IMETER Methode Nr.8 "Fluiddichte":
Mittelwertsmessungen & Dilatation

Die Dichte von Dodekan
zwischen -10 bis 90°C und Vergleich mit Literaturangaben

©2016 IMETER - MessSysteme
Tel. (+49)(0) 821/706450

www.imeter.de

IMETER Anwendungen

Die Dichte von Dodekan wurde über eine größere Temperaturspanne hinweg gemessen, um Dichte und Wärmedehnung zu bestimmen. – Das eingesetzte Dodekan wurde unverändert aus dem Liefergebinde zur Messung gebracht (Herkunft vgl. Bericht). n-Dodekan wurde hier getestet, weil es sich gut eignet als Referenzfluid für die Dichtemessung und als Medium für die Feststoffdichtemessung nach dem hydrostatischen Verfahren. Der Kohlenwasserstoff ist wenig gefährlich (geringe Giftigkeit, höhere Zündtemperatur und Flammpunkt), es ist nicht hygroskopisch, innert, destillierbar, relativ niederviskos, hat einen geringen Dampfdruck, einen weiten flüssigen Bereich (-10 bis +215°C) und es ist eine vergleichsweise billige Chemikalie.
Gute Referenzflüssigkeiten wie Dodecan können verwendet werden, um Dichtemessungen insgesamt zu kalibrieren. Durch eine einfachere Messung, wie die, die unten ausgegeben ist, können Messkörper, Waage und Thermometer zusammen einfach und überaus plausibel geprüft werden. Denn, funktioniert ein Element nicht korrekt, wird dies unweigerlich zu entsprechenden Diskrepanzen im "Abweichungsdiagramm" (5. Diagramm, unten) führen. Sind Waage, Messkörper und Fluid exakt, kann damit die Temperaturmessung justiert werden. Solche vernünftigen Handhabungen vereinfachen und verbilligen die Aufrechterhaltung des allgemeinen IMETER-MessSystems.

Die Messung betreffend sind folgende Umstände zu bemerken, die mit der Qualität der Messung und dem vergleichsweise geringen Aufwand zusammenhängen: (A) Es werden stets unabhängige Messwerte durch die Differenzwägetechnik aufgezeichnet, d.h. wenn an der Aufhängung Flüssigkeit kondensiert (was bei höheren Temperaturen vorkommt), der Nullpunkt der Waage driftet, die „Maschine“ Erschütterungen ausgesetzt ist etc., dann beeinflusst dies die Messung insgesamt nicht! Das ist neben der potentiell größten Genauigkeit bei IMETER einzigartig und generell wichtig. Genauso, wie auch alle Arten der Signaldrift so eliminiert werden. (B) Je Temperaturstufe werden in dieser Messung sechs Werte aufgezeichnet. Sonstige Störungen, wie Gasblasen oder große Temperaturgradienten, werden sichtbar, indem sich eine starke Streuung in der Gruppe zeigt. (C) Mittelwerte (unabhängiger Einzelwerte!) erhöhen die statistische Sicherheit. (D) Die Messunsicherheit wird durch das System selbsttätig eingeschätzt, indem insbesondere auch die Genauigkeit der Temperaturmessung mit der ermittelten Wärmedehnung abgeglichen wird. (E) Es wurde eine technisches Messverfahren ohne systematischen Fehler angewendet (kein Meniskuseffekt, kein Halterungsauftrieb, keine Störung durch Niveauveränderung der Probe, keine Drift). (F) Nur wenige Handgriffe und Angaben in der Software waren notwendig. Sie führten automatisch zu dem folgenden, komplett dokumentierten Ergebnis, welches am Ende eine Kommentierung des Prüfers enthält.

In diesem Dokument wird ein automatisch erzeugter IMETER-Prüfbericht vorgestellt. Die Ausführlichkeit ergibt sich aus der Forderung, dass alle Variablen einer Messung dargestellt werden sollen. Variabel sind ja nicht nur die Messdaten, sondern auch Umstände, Abläufe und die Eigenschaften der Normale. Daher verfügt IMETER zum einen über eine Modelliersprache, um Mess- bzw. Steuerungsverfahren zu gestalten („*was soll der Fall sein*“), zum anderen über analytische Fähigkeiten, um zu bewerten, *was der Fall* ist und um darüber in Berichten Rückkopplung zu geben.

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

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

ID N° 11319 - Fluid Dichte & Dilatation

Titel: **Dodekan**

Remarks: n-Dodekan, Sigma-Aldrich D221104-100ML, Lot#MKBF7504V, CAS 112-40-3. C12H26, MW 170.33Lt. Wikipedia "Dodekan" : Dichte (20°C) 0.75 g/cm³, Smp. -10°C, Kp. 216°C, Dampfdruck (20°C) 12 Pa.

