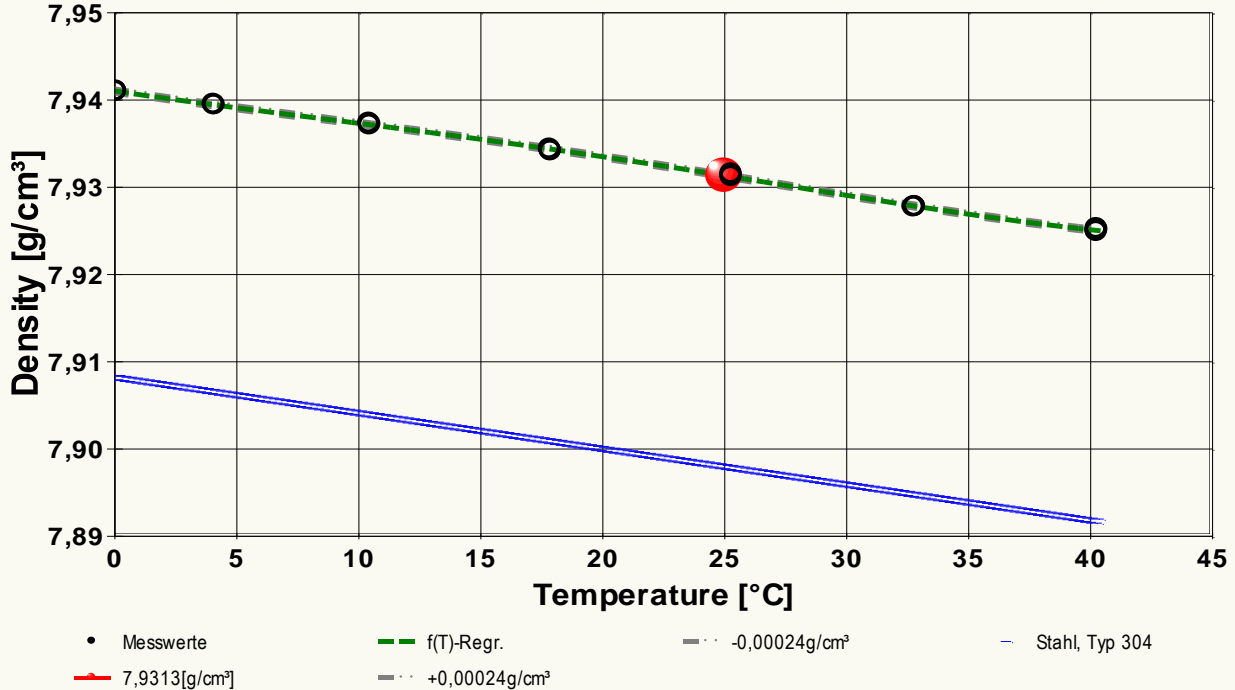
Im Diagramm "T(t)" wird eine Übersicht zum zeitlichen Verlauf der Vorgänge und der dabei gemessenen Temperatur gezeigt. Bedeutung der eingezeichneten Symbole: Die Kreismarkierungen zeigen die Temperaturmessungen an, die kugelförmigen Marken stehen für Zeitpunkt und Temperaturzuordnung von Auftriebsmessungen. Zeitpunkt und Temperatur der Ergebnisangabe werden durch eine Kugel markiert. Die Temperaturspanne in der Messung wird durch die senkrechte gestrichelte Bake angezeigt.

Das ausgegebene Messergebnis der Dichte wurde aus der Regressionsgleichung über den Temperaturverlauf der 23 Einzelergebnisse (0,04 bis 40,29°C), ebenso die Angaben zur Wärmedehnungermittelt. Grundlage ist die Gleichung:

$$\rho(T) = f(\theta[^\circ\text{C}]) = 7,94103 - 4,18428 \cdot 10^{-4} \cdot \theta + 8,87969 \cdot 10^{-6} \cdot \theta^2 - 4,68377 \cdot 10^{-7} \cdot \theta^3 + 6,48823 \cdot 10^{-9} \cdot \theta^4 \quad (\text{Gl.1})$$

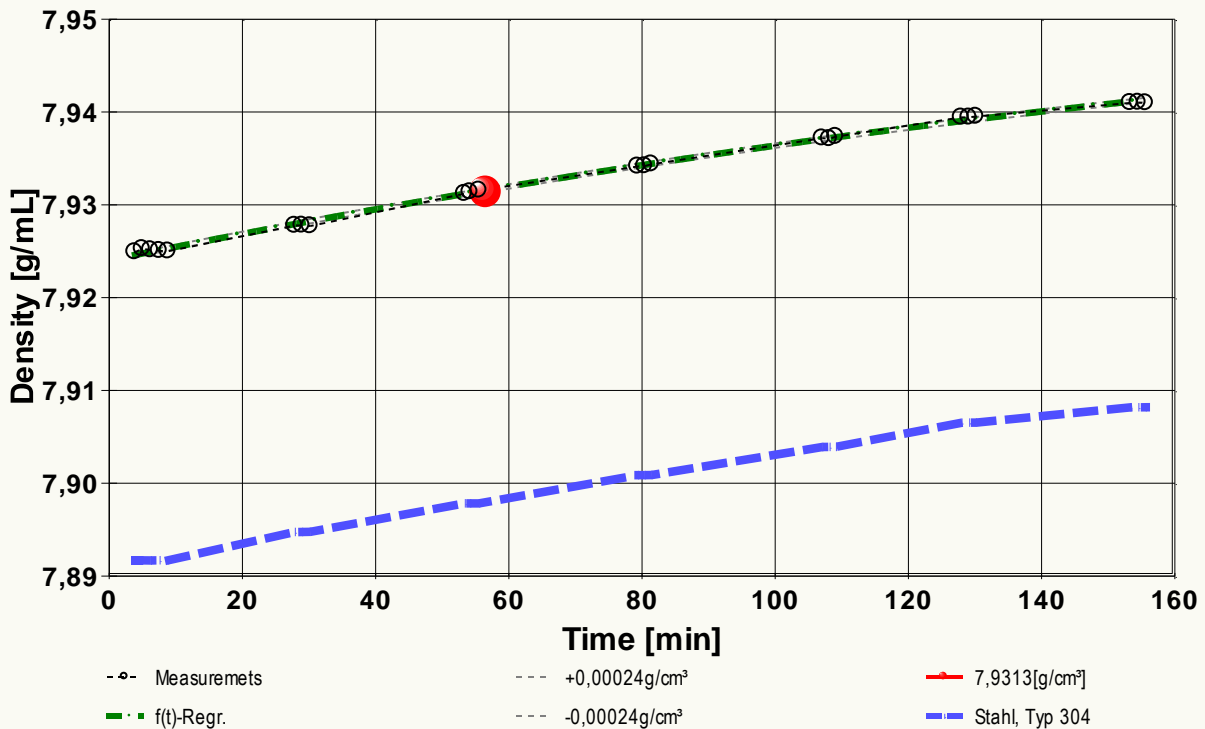
Die Bestimmtheit der Gleichung ist, gemäß Korrelationskoeffizient $r^2=0,99952$, *ziemlich gut*. Die Standardabweichung σ_ρ der Gleichung beträgt $1,4 \cdot 10^{-4} \text{ g/cm}^3$ und die Standardabweichung des Mittelwertes $\sigma_{M_\rho} 2,9 \cdot 10^{-5} \text{ g/cm}^3$. Die empirische Streuung σ_ρ ist kleiner als die erweiterte Standardmessunsicherheit $U_\rho 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ g/cm}^3$. Die Gleichung kann zur Repräsentation der Wertemenge im Temperaturintervall mit der beigeordneten relativen Unsicherheit $U_\rho 30 \text{ ppm}$ verwendet werden.

