IMETER Methode Nr.8 "Feststoffdichte & Dilatation"

Messung von Dichte und Ausdehnungskoeffizient an Silizium (Studie)

Die hydrostatische Dichtemessung kann mit IMETER zur Messung von Temperaturkoeffizienten angewendet werden. An Werkstoffen kann zwar der lineare Ausdehnungskoeffizient per Interferometrie genau bestimmt werden, entscheidend ist aber, dass es mit IMETER neben einigen anderen Messtechniken einfach ziemlich aufwandsfrei geht.

Silizium ist als Material für einen Festkörperdichtestandard interessant. Eine Probe eines Schmelzkörpers wurde hier getestet, wobei angesichts des unsicheren Verlaufs der Wasserdichte, Abweichung zu Referenzwerten auftreten (*Vorsicht! Referenzstatus nur bei Proben eindeutiger Herkunft. Wasserdichte unter He-Entgasung wurde nicht ausreichend erprobt*).

Die Messung ist technisch bedingt exakt, 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 sicher, robust und sehr genau.

Diese Messung wurde in einem Temperiergefäß ausgeführt (Messzelle). Die Flüssigkeit wurde dabei mit dem integrierten Magnetrührwerk umgewälzt, um im Fluid eine einheitliche Temperatur zu gewährleisten. Dabei diente ein durch IMETER gesteuerter *Ministat* – Thermostat zur 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 ausgeben:

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

www.imeter.de

IMETER Anwendungen

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 Modellierspracheum 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.33

automatic Report (A0729DO16312B), IMETER / MSB Breitwieser, Augsburg, 18. Jun 17

ID N° 7232 - Density of Solids & Coefficient of thermal Expansion

Title: **Silizium - Wasser, entgast, Helium**

Remarks:

Siliziumzylinder (W=35,7209 g) an Wolframdrahtbügel (W=0,2683 g). Messung bei -DT je 5 K ab 40°C, vor jeder fünffachmessung wird die WZ justiert! Messzelle mit Alufolie umwickelt. Während d. Temperierphase: Magnetrührung & Helium perlt durch das Wasser.

Result: $\varrho_{25,0°C}$ **= 2,3289 ±0,0003 g/cm³,** κ **= (9 ±10)·10^{-6}·K^{-1}**
measured in '*Water, Augsburg, air-free*'

Report

Messprinzip: *Die Dichtebestimmung beruht auf der Messung von Masse und Volumen. Die Volumenbestimmung erfolgt dabei durch die hydrostatische Methode als Auftriebswägung. Diese basiert darauf, dass ein in einer Flüssigkeit untertauchender Körper um so viel leichter erscheint, wie die seinem Volumen entsprechende Flüssigkeitsmenge wiegt. Die Dichte der Flüssigkeit, hier Water, Augsburg, air-free, muss sehr genau bekannt sein. Sie ist der Maßstab. Die Bestimmung der Masse erfordert außerdem die Kenntnis des Volumens, damit der Luftauftrieb korrigiert werden kann. In dieser Messung wurde das Volumen 45 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 - Silizium, analytisch

- Angaben für ϑ = 25,00 ±0,03°C, Luftdichte bei der Probenwägung ρ_a = 1,112 ±0,0011 kg/m^3 -

Dichte, spezifische Masse	ϱ	**2,3289**	**± 0,00033**	**g/cm^3**	**0,14‰**
Ausdehnungskoeffizient	κ	**9**	**± 10**	**10^{-6}·K^{-1}**	**1,1-fach**
Probenvolumen	V	**15,343**	**± 0,0022**	**cm^3**	**0,14‰**
Masse der Probe	m	**35,733**	**± 0,00014**	**g**	**4,0 ppm**
Wägewert, Probengewicht	W	**35,7209**	**± 0,00014**	**g**	
relative Dichte	ϱ_4^{ϑ}	**2,3290**	**---**	ϱ_{20}^{ϑ} 2,3331	
spezifisches Volumen	v_s	**0,42939**	**cm³/g**		

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

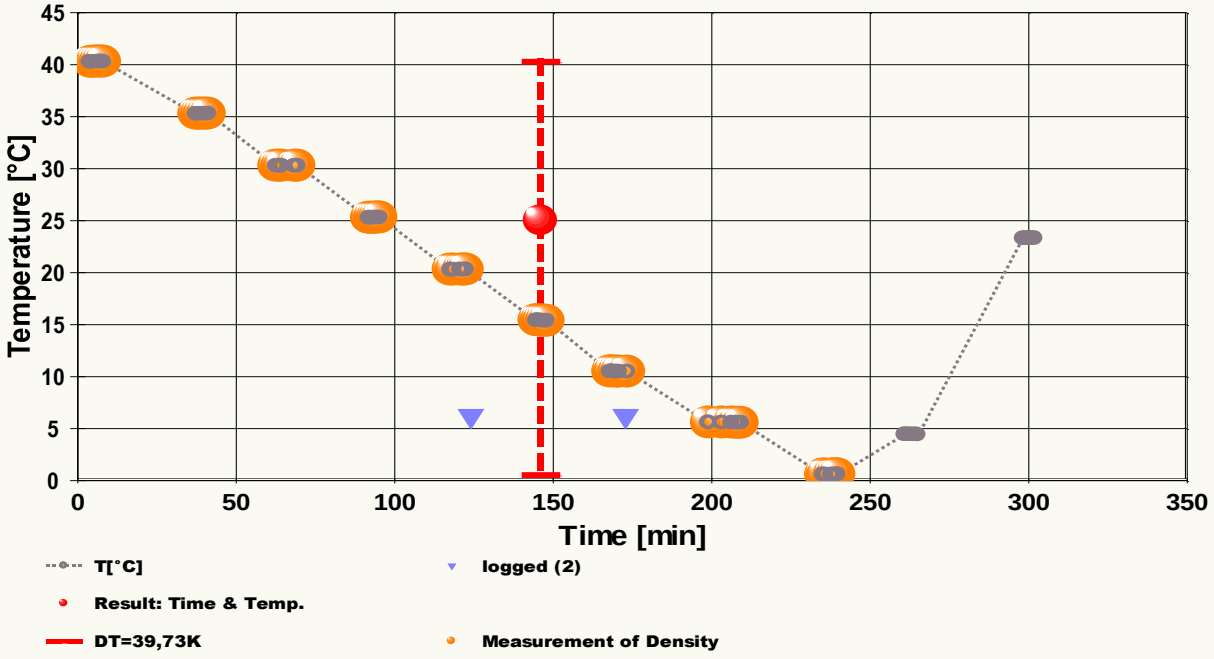
konventioneller Wägewert	W_k	**35,7199**	**g**	
Gewichtskraft	G	**350,413**	**mN**	350,293 p
Wichte, spez. Gewicht	γ	**22,847**	**N/cm³**	22,839 p/cm³

Die Aufstellung gibt Materialeigenschaften zusammen mit individuellen Probendaten aus. Die Messunsicherheiten sind mit dem Erweiterungsfaktor k=2 angegeben (Details dazu finden Sie bitte weiter unten in diesem Prüfbericht). Die Dichte entspricht nur dann einer Reinstoff-spezifischen Masse, wenn in der Messung tatsächlich die Reindichte gemessen werden konnte, andernfalls ist das 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 ($^{\Delta\varrho}/_{\Delta T}$ = -21,5 mg/gK), der angegebene kubische Ausdehnungskoeffizient (κ) und der lineare Ausdehnungskoeffizient mit α= 3 10^{-6}·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 12 mg größer als der Wägewert angibt; materialbezogen beträgt der Unterschied bei der vorliegenden Luftdichte rund 0,3‰. Für die Angabe des 'konventionellen Wägewertes', der 'Gewichtskraft' und der 'Wichte' γ = ϱ·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 1,3462 oz/in³. Im Folgenden erhalten Sie Beschreibungen zu den Einzelheiten der durchgeführten Messung.

