

ID N° 25063 - DRT - Surface Tension / Interpol.

Flüssigkeit/Vergleich: '2-Propanol'

Result: $\gamma_{28,05^\circ\text{C}} = 20,22 \pm 0,17 \text{ mN/m}$

Messungen an verschiedenen Testflüssigkeiten bekannter γ und ρ funktionieren und erzeugen erwartbare Messwerteverläufe 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; stufig, zwischen 28,2 und 28,0°C abfallender Temperaturverlauf, drei Temperaturniveaus; mit zwei Stufen; 0,062 K Temperaturunterschied je Stufe, mit jeweils rund acht Messwerten.

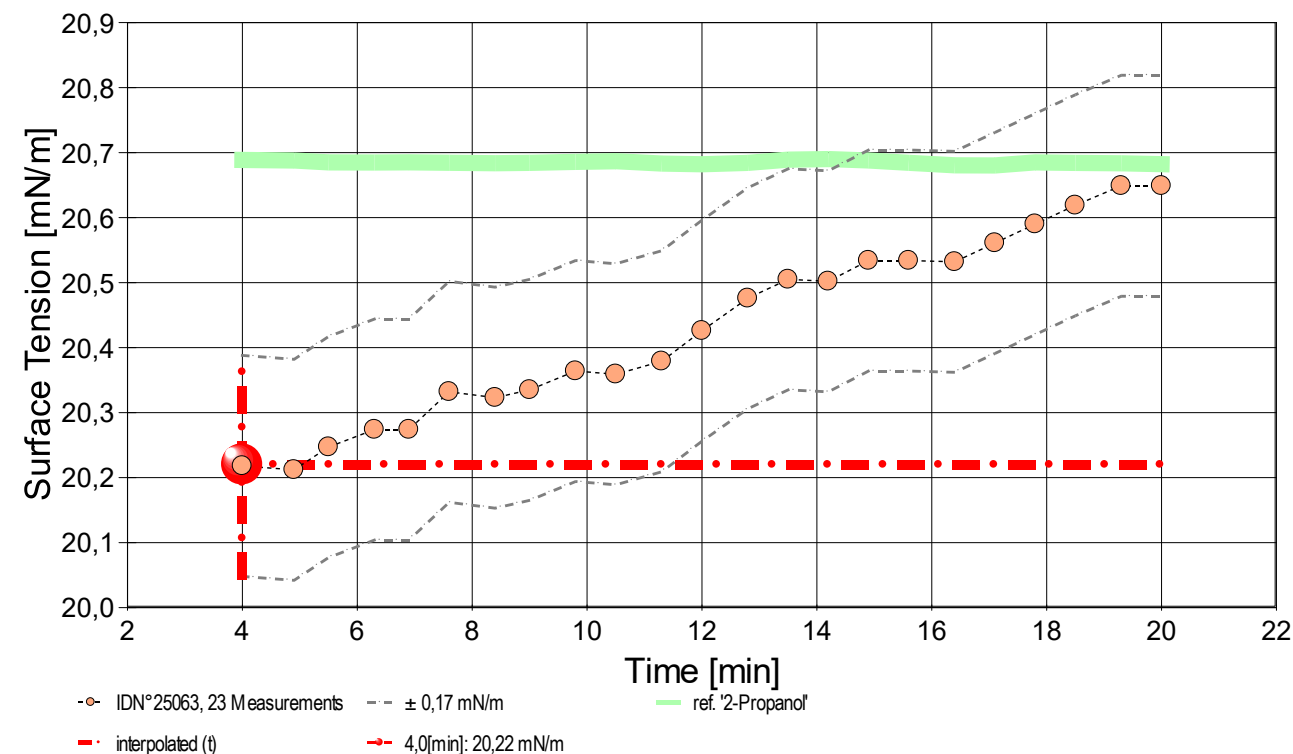
• 3. Ergebniszusammenfassung

23 Messwerte; Zeitbereich 4 bis 20 min, Temperatur $\Delta T = +0,125 \text{ K}$

Ergebnis: $20,22 \pm 0,17$ (Interpolation by time on measurements at 4,0 min)

[Average: 20,43 mN/m, Standard deviation: $\pm 0,14 \text{ mN/m}$]

- Diagramm 1. Zeitprojektion der Messwerte - 'Zeitprojektion²'



- Im Diagramm "Zeitprojektion²" sind die einzelnen Messwerte als Kreissymbole 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 '2-Propanol' temperaturkompensiert eingezeichnet.

