

ID N° 25043 - DRT - Surface Tension / Δt

Flüssigkeit/Vergleich: 'Heptan'

Result: $\gamma_{30,01^\circ\text{C}} = 18,75 \pm 0,17 \text{ mN/m}, \tau_k 11$

Messungen an verschiedenen Testflüssigkeiten bekannter γ und ρ funktionieren und erzeugen erwartbare Messwertverläufe und systematische Abweichungen von bis zu -3% vom Erwartungswert. Ein scheinbarer Anstieg von γ in den Wiederholungen folgt einer zusätzlichen Verringerung des Kantenwinkels φ_{end} , durch Verdunstung. Die Pegelabsenkung verkleinert den wirklichen Wert von f_k , gerechnet wird jedoch im Auswertungsprogramm noch mit dem f_k für das 90°-Pinning.

<https://www.imeter.de/?view=article&id=122:ringmethode&catid=24:oberflaechen-und-grenzflaechenspannung#DasDoppelring-Tensiometer>

...

• 2. Übersicht, Temperatur

Die Oberflächenspannung wurde 23-mal gemessen, Nettodauer des Messablaufs 20 Minuten; Temperaturänderung im Bereich von 29,98 bis 30,11°C.

• 3. Ergebniszusammenfassung

23 Messwerte; Zeitbereich 4 bis 20 min, Temperatur $\Delta T = 0,135 \text{ K}$

Ergebniswert bei 4 min: $\gamma_{30,013^\circ\text{C}} = 18,75 \pm 0,17 \text{ mN/m}$ bzw. $\pm 0,91\%$ (303,16 K)

Streuung: $\pm 0,017 \text{ mN/m}$ absolute bzw. 0,091% relative Standardabweichung

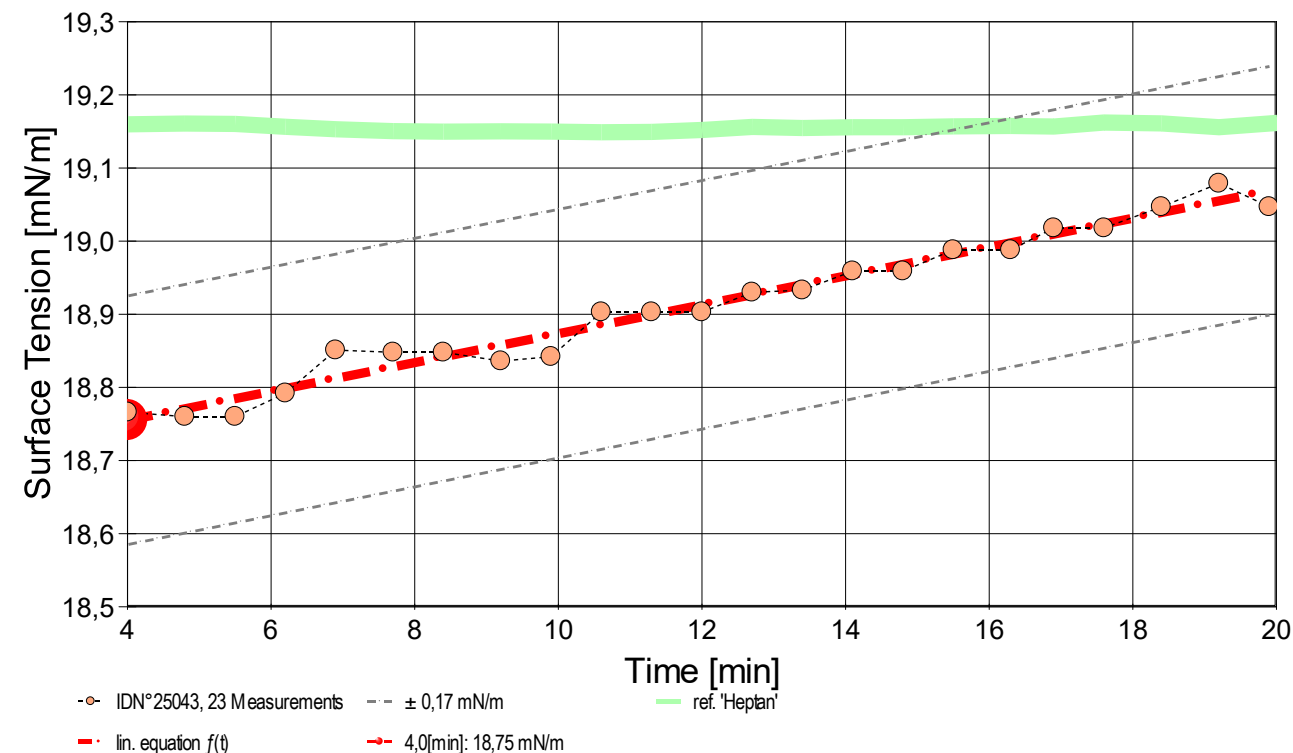
Berechnung: lineare Regressionsgleichung zeitabhängig.

