



Feststoffdichte, Reinheit und Dilatation

Ein Aluminium - Werkstoff

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, entscheidend ist, dass es mit imeter, neben einigen anderen Messtechniken einfach ziemlich aufwandsfrei 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. Darüberhinaus wurde die Wägezelle im Ablauf zyklisch Justiert. So ist die Methode unerreicht sicher, robust und genau.

Diese Messung wurden in einem Temperiergefäß mit Deckel ausgeführt (Messzelle), die Flüssigkeit wird dabei mit dem integrierten Magnetührwerk umgewälzt, um im Fluid eine einheitliche Temperatur zu gewährleisten. Dabei dient ein durch imeter gesteuerter *Ministat* -Thermostat (Peter Huber Kältemaschinenbau GmbH, Offenburg - www.huber-online.com) zur exakten Temperierung.

Messungen laufen selbstverständlich 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 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 (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 Modelliersprache, 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).

automatischer Bericht (BOE53F016312B), imeter/MSB, Augsburg am 24.04.06

ID N° 7234 - Feststoffdichte, Dilatation & Gehalt

ausgeführt am Montag, 10 April 2006, von imeter

Titel: Werkstoff-Aluminium - Dilatation

Bemerkung:

Zylinder, Vollmaterial. Wasser und Körper vor Messung auf 55°C temperiert (zum Ausgasen des Wassers). Temperierung und Temperaturhomogenität durch angesteuertes Magnetrührwerk unterstützt.

Ergebnis: $\rho^{25,00^\circ\text{C}} = 2,81671\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, $\kappa = 69,31\cdot 10^{-6}\cdot\text{K}^{-1}$, $c_{\text{Aluminium, rein}} = 94,112\% \text{ m/m}$
 gemessen in Wasser, Augsburg, Dest.

Bericht

Hinweis: Die Aktivierung der Option "ERLÄUTERUNGSTEXTE", die für diese Berichts Ausgabe eingestellt ist, bewirkt, dass der Bericht selbst und erklärungsbedürftige Elemente darin mit Erläuterungen versehen werden. 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 Aluminium, rein

	Referenzwert	Messung	Abweichung absolut	relativ	Signifikanz
ρ	2,701	2,817	+0,116g·cm ⁻³	4%	3867
$^{-\Delta\rho/\Delta T}$	190	195	+5 g·m ⁻³ ·K ⁻¹	3%	@

Referenz "Aluminium, rein", Bezugstemperatur = 25,00°C. Zum Datenvergleich wurde das genauere Messergebnis auf die Präzision der Referenzangabe um zwei Stellen gekappt. Die Datenbank liefert mit **AlCuMg1, 2,8g·cm⁻³**, einen besser passenden Referenzwert, der Unterschied zum Messwert beträgt gleichwohl **0,017g·cm⁻³**.

Der Ergebnisvergleich mit den Angaben, die in der Referenzdatenbank zu 'ALUMINIUM, REIN' 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.

• Gehalt

		% m/m	% v/v	absolut [g]
Aluminium, rein	:	94,112	98,143	203,8100
Kupfer, rein	:	5,888	1,857	12,7520

Die Gehaltsbestimmung basiert auf vorliegenden Datenbankeinträgen und der Angabe zum $\rho_{1/2}$ -Koeffizient:

Aluminium, rein, ID20189.1: $\rho_1 = f(\zeta[^\circ\text{C}]) = 2.702 - 1.86\text{E}-4 \cdot (\zeta - 20)$

Präzision: drei gültige Dezimalen.

Kupfer, rein, ID20221.1: $\rho_2 = f(\zeta[^\circ\text{C}]) = 8.9331 - 4.502\text{E}-4 \cdot (\zeta - 25)$

Präzision: vier gültige Dezimalen.

$\rho_{1/2}$ - Koeffizient: nicht gesetzt bzw. Angabe für ideales Verhalten der Mischungsdichte.

Die Berechnung der Reinheit bzw. des Gehalts beruht auf der Beziehung: $\rho_{\text{Ges}} = (m_1 + m_2) / (m_1/\rho_1 + m_2/\rho_2)$. Dabei ist ρ_{Ges} der hier gemessene Dichtewert, dessen Verhältnis in der Summe der Massen ($m_1 + m_2$) und der Volumen ($V = m/\rho$) analysiert wird. Der $\rho_{1/2}$ - Koeffizient, der von "1" normalerweise nicht sehr verschieden ist und aus ermittelten Dichtewerten der Komponentenmischung dargestellt wird, ist der Zahlenwert, der mit ρ_1 multipliziert wird und Schwund (<1) oder Expansion (>1) durch die Wirkung der Mischung auf die Gesamtdichte ausdrückt. Der Wert '1', wie angegeben, ist für Konglomerate, Linker, ideale Legierungen annehmbar sowie in der Regel bei geringfügigen Beimengungen. Bei höheren Anteilen der Verunreinigung (Kupfer, rein) kann sich ein nicht ermittelter $\rho_{1/2}$ - Koeffizient verstärkt auswirken!

