

IMETER M1 "Ringmethode"

Messung der Temperaturabhängigkeit

Messung der Oberflächenspannung unter schwierigen Umständen – z.B. Wasser bei Siedehitze

Wenig ideale Temperaturbedingungen zur Messung der Ober- und Grenzflächenspannung treten exemplarisch bei der Annäherung an den Siedepunkt der Probenflüssigkeit auf. Da im gesamten Innenraum der geschlossenen Messzelle die Temperatur nicht exakt gleich und konstant gehalten werden kann, kondensiert Dampf (Wasserdampf) an den etwas kühleren Stellen von Ringgestänge und Aufhängung und bildet bisweilen Tropfen, die herabfallen können. Dadurch ändert sich die Gewichtskraft des Ringes ständig. Das *Ringgewicht* ist jedoch die Messgröße, aus der die Oberflächenspannung berechnet wird. So führt ein schwerer werdender Ring zu einer scheinbar abnehmenden Oberflächenspannung.

Dieses eher seltene Problem aus der Wirklichkeit ist mit herkömmlicher Tensiometer-Technik nicht zu lösen.

IMETER bietet durch das Referenzkraftverfahren einen Lösungsalgorithmus. Zeitlich kurz vor der Maximalkraftbestimmung findet die Erfassung der Referenzkraft statt. Dabei ist der Ring in definierter Tiefe in der Flüssigkeit eingetaucht. Von der hier gemessenen Bezugskraft werden Auftrieb des Rings, des Gestänges und die *Meniskuskraft* abgezogen. So dass die Gewichtskraft zum Zeitpunkt der Referenzkraftmessung entsprechend korrigiert werden kann, zu *als ob der Ring nicht eintauchen würde*. Die Meniskuskraft wird rekursiv berechnet, sie ist ja von der Ober- bzw. Grenzflächenspannung abhängig. Um die Maximalkraft zu bestimmen, wird der Ring automatisch und schnell in der Nähe der Maximalkraft (Auszugshöhe) positioniert, wo sofort die dynamische Abtastung der Kraftkurve erfolgt.

(Der Report zeigt ein älteres Messbeispiel – inzwischen ist die Technik verfeinert und schneller)



©2024 IMETER - MessSysteme
Tel. (+49)(0) 821/706450

www.imeter.de

IMETER Anwendungen

Dokumentation einer IMETER-Messung. 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 Arbeitszeit und Energie, indem nicht nur das Messen, Steuern und Regeln, sondern auch die beurteilungsreife Ergebnisdarstellung automatisiert ist!

Anhand eines vollständigen Reports wird der Anwender in die Lage versetzt, Plausibilität und Validität einer Messung genau zu überprüfen.

IMETER ist für die Zusammenarbeit mit ML-KI-Tools zur Analyse komplexerer Datenlagen prädestiniert. Durch den Einsatz von Zufalls-Reihenfolgen und variierenden Stellgrößen (z.B. Geschwindigkeit, Pausenzeiten ...) können aus unübersichtlichen Zusammenhängen, Stoffeigenschaften mit relativ wenigen Messungen abgeleitet werden. – Oder, denkbar, man lässt sich das IMPro (=Messprogramm) durch eine KI vorschlagen?

IMETER intelligenter messen!



IMETER V.5.5 rev.230

automatic Report (B8FE9AS16312B), IMETER / MSB Breitwieser, Augsburg, 26. Jun 24

ID N° 272 - Surface Tension / ΔT

Wasser von 50° bis zum Sieden

Test der Referenzkraft-Technik - bei starker Kondensation!

Flüssigkeit/Vergleich: **'Wasser'**

Result: **$\gamma_{75^\circ\text{C}} = 63,55 \pm 0,11 \text{ mN/m}$, $\kappa_\gamma 27,4 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$**

Report

Automatisch generierter Bericht mit Erklärungen. Diese sind formatiert wie dieser Text.

