

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!

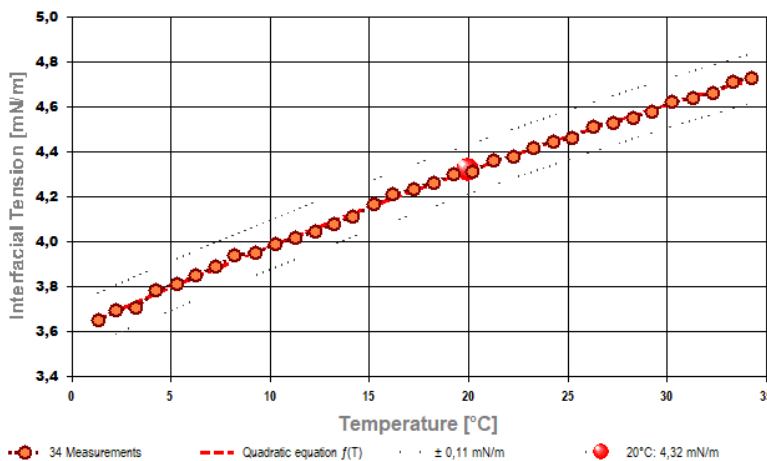
Anhand eines vollständigen Reports wird der Anwender oder Kunde in die Lage versetzt, Plausibilität und Validität einer Messung genau zu überprüfen.

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 M2 "Ringmethode"

### Temperaturabhängigkeit der Grenzflächenspannung



### Statische Messung der Temperaturabhängigkeit der Grenzflächenspannung einer Tensidlösung gegen Toluol

Der unten wiedergegebene Bericht dokumentiert eine Messung der Grenzflächenspannung in Temperaturabhängigkeit. Bemerkenswert, die relativ geringe Grenzflächenspannung doch besonders, die mit der Temperatur zunehmende Grenzflächenspannung. Thermodynamisch bedeutet dies eine Entropieabnahme, also ein *mit der Temperatur zunehmender Ordnungszustand; also Strukturbildung*.

**Messumstände:** 5mg/cm<sup>3</sup> Natriumdodecylsulfat (SDS) in Wasser (entspricht 2x CMC, der doppelten Mizellenbildungskonzentration), überschichtet mit Toluol. Alter der Tensidlösung 16h. Messung in doppelwandigem Temperiergefäß; IMETER steuert per IMPro zusätzlich Thermostat und Magnetrührwerk. Die Tensidlösung wurde im Datenblatt der Messung als ‚Wasser‘ angegeben, zur einfacheren Berechnung der jeweiligen Dichtedifferenz der Phasen.

automatic Report (B4B404U16312B), IMETER / MSB Breitwieser, Augsburg, 27. Jun 24

## ID N° 91 - Interfacial Tension / ΔT

**pos.Temperaturgradient: Wasser/SDS gegen Toluol**

Weitere Messung an der in N°6952 hergestellten Lösung, Gehalt rd. 5mg/cm<sup>3</sup> SDS in Wasser.

Interfacial Tension: **Toluol / Wasser**

Result:  **$\gamma_{20^{\circ}\text{C}} = 4,32 \pm 0,11 \text{ mN/m}, \kappa_{\gamma} -73,1 \cdot 10^{-4} \text{K}^{-1}$**

## Report

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

### • 1. Eigenschaft und Methode

Die *Grenzflächenspannung*  $\gamma$  ist die kohäsiv wirkende Kraft, die eine flüssige Phase in Gegenwart einer anderen Flüssigkeit zusammenhält und die zwischenmolekularen Anziehungskräfte ausdrückt. Die Einheit 'mN/m' (Kraft pro Länge bzw. 'mJ/m<sup>2</sup>', Arbeit pro Fläche) bedeutet eine reversible Energiemenge, die aufzuwenden ist, um 1 m<sup>2</sup> neue Grenzfläche zu schaffen bzw. die freigesetzt wird, wenn Grenzfläche (z.B. durch Vereinigung von Tröpfchen)

