IMETER Methode Nr.8 "Feststoffdichte & Dilatation "

Messung von Dichte und Ausdehnungskoeffizient an Vaseline (Isoalkane)

©2017 IMETER - MessSysteme
Tel. (+49)(0) 821/706450

www.imeter.de

IMETER Anwendungen

Die hydrostatische Dichtemessung kann mit IMETER zur Messung der Temperaturkoeffizienten nebst Dichte und parallel zur Gehaltsbestimmung angewendet werden. An Werkstoffen wie Aluminium kann zwar der lineare Ausdehnungskoeffizient per Interferometrie genau bestimmt werden, aber an Stoffen wie Vaseline? Wie auch immer, entscheidend ist, dass es mit IMETER mit ziemlich wenig instrumentellem geht.

Die Messung ist technisch bedingt sehr genau, weil durch die Differenzwägung im Messablauf Driftstörungen beseitigt werden und durch die Eliminierung des *Meniskusgewichts* auch die andere wesentliche Fehlerquelle entfällt. Darüber hinaus wurde die Wägezelle im Ablauf zyklisch justiert. So ist die Methode unerreicht sicher, robust und genau.

Die Messung wurde in einem Temperiergefäß mit Deckel ausgeführt (Messzelle) und die Flüssigkeit dabei mit dem integrierten Magnetrührwerk umgewälzt, um im Fluid eine einheitliche Temperatur zu gewährleisten. Dabei dient ein durch IMETER gesteuerter *Ministat*-Thermostat (Peter Huber Kältemaschinenbau GmbH) der exakten Temperierung.

Die Messungen liefen vollautomatisch bis zur Berichtsausgabe durch: Temperaturangleichung abwarten, umrühren, Probe heben und senken, *Meniskus auslöschen*, gerechte Werte messen, ein paar Mal wiederholen, Temperatur ändern usw. schließlich das Ergebnis, wie folgt, ausgeben:

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 Modellier-sprache, 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.

IMETER V.5.5 rev.26
automatic Report (9F17EAQ16312B), IMETER / MSB Breitwieser, Augsburg

ID N° 15 - Density of Solids & Coefficient of thermal Expansion

Title: **Vaseline - hoher Ausdehungskoeffizient**
Remarks:

Result: $\varrho_{25,0°C}$ **= 0,8567 ±0,0004 g/cm³, κ = (1493,1 ±4,7)·10^{-6}·K^{-1}**
Vaseline (Chesebrough) measured in '*Wasser*'

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 Wasser, 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 25 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 - Vaseline (Chesebrough)

- Angaben für ϑ = 25,00 ±0,03°C, Luftdichte bei der Probenwägung ρ_a = 1,184 ±0,001 kg/m^3 -

Dichte, spezifische Masse*	ϱ	**0,85674**	**± 0,00043**	**g/cm^3**	**0,5‰**
Ausdehnungskoeffizient	κ	**1493,1**	**± 10,0**	**$10^{-6}\cdot K^{-1}$**	**0,67%**
Probenvolumen*	V	**15,686**	**± 0,0078**	**cm^3**	**0,5‰**
Masse der Probe	m	**13,43857**	**± 0,00017**	**g**	**12 ppm**
Wägewert, Probengewicht	W	**13,4221**	**± 0,00016**	**g**	
relative Dichte	ϱ_4^{ϑ}	**0,85676**	**---**	ϱ_{20}^{ϑ} 0,85828	
spezifisches Volumen	v_s	**1,1672**	**cm³/g**		

- Auf Standardbedinungen normalisierte Stoff- und Körpermaßeinheiten zu ρ_a = 1.20 kg/m³ und g = 9.81 m/s² -

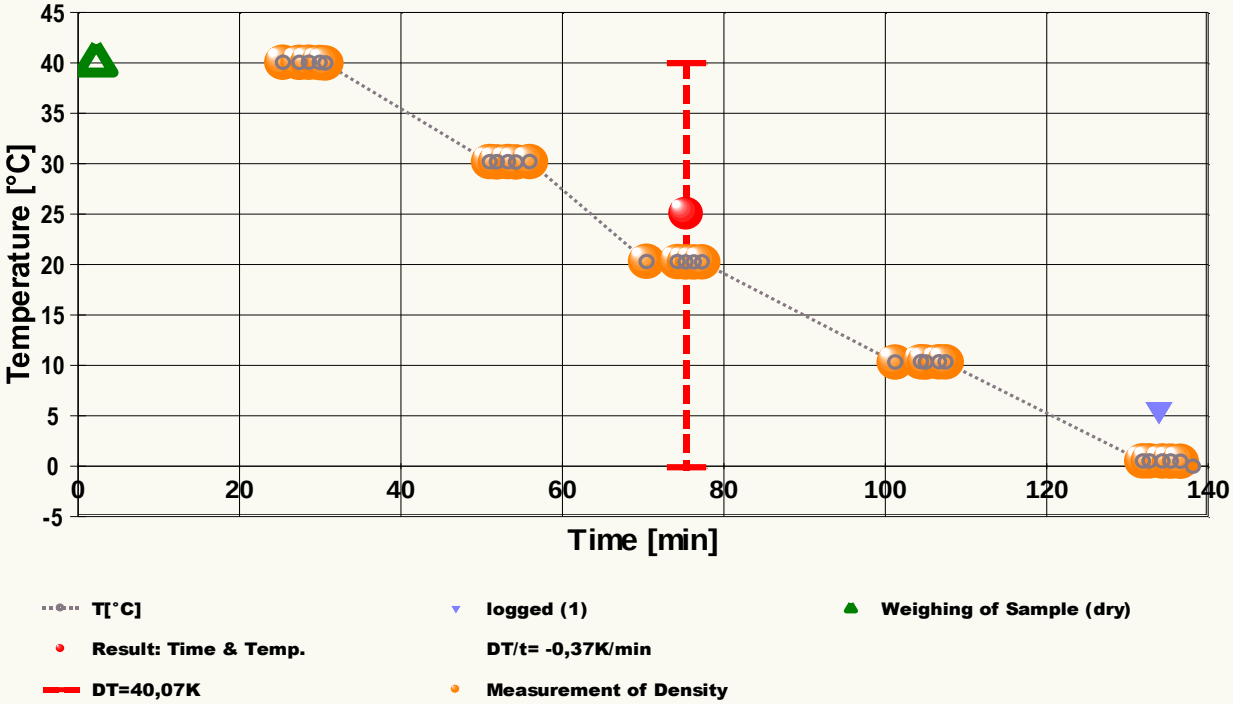
konventioneller Wägewert	W_k	**13,4218**	**g**	
Gewichtskraft	G	**131,667**	**mN**	131,623 p
Wichte, spez. Gewicht	γ	**8,4046**	**N/cm³**	8,4017 p/cm³