(2) Diagramm 'rho(T)' - Dichtemesswerte in Abhängigkeit von der Temperatur:



Das Diagramm "rho(T)" zeigt die 23 Dichtemesswerte als Kreissymbole in Temperaturabhängigkeit an. Es werden Messwerte mit dem Bereich der Messunsicherheit in Form einer gestrichelten Linie eingefasst. Der Verlauf der Referenzfunktion zum besten Vergleichswert bzw. der Stoff mit der besten Übereinstimmung nach Datenbankeintrag ist als schraffierter Bereich in Breite der Unsicherheit eingezeichnet.

(3) Diagramm 'roh(t)' - Dichtemesswerte in zeitlicher Reihenfolge:



Im Diagramm "roh(t)" sind die einzelnen Messwerte als Kreissymbole in zeitlicher Sequenz abgebildet. Um die Ausgleichsfunktion bzw. die Messwerte ist der Unsicherheitsbereich in Form gestrichelter Linien eingezeichnet. Bei isothermen Bedingungen und längeren Messzyklen können Verläufe beobachtet werden, die die Stabilität der Probe oder der Messbedingungen zur Anzeige bringen.

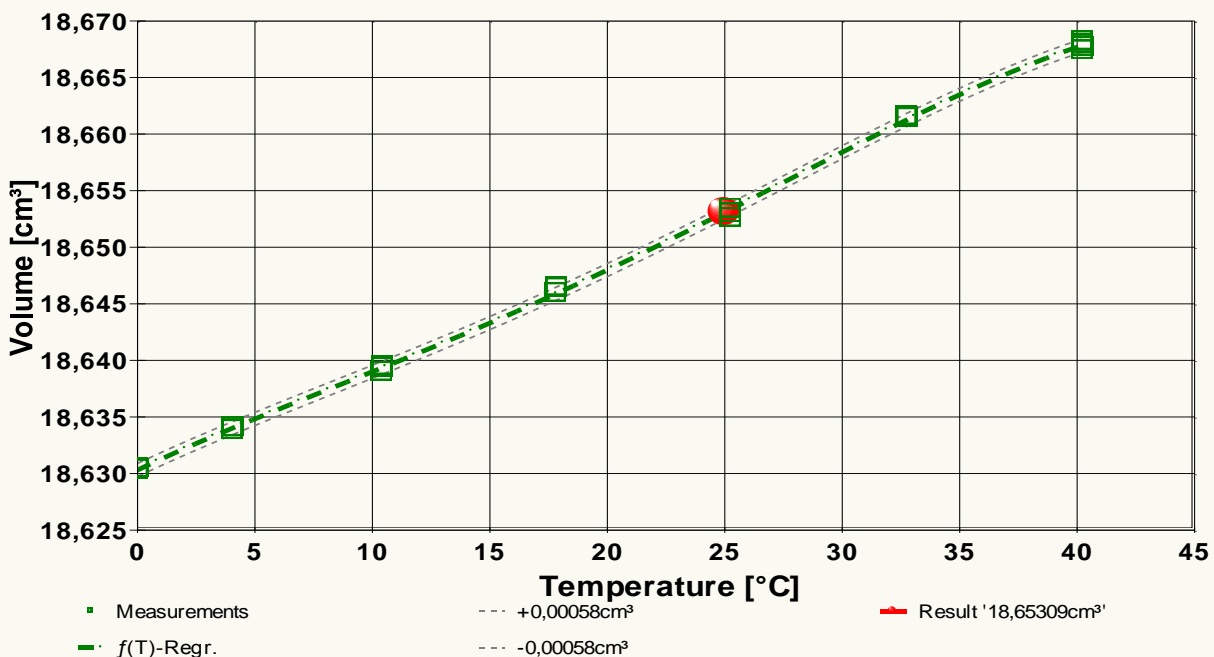
(4) Datentabelle - Zusammenstellung der Roh- und Ergebniswerte:

N°	t	θ	ρ _{Fl}	Q _{Probe}	V _{Probe}	Δt _{Akqu.}	ΔT	ΔQ _{Probe}	N
[min]	[°C]	[g/cm³]	[g/cm³]	[cm³]	[s]	[K]	[g/cm³]		
1.	3,9	40,26	0,992114	7,92491	18,66821	1,2	0,00	-8,5E-14	2
2.	5,0	40,26	0,992114	7,92526	18,66738	1,8	0,00	4,3E-5	3
3.	6,2	40,29	0,992103	7,92513	18,66770	3,0	0,00	8,5E-5	4
4.	7,6	40,26	0,992114	7,92504	18,66790	1,2	0,00	-8,5E-14	2
5.	8,8	40,26	0,992114	7,92500	18,66800	3,6	0,00	-8,5E-14	4
6.	27,9	32,81	0,994764	7,92776	18,66149	0,6	0,00	7,3E-14	2
7.	28,9	32,80	0,994767	7,92779	18,66143	4,2	0,00	1,3E-4	5
8.	30,1	32,76	0,994780	7,92772	18,66160	5,4	-0,01	5,9E-5	6
9.	53,4	25,29	0,996970	7,93120	18,65341	1,2	0,00	4,9E-14	2
10.	54,2	25,29	0,996970	7,93137	18,65300	0,6	0,00	4,8E-14	2
11.	55,5	25,29	0,996970	7,93155	18,65259	1,2	0,00	4,9E-14	2
12.	79,4	17,88	0,998618	7,93414	18,64650	1,2	0,00	-4,8E-14	2
13.	80,3	17,88	0,998618	7,93418	18,64639	5,4	0,00	-4,8E-14	6
14.	81,4	17,84	0,998625	7,93437	18,64595	1,2	-	-	2
15.	107,1	10,48	0,999656	7,93718	18,63935	1,2	0,00	-2,5E-14	2
16.	108,2	10,45	0,999659	7,93712	18,63950	1,2	0,00	-1,2E-14	2
17.	109,1	10,44	0,999660	7,93734	18,63897	2,4	0,00	-2,4E-14	3
18.	128,0	4,10	0,999972	7,93943	18,63407	1,2	0,00	-1,2E-14	2
19.	129,1	4,07	0,999972	7,93943	18,63407	4,2	0,00	4,2E-5	5
20.	130,2	4,06	0,999972	7,93952	18,63385	1,2	0,00	-1,2E-14	2
21.	153,3	0,06	0,999844	7,94098	18,63042	1,2	-	-	2
22.	154,5	0,05	0,999844	7,94102	18,63033	3,6	-	-	4
23.	155,6	0,04	0,999843	7,94097	18,63045	1,2	-	-	2