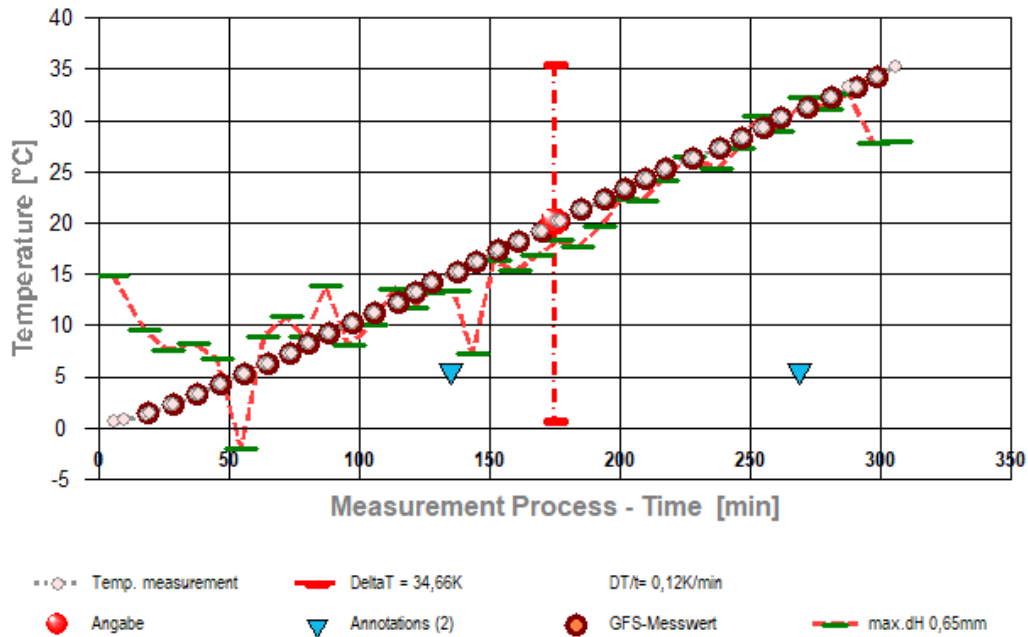
verschwindet. Das Augenscheinliche der Eigenschaft Grenzflächenspannung besteht in der mehr oder weniger leichten Verformbarkeit der flüssigen Grenzfläche. Die hier zur Messung angewandte *Ringmethode* beruht auf Kraftmessung bei *Deformation der Grenzfläche*: Ein waagerechter Drahring wird in die Flüssigkeits-Grenzfläche 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 Grenzflächenspannung. Als Gegenkraft wirkt unter der Fallbeschleunigung das gehobene Flüssigkeitsgewicht - mithin die Dichtedifferenz  $\Delta\rho$  zwischen den beiden Flüssigkeiten. Für den exakten Grenzflächenspannungswert 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 Grenzflächenspannung in Temperaturabhängigkeit erlaubt bei genügend großem Temperaturintervall die sichere Angabe einer Temperaturfunktion sowie der Oberflächenentropie und der totalen Oberflächenenergie.

## • 2. Übersicht, Temperatur

Die Grenzflächenspannung wurde 34-mal gemessen, Nettodauer des Messablaufs fünf Stunden; stufig, zwischen 1,4 und 34,3°C ansteigender Temperaturverlauf, 17 Temperaturniveaus; mit 16 Stufen; 1 K Temperaturunterschied je Stufe, mit jeweils zwei Messwerten.

- Diagramm 1. Temperaturverlauf und Übersicht - 'Temperatur, Events'<sup>21</sup>



135,0' : Grenzfläche tadellos, sie spiegelt perfekt (Totalreflexion bis ca. 30° Blickwinkel).

268,5' : In der wss. Phase von "Rauch" oder "Crème" ist nichts zu sehen.

- Die zur Laufzeit der Messung vom Prüfer eingegebenen Bemerkungen werden hier wiedergegeben, wobei am Anfang der Zeile der Eintragszeitpunkt als Minutenzahl angegeben ist.
- Im Diagramm "Temperatur, Events"<sup>21</sup> 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 Grenzflächenspannung. 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 36 Mal durch das Messprogramm ermittelt. Der größte Niveauhöhenunterschied (max.dH) beträgt 0,651 mm. Diese zusätzliche Auswertung ermöglicht, Niveauveränderungen z.B. durch Dosierungen, Verdunstung, Absorption und besonders durch die Temperaturänderung eine Volumenausdehnung der Probe anzuzeigen. Die Dreiecke zeigen Zeitpunkte an, zu welchen vom Prüfer jeweilige Anmerkungen zu Protokoll gegeben wurden.