❖ 45 Dichtemesswerte

Gesamtdauer der Aufzeichnungen in der Messung fünf Stunden; stufig, zwischen 40,3 und 0,6°C abfallender Temperaturverlauf, neun Temperaturniveaus; mit acht Stufen; 5 K Temperaturunterschied je Stufe, mit jeweils fünf Messwerten.

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



124,0' : Bei 20°C genau geprüft - keine Bläschen entdeckt.
172,8' : Bei 10°C: nochmals kontrolliert - keine Bläschen!

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. Zeitpunkt und Temperatur der Ergebnisangabe werden durch eine Kugel markiert. Die Temperaturspanne in der Messung wird durch die senkrechte gestrichelte Bake angezeigt. Die Dreiecke (Spitze nach unten) zeigen jene Zeitpunkte an, zu welchen vom Prüfer die unter dem Diagramm gedruckten zwei Anmerkungen in das Protokoll der Messung eingetragen wurden. Die zur Laufzeit der Messung vom Anwender/Prüfer eingegebenen Bemerkungen werden hier wiedergegeben, wobei am Anfang der Zeile der Eintragszeitpunkt als Minutenzahl angegeben ist.

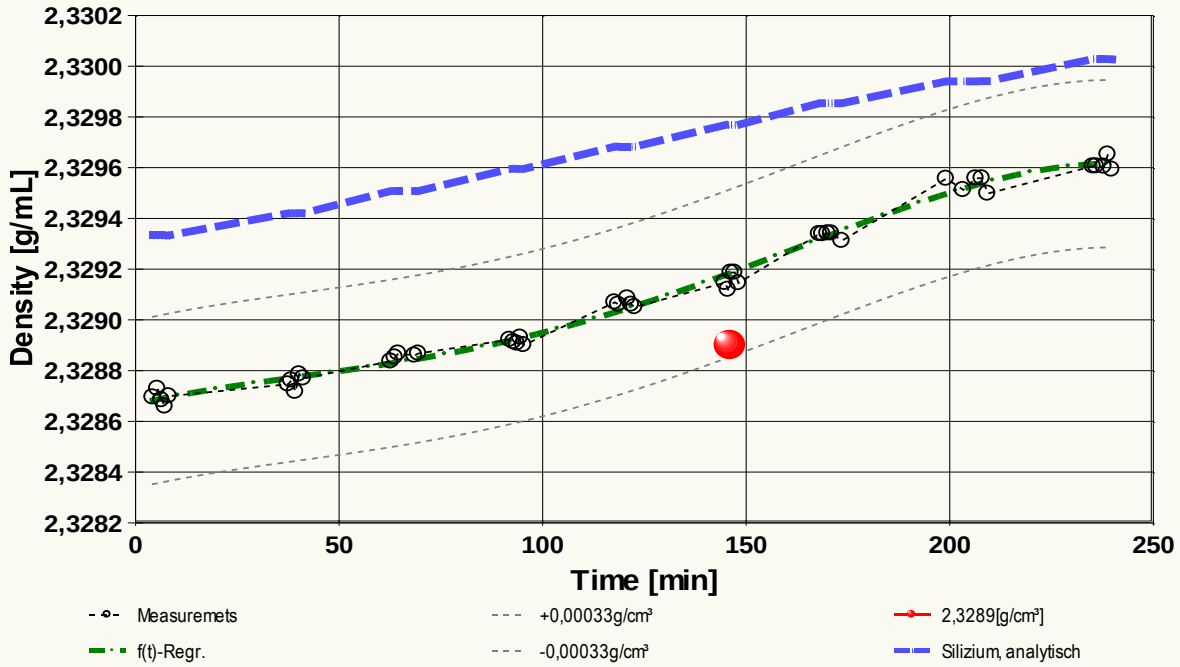
[Auswertungsoption 135 - Time range selection] Auswertung und Diagrammdaten werden durch eine vom Prüfer **temporär gesetzte Zeitbereichsbeschränkung** auf Resultate zwischen 4,27 und 239,82 Minuten beschränkt.

Das ausgegebene Messergebnis der Dichte wurde aus der Regressionsgleichung über den Temperaturverlauf der 45 Einzelergebnisse (0,55 bis 40,28°C), ebenso die Angaben zur Wärmedehnung ermittelt. Grundlage ist die Gleichung:

$$\varrho(T) = f(\vartheta[°C]) = 2{,}32967 - 3{,}63294 \cdot 10^{-5} \cdot \vartheta + 2{,}95631 \cdot 10^{-7} \cdot \vartheta^{2} \quad \text{(Gl.1)}$$

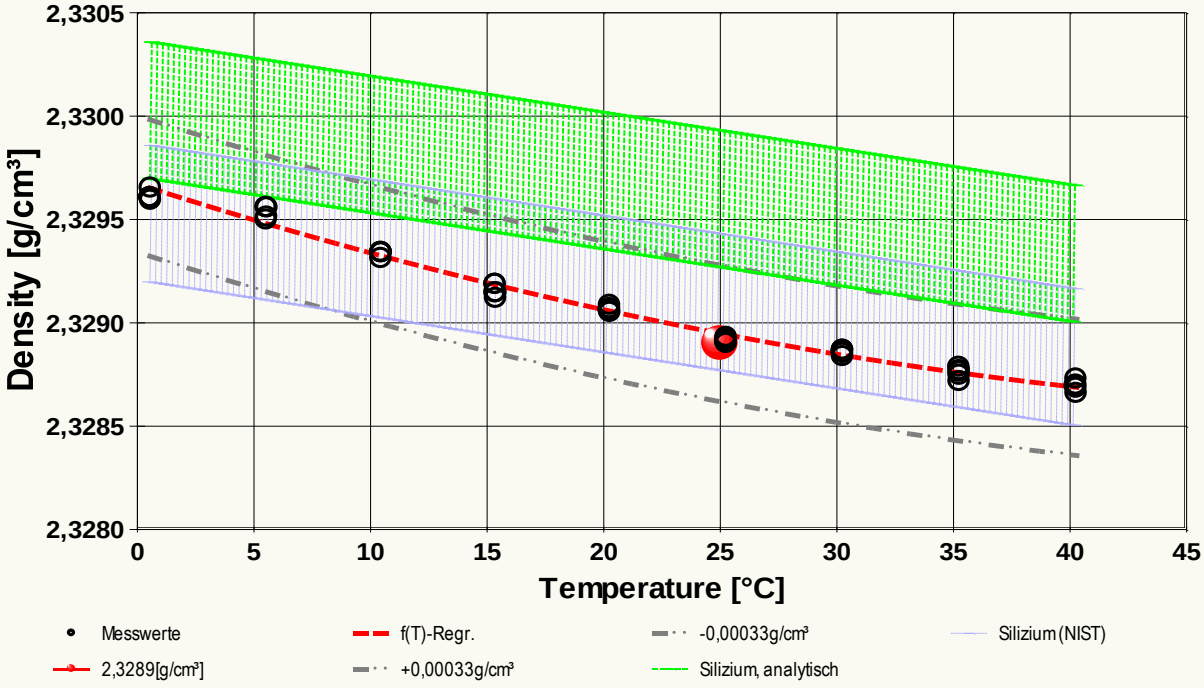
Die Bestimmtheit der Gleichung ist, gemäß Korrelationskoeffizient r^2=0,989, *mäßig*. Die Standardabweichung σ_o der Gleichung beträgt $3{,}4 \cdot 10^{-5}$ g/cm³ und die Standardabweichung des Mittelwertes σ_{Mo} $5{,}1 \cdot 10^{-6}$ g/cm³. Die empirische Streuung σ_o ist viel kleiner als die erweiterte Standardmessunsicherheit U_o $3{,}3 \cdot 10^{-4}$ g/cm³. Die Gleichung kann zur Repräsentation der Wertemenge im Temperaturintervall mit der beigeordneten relativen Unsicherheit U_o 0,14‰ verwendet werden.