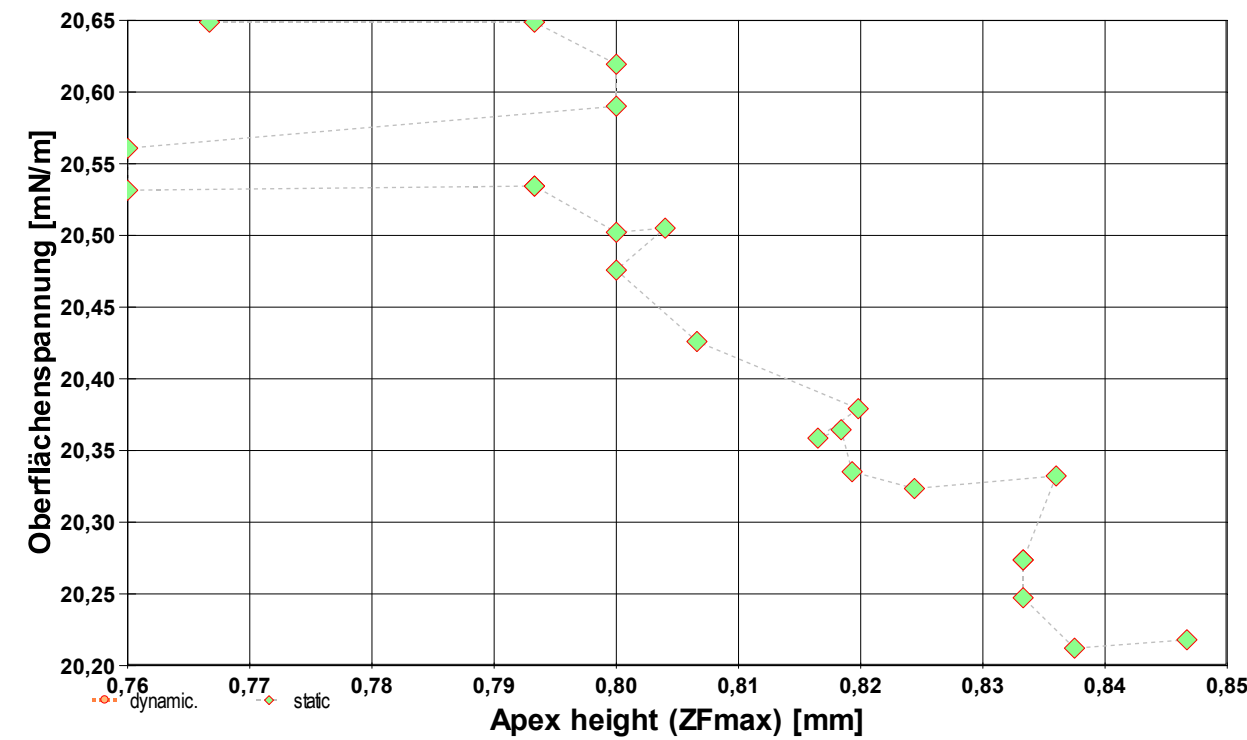
Tabelle 1: Protokoll der Mess- und Ergebnisdaten

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	28,052	9	0,32	0,847	72,11	20,22	15,2	0,7774
2.	4,9	28,062	10	0,36	0,838	72,09	20,21	20,2	0,7774
3.	5,5	28,099	10	0,36	0,833	72,21	20,25	16,9	0,7773

4.	6,3	28,101	10	0,36	0,833	72,30	20,27	18,8	0,7773
5.	6,9	28,098	10	0,36	0,833	72,30	20,27	16,2	0,7773
6.	7,6	28,107	10	0,36	0,836	72,50	20,33	17,8	0,7773
7.	8,4	28,115	10	0,36	0,824	72,47	20,32	18,4	0,7773
8.	9,0	28,108	10	0,36	0,819	72,51	20,34	15,2	0,7773
9.	9,8	28,089	10	0,36	0,818	72,62	20,36	20,0	0,7773
10.	10,5	28,076	10	0,36	0,817	72,60	20,36	18,6	0,7774
11.	11,3	28,122	10	0,36	0,820	72,67	20,38	20,9	0,7773
12.	12,0	28,136	10	0,36	0,807	72,83	20,43	15,8	0,7773
13.	12,8	28,109	10	0,36	0,800	73,00	20,48	13,2	0,7773
14.	13,5	28,046	10	0,36	0,804	73,11	20,51	16,0	0,7774
15.	14,2	28,034	10	0,36	0,800	73,10	20,50	13,9	0,7774
16.	14,9	28,062	10	0,36	0,793	73,21	20,53	13,8	0,7774
17.	15,6	28,108	10	0,36	0,793	73,21	20,53	14,5	0,7773
18.	16,4	28,156	10	0,36	0,760	73,20	20,53	15,6	0,7773
19.	17,1	28,159	10	0,36	0,760	73,30	20,56	14,2	0,7773
20.	17,8	28,099	10	0,36	0,800	73,40	20,59	13,9	0,7773
21.	18,5	28,109	10	0,36	0,800	73,50	20,62	15,1	0,7773
22.	19,3	28,116	10	0,36	0,793	73,61	20,65	17,3	0,7773
23.	20,0	28,134	10	0,36	0,767	73,61	20,65	11,5	0,7773

In der Tabelle gibt **t** den Zeitpunkt des Messwertes und **θ** die zugehörige Temperatur an. **n_{pos}** steht für die Anzahl der Kraft/Positionswerte der Messkurvenabtastung über die Strecke **ΔZ**. Die Spalte **h_y** gibt die Lamellenhöhe am Scheitel der Messkurve über dem Flüssigkeits-Nullniveau an (ZFmax). An dieser Stelle beträgt das Gewicht der Lamelle **W_y**. 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 2-Propanol abzüglich der Luftdichte) bei der Temperatur angegeben.

