

ID N° 25029 - DRT - Surface Tension / Δt

Flüssigkeit/Vergleich: 'Ethanol'

Result: $\gamma_{30,53^\circ\text{C}} = 21,04 \pm 0,17 \text{ mN/m}$, $\tau_k 8$

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 20-mal gemessen, Nettodauer des Messablaufs 20 Minuten; Temperaturverlauf blieb im gesamten Zeitraum ziemlich grob isotherm bei 30,5°C. Die Streuung als rel. Standardabweichung der den Messwerten zugeordneten Temperatur beträgt 0,219% (Mittelw.: 30,580±0,067°C)

- Die Angabe des 'Temperaturverlaufs' stellt die während der Messung registrierten Temperaturwerte dar (Maximalwert: 30,68°C, Minimalwert: 30,47°C). Dem hingegen bezieht sich die 'Streuung' auf den Verlauf der Temperatur zu Zeitpunkten der Messwerte.

Während der Messung wurde vom Prüfer eine Anmerkung protokolliert:

4,8' : Füllmenge 67µL - überfließt Kante! (evtl. wg. Erschütterung wdh!)

• 3. Ergebniszusammenfassung

20 Messwerte; Zeitbereich 6 bis 20 min, Temperatur $\Delta T = 0,219 \text{ K}$ ($\vartheta = 30,580 \pm 0,067^\circ\text{C}$)

Ergebniswert bei 6,1 min: $\gamma_{30,53^\circ\text{C}} = 21,04 \pm 0,17 \text{ mN/m}$ bzw. $\pm 0,81\%$ (303,68 K)

Streuung: $\pm 0,015 \text{ mN/m}$ absolute bzw. 0,71‰ relative Standardabweichung

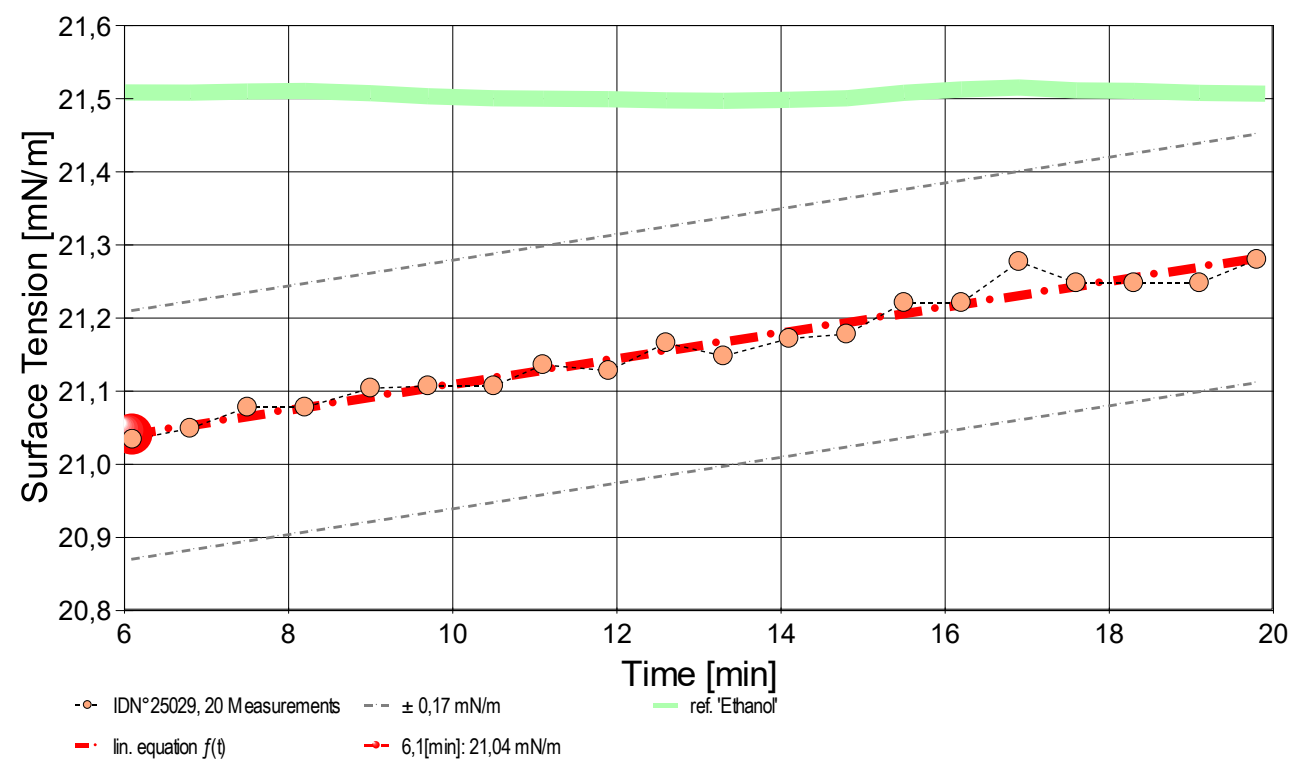
Berechnung: lineare Regressionsgleichung zeitabhängig.

