



## ***Feststoffdichte und Dilatation***

### ***Messung von Vaseline (Isoalkane)***

***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, 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 unerreichbar sicher, robust und genau.

Diese Messung wurden in einem Temperiergefäß mit Deckel ausgeführt (Messzelle), die Flüssigkeit wird 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, Offenburg - [www.huber-online.com](http://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 Modellersprache, um Mess- bzw. Steuerungsverfahren zu gestalten („was soll der Fall sein“) und andererseits über analytische Fähigkeiten, um zu bewerten, *was der Fall* ist und um darüber in Berichten Rückkopplung zu geben. - **imeter** befreit sehr viel kostbare Arbeitszeit, indem nicht nur das Messen/Steuern/Regeln sondern auch die beurteilungsreife Darstellung automatisiert sind.

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

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

imeter/MSB, Augsburg am 24.04.06

## Feststoffdichte & Dilatation

**Titel:** Vaseline - hoher Ausdehnungskoeffizient

**Bemerkung:**

in 0.6669g Aludöschen (eingeschmolzen blasenfrei) +0.2434g Cu-Draht+9.0572Cu-Ballast:  $W = (0.6669 + 0.2434 + 9.0572) = 9.9675$ ,  $\rho = W / ((0.6669/2.7) + ((0.2434 + 9.0572)/8.9331))$ ,  $\kappa = 3 * ((0.6669/2.7) * 23.8 + ((0.2434 + 9.0572)/8.9331) * 16.8) = 70.11$

**Ergebnis:**  $\rho^{25,00^\circ\text{C}} = 0,857\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,  $\kappa = 1459\cdot 10^{-6}\cdot\text{K}^{-1}$   
 Vaseline (Chesebrough), gemessen in Wasser

## Bericht

**Kommentar:** < Die Probensubstanz hat einen - sogar für Flüssigkeiten - sehr großen Ausdehnungskoeffizienten. Zur Sicherstellung des Ergebnisses wurde das Wasser dieser Messung nachher per Flüssigkeits- Dichtemessung geprüft - Die Standarddichte von Wasser zeigte sich praktisch unverändert.. > **Kommentar**

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

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

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

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 Probendaten

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

Dichte	$\rho = 0,857$	$\pm 0,002$	$\text{g}/\text{cm}^3$	2‰
Temperaturkoef. $^{-\Delta\rho}/_{\Delta T}$	$k = 1248$	$\pm 143,32$	$\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{K}^{-1}$	10%
Ausdehnungskoeff.	$\kappa = 1459$	$(\alpha = 486)$	$10^{-6}\cdot\text{K}^{-1}$	
Volumen	$V = 15,69$	$\pm 0,02$	$\text{cm}^3$	1‰
Masse	$m = 13,4386$	$\pm 0,0005$	g	40ppm
Wägewert	$W = 13,4221$	$\pm 0,0005$	g	

- alternative Größen, nicht SI-Einheiten -

Gewicht	$G = 131,650$	mN	13,4246p
Wichte	$\gamma = 0,857$	$\rho/\text{cm}^3$	8,405mN/cm <sup>3</sup>
spez. Volumen	$v_s = 1,17$	$\text{cm}^3/\text{g}$	

Die Aufstellung gibt Materialeigenschaften zusammen mit individuellen Probendaten aus. Zur isobaren thermischen Wärmedehnung werden drei Kennzahlen angegeben: Der Temperaturkoeffizient der Dichte ( $^{-\Delta\rho}/_{\Delta T}$ ), der kubische Ausdehnungskoeffizient ( $\kappa$ ) und, in Klammern, der lineare Ausdehnungskoeffizient ( $\alpha$ ), da er nur bei isotropen Stoffen aus der Volumenänderung angegeben werden kann. In die Berechnungen fließen ein, die Angabe zur Luftdichte  $\rho_{\text{Luft}} = 1,184\text{kg}/\text{m}^3$ , zur Fallbeschleunigung  $g = 9,81\text{m}/\text{s}^2$  sowie zur Temperatur  $T = 25^\circ\text{C}$ . Die Temperaturangabe ist über die Wirkung auf die Dichte des Messfluids, 'Wasser', für die Ergebnisberechnung von doppelter Wichtigkeit. Mit 'Wägewert' wird der Wert angegeben, den eine Waage zeigt, die mit einem Massestück von  $8,000\text{g}/\text{cm}^3$  justiert ist. Der Unterschied von Wägewert und Masse wird mit der Luftdichte umso größer, je mehr die Dichte des Justiergewichts der Waage von der Probendichte abweicht. Das 'Gewicht' wird als wirkende Gewichtskraft, korrigiert um den Luftauftrieb des Volumens angegeben ( $G = m\cdot g - V\cdot\rho\cdot g$ ). Im Angabewert 'Wichte' (spezifisches Gewicht) geht über die Gewichtskraft die lokale Erdanziehung ein; der Wert ist berechnet nach  $\gamma = \rho\cdot g/9.80665$  ('Pond':  $1\text{p} = 9.80665\text{mN}$ ). Die Relative Dichte (Dichtezahl) bezogen auf Wasser ( $\rho_4^{25}$ ) ist zahlengleich mit dem ausgewiesenen Dichtewert. Das spezifische Volumen ist die reziproke Dichte ('wieviel mL davon ergeben ein Gramm'). Die Dimensionen  $\text{cm}^3$  und mL sind im Rahmen der Genauigkeit der Messung in der alten Liter-Defintion äquivalent. Die Masse der Probe ist um 16,5mg größer als der Wägewert; materialbezogen beträgt der Unterschied 1‰.

