

# ID N° 22105 - Contact Angle Measurement - M4<sup>s+</sup>

## AgMark10-Stab (Squenz v)

statische Messung, 0.2mm Abtastung. - Ø8.00 Reinsilber-Zylinderstab mit scharfer Radius-Stufe zwischen h=10.0 bis h=12.0mm. Fugenbreite 2.0mm, Ort 10mm von Stabanfang, dort Ø7.63mm (dr=0.185mm).

• Silber / Isooktan 99.5+% : (20,0°C, 16,7', 20mm, 0,0464mm/s - static;  $\theta$ -superwetting)

$\theta_{C,s} = 0 \pm 0^\circ$  CAH  $0^\circ$ ,  ${}^a\bar{E}_s = 20,215 \pm 0,078$  mN/m  ${}^aH_s = -0,635$  mN/m,  $\bar{B}_{\%s} = 107,8\%$

## Report

### 1. ===== Introduction =====

**Principle:** The M4 contact angle measurement using the *modified Wilhelmy method* is based on force measurements on a cuboid or cylindrical solid body brought into contact with a liquid surface. The contact line between the solid, the liquid surface, and the gas phase is called the three-phase boundary line (triple line), and the angle at which the liquid surface meets the three-phase boundary line is the contact angle  $\theta$  (theta). The relative position of the three-phase boundary line-above, on, or below the surrounding liquid level-reflects the surface energy characteristics and is indicated by the resulting curvature of the meniscus. The weight of this meniscus curvature is determined gravimetrically, taking buoyancy forces into account, and is related to the length of the three-phase boundary line. With perfect wetting ( $\theta=0^\circ$ ), this specific force reaches a maximum value, which corresponds to the surface tension of the liquid; with poor wettability ( $\theta>90^\circ$ ), however, this wetting force becomes negative. Energetic interactions between the solid and liquid phases are thus made visible through the contact angle (normally). When the solid body is immersed, the *triple line scans the solid surface*, yielding the advancing contact angle ( $\theta_A$ ), and when it is withdrawn, the receding contact angle ( $\theta_R$ ) is obtained - measured by force of wetting. The difference ' $\theta_A - \theta_R$ ' is called the contact angle hysteresis (CAH).

**Physically:** The Wilhelmy equation  $\cos\theta_{(A|R)} = {}^aF / (p \cdot \gamma)$  describes the relationship between the contact angle  $\theta$ , the perimeter of the solid  $p$ , the wetting force  ${}^aF$ , and the surface tension of the liquid  $\gamma$ . Adhesion tension  ${}^aE$  is defined according  ${}^aE_{A,R} = m_{\text{meniscus}} \cdot g / p = {}^aF / p = \gamma \cdot \cos\theta = \gamma_s - \gamma_{sl}$

**Practically:** In this measurement, after the position of contact of liquid and solid has been determined, the 'Silber' test specimen is moved into and out of the Isooktan 99.5+% liquid by incremental movements attended by 'CLT'(Constant-Level-Technic). This allows the determination of *most accurate static contact angles or rather of adhesion energy*  ${}^aE_s$ . Furthermore, a defined force stabilization can be maintained before each subsequent movement. This enables *static contact angle* measurement based on the patent DE 4412405, which provides the often required equilibrium measurements in accordance with physical principles. This control technology yields a stabilization time for levelling and for each of the selected 76 measuring positions, the respective contact angle  $\theta_{A,s}$  or  $\theta_{R,s}$  is calculated independently. As relative wettability ( $B_{\%s}$ ) exceeds the mark +100% this measurement may indicate occurrence of superwetting, where *adhesion energy*  ${}^aE_s$  enables further analysis.

**Information:** The IMETER M4 method description, available at '<https://imeter.de/?view=article&id=46>', provides information on procedures and calculations.

### 3. ===== Static Contact Angle =====

Silber, cylindric Ø8,0mm

20mm Silber \ Isooktan 99.5+%,  $\gamma = 18,75$  mN/m  $\vartheta = 20,0^\circ\text{C}$

Contact Angle, CA $\theta_C$	<0 ±0°>		- superwetting -
Contact Angle Hysteresis, CAH <sub>s</sub>	<0°>		
Contact Angles, $\theta_s$	Advancing $\theta_{A,s}$	Receding $\theta_{R,s}$	Transition - mm
Rated measurements $n_{\text{mm-range}}$	38 0,000 - 7,400mm	38 7,400 - 0,000mm	2 20,001 - 19,951mm
avg. Triple line speed $\bar{v}_z$ [mm/s]	0,0464 ±0,0252	-0,0395 ±0,754	
avg. Step distance $\bar{\Delta}h_0$ [mm]	0,200 ±9,95E-05	-0,178 ±0,0536	
avg. equilibration Time $\bar{t}_{eq}$ [s]	3,40 ±0,233	3,56 ±0,892	
Energy of Adhesion, ${}^a\bar{E}_s = ({}^aE_A + {}^aE_R) / 2$	20,215 ±0,078 mN/m		
Hysteresis, ${}^aH_s = {}^aE_A - {}^aE_R$	-0,635 mN/m		
Parameter of spreading, $\bar{S}_s = {}^a\bar{E} - \gamma$	1,464 mJ/m <sup>2</sup>		
relative wettability, $\bar{B}_{\%s} = 100 \cdot {}^a\bar{E} / \gamma$	107,8% with Isooktan 99.5+%		
Energy of Adhesion, ${}^aE_s$ [mN/m]	Advancing ${}^aE_{A,s}$	Receding ${}^aE_{R,s}$	Transition - mm
Standard deviation ${}^a\sigma$ [mN/m]	19,897	20,532	23,065 <sub>&lt;adv.&gt;</sub> ⇒ 23,169 <sub>rec.</sub>
Relative wettability, $B_{\%s}$	106,1%	109,5%	±0

