



IMETER Komponenten

i-SIF - IMETER Sensorinterface



- ❖ **Temperatur: -50 bis 200°C zu 0.001 °C**
- ❖ **Luftdruck: 20 - 115 kPa zu 0.0001 kPa**
- ❖ **Luftfeuchte: 0 - 100% in 0.001 %**

I-SIF ergänzt die Sensorik von IMETER insbesondere durch eine sehr genaue Temperaturmessung.

Zusätzlich können Luftdruck, Luftfeuchte, Lufttemperatur und mithin die Luftdichte gemessen werden.

Das IMETER-Framework kann mehrere I-SIF-Komponenten parallel nutzen. Damit erschließt I-SIF im IMETER-Framework zusätzlich Anwendungsmöglichkeiten.

Die I-SIF Funktionen sind in IMETER-Messprogrammen (IMPro) direkt ansprechbar; Sensor- bzw. Messdaten können frei für Steuerungszwecke, Messung zusätzlicher Eigenschaften, zu Protokollierung und Datalogging verwendet werden.

Dokument Versionsnummer: **V 2.3**

Änderungen gegenüber V 1: **Parallelbetrieb mehrerer I-SIFs verbessert und vereinfacht, neue IMPro-eigenschaften und Methoden, Justiertechnik.**

Info Standort: <https://IMETER.de/10-prodbeschr/ISIF/ISIF.html>

Übersicht

I-SIF ist eine IMETER- Systemkomponente, die über einen hochauflösenden AD-Wandler, analoge Signale in das IMETER-Framework integriert. Das I-SIF wird über die USB-Schnittstelle versorgt und eingebunden; Konfiguration und Betrieb erfolgen aus dem IMETER Framework heraus bzw. über ein eigenes Programm. I-SIF kann als Datalogger ohne Framework betrieben werden. Die Bedienoberfläche macht den Funktionsumfang geradezu unerschämmt einfach zugänglich.

Zu den Besonderheiten, die I-SIF bietet, gehören **(A)** die automatische Formatierung der Messdaten auf die tatsächlich anliegende Präzision. Damit werden Messwerte so angezeigt, wie es die aktuelle Signalgenauigkeit auf Basis von Mittelwert und Standardabweichung erlaubt. **(B)** Für jeden Sensoranschluss können mehrere von selbst umschaltende Messbereiche mit spezifischen Auflösungen, Korrekturen und Messunsicherheiten eingestellt werden. **(C)** Die Programmierung ist unerhört einfach, so können Sensorablesungen unmittelbar über die *Symbol-Verwendung* erfolgen, z.B. kann mit dem Ausdruck „ $T * 1,8 + 32$ “ die Temperatur „ T “ direkt in der Einheit Fahrenheit ausgegeben werden.

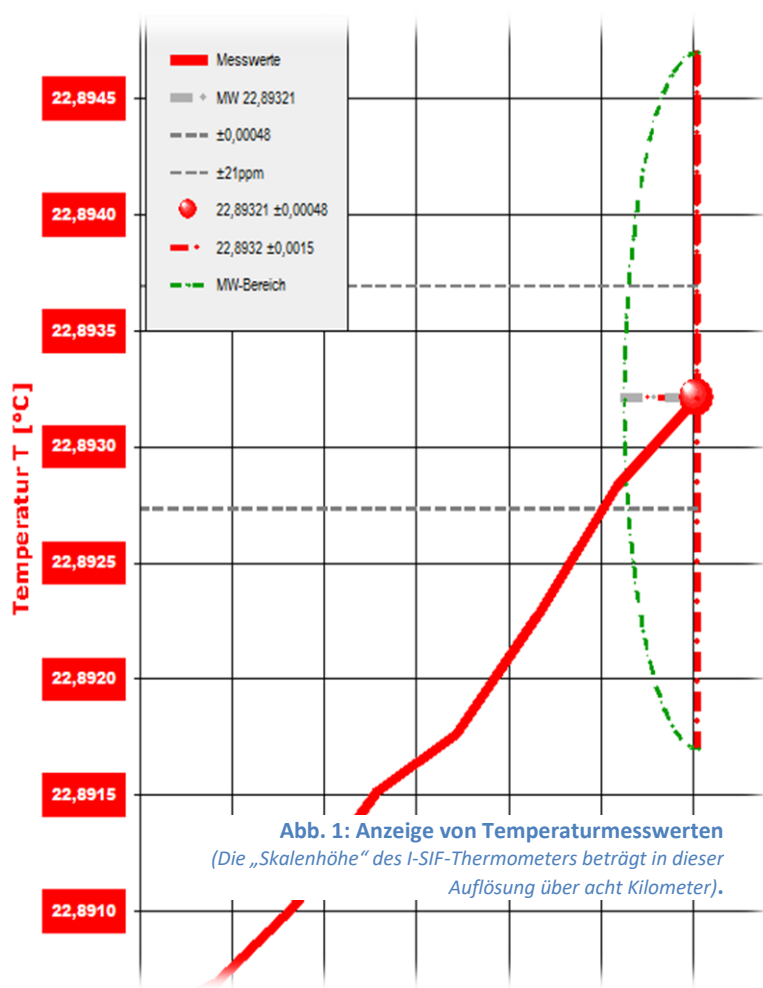


Abb. 1: Anzeige von Temperaturmesswerten
(Die „Skalenhöhe“ des I-SIF-Thermometers beträgt in dieser Auflösung über acht Kilometer).

I-SIF kann in verschiedenen Varianten zur Verfügung gestellt werden - Art, Anzahl und Anordnung der Sensoren und die Verwendung als interne Komponente (in der IMETER6 - Hardware) oder in eigenem Gehäuse.

Tabelle 1: I-SIF Modellübersicht

	intern	extern	Mess-kanäle	Anwendung
I-SIF Bezeichnung	2.0i	--	3	Luftdichtemessung zur Massebestimmung bei Wägungen und zur Präzisionsdichtebestimmung an Flüssigkeiten und Feststoffen nach der Auftriebsmethode.
	2.1i	2.1e/V3	4	Wie 2.0 jedoch mit Temperaturmessung im Millikelvin-Bereich. Sie ersetzt bzw. ergänzt die bisherige Temperaturmesseinrichtung von IMETER V5.
	2.2i	2.2e	5	Experimentalboard, frei konfigurierbar zum Anschluss beliebiger Sensoren (0 -5V).