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



Im Diagramm "roh(t)" sind die einzelnen Messwerte als Kreissymbole in zeitlicher Sequenz abgebildet. Um die Ausgleichsfunktion bzw. die Messwerte ist der Unsicherheitsbereich in Form gestrichelter Linien eingezeichnet. Bei isothermen Bedingungen und längeren Messzyklen können Verläufe beobachtet werden, die die Stabilität der Probe oder der Messbedingungen zur Anzeige bringen. Der temperaturkompensierte Verlauf der Referenz zu "Silizium, analytisch" wird parallel zu den Messwerten angezeigt.

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



Das Diagramm "rho(T)" zeigt die 45 Dichtemesswerte als Kreissymbole in Temperaturabhängigkeit an. Es werden Messwerte mit dem Bereich der Messunsicherheit in Form einer gestrichelten Linie eingefasst. Der Verlauf der Referenzfunktion zum besten Vergleichswert bzw. der Stoff mit der besten Übereinstimmung nach Datenbankeintrag ist als schraffierter Bereich in Breite der Unsicherheit eingezeichnet.

Im Diagramm zur Temperatur- und Zeitabhängigkeit ist der Werteverlauf von "*Silizium, analytisch*" entsprechend der Referenzdaten eingezeichnet. Im oberen Schaubild ist daneben noch der Datenbank-Stoff mit der ähnlichsten Dichte bei 25°C markiert ("*Silizium (NIST)*"). Die für den Prüfkörper berechnete Messunsicherheit wird durch die Breite der Schraffur für den Referenzverlauf als Dichtebereich ausgewiesen (die vorhandene Unsicherheit der Referenzangabe wird im Diagramm nicht dargestellt).

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

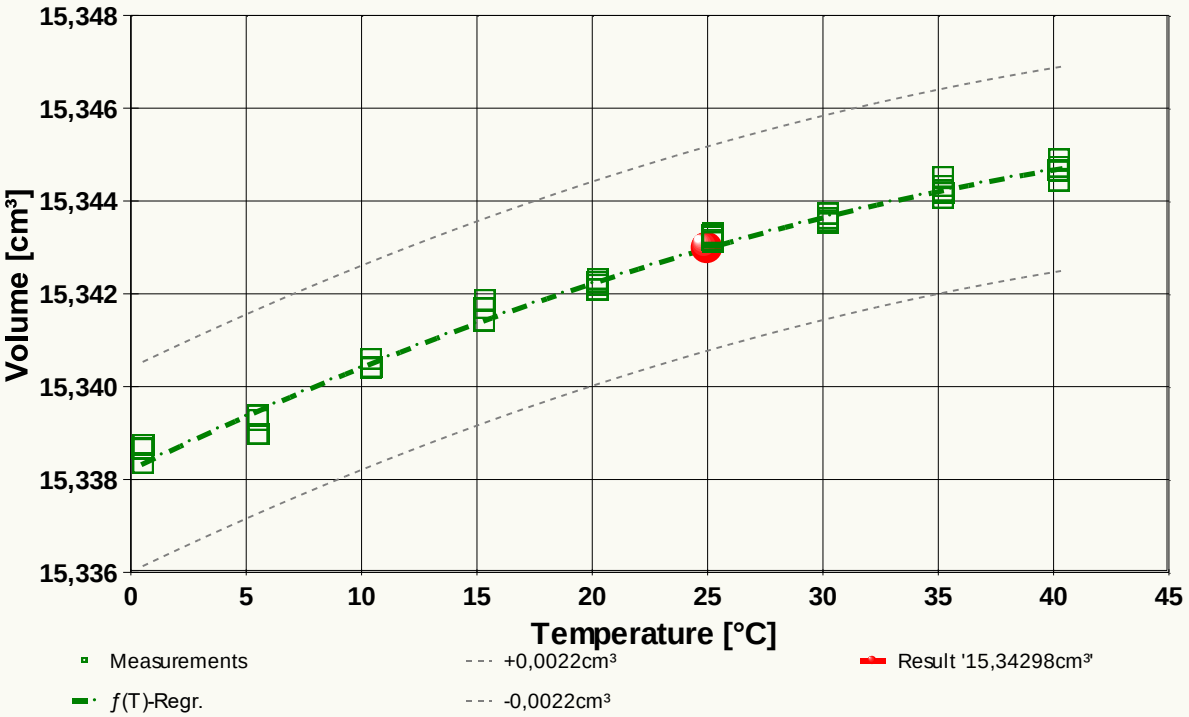
Die Tabelle zeigt auch diejenigen Daten, die temporär von der automatischen Bewertung ausgenommen sind.