*Die Aufstellung gibt Materialeigenschaften zusammen mit individuellen Probendaten aus. *Die Unsicherheit für Masse und Volumen ist durch die jeweilige Standardmessunsicherheit angegeben, im Übrigen gilt der Erweiterungsfaktor k=2 für die erweiterte Standardmessunsicherheit (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 Ergbnis 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 ($^{\Delta\varrho}/_{\Delta T}$ = -1280 mg/gK), der angegebene kubische Ausdehnungskoeffizient (κ) und der lineare Ausdehnungskoeffizient mit α= 497,7 $10^{-6}\cdot K^{-1}$, 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. Die Masse dieser Probe ist also um 16,5 mg größer als der Wägewert angibt; materialbezogen beträgt der Unterschied bei der vorliegenden Luftdichte rund 1‰. Für die Angabe des 'konventionellen Wägewertes', der 'Gewichtskraft' und der 'Wichte' $\gamma = \varrho\cdot g/9.80665$ ('Pond': 1 p = 9.80665 mN) wurde die Probenmasse mit der Standardluftdichte und -fallbeschleunigung umgerechnet. Die dimensionslose 'relative Dichte' (=Dichtezahl) ist bezogen auf Wasser bei 4°C (ρ =0.999975 g/cm³) und 20°C (ρ =0.998207 g/cm³). 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 'Unces per cubic Inch' (Unzen pro Kubikzoll) beträgt 0,49523 oz/in³. Im Folgenden erhalten Sie Beschreibungen zu den Einzelheiten der durchgeführten Messung.*

• 25 Dichtemesswerte

Gesamtdauer der Aufzeichnungen in der Messung zwei Stunden; stufig, zwischen 40,0 und -0,1°C abfallender Temperaturverlauf, fünf Temperaturniveaus; mit vier Stufen; 9,9 K Temperaturunterschied je Stufe, mit jeweils fünf Messwerten.

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



133,9' : Blech (windschutz für Fallwinde) erst jetzt eingesetzt - Die ersten beiden Werte bei 0°C sollten gelöscht werden!

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 Auftriebsmesswerten. Ein Dreieck-Symbol am Anfang stellt den Zeitpunkt der Wägung der Probe dar. Zeitpunkt und Temperatur der Ergebnisangabe werden durch eine Kugel markiert. Die Temperaturspanne in der Messung wird durch die senkrechte gestrichelte Bake angezeigt. Das Dreieck (Spitze nach unten) zeigt den Zeitpunkt, zu dem vom Prüfer die oben angegebene Anmerkung in das Protokoll eingetragen wurde. Die zur Laufzeit der Messung vom Anwender/Prüfer eingegebenen Bemerkungen werden hier wiedergegeben, wobei am Anfang der Zeile der Eintragszeitpunkt als Minutenzahl angegeben ist.

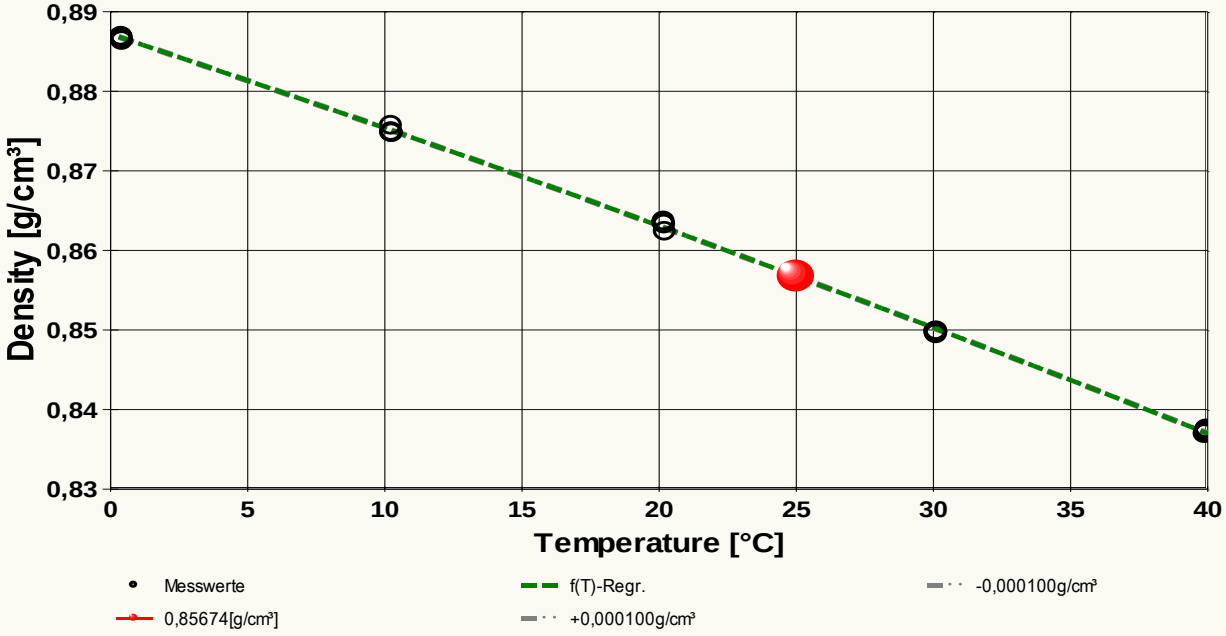
Das ausgegebene Messergebnis der Dichte wurde aus der Regressionsgleichung über den Temperaturverlauf der 25 Einzelergebnisse (0,4 bis 39,97°C), ebenso die Angaben zur Wärmedehnungermittelt. Grundlage ist die Gleichung:

$$\varrho(T) = f(\vartheta[°C]) = 0{,}8871805 - 1{,}155734 \cdot 10^{-3} \cdot \vartheta - 2{,}470007 \cdot 10^{-6} \cdot \vartheta^{2} \qquad \text{(Gl.1)}$$

Die Bestimmtheit der Gleichung ist, gemäß Korrelationskoeffizient r^2=0,99944, *recht gut*. Die Standardabweichung σ_ϱ der Gleichung beträgt $4{,}3 \cdot 10^{-4}$ g/cm³ und die Standardabweichung des Mittelwertes $\sigma_{M\varrho}$ $8{,}6 \cdot 10^{-5}$ g/cm³. Die Standardabweichung der Gleichung ist *unwahrscheinlich* groß und übertrifft die erweiterte Standardmessunsicherheit U_ϱ, die, wie weiter unten dargestellt, $1{,}0 \cdot 10^{-4}$ g/cm³ beträgt. Dies ist eine Anzeichen dafür, dass entsprechend exakte Messumstände nicht erreicht wurden. **Die Angabe von U_ϱ ist nicht haltbar, die Messunsicherheit des Ergebnisses ist unbestimmt.** Zur Angabe der Messunsicherheit der Dichte wurde im Ergebnis der Wert von σ_ϱ eingesetzt.