Inhalt

Übersicht	2
Funktion und Aufgabe	4
Aufruf von I-SIF (Component Control)	5
Die I-SIF Bedienoberfläche	7
➤ Menüleiste	8
➤ Messkanäle und Funktionen	9
➤ Messkanal und Bereichseinstellung	11
➤ Anzeige Einstellungen (Diagramm)	12
➤ >Fühlerwechsel<	13
Ausgabe/Ansicht der relevanten Einstellungen	14
Programmierung	15
➤ Die Programmierbefehle	15
➤ I-SIF in der Ablauflogik	17
➤ Übersicht zur Adressierung der Sensordaten in IMPros	18
Simultaneinsatz mehrerer I-SIF Module	21
➤ Verwendung in IMPros / Programmierung	22
➤ Latenzzeit	23
Kalibrierung / Justierung	23
➤ Justierung der Temperaturmessung	24
➤ Druckmessung - Justierung / Kalibrierung / Test	27
➤ Allgemeine Kalibrierung	28
➤ Autokalibrierung	28
Allgemeine Angaben	29
➤ Angaben zur Konformitätserklärung	29
➤ Allgemeine Verwendung	29
➤ Gefahrenhinweise	29
➤ Bestimmungsgemäße Verwendungen	29
➤ Technische Daten / Spezifikationen (Typ 2.1)	29
➤ Sensor Anschlüsse (für Typ 2.1/V3)	30
➤ Lieferumfang (Typ 2.1 / V3)	31
➤ Herstellerangaben Bezugsquellen	31
➤ Entsorgung	31
➤ Haftung	31
Hinweise zur Umrüstung	32
Anwendungsbeispiele / Anhang	33
➤ <i>Temperatur-Feinstellung eines Badthermostaten</i>	33
➤ <i>Die richtige Waage – die „Wahre Masse Waage“</i>	33
➤ Altimeter – Druckmessung zur Bestimmung der Meereshöhe	35
➤ Luftdichtemessung –Methodenvergleich	38
➤ Kalibriermethoden für die Temperaturmessung	44
➤ Kalibriermethode für die Luftfeuchtemessung	55
➤ Allgemeine Mess- und Steuerungsmöglichkeiten mit IMETER	57
➤ Literatur	58

Funktion und Aufgabe

Wie bei allen Teilen im IMETER-Framework ist die Integration und Anwendung der durch I-SIF hinzukommenden Möglichkeiten mit *vielen Freiheitsgraden* ausgestattet.

I-SIF ist ein elektronisches Messgerät, das die analogen Signale der Sensoren per 24bit- $\Delta\Sigma$ AD-Wandler digitalisiert. Die Standardeinstellungen erlauben einem elektronischen Signal etwa 8.000.000 unterscheidbare Zustände einzunehmen. – Das bedeutet, quasi *die Position eines Fußballes zwischen den Toren auf 0.01 Millimeter genau angeben zu können; also weniger als „Haaresbreite“!*

Alle I-SIF Varianten bedienen je einen Druck-, Feuchte- und Temperatursensor. Die Sensoren liefern elektrische Spannungen, die dem Luftdruck bzw. der Luftfeuchte proportional sind. Die Temperaturmessung wird durch Pt100-Sensoren (Platin Widerstandsthermometer) in *4-Leiteranschluß mit Konstantstromquelle (0.6mA)* realisiert. Alle Sensoren sind ratiometrisch und mit eigenem Referenzeingang angeschlossen, so dass die Drift der Kennwerte der elektronischen Bauteile und Schwankungen der Versorgungsspannung durch das Anschlussprinzip kompensiert werden. Den über die Jahre schleichenden Veränderungen wird durch die unüblich weit gehende Justier- und Kalibrierbarkeit begegnet, die auch nicht-linearen Abweichungen begegnet.

Der Einsatz besonderer Referenzwiderstände - gealtert und quasi *ohne* Temperaturkoeffizient - zeigt sich in der sehr stabilen Justierung. Dass die Temperaturmessung über einen

Gebrauchszeitraum von sechs Monaten um lediglich 0,003 K abweichen kann, ist für elektronische Thermometer mehr als bemerkenswert.



Abb. 2 Zwei I-SIFs (Typ 2.1)

Zu den Aufgaben von I-SIF im IMETER-MessSystem gehört, dass die Richtigkeit der Druck und Temperatursensoren plausibel zurückgeführt werden können (Beispiel S.38). Die auf Naturgesetzen, den Eigenschaften von Wasser und dem Justiergewicht der Wägezelle beruhende gegenseitige Absicherung/Prüfbarkeit der Sensordaten macht I-SIF zu einer Kernkomponente des IMETER-Systems als weitgehend *autonome Messeinrichtung*.

Wie die Funktionen des I-SIF vom IMETER-Framework eingesetzt werden, wird *anhand der Bedienung der Softwareelemente in den folgenden Kapiteln besprochen*.

Aufruf von I-SIF (Component Control)

I-SIF fügt sich im IMETER-Framework zu den anderen Komponenten: Im Fenster >Component Control< erscheinen in der Komponentenliste neue Elemente (vgl. Markierung in Abb. 3.).