N°	***t*** [min]	***ϑ*** [°C]	ρ_{Fl} [g/cm³]	ϱ_{Probe} [g/cm³]	V_{Probe} [cm³]	$\Delta t_{Akqu.}$ [s]	ΔT [K]	$\Delta\varrho_{Probe}$ [g/cm³]	***N***
1.	4,2	40,24	0,992122	2,32869	15,3446	2,4	0,00	1,6E-5	3
2.	5,3	40,27	0,992110	2,32873	15,3444	10,2	0,01	-3,6E-5	11
3.	6,4	40,27	0,992110	2,32868	15,3447	1,2	0,00	1,2E-14	2
4.	7,2	40,28	0,992107	2,32866	15,3449	3,0	0,00	3,1E-5	4
5.	8,2	40,27	0,992110	2,32870	15,3446	1,2	0,00	1,2E-14	2
6.	37,4	35,26	0,993941	2,32875	15,3443	3,0	0,00	-4,6E-14	4
7.	38,3	35,26	0,993941	2,32876	15,3442	2,4	0,00	1,6E-5	3
8.	39,2	35,26	0,993941	2,32872	15,3445	2,4	0,00	1,4E-5	3
9.	40,2	35,25	0,993944	2,32879	15,3440	1,2	-	-	2
10.	41,1	35,27	0,993937	2,32877	15,3442	4,8	0,01	8,0E-6	6
11.	62,7	30,26	0,995568	2,32884	15,3437	0,6	0,00	6,2E-15	2
12.	63,7	30,26	0,995568	2,32885	15,3436	1,2	0,00	6,2E-15	2
13.	64,5	30,26	0,995568	2,32887	15,3435	0,6	0,00	6,2E-15	2
14.	68,5	30,25	0,995571	2,32886	15,3436	1,2	0,00	1,5E-5	2
15.	69,5	30,26	0,995568	2,32887	15,3435	1,8	0,00	-1,5E-5	3
16.	91,9	25,26	0,996978	2,32892	15,3431	1,2	0,00	6,2E-15	2
17.	92,9	25,25	0,996980	2,32891	15,3432	1,2	0,00	1,6E-5	2
18.	93,7	25,26	0,996978	2,32891	15,3432	0,6	0,00	6,2E-15	2
19.	94,5	25,27	0,996975	2,32893	15,3431	1,2	0,00	1,2E-14	2
20.	95,3	25,27	0,996975	2,32890	15,3433	4,2	0,01	2,2E-5	5
21.	117,7	20,27	0,998148	2,32907	15,3422	1,2	0,00	1,2E-14	2
22.	118,6	20,26	0,998150	2,32906	15,3422	3,6	0,00	-1,5E-5	5
23.	120,9	20,27	0,998148	2,32908	15,3421	1,2	0,00	1,2E-14	2
24.	121,8	20,26	0,998150	2,32906	15,3422	1,2	0,00	6,2E-15	2
25.	122,6	20,28	0,998146	2,32905	15,3423	3,0	0,00	1,9E-14	4
26.	144,7	15,39	0,999040	2,32915	15,3417	3,0	0,00	9,8E-15	4
27.	145,6	15,38	0,999042	2,32912	15,3418	1,2	0,00	3,1E-15	2
28.	146,3	15,36	0,999045	2,32919	15,3414	1,2	0,00	-9,3E-15	2
29.	147,2	15,36	0,999045	2,32919	15,3414	0,6	0,00	-9,3E-15	2
30.	148,1	15,35	0,999046	2,32915	15,3417	1,8	0,00	1,6E-5	3
31.	168,0	10,47	0,999657	2,32934	15,3404	1,2	0,00	7,1E-15	2
32.	168,7	10,47	0,999657	2,32934	15,3404	1,8	0,00	1,6E-5	3
33.	170,0	10,46	0,999658	2,32934	15,3404	1,2	0,00	1,3E-15	2
34.	170,9	10,46	0,999658	2,32934	15,3404	1,2	0,00	1,3E-15	2
35.	173,5	10,46	0,999658	2,32931	15,3406	3,0	0,00	8,9E-16	4
36.	199,1	5,57	0,999952	2,32956	15,3390	1,2	0,00	4,4E-15	2
37.	203,3	5,56	0,999953	2,32951	15,3393	0,6	0,00	-1,8E-15	2
38.	206,4	5,55	0,999953	2,32956	15,3390	0,6	0,00	5,3E-15	2
39.	207,9	5,54	0,999953	2,32956	15,3390	1,2	0,00	-1,3E-15	2
40.	209,3	5,54	0,999953	2,32950	15,3394	5,4	0,00	-8,9E-16	6
41.	235,2	0,56	0,999875	2,32961	15,3386	1,2	-	-	2
42.	236,0	0,56	0,999875	2,32961	15,3386	1,2	-	-	2
43.	237,9	0,55	0,999875	2,32960	15,3387	1,2	-	-	2
44.	238,8	0,57	0,999876	2,32965	15,3383	1,2	0,00	-4,4E-16	2
45.	239,8	0,58	0,999876	2,32959	15,3387	1,2	0,00	-4,4E-16	2
46.	261,0	4,43	0,999970	2,32949	15,3394	0,6	0,00	-4,4E-15	2
47.	261,9	4,42	0,999971	2,32946	15,3396	1,2	0,00	2,2E-15	2
48.	262,9	4,41	0,999971	2,32948	15,3395	3,0	0,00	-4,4E-15	4
49.	263,9	4,41	0,999971	2,32948	15,3395	1,2	0,00	-4,4E-15	2
50.	265,0	4,41	0,999971	2,32952	15,3392	3,6	0,00	-4,0E-15	4
51.	298,4	23,28	0,997472	2,32898	15,3428	1,2	0,00	1,9E-14	2
52.	299,2	23,28	0,997472	2,32895	15,3430	1,2	0,00	1,9E-14	2
53.	300,0	23,30	0,997467	2,32897	15,3428	1,2	0,00	-2,1E-14	2
54.	300,9	23,30	0,997467	2,32895	15,3429	0,6	0,00	-2,1E-14	2
55.	302,0	23,30	0,997467	2,32897	15,3428	0,6	0,00	-2,1E-14	2

*Die Tabelle listet die wesentlichen Daten in zeitlicher Abfolge nummeriert auf. Von links nach rechts: **Zeit** gibt den Zeitpunkt des Messwertes ab Beginn des Ablaufs in Minuten an, **ϑ** die Temperatur in Celsiusgraden und ρ_{Fl} die zugehörige Dichte von '**Water, Augsburg, air-free**' in g/cm³, die den Maßstab der Messung darstellt. Die dazu ermittelte Probendichte 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.*

❖ Temperaturabhängigkeit des Probenvolumens

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



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

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

$$V_T[\text{cm}^3] = f(\vartheta[°\text{C}]) = 15{,}33821 + 2{,}392354\cdot10^{-4}\cdot\vartheta - 1{,}945785\cdot10^{-6}\cdot\vartheta^2 \qquad \text{(Gl.2)}$$

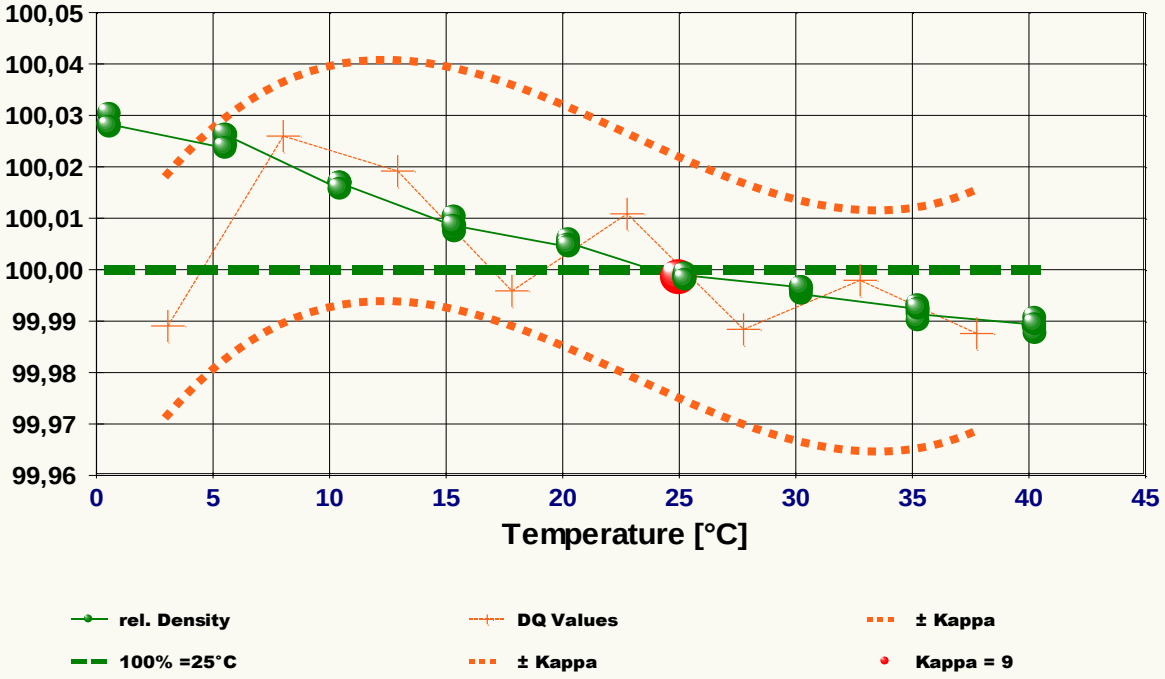
r^2= 0,989, $\sigma_V = 2{,}25\cdot10^{-4}$ cm³, $\sigma_{Vrel.}$ = 97 ppm, $\sigma_{VM} = 3{,}4\cdot10^{-5}$ cm³.