Die Tabelle listet die wesentlichen Daten in zeitlicher Abfolge nummeriert auf. Von links nach rechts: **Zeit** gibt den Zeitpunkt des Messwertes ab Beginn des Ablaufs in Minuten an, **θ** die Temperatur in Celsiusgraden und **ρ_{Fl}** die zugehörige Dichte von 'Water, Augsburg, air-free' in g/cm³, die den Maßstab der Messung darstellt. Die dazu ermittelte Probendichte **Q_{Probe}** ist ebenfalls in der Einheit g/cm³ gegeben. **V** ist das Volumen der Probe bei der Temperatur in cm³, die aus dem Auftrieb gemäß der Flüssigkeitsdichte berechnet ist. Die Auftriebskraft kann sich durch verschiedene Effekte verändern, insbesondere durch Temperaturangleichung (Konvektion, Volumen Anpassung), Quellung oder Auflösung. Die Beobachtungsdauer - als Stabilitätskriterium des Messwertes - erstreckt sich über die Zeitspanne **Δt_{Akqu.}**, die in Sekunden angegeben ist. Im selben Zeitraum kann sich die Temperatur ändern (Angabe **ΔT** in Temperaturgraden) und auch die Dichte der Probe **ΔQ_{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 und Dichte über die registrierte Beobachtungsdauer **Δt_{Akqu.}** wird in der Fortpflanzung der Messunsicherheit verwendet - sie helfen auch, eventuelle Störungen beim Messablauf aufzufinden. Ein rel. großer Zeitraum ist bei einem Gleichgewichtsverfahren der Auftriebsbestimmung ein Hinweis auf Probleme, wie Luftbläschen, Wandkontakt oder (meistens) Konvektionsströmungen bzw. Wärmeaustauscheffekte.
Bearbeitungshinweis: Die Tabelle kann zur Weiterbearbeitung per "paste und copy" sehr einfach z.B. nach Excel transferiert 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.

• Temperaturabhängigkeit des Probenvolumens

(5) Diagramm 'abs. Volumen' - Volumen der Probe in Temperaturabhängigkeit:



Die Darstellung "abs. Volumen" zeigt die einzelnen Messwerte zum jeweils berechneten Volumen der Probenmenge in Temperaturprojektion. Neben den als Quadrate eingetragenen Volumenwerten ist der Verlauf der Ausgleichsfunktion und der Messunsicherheit des Volumens durch gestrichelte Linien abgebildet. Der im Ergebnis ausgewiesene Ergebniswert zum Volumen ist als Kugel eingetragen.

Der Verlauf der Messwerte zum Körper- bzw. Probenvolumen mit der Temperatur wird durch die folgende Gleichung angepasst:

$$V_T[\text{cm}^3] = f(\vartheta[^\circ\text{C}]) = 18,63031 + 9,821136 \cdot 10^{-4} \cdot \vartheta - 2,086728 \cdot 10^{-5} \cdot \vartheta^2 + 1,102551 \cdot 10^{-6} \cdot \vartheta^3 - 1,527037 \cdot 10^{-8} \cdot \vartheta^4 \quad (\text{Gl.2})$$

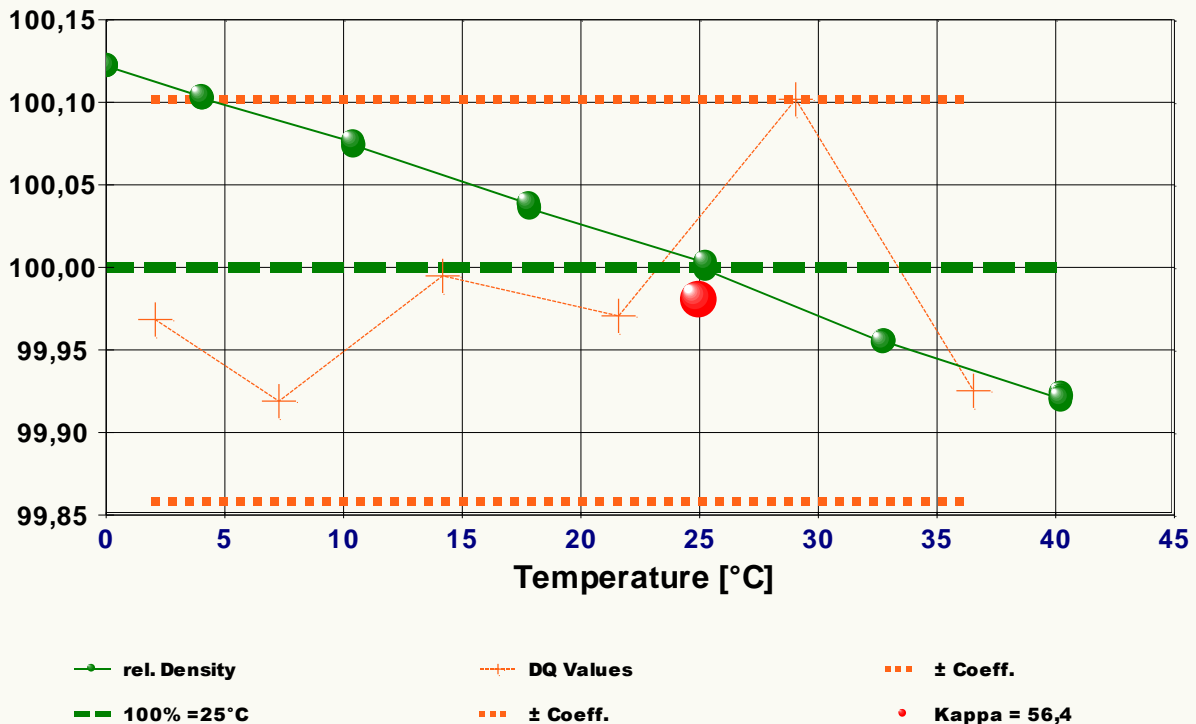
$$r^2 = 0,99952, \sigma_V = 3,31 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^3, \sigma_{Vrel.} = 42 \text{ ppm}, \sigma_{VM} = 7,1 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^3.$$

Die erweiterte Messunsicherheit für das Probenvolumen beträgt $5,8 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^3$.

Die Behandlung des Volumens betrifft besonders diejenigen Fälle, in welchen die Volumeneigenschaft bestimmter Artefakte bzw. Prüfkörper in Frage steht. So kann mittels der Temperaturfunktion eine rationale Handhabung dieser individuellen Eigenschaft ermöglicht werden.

• Wärmedehnung - Thermodilatation

(6) Diagramm 'Drho' - die relative Dichteänderung:



Im Diagramm "Drho" wird die im Verlauf eingetretene Dichteänderung in einer normalisierten Anzeige präsentiert. Die kugelförmigen Marken zeigen zu den einzelnen Dichtemesswerten deren relative Abweichung zum '100%-Wert bei 25°C, dem Angabewert (7,9313 g/cm³). Zusätzlich werden die ermittelten sieben Ausdehnungskoeffizienten, die aus Differenzenquotienten berechnet sind, abgebildet. Diese sind jedoch ohne Y-Achsenbezug in das Diagramm skaliert.