• 1. Eigenschaft und Methode

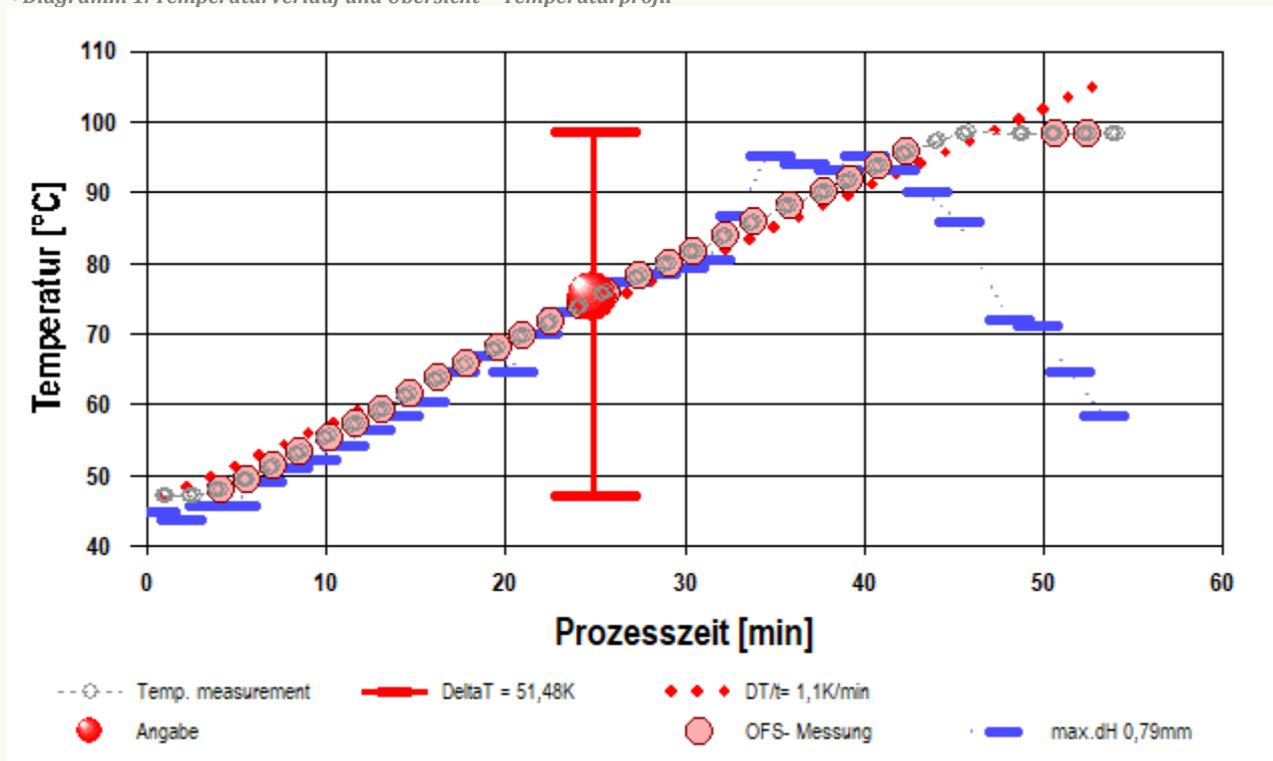
Die **Oberflächenspannung** γ ist die kohäsiv wirkende Kraft, die eine flüssige Phase zusammenhält und die zwischenmolekularen Anziehungskräfte ausdrückt. Die Einheit 'mN/m' (Kraft pro Länge bzw. 'mj/m²', Arbeit pro Fläche) bedeutet eine reversible Energiemenge, die aufzuwenden ist, um 1 m² neue Oberfläche zu schaffen bzw. die freigesetzt wird, wenn Oberfläche (z.B. durch Vereinigung von Tröpfchen) verschwindet. Das Augenscheinliche der Eigenschaft Oberflächenspannung besteht in der mehr oder weniger leichten Verformbarkeit der flüssigen Oberfläche. Die hier zur Messung angewandte *Ringmethode* beruht auf Kraftmessung bei *Deformation der Oberfläche*: Ein waagerechter Draht wird in die Flüssigkeit getaucht und herausgehoben. Beim Herausziehen wächst die Zugkraft durch die angehobene Flüssigkeitsmenge und nimmt einen parabelförmigen Verlauf an. Entscheidend ist die im Parabelscheitel vorliegende Maximalkraft. Sie entspricht im Verhältnis zum Ringumfang der Oberflächenspannung. Als Gegenkraft wirkt unter der Fallbeschleunigung das gehobene Flüssigkeitsgewicht - mithin die Dichtedifferenz $\Delta\rho$ zwischen Probe und Luft bzw. dem gesättigten Dampf. Für den exakten Oberflächenspannungswert wird auf den Wert der Maximalkraft ein Korrekturfaktor f_k angewendet. Zur Behebung der systematischen Abweichung gibt es verschiedene Algorithmen, benannt nach ihren Entwicklern. Zu bevorzugen ist die Berechnung nach *Young-Laplace-Petzoldt* oder *Harkins & Jordan*, d.h. die Verwendung der klassischen Korrekturtabellen - auf der auch andere Algorithmen beruhen. Weiterhin zur Berechnung - um kleine Abweichungen zu korrigieren, die auf der Unvollkommenheit der Ringgeometrie beruhen - wird ggf. ein Kalibrierfaktor f_c durch Justierung der Anzeige mittels einer Standardflüssigkeit eingesetzt. Das ausgewählte Berechnungsverfahren wird in diesem Bericht nebst aller Eingangsdaten angegeben.

Angewandtes Verfahren und Ergebnisberechnung: ausdauernde Messungen bei Temperaturänderung; Ergebniswert und Temperaturabhängigkeit wurden aus dem Verlauf der Einzelwerte per Regression ermittelt. Die Änderung der Oberflächenspannung in Temperaturabhängigkeit erlaubt bei genügend großem Temperaturintervall die sichere Angabe einer Temperaturfunktion sowie der Oberflächenentropie und der totalen Oberflächenenergie.

• 2. Übersicht, Temperatur

Die Oberflächenspannung wurde 27-mal gemessen, Nettodauer des Messablaufs 50 Minuten; stufig, zwischen 48,1 und 98,3°C ansteigender Temperaturverlauf mit wechselnden Temperierstufen und je 2,0 Messwerten.