Die erweiterte Messunsicherheit für das Probenvolumen beträgt $2{,}2\cdot10^{-3}$ cm³ - den zehnfachen Wert von σ_V.

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

❖ Wärmedehnung - Thermodilatation

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



Im Diagramm "Drho" wird die im Verlauf eingetretene Dichteänderung in einer normalisierten Anzeige präsentiert. Die kugelförmigen Marken zeigen zu den einzelnen Dichtemesswerte deren relative Abweichung zum '100%'-Wert bei 25°C, dem Angabewert (2,3289 g/cm³). Zusätzlich werden die ermittelten neun Ausdehnungskoeffizienten, die aus Differenzenquotienten berechnet sind, abgebildet. Diese sind jedoch ohne Y-Achsenbezug in das Diagramm skaliert.

Die Dichte ändert sich über den gesamten Verlauf um 0,43‰. Für eine erste Untersuchung der Wärmedehnung wurden die im Betrachtungsbereich verbleibenden Dichtemesswerte in neun 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 acht κ_Δ- Berechnungen betragen:

37,8°C : $\kappa_\Delta = 5\cdot10^{-6}K^{-1}$ ($\alpha \sim 2$)

8,0°C : $\kappa_\Delta = 18\cdot10^{-6}K^{-1}$ ($\alpha \sim 6$)

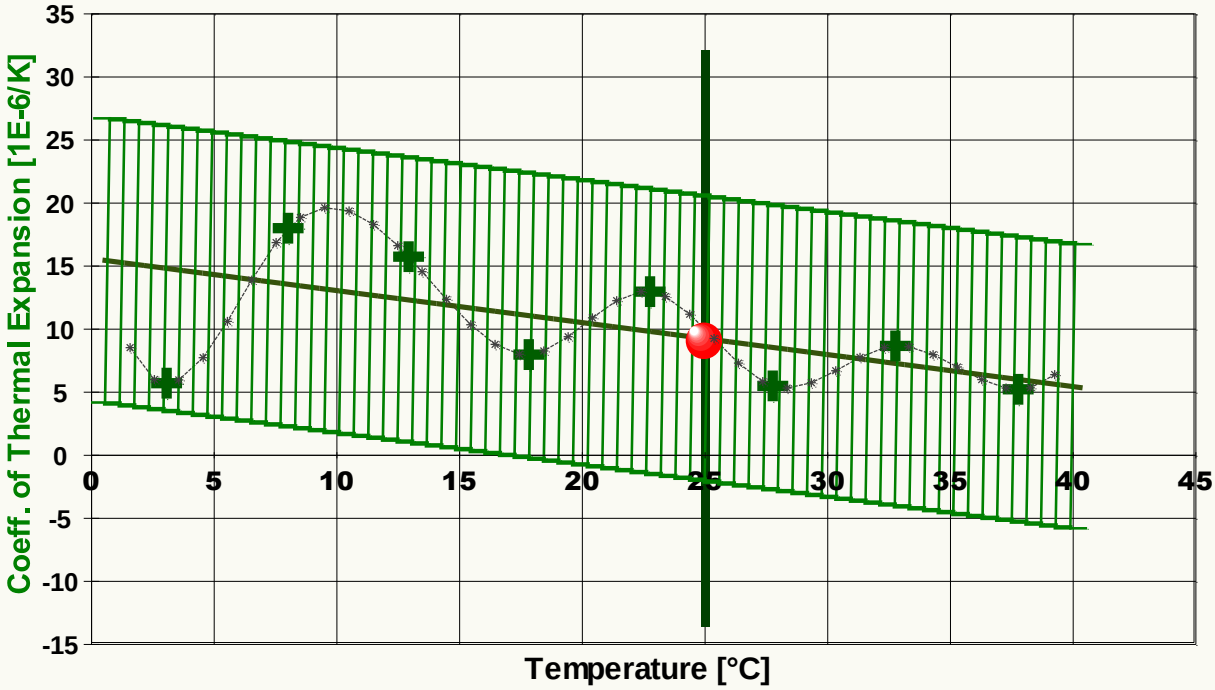
Eine Regression 3. Ordnung über die Einzelwerte erlaubt κ im Intervall als Funktion der Temperatur zu berechnen:

$\kappa_\Delta \mid [10^{-6}\cdot K^{-1}] = f(\vartheta[°C]) = 1{,}187 + 2{,}572\cdot\vartheta - 0{,}1424\cdot\vartheta^2 + 2{,}070\cdot10^{-3}\cdot\vartheta^3$ (Gl.3)

mit r^2= 0,56 und $\sigma_{\kappa\Delta}$ =4·10^{-6}·K^{-1}, $\sigma_{M\,\kappa\Delta}$ =1·10^{-6}·K^{-1}

Für 25°C ergibt sich κ_Δ aus der Gleichung zu 9·10^{-6}·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 0 Einheiten bzw. 2% größer angegeben.

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



Das Diagramm 5 "kappa(T)" zeigt den Temperaturverlauf des Ausdehnungskoeffizienten an. Am Abszissenwert kann unmittelbar die relative Volumenänderung des Probenmaterials in 'Mikroliter pro Liter und Grad' bei der jeweiligen Temperatur abgelesen werden. Die Breite des schraffierten Bereichs bildet die erweiterte Messunsicherheit ab. Der Angabewert κ_{25} ist als kugelförmiges Symbol eingezeichnet. Im Diagramm sind durch die Kreuz-Markierungen auch die per Differenzenquotieten erhaltenen κ_Δ-Werte sowie der diskrete Werte-Verlauf in der Glättung durch Splines (Linie mit kleinen Sternmarkierungen) eingetragen [riG 2,68‰].

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

$\boldsymbol{\kappa \mid [10^{-6}\cdot K^{-1}] = f(\vartheta[°C]) = (36{,}329 - 0{,}59126\cdot\vartheta)\,/(2{,}3297 - 3{,}6329E\text{-}5\cdot\vartheta + 2{,}9563E\text{-}7\cdot\vartheta^2)}$ (Gl.4)

Für 25°C ergeben Gleichung und Messunsicherheit den Ergebniswert κ_{25} = 9 ±10·10^{-6}/K.

Der für die Angabe der Messunsicherheit bei anderen Temperaturen anzuwendende Relativwert der erweiterten Messunsicherheit $U\kappa$ beträgt 1,1-fach. Bei 25 °C zeigt sich eine relative Abnahme des Koeffizienten von 2,7% pro Grad. - Der Ausdehnungskoeffizient des Probenmaterials ist hier im Vergleich zu *normalen Feststoffen* 'keramisch', d.h. sehr klein. Er verläuft mit der Temperatur auch noch ***negativ*** abnehmend.