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  $1,35 \cdot 10^{-3} \text{g/cm}^3$ , Grundlage ist die Regressionsgleichung:

$$\rho(T) = f(\zeta[\text{°C}]) = 0,8872 - 1,16 \cdot 10^{-3} \zeta - 2,56 \cdot 10^{-6} \zeta^2$$

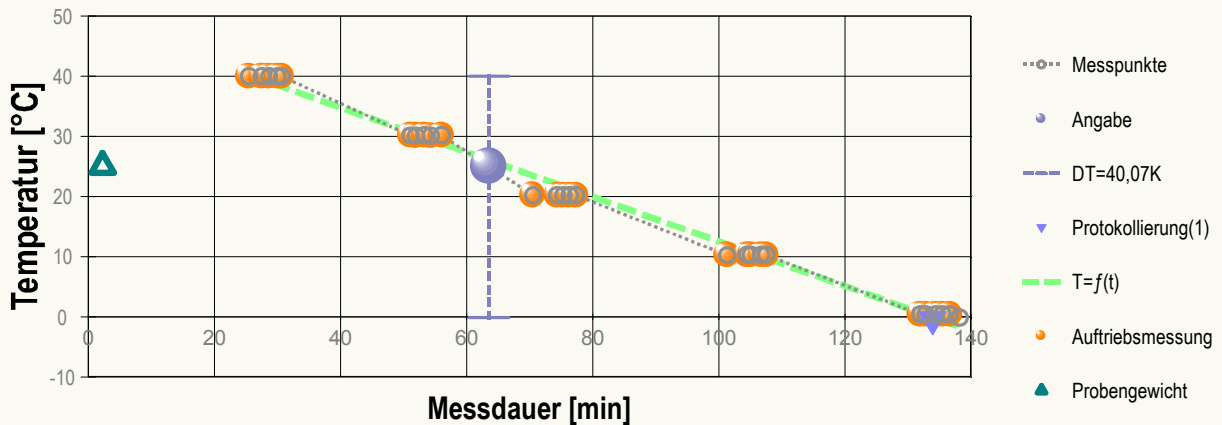
Die Qualität der Schätzung, gemäß Korrelationskoeffizient,  $r^2=0,99944$ , ist *recht gut*. Da die Streuung kleiner ist, als die Fehlerschätzung, kann von einer formalen Richtigkeit der Messung ausgegangen werden. Die Temperaturkoeffizienten sind im Verlauf nicht konstant.