Ergebnis: **$\rho_{25°C}$ = 0,74523 ±0,000017 g/cm³, $\kappa_{25°C}$ = 97,5·10^{-5}K^{-1}**

Report

Hinweis: *Dieser Bericht ist mit Kommentierungen versehen. - Die Erklärungen sind formatiert wie dieser Text. Nachfolgend wird eine kurze Erklärung zum Prinzip der Messung gegeben:*

Eigenschaft und Methode

Die Dichte *(spezifische Masse, Massekonzentration)* gibt das Verhältnis von Masse zu Volumen an. Sie ist eine temperaturabhängige Stoffkonstante. Die Dichte wird in diesem Verfahren nach der Auftriebsmethode (hydrostatische Wägung) bestimmt: *"Ein in einer Flüssigkeit untertauchender Körper (Messkörper) erscheint um so viel leichter, wie die seinem Volumen entsprechende Flüssigkeitsmenge wiegt."* Damit aus der Auftriebskraft der Dichtewert definitiv berechnet werden kann, ist die Bestimmtheit des von Temperatur und Druck abhängenden Messkörpervolumens evident. Darüber hinaus wirkt sich die Mediumdichte (Luftdichte), in der die Wägung erfolgt, auf das Resultat aus. Die Relation von Messauflösung der Sensoren (Kraft, Temperatur), Messkörpermasse und -volumen, des Realisierungsgrades ausreichend ruhiger, isothermer Wägebedingungen sowie jeweilige (Mess-)Unsicherheiten aber auch die Wärmedehnung der Probe selbst bestimmen über die Genauigkeit der Ergebnisse.

• Datenbankvergleich zu "*Dodekan*" für 25°C

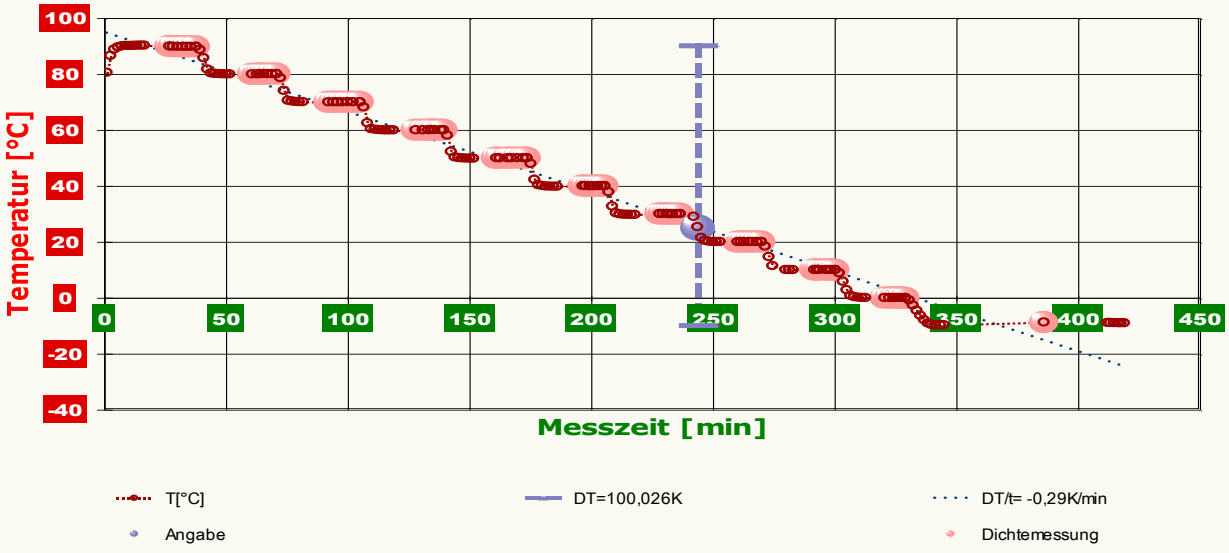
	Referenz	Messung	Δ absolut	Δ relativ	Δ / u
ρ	0,74523	0,74523	±0,00000 g/cm³	---	@
$-\Delta\rho/\Delta T$	0,00073	0,00073	±0,00000 g/cm³·K^{-1}	---	@

*Der Ergebnisvergleich mit den Angaben, die in der Referenzdatenbank zu 'DODEKAN' gefunden werden, 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, $-\Delta\rho/\Delta T$ 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.*

• 72 Dichtemesswerte

Gesamte Dauer sieben Stunden; stufig, zwischen 89,9 und -8,7°C abfallender Temperaturverlauf, elf Temperaturniveaus; mit zehn Stufen; 9,9 K Temperaturunterschied je Stufe, mit jeweils rund sechs Messwerten.