Die Dichte ändert sich über den Verlauf um 2,0%. Für eine erste Untersuchung der Wärmedehnung wurden die Dichtemesswerte in sieben Temperaturniveaus zusammengefasst. Aus den Dichte- und Temperatur- Differenzenquotienten ($\Delta\rho$, ΔT) wurden jeweilige Ausdehnungskoeffizienten κ_Δ berechnet ($\kappa_\Delta \approx \frac{-\Delta\rho}{\rho \cdot \Delta T}$). Die Maximal- und Minimumwerte in den sechs κ_Δ - Berechnungen betragen:

$$7,3^\circ\text{C} : \kappa_\Delta = 45 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1} \quad (\alpha \sim 15,0)$$

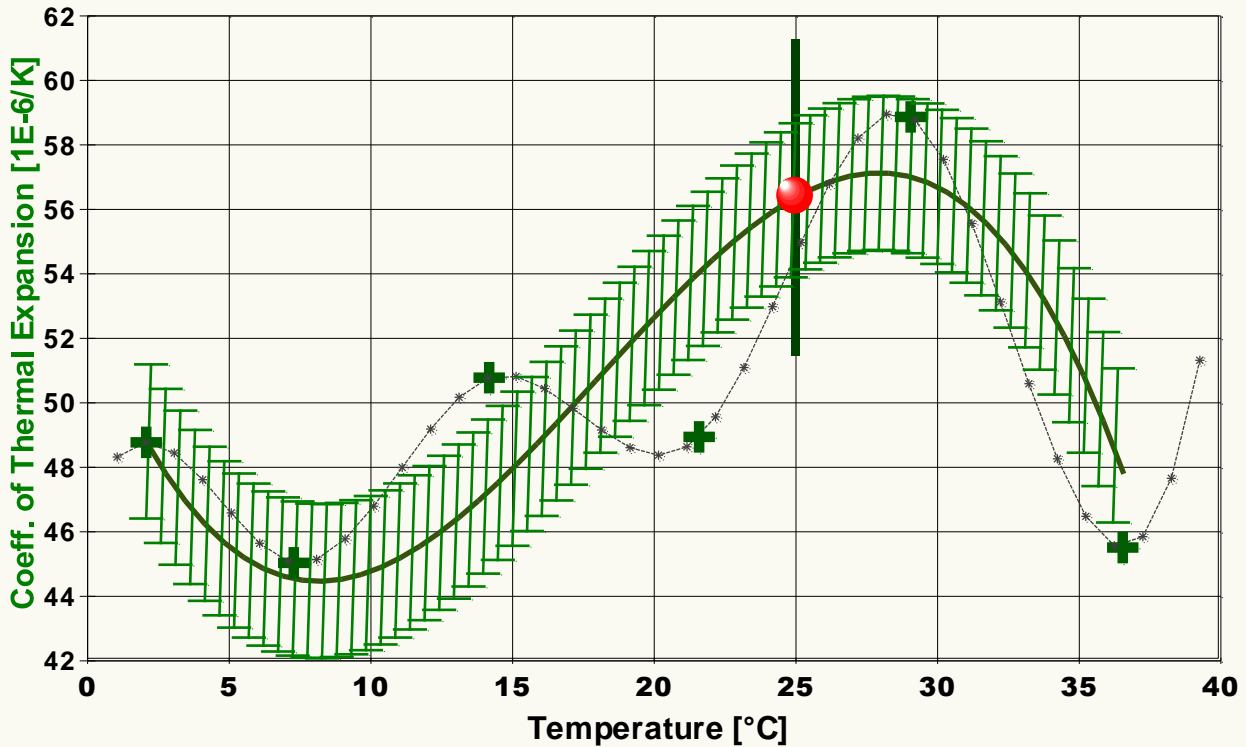
$$29,0^\circ\text{C} : \kappa_\Delta = 59 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1} \quad (\alpha \sim 19,7)$$

Mittelwert und Standardabweichung von κ über den Temperaturbereich der 6 Werte ergeben sich zu:

$$\kappa = (50 \pm 4,6) \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1} \text{ sowie ggf. } \alpha = (17 \pm 1,5) \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}.$$

Im Diagramm 'Drho' sind neben der relativen Dichteänderung auch die einzelnen Differenzenquotienten und die Standardabweichung des Mittelwertes eingezeichnet. Die nachfolgende Behandlung des Ausdehnungskoeffizienten führt die Berechnung jedoch unmittelbar über die Regressionsfunktion zur Temperaturabhängigkeit der Dichte aus. Aus dieser Form wird der Angabewert für κ verwendet - er wird dadurch um 6,4 Einheiten bzw. 10% größer angegeben.

(7) Diagramm 'kappa(T)' - der Ausdehnungskoeffizient:



Das Diagramm 5 "kappa(T)" zeigt den Temperaturverlauf des Ausdehnungskoeffizienten an. Am Abszissenwert kann unmittelbar die relative Volumenänderung des Probenmaterials in 'Mikroliter pro Liter und Grad' bei der jeweiligen Temperatur abgelesen werden. Die Breite des schraffierten Bereichs bildet die erweiterte Messunsicherheit ab. Der Angabewert κ_{25} ist als kugelförmiges Symbol eingezeichnet. Im Diagramm sind durch die Kreuz-Markierungen auch die per Differenzenquotienten erhaltenen κ_{Δ} -Werte sowie der diskrete Werte-Verlauf in der Glättung durch Splines (Linie mit kleinen Sternmarkierungen) eingetragen [riG 1,68%].

Aus der polynomischen Regressionsgleichung der Dichtemesswerte wird der *thermische isobare und isotherme Raumausdehnungskoeffizienten* κ durch eine Gleichung bestimmt:

$$\kappa \text{ [} 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1} \text{]} = f(\vartheta[\text{°C}]) = (418,43 - 17,759 \cdot \vartheta + 1,4051 \cdot \vartheta^2 - 0,025953 \cdot \vartheta^3) / (7,9410 - 4,1843\text{E-}4 \cdot \vartheta + 8,8797\text{E-}6 \cdot \vartheta^2 - 4,6838\text{E-}7 \cdot \vartheta^3 + 6,4882\text{E-}9 \cdot \vartheta^4) \quad (\text{Gl.3})$$

Für 25°C ergeben Gleichung und Messunsicherheit den Ergebniswert $\kappa_{25} = 56,4 \pm 2,7 \cdot 10^{-6} / \text{K}$.

Die erweiterte Messunsicherheit $U\kappa$ kann die Streuung der diskreten κ_{Δ} -Werte nicht darstellen (vgl. Diagramm). Der Verlauf von κ ist unzureichend stetig. Als Toleranzangabe, die die Streuung der κ_{Δ} -Werte einschließt, ist die Standardabweichung von κ_{Δ} zur Gleichung mit $\pm 2,8 \cdot 10^{-6} / \text{K}$ bzw. 5,0% zur jeweiligen Temperatur anzunehmen.