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

• 25 Dichtemesswerte

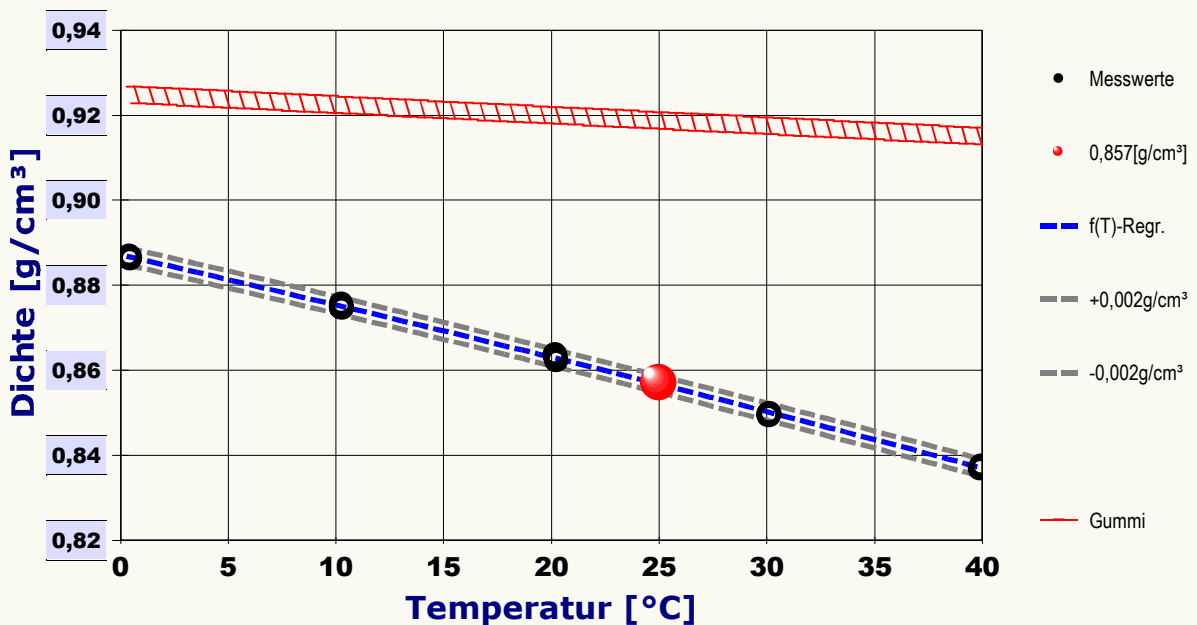
gesamte Dauer 2,3 Stunden; stufig abfallender Temperaturverlauf der Messwerte, fünf Temperierstufen; 9,9K Temperaturunterschied je Niveau und mit jeweils fünf Messwerten besetzt.

Diagramm 'Temperaturverlauf und Ereignisse'



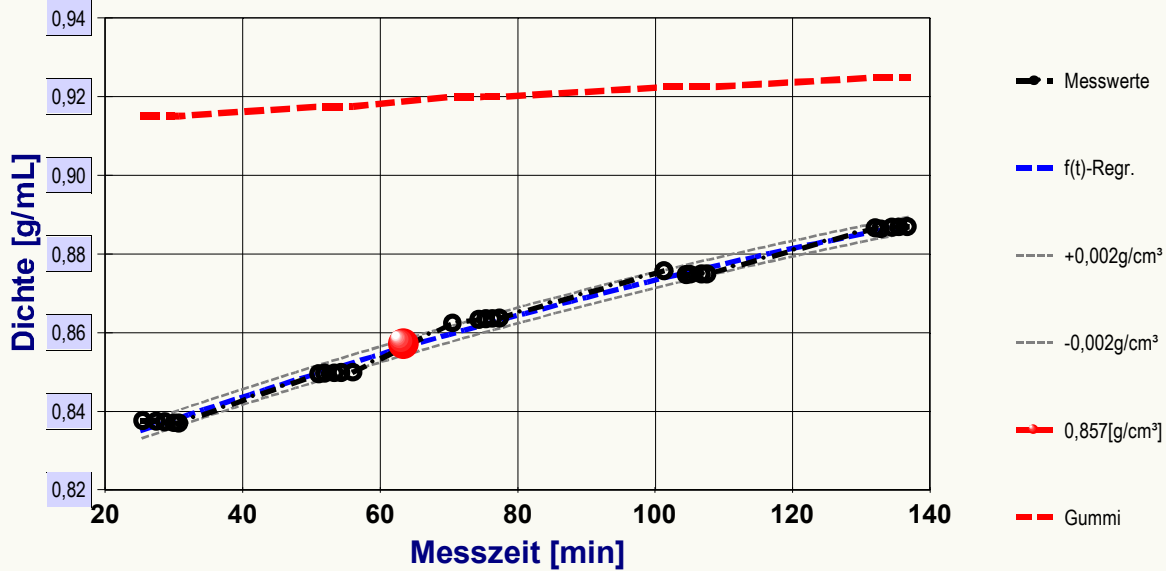
*Im Diagramm "Temperaturverlauf und Ereignisse" wird eine Übersicht zum zeitlichen Verlauf der Vorgänge und der dabei gemessenen Temperatur gezeigt. Die Grafik hat zuerst informativen Charakter - sie dient der Rückkopplung und Übersicht. -- Zur Bedeutung der eingezeichneten Symbole: Die Kreismarkierungen zeigen die Temperaturmessungen an, die kugelförmigen Marken stehen für Zeitpunkt und Temperaturzuordnung von Auftriebsmesswerten. Ein Dreieck-Symbol am Anfang stellt den Zeitpunkt der Wägung der Probe dar. Anzeige von Zeitpunkt und Temperatur der Ergebnisangabe durch eine Kugel sowie die aufgetretene Temperaturspanne durch den senkrechten Strich. Das Dreieck (Spitze nach unten) zeigt den Zeitpunkt, zu dem vom Prüfer die oben angegebene Anmerkung in das Protokoll eingetragen wurde.*

Diagramm 'Temperaturabhängigkeit'



*Das Diagramm, "Temperaturabhängigkeit", oben, zeigt die 25 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.*

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.