Diagramm 'Temperaturprofil':



Im Diagramm "Temperaturprofil" wird eine Übersicht zum zeitlichen Verlauf der Vorgänge und der jeweils aufgezeichneten Temperatur gezeigt. Die Grafik hat informativen Charakter und dient der Rückkopplung und Zusammenfassung. -- Zur Bedeutung der eingezeichneten Symbole: Die Kreismarkierungen zeigen Temperaturmesswerte an; die kugelförmigen Marken stehen für Zeitpunkt und Temperaturzuordnung von Auftriebsmesswerten.

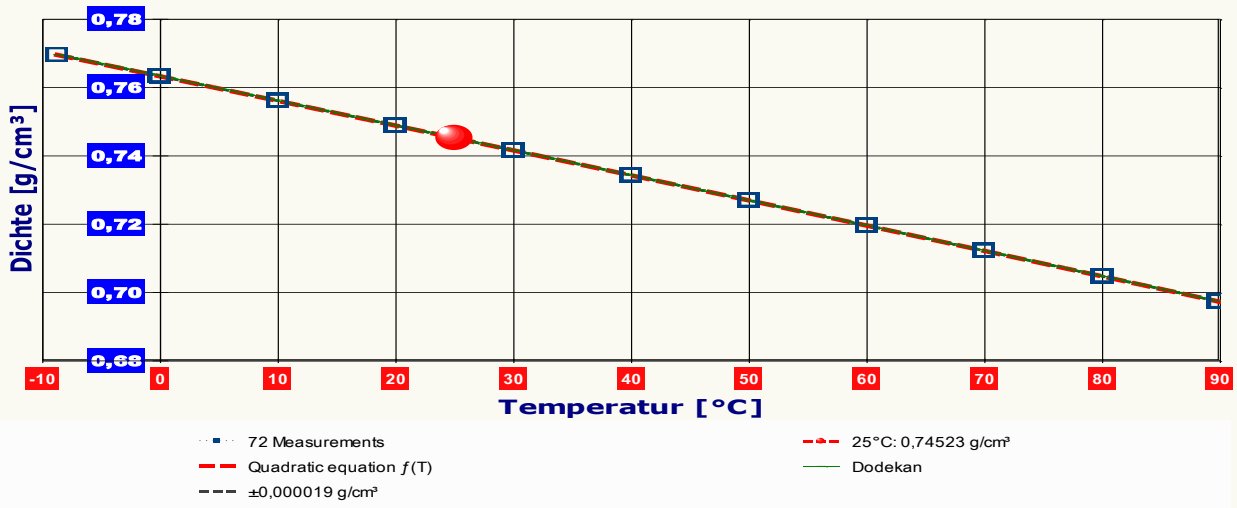
• Ergebnisse

Akquisitionsperiode der 72 Messwerte im Messablauf: 27 bis 386 min, Temperatur ΔT =-98,681 K
Resultat: ρ = **0,74523 ±<*0,000017*> g/cm³** (298,15 K, 97,02 kPa)
Streuung: ±**1,89·10^{-5}** g/cm³ absolute bzw. 25ppm relative Standardabweichung
Berechnung: quadratische Regressionsgleichung, eindeutig temperaturabhängig.
Temperaturabhängigkeit zwischen -8,740 und 89,941 °C:
ρ [g/cm³] = $f(\vartheta$[°C]) = 0,763275 -71,747·ϑ/1E5 -0,017912·ϑ^2/1E5 r^2=0,99999924 s^2=3,58E-10
>> alternativ, die lineare, eher extrapolierbare Gleichung: '0,76347 -73,3254·ϑ/1E5' mit r^2=0,999959 und s^2=1,90E-8 <<

Der Ausdehnungskoeffizient mit 97,5 [10^{-5}K^{-1}] entspricht normalen Werten gut. Die relative Änderung der Dichte mit der Temperatur beträgt 0,98‰, entsprechend 0,00073 g/cm³ pro Grad bei der Angabetemperatur.