Zeitzusammenhang durch Regression zwischen Minute 4 und 20:

$\gamma(t[\text{min}]) = 18,676 + 1,974 \cdot 10^{-2} \cdot t$ mit $r^2 = 0,971, s^2 = 2,79 \cdot 10^{-4}$

- Die Messdaten werden automatisch analysiert. Ergebnis und ermittelte Formeln stellen Vorschläge dar, wobei sich aus den Umständen der Messung ggf. andere Zusammenhänge ergeben können. Der Korrelationskoeffizient zeigt die Qualität der gegenseitigen Abhängigkeit an (r^2 , der hier wohl 'ausreichend' zu nennen ist). Die Präzision zwischen den Messwerten und der Regressionsgleichung wird durch die Varianz (s^2) der Residuen qualifiziert - die Standardabweichung ($\sqrt{s^2}$) sollte deutlich kleiner als die anzunehmende Messunsicherheit sein.

- Diagramm 1. Zeitprojektion der Messwerte - 'Zeitprojektion²'



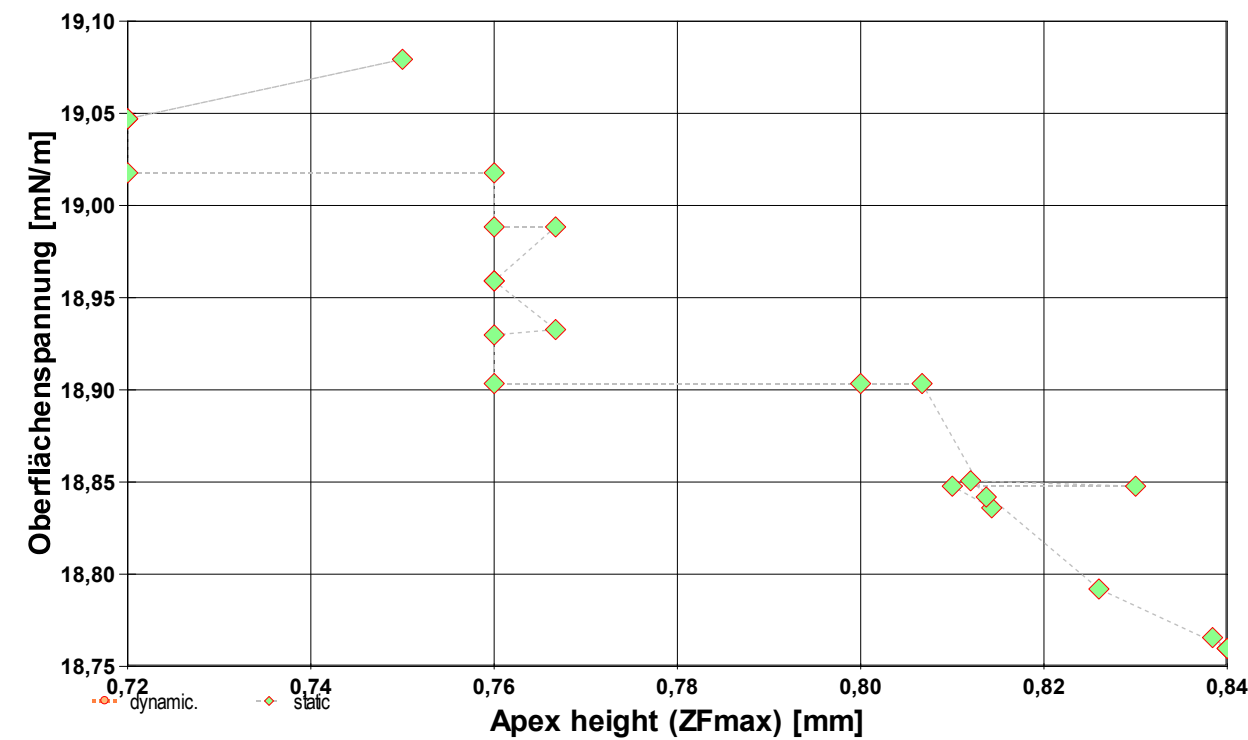
- Im Diagramm "Zeitprojektion²" sind die einzelnen Messwerte als Kreissegmente in der zeitlichen Reihenfolge eingetragen. Um die Messwerte ist der Bereich der Messunsicherheit eingezeichnet. Der ausgewiesene Angabewert ist als dickere, gestrichelte, waagerechte Linie eingezeichnet. Als gestrichelte Linie werden Datenbank-Referenzwerte von 'Heptan' temperaturkompensiert eingezeichnet.