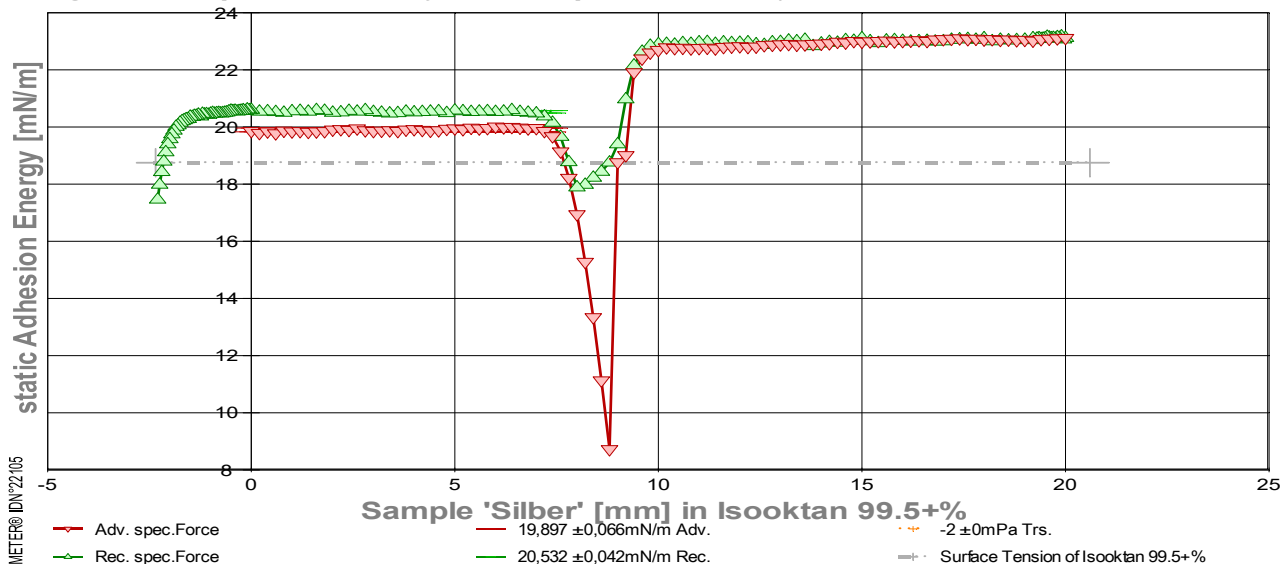
Static Contact Angle Measurement: For superwetting - consider adhesion parameters for analysis. The avg. equilibration Time  $t_{eq}$  is the mean of the time between positioning and acquiring the wetting force. The criterion of force equilibrium is defined in the utilized IMPro.

### Adhesion Force of the equilibrated Triple Line

Energy of Adhesion, ${}^aE_s$ [mN/m]	Advancing ${}^aE_{A,s}$	Receding ${}^aE_{R,s}$	Transition - mm
Standard deviation ${}^a\sigma$ [mN/m]	19,897	20,532	23,065 <sub>&lt;adv.&gt;</sub> ⇒ 23,169 <sub>rec.</sub>
Relative wettability, $B_{\%s}$	106,1%	109,5%	±0

Data has left the region of measurable Contact Angles. resolving a kind of superwetting:  ${}^aE_{A,R} > \gamma \cdot \cos\theta$  and wettability  $B > 100\%$

- Diagramm 1.3: 'Triple-line Force<sup>2</sup>' static forces at the triple line,  $\bar{v}_z = 0,043$  mm/s



- Das Diagramm zeigt den Verlauf der Adhäsionsenergie  ${}^aE$  entlang der Probenoberfläche. Den Messwerte werden bei unbewegtem Pegel des Fluids am Probekörper als statische

Gleichgewichtszustände bestimmt. Die roten  $\nabla$ -Markierungen stehen für adv.-Messwerte (Eintauchen; von links rechts aufgetragen), grüne  $\Delta$ -Markierungen gehören zu rec.-Werten (Rückzugsbewegung; von rechts nach links laufend). Die Oberflächenspannung von Isooktan 99.5+% ist als grau gestrichelte Horizontale bei 18,75 mN/m eingezeichnet; sie gibt die *maximale Zugfestigkeit* an, die eine flüssige Isooktan 99.5+%-Oberfläche aushalten kann. Aber, die Adhäsionsenergie zwischen Isooktan 99.5+% und Silber übersteigt die Oberflächenspannung. Diese *Überbenetzung (Superwetting)* ist gekennzeichnet durch die *Kontaktwinkelproblematik*, da offensichtlich  $\cos(\theta) > 1$  eintritt. Falls andere Störeinflüsse (ggf. elektrostatische, rheologische) auszuschließen sind, kommen Grenzschicht- und/oder tribologische Effekte in Betracht, die den lokalen Wert der Oberflächenspannung raumgreifend - oder den Wert einer ungeklärten Zusatzkraft an der *Triple Line* - steigern und das Geschehen beeinflussen könnten.

#### 4. ===== Details on the Measurement and Setup =====

**Sample:** 'Silber', **Form:** cylindric, diameter 8,0 mm.

**Test Liquid:** 'Isooktan 99.5+%' at 20,01°C: density 0,69190 g/mL, surface tension 18,75 mN/m, viscosity 0,4959 mPa·s; Capillary length 1,66 mm.

**Suspension/Fixation:** by operator.

**Vessel:** tempered double wall measuring cell, height 140 mm, inclosing sample and liquid at coherent temperature and atmosphere;

Surface area  $\infty$  by CLT. - The 'CLT' Constant-Level-Technic prevents rising/falling of the Isooktan 99.5+%-level in the vessel (surface 1452mm<sup>2</sup>) through immersion/emersion of the sample volume in the vessel by appropriate pumping of Isooktan 99.5+%.

**Conditioning:** during 0,9 min in the measuring cell above the surface of the liquid.

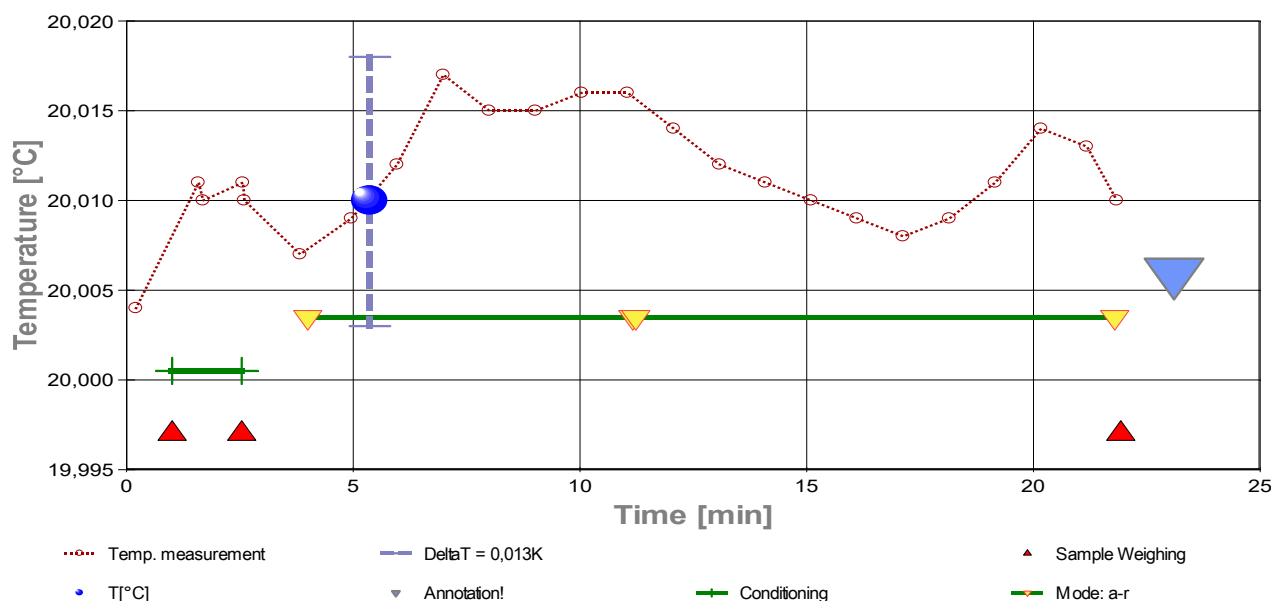
**Sample Weight:** at start 29,0633 g, after conditioning 29,0635 g, after the measurement 29,0719 g.