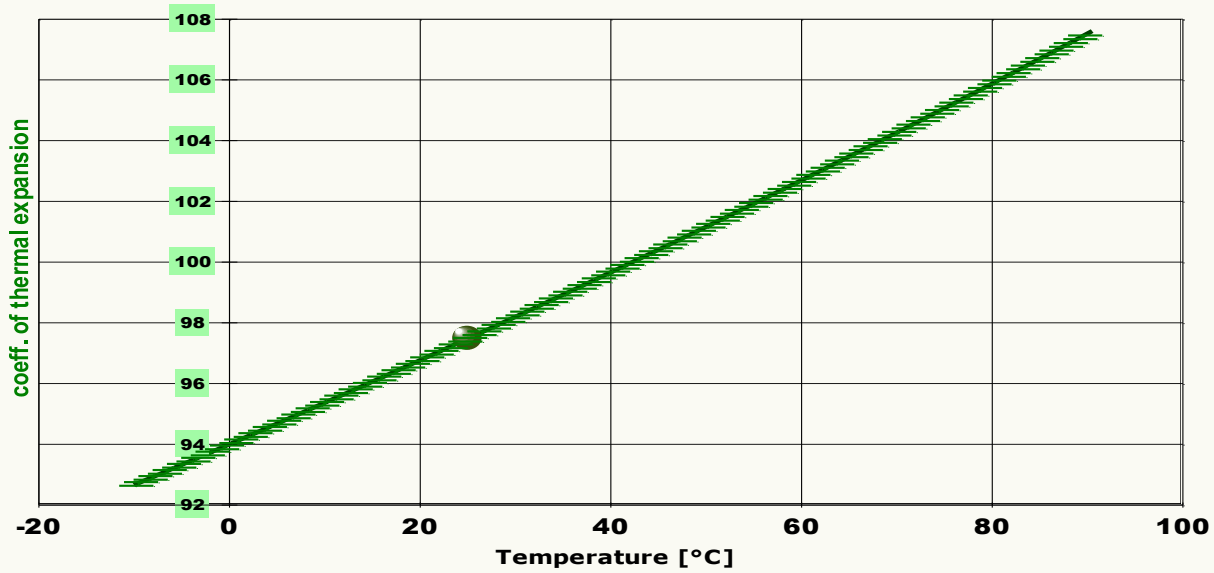
*Die relativ große Streuung zeigt **Klärungsbedarf** an!! - Die angenommene Messunsicherheit '0,000017 g/cm³' wird somit durch die Standardabweichung ersetzt. - Die Messdaten werden automatisch analysiert. Ergebnis und ermittelte Formeln stellen Vorschläge dar, wobei sich aus den Umständen der Messung ggf. andere Zusammenhänge ergeben können. Üblicherweise kann der Ausdehnungskoeffizient für Fluide bei 25°C im Bereich zwischen 50 und 150 10^{-5}K^{-1} liegen. Der Korrelationskoeffizient zeigt die Qualität der gegenseitigen Abhängigkeit an (r^2, der 'extra ausgezeichnet' ist). Die Präzision zwischen den Messwerten und der Regressionsgleichung wird durch die Varianz (s^2) der Residuen qualifiziert - die Standardabweichung ($\sqrt{s^2}$) muss deutlich kleiner als die anzunehmende Messunsicherheit sein.*

Diagramm 'Dichte/Temperatur':



Das Diagramm "Dichte/Temperatur" zeigt die 72 Dichtemesswerte in Temperaturabhängigkeit an. Die Regressionsfunktion der Messwerte ist eingezeichnet. Auf ihr ist der als Ergebnis ausgewiesene Angabewert für 25°C als Kugelmarke dargestellt sowie, diesen umgebend, der markierte Bereich der Messunsicherheit. Als dünn schraffierter Bereich, der in der Breite der angenommenen Messunsicherheit markiert ist, werden Datenbank-Referenzwerte von 'Dodekan' herangezogen.

Diagramm 'Ausdehnungs-Koeffizient':



Das Diagramm, "Ausdehnungs-Koeffizient" zeigt den Verlauf des Ausdehnungskoeffizienten κ der Dodekan aus der Ableitung der Dichte-Verlaufsgleichung an. Die Breite entspricht dem hier angenommenen Fehler. Der Angabewert ist als kugelförmiges Symbol eingezeichnet.

Aus der quadratischen Regressionsgleichung des Dichteverlaufs kann für den Raumausdehnungskoeffizienten eine Gleichung angegeben werden:

$\kappa \mid [10^{-5} \cdot K^{-1}] = f(\vartheta[°C]) = (71{,}75+0{,}03582 \cdot \vartheta) / (0{,}76327-7{,}1747E\text{-}4 \cdot \vartheta - 1{,}7912E\text{-}7 \cdot \vartheta^2)$

Die Bestimmtheit der Gleichung wird aus der Regressionsfunktion zu $\pm 0{,}061 \cdot 10^{-5}$/K übernommen. Bei 25 °C beträgt die relative Zunahme des Koeffizienten 0,62‰ pro Grad.

Um das Volumen bzw. eine Volumenänderung für 'Dodekan' bei einer bestimmten Temperatur ϑ im gültigen Temperaturbereich zwischen -8,7 und 89,9°C 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:

$V1_{\vartheta} = V0_{\vartheta°} \cdot (0{,}76327 - 7{,}1747 \cdot 10^{-4} \cdot \vartheta° - 1{,}7912 \cdot 10^{-7} \cdot \vartheta°^2) / (0{,}76327 - 7{,}1747 \cdot 10^{-4} \cdot \vartheta - 1{,}7912 \cdot 10^{-7} \cdot \vartheta^2)$

- **Datentabelle**

Die nachfolgende Aufstellung gibt die Daten zu den Einzelergebnissen an.