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 und Koeffizienten sind für 25,00°C angegeben.)

Dichte	$\rho = 2,81671$	$\pm 0,00003$	g/cm^3	10ppm
Temperaturkoef. $^{-\Delta\rho/\Delta T}$	$k = 195,2$	$\pm 2,90$	$\text{g/m}^3\cdot\text{K}^{-1}$	1%
Ausdehnungskoeff.	$\kappa = 69,31$	($\alpha = 23,1$)	$10^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$	
Volumen	$V = 76,8847$	$\pm 0,0007$	cm^3	9ppm
Masse	$m = 216,5620$	$\pm 0,0004$	g	2ppm
Wägewert	$W = 216,5023$	$\pm 0,0004$	g	

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 $\rho_{\text{Luft}}=1,2\text{kg/m}^3$, 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 $8,000\text{g/cm}^3$ 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.

Die Masse der Probe ist um $59,7\text{mg}$ größer als der Wägewert; materialbezogen beträgt der Unterschied $0,3\%$.

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 $8,23\cdot 10^{-5}\text{g/cm}^3$, Grundlage ist die Regressionsgleichung:

$$\rho(T) = f(\zeta[^\circ\text{C}]) = 2,82149 - 0,00018679 \cdot \zeta - 1,810\text{E-}7 \cdot \zeta^2$$

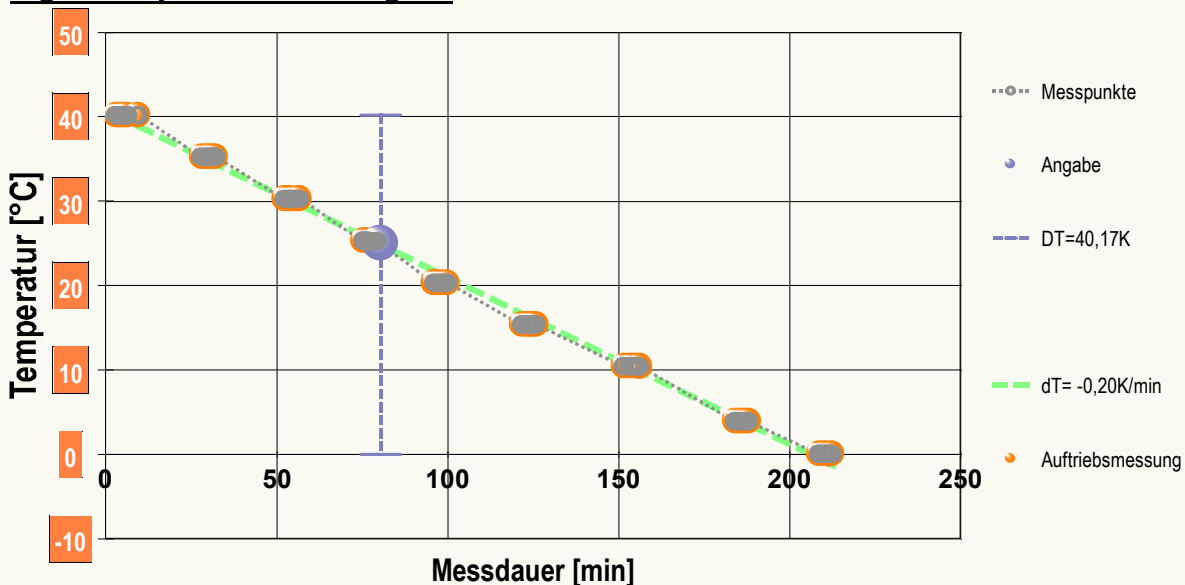
Die Qualität der Schätzung, gemäß Korrelationskoeffizient, $r^2=0,999949$, ist **exzellent**. Die Streuung ist dabei gleichwohl größer, als die Fehlerschätzung. Ein exakterer Wert bei $25,00^\circ\text{C}$ mag evtl. aus der Ergebnistabelle entnommen werden. Die Temperaturkoeffizienten sind im Verlauf nicht konstant.