Gain in weight during conditioning 0,0002 g (+7,2 ppm) and after measurement 0,0086 g (+0,30‰).

**Measurement algorithm:** static CA-measurement, acquisition of equilibrated values, stepwise movement. Maximum immersion of 20,001 mm and force equilibration at the inflection point for 3,9 s. Duration for immersion 7,2 min, for emersion 9,5 min.

**Time & Temperature:** Messdauer 20 Minuten; Temperaturverlauf blieb im gesamten Zeitraum in etwa isotherm bei 20,01°C.  $\nabla$

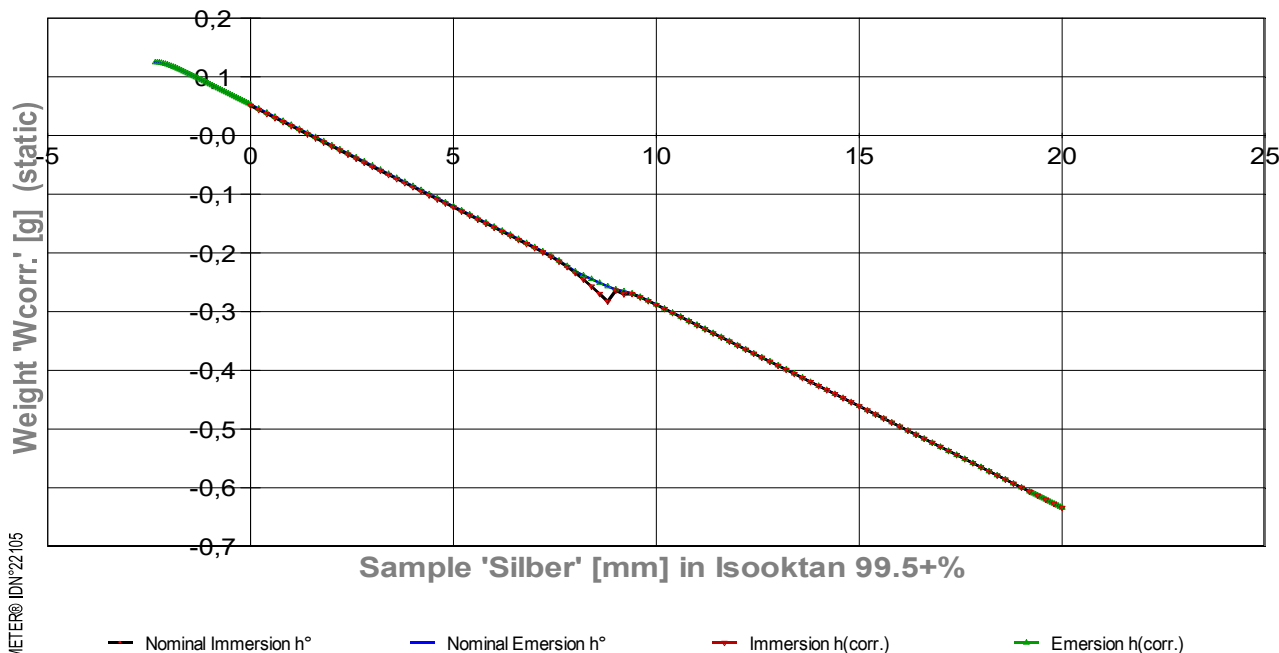
Diagramm 2.4: 'Temperature & Events<sup>21</sup>' -- Survey on Temperature and Time



- Das Diagramm "Temperature & Events<sup>21</sup>" dokumentiert neben der Flüssigkeitstemperatur der Messfluids (Isooktan 99.5+%) die zeitliche Abfolge der Verfahrensschritte. Die Temperaturmesswerte sind als kleine Kreise abgebildet; die kugelförmige Marke gibt die der Messung insgesamt zugeordnete Temperatur an (20,01°C). Markierungen auf der horizontalen grünen Linie bilden das Zeitintervall der Konditionierung ab, das auf das Einsetzen der Probe folgt. Weitere gelbe Dreiecke auf der grünen Horizontalen bezeichnen die Schaltung jeweiliger Messmodi ('a-r' bedeutet *Advancing*- und *Receding*-Bewegung). Die roten Dreiecke, unten im Diagramm, markieren die Zeitpunkte der Probenwägung von Silber (ohne Kontakt zur Fluidoberfläche). Das blaue Dreieck referiert eine **Protokollierung des Prüfers**:

23,1' : "Störung" erzeugt bleibende "Hysterese"

- Diagramm 3.4: 'RawData<sup>21</sup>' -- Acquired weights during immersion and emersion (raw data and immersion corrected lengths)



IMETER® IDN<sup>22</sup>/05

- Im Diagramm "RawData<sup>21</sup>" werden die Wägewerte zur statischen Kontaktwinkelmessung gegen die Eintauchtiefe der Probe abgebildet. Von den Roh-Wägewerten  $W_{RAW}$  wurden Proben- und

Aufhängungsgewichte subtrahiert, so dass hier die *Gewichte* der Detektoren und Auftriebskräfte abgebildet werden ( $W_{corr.}$ ). Die Kurvenverläufe fallen mit der Eintauchtiefe  $h$  (*immersion depth*) ab, indes der Volumenauftrieb des eintauchenden Probekörpers zunimmt. Im Diagramm sind Wägewerte für die advancing- und receding-Bewegung eingetragen, sowohl für nominelle ( $h_0$ ) und für korrigierte Eintauchtiefen ( $h_{corr.}$ ). Die roten Dreiecke bezeichnen die Messwerte bei  $h_{corr.}$  bei der Vorwärtsbewegung (adv.), die grünen Dreiecke gehören zu Auszugsbewegungen (rec.). Durch 'CLT' (die *Constant-Level-Technic*) wird die Pegelveränderung besonders durch das ein- und austauchendes Probenvolumen simultan kompensiert, sodass die nominelle Eintauchtief mit der tatsächlichen identisch ist; die Kurven sind deshalb praktisch deckungsgleich. Weiterhin zeigt das Diagramm noch Werte zu *negativen Eintauchtiefen*. Diese Wertepaare gehören der *Kapillarbrücke* ( $cb = capillary bridge$ ) an, die sich beim Herausziehen der Probe über das Flüssigkeitsniveau deutlich ausbilden kann; besonders, wenn das Probenende scharfkantig ist.