Zu große Standardabweichung - trotz guter Bestimmtheit: Evtl. sind die Messunsicherheiten der Eingangsgrößen nicht realistisch angegeben (oder Temperierproblem?). Bei größeren Temperaturbereichen kommt es vor, dass ein unstetiges Verhalten des Ausdehnungskoeffizienten die Messwerterepräsentation in einem einfachen Polynom nicht mehr getreu darzustellen erlaubt ***Bearbeitungshinweis****: wenn die Gleichung benötigt wird, messe man über kleinere Bereiche oder setze die Zeit- oder Temperaturbereichsschranke in der Auswertung ein.*

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



Das Diagramm "rho(T)" zeigt die 25 Dichtemesswerte als Kreissymbole in Temperaturabhängigkeit an. Es werden Messwerte mit dem Bereich der Messunsicherheit in Form einer gestrichelten Linie eingefasst.

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

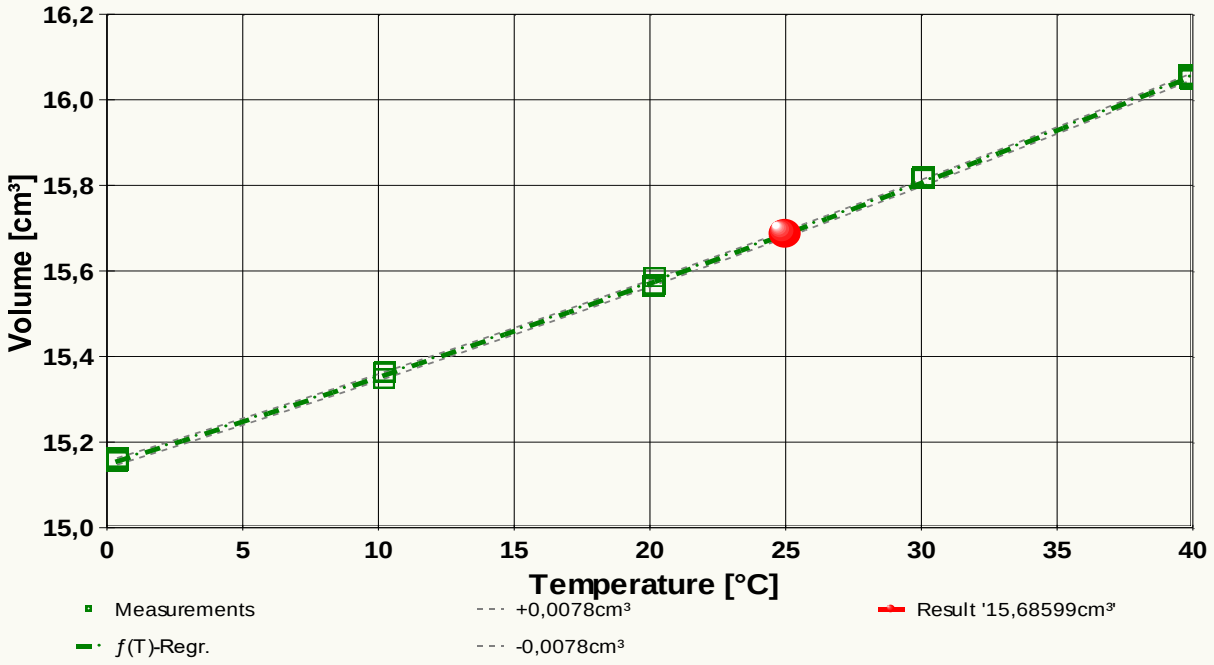
N° [min]	t [°C]	ϑ [g/cm³]	ρ_{Fl} [g/cm³]	ϱ_{Probe} [cm³]	V_{Probe} [s]	$\Delta t_{Akqu.}$ [K]	ΔT [g/cm³]	$\Delta\varrho_{Probe}$	N
1.	25,4	39,97	0,992232	0,837532	16,0454	7,8	0,00	5,3E-5	5
2.	27,5	39,96	0,992236	0,837444	16,0471	4,2	0,00	5,3E-6	3
3.	28,6	39,97	0,992232	0,837236	16,0511	4,2	0,00	1,1E-5	3
4.	30,0	39,95	0,992240	0,837019	16,0553	4,2	0,00	-5,2E-6	3
5.	30,7	39,90	0,992259	0,836939	16,0568	4,2	-0,01	-8,7E-6	3
6.	51,0	30,11	0,995618	0,849469	15,8200	4,2	-0,03	-1,9E-5	3
7.	51,9	30,10	0,995621	0,849585	15,8178	4,2	0,00	-5,4E-6	3
8.	53,3	30,11	0,995618	0,849701	15,8156	4,2	0,00	-1,1E-5	3
9.	54,3	30,08	0,995627	0,849769	15,8144	3,6	0,00	5,4E-6	3
10.	56,0	30,12	0,995615	0,849866	15,8126	4,2	0,00	4,1E-12	3
11.	70,5	20,22	0,998161	0,862371	15,5833	3,6	-0,04	-3,0E-5	3
12.	74,3	20,20	0,998165	0,863279	15,5669	3,6	0,00	-1,7E-5	3
13.	75,3	20,17	0,998171	0,863429	15,5642	4,2	0,00	-1,1E-5	3
14.	76,3	20,17	0,998171	0,863540	15,5622	4,2	0,00	3,8E-13	3
15.	77,3	20,18	0,998169	0,863666	15,5599	4,2	0,00	-1,1E-5	3
16.	101,3	10,24	0,999681	0,875681	15,3464	4,2	-0,03	8,9E-6	3
17.	104,3	10,27	0,999678	0,874748	15,3628	10,2	0,00	5,7E-6	6
18.	105,0	10,24	0,999681	0,874796	15,3619	4,2	0,00	-1,2E-12	3
19.	106,7	10,26	0,999679	0,874829	15,3614	3,6	0,00	1,1E-5	3
20.	107,5	10,25	0,999680	0,874898	15,3602	4,2	-	-	3
21.	131,6	0,43	0,999870	0,886543	15,1584	22,2	-0,15	-7,3E-5	12
22.	132,8	0,43	0,999870	0,886326	15,1621	4,2	0,00	5,8E-6	3
23.	134,4	0,42	0,999870	0,886782	15,1543	4,2	0,00	5,9E-6	3