## • 3. Ergebniszusammenfassung

34 Messwerte; Zeitbereich 19 bis 299 min, Temperatur  $\Delta T = +32,88$  K

Ergebniswert:  $\gamma_{20^\circ\text{C}} = 4,32 \pm 0,11$  mN/m (293,15 K)

Streuung:  $\pm 0,011$  mN/m absolute bzw. 2,5‰ relative Standardabweichung

Berechnung: quadratische Regressionsgleichung.

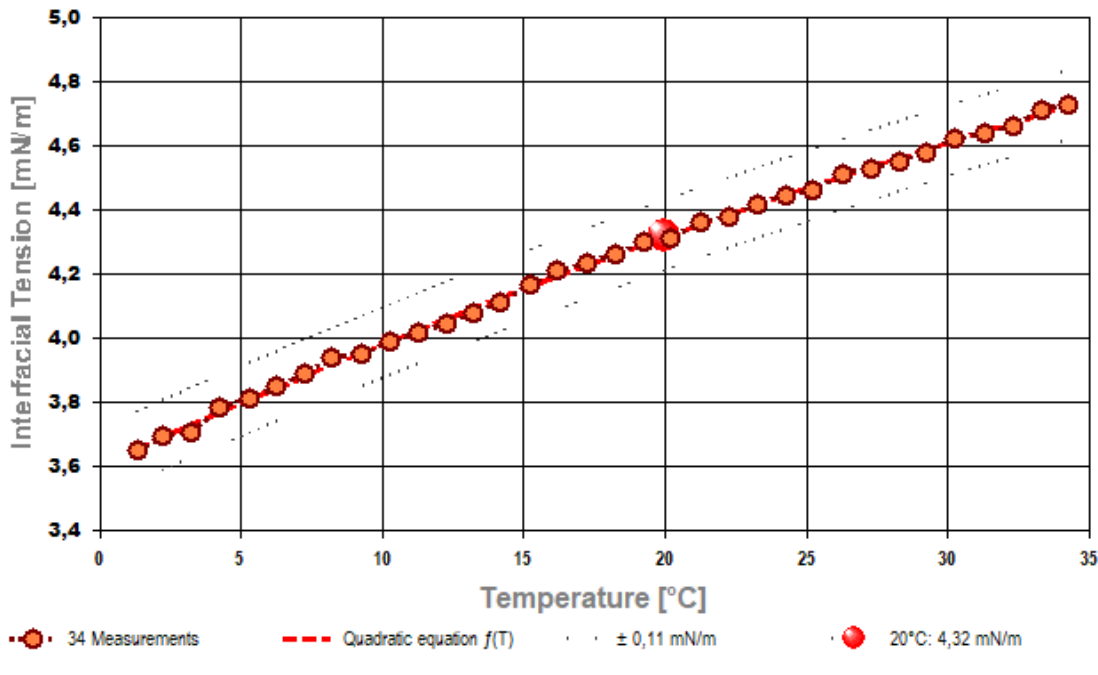
Temperaturgleichung zwischen 1,37 und 34,25 °C:

$$\gamma \text{ [mN/m]} = f(\vartheta [^\circ\text{C}]) = 3,602 + 0,03982 \cdot \vartheta - 2,0683\text{E-}4 \cdot \vartheta^2 \quad \text{mit } r^2 = 0,9989, \quad s^2 = 1,15\text{E-}4$$

$$\text{Oberflächenentropie: } S_{\text{TFC}} \text{ [m}^2 \cdot \text{K}^{-1}] = -3,60 - 0,0398 \cdot (\vartheta + 273,15), \text{ Totale Oberflächenenergie: } E_{20^\circ\text{C}} = -4474 \text{ m}^2$$