N°	*t*[min]	*T*[°C]	*ρ*[g/cm³]	Δ*ρ*[g/cm³]	*W* [g]	Δ*W*$_t$[g]	Δ*t*[s]	*N*
1.	26,7	89,941	0,697314	0,000002	94,2034	-0,0001	1,6	2
2.	28,2	89,848	0,697343	-0,000001	94,2006	0,0001	1,6	2
3.	30,1	89,822	0,697386	-0,000003	94,1964	0,0003	1,6	2
4.	32,1	89,813	0,697356	0,000005	94,1993	-0,0005	9,4	7
5.	33,8	89,810	0,697365	0,000004	94,1985	-0,0004	4,7	4
6.	35,4	89,817	0,697356	0,000009	94,1993	-0,0008	4,7	4
7.	37,6	89,828	0,697343	-0,000010	94,2006	0,0010	14,2	10
8.	60,7	79,980	0,704759	0,000001	93,4818	-0,0001	11,0	8
9.	62,7	80,011	0,704723	-0,000001	93,4853	0,0001	1,6	2
10.	63,9	80,037	0,704713	0,000000	93,4863	0,0000	1,6	2
11.	65,4	80,056	0,704711	-0,000001	93,4865	0,0001	3,1	3
12.	66,8	80,047	0,704718	0,000003	93,4858	-0,0003	4,7	4
13.	68,8	80,040	0,704720	0,000003	93,4856	-0,0003	7,9	6
14.	70,7	80,057	0,704694	0,000005	93,4881	-0,0005	7,9	6
15.	92,0	69,982	0,712200	-0,000008	92,7607	0,0007	9,4	7
16.	94,0	69,980	0,712167	0,000000	92,7638	0,0000	1,6	2
17.	95,6	70,006	0,712175	0,000004	92,7631	-0,0004	4,7	4
18.	97,6	69,994	0,712207	0,000017	92,7600	-0,0016	14,2	10
19.	99,9	70,024	0,712150	0,000006	92,7655	-0,0006	4,7	4
20.	102,1	70,002	0,712169	-0,000015	92,7637	0,0014	9,4	7
21.	104,9	69,994	0,712207	0,000010	92,7599	-0,0009	11,0	8
22.	127,9	59,983	0,719623	-0,000001	92,0414	0,0001	1,6	2
23.	130,9	59,996	0,719591	0,000005	92,0444	-0,0005	9,4	7
24.	133,1	60,015	0,719577	0,000002	92,0458	-0,0001	1,6	2
25.	134,3	60,030	0,719565	0,000004	92,0470	-0,0004	4,7	4
26.	135,7	60,035	0,719579	0,000004	92,0456	-0,0004	4,7	4
27.	138,1	60,009	0,719578	0,000019	92,0457	-0,0019	34,6	23
28.	139,2	60,010	0,719601	-0,000002	92,0435	0,0002	1,6	2
29.	160,9	49,988	0,726991	0,000000	91,3275	0,0000	1,6	2
30.	162,5	49,957	0,726999	-0,000001	91,3267	0,0001	1,6	2
31.	165,7	49,976	0,726955	-0,000020	91,3310	0,0019	15,7	11
32.	167,2	49,998	0,726936	-0,000015	91,3328	0,0014	17,3	12
33.	169,6	50,023	0,726918	-0,000001	91,3346	0,0001	3,1	3
34.	172,0	50,027	0,726931	0,000001	91,3333	-0,0001	1,6	2
35.	173,5	50,027	0,726926	0,000000	91,3338	0,0000	4,7	4
36.	196,5	40,041	0,734275	0,000000	90,6218	0,0000	1,6	2
37.	197,6	40,021	0,734285	0,000001	90,6208	-0,0001	1,6	2
38.	199,3	39,980	0,734304	-0,000012	90,6190	0,0012	11,0	8
39.	200,9	39,992	0,734290	-0,000003	90,6203	0,0003	9,4	7
40.	202,5	40,014	0,734280	-0,000003	90,6213	0,0003	7,9	6
41.	204,0	40,016	0,734295	0,000021	90,6198	-0,0021	17,3	12
42.	205,4	40,008	0,734300	0,000002	90,6193	-0,0002	3,1	3
43.	228,0	30,043	0,741541	-0,000001	89,9178	0,0001	1,6	2
44.	229,4	30,044	0,741533	0,000000	89,9186	0,0000	3,1	3
45.	230,9	30,024	0,741579	0,000005	89,9142	-0,0005	7,9	6
46.	232,0	30,012	0,741564	-0,000001	89,9156	0,0001	7,9	6
47.	233,4	30,006	0,741579	0,000000	89,9142	0,0000	1,6	2
48.	235,0	29,995	0,741575	0,000000	89,9145	0,0000	1,6	2
49.	236,4	30,007	0,741564	0,000005	89,9156	-0,0005	14,2	10
50.	260,0	19,979	0,748851	0,000005	89,2098	-0,0005	7,9	6
51.	261,5	20,006	0,748813	0,000000	89,2135	0,0000	6,3	5
52.	262,7	20,011	0,748826	0,000001	89,2121	-0,0001	7,9	6
53.	264,9	20,009	0,748827	0,000013	89,2121	-0,0012	14,1	10
54.	266,3	20,004	0,748831	0,000000	89,2117	-	1,6	2
55.	268,0	20,006	0,748829	0,000003	89,2119	-0,0003	6,3	5
56.	269,8	20,015	0,748824	0,000000	89,2124	-	1,6	2
57.	291,6	10,017	0,756046	-0,000016	88,5128	0,0015	20,4	14
58.	292,7	10,030	0,756061	0,000005	88,5114	-0,0005	14,2	10
59.	293,8	10,034	0,756046	0,000001	88,5128	-0,0001	3,2	3
60.	296,3	10,000	0,756076	0,000003	88,5099	-0,0003	4,7	4