24.	135,4	0,41	0,999869	0,886816	15,1537	4,2	0,00	-5,8E-6	3
25.	136,6	0,40	0,999868	0,886874	15,1527	4,2	0,00	3,2E-14	3

*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 '**Wasser**' in g/cm³, die den Maßstab der Messung darstellt. Die dazu ermittelte Probendichte ϱ_{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, Volumenanpassung), Quellung oder Auflösung. Die Beobachtungsdauer - als Stabilitätskriterium des Messwertes - erstreckt sich über die Zeitspanne $\Delta t_{Akqu.}$, die in Sekunden angegeben ist. Im selben Zeitraum kann sich die Temperatur ändern (Angabe ΔT in Temperaturgraden) und auch die Dichte der Probe $\Delta\varrho_{Probe}$ (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 $\Delta t_{Akqu.}$ 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

(4) 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:

$$V_T[\text{cm}^3] = f(\vartheta[°\text{C}]) = 15{,}14768 + 0{,}01960055\cdot\vartheta + 7{,}727796\cdot10^{-5}\cdot\vartheta^2 \qquad \text{(Gl.2)}$$

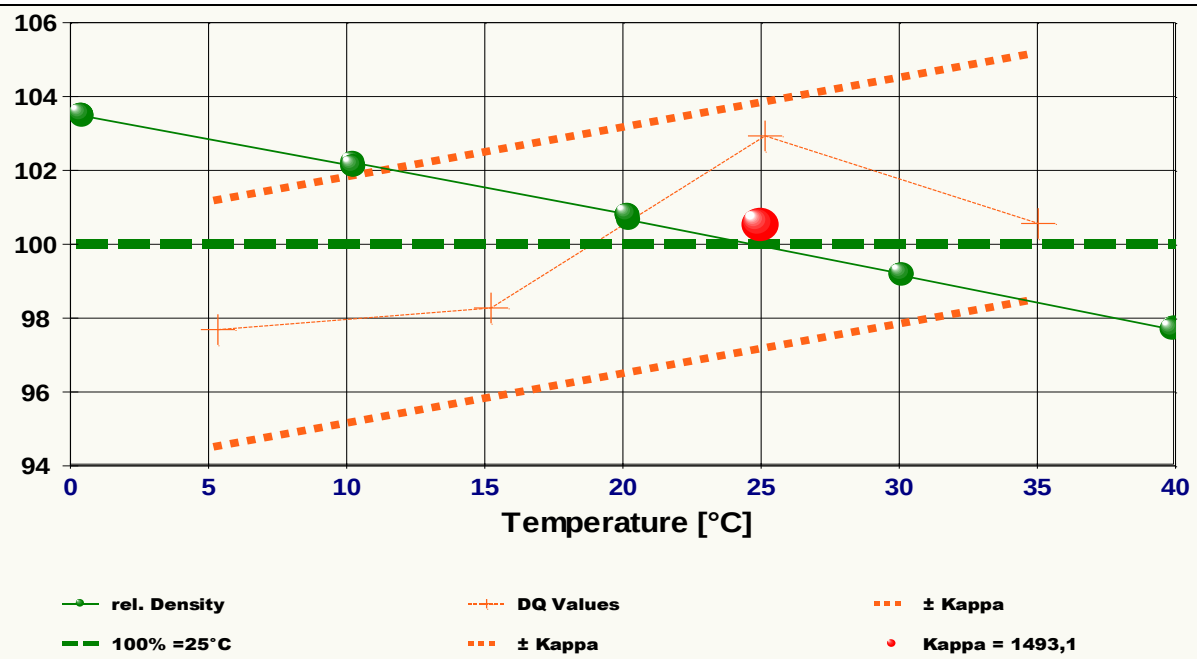
$r^2 = 0{,}99945$, $\sigma_V = 7{,}79\cdot10^{-3}$ cm³, $\sigma_{Vrel.} = 0{,}91\%$, $\sigma_{VM} = 1{,}6\cdot10^{-3}$ cm³.

Die erweiterte Messunsicherheit für das Probenvolumen beträgt $1{,}8\cdot10^{-3}$ cm³ und unterschätzt die empirische Streuung! Als Messunsicherheit wird daher σ_V eingesetzt.

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

(5) 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 Dichtemesswerte deren relative Abweichung zum '100%'-Wert bei 25°C, dem Angabewert (0,85674 g/cm³). Zusätzlich werden die ermittelten fünf 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 5,8%. Für eine erste Untersuchung der Wärmedehnung wurden die Dichtemesswerte in fünf Temperaturniveaus zusammengefasst. Aus den Dichte- und Temperatur- Differenzenquotienten ($\Delta\varrho$, ΔT) wurden jeweilige Ausdehnungskoeffizienten κ_Δ berechnet ($\kappa_\Delta \approx {}^{-\Delta\varrho}/_{\varrho\cdot\Delta T}$). Die Maximal- und Minimumwerte in den vier κ_Δ- Berechnungen betragen:

5,3°C : $\kappa_\Delta = 1345{,}4\cdot 10^{-6}K^{-1}$ ($\alpha \sim 448{,}5$)

25,1°C : $\kappa_\Delta = 1593{,}5\cdot 10^{-6}K^{-1}$ ($\alpha \sim 531{,}2$)