Bei größeren Temperaturbereichen kommt es vor, dass ein un stetiges Verhalten des Ausdehnungskoeffizienten die Messwertrepräsentation in einem einfachen Polynom nicht mehr getreu darzustellen erlaubt (Wenn die Gleichung benötigt wird, messe man über kleinere Bereiche oder setze die Zeit- oder Temperaturbereichsschranke in der Auswertung ein). Der Temperaturkoeffizient wurde aus einer Regression über die Differenzenquotienten ermittelt. Einzelheiten dazu folgen am Ende des Berichts.

• **45 Dichtemesswerte**

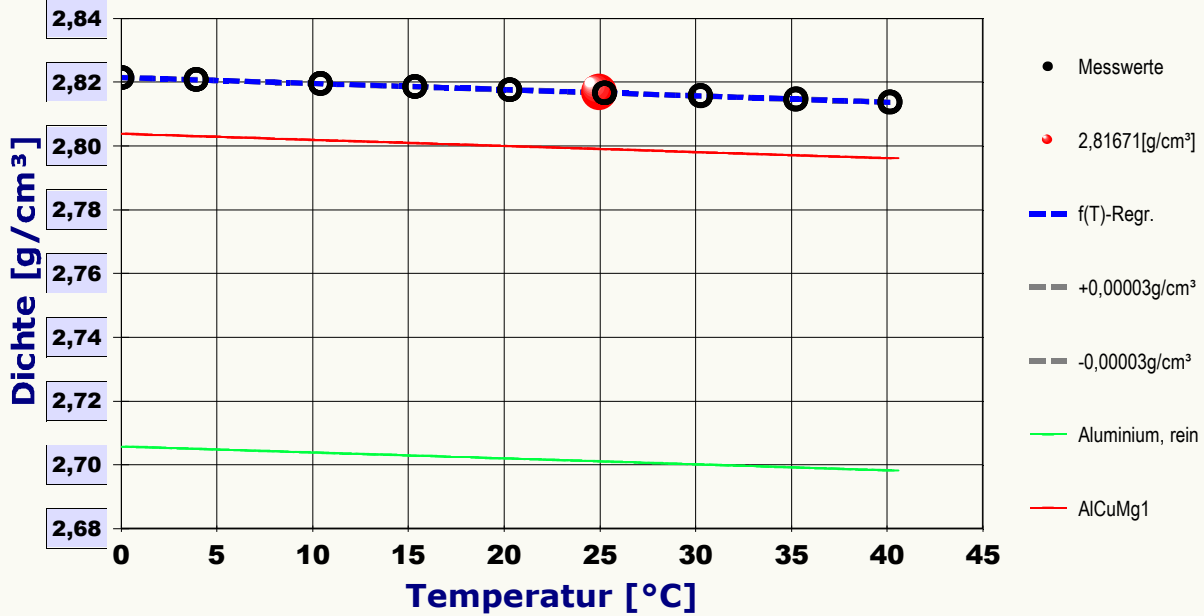
gesamte Dauer 3,5 Stunden; stufig abfallender Temperaturverlauf der Messwerte, neun Temperierstufen; im Mittel 5K Temperaturunterschied je Niveau und mit jeweils fünf Messwerten besetzt.

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 Auftriebsmessungen. Anzeige von Zeitpunkt und Temperatur der Ergebnisangabe durch eine Kugel sowie die aufgetretene Temperaturspanne durch den senkrechten Strich.

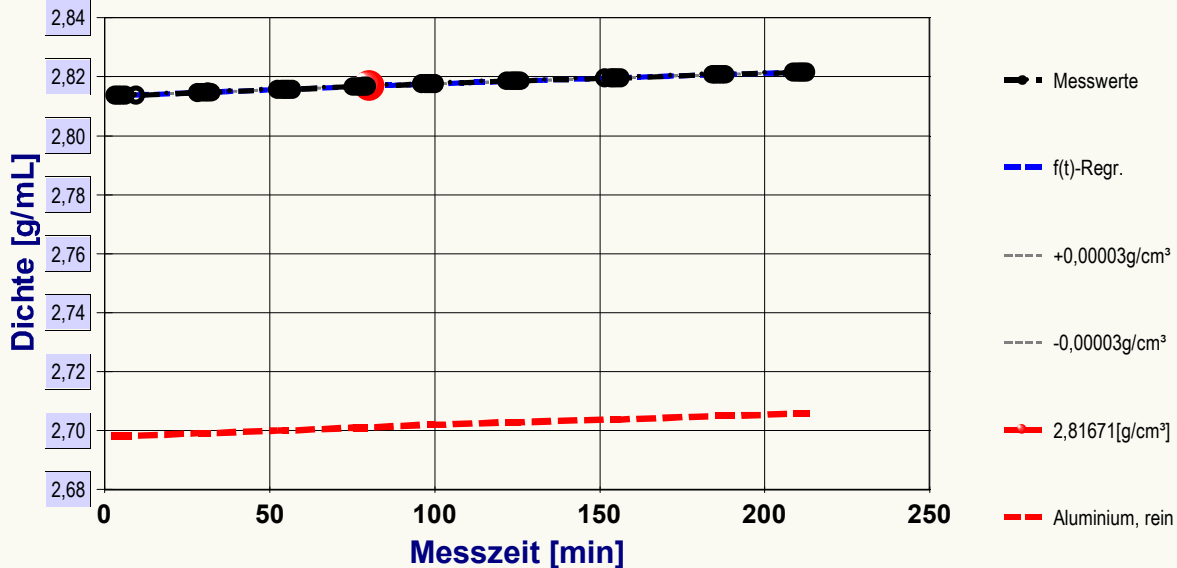
Diagramm 'Temperaturabhängigkeit'