Um das Volumen bzw. eine Volumenänderung für Silizium, analytisch bei einer bestimmten Temperatur ϑ im gültigen Temperaturbereich vorherzusagen, kann mit dem bei der Temperatur $\vartheta°$ gegebenen Volumen $V0_{\vartheta°}$ das Volumen $V1_\vartheta$ bei der Temperatur ϑ über das entsprechende Verhältnis der Dichten berechnet werden:

$V1_\vartheta = V0_{\vartheta°}\cdot(2{,}3297 - 3{,}6329\cdot10^{-5}\cdot\vartheta° + 2{,}9563\cdot10^{-7}\cdot\vartheta°^2) / (2{,}3297 - 3{,}6329\cdot10^{-5}\cdot\vartheta + 2{,}9563\cdot10^{-7}\cdot\vartheta^2)$ - 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 3 µm ändert; für eine Dehnung von 1 mm (0.1%) wäre rechnerisch ein ΔT von etwa 333,3 Grad erforderlich (wenn man von der Temperaturabhängigkeit von κ absieht).

❖ Zusammenfassung zur Messunsicherheit der Einzelwerte

Messunsicherheit der Dichte - aus der Fortpflanzung der Messunsicherheiten der Eingangsgrößen

nach dem Modell: $\boldsymbol{\varrho_{Probe} = (W_2\cdot\rho_a - W_1\cdot\rho_{Fl}) / (W_2 - W_1)}$ (Gl.5)

i	X_i		x_i	$u(x_i)$	c_i		$c_i \cdot u(x_i)$ [g/cm³]	v_i
1	W_1	g	35,720900	$7{,}07\cdot10^{-5}$	-0,0871	1/cm³	$-6{,}16\cdot10^{-6}$	∞
2	W_2	g	20,436	$1{,}08\cdot10^{-3}$	0,152	1/cm³	$1{,}64\cdot10^{-4}$	44
3	ρ_a	g/cm³	0,0011120	$1{,}10\cdot10^{-6}$	-1,34	---	$-1{,}47\cdot10^{-6}$	∞
4	ρ_{Fl}	g/cm³	0,9972530	$5{,}62\cdot10^{-6}$	2,34	---	$1{,}31\cdot10^{-5}$	∞
Y	ϱ_{Probe}	g/cm³	2,3291		$u(y)=\sqrt{\sum(c_i\cdot u(x_i))^2}$ =		$1{,}65\cdot10^{-4}$	ν_{eff} = 44

Angabe der erweiterten Messunsicherheit U_o aus der kombinierten Standardmessunsicherheit (u_o $1{,}65\cdot10^{-4}$ g/cm³) mit dem Erweiterungsfaktor k_{95} = 2,01. Die Werte der Probendichte liegen in der Regel mit einer angenäherten Wahrscheinlichkeit von 95% im Überdeckungsintervall ±$3{,}3\cdot10^{-4}$ g/cm³ bzw. im Bereich ±0,14‰ 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 v_2 fest (Anzahl - 1 = 44). Die Eingangswerte x_1 und $u_1(x)$ für das Probengewicht W_1 wurden separat (ggf. extern) bestimmt; weitere Einzelheiten sind in den folgenden Abschnitten angegeben. Das Zeichen ρ_a steht für die Luftdichte; ihr zugehöriger Größenwert x_3 und $u_3(x)$ wurde zur Messung angegeben. Das Symbol ρ_{Fl} steht für die Dichte der Messflüssigkeit. Der für ρ_{Fl} in x_4 eingesetzte Wert ist der Mittelwert der Flüssigkeitsdichteangaben, wobei $u_4(x)$ aus der Unsicherheit der Referenzgleichung stammt bzw. empirisch aus zuvor und/oder danach durchgeführten Messungen der 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 2,69 erhalten; Dichtewerte liegen mit nahe 99%iger Wahrscheinlichkeit im Überdeckungsintervall ±$4{,}4\cdot10^{-4}$ g/cm³.

Messunsicherheit der Masse - gemäß der Grundgleichung:

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

i	X_i		x_i	$u(x_i)$	c_i		$c_i \cdot u(x_i)$ [g]	v_i
1	W_1	g	35,72090	$7{,}07\cdot10^{-5}$	1,00	---	$7{,}07\cdot10^{-5}$	-
2	ρ_a	g/cm³	0,0011120	$1{,}10\cdot10^{-6}$	10,9	cm³	$1{,}20\cdot10^{-5}$	-
3	ϱ_{cal}	g/cm³	8,000	$8\cdot10^{-3}$	$6{,}21\cdot10^{-4}$	cm³	$4{,}97\cdot10^{-6}$	-
4	ϱ_{Probe}	g/cm³	2,3291	$1{,}65\cdot10^{-4}$	$-7{,}33\cdot10^{-3}$	cm³	$-1{,}21\cdot10^{-6}$	-
Y	m_{Probe}	g	35,73300		$u(y)=\sqrt{\sum(c_i\cdot u(x_i))^2}$ =		$7{,}19\cdot10^{-5}$	ν_{eff} -

Angabe der erweiterten Messunsicherheit mit dem Erweiterungsfaktor k = 2. Die Masse der Probe m_{Probe} wird zu 35,73300 ±$1{,}4\cdot10^{-4}$ g bestimmt. Die relative Messunsicherheit beträgt 4,0 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: $V_{Probe} = m_{Probe} / \varrho_{Probe}$

$$u(V_{Probe}) = \sqrt{\left(u(m_{Probe}) / \varrho_{Probe}\right)^2 + \left(-m_{Probe}\cdot u(\varrho_{Probe})\right)/\varrho_{Probe}^2} = 0{,}0011 \text{ cm}^3 \quad \text{(Gl.7)}$$

Die erweiterte Messunsicherheit des Probenvolumens wird mit dem Erweiterungsfaktor k = 2 angegeben, sie beträgt 0,0022 cm³ bzw. relativ 0,14‰.

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

Messunsicherheit des kubischen Ausdehnungskoeffizienten - nach dem linearen Modell:

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

i	X_i		x_i	$u(x_i)$	c_i		$c_i \cdot u(x_i)$ [K⁻¹]	v_i
1	ϱ_1	g/cm³	2,32965	$3{,}69\cdot10^{-4}$	-0,0108	cm³/g·K	$-3{,}99\cdot10^{-6}$	-
2	ϱ_2	g/cm³	2,32869	$3{,}69\cdot10^{-4}$	0,0108	cm³/g·K	$3{,}99\cdot10^{-6}$	-
3	ϑ_1	°C	0,55	0,03	$-2{,}62\cdot10^{-7}$	1/K²	$-7{,}86\cdot10^{-9}$	-
4	ϑ_2	°C	40,28	0,03	$2{,}62\cdot10^{-7}$	1/K²	$7{,}87\cdot10^{-9}$	-
Y	κ_{Probe}	K⁻¹	$1{,}04\cdot10^{-5}$		$u(y)=\sqrt{\sum(c_i\cdot u(x_i))^2}$ =		$5{,}64\cdot10^{-6}$	ν_{eff} -

Die erweiterte Messunsicherheit (k=2) des Ausdehnungskoeffizienten $U\kappa$ beträgt $11\cdot10^{-6}$ K⁻¹ bei der Temperatur 20,41°C. Die Messunsicherheit von κ ist zwischen 1 und 40°C über die relative Messunsicherheit von 1,1-fach 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 '*Water, Augsburg, air-free*': Die Dichtedaten wurden als Funktion der Temperatur aus der Referenzdatenbank entnommen. Die Flüssigkeitsdichte ρ_{Fl} wurde gemäß folgender Bestimmungsgleichung zur jeweiligen Temperatur ϑ berechnet:

$\rho_{Fl} = f(\vartheta[°C])=(99984018.8+ 6756.061\cdot\vartheta -901.5886\cdot\vartheta^2+9.517959\cdot\vartheta^3 - 0.1000876\cdot\vartheta^4+ 0.000554\cdot\vartheta^5)/1E8$ (Gl.9)

Beiträge zur Unsicherheit der Flüssigkeitsdichte $u(\rho_{Fl})$ wurden vom Prüfer individuell zur Messung festgelegt ($u(\rho_{L.Equ.})$= $2{,}89\cdot10^{-6}$ g/cm³) sowie aus der Messunsicherheit der Temperatur ($u(\rho_{L.Temp.})$= $4{,}82\cdot10^{-6}$ g/cm³) bestimmt und belaufen sich damit auf $5{,}62\cdot10^{-6}$ g/cm³.