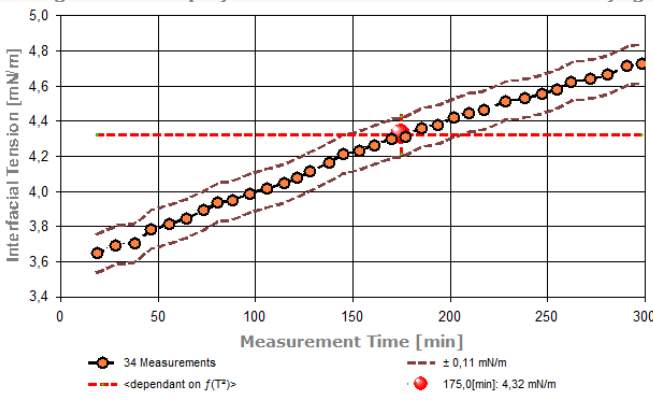
- Die Messdaten werden automatisch analysiert. Ergebnis und ermittelte Formeln stellen Vorschläge dar, wobei sich aus den Umständen der Messung ggf. andere Zusammenhänge ergeben können. - Aus der Abwägung der Einflüsse werden formale Zusammenhänge für die Bewertung ermittelt und auch 'Qualitätsangaben' erzeugt, die, wie hier, offenbar nicht ganz eindeutig sind (eine Messzeitabhängigkeit kann immer Temperatureinflüsse überlagern - Ergebnisse werden eindeutiger, wenn im Messablauf stärker unregelmäßige Temperaturänderungen eingestellt werden). Der Korrelationskoeffizient zeigt die Qualität der gegenseitigen Abhängigkeit an ( $r^2$ , der hier wohl 'brauchbar' 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 Grenzflächenspannung - 'GFS-Temperaturprojektion'<sup>21</sup>



- Das Diagramm "GFS-Temperaturprojektion"<sup>21</sup> zeigt die einzelnen Messwerte der Grenzflächenspannung als Kreissymbole in Abhängigkeit von der Temperatur an. Um den Angabewert ( $\gamma_{20^\circ\text{C}} = 4,32 \text{ mN/m}$ ) ist der Bereich der Messunsicherheit als dünn gestrichelte, parallele Doppellinie dargestellt. Der Verlauf einer Regressionsfunktion zu den Messwerten ist als dickere, gestrichelte Linie eingezeichnet.

→ Diagramm 3. Zeitprojektion der Messwerte - 'GFS-Zeitliche Abfolge'<sup>21</sup>



- Im Diagramm "GFS-Zeitliche Abfolge"<sup>21</sup> 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.

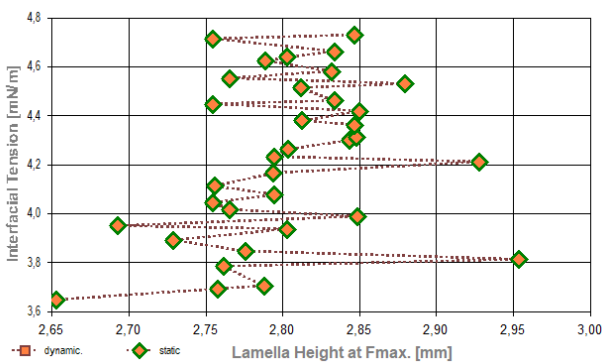
Tabelle 1: Protokoll der Mess- und Ergebnisdaten