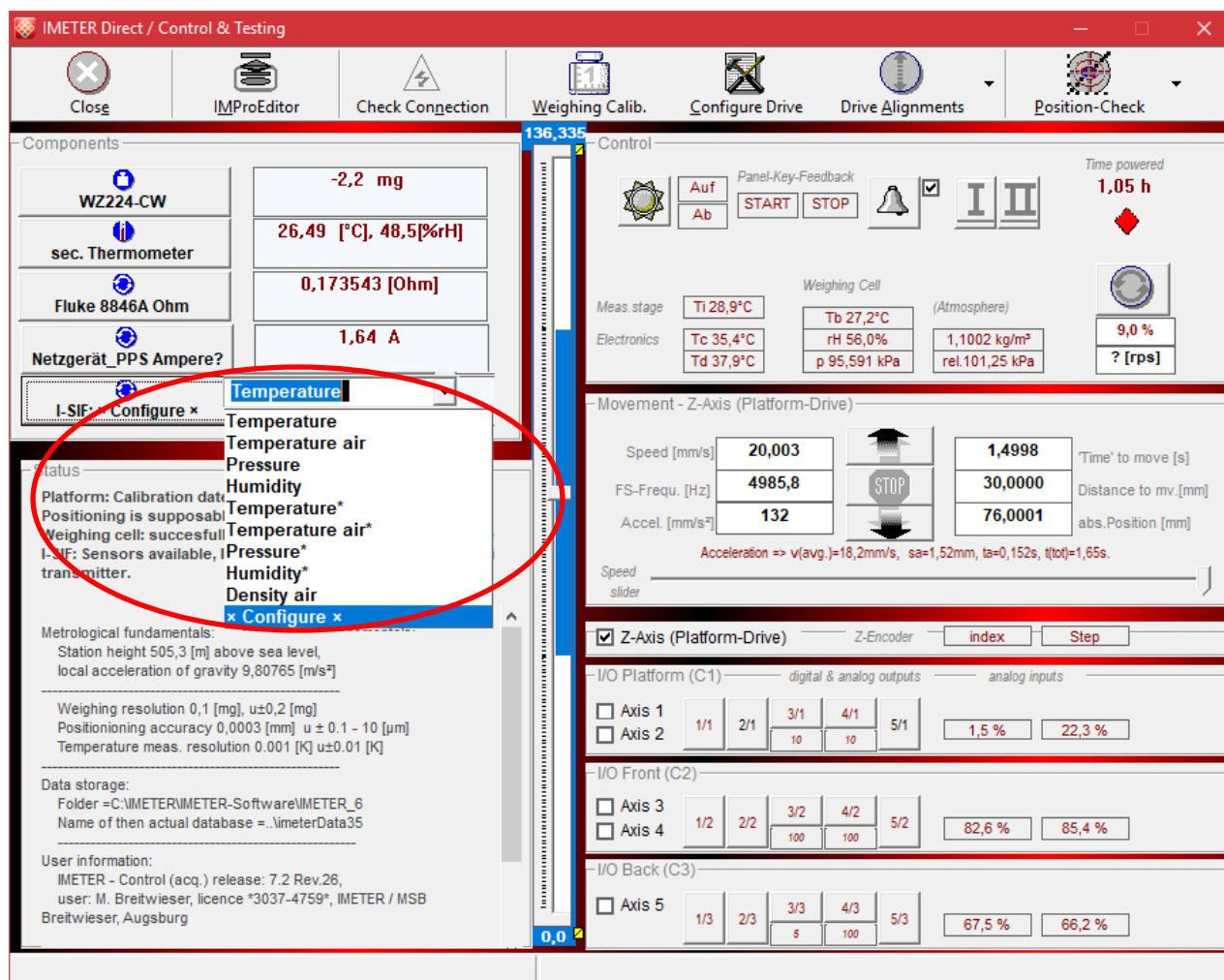


Abb. 3: Component Control: Durch ISIF wird ein neues Detail im Formular hinzugefügt.

Klappt man die Dropdownliste bei der Schaltfläche aus können entsprechend die anderen Datenquellen (Sensoren bzw. Messkanäle) angewählt werden.

Die mit >< markierten Einträge Liste, z.B.

Temperatur* zeigen nach Betätigung den jeweiligen Messwert so, wie bei Temperaturmessung aus einem IMPro – als Mittelwert. Dabei wird noch die Standardabweichung

der Ablesung angegeben (Abb. 4). Der Wert wird so

formatiert, wie es die Standardabweichung zulässt. D.h. Stellen die im *Rauschen* liegen werden gar nicht erst ausgegeben. Die Funktion kann einfach ausprobiert werden, indem man z.B. über den Feuchtesensor



Abb. 4 Ablesung wie in IMPros

haucht oder den Temperaturfühler in die Hand nimmt, und den Befehl ausführt. Bei einer raschen Änderung wird evtl. gar keine Dezimalstelle mehr ausgegeben¹.

Das Konfigurationsformular von I-SIF wird geöffnet, indem der Befehlseintrag `× Configure ×` geklickt wird.