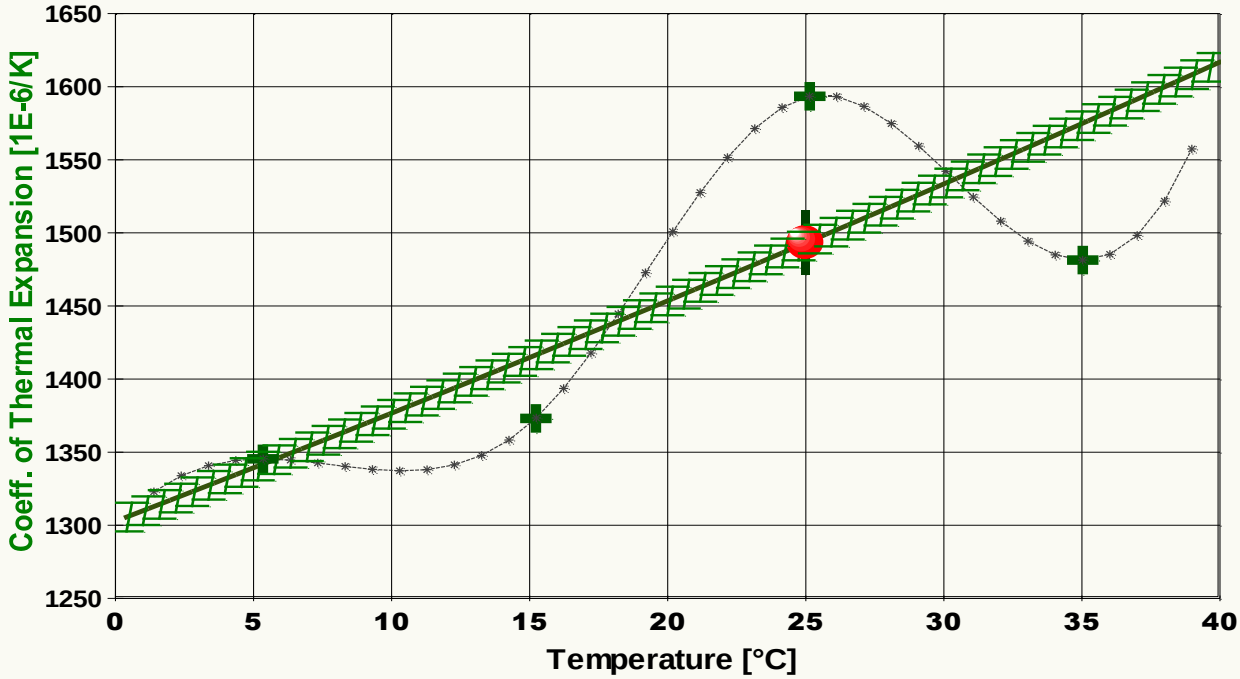
Eine Regression 1. Ordnung über die Einzelwerte erlaubt κ im Intervall als Funktion der Temperatur zu berechnen:

$\kappa_\Delta \mid [10^{-6}\cdot K^{-1}] = f(\vartheta[°C]) = 1320 + 6{,}350\cdot\vartheta$ (Gl.3)

mit $r^2 = 0{,}51$ und $\sigma_{\kappa\Delta} = 79\cdot 10^{-6}\cdot K^{-1}$, $\sigma_{M\,\kappa\Delta} = 39\cdot 10^{-6}\cdot K^{-1}$

Für 25°C ergibt sich κ_Δ aus der Gleichung zu $1479\cdot 10^{-6}\cdot K^{-1}$. Im Diagramm '*Drho*' sind neben der relativen Dichteänderung auch die einzelnen Differenzenquotienten und die Standardabweichung der Gleichung 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 14,2 Einheiten bzw. 1% größer angegeben.

(6) 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 Differenzenquotieten erhaltenen κ_Δ-Werte sowie der diskrete Werte-Verlauf in der Glättung durch Splines (Linie mit kleinen Sternmarkierungen) eingetragen [riG 44,5%].

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

$$\boldsymbol{\kappa \mid [10^{-6}\cdot K^{-1}] = f(\vartheta[°C]) = (1155{,}734 + 4{,}940014 \cdot \vartheta) / (0{,}8871805 - 1{,}155734E\text{-}3\cdot\vartheta - 2{,}470007E\text{-}6\cdot\vartheta^2)} \quad \text{(Gl.4)}$$

Für 25°C ergeben Gleichung und Messunsicherheit den Ergebniswert κ_{25} = 1493,1 ±10,0·10^{-6}/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 **±72**·10^{-6}/K bzw. 4,8% zur jeweiligen Temperatur anzunehmen.
Bei 25 °C zeigt sich eine relative Zunahme des Koeffizienten von 0,54% pro Grad. - Der Ausdehnungskoeffizient des Probenmaterials ist hier im Vergleich zu *normalen Feststoffen* ***absolut übermäßig groß***. Er verläuft mit der Temperatur ziemlich zunehmend.

Um das Volumen bzw. eine Volumenänderung für Vaseline (Chesebrough) bei einer bestimmten Temperatur ϑ im gültigen Temperaturbereich zwischen -0,1 und 40,0°C vorherzusagen, kann mit dem bei der Temperatur 9° gegebenen Volumen $V0_{9°}$ das Volumen $V1_\vartheta$ bei der Temperatur ϑ über das entsprechende Verhältnis der Dichten berechnet werden:

$$V1_\vartheta = V0_{9°}\cdot(0{,}88718 - 1{,}1557\cdot10^{-3}\cdot\vartheta° - 2{,}4700\cdot10^{-6}\cdot\vartheta°^2) / (0{,}88718 - 1{,}1557\cdot10^{-3}\cdot\vartheta - 2{,}4700\cdot10^{-6}\cdot\vartheta^2)$$

*Gleichung für ein Kalkulationsprogramm: (0,88718 -1,1557E-3*x0 -2,4700E-6*x0^2) / (0,88718 -1,1557E-3*x1 -2,4700E-6*x1^2) - mit x0, x1 in °C. - Wird stattdessen die angegebene Bestimmungsgleichung für $\kappa(\vartheta)$ verwendet ('κ=-1/$\varrho\cdot(\partial\varrho/\partial T)$'), gemäß $V1 = V0(1+\kappa\Delta T)$ bzw.(besser) $V1 = V0\cdot\exp(\kappa\Delta T)$, dann ist der Wert von κ für die mittlere Temperatur $(\vartheta°+\vartheta)/2$ einzusetzen. Allgemein gilt: $V1 = V0\cdot\exp(\int\kappa(\vartheta)dT)$.*
Die Dimension 10^{-6}/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 497,7 µm ändert; für eine Dehnung von 1 mm (0.1%) wäre rechnerisch ein ΔT von etwa 2 Grad erforderlich.