Bei 25 °C zeigt sich eine relative Zunahme des Koeffizienten von 0,86% pro Grad. - Der Ausdehnungskoeffizient des Probenmaterials ist hier im Vergleich zu *normalen Feststoffen* metalltypisch groß. Er verläuft mit der Temperatur ziemlich zunehmend.

Um das Volumen bzw. eine Volumenänderung für X6 CrNiMoTi 17 12 2 x bei einer bestimmten Temperatur ϑ im gültigen Temperaturbereich zwischen 0,0 und 40,3°C vorherzusagen, kann mit dem bei der Temperatur ϑ^0 gegebenen Volumen $V_{0\vartheta}$ das Volumen $V_{1\vartheta}$ bei der Temperatur ϑ über das entsprechende Verhältnis der Dichten berechnet werden:

$V_{1\vartheta} = V_{0\vartheta} \cdot (7,9410 - 4,1843 \cdot 10^{-4} \cdot \vartheta^0 + 8,8797 \cdot 10^{-6} \cdot \vartheta^{0^2} - 4,6838 \cdot 10^{-7} \cdot \vartheta^{0^3} + 6,4882 \cdot 10^{-9} \cdot \vartheta^{0^4}) / (7,9410 - 4,1843 \cdot 10^{-4} \cdot \vartheta + 8,8797 \cdot 10^{-6} \cdot \vartheta^2 - 4,6838 \cdot 10^{-7} \cdot \vartheta^3 + 6,4882 \cdot 10^{-9} \cdot \vartheta^4)$
 Gleichung für ein Kalkulationsprogramm: $(7,9410 - 4,1843\text{E-}4 \cdot x_0 + 8,8797\text{E-}6 \cdot x_0^2 - 4,6838\text{E-}7 \cdot x_0^3 + 6,4882\text{E-}9 \cdot x_0^4) / (7,9410 - 4,1843\text{E-}4 \cdot x_1 + 8,8797\text{E-}6 \cdot x_1^2 - 4,6838\text{E-}7 \cdot x_1^3 + 6,4882\text{E-}9 \cdot x_1^4)$ - mit x_0, x_1 in °C. - Wird stattdessen die angegebene Bestimmungsgleichung für $\kappa(\vartheta)$ verwendet ($\kappa = -1/\rho \cdot (\partial\rho/\partial T)$), gemäß $V_1 = V_0(1 + \kappa\Delta T)$ bzw. (besser) $V_1 = V_0 \cdot \exp(\kappa\Delta T)$, dann ist der Wert von κ für die mittlere Temperatur $(\vartheta^0 + \vartheta)/2$ einzusetzen. Allgemein gilt: $V_1 = V_0 \cdot \exp(\int \kappa(\vartheta) dT)$.
 Die Dimension $10^{-6} / \text{K}$ für κ bedeutet eine Volumenänderung in Mikroliter pro Liter und Temperaturgrad. Falls das Probenmaterial isotrop ist, kann der lineare Ausdehnungskoeffizient (α) im angegebenen Bereich verwendet werden. Mit $\alpha = \kappa / 3$ bedeutet α anschaulich, dass ein 1 m langer Stab pro Temperaturgrad bei 25°C seine Länge um 18,8 μm ändert; für eine Dehnung von 1 mm (0,1%) wäre rechnerisch ein ΔT von etwa 53,2 Grad erforderlich (wenn man von der Temperaturabhängigkeit von κ absieht).

• Zusammenfassung zur Messunsicherheit der Einzelwerte

Messunsicherheit der Dichte - aus der Fortpflanzung der Messunsicherheiten der Eingangsgrößen

nach dem Modell: $\rho_{\text{Probe}} = (W_2 \cdot \rho_a - W_1 \cdot \rho_{\text{Fl}}) / (W_2 - W_1)$ (Gl.4)

i	X_i	x_i	$u(x_i)$	c_i		$c_i \cdot u(x_i)$ [g/cm ³]	v_i	
1	W_1	g	147,94370	$2,06 \cdot 10^{-4}$	-0,373	$1/\text{cm}^3$	$-7,70 \cdot 10^{-5}$	∞
2	W_2	g	129,3694	$1,97 \cdot 10^{-4}$	0,427	$1/\text{cm}^3$	$8,42 \cdot 10^{-5}$	22
3	ρ_a	g/cm ³	0,0011120	$1,20 \cdot 10^{-6}$	-6,96	---	$-8,36 \cdot 10^{-6}$	∞
4	ρ_{Fl}	g/cm ³	0,9969591	$5,56 \cdot 10^{-6}$	7,96	---	$4,43 \cdot 10^{-5}$	∞
Y	ρ_{Probe}	g/cm ³	7,9330	$u(y) = \sqrt{\sum (c_i \cdot u(x_i))^2} =$		$1,23 \cdot 10^{-4}$	$v_{\text{eff}} =$	99

Angabe der erweiterten Messunsicherheit U_o aus der kombinierten Standardmessunsicherheit (u_o $1,23 \cdot 10^{-4}$ g/cm³) mit dem Erweiterungsfaktor $k_{95} = 1,98$. Die Werte der Probendichte liegen in der Regel mit einer angenäherten Wahrscheinlichkeit von 95% im Überdeckungsintervall $\pm 2,4 \cdot 10^{-4}$ g/cm³ bzw. im Bereich ± 31 ppm des Messwertes.

Die verwendeten Symbole entsprechen der Nomenklatur des 'GUM' (JCGM 100:2008). Die aufgeführten Eingangswerte werden als normalverteilt behandelt. Es bedeuten W_1 das Symbol für die Zufallsvariable X_1 des Wägewerts der Probe; ihr Wert beträgt x_1 g mit der beigeordneten Standardunsicherheit $u_1(x)$. Der Sensitivitätskoeffizient c_1 wird aus der partiellen Ableitung der Modellgleichung (Gl.4) nach X_1 mit der Variablen x_1 berechnet. Die Wurzel der summierten Varianzen u_{c_1} liefert die kombinierte Standardmessunsicherheit der Feststoffdichte ($Y_{Q_{Probe}}$). W_2 steht für die Auftriebswägungen in der Flüssigkeit. Für die Berechnung von x_2 wird der Mittelwert der Wägungen eingesetzt. Die Standardunsicherheit $u_2(x)$ wird aus der Messunsicherheit der Waage und Unsicherheit der bei der Auftriebswägung aufgezeichneten Schwankungen der Auftriebskraft bestimmt. Die Anzahl der separaten Auftriebswägungen legt die Angabe der Freiheitsgrade ν_2 fest (Anzahl - 1 = 22). Die Eingangswerte x_1 und $u_1(x)$ für das Probengewicht W_1 wurden separat (ggf. extern) bestimmt; weitere Einzelheiten sind in den folgenden Abschnitten angegeben. Das Zeichen ρ_a steht für die Luftdichte; ihr zugehöriger Größenwert x_3 und $u_3(x)$ wurde zur Messung angegeben. Das Symbol ρ_{Fl} steht für die Dichte der Messflüssigkeit. Der für ρ_{Fl} in x_4 eingesetzte Wert ist der Mittelwert der Flüssigkeitsdichteangaben, wobei $u_4(x)$ aus der Unsicherheit der Referenzgleichung stammt bzw. empirisch aus zuvor und/oder danach durchgeführten Messungen der Fluidichte übernommen wurde. Die Zahl der effektiven Freiheitsgrade (ν_{eff}) wird nach der Welch-Satterthwaite-Formel berechnet und angegeben. Sie hat dementsprechend Auswirkung auf den Wert des Erweiterungsfaktors k zur Intervallangabe der Überdeckungswahrscheinlichkeit von 95% und 99%. Ergänzung hierzu: Für k_{99} wird der Faktor 2,63 erhalten; Dichtewerte liegen mit nahe 99%iger Wahrscheinlichkeit im Überdeckungsintervall $\pm 3,2 \cdot 10^{-4}$ g/cm³.