61.	297,4	10,005	0,756085	0,000009	88,5090	-0,0008	11,0	8
62.	298,6	10,011	0,756069	0,000000	88,5105	0,0000	1,6	2
63.	300,2	10,002	0,756102	-0,000001	88,5074	0,0001	1,6	2
64.	320,5	-0,019	0,763318	-0,000004	87,8084	0,0004	4,7	4
65.	322,5	0,017	0,763269	0,000001	87,8132	-0,0001	1,6	2
66.	324,2	0,014	0,763285	-0,000009	87,8116	0,0009	12,7	9
67.	325,2	0,006	0,763298	0,000000	87,8103	0,0000	3,1	3
68.	326,3	0,009	0,763287	0,000001	87,8114	-0,0001	3,1	3
69.	327,4	-0,004	0,763305	0,000000	87,8097	-	1,6	2
70.	329,0	-0,072	0,763316	0,000017	87,8086	-0,0017	17,3	12
71.	386,0	-8,740	0,769532	0,000000	87,2066	-	1,6	2

*In der Tabelle gibt die Spalte '**t**' den Zeitpunkt des Messwertes, '**T**' die Temperatur und '**ρ**' den Dichtewert an. - In der Aufstellung werden auch diagnostische Daten ausgegeben: In der Kolumne '**Δρ**' wird ggf. die Änderung der Dichte während der Akquisitionszeit des Messwertes wiedergegeben; mit '**Δt**' wird die Messdauer der jeweiligen Beobachtung bezeichnet. Mit '**W**' wird der Wäge-Endwert wiedergegeben - in der Dokumentation entspricht er dem Wert 'W2', an welchem für 'W2*' Korrekturen (Meniskus) vorgenommen wurden. Die Rubrik '**ΔW_t**' gibt die zuvor eingetretene Änderung des Wägewertes wieder. Mit '**N**' wird die Zahl der dabei aufgezeichneten Wägewerte angegeben.*

• Messkörper

Eingesetzter Messkörper '**Quarz100mL-Std. -10-90°C**', Masse 161,9154147±0,00015 g, Volumen$^{(25°C)}$ 97,107652±2,2E-3 cm³, kubischer Ausdehnungskoeffizient $2{,}4768 \cdot 10^{-6} K^{-1}$. Die Druckangabe, die im Ergebnis angegeben ist, wird aus der Luftdichte zum Angabezeitpunkt ermittelt (p_{abs}=96,64741 kPa) und aus dem hydrostatischen Druck (p_H=0,37 kPa), der auf den Messkörper in der mittleren Eintauchtiefe von 51 mm wirkt. Die Kompressibilität des Messkörpers wird nicht gesondert in Betracht gezogen.