• Zusammenfassung zur Messunsicherheit der Einzelwerte

Messunsicherheit der Dichte - aus der Fortpflanzung der Messunsicherheiten der Eingangsgrößen
nach dem Modell: $\boldsymbol{\varrho_{Probe} = (W_2\cdot\rho_a - W_1\cdot\rho_{Fl}) / (W_2 - W_1)}$ (Gl.5)

i	X_i		x_i	$u(x_i)$	c_i		$c_i\cdot u(x_i)$ [g/cm³]		ν_i
1	W_1	g	13,422100	8,21·10^{-5}	8,70·10^{-3}	1/cm³	7,14·10^{-7}		∞
2	W_2	g	-2,1058	8,64·10^{-4}	0,0554	1/cm³	4,79·10^{-5}		24
3	ρ_a	g/cm³	11,8·10^{-4}	1,00·10^{-6}	0,136	---	1,36·10^{-7}		∞
4	ρ_{Fl}	g/cm³	0,9971145	9,50·10^{-6}	0,864	---	8,21·10^{-6}		∞
Y	ϱ_{Probe}	g/cm³	0,86205		$u(y)=\sqrt{(\sum(c_i\cdot u(x_i))^2)}$ =		4,86·10^{-5}	ν_{eff}	= 25

Angabe der erweiterten Messunsicherheit U_ϱ aus der kombinierten Standardmessunsicherheit (u_ϱ 4,86·10^{-5} g/cm³) mit dem Erweiterungsfaktor k_{95} = 2,06. Die Werte der Probendichte liegen in der Regel mit einer angenäherten Wahrscheinlichkeit von 95% im Überdeckungsintervall ±1,0·10^{-4} g/cm³ bzw. im Bereich ±0,12‰ des Messwertes.

Die verwendeten Symbole entsprechen der Nomenklatur des 'GUM' (JCGM 100:2008). Die aufgeführten Eingangsgrößen 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.5) nach X_1 mit der Variablen x_1 berechnet. Die Wurzel der summierten Varianzen u_ic_i liefert die kombinierte Standardmessunsicherheit der Feststoffdichte (Y ϱ_{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 = 24). Die Eingangswerte x_1 und $u_1(x)$ für das Probengewicht W_1 wurden im Messablauf bestimmt; weitere Einzelheiten sind in den folgenden Abschnitten angegeben. Das Zeichen ρ_a steht für die Luftdichte; ihr zugehöriger Größenwert x_3 und $u_3(x)$ wurdezur 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 Fluiddichte 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 2,79 erhalten; Dichtewerte liegen mit nahe 99%iger Wahrscheinlichkeit im Überdeckungsintervall ±1,4·10^{-4} g/cm³.

Messunsicherheit der Masse - gemäß der Grundgleichung:

$$\boldsymbol{m_{Probe} = W_1\cdot(1 - \rho_a/\varrho_{cal}) / (1 - \rho_a/\varrho_{Probe})} \quad \text{(Gl.6)}$$

i	X_i		x_i	$u(x_i)$	c_i		$c_i\cdot u(x_i)$ [g]		ν_i
1	W_1	g	13,42210	8,21·10^{-5}	1,00	---	8,22·10^{-5}		-
2	ρ_a	g/cm³	11,8·10^{-4}	1,00·10^{-6}	13,9	cm³	1,39·10^{-5}		-
3	ϱ_{cal}	g/cm³	8,000	8·10^{-3}	2,49·10^{-4}	cm³	1,99·10^{-6}		-
4	ϱ_{Probe}	g/cm³	0,86205	4,86·10^{-5}	-0,0214	cm³	-1,04·10^{-6}		-
Y	m_{Probe}	g	13,43857		$u(y)=\sqrt{(\sum(c_i\cdot u(x_i))^2)}$ =		8,34·10^{-5}	ν_{eff}	-

Angabe der erweiterten Messunsicherheit mit dem Erweiterungsfaktor k = 2. Die Masse der Probe m_{Probe} wird zu 13,43857 ±1,7·10^{-4} g bestimmt. Die relative Messunsicherheit beträgt 12 ppm.

Die Standardmessunsicherheit von ϱ_{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: $\boldsymbol{V_{Probe} = m_{Probe} / \varrho_{Probe}}$

$$\boldsymbol{u(V_{Probe}) = \sqrt{(u(m_{Probe}) / \varrho_{Probe})^2 + (-m_{Probe}\cdot u(\varrho_{Probe}))/\varrho_{Probe}^2}} = 0{,}00088 \text{ cm}^3 \quad \text{(Gl.7)}$$

Die erweiterte Messunsicherheit des Probenvolumens wird mit dem Erweiterungsfaktor k = 2 angegeben, sie beträgt 0,00176 cm³ bzw. relativ 0,11‰.

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

Messunsicherheit des kubischen Ausdehnungskoeffizienten - nach dem linearen Modell:

$$\kappa_{Probe} = -2\cdot(\varrho_1 - \varrho_2)/((\vartheta_1 - \vartheta_2)\cdot(\varrho_1+\varrho_2)) \qquad \text{(Gl.8)}$$

i	X_i		x_i	$u(x_i)$	c_i		$c_i \cdot u(x_i)$ [K^{-1}]		ν_i
1	ϱ_1	g/cm³	0,88672	$1{,}15\cdot10^{-4}$	-0,0285	cm³/g·K	$-3{,}27\cdot10^{-6}$		-
2	ϱ_2	g/cm³	0,83704	$1{,}09\cdot10^{-4}$	0,0302	cm³/g·K	$3{,}27\cdot10^{-6}$		-
3	ϑ_1	°C	0,40	0,0301	$-3{,}68\cdot10^{-5}$	1/K²	$-1{,}11\cdot10^{-6}$		-
4	ϑ_2	°C	39,97	0,0307	$3{,}68\cdot10^{-5}$	1/K²	$1{,}13\cdot10^{-6}$		-
Y	κ_{Probe}	K^{-1}	$1{,}46\cdot10^{-3}$		$u(y)=\sqrt{(\sum(c_i\cdot u(x_i))^2)}$ =		$4{,}89\cdot10^{-6}$	ν_{eff}	-

Die erweiterte Messunsicherheit (k=2) des Ausdehnungskoeffizienten $U\kappa$ beträgt $9{,}8\cdot10^{-6}$ K^{-1} bei der Temperatur 20,19°C. Die Messunsicherheit von κ ist zwischen 0 und 40°C über die relative Messunsicherheit von 0,67% weiterzugeben.