## 5. ===== Table of raw data and results =====

The table below provides the data for each contact angle measuring position in this run ( $n=260$ ). - Within a row the column  $t$  lists the time of the CA-measurement.  $t_{eq.}$  is the duration reach the equilibrated force after positioning (static measurement). The nominal distance between the sample bottom flatface and the liquid surface is given by  $h_0$ , whilst  $h_{corr.}$  shows the corrected immersion depth-*due to CLT the values are the same*. With  $W_{RAW}$  the final total weight of the sample, sample holder, wetting force and buoyancy is written. The  $W_{corr.}$ -values\* are former weighing values when the weight of the sample and its holder is subtracted. After buoyancy-correction,  ${}^aF$  is the force exerted on the triple line. The Energy of Adhesion  ${}^aE_{A,R} = {}^aF/p$  is the force of adhesion per meter of the circumference ( $p$ ) of the sample.  $\theta$  is the Contact Angle. The last column indicates by **chr** the advancing resp. receding state; **cb** tags values of a 'capillary bridge' above the surface-level.

(Resolving static force of wetting from  ${}^aF = (W_{RAW} - W_0 - W_{Buoy.}) \cdot g + F_{Buoy.air}$ ) \* $W_{corr.} = W_{RAW} - W_0$  (with  $W_0 = 29,0635$  g).

Tabelle 3.5: Data table

N°	$t$ [min]	$t_{eq.}$ [sec]	$h_0$ [mm]	$h_{corr.}$ [mm]	$W_{RAW}$ [g]	$W_{corr.}$ [g]	${}^aF$ [mN]	${}^aE_{A,R}$ [mN/m]	$\theta$ [°deg]	chr
1.	0,00	3,4	0,000	0,000	29,1144	0,0509	0,4991	19,86	0	a
2.	0,07	3,4	0,200	0,200	29,1073	0,0438	0,4975	19,79	0	a
3.	0,14	3,2	0,400	0,400	29,1005	0,0370	0,4988	19,85	0	a
4.	0,21	3,3	0,600	0,600	29,0934	0,0299	0,4972	19,78	0	a
5.	0,28	3,0	0,800	0,800	29,0867	0,0232	0,4994	19,87	0	a
6.	0,35	3,3	1,000	1,000	29,0797	0,0162	0,4988	19,85	0	a
7.	0,42	3,1	1,200	1,200	29,0728	0,0093	0,4991	19,86	0	a
8.	0,49	3,3	1,400	1,400	29,0658	0,0023	0,4985	19,83	0	a
9.	0,56	3,2	1,600	1,600	29,0589	-0,0046	0,4988	19,85	0	a
10.	0,63	3,3	1,800	1,800	29,0520	-0,0115	0,4991	19,86	0	a
11.	0,70	3,3	2,000	2,000	29,0452	-0,0183	0,5004	19,91	0	a
12.	0,77	3,4	2,200	2,200	29,0383	-0,0252	0,5008	19,93	0	a
13.	0,84	3,3	2,400	2,400	29,0313	-0,0322	0,5001	19,90	0	a
14.	0,91	3,3	2,600	2,600	29,0245	-0,0390	0,5014	19,95	0	a
15.	0,98	4,2	2,800	2,800	29,0174	-0,0461	0,4998	19,89	0	a
16.	1,06	3,1	3,000	3,000	29,0104	-0,0531	0,4991	19,86	0	a
17.	1,13	3,6	3,200	3,200	29,0035	-0,0600	0,4995	19,87	0	a
18.	1,21	3,4	3,400	3,400	28,9966	-0,0669	0,4998	19,89	0	a
19.	1,28	3,4	3,600	3,600	28,9896	-0,0739	0,4991	19,86	0	a
20.	1,35	3,4	3,800	3,800	28,9828	-0,0807	0,5005	19,91	0	a
21.	1,42	3,3	4,000	4,000	28,9759	-0,0876	0,5008	19,93	0	a
22.	1,49	3,2	4,200	4,200	28,9689	-0,0946	0,5001	19,90	0	a
23.	1,56	3,2	4,400	4,400	28,9619	-0,1016	0,4995	19,87	0	a
24.	1,62	3,2	4,600	4,600	28,9550	-0,1085	0,4998	19,89	0	a
25.	1,69	3,4	4,800	4,800	28,9482	-0,1153	0,5011	19,94	0	a
26.	1,76	3,4	5,000	5,000	28,9413	-0,1222	0,5014	19,95	0	a
27.	1,83	3,5	5,200	5,200	28,9343	-0,1292	0,5008	19,93	0	a
28.	1,91	3,2	5,400	5,400	28,9275	-0,1360	0,5021	19,98	0	a
29.	1,97	3,8	5,600	5,600	28,9205	-0,1430	0,5014	19,95	0	a
30.	2,06	3,5	5,800	5,800	28,9136	-0,1499	0,5018	19,96	0	a
31.	2,13	3,5	6,000	6,000	28,9068	-0,1567	0,5031	20,02	0	a
32.	2,21	3,3	6,200	6,200	28,8998	-0,1637	0,5024	19,99	0	a
33.	2,28	3,6	6,400	6,400	28,8929	-0,1706	0,5027	20,00	0	a
34.	2,35	3,2	6,600	6,600	28,8859	-0,1776	0,5021	19,98	0	a
35.	2,42	3,2	6,800	6,800	28,8789	-0,1846	0,5015	19,95	0	a
36.	2,49	3,4	7,000	7,000	28,8720	-0,1915	0,5018	19,97	0	a
37.	2,56	3,4	7,200	7,200	28,8648	-0,1987	0,4992	19,86	0	a
38.	2,63	3,8	7,400	7,400	28,8574	-0,2061	0,4946	19,68	0	a
39.	2,71	3,3	7,600	7,600	28,8491	-0,2144	0,4812	19,15	0	a
40.	2,78	3,4	7,800	7,800	28,8398	-0,2237	0,4580	18,22	13,62	a
41.	2,85	3,2	8,000	8,000	28,8296	-0,2339	0,4259	16,95	25,33	a
42.	2,92	3,5	8,200	8,200	28,8184	-0,2451	0,3841	15,28	35,40	a
43.	2,99	4,2	8,400	8,400	28,8065	-0,2570	0,3354	13,34	44,63	a
44.	3,08	3,4	8,600	8,600	28,7939	-0,2696	0,2798	11,13	53,57	a
45.	3,15	3,8	8,800	8,800	28,7808	-0,2827	0,2193	8,73	62,26	a
46.	3,23	3,6	9,000	9,000	28,7996	-0,2639	0,4717	18,77	0	a
47.	3,30	3,3	9,200	9,200	28,7933	-0,2702	0,4779	19,02	0	a
48.	3,37	3,2	9,400	9,400	28,7938	-0,2697	0,5508	21,92	0	a
49.	3,44	3,2	9,600	9,600	28,7881	-0,2754	0,5629	22,40	0	a
50.	3,51	3,5	9,800	9,800	28,7817	-0,2818	0,5682	22,61	0	a
51.	3,58	3,4	10,000	10,000	28,7750	-0,2885	0,5704	22,70	0	a
52.	3,65	3,1	10,200	10,200	28,7683	-0,2952	0,5727	22,79	0	a
53.	3,72	3,3	10,400	10,400	28,7613	-0,3022	0,5721	22,76	0	a
54.	3,79	3,3	10,600	10,600	28,7544	-0,3091	0,5724	22,78	0	a
55.	3,86	3,4	10,800	10,800	28,7474	-0,3161	0,5718	22,75	0	a
56.	3,93	3,2	11,000	11,000	28,7405	-0,3230	0,5721	22,76	0	a
57.	4,00	4,2	11,200	11,200	28,7336	-0,3299	0,5724	22,78	0	a
58.	4,09	3,3	11,400	11,400	28,7266	-0,3369	0,5718	22,75	0	a
59.	4,16	3,2	11,600	11,600	28,7198	-0,3437	0,5731	22,80	0	a
60.	4,23	3,6	11,800	11,800	28,7129	-0,3506	0,5734	22,82	0	a
61.	4,30	3,3	12,000	12,000	28,7060	-0,3575	0,5737	22,83	0	a
62.	4,37	3,2	12,200	12,200	28,6990	-0,3645	0,5731	22,80	0	a
63.	4,44	3,2	12,400	12,400	28,6921	-0,3714	0,5734	22,82	0	a
64.	4,51	3,2	12,600	12,600	28,6853	-0,3782	0,5747	22,87	0	a
65.	4,57	3,4	12,800	12,800	28,6784	-0,3851	0,5751	22,88	0	a
66.	4,64	3,1	13,000	13,000	28,6715	-0,3920	0,5754	22,89	0	a
67.	4,71	3,2	13,200	13,200	28,6646	-0,3989	0,5757	22,91	0	a
68.	4,78	3,4	13,400	13,400	28,6576	-0,4059	0,5751	22,88	0	a
69.	4,85	3,5	13,600	13,600	28,6507	-0,4128	0,5754	22,89	0	a
70.	4,92	3,3	13,800	13,800	28,6438	-0,4197	0,5757	22,91	0	a
71.	4,99	3,2	14,000	14,000	28,6369	-0,4266	0,5760	22,92	0	a