Tabelle 1: Protokoll der Mess- und Ergebnisdaten

N°	t [min]	θ [°C]	nPos -	ΔZ [mm]	h _γ [mm]	W _γ [mg]	γ [mN/m]	τ _{rel.} [s]	Δρ [g/cm³]
1.	4,0	30,003	9	0,32	0,838	66,83	18,77	18,8	0,6763
2.	4,8	29,992	10	0,36	0,840	66,80	18,76	17,9	0,6763
3.	5,5	29,997	10	0,36	0,840	66,80	18,76	18,0	0,6763
4.	6,2	30,037	10	0,36	0,826	66,92	18,79	16,5	0,6762
5.	6,9	30,071	10	0,36	0,812	67,12	18,85	14,5	0,6762
6.	7,7	30,098	10	0,36	0,830	67,11	18,85	18,5	0,6762
7.	8,4	30,105	10	0,36	0,810	67,11	18,85	15,4	0,6762
8.	9,2	30,100	10	0,36	0,814	67,07	18,84	17,7	0,6762
9.	9,9	30,104	10	0,36	0,814	67,09	18,84	17,0	0,6762
10.	10,6	30,113	10	0,36	0,807	67,30	18,90	13,9	0,6762
11.	11,3	30,108	10	0,36	0,800	67,30	18,90	14,1	0,6762
12.	12,0	30,082	10	0,36	0,760	67,30	18,90	13,8	0,6762
13.	12,7	30,039	10	0,36	0,760	67,40	18,93	13,7	0,6762
14.	13,4	30,054	10	0,36	0,767	67,41	18,93	10,7	0,6762
15.	14,1	30,043	10	0,36	0,760	67,50	18,96	16,8	0,6762
16.	14,8	30,043	10	0,36	0,760	67,50	18,96	13,7	0,6762
17.	15,5	30,032	10	0,36	0,767	67,60	18,99	10,2	0,6762
18.	16,3	30,026	10	0,36	0,760	67,60	18,99	13,7	0,6762
19.	16,9	30,034	10	0,36	0,760	67,70	19,02	10,9	0,6762
20.	17,6	29,978	10	0,36	0,720	67,70	19,02	11,1	0,6763
21.	18,4	29,990	10	0,36	0,720	67,80	19,05	10,2	0,6763
22.	19,2	30,043	10	0,36	0,750	67,92	19,08	12,4	0,6762
23.	19,9	29,991	10	0,36	0,720	67,80	19,05	7,3	0,6763

In der Tabelle gibt t den Zeitpunkt des Messwertes und θ die zugehörige Temperatur an. nPos steht für die Anzahl der Kraft/Positionswerte der Messkurvenabtastung über die Strecke ΔZ. Die Spalte h_γ gibt die Lamellenhöhe am Scheitel der Messkurve über dem Flüssigkeits-Nullniveau an (ZFmax). An dieser Stelle beträgt das Gewicht der Lamelle W_γ. Diese Gewichtskraft ist unter den Messumständen proportional zur daraus berechneten Oberflächenspannung γ. Die Zeitspanne τ_{rel.} gibt die Dauer beim Auszug der Lamelle bis zum Erreichen des Scheitelpunktes an. In der Spalte Δρ ist die Dichtedifferenz (d.h. der Dichte von Heptan abzüglich der Luftdichte) bei der Temperatur angegeben.