Das Diagramm, "Temperaturabhängigkeit", oben, zeigt die 45 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 "Aluminium, rein" entsprechend der Referenzdaten eingezeichnet. Im oberen Schaubild ist daneben noch der Datenbank-Stoff mit der ähnlichsten Dichte bei 25,00°C markiert ("AlCuMg1"). 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.

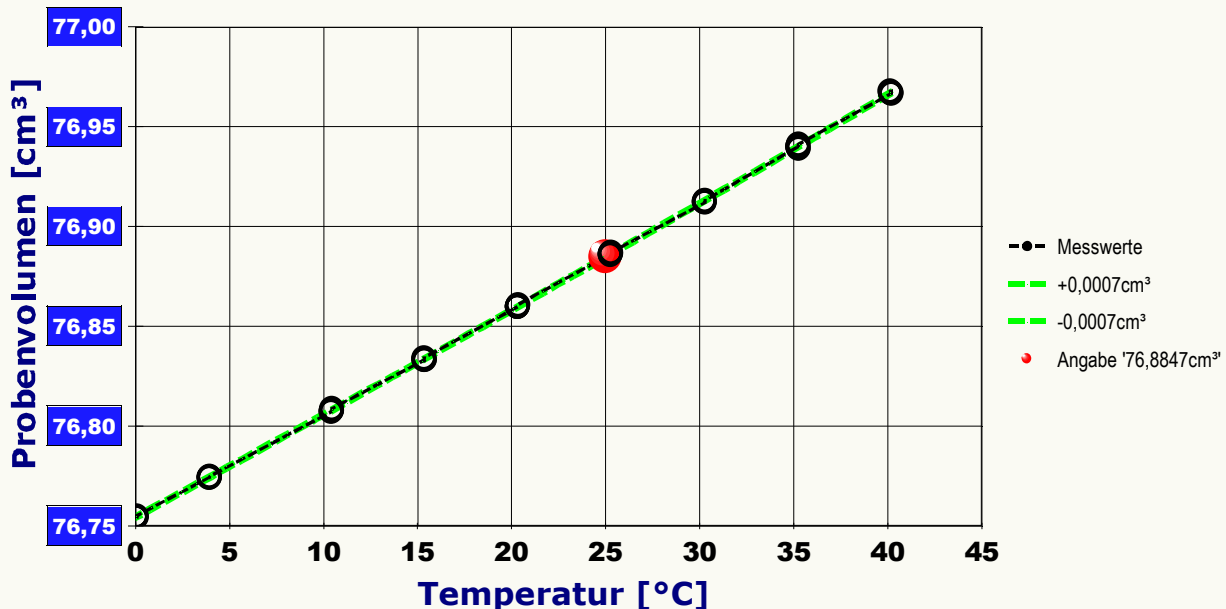
Tabelle der Detaildaten:

N°	Zeit	T	ρ_n	ρ_{Probe}	V_{Probe}	$\Delta t_{Akum.}$	ΔT	$\Delta \rho_{Probe}$	N
1.	3,1	40,13	0,992164	2,813669	76,96784	3,6	-	-	4
2.	4,1	40,15	0,992156	2,813697	76,96709	1,2	-	-	2
3.	5,1	40,16	0,992152	2,813701	76,96698	1,2	-	-	2
4.	6,3	40,18	0,992145	2,813694	76,96717	0,6	-	-	2
5.	9,5	40,18	0,992145	2,813713	76,96665	1,8	-	-	3
6.	28,2	35,26	0,993940	2,814638	76,94135	0,6	0,00	4,1E-6	2
7.	29,5	35,23	0,993950	2,814682	76,94014	1,8	0,00	-3,6E-6	3
8.	30,5	35,25	0,993943	2,814708	76,93943	2,4	0,00	3,7E-6	3