Zeitabhängigkeit durch Regression zwischen Minute 6 und 20:

$\gamma(t[\text{min}]) = 20,933 + 1,761\text{E-}2 \cdot t$ mit $r^2 = 0,959$, $s^2 = 2,39\text{E-}4$

- 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 'unbefriedigend' 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'



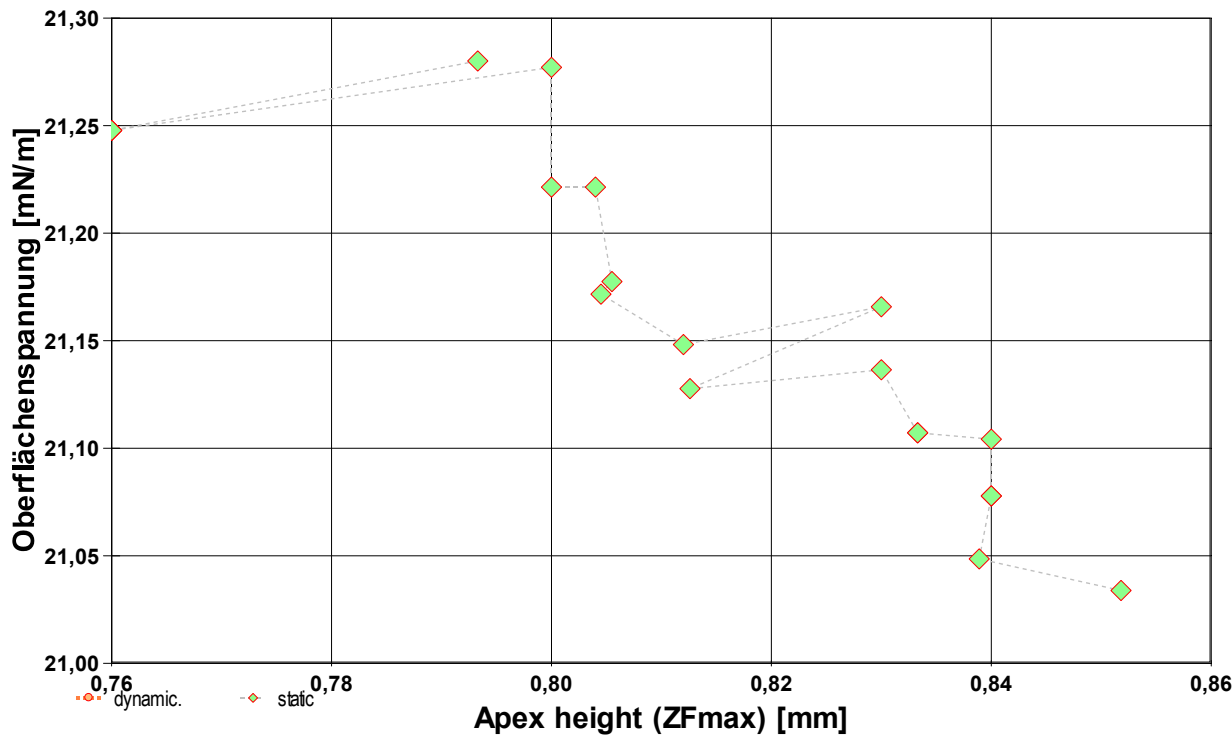
- Im Diagramm "Zeitprojektion²" sind die einzelnen Messwerte als Kreissymbole in der zeitlichen Reihenfolge eingetragen. Um die Ausgleichsfunktion ist der Bereich der Messunsicherheit eingezeichnet. Der ausgewiesene Angabewert ist bei 6,1 min (30,53°C) als Kugelmarke eingezeichnet. Als gestrichelte Linie werden Datenbank-Referenzwerte von 'Ethanol' temperaturkompensiert eingezeichnet.

