

ID N° 25049 - DRT - Surface Tension / Interpol.

Flüssigkeit/Vergleich:'Decane'

Result: $\gamma_{30,41^\circ\text{C}} = 22,38 \pm 0,18 \text{ mN/m}$

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 24-mal gemessen, Nettodauer des Messablaufs 20 Minuten; Temperaturänderung im Bereich von 30,35 bis 30,46°C.

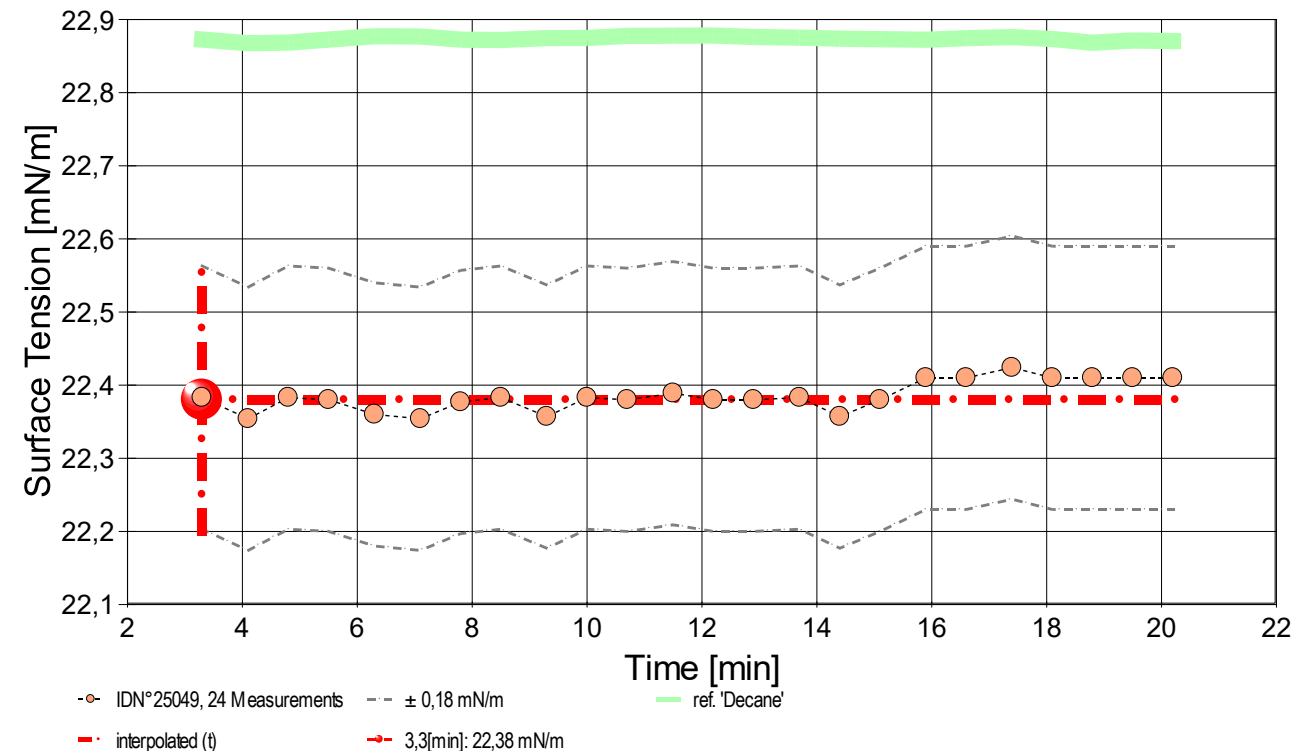
• 3. Ergebniszusammenfassung

24 Messwerte; Zeitbereich 3 bis 20 min, Temperatur $\Delta T = 0,114 \text{ K}$

Ergebnis: **22,38 $\pm$ 0,18** (Interpolation by time on measurements at 3,3 min)

[Average: 22,39 mN/m, Standard deviation: $\pm 0,020 \text{ mN/m}$]

→ 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 'Decane' temperaturkompensiert eingezeichnet.