9.	31,3	35,25	0,993943	2,814719	76,93913	1,2	-	-	2
10.	32,3	35,23	0,993950	2,814686	76,94004	1,2	0,00	4,2E-6	2
11.	52,4	30,27	0,995563	2,815671	76,91311	3,0	0,00	3,7E-6	4
12.	53,8	30,27	0,995563	2,815694	76,91250	1,2	-	-	2
13.	54,7	30,26	0,995566	2,815702	76,91227	1,2	-	-	2
14.	55,7	30,26	0,995566	2,815687	76,91268	1,2	-	-	2
15.	56,8	30,27	0,995563	2,815712	76,91199	1,2	-	-	2
16.	75,3	25,28	0,996971	2,816623	76,88713	1,2	-	-	2
17.	76,7	25,28	0,996971	2,816641	76,88662	0,6	-	-	2
18.	77,6	25,25	0,996978	2,816645	76,88654	1,2	-	-	2
19.	78,5	25,24	0,996981	2,816671	76,88582	1,2	-	-	2
20.	79,4	25,26	0,996976	2,816656	76,88623	1,2	-	-	2
21.	96,0	20,33	0,998133	2,817585	76,86088	1,8	0,00	3,6E-6	3
22.	97,3	20,32	0,998135	2,817613	76,86011	1,2	-	-	2
23.	98,2	20,31	0,998137	2,817619	76,85995	3,0	0,01	5,9E-6	4
24.	99,2	20,30	0,998139	2,817621	76,85989	2,4	-	-	3
25.	100,0	20,30	0,998139	2,817625	76,85979	1,2	-	-	2
26.	121,8	15,35	0,999043	2,818560	76,83429	1,8	0,00	3,6E-6	3
27.	123,3	15,34	0,999045	2,818591	76,83345	1,2	0,00	4,1E-6	2
28.	124,1	15,36	0,999042	2,818597	76,83328	1,2	-	-	2
29.	125,0	15,37	0,999040	2,818589	76,83350	1,8	0,00	-3,7E-6	3
30.	125,9	15,35	0,999043	2,818601	76,83316	3,0	0,00	-3,7E-6	4
31.	151,6	10,44	0,999656	2,819497	76,80876	0,6	-	-	2
32.	153,4	10,43	0,999657	2,819530	76,80786	1,2	-	-	2
33.	154,2	10,43	0,999657	2,819533	76,80776	1,2	-	-	2
34.	155,3	10,42	0,999658	2,819543	76,80749	1,2	-	-	2
35.	156,2	10,41	0,999659	2,819553	76,80721	3,0	-	-	4
36.	184,1	3,94	0,999968	2,820743	76,77482	3,0	-	-	4
37.	185,0	3,94	0,999968	2,820751	76,77461	1,2	-	-	2
38.	186,1	3,94	0,999968	2,820758	76,77441	1,8	-	-	3
39.	187,1	3,93	0,999968	2,820762	76,77431	1,2	-	-	2
40.	188,0	3,91	0,999968	2,820762	76,77431	7,2	0,00	-3,6E-6	8
41.	208,6	0,05	0,999839	2,821470	76,75503	1,2	-	-	2
42.	209,9	0,03	0,999838	2,821482	76,75472	3,6	-	-	4
43.	210,8	0,05	0,999839	2,821493	76,75442	0,6	-	-	2
44.	211,6	0,02	0,999837	2,821495	76,75436	1,2	-0,01	5,6E-6	2
45.	212,5	0,03	0,999838	2,821489	76,75452	2,4	0,00	3,6E-6	3

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_{Fl} die zugehörige Dichte von 'Wasser, Augsburg, Dest.' in g/cm³, die den Masstab 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) 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.