72.	5,06	3,8	14,200	14,200	28,6300	-0,4335	0,5764	22,93	0	a
73.	5,14	3,2	14,400	14,400	28,6232	-0,4403	0,5777	22,98	0	a
74.	5,21	3,6	14,600	14,600	28,6162	-0,4473	0,5770	22,96	0	a
75.	5,29	3,3	14,800	14,800	28,6094	-0,4541	0,5783	23,01	0	a
76.	5,36	3,4	15,000	15,000	28,6024	-0,4611	0,5777	22,98	0	a
77.	5,43	3,6	15,200	15,200	28,5955	-0,4680	0,5780	23,00	0	a
78.	5,51	3,3	15,400	15,400	28,5886	-0,4749	0,5783	23,01	0	a
79.	5,57	3,5	15,600	15,600	28,5817	-0,4818	0,5787	23,03	0	a
80.	5,65	3,3	15,800	15,800	28,5747	-0,4888	0,5780	23,00	0	a
81.	5,72	3,6	16,000	16,000	28,5678	-0,4957	0,5784	23,01	0	a
82.	5,79	3,2	16,200	16,200	28,5609	-0,5026	0,5787	23,02	0	a
83.	5,86	3,4	16,400	16,400	28,5540	-0,5095	0,5790	23,04	0	a
84.	5,93	3,5	16,600	16,600	28,5470	-0,5165	0,5784	23,01	0	a
85.	6,01	3,5	16,800	16,800	28,5402	-0,5233	0,5797	23,06	0	a
86.	6,08	3,9	17,000	17,000	28,5333	-0,5302	0,5800	23,08	0	a
87.	6,16	3,6	17,200	17,200	28,5264	-0,5371	0,5803	23,09	0	a
88.	6,23	3,3	17,400	17,400	28,5195	-0,5440	0,5806	23,10	0	a
89.	6,30	3,2	17,600	17,600	28,5125	-0,5510	0,5800	23,08	0	a
90.	6,37	3,2	17,800	17,800	28,5056	-0,5579	0,5803	23,09	0	a
91.	6,45	3,4	18,000	18,000	28,4986	-0,5649	0,5797	23,06	0	a
92.	6,52	3,8	18,200	18,200	28,4917	-0,5718	0,5800	23,08	0	a
93.	6,59	3,5	18,400	18,400	28,4847	-0,5788	0,5793	23,05	0	a
94.	6,67	3,8	18,600	18,600	28,4778	-0,5857	0,5797	23,06	0	a
95.	6,74	3,4	18,800	18,800	28,4708	-0,5927	0,5790	23,04	0	a
96.	6,81	3,3	19,000	19,000	28,4639	-0,5996	0,5793	23,05	0	a
97.	6,88	3,4	19,200	19,200	28,4569	-0,6066	0,5787	23,02	0	a
98.	6,95	3,2	19,400	19,400	28,4501	-0,6134	0,5800	23,08	0	a
99.	7,02	3,2	19,600	19,600	28,4432	-0,6203	0,5803	23,09	0	a
100.	7,09	4,0	19,801	19,801	28,4363	-0,6272	0,5807	23,10	0	a
101.	7,17	3,3	20,001	20,001	28,4294	-0,6341	0,5810	23,12	0	a
102.	7,23	3,5	19,951	19,951	28,4310	-0,6325	0,5797	23,07	0	r
103.	7,30	3,2	19,901	19,901	28,4330	-0,6305	0,5823	23,17	0	r
104.	7,37	3,2	19,851	19,851	28,4346	-0,6289	0,5810	23,12	0	r
105.	7,43	3,1	19,801	19,801	28,4364	-0,6271	0,5817	23,14	0	r
106.	7,49	3,3	19,751	19,751	28,4380	-0,6255	0,5803	23,09	0	r
107.	7,56	3,0	19,701	19,701	28,4398	-0,6237	0,5810	23,12	0	r
108.	7,62	3,1	19,651	19,651	28,4415	-0,6220	0,5807	23,10	0	r
109.	7,68	3,3	19,601	19,601	28,4433	-0,6202	0,5813	23,13	0	r
110.	7,75	3,5	19,551	19,551	28,4451	-0,6184	0,5820	23,16	0	r
111.	7,82	3,2	19,501	19,501	28,4467	-0,6168	0,5807	23,10	0	r
112.	7,88	3,4	19,451	19,451	28,4484	-0,6151	0,5803	23,09	0	r
113.	7,95	3,4	19,401	19,401	28,4501	-0,6134	0,5800	23,08	0	r
114.	8,01	3,6	19,351	19,351	28,4519	-0,6116	0,5807	23,10	0	r
115.	8,08	3,8	19,301	19,301	28,4536	-0,6099	0,5803	23,09	0	r
116.	8,15	3,2	19,251	19,251	28,4552	-0,6083	0,5791	23,04	0	r
117.	8,21	3,5	19,201	19,201	28,4571	-0,6064	0,5807	23,11	0	r
118.	8,29	3,3	19,001	19,001	28,4639	-0,5996	0,5794	23,05	0	r
119.	8,36	3,3	18,801	18,801	28,4708	-0,5927	0,5791	23,04	0	r
120.	8,42	3,4	18,601	18,601	28,4777	-0,5858	0,5787	23,03	0	r
121.	8,50	8,8	18,401	18,401	28,4847	-0,5788	0,5794	23,05	0	r
122.	8,66	3,3	18,201	18,201	28,4915	-0,5720	0,5781	23,00	0	r
123.	8,73	3,6	18,001	18,001	28,4987	-0,5648	0,5807	23,10	0	r