❖ Probenhandhabung und Messtechnik

Das Gewicht von Prüfkörper und Halterung (gesamt 35,9892 ±0,00005 g) wurde im Datenblatt angegeben. Einsatz einer variablen Prüfkörperaufhängung. Für die Probenbefestigung werden 0,2683 ±0,00005 g Gewicht berücksichtigt. Zur Auftriebskorrektur durch das Volumen des Probenhalters werden seine Dichte 18,7 ±0,02 g/cm³ und sein kubischer Ausdehnungskoeffizient 12,5 $\pm 1 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ mit der Bezugstemperatur 25°C herangezogen. Für die angewendete IMETER-Patentmethode (Meniskus- und Drifteliminierverfahren) wurde der Aufhängungsquerschnitt mit 0,0314 mm² angegeben. Über den Niveau-Unterschied von durchweg 7,3 mm zwischen Bezugskraft- und Auftriebskraft-Messung ergibt sich ein Beitrag von 0,23 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. Nachfolgend sind die Unsicherheitsbeiträge aus Zustands- und Eigenschaftsdaten der Waage zusammengefasst - Messunsicherheitsbeiträge bei der Auftriebswägung als Rückkopplung zu $u(W_2)$ ⇒ Unsicherheitsbeiträge der Auftriebswägung mit Verteilungsfaktoren: Reproduzierbarkeit $u(W\delta_{Rep.})$=50 µg / √3, Nullpunkt der Anzeige $u(W\delta_{Zero})$=**0,10 mg** / √3, registrierte Schwankung bei der Ablesung $u(W\Delta_W)$=64 µg / √45, Linearität der Anzeige $u(W\delta_{Lin.})$=19 µg / √3, Justier/Kalibrierreferenz, OIML E2, $u(W\delta_{mcal.})$=73 ng / 2, Temperaturunterschied bei Wägung und Justierung, 1 ppm pro K, $u(W\Delta_{Tcal})$=10,0 µg / √3, Zeit seit letzter Justierung, 50 µg/Tag, $u(W\Delta_{tcal.})$=10,0 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. .

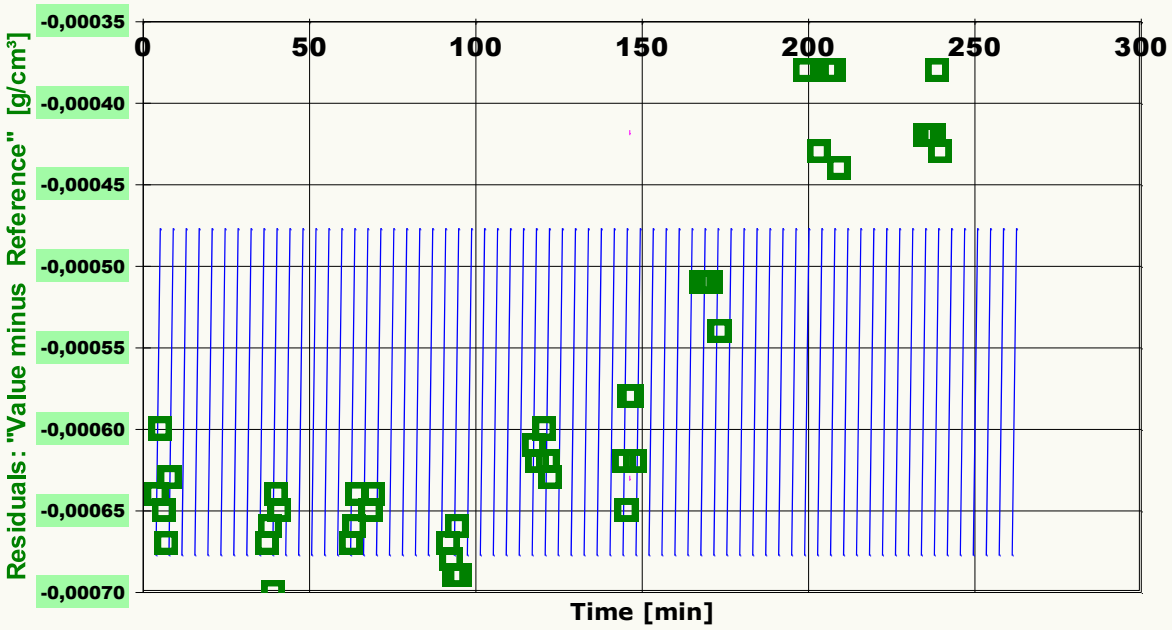
Referenzvergleich mit "*Silizium, analytisch*" für 25°C

	Referenz	Messung	Δ absolut	Δ relativ	Δ / u
ρ	2,3296	2,3289	-0,0007 g/cm³	0,3‰	**2**
$-\frac{\Delta\rho}{\Delta T}$	18	22	+4 $g \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}$	20%	@

Die Datenbank liefert für ρ mit ***Silizium (NIST)***, 2,3291 g/cm³, einen ähnlichen, präzisen, Vergleichswert. Der Unterschied zum Messwert beträgt absolut 0,0002 g/cm³.

*Der Ergebnisvergleich mit den Angaben, die in der Referenzdatenbank zu 'SILIZIUM, ANALYTISCH' gefunden wurden, stellt die Werteübereinstimmung dar. Der Unterschied wird als absolute Differenz "Probenmesswert minus Referenzwert" und als relative Abweichung angegeben. Das Symbol ρ steht für die Messgröße, $-\frac{\Delta\rho}{\Delta T}$ für die absolute Änderung bei einem Grad Temperaturabnahme (bei 25°C); die Zahl zu "**Δ u**" gibt ggf. an, um welchen Faktor die absolute Differenz von Mess- und Referenzwert größer ist als die angenommene Messunsicherheit. Das Zeichen "@" bringt zum Ausdruck, dass bei der Messgröße kein signifikanter Unterschied zwischen Mess- und Referenzwert auftritt.*

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



Reference values for 'Silizium, analytisch' acc. to *f*(T[°C])=2.3296-1.75E-5 · (T - 25)
Mean and Standarddev. of Residuals: -5,77E-4 ±1,0E-4 g/cm³, relative: -0,25‰ at a spread of 43 ppm

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

Im Diagramm wird der Vergleich mit den Daten der gleichnamigen Referenz angezeigt.

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. .