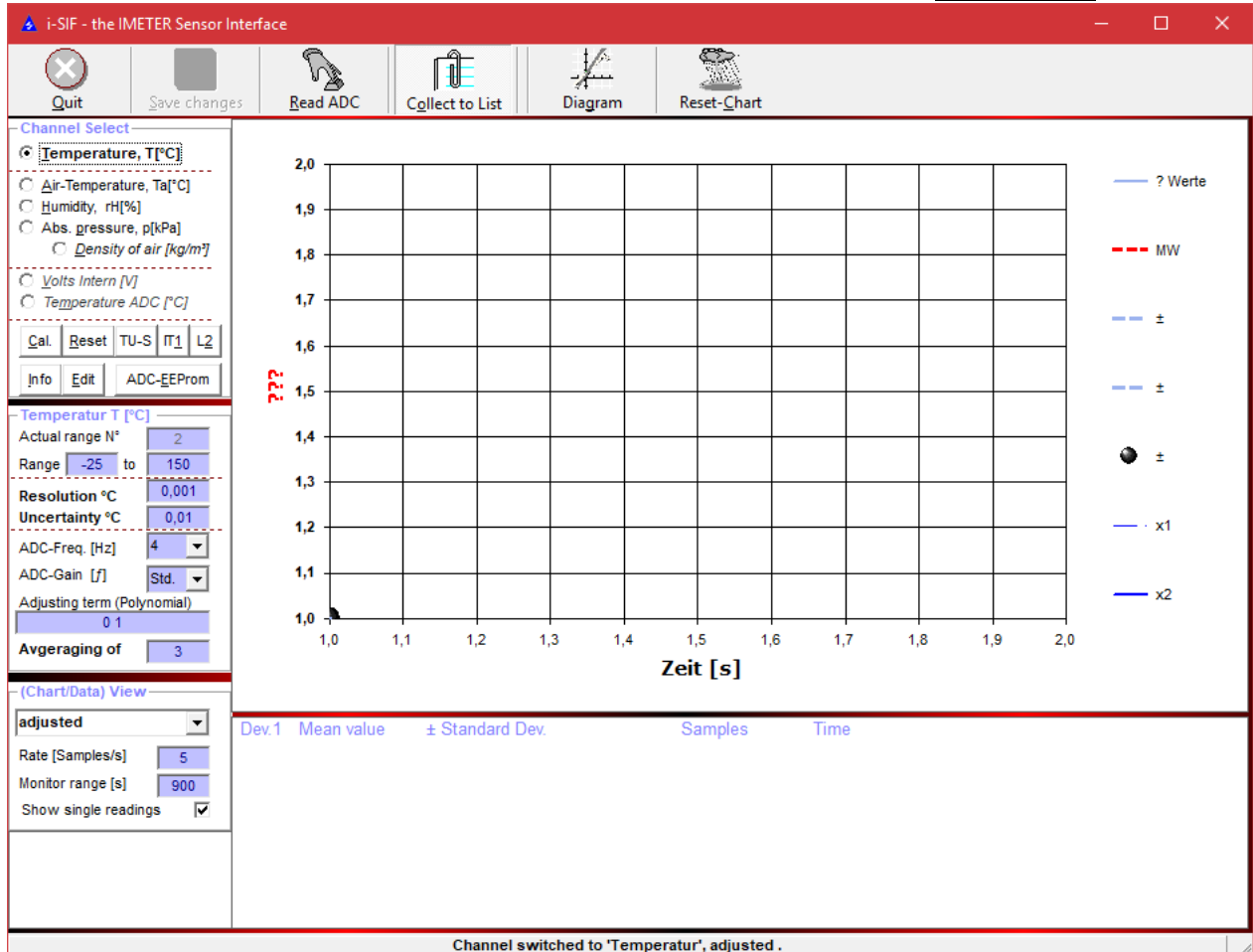


Abb. 5: I-SIF Formular - beim Aufruf

¹ Die Ablesung von durch die Standardabweichung formatierten Mittelwerten dauert in höchster Auflösung etwa 0,7 Sekunden. Einzelwerte werden entsprechend der Konfiguration des jeweiligen Messbereichs formatiert und die Ablesung benötigt dann rund 0,1 Sekunden.

Die I-SIF Bedienoberfläche

Über das I-SIF-Formular können die grundlegenden Funktionen getestet und konfiguriert werden.

Mit einem Klick im Menü auf **Read ADC** beginnt die Anzeige der Messdaten im Diagramm gemäß dem links oben angewählten Sensorkanal.

Nach wenigen Sekunden erhält man eine Anzeige wie in Abb. 6.

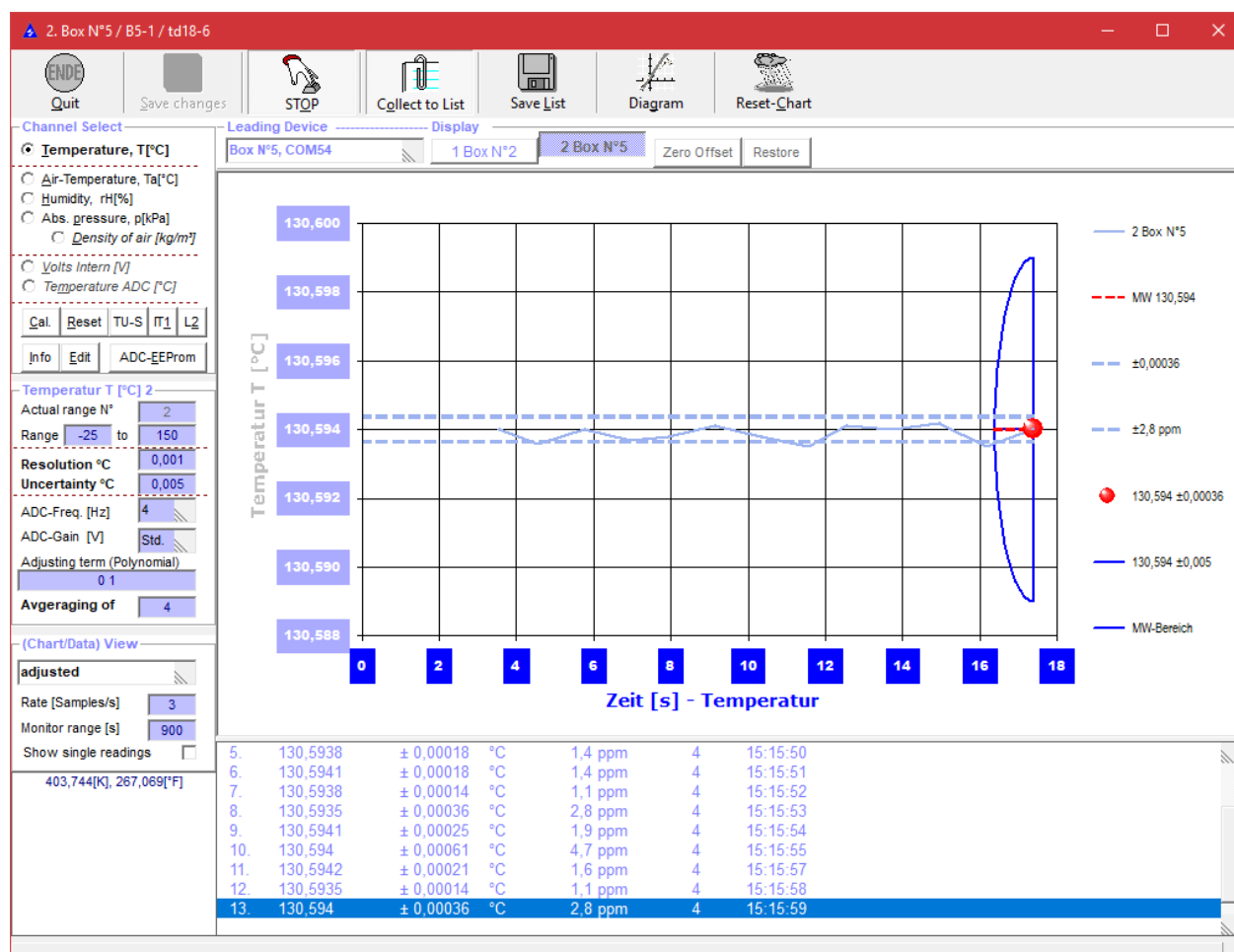


Abb. 6: I-SIF Formular – ... Ablesung Temperatursensor.