124.	8,80	3,3	17,801	17,801	28,5055	-0,5580	0,5794	23,05	0	r
125.	8,87	3,2	17,601	17,601	28,5125	-0,5510	0,5800	23,08	0	r
126.	8,94	3,2	17,401	17,401	28,5194	-0,5441	0,5797	23,07	0	r
127.	9,01	3,2	17,201	17,201	28,5263	-0,5372	0,5794	23,05	0	r
128.	9,08	3,2	17,001	17,001	28,5331	-0,5304	0,5781	23,00	0	r
129.	9,16	3,3	16,801	16,801	28,5400	-0,5235	0,5777	22,99	0	r
130.	9,23	3,4	16,601	16,601	28,5470	-0,5165	0,5784	23,01	0	r
131.	9,30	3,3	16,401	16,401	28,5539	-0,5096	0,5781	23,00	0	r
132.	9,37	3,2	16,201	16,201	28,5608	-0,5027	0,5777	22,99	0	r
133.	9,44	3,3	16,001	16,001	28,5678	-0,4957	0,5784	23,01	0	r
134.	9,51	3,2	15,801	15,801	28,5748	-0,4887	0,5790	23,04	0	r
135.	9,58	8,2	15,601	15,601	28,5817	-0,4818	0,5787	23,03	0	r
136.	9,73	6,5	15,401	15,401	28,5884	-0,4751	0,5764	22,94	0	r
137.	9,86	3,3	15,201	15,201	28,5955	-0,4680	0,5781	23,00	0	r
138.	9,93	3,5	15,001	15,001	28,6027	-0,4608	0,5807	23,10	0	r
139.	10,00	3,3	14,801	14,801	28,6094	-0,4541	0,5784	23,01	0	r
140.	10,07	3,1	14,601	14,601	28,6164	-0,4471	0,5790	23,04	0	r
141.	10,14	4,0	14,401	14,401	28,6231	-0,4404	0,5768	22,95	0	r
142.	10,22	3,2	14,201	14,201	28,6301	-0,4334	0,5774	22,97	0	r
143.	10,29	4,8	14,000	14,000	28,6369	-0,4266	0,5761	22,92	0	r
144.	10,38	3,5	13,800	13,800	28,6436	-0,4199	0,5738	22,83	0	r
145.	10,46	3,8	13,600	13,600	28,6511	-0,4124	0,5793	23,05	0	r
146.	10,54	5,6	13,400	13,400	28,6579	-0,4056	0,5780	23,00	0	r
147.	10,65	7,1	13,200	13,200	28,6649	-0,3986	0,5787	23,03	0	r
148.	10,78	3,8	13,000	13,000	28,6717	-0,3918	0,5774	22,97	0	r
149.	10,86	3,4	12,800	12,800	28,6786	-0,3849	0,5770	22,96	0	r
150.	10,93	3,7	12,600	12,600	28,6853	-0,3782	0,5748	22,87	0	r
151.	11,01	3,8	12,400	12,400	28,6923	-0,3712	0,5754	22,89	0	r
152.	11,08	3,3	12,200	12,200	28,6994	-0,3641	0,5770	22,96	0	r
153.	11,15	3,8	12,000	12,000	28,7063	-0,3572	0,5767	22,95	0	r
154.	11,23	3,6	11,800	11,800	28,7132	-0,3503	0,5764	22,93	0	r
155.	11,31	3,8	11,600	11,600	28,7202	-0,3433	0,5770	22,96	0	r
156.	11,39	3,2	11,400	11,400	28,7270	-0,3365	0,5757	22,91	0	r
157.	11,45	3,2	11,200	11,200	28,7341	-0,3294	0,5774	22,97	0	r
158.	11,52	3,0	11,000	11,000	28,7410	-0,3225	0,5770	22,96	0	r
159.	11,59	3,6	10,800	10,800	28,7478	-0,3157	0,5757	22,91	0	r
160.	11,66	3,3	10,600	10,600	28,7548	-0,3087	0,5764	22,93	0	r
161.	11,73	3,5	10,400	10,400	28,7616	-0,3019	0,5751	22,88	0	r
162.	11,80	3,4	10,200	10,200	28,7686	-0,2949	0,5757	22,91	0	r
163.	11,87	3,3	10,000	10,000	28,7755	-0,2880	0,5754	22,90	0	r
164.	11,94	3,3	9,800	9,800	28,7823	-0,2812	0,5741	22,84	0	r
165.	12,01	3,4	9,600	9,600	28,7887	-0,2748	0,5688	22,63	0	r
166.	12,08	3,2	9,400	9,400	28,7944	-0,2691	0,5567	22,15	0	r
167.	12,15	4,6	9,200	9,200	28,7983	-0,2652	0,5270	20,97	0	r
168.	12,25	3,3	9,000	9,000	28,8012	-0,2623	0,4874	19,39	0	r
169.	12,32	3,2	8,800	8,800	28,8065	-0,2570	0,4714	18,76	0	r
170.	12,38	3,3	8,600	8,600	28,8126	-0,2509	0,4632	18,43	10,57	r
171.	12,45	3,0	8,400	8,400	28,8190	-0,2445	0,4580	18,22	13,60	r
172.	12,52	3,3	8,200	8,200	28,8253	-0,2382	0,4518	17,98	16,51	r
173.	12,59	3,2	8,000	8,000	28,8320	-0,2315	0,4495	17,89	17,46	r
174.	12,66	3,8	7,800	7,800	28,8412	-0,2223	0,4717	18,77	0	r