Messunsicherheit der Masse - gemäß der Grundgleichung:

$$m_{Probe} = W_1 \cdot (1 - \rho_a / \rho_{cal}) / (1 - \rho_a / \rho_{Probe}) \quad (Gl.5)$$

i	X_j		x_j	$u(x_j)$	c_j		$c_j \cdot u(x_j)$ [g]	ν_j
1	W_1	g	147,9437	$2,06 \cdot 10^{-4}$	1,00	---	$2,06 \cdot 10^{-4}$	-
2	ρ_a	g/cm ³	0,0011120	$1,20 \cdot 10^{-6}$	0,156	cm ³	$1,88 \cdot 10^{-7}$	-
3	ρ_{cal}	g/cm ³	8,000	$8 \cdot 10^{-3}$	$2,57 \cdot 10^{-3}$	cm ³	$2,06 \cdot 10^{-5}$	-
4	ρ_{Probe}	g/cm ³	7,9330	$1,23 \cdot 10^{-4}$	$-2,61 \cdot 10^{-3}$	cm ³	$-3,21 \cdot 10^{-7}$	-
Y	m_{Probe}	g	147,9439	$u(y) = \sqrt{(\sum c_j \cdot u(x_j))^2} =$			$2,07 \cdot 10^{-4}$	ν_{eff} -

Angabe der erweiterten Messunsicherheit mit dem Erweiterungsfaktor $k = 2$. Die Masse der Probe m_{Probe} wird zu $147,9439 \pm 4,1 \cdot 10^{-4}$ g bestimmt. Die relative Messunsicherheit beträgt 2,8 ppm.

Die Standardmessunsicherheit von Q_{Probe} ist die kombinierte Standardmessunsicherheit der Dichtemessung im vorigen Abschnitt. Das Symbol ρ_{cal} steht für die Dichte des Kalibriergewichtes der Waage.

Messunsicherheit des Volumens - über das Verhältnis:

$$V_{Probe} = m_{Probe} / \rho_{Probe}$$

$$u(V_{Probe}) = \sqrt{(u(m_{Probe}) / \rho_{Probe})^2 + (m_{Probe} \cdot u(\rho_{Probe}) / \rho_{Probe}^2)^2} = 0,00029 \text{ cm}^3 \quad (Gl.6)$$

Die erweiterte Messunsicherheit des Probenvolumens wird mit dem Erweiterungsfaktor $k = 2$ angegeben, sie beträgt $0,00058 \text{ cm}^3$ bzw. relativ 31 ppm.

Die Standardmessunsicherheit der Probenmasse $u(m_{Probe})$ ist die kombinierte Standardmessunsicherheit der Massebestimmung im vorigen Abschnitt.

Messunsicherheit des kubischen Ausdehnungskoeffizienten - nach dem linearen Modell:

$$\kappa_{Probe} = -2 \cdot (\rho_1 - \rho_2) / ((\vartheta_1 - \vartheta_2) \cdot (\rho_1 + \rho_2)) \quad (Gl.7)$$

i	X_j		x_j	$u(x_j)$	c_j		$c_j \cdot u(x_j)$ [K ⁻¹]	ν_j
1	ρ_1	g/cm ³	7,94101	$2,70 \cdot 10^{-4}$	$-3,13 \cdot 10^{-3}$	cm ³ /g·K	$-8,44 \cdot 10^{-7}$	-
2	ρ_2	g/cm ³	7,92505	$2,69 \cdot 10^{-4}$	$3,13 \cdot 10^{-3}$	cm ³ /g·K	$8,44 \cdot 10^{-7}$	-
3	ϑ_1	°C	0,04	0,03	$-1,24 \cdot 10^{-6}$	1/K ²	$-3,73 \cdot 10^{-8}$	-
4	ϑ_2	°C	40,29	0,03	$1,24 \cdot 10^{-6}$	1/K ²	$3,73 \cdot 10^{-8}$	-
Y	κ_{Probe}	K ⁻¹	$5,00 \cdot 10^{-5}$	$u(y) = \sqrt{(\sum c_j \cdot u(x_j))^2} =$			$1,20 \cdot 10^{-6}$	ν_{eff} -

Die erweiterte Messunsicherheit ($k=2$) des Ausdehnungskoeffizienten U_κ beträgt $2,4 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ bei der Temperatur $20,17^\circ\text{C}$. Die Messunsicherheit von κ ist zwischen 0 und 40°C über die relative Messunsicherheit von $4,8\%$ weiterzugeben.

Die Symbole ρ_1 und ρ_2 stehen für die Probendichtewerte die zu den Temperaturen ϑ_1 und ϑ_2 gehören. Der nicht-lineare Verlauf der Dichte kann jedoch dazu führen, dass die tatsächliche Messunsicherheit für ein 95%-Niveau größer anzugeben ist.

• Zur Dichte der Messflüssigkeit

Messflüssigkeit 'Water, Augsburg, air-free': Die Dichtedaten wurden als Funktion der Temperatur aus der Referenzdatenbank entnommen. Die Flüssigkeitsdichte ρ_{Fl} wurde gemäß folgender Bestimmungsgleichung zur jeweiligen Temperatur ϑ berechnet:

$$\rho_{Fl} = f(\vartheta [^\circ\text{C}]) = (99984018,8 + 6756,061 \cdot \vartheta - 901,5886 \cdot \vartheta^2 + 9,517959 \cdot \vartheta^3 - 0,1000876 \cdot \vartheta^4 + 0,000554 \cdot \vartheta^5) / 1E8 \quad (Gl.8)$$

Beiträge zur Unsicherheit der Flüssigkeitsdichte $u(\rho_{Fl})$ wurden vom Prüfer individuell zur Messung festgelegt ($u(\rho_{L,Equ}) = 2,89 \cdot 10^{-6} \text{ g/cm}^3$) sowie aus der Messunsicherheit der Temperatur ($u(\rho_{L,Temp}) = 4,75 \cdot 10^{-6} \text{ g/cm}^3$) bestimmt und belaufen sich damit auf $5,56 \cdot 10^{-6} \text{ g/cm}^3$.