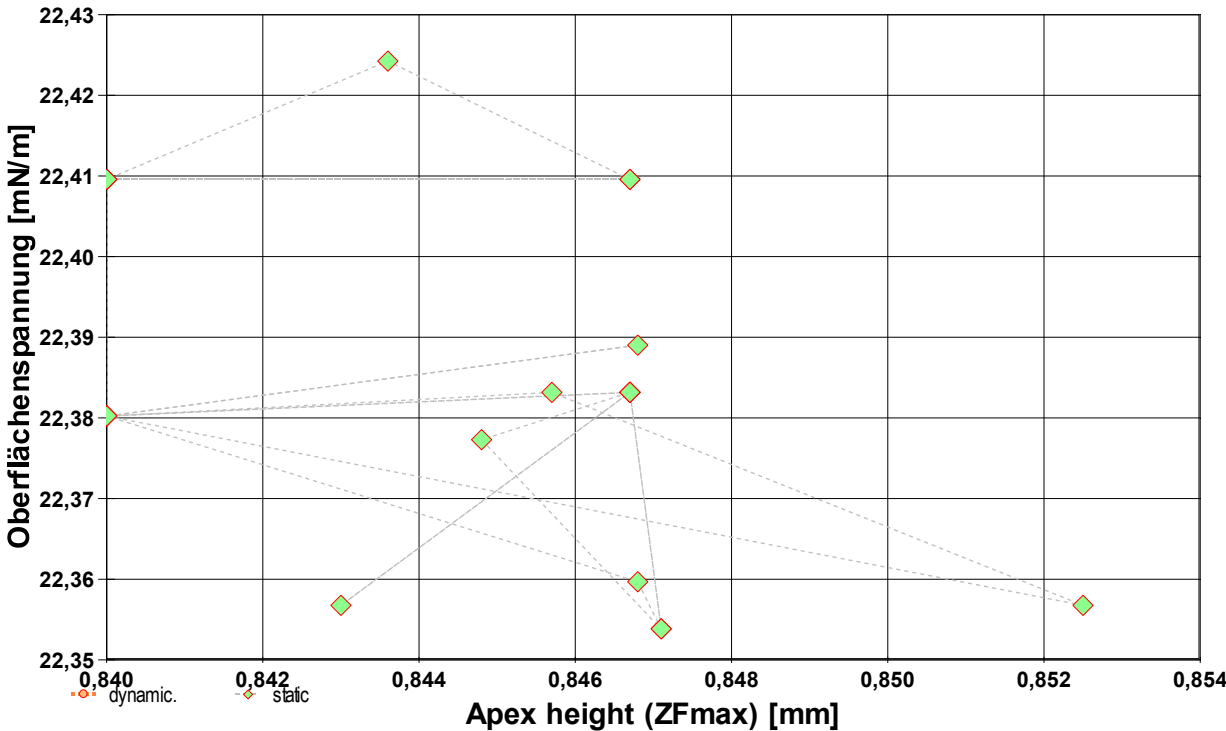
Tabelle 1: Protokoll der Mess- und Ergebnisdaten

N°	t [min]	ϑ [°C]	nPos	ΔZ [mm]	h_γ [mm]	W_γ [mg]	γ [mN/m]	$\tau_{\text{rel.}}$ [s]	$\Delta\rho$ [g/cm³]
1.	3,3	30,406	9	0,32	0,847	79,51	22,38	14,6	0,7219
2.	4,1	30,461	10	0,36	0,847	79,41	22,35	21,0	0,7218
3.	4,8	30,451	10	0,36	0,847	79,51	22,38	18,4	0,7218

4.	5,5	30,406	10	0,36	0,840	79,50	22,38	19,4	0,7219
5.	6,3	30,358	10	0,36	0,847	79,43	22,36	21,8	0,7219
6.	7,1	30,361	10	0,36	0,847	79,41	22,35	20,1	0,7219
7.	7,8	30,408	10	0,36	0,845	79,49	22,38	23,3	0,7219
8.	8,5	30,413	10	0,36	0,847	79,51	22,38	18,0	0,7219
9.	9,3	30,385	10	0,36	0,843	79,42	22,36	19,1	0,7219
10.	10,0	30,384	10	0,36	0,847	79,51	22,38	17,1	0,7219
11.	10,7	30,352	10	0,36	0,840	79,50	22,38	18,8	0,7219
12.	11,5	30,349	10	0,36	0,847	79,53	22,39	20,8	0,7219
13.	12,2	30,347	10	0,36	0,840	79,50	22,38	20,6	0,7219
14.	12,9	30,368	10	0,36	0,840	79,50	22,38	16,6	0,7219
15.	13,7	30,378	10	0,36	0,846	79,51	22,38	19,6	0,7219
16.	14,4	30,393	10	0,36	0,853	79,42	22,36	19,9	0,7219
17.	15,1	30,401	10	0,36	0,840	79,50	22,38	18,5	0,7219
18.	15,9	30,409	10	0,36	0,840	79,60	22,41	20,0	0,7219
19.	16,6	30,386	10	0,36	0,847	79,60	22,41	18,6	0,7219
20.	17,4	30,370	10	0,36	0,844	79,65	22,42	21,4	0,7219
21.	18,1	30,399	10	0,36	0,840	79,60	22,41	17,1	0,7219
22.	18,8	30,453	10	0,36	0,847	79,60	22,41	17,1	0,7218
23.	19,5	30,421	10	0,36	0,840	79,60	22,41	17,0	0,7219
24.	20,2	30,429	10	0,36	0,840	79,60	22,41	17,5	0,7219