175.	12,74	3,2	7,600	7,600	28,8504	-0,2131	0,4940	19,65	0	r
176.	12,81	3,3	7,400	7,400	28,8586	-0,2049	0,5064	20,15	0	r
177.	12,88	3,3	7,200	7,200	28,8661	-0,1974	0,5120	20,37	0	r
178.	12,95	3,3	7,000	7,000	28,8733	-0,1902	0,5146	20,47	0	r
179.	13,02	4,0	6,800	6,800	28,8803	-0,1832	0,5152	20,50	0	r
180.	13,10	3,2	6,600	6,600	28,8873	-0,1762	0,5159	20,53	0	r
181.	13,17	4,1	6,400	6,400	28,8944	-0,1691	0,5175	20,59	0	r
182.	13,25	3,3	6,200	6,200	28,9012	-0,1623	0,5162	20,54	0	r
183.	13,32	3,8	6,000	6,000	28,9081	-0,1554	0,5159	20,53	0	r
184.	13,40	3,3	5,800	5,800	28,9151	-0,1484	0,5165	20,55	0	r
185.	13,47	3,4	5,600	5,600	28,9220	-0,1415	0,5162	20,54	0	r
186.	13,54	3,4	5,400	5,400	28,9289	-0,1346	0,5159	20,53	0	r
187.	13,61	3,5	5,200	5,200	28,9359	-0,1276	0,5165	20,55	0	r
188.	13,68	3,4	5,000	5,000	28,9429	-0,1206	0,5172	20,58	0	r
189.	13,76	3,3	4,800	4,800	28,9496	-0,1139	0,5149	20,49	0	r
190.	13,83	3,8	4,600	4,600	28,9567	-0,1068	0,5165	20,55	0	r
191.	13,90	3,2	4,400	4,400	28,9636	-0,0999	0,5162	20,54	0	r
192.	13,97	3,3	4,200	4,200	28,9705	-0,0930	0,5159	20,53	0	r
193.	14,04	3,0	4,000	4,000	28,9774	-0,0861	0,5155	20,51	0	r
194.	14,11	3,4	3,800	3,800	28,9844	-0,0791	0,5162	20,54	0	r
195.	14,18	3,8	3,600	3,600	28,9912	-0,0723	0,5149	20,49	0	r
196.	14,26	3,3	3,400	3,400	28,9981	-0,0654	0,5145	20,47	0	r
197.	14,33	3,3	3,200	3,200	29,0051	-0,0584	0,5152	20,50	0	r
198.	14,40	3,2	3,000	3,000	29,0121	-0,0514	0,5159	20,53	0	r
199.	14,47	3,8	2,800	2,800	29,0192	-0,0443	0,5175	20,59	0	r
200.	14,55	3,3	2,600	2,600	29,0260	-0,0375	0,5162	20,54	0	r
201.	14,62	3,3	2,400	2,400	29,0330	-0,0305	0,5168	20,56	0	r
202.	14,69	3,3	2,200	2,200	29,0398	-0,0237	0,5155	20,51	0	r
203.	14,76	3,3	2,000	2,000	29,0467	-0,0168	0,5152	20,50	0	r
204.	14,83	3,5	1,800	1,800	29,0538	-0,0097	0,5168	20,56	0	r
205.	14,90	3,3	1,600	1,600	29,0608	-0,0027	0,5175	20,59	0	r
206.	14,97	3,3	1,400	1,400	29,0676	0,0041	0,5161	20,54	0	r
207.	15,04	3,3	1,200	1,200	29,0746	0,0111	0,5168	20,56	0	r
208.	15,11	3,2	1,000	1,000	29,0815	0,0180	0,5165	20,55	0	r
209.	15,18	3,6	0,800	0,800	29,0883	0,0248	0,5152	20,50	0	r
210.	15,25	3,6	0,600	0,600	29,0953	0,0318	0,5158	20,52	0	r
211.	15,33	3,4	0,400	0,400	29,1023	0,0388	0,5165	20,55	0	r
212.	15,40	3,2	0,200	0,200	29,1092	0,0457	0,5161	20,54	0	r
213.	15,47	1,7	0,000	0,000	29,1163	0,0528	0,5178	20,60	0	r
214.	15,51	3,6	-0,050	-0,050	29,1180	0,0545	0,5174	20,59	0	cb
215.	15,59	1,8	-0,100	-0,100	29,1198	0,0563	0,5181	20,61	0	cb
216.	15,63	1,7	-0,150	-0,150	29,1214	0,0579	0,5167	20,56	0	cb
217.	15,68	2,3	-0,200	-0,200	29,1232	0,0597	0,5173	20,58	0	cb
218.	15,73	2,0	-0,250	-0,250	29,1249	0,0614	0,5170	20,57	0	cb
219.	15,77	1,7	-0,300	-0,300	29,1266	0,0631	0,5166	20,56	0	cb
220.	15,82	1,7	-0,350	-0,350	29,1283	0,0648	0,5163	20,54	0	cb
221.	15,86	1,8	-0,400	-0,400	29,1301	0,0666	0,5169	20,57	0	cb
222.	15,91	1,9	-0,450	-0,450	29,1318	0,0683	0,5166	20,55	0	cb
223.	15,96	3,8	-0,500	-0,500	29,1336	0,0701	0,5170	20,57	0	cb
224.	16,04	2,1	-0,550	-0,550	29,1352	0,0717	0,5164	20,55	0	cb
225.	16,08	1,9	-0,600	-0,600	29,1369	0,0734	0,5155	20,51	0	cb
226.	16,13	1,7	-0,650	-0,650	29,1386	0,0751	0,5153	20,50	0	cb
227.	16,18	2,3	-0,700	-0,700	29,1403	0,0768	0,5148	20,48	0	cb
228.	16,25	1,6	-0,750	-0,750	29,1420	0,0785	0,5146	20,47	0	cb
229.	16,29	3,7	-0,800	-0,800	29,1438	0,0803	0,5150	20,49	0	cb
230.	16,36	1,7	-0,850	-0,850	29,1455	0,0820	0,5147	20,48	0	cb
231.	16,41	2,2	-0,900	-0,900	29,1472	0,0837	0,5144	20,47	0	cb
232.	16,46	1,8	-0,950	-0,950	29,1490	0,0855	0,5150	20,49	0	cb
233.	16,51	3,7	-1,000	-1,000	29,1507	0,0872	0,5144	20,47	0	cb
234.	16,58	1,8	-1,050	-1,050	29,1523	0,0888	0,5133	20,43	0	cb
235.	16,63	1,7	-1,100	-1,100	29,1541	0,0906	0,5140	20,45	0	cb
236.	16,67	1,8	-1,150	-1,150	29,1558	0,0923	0,5136	20,44	0	cb
237.	16,72	1,8	-1,200	-1,200	29,1576	0,0941	0,5142	20,46	0	cb
238.	16,77	1,5	-1,250	-1,250	29,1591	0,0956	0,5119	20,37	0	cb
239.	16,81	1,7	-1,300	-1,300	29,1610	0,0975	0,5135	20,43	0	cb
240.	16,85	1,8	-1,350	-1,350	29,1626	0,0991	0,5125	20,39	0	cb
241.	16,90	1,7	-1,400	-1,400	29,1644	0,1008	0,5124	20,39	0	cb
242.	16,95	1,8	-1,450	-1,450	29,1660	0,1025	0,5115	20,35	0	cb
243.	16,99	2,3	-1,500	-1,500	29,1678	0,1042	0,5117	20,36	0	cb
244.	17,04	2,0	-1,550	-1,550	29,1693	0,1058	0,5098	20,28	0	cb
245.	17,09	1,7	-1,600	-1,600	29,1710	0,1075	0,5095	20,27	0	cb
246.	17,14	3,8	-1,650	-1,650	29,1726	0,1091	0,5086	20,24	0	cb
247.	17,21	2,4	-1,700	-1,700	29,1743	0,1108	0,5078	20,20	0	cb
248.	17,27	1,9	-1,750	-1,750	29,1759	0,1124	0,5065	20,15	0	cb
249.	17,32	2,3	-1,800	-1,800	29,1774	0,1139	0,5041	20,06	0	cb
250.	17,37	2,0	-1,850	-1,850	29,1790	0,1155	0,5028	20,01	0	cb
251.	17,42	1,7	-1,900	-1,900	29,1804	0,1169	0,4995	19,88	0	cb
252.	17,47	1,8	-1,950	-1,950	29,1818	0,1183	0,4962	19,74	0	cb
253.	17,51	1,6	-2,000	-2,000	29,1831	0,1196	0,4919	19,57	0	cb
254.	17,56	1,6	-2,050	-2,050	29,1844	0,1209	0,4875	19,40	0	cb
255.	17,60	1,7	-2,100	-2,100	29,1854	0,1219	0,4804	19,12	0	cb
256.	17,64	1,6	-2,150	-2,150	29,1863	0,1228	0,4722	18,79	0	cb
257.	17,69	1,7	-2,200	-2,200	29,1871	0,1236	0,4631	18,42	10,69	cb
258.	17,73	1,8	-2,250	-2,250	29,1877	0,1242	0,4519	17,98	16,46	cb
259.	17,78	1,8	-2,300	-2,300	29,1881	0,1246	0,4388	17,46	21,38	cb
260.	17,83	1,6	-2,350	-2,350	29,1881	0,1246	0,4218	-	26,48	cb