• Messunsicherheit

Die Messauflösung der Wägeeinheit (0,1 mg) erlaubt mit dem Messkörper und bei der Fluiddichte die maximale Auflösung zu 0,000001g/cm³ (1,3ppm). Die für die Messung angegebene Messunsicherheit der Wägung (±0,2 mg) bedeutet messkörperbezogen $\pm 2{,}0 \cdot 10^{-6}$ g/cm³. Die Fehlerfortpflanzung der

Messkörperdaten ergibt eine Unsicherheit von $\pm 1{,}7 \cdot 10^{-5}$ g/cm³, die die Unsicherheit der Temperaturmessung übersteigt: Bezogen auf die Dichte und Wärmedehnung von *Dodekan*, wie in dieser Messung bestimmt, erlaubt die Messauflösung des Temperatursensors (0,001 K) die Auflösung der Dichte zu $\pm 7{,}3 \cdot 10^{-7}$ g/cm³ anzugeben. Die einschränkend vorgegebene Unsicherheit der Temperaturmessung (±0,0015 K) bedeutet demnach eine Unsicherheit von $\pm 1{,}1 \cdot 10^{-6}$g/cm³. Insgesamt wird somit die Messunsicherheit bei 25°C zu **$\pm 1{,}7 \cdot 10^{-5}$ g/cm³** bestimmt.

• Technisches Verfahren

Die Werte wurden mit der genauen Methode (Meniskuseliminierung, *IMETER-Patentverfahren*) bestimmt, wodurch also die einzelnen Auftriebsmessungen voneinander unabhängig sind und systematische Fehler durch die Messkörperaufhängung/Phasengrenze sowie durch die Eintauchtiefe ausgeschlossen werden. -- Die Absenkung des Messbehälters vor der Auftriebsmessung von 4,633 mm führt mit der Querschnittsfläche der Aufhängung (Ø = 0,00290 mm²) zu einer Korrektur der Auftriebskraft über das Volumen 0,013 mm³ bei jeweiliger Flüssigkeitsdichte.

Anhand des dokumentierten Verfahrens, des Zeit- und Temperaturverlaufs, der Ausgabe der Tabelle, der Messkörperdaten sowie der evaluierten Unsicherheiten (insbesondere derer, die erst durch den Temperaturgang des Messgegenstands offenbar werden) werden in diesem Bericht Informationen ausgegeben, die die Überprüfung der Einzelwerte ermöglichen und weitere Schlussfolgerungen erlauben können.

In diesem Bericht werden nicht alle verfügbaren Diagramme ausgegeben. Sie können die Ausgabe der Grafiken durch Aktivierung der entsprechenden "Checkboxen" (unter der Registerkarte "Optionen") bewirken.
***Nicht angezeigte Charts:** Im Chart Nr.4, "Residuen", wird die (temperaturkompensierte) Abweichung der einzelnen Messwerte zum Referenzwert in zeitlicher Reihe angezeigt. Bei einem gesetzmäßigen Verlauf der Änderung wird eine entsprechende lineare oder quadratische Regressionsgleichung ausgegeben. So können Trends, die bei Temperaturänderung sonst kaum sichtbar werden oder auch Unterschiede in der Wärmedehnung erkannt werden.*
***Berichtseinstellungen - aktivierte Ausgabeeinstellungen:** Erläuterungstexte, detaillierte Ergebnisse, allgemeine Angaben, Vergleichsanalyse, formatierte Tabellen, Prüfmittelüberwachung, Berichtseinstellungen, Authentifizierungen.*
***Beschränkte Informationsausgabe durch negierte Optionen:** Datenbankvorschläge anzeigen, Bearbeitungshinweise, Audit-Trail, Online-Protokoll, Status und Ausführungshinweise, sensorische Zusatzdaten + IFG-Ereignisse werden nicht angezeigt.*
***Wägewerte** sind - wenn nicht anders ausgezeichnet - konventionelle Wägewerte (OIML); **Temperaturangaben** beziehen sich auf die Skala der ITS-90.*
***Standardabweichungen:** Verschiedentlich werden Regressionsfunktionen mit Standardabweichungen (s) bzw. Varianzen (s²) qualifiziert. Diese Streuungsangabe wird berechnet aus der Summe der Quadrate der Abweichungen der Einzelwerte zu dem berechneten Funktionswert (der dem Einzelwert entsprechen soll) dividiert durch die Anzahl der Werte weniger 1. Sofern nicht anders bezeichnet, werden für ±(Mess-)Unsicherheiten stets einfache Standardabweichungen - ohne Erweiterungsfaktoren - angegeben, d.h. die Überdeckung betrifft 67% der (empirischen) 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*

11319, Datenbank imeterData26) auffindbar und als Referenz oder Vergleich nutzbar. Ggf. enthalten nachfolgend ausgegebene Informationen, 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.