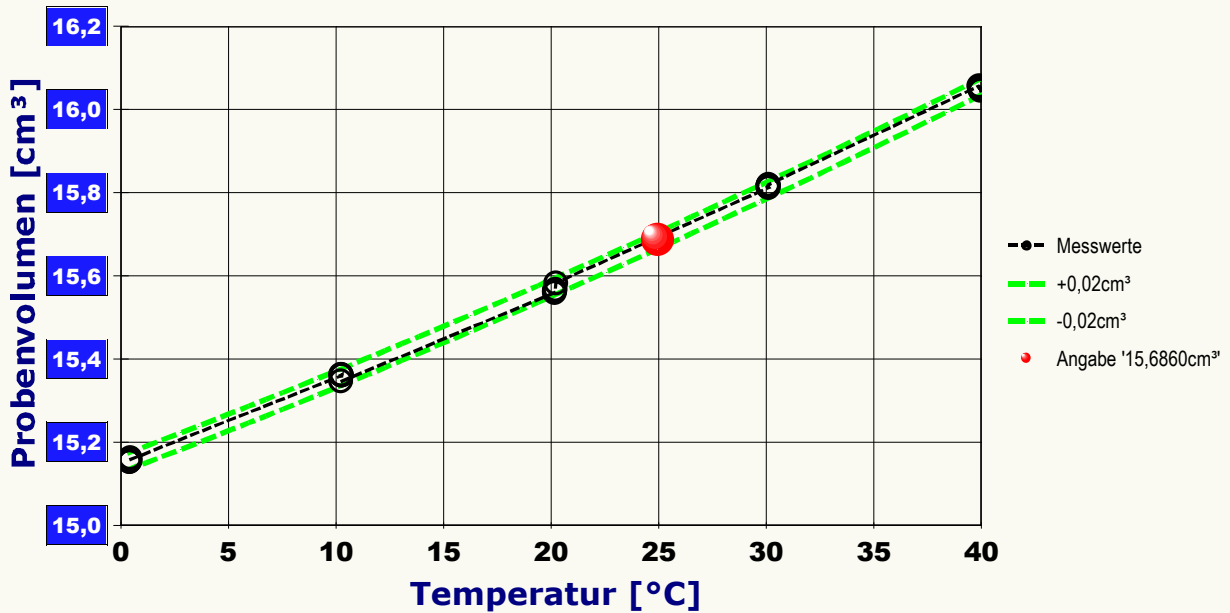
Tabelle der Detaildaten:

N°	Zeit	T	$\rho_{Fl}$	$\rho_{Probe}$	$V_{Probe}$	$\Delta t_{Akqu.}$	$\Delta T$	$\Delta \rho_{Probe}$	N
1.	25,4	39,97	0,992232	0,8375	16,045	7,8	0,00	5,3E-5	5
2.	27,5	39,96	0,992236	0,8374	16,047	4,2	0,00	5,3E-6	3
3.	28,6	39,97	0,992232	0,8372	16,051	4,2	0,00	1,1E-5	3
4.	30,0	39,95	0,992240	0,8370	16,055	4,2	0,00	-5,3E-6	3
5.	30,7	39,90	0,992259	0,8369	16,057	4,2	-0,01	-8,7E-6	3
6.	51,0	30,11	0,995618	0,8495	15,820	4,2	-0,03	-1,9E-5	3
7.	51,9	30,10	0,995621	0,8496	15,818	4,2	0,00	-5,4E-6	3
8.	53,3	30,11	0,995618	0,8497	15,816	4,2	0,00	-1,1E-5	3
9.	54,3	30,08	0,995627	0,8498	15,814	3,6	0,00	5,4E-6	3
10.	56,0	30,12	0,995615	0,8499	15,813	4,2	-	-	3
11.	70,5	20,22	0,998161	0,8624	15,583	3,6	-0,04	-3,0E-5	3
12.	74,3	20,20	0,998165	0,8633	15,567	3,6	0,00	-1,7E-5	3
13.	75,3	20,17	0,998171	0,8634	15,564	4,2	0,00	-1,1E-5	3
14.	76,3	20,17	0,998171	0,8635	15,562	4,2	-	-	3
15.	77,3	20,18	0,998169	0,8637	15,560	4,2	0,00	-1,1E-5	3
16.	101,3	10,24	0,999681	0,8757	15,346	4,2	-0,03	8,9E-6	3
17.	104,3	10,27	0,999678	0,8747	15,363	10,2	0,00	5,7E-6	6
18.	105,0	10,24	0,999681	0,8748	15,362	4,2	-	-	3
19.	106,7	10,26	0,999679	0,8748	15,361	3,6	0,00	1,1E-5	3
20.	107,5	10,25	0,999680	0,8749	15,360	4,2	-	-	3
21.	131,6	0,43	0,999870	0,8865	15,158	22,2	-0,15	-7,3E-5	12
22.	132,8	0,43	0,999870	0,8863	15,162	4,2	0,00	5,8E-6	3
23.	134,4	0,42	0,999870	0,8868	15,154	4,2	0,00	5,9E-6	3
24.	135,4	0,41	0,999869	0,8868	15,154	4,2	0,00	-5,8E-6	3
25.	136,6	0,40	0,999868	0,8869	15,153	4,2	-	-	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  $\rho_{Fl}$ , die zugehörige Dichte von 'Wasser' in g/cm<sup>3</sup>, die den Massstab der Messung darstellt. Die dazu ermittelte Probendichte  $\rho_{Probe}$ , ist ebenfalls in der Einheit g/cm<sup>3</sup> gegeben. **V** ist das Volumen der Probe bei der Temperatur in cm<sup>3</sup>, die aus dem Auftrieb gemäß der Flüssigkeitsdichte berechnet ist. Die Auftriebskraft kann sich durch verschiedene Effekte verändern, insbesondere durch Temperaturangleichung (Konvektion, Volumen Anpassung) oder Quellung, Auflösung. Die Verfolgung - als Stabilitätskriterium des Messwertes - wird über die Zeitdauer  $\Delta t_{Akqu.}$ , die in Sekunden angegeben ist. Im selben Zeitraum kann sich die Temperatur ändern (Angabe  $\Delta T$  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  $\Delta$ -Angaben zu Temperatur, Dichte über die registrierte Beobachtungsdauer  $\Delta t_{Akqu.}$  helfen eventuelle Störungen beim Messablauf zu finden. Ein rel. großer Zeitraum ist bei einem Gleichgewichtsverfahren der Auftriebsbestimmung ein Hinweis auf Probleme, z.B. Wandkontakt, Quellung, Auflösung oder Wärmeaustauscheffekte und kann im anderen Fall die Stabilität der Wägung anzeigen.

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

Diagramm 'absolutes Volumen'



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

• Thermische Volumenentwicklung

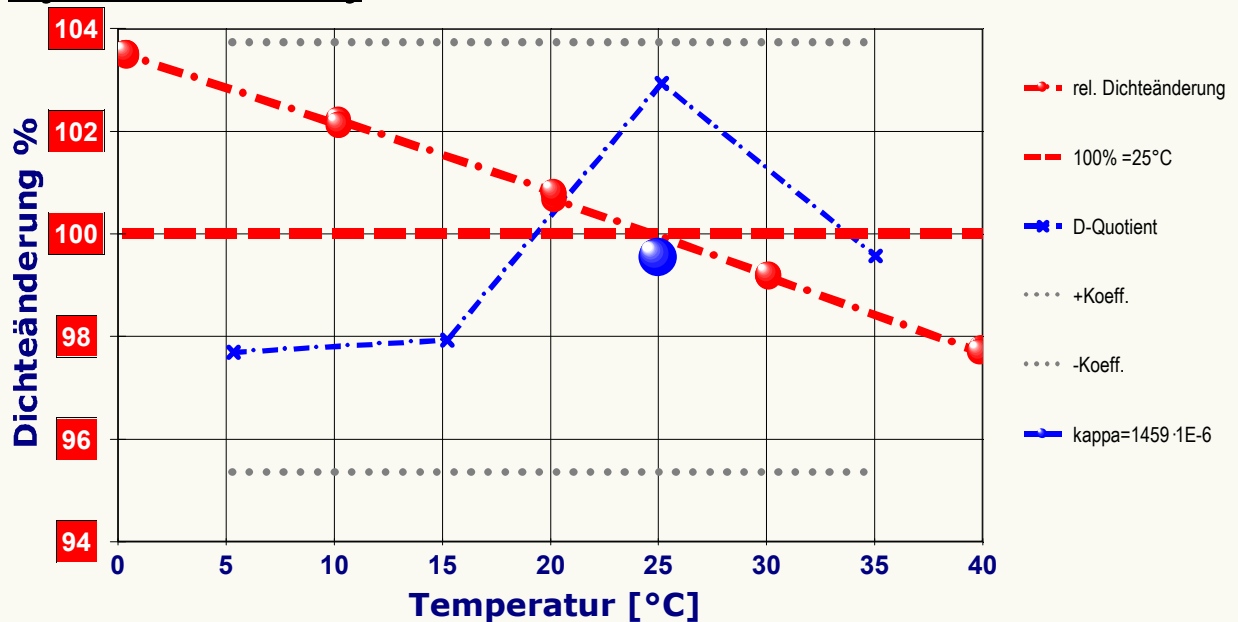
Die Entwicklung des Probenvolumens mit der Temperatur wird durch die folgende Gleichung beschrieben:

$$V_t[\text{cm}^3] = f(\zeta[^\circ\text{C}]) = 15,1477 + 0,019601 \cdot \zeta + 7,727\text{E-}5 \cdot \zeta^2$$

Die Korrelation ist, wie bei der Dichte, recht gut ( $r^2 = 0,99945$ ), die Standardabweichung der Gleichung gegen die Messwerte beträgt absolut  $7,79\text{E-}03\text{cm}^3$  und relativ 0,50%. In diesem Fall wurde die unerwartet große Streuung dazu verwendet, die Unsicherheit der Volumenangabe über diese Standardabweichung ( $k=2$ ) festzulegen. (vgl. Diagramm 'absolutes Volumen'.)

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

Diagramm 'relative Dichteänderung'



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

## • Thermodilatation

Für die Analyse wurden die Einzelwerte in jeweiligen Temperaturniveaus zu insgesamt fünf Gruppen zusammengefasst. Aus den daraus erhaltenen vier Differenzenquotienten ( $^{-\Delta\rho/\Delta T}$ ) wird, da keine taugliche Abhängigkeit festzustellen ist, der Mittelwert verwendet. -- Im Diagramm 'relative Dichteänderung' sind die Differenzenwerte, skaliert über die relative Dichteänderung, eingezeichnet und mit dem Fehlerbereich umfasst. Dieser Bereich ist über die Unsicherheit des Temperaturkoeffizienten bestimmt ( $\pm 143,32\text{g/m}^3\cdot\text{K}^{-1}$ ), die selbst aus der Standardabweichung der Differenziale ermittelt und gesetzt wurde ( $k=2$ ). -- Die Extremwerte der Temperaturkoeffizienten, wie in 'relative Dichteänderung' eingetragen, reichen von  $1185\text{g/m}^3\cdot\text{K}^{-1}$  bei  $5,3^\circ\text{C}$  bis  $1365\text{g/m}^3\cdot\text{K}^{-1}$  bei  $25,1^\circ\text{C}$ . Die Maximal- und Minimumwerte des kubischen thermischen und isobaren Ausdehnungskoeffizienten ( $\kappa$ ) betragen:

$$\begin{aligned} 5,3^\circ\text{C} & : & \kappa &= 1443 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1} \quad (\alpha \sim 481) \\ 25,1^\circ\text{C} & : & \kappa &= 1637 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1} \quad (\alpha \sim 546) \end{aligned}$$

Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung von  $\kappa$  über den Temperaturbereich der 4 Werte:

$$5,3 \text{ bis } 35,0^\circ\text{C} \quad : \quad \kappa = (1459 \pm 83,6) \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1} \quad \alpha = (486 \pm 27,9) \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$$

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

*Anschaulich bedeutet  $\alpha$ , dass sich ein Stab von einem Meter Länge pro Grad um  $486\mu\text{m}$  ausdehnt; für eine Dehnung um  $1\text{mm}$  wäre ein  $\Delta T$  von  $2,1$  Grad erforderlich.*

## • Auswertungshinweise

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

$$\rho_{\text{fl}} = f(\zeta[^\circ\text{C}]) = (6.5592063\text{E-}05 \cdot \zeta^5 - 1.1225639\text{E-}02 \cdot \zeta^4 + 1.0026530 \cdot \zeta^3 - 90.968893 \cdot \zeta^2 + 679.48991 \cdot \zeta + 9998425.9) / 1\text{E}7,$$

Unsicherheit  $\pm 0,000001\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ .

## • Technik

Einsatz einer variablen Prüfkörperaufhängung. Zur Probenbefestigung wurden  $9,9675\text{g}$  in der Messung untertauchendes Befestigungsmaterial mit der Dichte  $7,7379\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  bei  $25^\circ\text{C}$  - mit dem kubischen Ausdehnungskoeffizienten  $70,1 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$  - berücksichtigt. In der angewandten Patentmethode, dem Meniskuseliminierverfahren, wurde der Aufhängungsquerschnitt mit  $0,07071\text{mm}^2$  angegeben. Über den Niveau-Unterschied von im Mittel  $5,402\text{mm}$  zwischen Bezugskraft- und Auftriebskraft-Messung ergibt sich ein Beitrag von etwa  $0,38\text{mm}^3$  (~Mikroliter), um den der Volumenauftrieb korrigiert wird.

*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. Es steht Ihnen frei die Referenzdaten entsprechend zu erweitern oder zu verändern, sodass Zusatzinformationen hier ausgegeben werden.*

## • Datenbankvergleiche

1. Paraffin <sup>2</sup>	0,85	0,8%	
2. PMP, TPX <sup>2</sup>	0,83	3,2%	
3. PP <sup>2</sup>	0,9	5,0%	
4. Butterfett <sup>2</sup>	0,911	6,3%	
5. Palmöl <sup>2</sup>	0,915	6,8%	Schmelztemp. $35^\circ$
6. Gummi <sup>1</sup>	0,92	7,2%	$\alpha \sim 75-100$ , Hartgummi
7. Schweineschmalz <sup>2</sup>	0,919	7,2%	Schmelztemp. $31^\circ$
8. PE-LD <sup>2</sup>	0,92	7,4%	
9. Schafstalg (Fett) <sup>2</sup>	0,945	10,3%	
10. PE-HD <sup>2</sup>	0,95	10,9%	
11. Kakaobutter <sup>2</sup>	0,964	12,5%	Schmelztemp. $35^\circ$
12. Natrium <sup>1</sup>	0,97	13,1%	*M 910. Ts 98. wLF 0,32. k 72. sW 0,295. eLF 23,8. RkT 5,5*
13. SAN <sup>2</sup>	1,03	20,2%	

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

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

**Berichtseinstellungen - aktivierte Ausgabeinstellungen:** Datenbankvorschläge anzeigen, Erläuterungstexte, Detaillierte Ergebnisse, Allgemeine Angaben, Vergleichsanalyse, alternative Einheiten, Zusatzinformationen, Bearbeitungshinweise, formatierte Tabellen, Prüfmittelüberwachung, Online-Protokoll, Status und Ausführungshinweise, Berichtseinstellungen.

**Beschränkte Informationsausgabe durch negierte Optionen:** Audit-Trail, Authentifizierungen 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 Wesentlich eingekürzt und ausgedruckt werden. Das ganze 'File' inklusive der "Grund-Rohdaten" ist stets über die ID (hier Nummer 15, Datenbank imeter-Beispiele) auffindbar und als Referenz oder Vergleich nutzbar. Ggf. nachfolgende ausgegebene Informationen enthalten, je nach Einstellungen und Berichtsvorlage (Stil = 'bauhaus'), verschieden detaillierte Begleitinformationen, wie die Angaben zur Ausführung der Messung, den Audit-Trail und Hinweise zur Prüfmittelüberwachung.*

## Programm

Für diese Messung wurde das Messprogramm "Dichte-SI-Körper2" ausgeführt. Eine Ablaufdokumentation wurde nicht aufgezeichnet. Auf ein zusätzliches Protokoll wurde auch verzichtet. Die Messung wurde programmgemäß ausgeführt.

## Prüfmittel

Das Wägesystem (BP2215) wurde 1,3 Stunden vor dieser Messung von M.Breitwieser justiert. Die letzte vollständige Überprüfung/Justierung der Positioniervorrichtung von **imeter** (ID081007074) erfolgte am 14.04.04. Systemdaten: Auflösung des Wägesystems 0,1mg, Messunsicherheit<sup>\*)</sup> 0,5mg, Dichte der Justiermasse<sup>\*)</sup> 8,000 g/cm<sup>3</sup>, Luftdichte<sup>\*)</sup> 1,184kg/m<sup>3</sup>, Umrechnungen von Masse nach Kraft mit dem Wert 9,81m/sec<sup>2</sup> für die Fallbeschleunigung<sup>\*)</sup>.