- Diagramm 2. Lamellenhöhe in Abhängigkeit von der Oberflächenspannung - 'Lamellenhöhen²'



- Das Chart "Lamellenhöhen²" stellt die Oberflächenspannung in einen Zusammenhang mit der 'Lamellenhöhe' im Punkt der maximalen Kraft bzw. Spannung. Die Abhängigkeit ist in der Regel proportional; die Lamellenhöhe wird grundsätzlich durch die Oberflächenspannung selbst, den Gefäßdurchmesser und dem Kontaktwinkel θ der Dreiphasenkontaktlinie an der Gefäßwand bestimmt.

• 4. Auswertungsverfahren & Messkörper

Berechnung: Young-Laplace-Petzoldt (YLP).
Messsystem: DRT-ES5, mittlerer Ringradius R = 2,5 mm, Drahtradius r = 0,1 mm, linearer Ausdehnungskoeffizient α = 8,9 · 10⁻⁶ K⁻¹. Ring ohne geometrische Korrektur (d.h. f_G ≡ 1); Innendurchmesser des Messgefäßes Ø = 7,250 mm, Gefäßvolumen 0,0645 cm³; Anfangs-Kontaktwinkel an der Dreiphasengrenze θ = 90°.
Probensubstanz: Heptan, Kapillarlänge a = 1,680 mm, Dichte ρ = 0,6774 g/cm³ (bei 30,0°C); die Dichtedifferenz Δρ wird zur jeweiligen Temperatur aus den Referenzangaben berechnet.

- Die geometrischen Angaben zum Messring beziehen sich auf die Bezugstemperatur 25°C. Von der Flüssigkeitsdichte wird stets die zur Messung vorliegende Luftdichte ρ_a abgezogen. Die Berechnung der Dichte ρ zur jeweils vorliegenden Temperatur erfolgt mittels vorhandener Referenzdaten zu Heptan automatisch. Hierzu wird die Gleichung 'Δρ [g/cm³] = f{θ[°C]} = 0.6816 - 8.441E-4 · (θ - 25) - ρ_a' verwendet.

Tabelle 2: Zu Berechnung und Klassifikation der einzelnen Messwerte

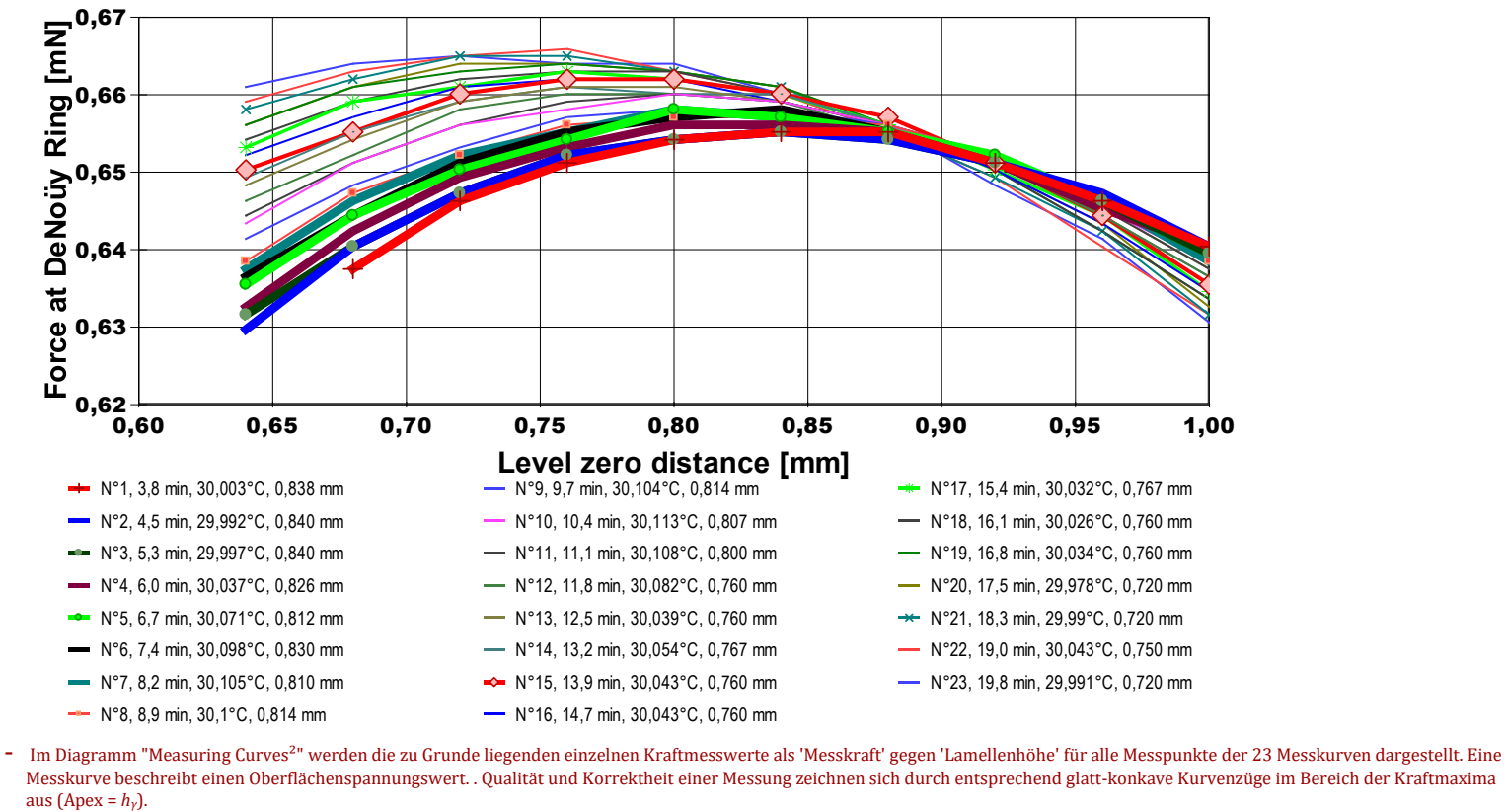
N°	F _{max.}	F _{bz.}	f _k	v _z	X	t _x	ΩK
----	-------------------	------------------	----------------	----------------	---	----------------	----