……

Prüfmittel

Die Kraftmesseinrichtung (WZ224-CW) wurde während dieser Messung justiert.
IMETER ID16405542: Systemdaten: Auflösung des Wägesystems 0,1 mg, Messunsicherheit*) 0,2 mg, Dichte der Justiermasse*) 8,000 g/cm³, Luftdichte vgl. Tabelle unten; Umrechnungen von Masse nach Kraft mit dem Wert 9,80769 m/sec² für die Fallbeschleunigung*). Pt100-Temperaturmessung: Auflösung 0,001[K], Messunsicherheit ±0,0015[K], R° 100,079064[Ohm], AutoCal 2,5[min] (BN°3, -10,5/91°C, 7S, FS0, Korrekturfunktion: 0,0213+0,9982345·T°-1,84324742E-05·T°²). Die Messauflösung der sekundären Temperaturmessung beträgt 0,01 K, die Unsicherheit*) 0,03 K. Akquisitions-Softwareversion IMETER 5.6.34, LizenzN° *3037-4759*, Windows 6.0- Betriebssystem auf PC Ser.N°609650943 (C,).

Zwei Justierungen der Wägezelle während der Messung:

1.	Zeit: 58,7	[min]	Korrektur: -0,0016	[g]
2.	Zeit: 319,6	[min]	Korrektur: -0,0018	[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 'imeterData26.cal' gesondert gespeichert).

meteorologische Angaben, Luftdichte:

Time [min]	ϕ [%]	T_a [°C]	p_a [kPa]	ρ_{air} [kg/m³]
25,6	43,71	26,11	97,237	1,12576
57,8	42,29	26,688	97,246	1,12368
90,3	42,72	26,911	97,214	1,12232
126,0	42,09	26,96	97,217	1,12224
159,7	42,09	26,912	97,21	1,12242
195,3	42,9	26,78	97,195	1,12263
225,3	43,27	26,658	97,154	1,122593
258,9	40,48	26,37	97,138	1,12402
290,0	42,4	26,35	97,14	1,12379
318,7	43,23	26,222	97,114	1,12393
369,5	44,33	25,856	97,10	1,12507

Obige Zusammenstellung gibt die Aufzeichnung der Atmosphärendaten für den Aufstellort wieder; darin bedeuten ϕ relative Luftfeuchte (r.H.), T_a Lufttemperatur und p_a absoluter Luftdruck, ρ_{air} die Luftdichte Die Ablesungen wurden automatisch durch das i-SIF ausgeführt.

……

Nachträgliche Anmerkung(en):
Kommentar: < ***In der Messung war Dodekan bei -10°C am Gefrieren (ein brauchbarer Wert bei -9°C wurde gemessen). Probe gefror vor -10°C und wurde wieder auf -9°C erwärmt; war beim Messen dann aber evtl. noch nicht ganz aufgetaut ... (bessere Regression ohne die letzte Wertegruppe!!).***
Die Kalibrierung des Messkörpers – hier mit einem hohen Budget für die Unsicherheit des Volumens - verwendet für den Ausdehungskoeffizienten einer Konstante und nicht ein temperaturabhängiges Polynom (ist so also robust aber ungenauer). Schön wäre es, wenn für Dodekan bessere Referenzdaten verfügbar wären – Dodekan kann eine gut geeignete Referenzsubstanz sein. > **Kommentar**

"Kommentare" sind freie Texte, die der Operator zur Dokumentation der Messung hinzufüg

„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.

Die erhaltenen Ergebnisse wurden mit Literaturdaten verglichen. Ein verfügbares Dokument [1] liefert die Dodekan betreffenden Angaben; sie wurden in die Vergleichsdatenbank als "*Dodekan (Findegg)*" eingetragen und in der Auswertung der Messung als Vergleich angegeben. Die Daten [1] stammen von Pyknometermessungen im Temperaturbereich zwischen 10 und 60°C; gleichwohl beträgt die Abweichung zur vorliegenden IMETER-Messung höchstens 10^{-4} g/cm³ und entspricht damit auch der angegebenen Genauigkeit von 0.01-0.02%. Eine bemerkenswerte Erscheinung bei Dodekan, ein Abknicken der Dichtetemperaturfunktion bei 162°C und 191°C [2], sollte geprüft werden – auch um die potentielle Referenzqualität bei höherer Temperatur zu evaluieren. Es ist ja heute nicht mehr so, dass Dichtemessungen wirklich sehr schwierig und teuer sind – zwar, Biegeschwinger kann man für solche Aufgaben getrost vergessen - man kann hingegen davon ausgehen, dass solche IMETER-Messungen mindestens um den Faktor 50 kostengünstiger, korrekter und genauer sind.

[1] Findenegg, G.H., Dichte und Ausdehnungskoeffizient einiger flüssiger Alkane, Monatshefte für Chemie, **101**, S.1081-1088, Springer-Verlag (1970): Online unter http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF00908551?LI=true http://dx.doi.org/10.1007/BF00908551)
[2] Gysel, H.: Einfluß derTemperatur auf die Molekularrefraktion organischer Verbindungen, Dissertation, ETH Zürich, 1937: Online unter http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:20521/eth-20521-01.pdf

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*

©2016 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!