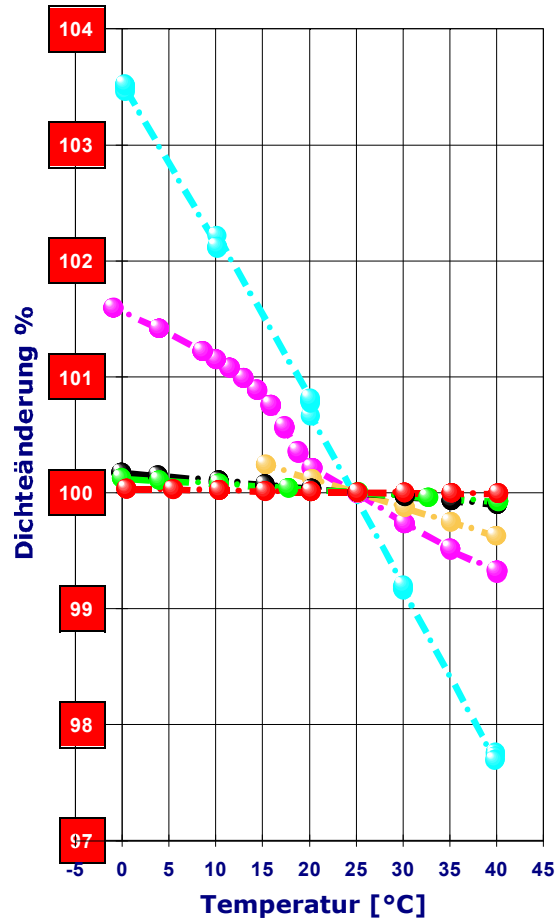
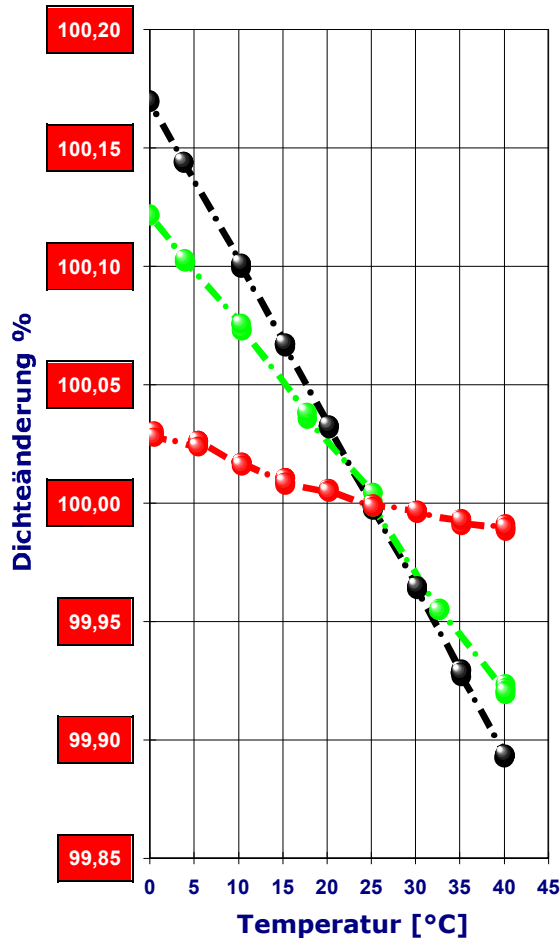
*\*) Die gekennzeichneten Angaben der Systemdaten können nachträglich angepasst werden - etwa um individuelle Messunsicherheiten der Fühler wirksam werden zu lassen. Änderungen auch an diesen Daten werden im Audit-Log protokolliert und können zurückgenommen und erneut berechnet werden.*

<000000015>



*„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.*

*Anmerkung: Die Dichte verändert sich mit der Temperatur zu ungleichmäßig (vermutlich wegen Phasenübergängen im Komponentengemisch) bzw. sind die Temperaturintervalle relativ zu groß gewählt und die Temperierzeit war knapp bemessen. Die Rückwirkung auf die Unsicherheit des Volumens führt zu einer Vergrößerung der Anzeige.*



Relation zum Ausdehnungskoeffizient: – **In den Abbildungen** werden einige Messungen im Diagrammvergleich gegenübergestellt **Links:** rot = Silizium (rein, kristallin), grün = Edelstahl, schwarz = Aluminiumwerkstoff, **Rechts:** eingblendet, ocker = Plexiglas (PMMA), violettrosa = Teflon (PTFE), türkis = Vaseline (Isoalkane, Naphtene)

**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](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](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>