N°	t [min]	$\vartheta$ [°C]	nPos	$\Delta Z$ [mm]	H <sub>Fmax</sub> [mm]	W <sub>(Fmax)</sub> [mg]	$\gamma$ [mN/m]	$\tau_{\text{rel}}$ [s]	$\Delta\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]
1.	18,7	<b>1,37</b>	28	0,326	2,65	50,46	<b>3,65</b>	36,3	0,1158
2.	28,1	<b>2,24</b>	36	0,422	2,76	51,06	<b>3,69</b>	50,2	0,1167
3.	37,8	<b>3,25</b>	36	0,422	2,79	51,26	<b>3,71</b>	49,4	0,1176
4.	46,4	<b>4,26</b>	24	0,277	2,76	52,30	<b>3,78</b>	35,1	0,1186
5.	55,8	<b>5,32</b>	32	0,374	2,95	52,69	<b>3,81</b>	47,7	0,1195
6.	64,5	<b>6,26</b>	36	0,422	2,78	53,15	<b>3,85</b>	49,9	0,1204
7.	73,4	<b>7,27</b>	36	0,422	2,73	53,75	<b>3,89</b>	48,0	0,1213
8.	80,5	<b>8,20</b>	28	0,325	2,80	54,37	<b>3,94</b>	46,4	0,1221
9.	88,2	<b>9,24</b>	32	0,374	2,69	54,56	<b>3,95</b>	39,7	0,1230
10.	97,0	<b>10,28</b>	32	0,374	2,85	55,08	<b>3,99</b>	43,2	0,1238
11.	105,6	<b>11,24</b>	28	0,325	2,77	55,47	<b>4,02</b>	35,4	0,1246
12.	114,7	<b>12,27</b>	32	0,374	2,76	55,86	<b>4,05</b>	46,1	0,1255
13.	121,5	<b>13,19</b>	28	0,325	2,80	56,30	<b>4,08</b>	39,5	0,1262
14.	128,0	<b>14,17</b>	32	0,374	2,76	56,78	<b>4,11</b>	44,3	0,1270
15.	137,7	<b>15,25</b>	40	0,470	2,79	57,48	<b>4,17</b>	57,7	0,1278
16.	144,9	<b>16,19</b>	44	0,518	2,93	58,09	<b>4,21</b>	63,5	0,1285
17.	153,1	<b>17,26</b>	40	0,470	2,80	58,38	<b>4,23</b>	55,3	0,1293
18.	161,0	<b>18,22</b>	40	0,470	2,80	58,81	<b>4,26</b>	55,2	0,1301

19.	169,8	19,23	36	0,422	2,84	59,29	4,30	43,2	0,1308
20.	176,8	20,19	32	0,374	2,85	59,48	4,31	33,9	0,1315
21.	185,1	21,25	36	0,422	2,85	60,14	4,36	35,5	0,1323
22.	193,8	22,26	24	0,277	2,81	60,39	4,38	37,3	0,1330
23.	201,9	23,26	36	0,422	2,85	60,91	4,42	52,2	0,1337
24.	209,7	24,25	32	0,374	2,76	61,31	4,45	27,6	0,1343
25.	217,3	25,21	32	0,374	2,83	61,49	4,46	41,1	0,1350
26.	228,1	26,30	40	0,470	2,81	62,21	4,51	66,6	0,1357
27.	238,5	27,28	32	0,374	2,88	62,43	4,53	51,0	0,1364
28.	246,9	28,27	32	0,374	2,77	62,75	4,55	39,6	0,1370
29.	254,9	29,24	32	0,374	2,83	63,13	4,58	46,8	0,1376
30.	262,0	30,23	32	0,374	2,79	63,71	4,62	39,3	0,1383
31.	272,2	31,31	28	0,325	2,80	63,92	4,64	34,4	0,1389
32.	281,0	32,29	28	0,325	2,83	64,25	4,66	44,6	0,1395
33.	290,9	33,29	100	1,193	2,76	64,93	4,71	177,3	0,1401
34.	298,6	34,25	32	0,374	2,85	65,14	4,73	44,5	0,1407

In der Tabelle gibt  $t$  den Zeitpunkt des Messwertes und  $\theta$  die zugehörige Temperatur an.  $n_{pos}$  steht für die Anzahl der Kraft/Positionswerte der Messkurvenabtastung über die Strecke  $\Delta Z$ . 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 Grenzflächenspannung  $\gamma$ . Die Zeitspanne  $\tau_{rel}$  gibt die Dauer beim Auszug der Lamelle bis zum Erreichen der Maximalkraft an. In der Spalte  $\Delta\rho$  ist die Dichtedifferenz der beiden flüssigen Phasen bei der Temperatur angegeben.

- Diagramm 4. Lamellenhöhe in Abhängigkeit von der Grenzflächenspannung - 'GFS und Lamellenhöhe'<sup>2)</sup>



- Das Chart "GFS und Lamellenhöhe<sup>2)</sup>" stellt die Grenzflächenspannung 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  $\alpha = 8,9 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ . Berechnung ohne geometrische Korrektur (d.h.  $f_G \equiv 1$ ); Innendurchmesser des Messgefäßes  $\varnothing = 43,0$  mm.