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**

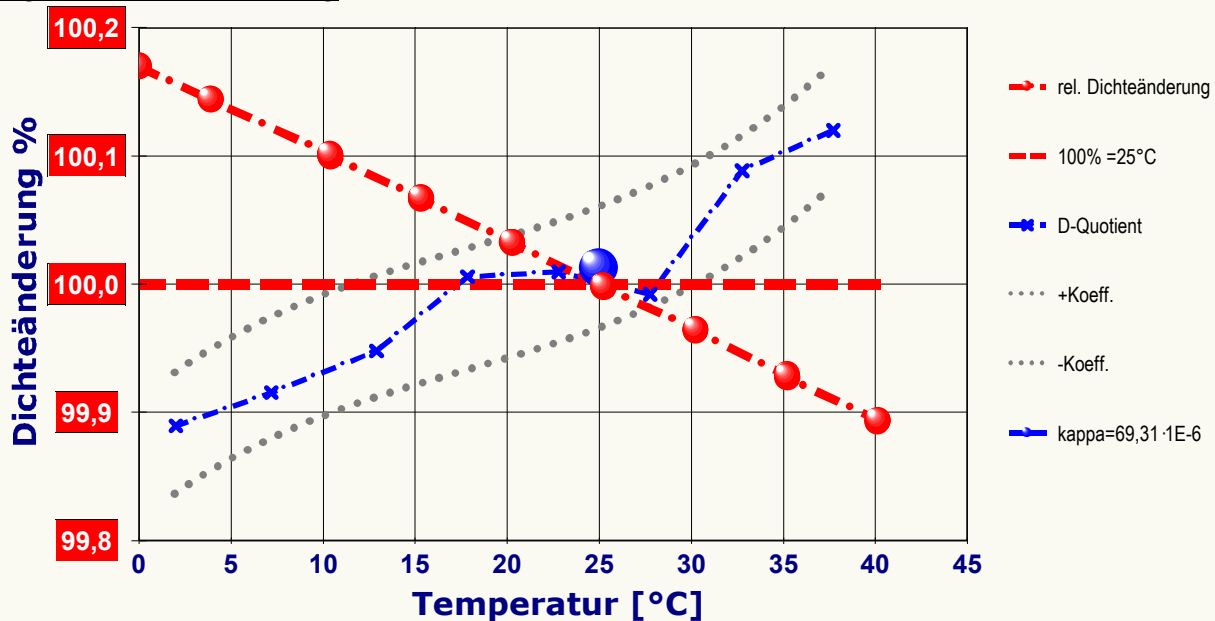
Die Entwicklung des Probenvolumens mit der Temperatur wird durch die folgende Gleichung beschrieben:

$$V_T[\text{cm}^3] = f(\zeta[^\circ\text{C}]) = 76,7544 + 0,0050806 \cdot \zeta + 5,301\text{E-}6 \cdot \zeta^2$$

Die Korrelation ist, wie bei der Dichte, exzellent ($r^2 = 0,999949$), die Standardabweichung der Gleichung gegen die Messwerte beträgt absolut $5,06\text{E-}04\text{cm}^3$ und relativ 6,6ppm. So ist die Streuung über den gesamten Bereich doch noch kleiner, als der eingeräumte Volumenfehler. (vgl. Diagramm *absolutes Volumen*.)

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 neun Gruppen zusammengefasst. Aus den daraus erhaltenen acht Differenzenquotienten ($\frac{\Delta \rho}{\Delta T}$), die mit dem Differential aus der Temperaturgleichung geglättet sind, wird eine Regression 3. Ordnung gebildet. -- 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 ($\pm 2,90\text{g/m}^3\cdot\text{K}^{-1}$), die selbst aus der Standardabweichung der Differenziale ermittelt und gesetzt wurde ($k=2$). -- Die Extremwerte der Temperaturkoeffizienten, wie in 'relative Dichteänderung' eingetragen, reichen von $187,8\text{g/m}^3\cdot\text{K}^{-1}$ bei $2,0^\circ\text{C}$ bis $203,2\text{g/m}^3\cdot\text{K}^{-1}$ bei $37,7^\circ\text{C}$. Die Maximal- und Minimumwerte des kubischen thermischen und isobaren Ausdehnungskoeffizienten (κ) betragen:

$$\begin{aligned} 2,0^\circ\text{C} & : \quad \kappa = 66,75 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1} \quad (\alpha \sim 22,25) \\ 37,7^\circ\text{C} & : \quad \kappa = 72,19 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1} \quad (\alpha \sim 24,06) \end{aligned}$$

• **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, ρ_{Fl} , wurde demnach gemäß folgender Bestimmungsgleichung zur Temperatur berechnet:

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

Unsicherheit $\pm 5 \cdot 10^{-6} \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