→ Diagramm 1. Temperaturverlauf und Übersicht - 'Temperaturprofil'



- Im Diagramm "Temperaturprofil" wird eine Übersicht zum zeitlichen Verlauf der Vorgänge und der jeweils aufgezeichneten Temperatur gezeigt. Die Zeitachse beginnt mit dem Startzeitpunkt dieser Messung. -- Die Kreismarkierungen zeigen die einzelnen Temperaturmesswerte an, die kugelförmigen Marken stehen für Zeitpunkt und Temperaturzuordnung jeweiliger Messwerte der Oberflächenspannung. Eine größere kugelförmige Markierung gibt den Zeit/Temperatur-Angabewert in der Dokumentation des gesamten Messprozesses an. Waagerechte rote Striche geben den relativen Verlauf des Flüssigkeitspegels (Niveauhöhe) im Messgefäß an. Dieser wurde durch jeweilige Bezugshöhenbestimmungen 33 Mal durch das Messprogramm ermittelt. Der größte Niveauhöhenunterschied (max.dH) beträgt 0,788 mm. Diese zusätzliche Auswertung ermöglicht, Niveauperänderungen z.B. durch Dosierungen, Verdunstung, Absorption und besonders durch die Temperaturänderung eine Volumenausdehnung der Probe anzuzeigen.

• 3. Ergebniszusammenfassung

27 Messwerte; Zeitbereich 4 bis 53 min, Temperatur $\Delta T = +50,25$ K

Ergebniswert: $\gamma_{75^\circ\text{C}} = 63,55 \pm 0,11$ mN/m (348,15 K)

Streuung: $\pm 0,057$ mN/m absolute bzw. 0,9‰ relative Standardabweichung

Berechnung: quadratische Regressionsgleichung, eindeutig temperaturabhängig.

Temperaturzusammenhang zwischen 48,06 und 98,31 °C:

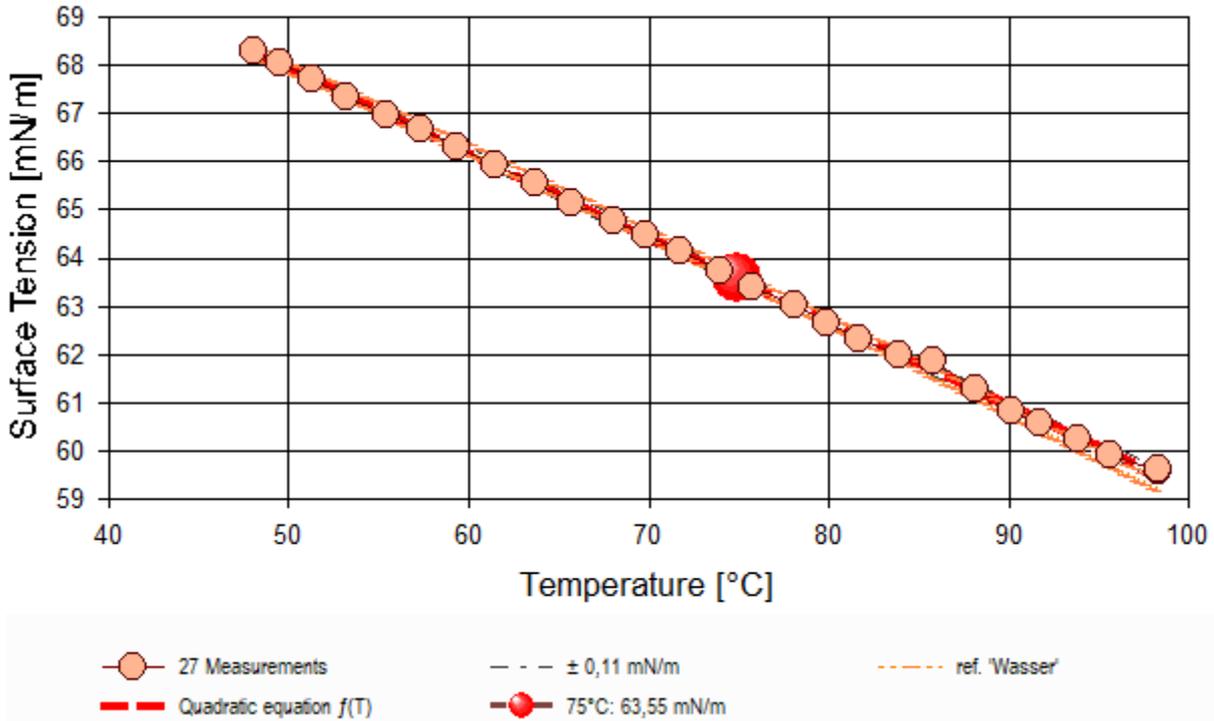
$$\gamma \text{ [mN/m]} = f(\vartheta \text{ [}^\circ\text{C]}) = 77,018 - 0,1849 \cdot \vartheta + 7,1272\text{E-}5 \cdot \vartheta^2 \quad \text{mit } r^2 = 0,99960, \quad s^2 = 3,25\text{E-}3$$

$$\text{Oberflächenentropie: } S_{\text{TPC}} \text{ [m} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] = -77,0 + 0,185 \cdot (\vartheta + 273,15), \text{ Totale Oberflächenenergie: } E_{75^\circ\text{C}} = -4338 \text{ m} \cdot \text{m}^{-2}$$

Der Temperaturkoeffizient der Oberflächenspannung κ_γ mit 27,4 [10^{-4}K^{-1}] entspricht konventionellen Werten gut (etwas unter 'Normal'). Er entspricht der Oberflächenspannungs-Änderung von 2,7‰, entsprechend 0,17 mN/m pro Grad bei der Angabetemperatur.