Standardabweichung und Messunsicherheit werden im Diagramm dynamisch eingezeichnet, in der Tabelle unter dem Chart werden die Daten explizit angegeben.

Im Formular kann gefahrlos experimentiert werden. D.h. die in den Messungen wirksamen Einstellungen bleiben unberührt, sofern man nicht **Save changes** klickt. Nach Mess-Kanalumschaltung werden nicht gespeicherte Einstellungen verworfen.

➤ Menüleiste



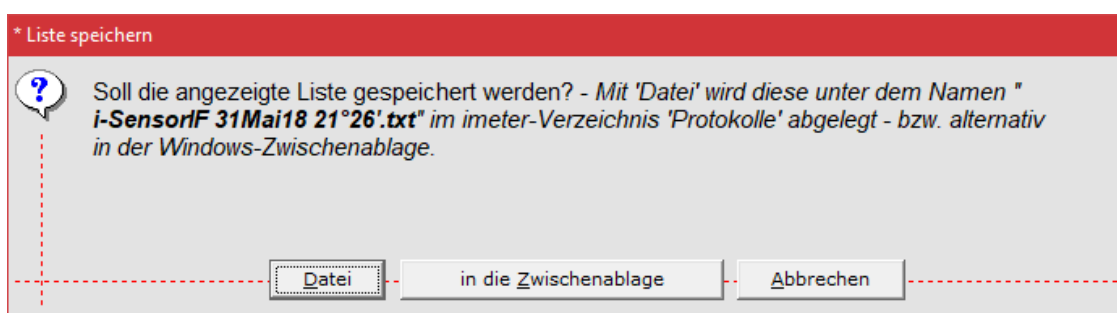
Quit: Schließt das Formular. Beim Beenden vom Hauptmenü aus, wird auch das ISIF-Formular automatisch geschlossen.

Save changes: Speichern geänderter Sensoreinstellungen. Die Schaltfläche wird aktiv, sobald Änderungen vorgenommen wurden. Es wird eine Warnung ausgegeben, wenn das System nicht mindestens eine Stunde betrieben ist.

STOP: Stoppt die fortwährende Kanalabtastung und Abbildung der Messdaten. Die Schaltflächenbeschriftung ändert sich dann zu **Continue**. Wird der Messkanal dabei umgeschaltet, erscheint wieder **Read ADC** als Schaltflächentext.

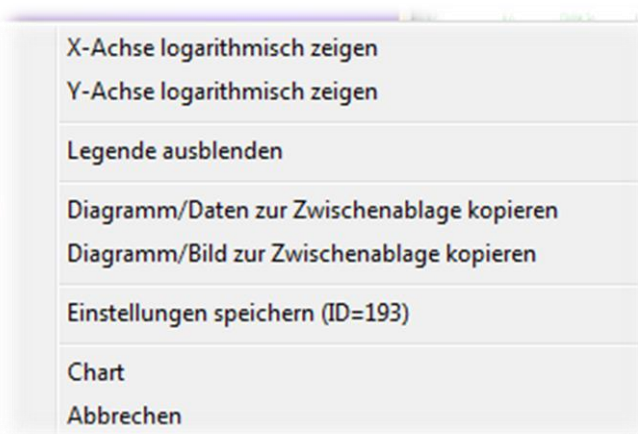
Collect to List: Ist eine Umschaltfläche; ist sie aktiviert, wird unterhalb des Diagramms eine fortlaufende Liste der Messdaten geführt.

Save List: Wenn Werte in der Liste stehen, erscheint die Schaltfläche und ein Klick darauf ruft einen Dialog auf:



Die Daten werden so als Datei oder in der Zwischenablage gespeichert, so dass diese bequem z.B. in Excel eingefügt werden können.

Diagram: Bringt das Diagrammenü zur Ansicht. Die Achsen und die Legende können hier eingestellt werden und das Diagramm bzw. die Daten des Diagramms können in die Windows-Zwischenablage kopiert werden. Innerhalb des Diagramms erlaubt ein *Rechtsklick* (Maustaste rechts) auf selektierte Elemente (Graphen), Farben Symbole und Linienarten zu ändern. Tiefergehend Änderungen der Diagrammdarstellungen sind über die >IMETER-Auswertung< verfügbar.



Reset Chart: Entfernt die Daten vom Diagramm und beginnt neu. Die tabellarische Liste der Messdaten bleibt erhalten und wird fortgeführt.

➤ Messkanäle und Funktionen

Anhand der Optionenschalter werden die Messkanäle gewechselt.

Temperature steht für den primären Temperatursensor (nicht aktiviert in ISIS 1.0). **Air-Temperature**, **-Humidity** und **-Pressure** stehen für die anderen drei Messkanäle. **Density of the air** ist kein wirklicher Messkanal; die Anzeige der Luftdichte wird aus der zyklischen Ablesung der Luftparameter gebildet.

Für diagnostische Zwecke können die zusätzlichen Datenquellen der elektrischen Spannung des I-SIF-Sensorboards (**Volts intern**) und der ADC/Platin-Temperatur (**Temperature ADC**) beobachtet werden.