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



- Das Chart "Lamellenhöhen"²¹ 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 Dreiphasenkontaktklinie 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 $\alpha=8,9\cdot10^{-6}K^{-1}$. Ring ohne geometrische Korrektur (d.h. $f_G\equiv1$); Innendurchmesser des Messgefäßes $\varnothing=7,250$ mm, Gefäßvolumen $0,0645$ cm³; Anfangs-Kontaktwinkel an der Dreiphasengrenze $\theta=90^\circ$.
Probensubstanz: 2-Propanol, Kapillarlänge $a=1,627$ mm, Dichte $\rho=0,7785$ g/cm³ (bei 28,0°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 2-Propanol automatisch. Hierzu wird die Gleichung ' $\Delta\rho$ [g/cm³]= f(θ [°C]) = - 1.133642E-06· θ^2 - 7.955341E-04· θ + 0.8016984 - ρ_a ' verwendet.

Tabelle 2: Zu Berechnung und Klassifikation der einzelnen Messwerte

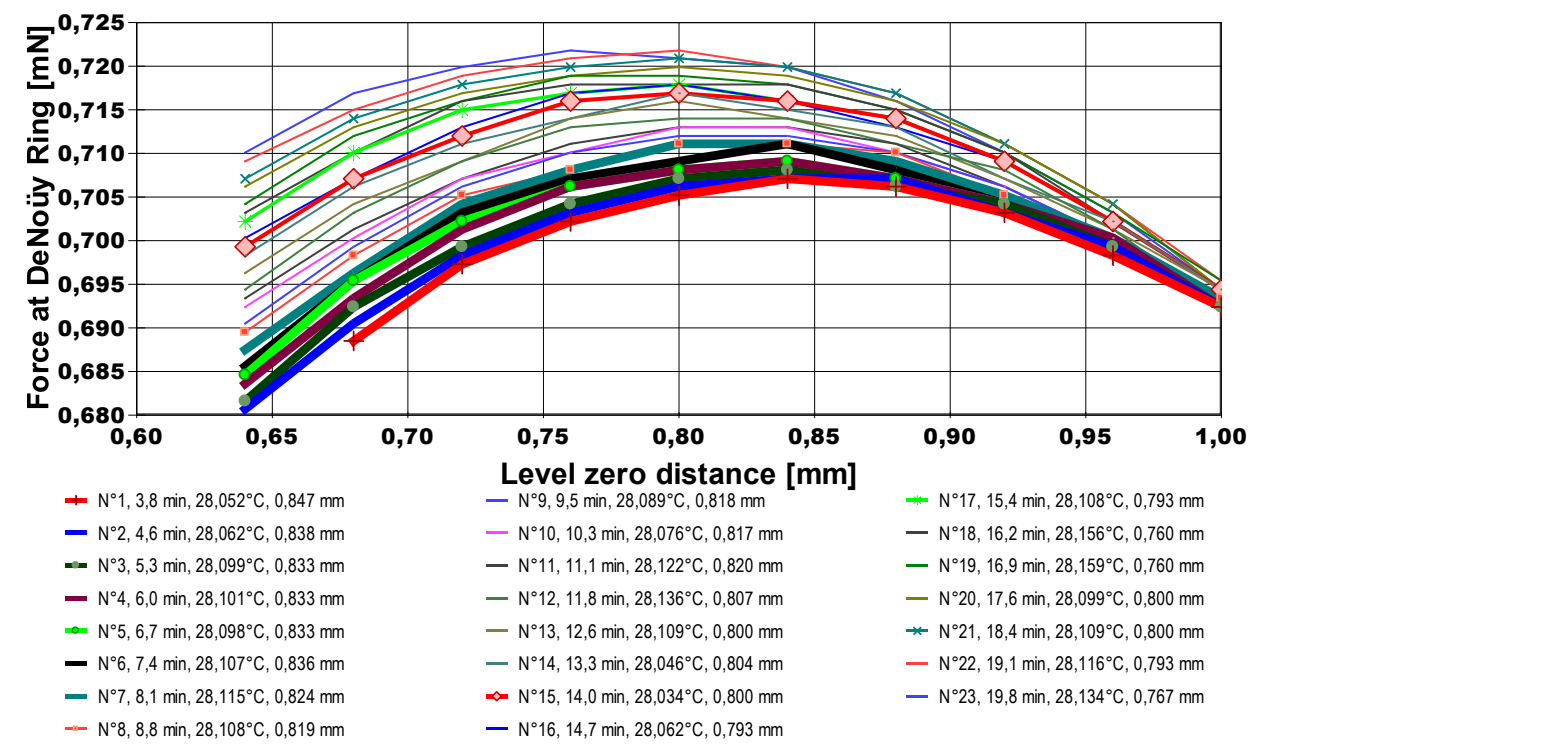
N°	F _{max.} [mN]	F _{bz.} [mN]	f _k -	v _z [mm·s ⁻¹]	X [mm]	t _x [s]	ΩK -
1.	0,7072	0,0000	0,8982 p ¹	0,0105	-	-	³ pS
2.	0,7070	0,0000	0,8982 p ¹	0,0119	-	-	³ pS
3.	0,7082	0,0000	0,8982 p ¹	0,0118	-	-	³ pS
4.	0,7091	0,0000	0,8982 p ¹	0,0106	-	-	³ pS
5.	0,7091	0,0000	0,8982 p ¹	0,0124	-	-	³ pS
6.	0,7111	0,0000	0,8983 p ¹	0,0113	-	-	³ pS