Die Rückzugs- bzw. Receding- Bewegung ist aus 2 Zügen zusammengesetzt.

**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 "ContactAngle\_atConstantLevel", type 4/4. IMPro finished as projected.  
(the digital twin of process IDN\*22105 provides on demand reports with more details, audit-log protocol and structured raw data)

Das Wägesystem (WZA224) wurde 1,9 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  $\rho_{\text{cal}}$  8,00 g/cm<sup>3</sup>, Luftdichte  $\rho_{\text{air}}$  vgl. Tabelle unten; Schwerebeschleunigung  $g$  9,80769 m/s<sup>2</sup>. Pt100-Temperaturmessung: Auflösung 0,001 K, Messunsicherheit  $\pm 0,01$  K,  $R^\circ$  100.0056  $\Omega$ , Kalibrierintervall 30 min (BN<sup>o</sup>1, -41/200°C, 3S, FS15,8, Korrekturfunktion:  $-0,0054 + 0,997591 \cdot \vartheta + 2,20165E-05 \cdot \vartheta^2 - 4,78431E-08 \cdot \vartheta^3$ ). Die Messauflösung der sekundären Temperaturmessung beträgt 0,01 K, die Unsicherheit 0,03 K. Akquisitions-Softwareversion IMETER 7.4.20, LizenzN<sup>o</sup> \*3037-4759\*, W. 6.2,9200- Betriebssystem auf PC Ser.N<sup>o</sup>6995684 (C, SSD).

### Meteorologische Angaben, Luftdichte:

Time [min]	$\phi$ [%]	$T_a$ [°C]	$p_a$ [kPa]	$\rho_{\text{air}}$ [kg/m <sup>3</sup> ]
0,2	50,35	24,63	95,87	1,11495

Obige Zusammenstellung gibt die Aufzeichnung der Atmosphärendaten für den Aufstellort wieder; darin bedeuten  $\phi$  relative Luftfeuchte (r.H.),  $T_a$  Lufttemperatur und  $p_a$  absoluter Luftdruck,  $\rho_{\text{air}}$  die Luftdichte; Die Luftdichte wird dabei aus den Druck-, Temperatur- und Luftfeuchtwerten berechnet.