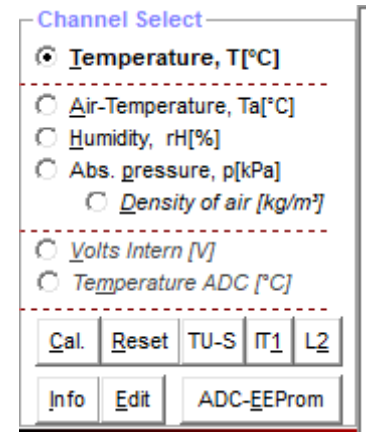


Abb. 7: Messkanäle und Befehle

Die Schaltflächen unter der Sensorselektion bieten dazu spezifische Funktionen:

Cal.: Führt eine interne Kalibrierung des aktuellen Sensorkanals durch.

Reset: Setzt I-SIF auf Standardwerte zurück und entfernt die temporäre interne Kalibrierung der Messkanäle.

TU-S: Prüft die interne Spannung und Temperatur. Führt einen Korrekturservice durch – der sonst, wie die Kalibrierung automatisch, zeitgesteuert abläuft.

IT1: Schaltet den Messstrom für den primären Temperatursensor an oder aus.

L2: Schaltet die Gehäuse-LED an oder aus. Die LED sitzt im *p-T-r.H.-Messstromkreis*, an/ausschalten zeigt Effekte durch die geringfügigen Spannungsänderungen.

Info: Gibt die allgemeinen Konfigurationsdaten und momentanen Sensoreinstellungen in einem Dialog aus und zeigt die vollständige Parametrierung des ADC zum gewählten Messkanal.

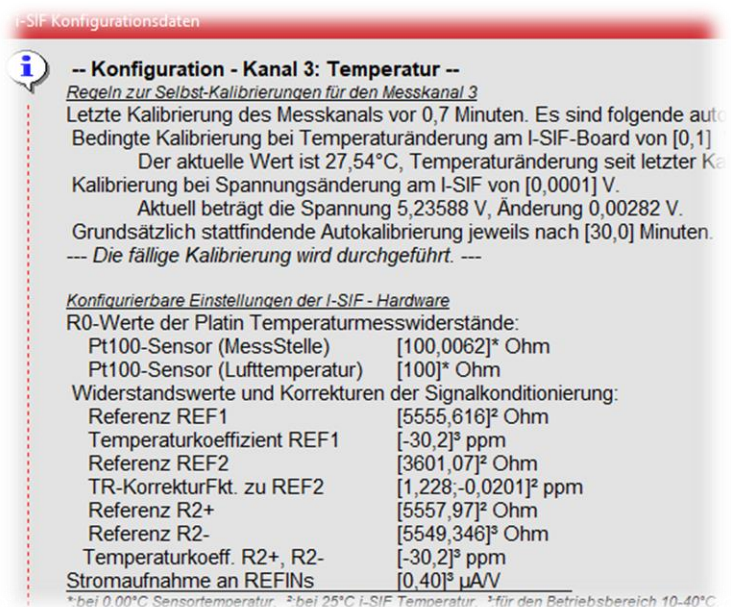


Abb. 8: „Info“ öffnet ein Detailfenster (Ausschnitt zu Sensoreinstellungen)

Edit: Stellt einen Dialog zur Verfügung, um Messbereiche zu erstellen bzw. zu ändern. (Die Messauflösung, die Messunsicherheit, der zur Statistik/Mittelwertsbestimmung verwendende Probenumfang und die Ausleserate können im auch einfach im Formular bei entsprechenden Einsatzbedingungen des Sensors eingestellt werden.)

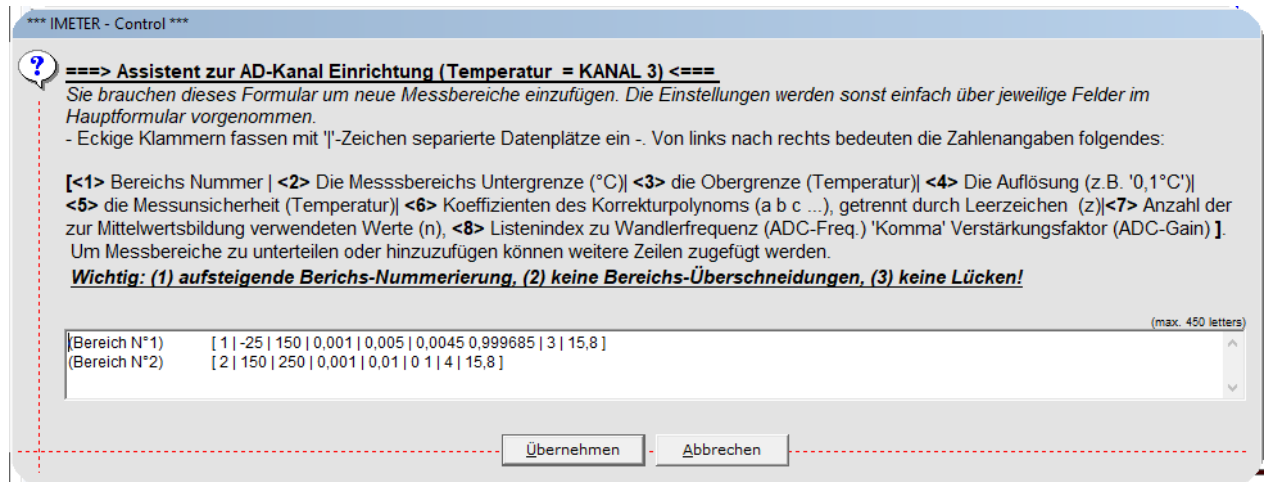


Abb. 9: "Edit"

ADC-EEProm: Zeigt die Basisdaten zur Elektroplatinen (Widerstandswerte, Temperaturkoeffizienten, ...), Namen und interne Einstellungen, die im I-SIF gespeichert sind und ermöglicht diese zu ändern. Ein Klick öffnet das EEPROM-Formular:

Apply Entries for Test lässt Änderungen sofort wirksam werden ohne diese dauerhaft zu speichern,

Burn to EEPROM (zahl) fixiert die Angaben. Die Zahl in Klammern gibt die Anzahl der bisher erfolgten EEPROM-Schreibzugriffe wieder².