Vergleichstabelle

--- REFERENZ ----------	g/cm³	--------- ABWEICHUNG	---------- INFO ----------
1. Silizium (NIST)[1]	2,3291	+86 ppm	
2. **Silizium, analytisch**[1]	2,3296	+0,3‰	
3. DUROBAX® klar[1]	2,3400	+4,8‰	®Schott AG (Datenblatt 2013)
4. SCHOTT 8245[1]	2,3100	-0,81%	®Schott AG (Datenblatt 2013)
5. Glas, Suprax[1]	2,31	-0,82%	
6. Nattrolith, Skolezit[2]	2,3	-1,2%	SF weiss, nmG, MH 5-6
7. Apophyllit[2]	2,3	-1,2%	SF weiss, nmG, MH 4-5
8. Gips[1]	2,3	-1,3%	Der Ausdehungskoeffizient ist unbekannt -- ein Schätzwe…
9. SCHOTT 8250[1]	2,2800	-2,1%	®Schott AG (Datenblatt 2013)
10. Glas, Geräteglas 20[1]	2,4	+3,0%	
11. Hydrargillit[2]	2,4	+3,1%	SF weiss, nmG, MH 2-3

[1]Wert für 25°C berechnet, [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.

……

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 7232, Datenbank imeterData14) auffindbar und als Referenz oder Vergleich nutzbar. Ggf. enthalten nachfolgend ausgegebene Informationen, je nach Einstellungen und Berichtsvorlage (Stil = 'standard-i1'), verschieden detaillierte Begleitinformationen, wie die Angaben zur Ausführung der Messung, den Audit-Trail und Hinweise zur Prüfmittelüberwachung.*

Programm

Data createtd during execution of the IMPro *"FK_Dichte_Ausdehungskoeff"*, type 9/135. Measuring process performed accordingly.

Prüfmittel

Das Wägesystem (WZ224-CW) wurde während dieser Messung bei einem 1-Tage Intervall der Prüfmittelüberwachung justiert.
IMETER ID16405542: Technische Daten: Auflösung des Wägesystems 0,1 mg, Messunsicherheit (Linearität) 0,4 mg, Dichte der Justiermasse ρ_{cal} 8,000 g/cm³, Luftdichte ρ_a 1,112 kg/m³; Schwerebeschleunigung g 9,80769 m/sec². Die Messauflösung der Temperaturmessung beträgt 0,01 K, die Unsicherheit 0,03 K. Akquisitions-Softwareversion IMETER 4.1.109, LizenzN° *3037-4759*, Windows 5.1- Betriebssystem auf PC Ser.N°143431694 (C, iTop).

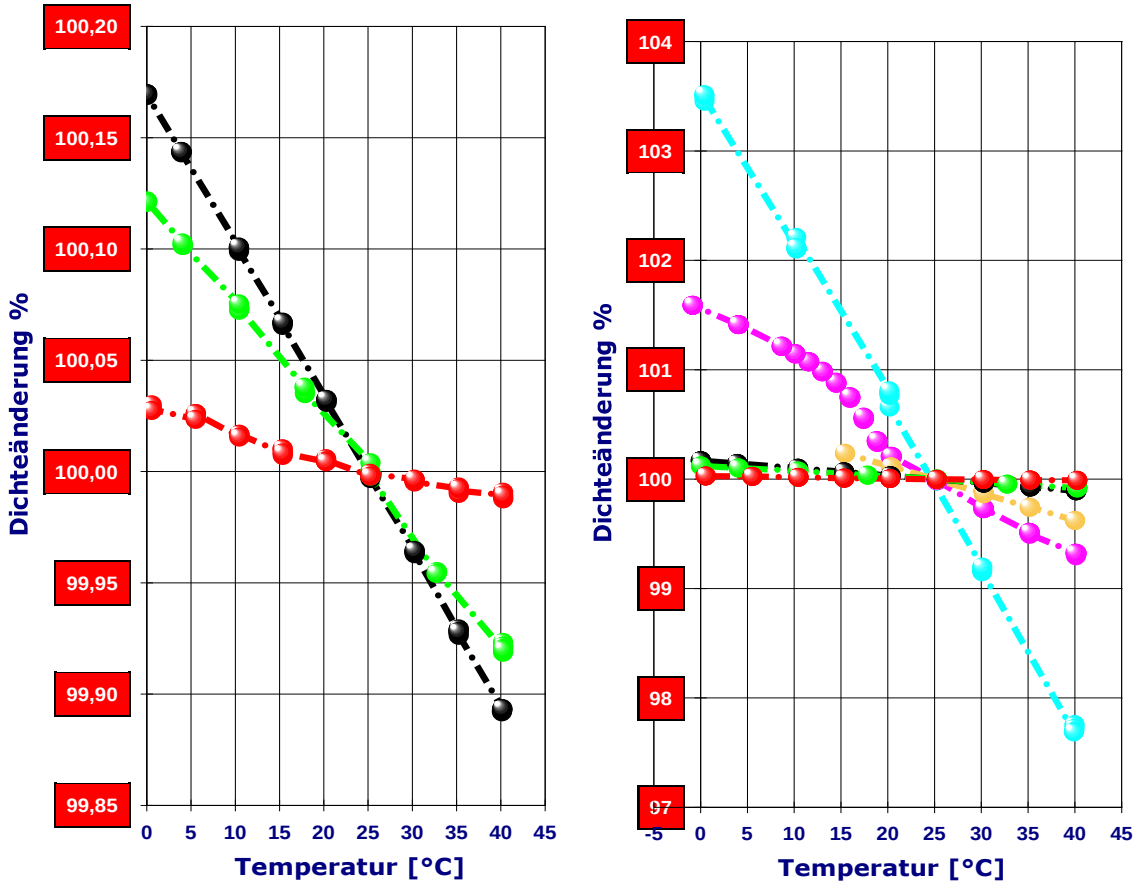
Elf Justierungen der Wägezelle während der Messung:

1.	Zeit: 1,1	[min]	Korrektur: -0,0003 [g]
2.	Zeit: 35,2	[min]	Korrektur: -0,0009 [g]
3.	Zeit: 58,3	[min]	Korrektur: -0,0007 [g]
4.	Zeit: 89,5	[min]	Korrektur: -0,0005 [g]
5.	Zeit: 113,4	[min]	Korrektur: -0,0005 [g]
6.	Zeit: 141,8	[min]	Korrektur: -0,0003 [g]
7.	Zeit: 164,0	[min]	Korrektur: -0,0002 [g]
8.	Zeit: 194,7	[min]	Korrektur: -0,0002 [g]
9.	Zeit: 229,5	[min]	Korrektur: -0,0003 [g]
10.	Zeit: 257,3	[min]	Korrektur: -0,0002 [g]
11.	Zeit: 294,0	[min]	Korrektur: 0,0000 [g]

Die während der Messung automatisch ausgeführten Wägezellen-Justierungen sind m… (die kompletten Kalibrier- und Justierprotokolle sind in der Datei 'imeterData14.cal' g…

„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.



Silizium ist wegen der geringen Wärmedehnung schwierig dilatometrisch zu messen. ***Oben in den Abbildungen*** *werden einige Messungen im Diagrammvergleich gegenübergestellt.* ***(links)*** ***rot = Diese Messung (Si)****,* ***grün = Edelstahl****, schwarz = Aluminiumwerkstoff; (****rechts****) zusätzlich eingeblendet,* ***ocker = Plexiglas (PMMA)****,* ***violettrosa = Teflon (PTFE)****,* ***türkis = Vaseline (Isoalkane und Naphtene)****.*

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!