BEARBEITUNGSHINWEISE: Die Unsicherheit der Flüssigkeitsdichte wird durch die Präzision der Temperaturangabe wesentlich mitbestimmt. Neben der vom System vorgegebenen Messunsicherheit der Temperatur ($0,03 \text{ K}$) wird die während der Messung registrierte Schwankung ($2,09E-3 \text{ K}$) berücksichtigt.

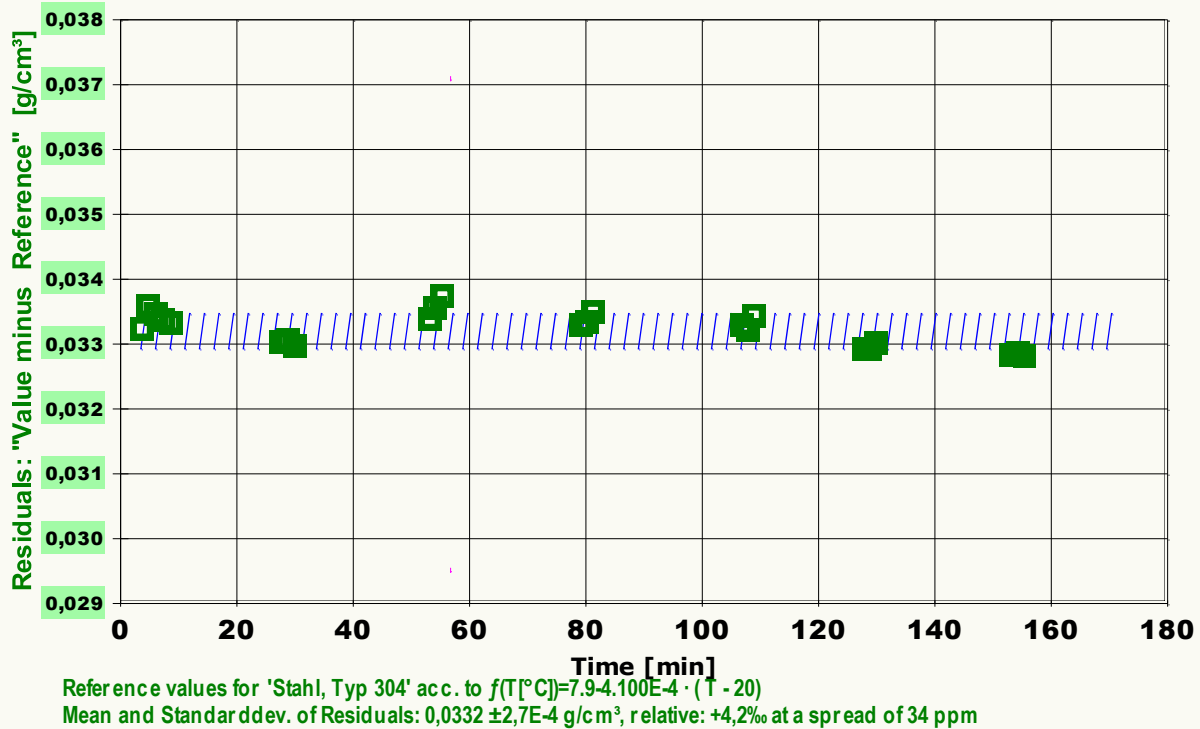
• Probenhandhabung und Messtechnik

Das Gewicht von Prüfkörper und Halterung (gesamt $148,13 \pm 0,0002 \text{ g}$) wurde im Datenblatt angegeben. Einsatz einer variablen Prüfkörperaufhängung. Für die Probenbefestigung werden $0,1863 \pm 0,00005 \text{ g}$ Gewicht berücksichtigt. Zur Auftriebskorrektur durch das Volumen des Probenhalters werden seine Dichte $18,7 \pm 0,001 \text{ g/cm}^3$ und sein kubischer Ausdehnungskoeffizient $12,9 \pm 0,05 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ mit der Bezugstemperatur 25°C herangezogen. Für die angewendete IMETER-Patentmethode (Meniskus- und Driifteliminiervfahren) wurde der Aufhängungsquerschnitt mit $0,0314 \text{ mm}^2$ angegeben. Über den Niveau-Unterschied von

durchweg 18 mm zwischen Bezugskraft- und Auftriebskraft-Messung ergibt sich ein Beitrag von 0,57 mm³, um den der Volumenauftrieb korrigiert wird.

Jedem messtechnischen Größenwert ist ein Unsicherheitsbetrag zugeordnet. Die Unsicherheitsbeiträge sind von einander unabhängig und wirken sich über die Fortpflanzung der Messunsicherheit (in $u(W_1)$ und $u(W_2)$) in der Unsicherheit der Ergebnisse dieser Messung direkt aus. Der Unsicherheit aus dem Prüfmittel Waage - **Bearbeitungshinweis:** Da verschiedene Handhabungen, Arbeitsmodi, Probenhalterungen sowie unterschiedliche Quellen und Ausprägungen von Messunsicherheiten auftreten, ist die Rückkopplung über Abläufe und eingesetzte Technik für die Prüfung und Programmentwicklung unabdingbar. Bitte geben Sie im Datenblatt die Messunsicherheit der Gewichtsbestimmung zur Probeneinwaage explizit an ($148,13 \pm 0,0002 \pm ?$ g). Messunsicherheitsbeiträge bei der Auftriebswägung als Rückkopplung zu $u(W_2) \Rightarrow$ Unsicherheitsbeiträge der Auftriebswägung, kurz: $u(W_{\delta_{Rep}})=50 \mu\text{g} / \sqrt{3}$, $u(W_{\delta_{Zero}})=0,10 \text{ mg} / \sqrt{3}$, $u(W_{\Delta W})=84 \mu\text{g} / \sqrt{23}$, $u(W_{\delta_{Lin}})=0,12 \text{ mg} / \sqrt{3}$, $u(W_{\delta_{meat}})=12 \text{ ng} / 2$, $u(W_{\Delta_{Tcal}})=65 \mu\text{g} / \sqrt{3}$, $u(W_{\Delta_{cal}})=5,3 \mu\text{g} / \sqrt{3}$.

(8) Diagramm 'Messwerteabweichung' - Darstellung der berechneten Residuen:



Im Diagramm "Messwerteabweichung" wird die (temperaturkompensierte) Abweichung der einzelnen Messwerte zum Referenzwert in zeitlicher Reihe angezeigt. Bei einem gesetzmäßigen Verlauf dieser Residuen wird eine entsprechende lineare oder quadratische Regressionsgleichung ausgegeben.

Im Diagramm wird der Vergleich mit den Daten der nächstliegenden Referenz angezeigt, da für 'X6 CrNiMoTi 17 12 2 x' kein Eintrag in der Datenbank existiert.