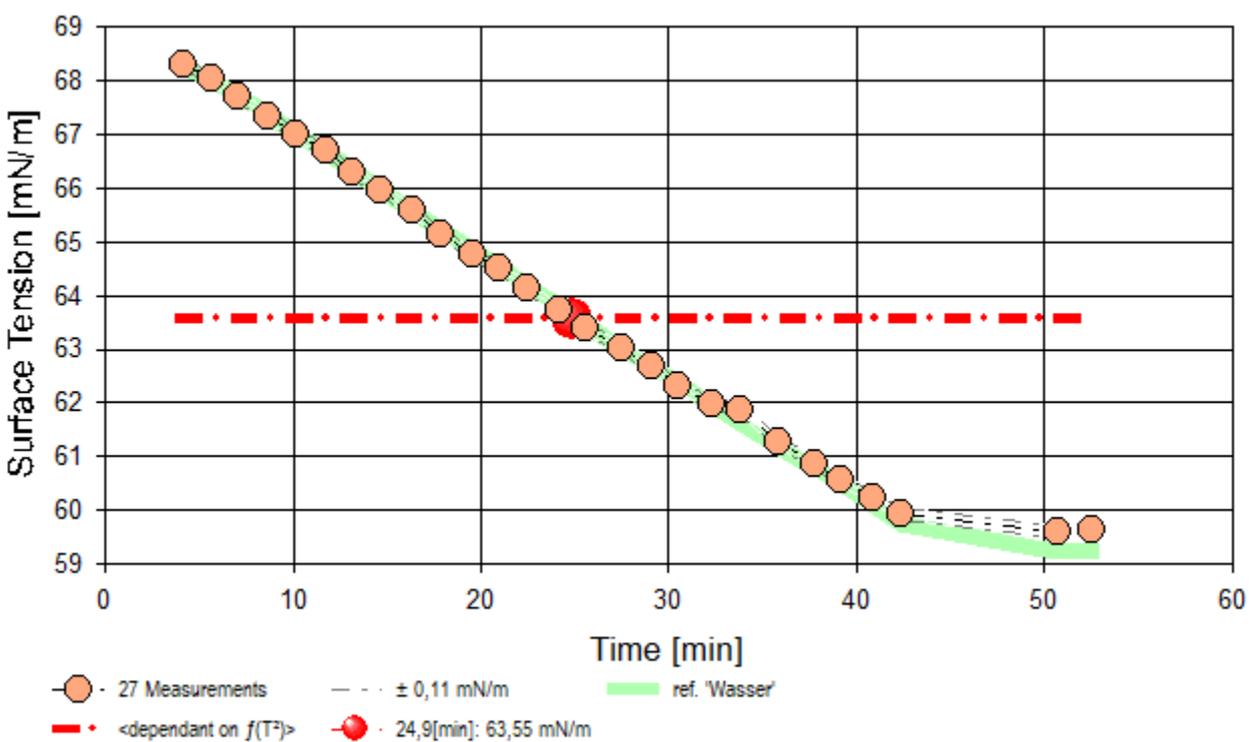
- Die Messdaten werden automatisch analysiert. Ergebnis und ermittelte Formeln stellen Vorschläge dar, wobei sich aus den Umständen der Messung ggf. andere Zusammenhänge ergeben können. Ein 'normaler' Temperaturkoeffizient der Oberflächenspannung reicht bei 25°C von etwa 18 bis 57 10^{-4}K^{-1} . Der Korrelationskoeffizient zeigt die Qualität der gegenseitigen Abhängigkeit an (r^2 , der hier wohl 'ziemlich gut' 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 2. Temperaturabhängigkeit der Oberflächenspannung - 'Temperaturverlauf'



- Das Diagramm "Temperaturverlauf" zeigt die einzelnen Messwerte der Oberflächenspannung als Kreissymbole in Abhängigkeit von der Temperatur an. Um den Angabewert ($\gamma_{75^\circ\text{C}} = 63,55 \text{ mN/m}$) ist der Bereich der Messunsicherheit als dünn gestrichelte, parallele Doppellinie dargestellt. Der Verlauf einer Regressionsfunktion zu den Messwerten ist als dickere, gestrichelte Linie eingezeichnet. Als fein schraffierter Bereich ist der Datenbank-Referenzwert von 'Wasser' in der Breite der angenommenen Messunsicherheit eingezeichnet.

- Diagramm 3. 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 'Wasser' temperaturkompensiert eingezeichnet.