**Grenzfläche:** Toluol / Wasser, Dichtedifferenz der beiden Phasen  $\Delta\rho = 0,13136$  g/cm<sup>3</sup> (bei 20°C), die Dichten wurden zur jeweiligen Temperatur mit den Referenzfunktionen berechnet.

- Die geometrischen Angaben zum Messring beziehen sich auf die Bezugstemperatur 25°C. Für die Berechnung wird die genaue Dichtedifferenz der beiden Phasen benötigt [die Dichten der gegenseitig gesättigten Phasen sind ggf. zu bestimmen - mit dem 'Offset' zur Referenz kann die jeweilige Temperaturgleichung i.d.R. einfach modifiziert werden!]. Die Berechnung der Dichte  $\rho$  zur jeweils vorliegenden Temperatur erfolgt mittels vorhandener Referenzdaten zu Toluol und Wasser automatisch. Für die Dichtedifferenz wird die Gleichung  $\Delta\rho$  [g/cm<sup>3</sup>] = ABS(((99983.952 + 1695.2577·θ - 0.79905127·θ<sup>2</sup> - 4.6241757E-3·θ<sup>3</sup> + 1.0584601E-5·θ<sup>4</sup> - 2.8103006E-8·θ<sup>5</sup>) / (1e5 + 1688.7236·θ)) - (1.18621-1.47573E-3·(θ+273.15)+2.08566E-6·(θ+273.15)^2 - 2.61945E-9·(θ+273.15)^3))' verwendet.

Tabelle 2: Zu Berechnung und Klassifikation der einzelnen Messwerte

N°	$F_{max}$ [mN]	$F_{bz}$ [mN]	$f_k$ -	$v_z$ [mm·s <sup>-1</sup> ]	$X$ [mm]	$t_x$ [s]	$\Omega K$ -
1.	0,4763	-0,0186	0,8834 h	6,31E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
2.	0,4890	-0,0118	0,8838 h	6,74E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
3.	0,4998	-0,0029	0,8834 h	6,85E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
4.	0,5129	0,0000	0,8844 h	6,52E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
5.	0,5237	0,0069	0,8843 h	6,83E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
6.	0,5340	0,0127	0,8844 h	7,26E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
7.	0,5449	0,0177	0,8847 h	7,04E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
8.	0,5558	0,0226	0,8851 h	5,98E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
9.	0,5645	0,0294	0,8848 h	6,68E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
10.	0,5765	0,0363	0,885 h	6,97E-3	-	-	<sup>1</sup> pS