Die Symbole ϱ_1 und ϱ_2 stehen für die Probendichtewerte die zu den Temperaturen ϑ_1 und ϑ_2 gehören.

• Zur Dichte der Messflüssigkeit

Messflüssigkeit '*Wasser*': Die Dichtedaten wurden als Funktion der Temperatur aus der Referenzdatenbank entnommen. Die Flüssigkeitsdichte $\rho_{Fl.}$ wurde gemäß folgender Bestimmungsgleichung zur jeweiligen Temperatur ϑ berechnet:

$\rho_{Fl.} = f(\vartheta[°C])=(6.5592063E\text{-}05\cdot\vartheta^5 - 1.1225639E\text{-}02\cdot\vartheta^4+1.0026530\cdot\vartheta^3-90.968893\cdot\vartheta^2 + 679.48991\cdot\vartheta + 9998425.9)/1E7$ (Gl.9)

Beiträge zur Unsicherheit der Flüssigkeitsdichte $u(\rho_{Fl})$ wurden ebenfalls aus den Referenzdaten bezogen ($u(\rho_{L.Equ.})$= $2{,}89\cdot10^{-6}$ g/cm³) sowie aus der Messunsicherheit der Temperatur ($u(\rho_{L.Temp.})$= $9{,}05\cdot10^{-6}$ g/cm³) bestimmt und belaufen sich damit auf $9{,}50\cdot10^{-6}$ g/cm³.

BEARBEITUNGSHINWEISE: Beachten Sie bitte, dass die Messunsicherheit der Flüssigkeitsdichte vom System automatisch eingesetzt wurde. Geben Sie ggf. den realistischen Zahlenwert im Datenblatt an. Die Unsicherheit der Flüssigkeitsdichte wird durch die Präzision der Temperaturangabe wesentlich mitbestimmt. Neben der vom System vorgegebenen Messunsicherheit der Temperatur (0,03 K) wird die während der Messung registrierte Schwankung (0,0312 K) berücksichtigt.

• Probenhandhabung und Messtechnik

Die Gewichtsbestimmung der Probe zu 13,4221 g erfolgte auf dem System am Beginn des Messablaufs; die Messunsicherheit wurde aus den Umständen der Wägung zu 65,1 µg bestimmt. Einsatz einer variablen Prüfkörperaufhängung. Für die Probenbefestigung werden 9,9675 ±0,00005 g Gewicht berücksichtigt. Zur Auftriebskorrektur durch das Volumen des Probenhalters werden seine Dichte 7,7379 ±0,00005 g/cm³ und sein kubischer Ausdehnungskoeffizient 70,1 $\pm0{,}05\cdot10^{-6}K^{-1}$ mit der Bezugstemperatur 25°C herangezogen. Für die angewendete IMETER-Patentmethode (Meniskus- und Drifteliminierverfahren) wurde der Aufhängungsquerschnitt mit 0,07071 mm² angegeben. Über den Niveau-Unterschied von im Mittel 5,4 mm zwischen Bezugskraft- und Auftriebskraft-Messung ergibt sich ein Beitrag von etwa 0,38 mm³, um den der Volumenauftrieb korrigiert wird.

Jedem messtechnischen Größenwert ist ein Unsicherheitsbetrag zugeordnet. Die Unsicherheitsbeiträge sind voneinander 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 setzen Sie für die Gewichtsbestimmung im IMPro die I-Weighing-Funktion ein - diese würde genauere Informationen zur Probenwägung und Messunsicherheit liefern. Beiträge zur Messunsicherheit des Probengewichts $u(W_1)$ aus dem Zustand und den Eigenschaften der Waage ⇒ Unsicherheitsbeiträge der Probenwägung mit Verteilungsfaktoren: Reproduzierbarkeit $u(W\delta_{Rep.})$=50 µg / √3, Nullpunkt der Anzeige $u(W\delta_{Zero})$=**0,10 mg** / √3, Linearität der Anzeige $u(W\delta_{Lin.})$=12 µg / √3, Justier/Kalibrierreferenz, OIML E2, $u(W\delta_{mcal.})$=0,11 µg / 2, Temperaturunterschied bei Wägung und Justierung, 1 ppm pro K, $u(W\Delta_{Tcal})$=6,7 µg / √3, Zeit seit letzter Justierung, 50 µg/Tag, $u(W\Delta_{tcal.})$=2,7 µg / √3. - und entsprechende Messunsicherheitsbeiträge bei der Auftriebswägung als Rückkopplung zu $u(W_2)$ ⇒ Unsicherheitsbeiträge der Auftriebswägung , kurz: $u(W\delta_{Rep.})$=50 µg / √3, $u(W\delta_{Zero})$=0,10 mg / √3, $u(W\Delta_W)$=**0,32 mg** / √25, $u(W\delta_{Lin.})$=-1,9 µg / √3, $u(W\delta_{mcal.})$=-0,71 µg / 2, $u(W\Delta_{Tcal})$=-1,1 µg / √3, $u(W\Delta_{tcal.})$=2,7 µg / √3.*

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. ***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

--- R E F E R E N Z ----------	g/cm³ ---------	A B W E I C H U N G	---------- I N F O ----------
1. Rubitherm RT35 HC (Wachs)²	0,8573	+0,65‰	Rubitherm RT35 HC, Schmelzkörper weiss-opak (Lufteinsch…
2. Paraffin²	0,85	-0,79%	
3. PMP, TPX²	0,83	-3,1%	
4. PP²	0,9	+5,0%	
5. Wachs (Teelicht)²	0,9019	+5,3%	Wachs-schmelzkörper ('Teelicht'). ID15887
6. Paraffin EP 56-58°C (Wachs)²	0,9079	+6,0%	Wachs "Paraffin EP 56-58°C", Merck. ID N° 15893
7. Butterfett²	0,911	+6,3%	
8. Palmöl²	0,915	+6,8%	Schmelztemp. 35°
9. Ulme, Rüster (A)²	0,745	-13%	astrein, Ulme (Rüster), Musterkoffer, IDN°15916
10. Rotbuche (A)²	0,732	-15%	Artefakt, astrein, ID N° 15911 (30mm Würfel, Musterkoff…