Restore stellt die aktuell im EEPROM gespeicherten Werte – evtl. nach Experimenten mit den Einstellungen - wieder her.

Hinweis: Bevor Sie mit den

Einträgen der nachfolgenden Kanaleinstellungen experimentieren, fertigen Sie bitte einen Screenshot des Formulars als Backup an.

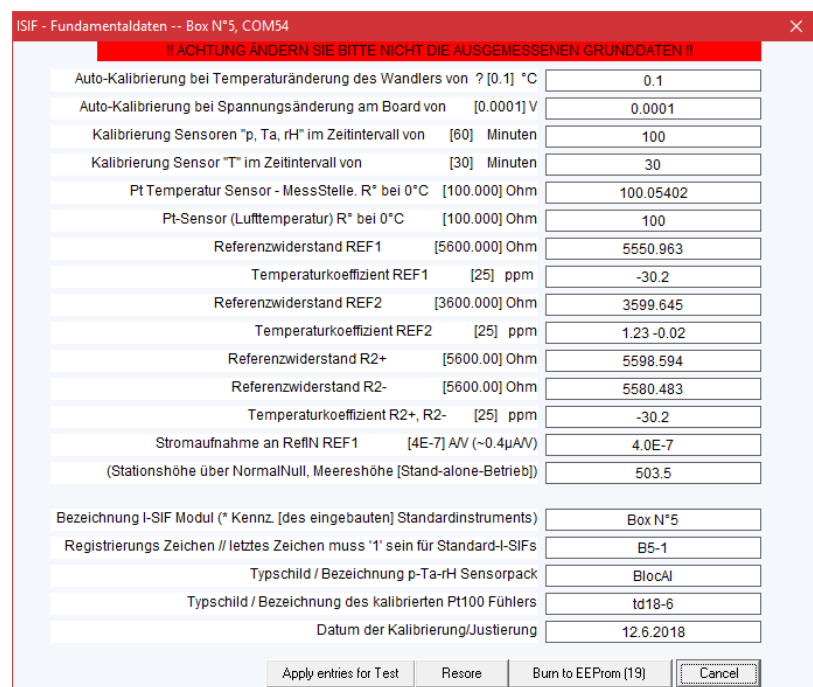


Abb. 10: „EEProm-Formular“

² Sobald etwa 50000 Schreibvorgänge erreicht werden, können Datenfehler erwartet werden.

➤ Messkanal und Bereichseinstellung

Je nach selektiertem Messkanal und anliegendem Signalpegel werden dessen aktuelle Bereichseinstellungen wiedergegeben, vgl. Abb. 11. Diese Daten korrespondieren mit der Anzeige nach Betätigung der Schaltfläche „Edit“ (Abb. 9). Der anliegende Messbereich wird aufgeschlüsselt. Wird ein Eintrag geändert, erscheint das Feld rot hinterlegt und in der parallel weiterlaufenden Diagrammdarstellung der Messdaten werden Effekte der die Änderungen bereits dargestellt. Beispielsweise wird der Bereich, der die **Uncertainty**³ (Messunsicherheit) im Diagramm jeweils als Rechteck, Kreis oder Halbkreis markiert, entsprechend größer oder kleiner.

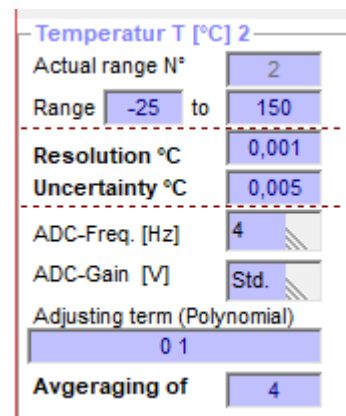
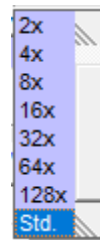


Abb. 11: Messkanal und Bereich

Man kann frei mit den Einstellungen experimentieren - **Änderungen werden permanent übernommen und sind bis auf Weiteres wirksam, wenn im Menü >Save changes< geklickt wird.**

Zu „ADC-Freq.“ kann eine Liste ausgeklappt werden, in der die Abtastrate zwischen 4 und 500Hz ausgewählt werden kann. 4Hz entsprechen einer Auflösung von 23 Bit und sind der Einstellung „Std.“ zugeordnet; 500Hz bietet noch etwa 18 Bits Auflösung⁴. -

ADC-Gain stellt die Verstärkungseinstellung für den Kanal und Messbereich zur Verfügung. In der zugehörigen Liste kann *Gain* zwischen 1x bis 128x gewählt werden. Eine Anpassung der Einstellung ist dann erforderlich, wenn das I-SIF Instrument bis zu den Grenzen der Pt-Widerstands-Temperaturmessung betrieben werden soll (-200°, 1000°C).



Hinweis: Ändern Sie die Einstellungen für ADC-Freq. Und ADC-Gain nicht dauerhaft.

Adjusting term (Polynomial) : Hier werden die Koeffizienten zur Korrektur angegeben. Die Koeffizienten werden durch Leerzeichen getrennt. Das erste Glied ist die Konstante, also der der *Offset*, dann folgt das Proportionalglied, das quadratische etc.; die Anzahl der Koeffizienten darf zwölf nicht überschreiten⁵.

Bei korrekt justierten Einstellungen (im Auslieferungszustand) ist der Eintrag „0 1“, d.h. es sind keine Korrekturen wirksam. Mit der Zeit können Anpassungen erforderlich werden. Tatsächlich wird lediglich der Offset und allenfalls noch ein proportionales bzw. lineares Glied verwendet. Der Offset ist ein Zahlenwert im Bereich bis allerhöchstens 1% des Skalenwertes, das lineare Glied verbleibt normalerweise genau „1“. Quadratische und höhere Glieder kommen bei normalen Sensoren nicht vor⁶.

³ Zur Bestimmung dieses zentralen Wertes vgl. Literatur (3).

⁴ Die Angabe der effektiven Auflösung ist vom Signal zu Rausch Verhältnis (SNR) abgeleitet.