Die Tabelle unten zeigt die besten Treffer 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' und andere Angaben ausgegeben. Bei Metallen und Legierungen werden ggf. kurze Zusatzinformationen mitgeliefert, wie 'M' = E-Modul [kp/mm²], 'Ts' Schmelztemperatur [°C], 'wLF' Wärmeleitfähigkeit [cal/cm s K], 'k' linearer thermischer Ausdehnungskoeffizient [1E-6/K], 'sW' spezifische Wärme [cal/K g], 'eLF' elektrische Leitfähigkeit [m/Ohm mm²], 'RkT' Temperaturkoeff. des elektrischen Widerstands [1/K]. **Bearbeitungshinweis:** Weitere Informationen finden Sie im jeweiligen Datenbankeintrag. Sie können Referenzdaten entsprechend aktualisieren oder erweitern, um Messergebnisse mit dienlichen Informationen zur 'Ähnlichkeit' von Dichtedaten anzureichern.

•Vergleichstabelle

--- REFERENZ	g/cm ³	ABWEICHUNG	INFO
1. Stahl, CrNi ²	7,9	-3,9%	
2. CrNi-Stahl ²	7,9	-3,9%	7,8 bis 8,0
3. Stahl, Typ 304 ¹	7,9	-4,2%	
4. X6 CrNiMoTi 17 12 2 ¹	7,98	+0,59%	(Remanit 4571: von ThyssenKrupp Datenblatt 01/04)
5. Eisen ¹	7,87	-0,79%	*M 21550. Ts 1530. wLF 0,18. k 11,7. sW 0,11. eLF 10,3....
6. CrNi-Stahl ²	8	+0,87%	7,8 bis 8,0
7. Eisen, Barren ¹	7,86	-0,92%	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. ...
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. ...
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 - . R...
14. Messing, weiss ¹	8,2	+3,4%	
15. Beryllium-Kupfer 25 ¹	8,23	+3,7%	

¹Wert für 25°C berechnet, ²tabellierter Referenzwert. Stoffdaten nur aus dem Referenzdatenbestand

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:** Herkunft bzw. Richtigkeit der jeweiligen Referenzdaten sowie ggf. Zusatzinformationen können über den Vermerk zur Substanz in der Referenzdatenbank geprüft/geändert werden.

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, um verifizierbar zu 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 papieren geführte Ablage sollten die Prüfberichte zur Ressourcenschonung durch entsprechende Einstellungen der Formatier- und Ausgabeoptionen auf das Wesentliche gekürzt werden. Das ganze 'File', inklusive der zu Grunde liegenden Rohdaten, ist stets über die ID (hier Nummer 7246, Datenbank imeterData14) auffindbar und als Referenz oder Vergleich nutzbar. Ggf. enthalten nachfolgend ausgegebene Informationen, je nach Einstellungen und Berichtsvorlage (Stil = 'standard-i1'), verschieden detaillierte Begleitinformationen, wie die Angaben zur Ausführung der Messung, den Audit-Trail und Hinweise zur Prüfmittelüberwachung.

Programm

Data created during execution of the IMPro "FK_Dichte_Ausdehnungskoeff", type 9/34. Measuring process performed accordingly.

Prüfmittel

Die Kraftmesseinrichtung (WZ224-CW) wurde zuletzt während dieser Messung bei einem 1-Tage Intervall der Prüfmittelüberwachung justiert.

IMETER ID16405542: Technische Daten: Auflösung des Wägesystems 0,1 mg, Messunsicherheit (Linearität)^{*)} 0,2 mg, Dichte der Justiermasse ρ_{cal} ^{*)} 8,000 g/cm³, Luftdichte ρ_a ^{*)} 1,2 kg/m³; Schwerebeschleunigung g ^{*)} 9,80769 m/sec². Die Messauflösung der Temperaturmessung beträgt 0,01 K, die Unsicherheit^{*)} 0,03 K. Akquisitions-Softwareversion IMETER 4.1.109, LizenzN° *3037-4759*, Windows 5.1- Betriebssystem auf PC Ser.N°143431694 (C, iTop).

^{*)}: **Bearbeitungshinweis:** Die gekennzeichneten Angaben der Systemdaten können nachträglich angepasst werden - etwa um individuelle Messunsicherheiten durch den Messaufbau wirksam werden zu lassen. Änderungen auch an diesen Daten werden im Audit-Log protokolliert und können zurückgenommen werden. - Deaktivieren Sie doch bitte die Bearbeitungshinweise für Kundenberichte!

Fünf Justierungen der Wägezelle während der Messung:

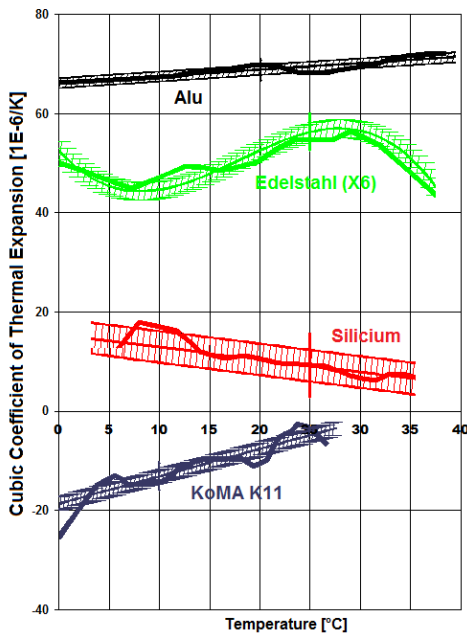
1.	Zeit: 1,0	[min]	Korrektur: -0,0016 [g]
2.	Zeit: 78,4	[min]	Korrektur: -0,0004 [g]
3.	Zeit: 106,4	[min]	Korrektur: -0,0004 [g]
4.	Zeit: 126,7	[min]	Korrektur: -0,0002 [g]
5.	Zeit: 152,2	[min]	Korrektur: -0,0001 [g]

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



„Der automatische Bericht präsentiert die Datenlage und führt eine (Vor-)Interpretation aus. Die Tabellendaten sind in Spalten Tab-separiert und können somit sehr einfach z.B. in Excel weiteranalysiert werden.

Jeder, der Messreihen zusammenfasst, forscht, auswertet, QS-Statistiken führt etc., kennt den Fall, dass manche Werte nicht ins Bild passen. Ausreißer? Die Dokumentation von Messungen, wie sie IMETER bietet, erlaubt es, sehr viel später noch die Plausibilität zu überprüfen. Das spart Zeit, Geld und Nerven. gibt Sicherheit und fördert Entdeckungen.



Das Diagramm zeigt einen Vergleich unter Ausdehnungskoeffizienten.



Messtechnik - nachhaltig zusammengefasst

Intelligenter messen.

- ◆ [Feststoff- und Flüssigkeitsdichte, Ausdehnungskoeffs.](#)
- ◆ [Grenz-, Oberflächenspannung und ~Energie](#)
- ◆ [Viskosität, Rheologie, Konsistenz, Textur](#)
- ◆ [\(Aus-\)Härtungszeit, Porosität, Sorptivität u.v.a.](#)
- ◆ [freie und spezifische Automationen](#)

©2017 IMETER/MSB Breitwieser MessSysteme
 Verantwortung: Michael Breitwieser,
 Morellstrasse 4, D-86159 Augsburg
 Tel. (+49/0)821/706450, Fax (0)821/7473489
www.imeter.de

IMETER - Dienstleistungen:
www.imeter.de/adienstleistungen.html

Probieren Sie's einfach!