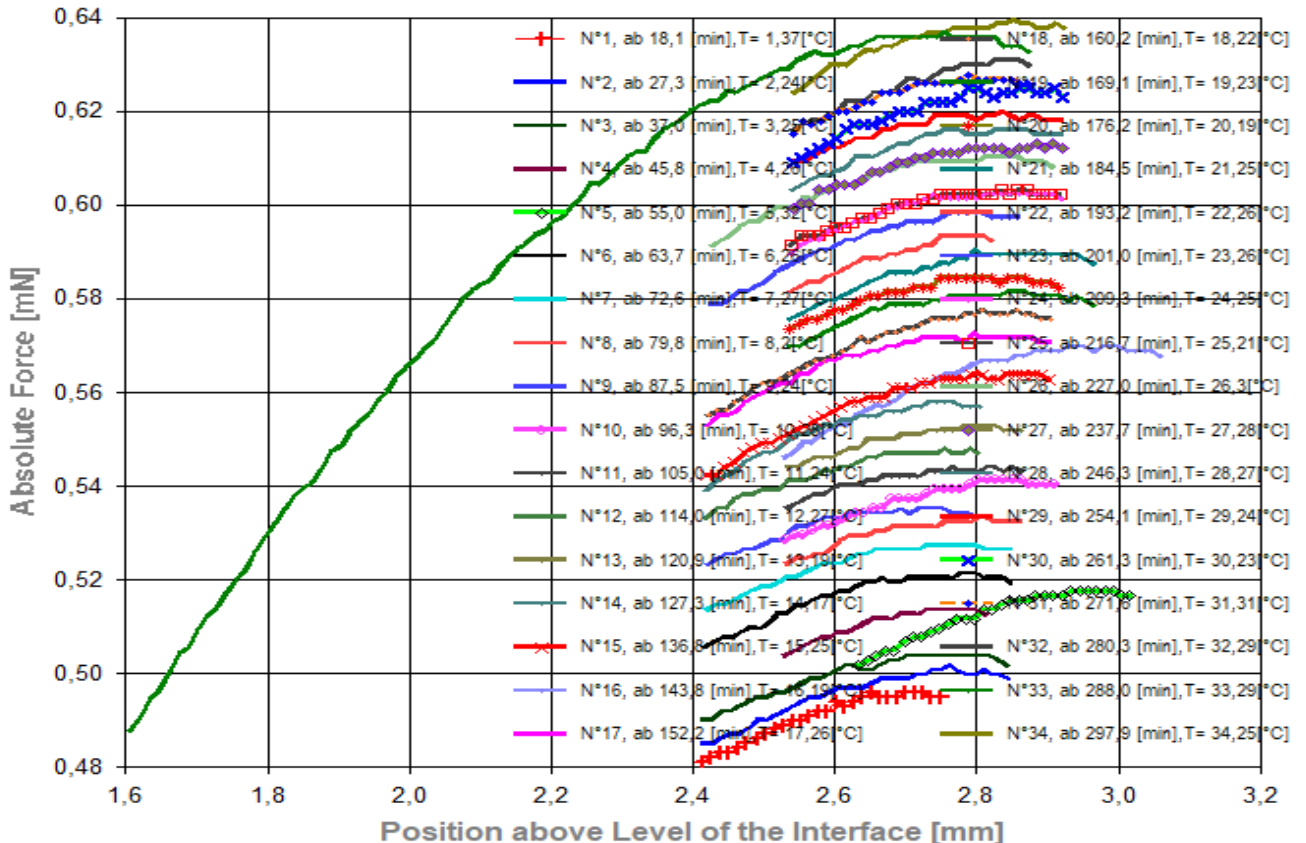
11.	0,5862	0,0422	0,885 h	6,48E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
12.	0,5911	0,0432	0,8851 h	7,08E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
13.	0,5973	0,0451	0,8852 h	6,71E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
14.	0,6059	0,0490	0,8854 h	7,36E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
15.	0,6225	0,0588	0,8858 h	6,49E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
16.	0,6325	0,0628	0,8861 h	6,27E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
17.	0,6413	0,0687	0,8861 h	6,54E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
18.	0,6504	0,0736	0,8862 h	6,78E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
19.	0,6600	0,0785	0,8864 h	7,25E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
20.	0,6658	0,0824	0,8862 h	7,11E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
21.	0,6761	0,0863	0,8866 h	7,12E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
22.	0,6835	0,0912	0,8865 h	6,45E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
23.	0,6916	0,0942	0,8867 h	6,70E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
24.	0,6994	0,0981	0,8868 h	7,00E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
25.	0,7051	0,1020	0,8867 h	7,03E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
26.	0,7160	0,1059	0,8871 h	5,97E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
27.	0,7241	0,1118	0,887 h	6,61E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
28.	0,7311	0,1157	0,887 h	5,48E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
29.	0,7389	0,1197	0,8871 h	6,17E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
30.	0,7484	0,1236	0,8873 h	6,44E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
31.	0,7593	0,1324	0,8872 h	7,01E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
32.	0,7713	0,1412	0,8873 h	6,76E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
33.	0,7869	0,1501	0,8875 h	6,05E-3	-	-	<sup>1</sup> pS
34.	0,8027	0,1638	0,8875 h	6,77E-3	-	-	<sup>1</sup> pS

$F_{max}$  gibt den korrigierten Messwert der Maximalkraft an; dessen Kraftbezugswert wird mit  $F_{bz}$  ausgegeben (Berechnung:  $\gamma = f_c \cdot f_k \cdot (F_{max} - F_{bz}) / (4\pi \cdot R)$ ). 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 ('h' 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**, 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 **tx** dafür den relativen Zeitpunkt an.