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_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 Decane abzüglich der Luftdichte) bei der Temperatur angegeben.

→ Diagramm 2. Lamellenhöhe in Abhängigkeit von der Oberflächenspannung - 'Lamellenhöhen'^{2'}



- Das Chart "Lamellenhöhen^{2'}" 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 Dreiphasenkontaklinie 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** = 8,9·10⁻⁶K⁻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: Decane, Kapillarlänge **a** = 1,777 mm, Dichte **ρ** =0,7230 g/cm³ (bei 30,4°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 Decane automatisch. Hierzu wird die Gleichung '**Δρ** [g/cm³]= f(θ[°C]) = 0.7455-0.7293E-3·θ-0.371E-6·θ² - ρ_a' verwendet.

Tabelle 2: Zu Berechnung und Klassifikation der einzelnen Messwerte

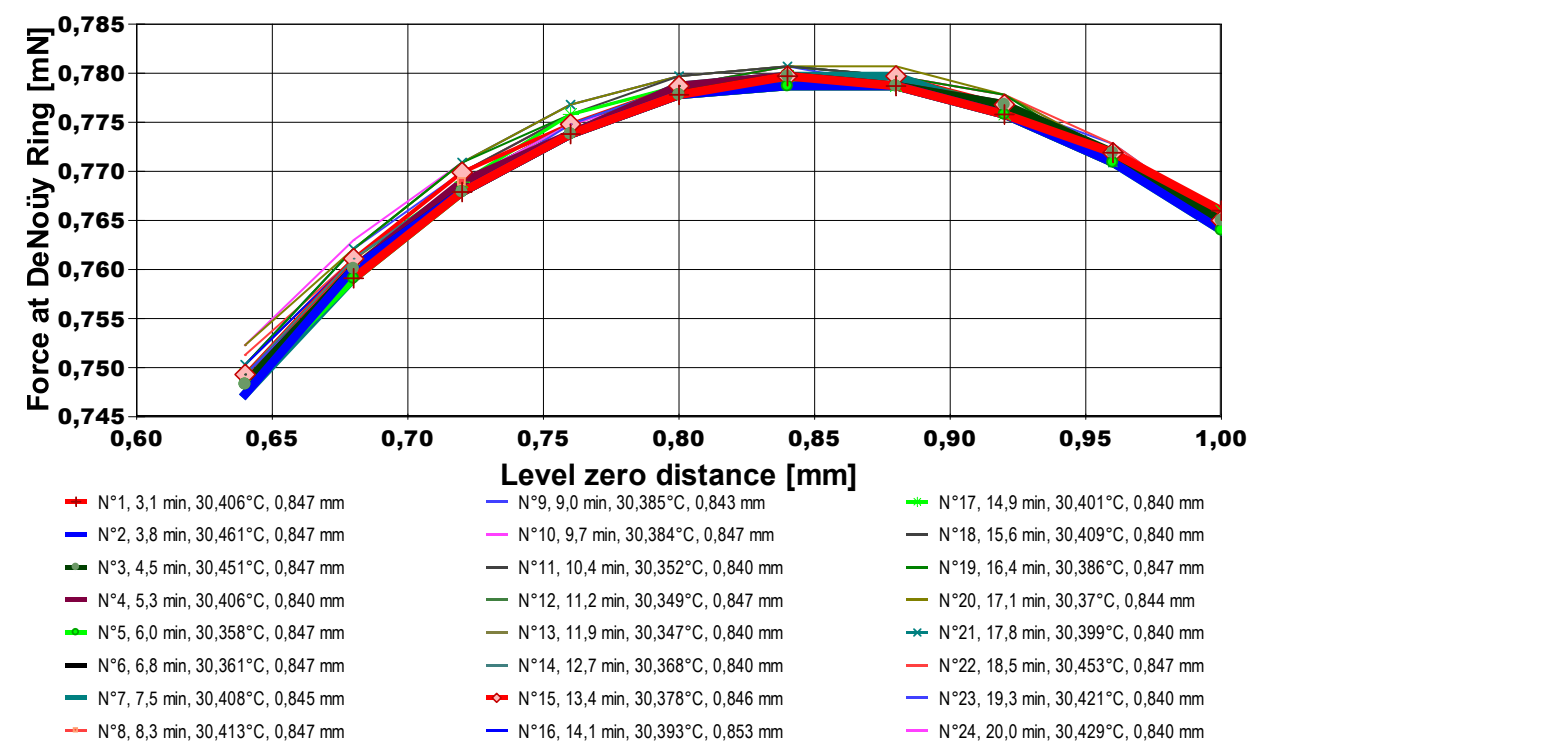
N°	F _{max.} [mN]	F _{bz.} [mN]	f _k -	v _z [mm·s ⁻¹]	X [mm]	t _x [s]	ΩK -
1.	0,7798	0,0000	0,9018 p ¹	0,0110	-	-	³ pS
2.	0,7788	0,0000	0,9018 p ¹	0,0114	-	-	³ pS
3.	0,7798	0,0000	0,9018 p ¹	0,0109	-	-	³ pS
4.	0,7797	0,0000	0,9018 p ¹	0,0103	-	-	³ pS
5.	0,7790	0,0000	0,9018 p ¹	0,0110	-	-	³ pS