Tabelle 1: Protokoll der Mess- und Ergebnisdaten

N°	t [min]	ϑ [°C]	n_{Pos} -	ΔZ [mm]	h_{γ} [mm]	W_{γ} [mg]	γ [mN/m]	$\tau_{rel.}$ [s]	$\Delta \rho$ [g/cm ³]
1.	6,1	30,547	9	0,32	0,85	74,95	21,03	18,6	0,7792
2.	6,8	30,549	10	0,36	0,84	75,00	21,05	19,2	0,7792
3.	7,5	30,531	10	0,36	0,84	75,10	21,08	17,4	0,7792
4.	8,2	30,522	10	0,36	0,84	75,10	21,08	17,6	0,7792
5.	9,0	30,559	10	0,36	0,84	75,20	21,10	19,0	0,7792
6.	9,7	30,609	10	0,36	0,83	75,21	21,11	16,7	0,7792
7.	10,5	30,643	10	0,36	0,83	75,21	21,11	18,6	0,7791
8.	11,1	30,649	10	0,36	0,83	75,31	21,14	16,1	0,7791
9.	11,9	30,658	10	0,36	0,81	75,28	21,13	19,8	0,7791
10.	12,6	30,677	10	0,36	0,83	75,41	21,17	19,7	0,7791
11.	13,3	30,684	10	0,36	0,81	75,35	21,15	17,2	0,7791
12.	14,1	30,667	10	0,36	0,80	75,43	21,17	18,0	0,7791
13.	14,8	30,643	10	0,36	0,81	75,45	21,18	17,2	0,7791
14.	15,5	30,553	10	0,36	0,80	75,60	21,22	13,8	0,7792
15.	16,2	30,497	10	0,36	0,80	75,60	21,22	14,0	0,7793
16.	16,9	30,465	10	0,36	0,80	75,80	21,28	15,1	0,7793
17.	17,6	30,513	10	0,36	0,76	75,70	21,25	14,3	0,7792
18.	18,3	30,521	10	0,36	0,76	75,70	21,25	13,8	0,7792
19.	19,1	30,554	10	0,36	0,76	75,70	21,25	13,5	0,7792
20.	19,8	30,565	10	0,36	0,79	75,81	21,28	14,6	0,7792

In der Tabelle gibt t den Zeitpunkt des Messwertes und ϑ die zugehörige Temperatur an. n_{Pos} steht für die Anzahl der Kraft/Positionsdaten 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 $\tau_{rel.}$ gibt die Dauer beim Auszug der Lamelle bis zum Erreichen des Scheitelpunktes an. In der Spalte $\Delta \rho$ ist die Dichtedifferenz (d.h. der Dichte von Ethanol abzüglich der Luftdichte) bei der Temperatur angegeben.

→ Diagramm 2. Lamellenhöhe in Abhängigkeit von der Oberflächenspannung - 'Lamellenhöhen'²¹



- 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 $\alpha = 8,9 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$. Ring ohne geometrische Korrektur (d.h. $f_G \equiv 1$); Innendurchmesser des Messgefäßes $\emptyset = 7,250$ mm, Gefäßvolumen $0,0645 \text{ cm}^3$; Anfangs-Kontaktwinkel an der Dreiphasengrenze $\theta = 90^\circ$.