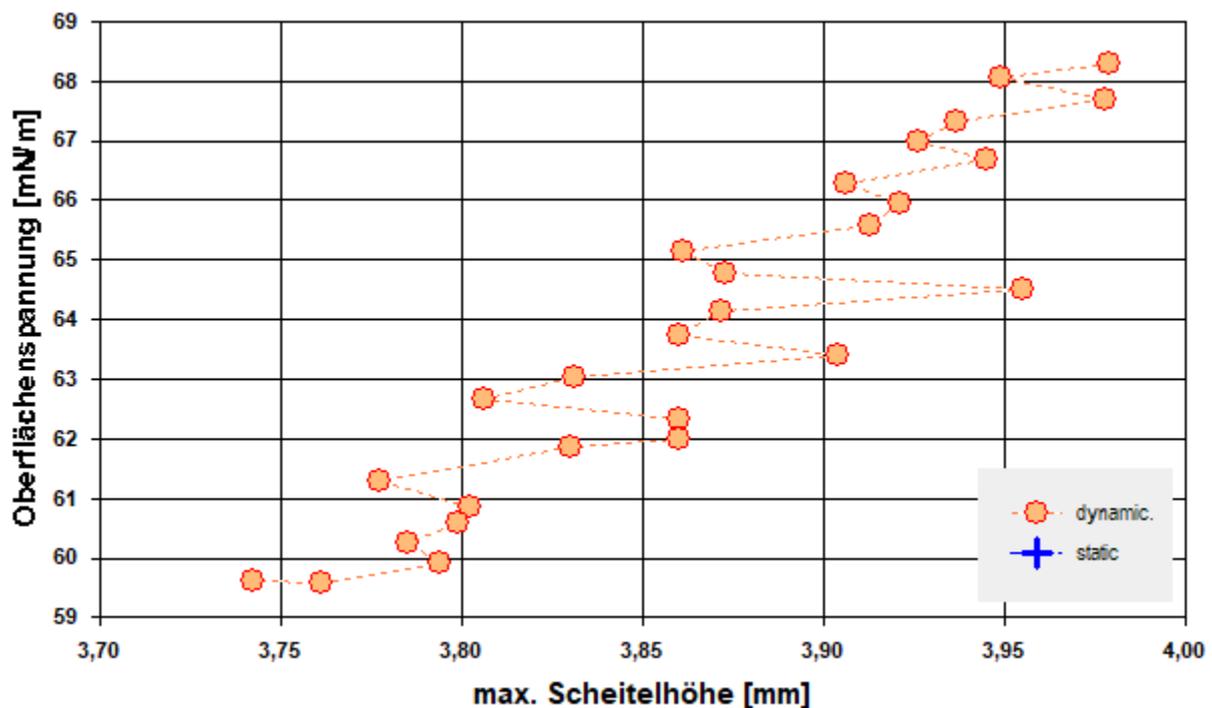
Tabelle 1: Protokoll der Mess- und Ergebnisdaten

N°	t [min]	θ [°C]	n _{Pos}	ΔZ [mm]	H _{Fmax} [mm]	W _(Fmax) [mg]	γ [mN/m]	τ _{rel.} [s]	Δρ [g/cm ³]
1.	4,1	48,06	167	1,585	3,98	889,66	68,30	6,9	0,9877
2.	5,6	49,49	167	1,583	3,95	886,72	68,05	6,8	0,9871
3.	7,0	51,27	167	1,585	3,98	882,45	67,70	7,0	0,9863
4.	8,6	53,21	167	1,585	3,94	877,96	67,32	6,7	0,9853
5.	10,1	55,44	167	1,582	3,93	873,87	66,99	6,7	0,9843
6.	11,7	57,38	167	1,585	3,95	870,24	66,69	6,8	0,9833
7.	13,1	59,33	167	1,583	3,91	865,33	66,29	6,6	0,9823
8.	14,6	61,46	167	1,583	3,92	861,01	65,95	6,7	0,9812
9.	16,3	63,72	167	1,583	3,91	856,35	65,57	6,7	0,9800
10.	17,8	65,69	167	1,586	3,86	850,87	65,13	6,4	0,9790
11.	19,6	68,01	167	1,585	3,87	846,54	64,78	7,6	0,9777
12.	21,0	69,78	167	1,588	3,96	843,12	64,50	6,9	0,9767
13.	22,5	71,74	167	1,583	3,87	838,86	64,15	6,6	0,9756
14.	24,2	73,95	167	1,588	3,86	833,72	63,73	7,6	0,9743
15.	25,6	75,78	167	1,550	3,90	829,60	63,39	7,6	0,9732
16.	27,5	78,13	167	1,578	3,83	825,17	63,03	6,3	0,9717
17.	29,1	79,93	167	1,580	3,81	820,80	62,67	7,2	0,9706
18.	30,5	81,71	167	1,585	3,86	816,51	62,32	6,5	0,9695
19.	32,3	83,88	167	1,586	3,86	812,46	61,99	6,5	0,9681
20.	33,8	85,78	167	1,582	3,83	810,73	61,85	6,4	0,9669
21.	35,8	88,15	167	1,583	3,78	803,84	61,29	7,2	0,9653
22.	37,8	90,15	167	1,583	3,80	798,45	60,85	6,3	0,9640
23.	39,2	91,74	167	1,583	3,80	795,16	60,58	6,3	0,9629
24.	40,9	93,78	167	1,583	3,79	791,00	60,24	6,3	0,9615
25.	42,4	95,65	167	1,585	3,79	787,17	59,93	7,3	0,9602
[26.	44,1	97,35	167	1,583	3,73	767,71	58,32	6,0	0,9590]*
27.	50,7	98,31	167	1,585	3,76	782,95	59,59	7,2	0,9584
28.	52,5	98,25	167	1,580	3,74	783,50	59,63	7,1	0,9584

*[Die Zeile N° 26 wurde durch den Prüfer von den Ergebnissen ausgenommen.]