	[mN]	[mN]	-	[mm·s ⁻¹]	[mm]	[s]	-
1.	0,6554	0,0000	0,8995 p ¹	0,0106	-	-	³ pS
2.	0,6552	0,0000	0,8995 p ¹	0,0112	-	-	³ pS
3.	0,6552	0,0000	0,8995 p ¹	0,0111	-	-	³ pS
4.	0,6563	0,0000	0,8996 p ¹	0,0121	-	-	³ pS
5.	0,6583	0,0000	0,8996 p ¹	0,0111	-	-	³ pS
6.	0,6582	0,0000	0,8996 p ¹	0,0108	-	-	³ pS
7.	0,6582	0,0000	0,8996 p ¹	0,0104	-	-	³ pS
8.	0,6578	0,0000	0,8996 p ¹	0,0113	-	-	³ pS
9.	0,6580	0,0000	0,8996 p ¹	0,0117	-	-	³ pS
10.	0,6601	0,0000	0,8997 p ¹	0,0115	-	-	³ pS
11.	0,6601	0,0000	0,8997 p ¹	0,0113	-	-	³ pS
12.	0,6601	0,0000	0,8997 p ¹	0,0116	-	-	³ pS×
13.	0,6610	0,0000	0,8997 p ¹	0,0117	-	-	³ pS×
14.	0,6611	0,0000	0,8997 p ¹	0,0112	-	-	³ pS
15.	0,6620	0,0000	0,8998 p ¹	0,00954	-	-	³ pS×
16.	0,6620	0,0000	0,8998 p ¹	0,0117	-	-	³ pS×
17.	0,6630	0,0000	0,8998 p ¹	0,0118	-	-	³ pS
18.	0,6630	0,0000	0,8998 p ¹	0,0117	-	-	³ pS×
19.	0,6640	0,0000	0,8998 p ¹	0,0110	-	-	³ pS
20.	0,6640	0,0000	0,8998 p ¹	0,0108	-	-	³ pS×
21.	0,6650	0,0000	0,8999 p ¹	0,0118	-	-	³ pS×
22.	0,6661	0,0000	0,8999 p ¹	0,00968	-	-	³ pS
23.	0,6650	0,0000	0,8999 p ¹	0,0110	-	-	³ pS