²*tabellierter 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.*

……

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 bzw. Auswertungskapitel: *Mit Diagramm 3 "roh(t)" werden Messwerte in zeitlicher Form angezeigt.*
Berichtseinstellungen - aktivierte Ausgabeeinstellungen: *Datenbankvorschläge anzeigen, Erläuterungstexte, detaillierte Ergebnisse, allgemeine Angaben, Vergleichsanalyse, alternative Einheiten, Zusatzinformationen, Bearbeitungshinweise, formatierte Tabellen, Prüfmittelüberwachung, Online-Protokoll, Status und Ausführungshinweise, Berichtseinstellungen, Authentifizierungen, sensorische Zusatzdaten + IFG-Ereignisse.*
Beschränkte Informationsausgabe durch negierte Optionen: *Audit-Trail werden nicht angezeigt.*
Temperaturangaben *beziehen sich auf die Skala der ITS-90.* ***Standardabweichungen:*** *Verschiedentlich werden Regressionsfunktionen mit Standardabweichungen bzw. Varianzen qualifiziert. Diese Angaben werden berechnet aus der Summe der Quadrate der Abweichungen der Einzelwerte zu jeweils berechneten Funktionswerten dividiert durch die Anzahl der Werte weniger 1. Sofern nicht anders bezeichnet, werden für ±(Standardmess-)Unsicherheiten einfache Standardabweichungen - ohne Erweiterungsfaktoren - angegeben, d.h. die Überdeckung betrifft 67% normalverteilter Werte.*
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 15, Datenbank imeter-Beispiele) 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 createtd during execution of the IMPro *"Dichte-SI-Körper2"*, type 9/34. Measuring process performed accordingly.

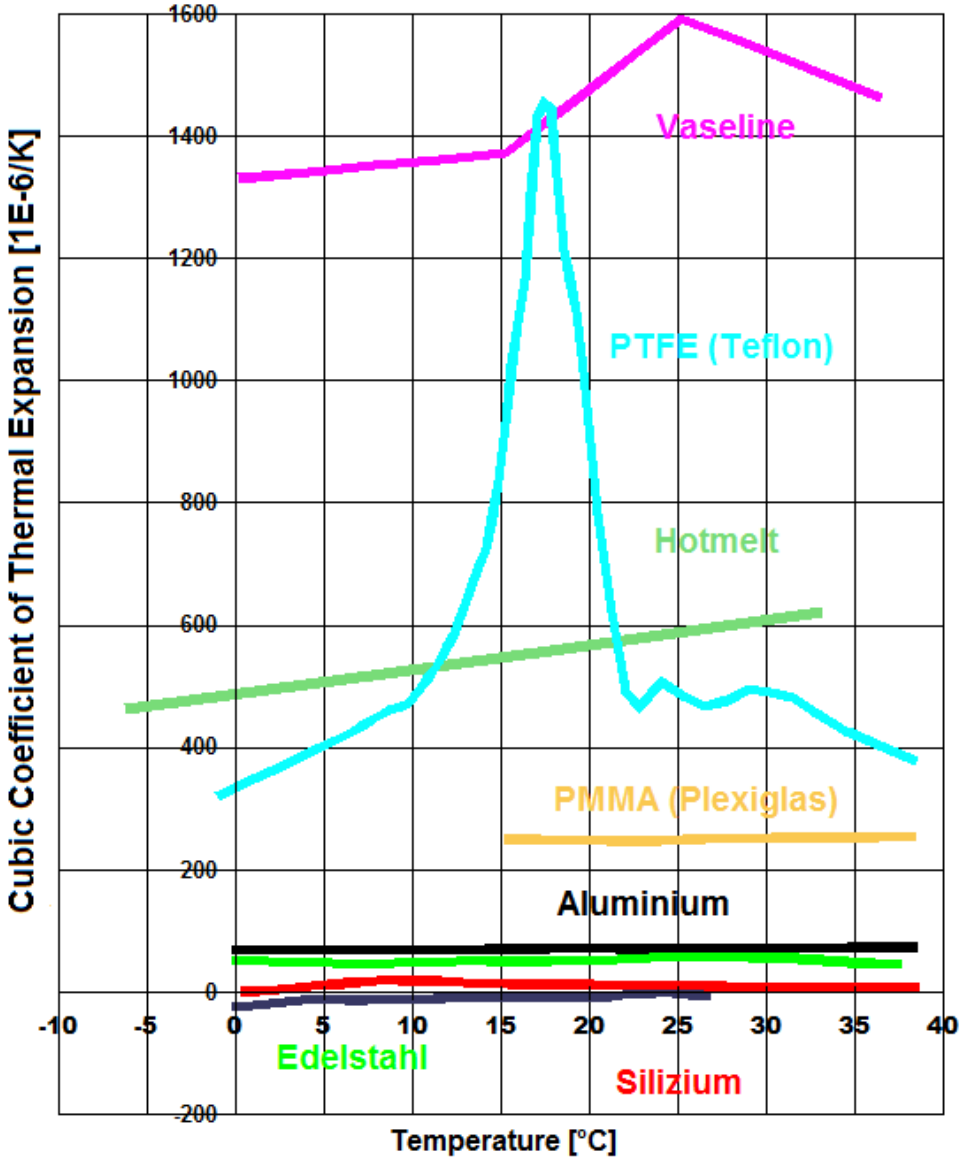
Prüfmittel

Das Wägesystem (BP221S) wurde 1,3 Stunden vor dieser Messung von M.Breitwieser justiert.
IMETER ID081007074: Technische Daten: Auflösung des Wägesystems 0,1 mg, Messunsicherheit (Linearität)*) 0,5 mg, Dichte der Justiermasse ρ_{cal}*) 8,000 g/cm³, Luftdichte ρ_a*) 1,184 kg/m³; Schwerebeschleunigung g*) 9,81 m/sec².
*): ***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!*

Report created by J. Hänig

„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.



Vergleich einiger Ausdehnungskoeffizienten in Temperaturabhängigkeit. Der Ausdehnungskoeffizient scheint teilweise gut mit der Härte (bzw. dem E-Modul) zu korrelieren.

IMETER

Messtechnik - nachhaltig zusammengefasst

Intelligenter messen.

- *Feststoff- und Flüssigkeitsdichte, Ausdehungskoeffs.*
- *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!