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_{Fmax} gibt die Lamellenhöhe im Parabelsattel der Messkurve über dem Flüssigkeits-Nullniveau an. An dieser Stelle beträgt das Gewicht der Lamelle W_(Fmax) und dieses entspricht der so gemessenen Oberflächenspannung γ. Die Zeitspanne τ_{rel.} gibt die Dauer beim Auszug der Lamelle bis zum Erreichen der Maximalkraft an. In der Spalte Δρ ist die Dichtedifferenz (d.h. der Dichte von Wasser abzüglich der Luftdichte) bei der Temperatur angegeben.

- Diagramm 4. 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 teilweise von der Gefäßoberfläche beeinflusst. Größere Streuungen im Werteverlauf zeigen eine unruhige Umgebung oder ungeeignete Ermittlungseinstellungen der Grenzflächenlage an (Nullniveau-Bestimmung); systematische Änderungen deuten je nach Umständen auf Effekte von Messgeschwindigkeitsvariationen oder auch die Bildung einer 'Oberflächenhaut' hin. - Beim Bestimmungsverfahren zur Pegelposition der Phasengrenze durch das Tastverfahren von unten (aus der Phase), wird die Höhe 0 (Nullniveau) durch den Kontakt der Ringoberseite mit der Phasengrenze definiert. Deshalb ist die Ringdrahtdicke (=0,37 mm) bei diesen absoluten Niveau-Höhen in Betracht zu ziehen.

• 4. Auswertungsverfahren & Messkörper

Berechnung: 'Harkins & Jordan' - Originaltabellen.

Messring: Ring N°1, mittlerer Ringradius $R = 9,54$ mm, Drahradius $r = 0,185$ mm, linearer Ausdehnungskoeffizient $\alpha = 8,9 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$. Anwendung des geometrischen Korrekturfaktors $f_G = 1,0039$; Innendurchmesser des Messgefäßes $\varnothing = 43,0$ mm.

Probensubstanz: Wasser, Dichte $\rho = 0,974837 \text{ g/cm}^3$ (bei 75°C); die Dichtedifferenz $\Delta\rho$ wird zur jeweiligen Temperatur mit der Referenzfunktion 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 Wasser automatisch. Hierzu wird die Gleichung $\Delta\rho [\text{g/cm}^3] = f(\theta[^\circ\text{C}]) = (99983.952 + 1695.2577 \cdot \theta - 0.79905127 \cdot \theta^2 - 4.6241757 \cdot \theta^3 + 1.0584601 \cdot \theta^4 - 2.8103006 \cdot \theta^5) / (1e5 + 1688.7236 \cdot \theta) - \rho_a$ 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.	8,6844	-0,0432	0,9347 h	0,203	-	-	¹ pD
2.	8,6693	-0,0294	0,9345 h	0,203	-	-	¹ pD
3.	8,5312	-0,1256	0,9341 h	0,203	-	-	¹ pD
4.	8,5118	-0,1010	0,9337 h	0,203	-	-	¹ pD
5.	8,4972	-0,0755	0,9334 h	0,203	-	-	¹ pD
6.	8,4890	-0,0481	0,9331 h	0,203	-	-	¹ pD
7.	8,4761	-0,0128	0,9329 h	0,203	-	-	¹ pD
8.	8,4700	0,0235	0,9327 h	0,203	-	-	¹ pD
9.	8,4557	0,0549	0,9324 h	0,203	-	-	¹ pD
10.	8,2518	-0,0952	0,9321 h	0,203	-	-	¹ pD
11.	8,2526	-0,0520	0,9318 h	0,203	-	-	¹ pD
12.	8,2533	-0,0177	0,9316 h	0,203	-	-	¹ pD
13.	8,2508	0,0216	0,9313 h	0,203	-	-	¹ pD
14.	8,2524	0,0736	0,9309 h	0,203	-	-	¹ pD
15.	8,0413	-0,0971	0,9306 h	0,203	-	-	¹ pD
16.	8,0468	-0,0481	0,9303 h	0,203	-	-	¹ pD
17.	8,0589	0,0069	0,9299 h	0,203	-	-	¹ pD
18.	7,9227	-0,0873	0,9296 h	0,203	-	-	¹ pD
19.	7,9388	-0,0314	0,9293 h	0,203	-	-	¹ pD
20.	7,8199	-0,1334	0,9292 h	0,203	-	-	¹ pD
21.	7,8514	-0,0343	0,9286 h	0,203	-	-	¹ pD
22.	7,8887	0,0559	0,9282 h	0,203	-	-	¹ pD
23.	7,7877	-0,0128	0,9279 h	0,203	-	-	¹ pD
24.	7,8225	0,0628	0,9276 h	0,203	-	-	¹ pD
25.	7,7535	0,0314	0,9273 h	0,203	-	-	¹ pD
[26.	7,6538	0,1226	0,9253 h	0,203	-	-	¹ pD]*
27.	7,6317	-0,0490	0,927 h	0,203	-	-	¹ pD
28.	7,7430	0,0569	0,9271 h	0,203	-	-	¹ pD