F_{max} gibt den interpolierten Kraftmesswert am Scheitelpunkt an (*F_{max}* bei Z*F_{max}*); der Kraftbezugswert ist mit *F_{bz}* bezeichnet. Berechnung: $\gamma = f_0 \cdot f_k \cdot W_{\gamma} / (4 \pi \cdot R \cdot g)$ mit $W_{\gamma} = (F_{max} - F_{bz} + F_{Ringauftrieb}) \cdot g$. Die Größen *F_{bz}* und *F_{Ringauftrieb}* betragen 0 bei 'Messungen mit tariertem Ring'. Der Faktor *f_k*, der die Ringgeometrie und Dichteverhältnisse berücksichtigt, kann nach verschiedenen Rechenverfahren bestimmt werden, die jeweils in technischen Normen vorgeschrieben sein können. Um die Herkunft des Faktors *f_k* kenntlich zu machen, wird ein angehängtes Zeichen zugefügt: **h** steht für (interpolierte) Werte aus den original Harkins und Jordan Tabellen ('‡' zeigt nicht interpolierbare Randlagen in der Tabelle an), **f** steht für die Tabellen nach Fox und Chrisman, **z** für Zuidema und Waters, **p** steht für den IMETER/Petzoldt'schen Lösungsalgorithmus, der die zugrundeliegende Differenzialgleichung adressiert sowie **w** für die unkorrigierte 'F/2U'-Berechnung des Näherungswertes. Mit *v_z* wird die Abzugsgeschwindigkeit angegeben, also die Geschwindigkeit, mit der Ring und Flüssigkeitsoberfläche zur Messung auseinander bewegt wurden. Falls während des Lamellenauszugs ein Bruch der Flüssigkeitslamelle auftrat, gibt **X** die Bruchhöhe und *t_x* dafür den relativen Zeitpunkt an.

Die Angabe **ΩK** ist das Klassifizierungskennzeichen der Messkurve: '1' steht für eine Messkurve mit kurz zuvor ermittelter Bezugskraft; bei '2' wurde die Bezugskraft übernommen; '3' bedeutet ohne Bezugskraft (tariert); 'k' bezeichnet vollständige Kurvenzüge, 'p' Teilkurven, 's' Einzelpunkt, 'r' Sonderformen; 'D' steht für dynamische Messkurven, 'S' für statische Mehrpunkt- oder 'M' Einzelpunktmessungen. Ein 'x' wird angehängt, wenn der Messwert unsicher ist und aus nicht-idealen Messkurven ermittelt wurde, z.B. bei verzerrter Parabelform. → **Diagramm 3.**

Messkurven - Grundlage der Bestimmung der Oberflächenspannung - 'Measuring Curves'^{2'}



5. Referenzvergleich mit Heptan bei 30,01°C

	Referenz	Messung	Δ absolut	Δ relativ	Δ / u
γ	19,16	18,75	-0,41 mN/m	-2,1%	-2

Der Ergebnisvergleich mit den Angaben, die in der Referenzdatenbank zu 'HEPTAN' gefunden wurden, stellt die Werteübereinstimmung dar. Der Unterschied **Δ** wird als absolute Differenz "Probenmesswert minus Referenzwert" und als relative Abweichung angegeben. Das Symbol **γ** steht für die Messgröße; "**Δ u**" ist die Referenzabweichung im Verhältnis zur Messunsicherheit.

• 6. Meldungen & Hinweise

23 Messwerte wurden als Absolutwerte mit Bezugskraft 0 bestimmt (tariierter Start).

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% der Werte.

Programm

Data created during execution of the IMPro "Lab_DRT-II", type 1/38. IMPro finished as projected.
(the digital twin of process IDN°25043 provides on demand reports with more details, audit-log protocol and structured raw data)

Prüfmittel

Das Wägesystem (WZA224) wurde am Vortag dieser Messung von Labor justiert.

IMETER ID23903733: Technische Daten: Auflösung des Wägesystems 0,1 mg, Messunsicherheit (Linearität) 0,2 mg, Dichte der Justiermasse ρ_{cal} 8,00 g/cm³, Luftdichte ρ_{air} 1,10891 kg/m³; Schwerebeschleunigung g 9,80769 m/s². Pt100-Temperaturmessung: Auflösung 0,001 K, Messunsicherheit ±0,01 K, R° 100.0056 Ω , Kalibrierintervall 30 min (BN°1, -41/200°C, 3S, FS15,8, Korrekturfunktion: -0,0056 +0,997592· ϑ +2,20167E-05· ϑ^2 -4,78434E-08· ϑ^3). Die Messauflösung der sekundären Temperaturmessung beträgt 0,01 K, die Unsicherheit 0,03 K. Akquisitions-Softwareversion IMETER 7.5.17, LizenzN° *3037-4759*, W. 6.2,9200- Betriebssystem auf PC Ser.N°6995684 (C, SSD).