Probensubstanz: *Ethanol*, Kapillarlänge $a = 1,658$ mm, Dichte $\rho = 0,7803 \text{ g/cm}^3$ (bei $30,5^\circ\text{C}$); die Dichtedifferenz $\Delta\rho$ 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 *Ethanol* automatisch. Hierzu wird die Gleichung ' $\Delta\rho [\text{g/cm}^3] = f[\theta[^\circ\text{C}]] = 0.806421 - 84.219 \cdot \theta / 1\text{E5} - 0.039609 \cdot \theta^2 / 1\text{E5} - \rho_a$ ' verwendet.

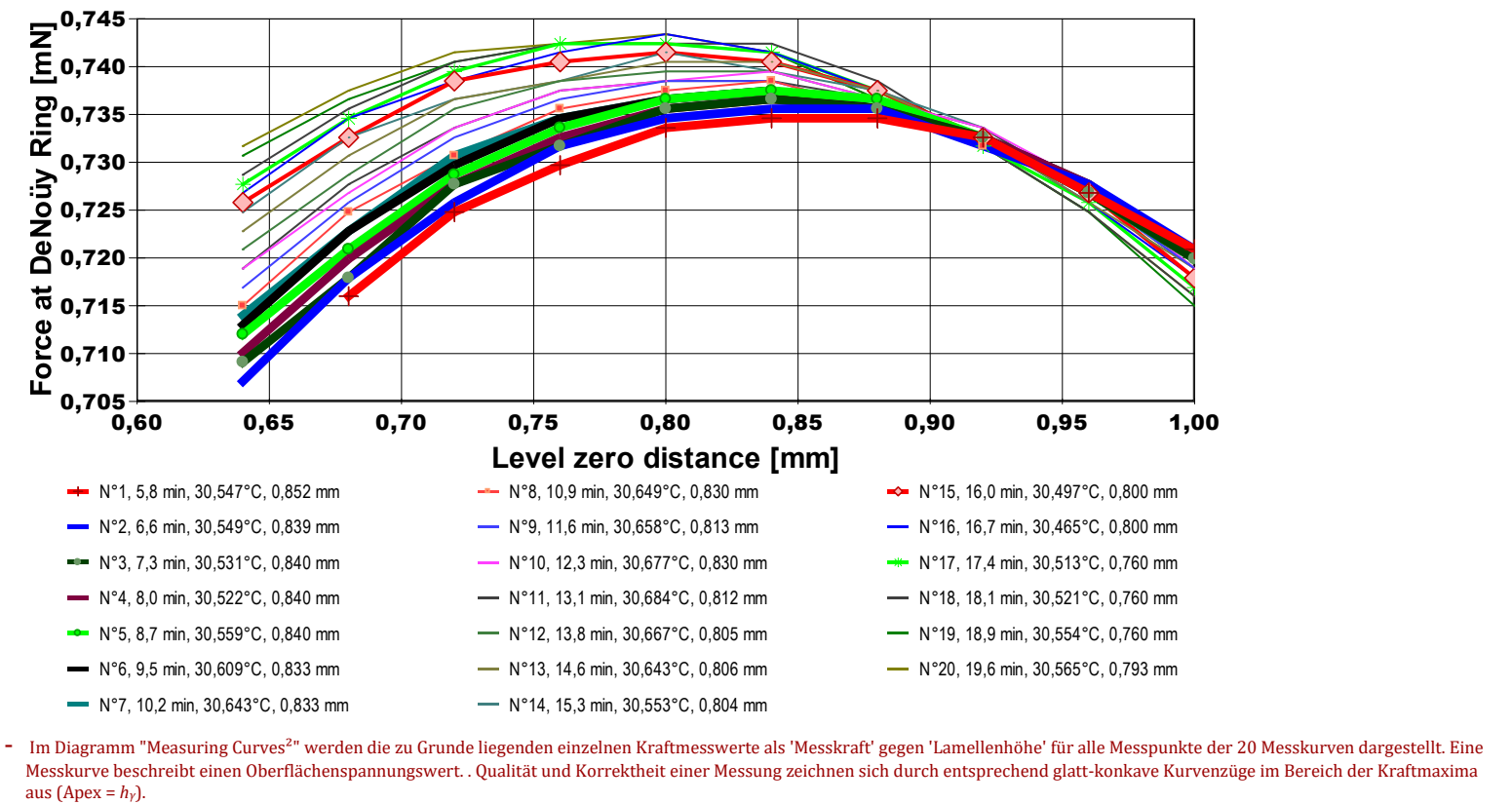
Tabelle 2: Zu Berechnung und Klassifikation der einzelnen Messwerte