7.	0,7108	0,0000	0,8983 p ¹	0,0109	-	-	³ pS
8.	0,7112	0,0000	0,8983 p ¹	0,0132	-	-	³ pS
9.	0,7122	0,0000	0,8983 p ¹	0,00998	-	-	³ pS
10.	0,7120	0,0000	0,8983 p ¹	0,0107	-	-	³ pS
11.	0,7127	0,0000	0,8983 p ¹	0,00957	-	-	³ pS
12.	0,7143	0,0000	0,8984 p ¹	0,0126	-	-	³ pS
13.	0,7160	0,0000	0,8984 p ¹	0,0121	-	-	³ pS
14.	0,7170	0,0000	0,8985 p ¹	0,0100	-	-	³ pS
15.	0,7169	0,0000	0,8985 p ¹	0,0115	-	-	³ pS
16.	0,7180	0,0000	0,8985 p ¹	0,0116	-	-	³ pS
17.	0,7180	0,0000	0,8985 p ¹	0,0111	-	-	³ pS
18.	0,7179	0,0000	0,8985 p ¹	0,0103	-	-	³ pS×
19.	0,7189	0,0000	0,8985 p ¹	0,0113	-	-	³ pS×
20.	0,7199	0,0000	0,8986 p ¹	0,0115	-	-	³ pS
21.	0,7209	0,0000	0,8986 p ¹	0,0106	-	-	³ pS
22.	0,7219	0,0000	0,8986 p ¹	0,00924	-	-	³ pS
23.	0,7219	0,0000	0,8986 p ¹	0,0104	-	-	³ pS

***F_{max}** gibt den interpolierten Kraftmesswert am Scheitelpunkt an (Fmax bei ZFmax); der Kraftbezugswert ist mit **F_{bz}** bezeichnet. Berechnung: $\gamma = f_0 \cdot f_i \cdot W_i / (4 \pi \cdot R \cdot g)$ mit $W_i = (F_{max} - F_{bz} + F_{Ringauftrieb}) \cdot g$. 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



- Im Diagramm "Measuring Curves"² werden die zu Grunde liegenden einzelnen Kraftmesswerte als 'Messkraft' gegen 'Lamellenhöhe' für alle Messpunkte der 23 Messkurven dargestellt. Eine Messkurve beschreibt einen Oberflächenspannungswert. . Qualität und Korrektheit einer Messung zeichnen sich durch entsprechend glatt-konkave Kurvenzüge im Bereich der Kraftmaxima aus (Apex = *h_i*).

• 5. Referenzvergleich mit 2-Propanol bei 28,05°C

	Referenz	Messung	Δ absolut	Δ relativ	Δ / u
γ	20,69	20,22	-0,47 mN/m	-2,3%	-3

- Der Ergebnisvergleich mit den Angaben, die in der Referenzdatenbank zu '2-PROPANOL' 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 (tariertter 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

Programm

Data created during execution of the IMPro "Lab_DRT-II", type 1/38. IMPro finished as projected.

(the digital twin of process IDN°25063 provides on demand reports with more details, audit-log protocol and structured raw data)

Prüfmittel

Die Kraftmesseinrichtung (WZA224) wurde 1,7 Stunden vor 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: $-0,0056 + 0,997592 \cdot \vartheta + 2,20167\text{E-}05 \cdot \vartheta^2 - 4,78434\text{E-}08 \cdot \vartheta^3$). 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).