• Technik

Einsatz einer variablen Prüfkörperaufhängung. Zur Probenbefestigung wurden 0,1946g in der Messung untertauchendes Befestigungsmaterial mit der Dichte 18,7g·cm⁻³ bei 25°C - mit dem kubischen Ausdehnungskoeffizienten 12,9·10⁻⁶K⁻¹ - berücksichtigt. In der angewandten Patentmethode, dem Meniskuseliminierverfahren, wurde der Aufhängungsquerschnitt mit 0,0314mm² angegeben. Über den Niveau-Unterschied von durchweg 4,047mm zwischen Bezugskraft- und Auftriebskraft-Messung ergibt sich ein Beitrag von 0,13mm³(~Mikroliter), um den der Volumenauftrieb korrigiert wird. Das Gewicht von Prüfkörper und Halterung (gesamt 216,6969g) 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/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] und 'Rkt' Temperaturkoeff. des el. Widerstands [1/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. Polyhalit ²	2,8	0,6%	SF weiss, nmG, MH 3-4
2. Wollastonit ²	2,8	0,6%	SF weiss, nmG, MH 4-5
3. Polyhalit ²	2,8	0,6%	SF rot, nmG, MH 2 - 6,5
4. Muskovit ²	2,8	0,6%	SF weiss, mG, MH 2 - 5,5
5. Talk ²	2,8	0,6%	SF weiss, nmG, MH 1
6. AlCuMg ¹	2,8	0,6%	*M 7150. Ts 535-640. wLF 0,38. k 22,8. sW -. eLF 18,5. Rkt 3,5*
7. Aluminium 2014, gehärtet ¹	2,8	0,6%	
8. Duraluminium ¹	2,8	0,6%	2,75 bis 2,87
9. Bleiglas (25% PbO) ²	2,89	2,6%	
10. Prehnit ²	2,9	3,0%	SF weiss, nmG, MH 6-7
11. Anydrit ²	2,9	3,0%	SF weiss, nmG, MH 3-4
12. Dolomit ²	2,9	3,0%	SF weiss, nmG, MH 3-4
13. Aragonit ²	2,9	3,0%	SF weiss, nmG, MH 3-4
14. Aluminium, rein ¹	2,701	4,1%	

¹: Für 25,00°C berechneter Referenzwert, ²: Tabellierter Referenzwert.
(Auswahl aus allen Daten, 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.

Beschränkte Informationsausgabe durch die Berichtsoptionen: Allgemeine Angaben, alternative Einheiten, Zusatzinformationen, Bearbeitungshinweise, Online-Protokoll, Status und Ausführungshinweise, Berichtseinstellungen werden nicht angezeigt.

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 Ausgabeoptionen 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 7234, Datenbank imeterData14) auffindbar und als Referenz oder Vergleich nutzbar. Ggf. nachfolgende ausgegebene Informationen enthalten, je nach Einstellungen und Berichtsvorlage (Stil = 'standard-i2'), verschieden detaillierte Begleitinformationen, wie die Angaben zur Ausführung der Messung, den Audit-Trail und Hinweise zur Prüfmittelüberwachung.

Audit-Trail

Das Ergebnis wurde erstmals am 10.04.06 um 9:35 zur Ansicht gebracht.

Die Die Originaldaten wurden gemäß Audit-Log verändert:

**** DATENBLATT-Änderungen durch imeter **** Tag/Zeit: 10.04.2006 13:50:06 ****

Dichte der Prüfkörperaufnahme(25°C) : von] '19,3' [zu] '18,7000'

-- Begründung der Änderung: "Material wurde später geprüft - das Wolfram hat nicht die erwartete Dichte, das ändert zwar kaum etwas aber richtig ist richtig."

**** DATENBLATT-Änderungen durch imeter **** Tag/Zeit: 19.04.2006 08:01:33 ****

Auswertemethode : von] ' Standard-Auswertung (ID 34)' [zu] 'Reinheit/Gehalt (ID 136)'

-- Begründung der Änderung: "Test welche Kupfermenge der Abweichung entspricht .."

Unter dem Eintrag 7234 ist der Datensatz in der Datenbank 'imeterData14' wiederauffindbar.

Prüfmittel

Das Wägesystem (WZ224-CW) wurde zuletzt während dieser Messung automatisch justiert. Die letzte vollständige Überprüfung/Justierung der Positioniervorrichtung von imeter (ID16405542) erfolgte am 06.01.05. **Systemdaten:** Auflösung des Wägesystems 0,1mg, Messunsicherheit*) 0,4mg, 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:

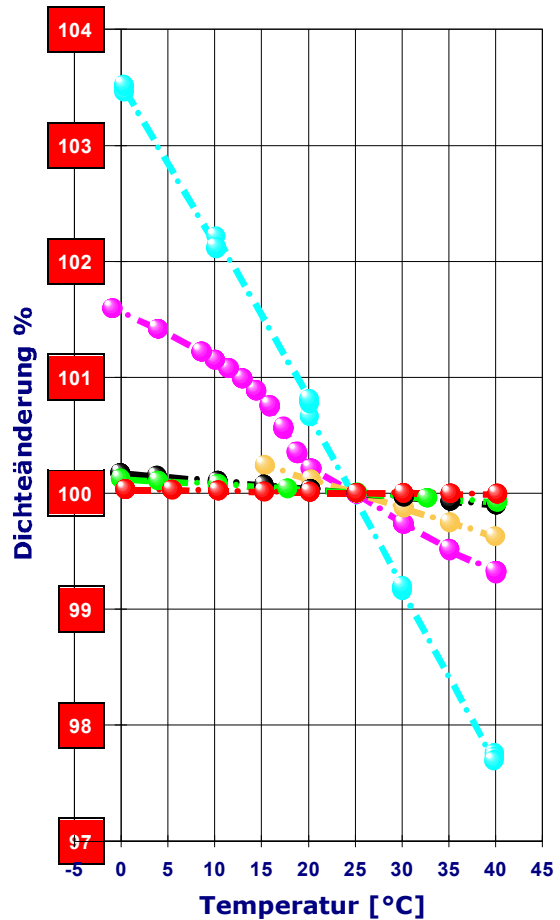
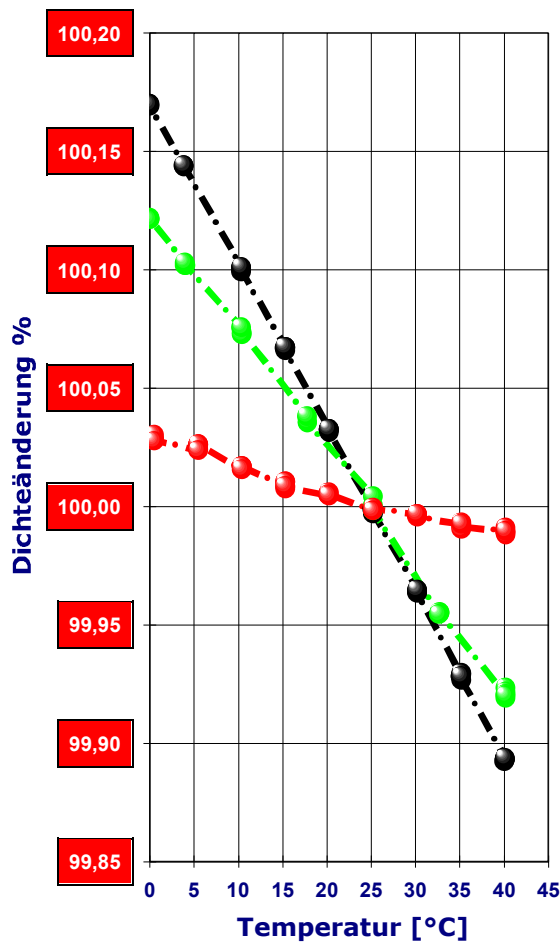
1.	Zeit: 1,1	[min]	Korrektur: -0,0035	[g]
2.	Zeit: 25,7	[min]	Korrektur: -0,0004	[g]
3.	Zeit: 51,4	[min]	Korrektur: -0,0003	[g]
4.	Zeit: 74,2	[min]	Korrektur: -0,0002	[g]
5.	Zeit: 94,8	[min]	Korrektur: -0,0001	[g]
6.	Zeit: 120,4	[min]	Korrektur: 0,0000	[g]
7.	Zeit: 148,5	[min]	Korrektur: 0,0000	[g]
8.	Zeit: 182,9	[min]	Korrektur: 0,0002	[g]
9.	Zeit: 203,3	[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 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 Eigenschafts-Erfahrungen. -- Diagramme und auch der Bericht entstehen während der Messung in Echtzeit.

[Bitte, das Beispiel soll in Punkto *Gehaltsbestimmung* nicht missverstanden werden: Werkstoffaluminium besteht natürlich nicht schlicht aus Reinaluminium und Kupfer. Oft sind Magnesium, Silizium, Titan, Zink, Eisen, Mangan, Chrom in Anteilen in den Legierungen zugegen. Bei Gehaltsbestimmungen für bestimmte Werkstoffe (AlCu4MgSi, AlCu4Mg1, AlMg3, AlSiMg, AlMgSiCu, AlSi1MgMn etc.) muss mithilfe analytischer Methoden eine entsprechende *spezifische Verunreinigung* mit Faktor ermittelt werden.]



In den Abbildungen werden einige Messungen im Diagrammvergleich gegenübergestellt:

Links: rot = Silizium (rein, kristallin), grün = Edelstahl, schwarz = diese Messung (Aluminiumwerkstoff)

Rechts: eingebledet, ocker = Plexiglas (PMMA), violettrosa = Teflon (PTFE), türkis = Vaseline



imeter intelligenter messen.

imeter

imeter

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

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

Kreative Freiräume
einfache Handhabung
Überlegene Technik



Weitere Beispiele zur Dichtemessung (Weblink):

http://www.imeter.de/interim/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>