N°	$F_{\text{max.}}$ [mN]	$F_{\text{bz.}}$ [mN]	f_k -	v_z [mm·s ⁻¹]	X [mm]	t_x [s]	ΩK -
1.	0,7351	0,0000	0,8990 p ¹	0,0108	-	-	³ pS
2.	0,7356	0,0000	0,8990 p ¹	0,0125	-	-	³ pS
3.	0,7366	0,0000	0,8990 p ¹	0,0115	-	-	³ pS
4.	0,7366	0,0000	0,8990 p ¹	0,0114	-	-	³ pS
5.	0,7375	0,0000	0,8990 p ¹	0,0105	-	-	³ pS
6.	0,7376	0,0000	0,8990 p ¹	0,0120	-	-	³ pS
7.	0,7376	0,0000	0,8990 p ¹	0,0108	-	-	³ pS
8.	0,7386	0,0000	0,8991 p ¹	0,0124	-	-	³ pS
9.	0,7383	0,0000	0,8991 p ¹	0,0101	-	-	³ pS
10.	0,7396	0,0000	0,8991 p ¹	0,0102	-	-	³ pS
11.	0,7390	0,0000	0,8991 p ¹	0,0116	-	-	³ pS
12.	0,7398	0,0000	0,8991 p ¹	0,0111	-	-	³ pS
13.	0,7400	0,0000	0,8991 p ¹	0,0116	-	-	³ pS
14.	0,7415	0,0000	0,8992 p ¹	0,0116	-	-	³ pS
15.	0,7415	0,0000	0,8992 p ¹	0,0114	-	-	³ pS
16.	0,7434	0,0000	0,8992 p ¹	0,0106	-	-	³ pS
17.	0,7424	0,0000	0,8992 p ¹	0,0112	-	-	³ pS×
18.	0,7424	0,0000	0,8992 p ¹	0,0116	-	-	³ pS×
19.	0,7424	0,0000	0,8992 p ¹	0,0119	-	-	³ pS×
20.	0,7435	0,0000	0,8992 p ¹	0,0109	-	-	³ pS

$F_{\text{max.}}$ gibt den interpolierten Kraftmesswert am Scheitelpunkt an (F_{max} bei ZF_{max}); der Kraftbezugswert ist mit $F_{\text{bz.}}$ bezeichnet. Berechnung: $\gamma = f_G \cdot f_k \cdot W_T / (4\pi \cdot R \cdot g)$ mit $W_T = (F_{\text{max.}} - F_{\text{bz.}} + F_{\text{Ringauftrieb}}) \cdot g$. Die Größen $F_{\text{bz.}}$ und $F_{\text{Ringauftrieb}}$ 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'²¹



• 5. Referenzvergleich mit Ethanol bei 30,53°C

	Referenz	Messung	Δ absolut	Δ relativ	Δ / u
γ	21,51	21,04	-0,47 mN/m	-2,2%	-3

- Der Ergebnisvergleich mit den Angaben, die in der Referenzdatenbank zu 'ETHANOL' 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; " Δu " ist die Referenzabweichung im Verhältnis zur Messunsicherheit.

• 6. Meldungen & Hinweise

20 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 $\pm$ (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°25029 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 $\pm 0,01$ K, R° 100.0056 Ω , Kalibrierintervall 30 min (BN°1, -41/200°C, 3S, FS15,8, Korrekturfunktion: $-0,0056 + 0,997592 \cdot \vartheta + 2,20167E-05 \cdot \vartheta^2 - 4,78434E-08 \cdot \vartheta^3$). 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).