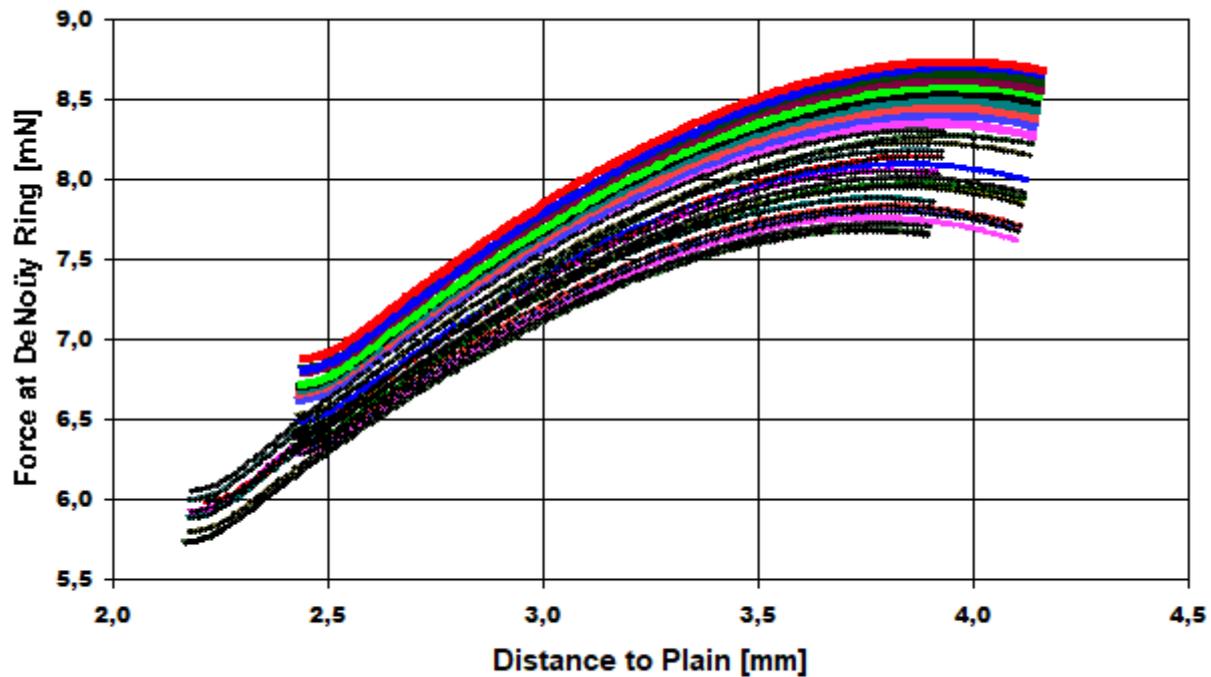
*[Die Zeile N° 26 wurde durch den Prüfer von den Ergebnissen ausgenommen.]

F_{max} gibt den korrigierten Messwert der Maximalkraft an; dessen Kraftbezugswert wird mit F_{bz} ausgegeben (Berechnung: $\gamma = f_G \cdot f_k \cdot (F_{\text{max}} - F_{\text{bz}}) / (4\pi \cdot R)$). 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 zugrundeliegenden 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 Flüssigkeitlamelle 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 wenigen Sekunden zuvor frisch 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.

DIN 53914 - zur Bestimmung der Oberflächenspannung - fordert für den Prüfbericht den Hinweis auf die Norm und einen Teil der hier gegebenen Angaben. Mit dem Hinweis auf den durchgängigen Einsatz des **Absolutverfahrens** gilt auch Konformität mit ASTM D 1331 und ISO 6889. Zusätzliche Angaben zu Art, Zubereitung und Alter der Probe sollten - für einen normgerechten Prüfbericht - über das Bemerkungsfeld des Datenblattes oder über die Kommentarfunktion (auch nach der Messung) dem Bericht beigelegt sein.

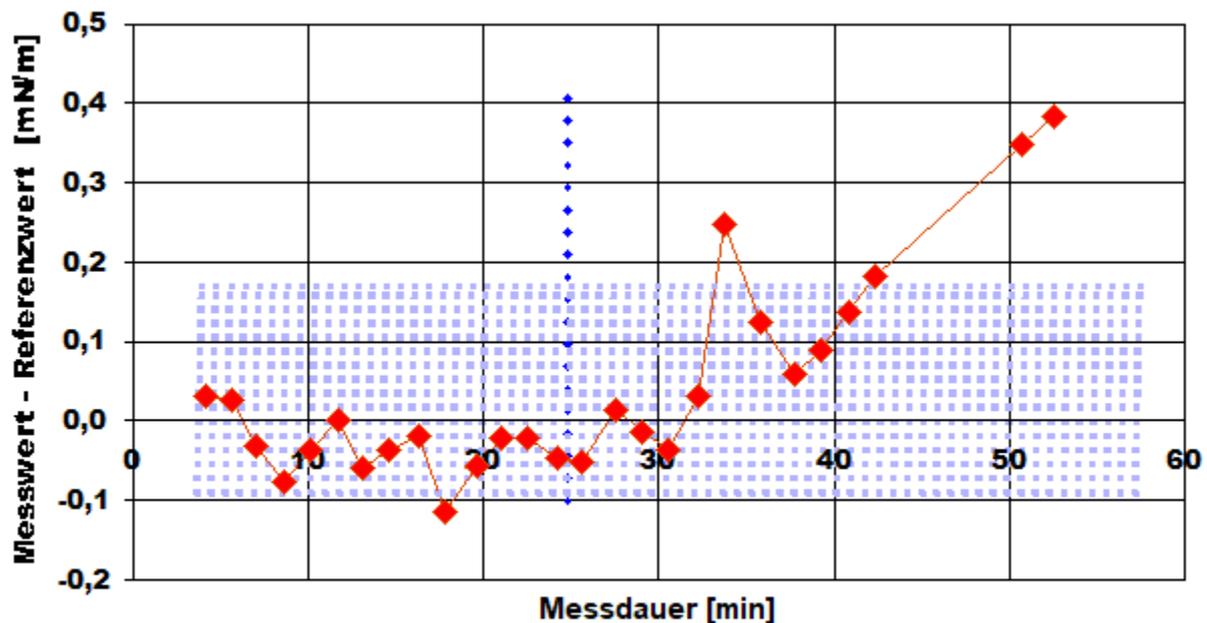
- Diagramm 5. Messkurven - Grundlage der Bestimmung der Oberflächenspannung - 'Measuring Curves'²