Die Angabe **ΩK** ist das Klassifizierungskennzeichen der Messkurve: <sup>1</sup> steht für eine Messkurve mit wenigen Sekunden zuvor frisch ermittelter Bezugskraft; bei <sup>2</sup> wurde die Bezugskraft übernommen; <sup>3</sup> 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.

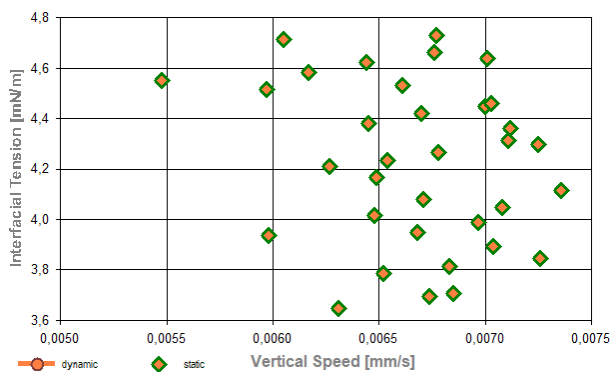
DIN 53993 - zur Bestimmung der Grenzflächenspannung - fordert für den Prüfbericht den Hinweis auf die Norm und einen Teil der hier gegebenen Angaben. Mit dem Hinweis auf den durchgängigen Einsatz des **Absolutverfahrens** gilt auch Konformität mit ASTM D 1331 und ISO 6889. Zusätzliche Angaben zu Art, 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 Grenzflächenspannung - 'Spannungsbögen'<sup>21</sup>



- Im Diagramm "Spannungsbögen<sup>2</sup>" werden die zu Grunde liegenden einzelnen Kraftmesswerte als 'Messkraft' gegen 'Lamellenhöhe' für alle Messpunkte der 34 Messkurven dargestellt. Eine Messkurve beschreibt einen Grenzflächenspannungswert. Die Lamellenhöhe ist der über Kraft, Dichte und Gefäßoberfläche korrigierte Abstand der Ebene der Ringoberseite zum Nullniveau der Grenzfläche. Qualität und Korrektheit einer Messung zeichnen sich durch glatte, konvexe Kurvenzüge im Bereich der Kraftmaxima aus.

- Diagramm 6. Z-Geschwindigkeit beim Lamellenauszug - 'GFS-Geschwindigkeitsabhängigkeit<sup>2</sup>'



- Das Chart "GFS-Geschwindigkeitsabhängigkeit<sup>2</sup>" zeigt die Abhängigkeit der Grenzflächenspannung von der Auszugsgeschwindigkeit an. Dynamisch bzw. statisch bestimmte Messwerte werden separiert dargestellt. Bei (quasi-)statischen Lamellenauszügen wird die angegebene Geschwindigkeit über die Messpositionen gemittelt; Geschwindigkeiten bei dynamischer Messung werden als unkorrigierte Verfahrgeschwindigkeiten der Plattform angegeben.

**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 "GFS-TempGrad\_Emax", type 2/28. Measuring process performed accordingly.

## Prüfmittel

Das Wägesystem (WZ224-CW) wurde zuletzt eine Minute nach Beginn dieser Messung von imeter justiert.

**IMETER ID16405542: Technische Daten:** Auflösung des Wägesystems 0,1 mg, Messunsicherheit (Linearität) 0,2 mg, Dichte der Justiermasse  $\rho_{cal}$  8,000 g/cm<sup>3</sup>, Luftdichte  $\rho_{air}$  1,2 kg/m<sup>3</sup>; Schwerebeschleunigung  $g$  9,80769 m/s<sup>2</sup>. Die Messauflösung der Temperaturmessung beträgt 0,01 K, die Unsicherheit 0,03 K. Akquisitions-Softwareversion IMETER 4.1.100, LizenzN° \*3037-4759\*, Windows 5.1- Betriebssystem auf PC Ser.N°143431694 (C, iTop).

## • 5. Kommentar/Bewertung/Interpretation

**Ein positiver Temperaturgradient der Grenzflächenspannung. Evtl. erklärt dieses Verhalten, warum manche Tenside gute Detergenzien in der Kälte sind. Ob es andere Anwendungen für dieses Ausnahmeverhalten gibt, etwa Transport durch Koaleszenz bei Kälte und Phasenseparation in der Hitze?**

"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.