6.	0,7788	0,0000	0,9018 p ¹	0,0120	-	-	³ pS
7.	0,7796	0,0000	0,9018 p ¹	0,0103	-	-	³ pS
8.	0,7798	0,0000	0,9018 p ¹	0,0111	-	-	³ pS
9.	0,7789	0,0000	0,9018 p ¹	0,0105	-	-	³ pS
10.	0,7798	0,0000	0,9018 p ¹	0,0117	-	-	³ pS
11.	0,7797	0,0000	0,9018 p ¹	0,0106	-	-	³ pS
12.	0,7800	0,0000	0,9018 p ¹	0,0116	-	-	³ pS
13.	0,7797	0,0000	0,9018 p ¹	0,00973	-	-	³ pS
14.	0,7797	0,0000	0,9018 p ¹	0,0120	-	-	³ pS
15.	0,7798	0,0000	0,9018 p ¹	0,0123	-	-	³ pS
16.	0,7789	0,0000	0,9018 p ¹	0,0121	-	-	³ pS
17.	0,7797	0,0000	0,9018 p ¹	0,0108	-	-	³ pS
18.	0,7807	0,0000	0,9018 p ¹	0,0100	-	-	³ pS
19.	0,7807	0,0000	0,9018 p ¹	0,0107	-	-	³ pS
20.	0,7812	0,0000	0,9018 p ¹	0,0112	-	-	³ pS
21.	0,7807	0,0000	0,9018 p ¹	0,0117	-	-	³ pS
22.	0,7807	0,0000	0,9018 p ¹	0,0117	-	-	³ pS
23.	0,7807	0,0000	0,9018 p ¹	0,0118	-	-	³ pS
24.	0,7807	0,0000	0,9018 p ¹	0,0115	-	-	³ pS

F_{max} gibt den interpolierten Kraftmesswert am Scheitelpunkt an (Fmax bei ZFmax); der Kraftbezugswert ist mit **F_{bz}** bezeichnet. Berechnung: $\gamma = f_c \cdot f_i \cdot W_Y / (4\pi \cdot R \cdot g)$ mit $W_Y = (F_{max} - F_{bz} + F_{Ringauftrieb}) \cdot g$. 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 Curves²" werden die zu Grunde liegenden einzelnen Kraftmesswerte als 'Messkraft' gegen 'Lamellenhöhe' für alle Messpunkte der 24 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_γ*).

• 5. Referenzvergleich mit *Decane* bei 30,41°C

	Referenz	Messung	Δ absolut	Δ relativ	Δ / u
γ	22,87	22,38	-0,49 mN/m	-2,1%	-3

- Der Ergebnisvergleich mit den Angaben, die in der Referenzdatenbank zu 'DECANE' 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

24 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.

Programm

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

(the digital twin of process IDN°25049 provides on demand reports with more details, audit-log protocol and structured raw data)

Prüfmittel

Die Wägeeinheit (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: $-0,0056 + 0,997592 \cdot \vartheta + 2,20167\text{E-}05 \cdot \vartheta^2 - 4,78434\text{E-}08 \cdot \vartheta^3$). 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).