- Im Diagramm "Measuring Curves²" werden die zu Grunde liegenden einzelnen Kraftmesswerte als 'Messkraft' gegen 'Lamellenhöhe' für alle Messpunkte der 27 Messkurven dargestellt. Eine Messkurve beschreibt einen Oberflächenspannungswert. Die Lamellenhöhe ist der über Kraft, Dichte und Gefäßoberfläche korrigierte Abstand der Ebene der Ringoberseite zum Nullniveau der Flüssigkeitsoberfläche. Qualität und Korrektheit einer Messung zeichnen sich durch glatte, konvexe Kurvenzüge im Bereich der Kraftmaxima aus.

• 5. Referenzdatenvergleich

- Diagramm 6. IST/SOLL-Vergleich in zeitlicher Abfolge der Messwerte - 'DeltaChart'



Reference values for 'Wasser' acc. to $f(T[^\circ\text{C}])=235.8 \cdot (1-(T+273.15)/647.096)^{1.256} \cdot (1-0.625 \cdot (1-(T+273.15)/647.096))$
 Mean and Standarddev. of Residuals: $0,0386 \pm 0,13$ mN/m, relative: +0,61% at a spread of 2,0%

- Das Chart "DeltaChart" zeigt die temperaturkompensierten Abweichungen der einzelnen Messwerte zum Referenz- bzw. Erwartungswert in zeitlicher Sequenz.
- In Diagrammen wird der Datenbereich entsprechend vergrößert dargestellt, was mitunter gute Messungen nicht so aussehen lässt. Weiterhin ist die tatsächliche Korrektheit der Referenz sowie die Relation der Abweichung im Verhältnis zur Messunsicherheit in Betracht zu ziehen.

• 6. Referenzvergleich mit Wasser bei 75°C

	Referenz	Messung	Δ absolut	Δ relativ	Δ / u
γ	63,58	63,55	-0,03 mN/m	0,5‰	@
$-\Delta\gamma/\Delta T$	0,18	0,17	-0,01 mN/m·K ⁻¹	6%	@

- Der Ergebnisvergleich mit den Angaben, die in der Referenzdatenbank zu 'WASSER' gefunden wurden, stellt die Werteübereinstimmung dar. Der Unterschied wird als absolute Differenz "Probenmesswert minus Referenzwert" und als relative Abweichung angegeben. Das Symbol γ steht für die Messgröße, $-\Delta\gamma/\Delta T$ für die absolute Änderung bei einem Grad Temperaturabnahme (bei 75°C); die Zahl zu " Δu " 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.

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% normalverteilter 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.

Programm

Data created during execution of the IMPro "Wasser10to-1C", type 1/28. Measuring process performed accordingly.

Prüfmittel

Die Wägeeinheit (WZ224-CW) wurde 1,2 Stunden vor dieser Messung von imeter justiert.

IMETER ID16405542: Technische Daten: Auflösung des Wägesystems 0,1 mg, Messunsicherheit

(Linearität) 0,2 mg, Dichte der Justiermasse ρ_{cal} 8,000 g/cm³, Luftdichte ρ_{air} 1,2 kg/m³;

Schwerebeschleunigung g 9,81 m/s². Die Messauflösung der Temperaturmessung beträgt 0,01 K, die

Unsicherheit 0,03 K. Akquisitions-Softwareversion IMETER 4.1.93, LizenzN° *3037-4759*, Windows

5.1- Betriebssystem auf PC Ser.N°143431694 (C, iTop).

• 7. Kommentar/Bewertung/Interpretation

Problem bei längerwährenden Präzisionsmessungen und Prozess- bzw. Langzeitmessungen allgemein... :

Diese Studie demonstriert eine "normalerweise" unmögliche Messung. Kondensation von Dampf am Ringgestänge und herabfallende Tropfen davon führen ja dazu, dass das veränderliche Gewicht von Ring und Aufhängung stark streuende, verfälschte Oberflächenspannungswerte verursachen würde. - Durch die IMETER-Referenzkrafttechnik kann dieser Fehler behoben werden.

"Nachtägliche Anmerkungen" sind Bemerkungen eines Anwenders, die nach Abschluss zur Dokumentation hinzugefügt wurden.



Report created by IMETER

„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.