⁵ Wenn Sie die Einträge ändern, während Werte ausgelesen und im Diagramm angezeigt werden, wird der Read&Print-Ablauf angehalten und setzt sich erst dann fort, wenn Sie den Cursor auf ein anderes Feld als *Adjusting term* oder *ADC-Gain* setzen.

⁶ Die Polynomkorrektur ist ein wirksames Mittel zur Aufrechterhaltung der Richtigkeit der Anzeigen des I-SIF. Sie ist mit Bedacht anzuwenden; nicht etwa, um *krumme Sensoren geradezubiegen*. In den Prüfberichten können Sensordaten und Messbereiche mit Korrekturpolynomen ausgegeben werden.

Averaging of: Bei der Verwendung in IMPros z.B. zur Temperaturmessung („Read Temperature“) erfolgt die Ermittlung und Formatierung des Messwertes unter Verwendung des hier angegebenen Stichprobenumfangs. Es kann eine Zahl im Bereich von zwei bis 29 eingetragen werden. – Man stellt ggf. eine kleine Zahl bei weniger zeitstabilen Messbedingungen ein – eine größere Zahl bei sehr ruhigen Zuständen, die dann mit noch höherer Sicherheit bestimmt werden können.

Falls der Anwender eine geplante Messsituation darstellt und die Signallage gerät jenseits der definierten Messbereiche, öffnet sich ein Dialog, um den neuen Bereich einzurichten. Soll das MessSystem unter unüblichen Umgebungsbedingungen eingesetzt werden, werden am besten vorab entsprechende Einstellungen vorgenommen.

➤ Anzeige Einstellungen (Diagramm)

Die Einstellungen hier dienen der Datenvisualisierung im Diagramm - d.h. auch dass der Anwender ein *Gefühl für die Sensoreigenschaften leichter bekommen* kann.

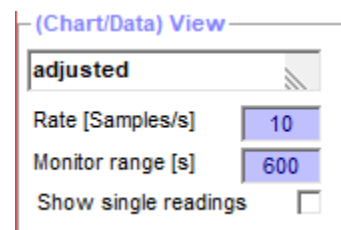
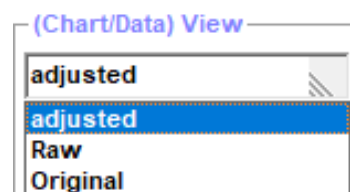


Abb. 12: Anzeige Einstellungen

Die Liste ermöglicht mit der Auswahl von „adjusted“ korrigierte Messwerte entsprechend Bereich und Korrektur anzuzeigen. Mit **Raw** wird die Anwendung des Korrekturpolynoms ausgeschaltet, und schließlich **Original** zeigt die ursprünglichen Spannungs- bzw. bei Temperaturmessung den Widerstandswerte entsprechend der Ablesung am AD-Wandler an. **Rate** bedeutet die Ablesungen und Darstellung pro Sekunde. Die **Monitor range** legt den Darstellungszeitraum fest. Gibt man „5“ ein, werden Messwerte der letzten fünf Sekunden im Diagramm angezeigt, mit „0“ werden die Werte unbegrenzt fortlaufend angezeigt.



Show single readings gibt, wenn aktiviert, die Ergebnisse von Einzelablesungen wider. Wenn die Option ausgeschaltet wird, werden die Ablesung als Mittelwerte gemäß der Einstellungen in Abb. 11: Messkanal und Bereich dargestellt, also in der Art, wie beim Einsatz in den IMPros, wenn die Sensordaten aufgabenbezogen ausgelesen werden (als Mittelwertsmessungen).

Im Formular befindet sich unterhalb von „Chart/Data View“ ein Ausgabefeld, das entsprechend des Aktivierungszustands von „**Show single readings**“, verschiedene Zusatzinformation preisgibt. Wenn der Messkanal >Luftdruck< aktiv ist, wird der aktuelle Absolutwert in den relativen Luftdruck umgerechnet. Steht die Selektion auf >Luftdichte< werden in dem Infobereich neben dem Konfigurationseintrag zur Meereshöhe der IMETER-Installation drei mögliche Angaben für den relativen Luftdruck gezeigt. Die Angabe (a) ist nach der Formel der Empfehlung des Deutschen Wetterdienstes⁷, (b) der Formel, die den Temperaturgradienten in der Atmosphäre berücksichtigt⁸, und (c) nach konstantem Temperaturgradienten

rel. Luftdruck: 100,043 [kPa]

$$^7 p_{\text{rel}} = p \cdot \exp\left(\frac{9,80665 \cdot h}{287,05 \cdot (t+273,15) + 0,12 \cdot E + 0,0065 \frac{h}{2}}\right) \quad \text{vgl. Wikipedia}$$

p rel. (498m ü.NN): (a)999,9
(b)1000,2 (c)1001,6[hPa]

E ist der Dampfdruck des Wasseranteils. Bei $t < 9,1^\circ\text{C}$: $E = 5,6402 \cdot (-0,0961 + \exp(0,06 \cdot t))$; Bei $t \geq 9,1^\circ\text{C}$: $E = 18,2194 \cdot (1,0463 - \exp(0,0666 \cdot t))$

$$^8 p_{\text{rel}} = p \cdot \left(\frac{t+273}{t+273+0,0065 \cdot h}\right)^{-5,255}$$

mit 15°C Standardtemperatur berechnet⁹. Bei einem Vergleich z.B. mit einer lokalen *Flughafen-Wetterstation*, sollte deren Angabe im Bereich der drei hier ausgegebenen Werte liegen. Ein Fehler in der Ausgabe (a) und (b) entsteht dadurch, dass für die Lufttemperatur der draussen vorliegende Wert in der Berechnung zu verwenden ist. Genauer, die sog. „Hüttentemperatur“: 2 Meter über Grund im Freien und ebenso die dort herrschende Luftfeuchte.

Ist z.B. der Messkanal >Temperatur< aktiv, wird hier die aktuelle Ablesung in den Einheiten Kelvin und Fahrenheit ausgegeben bzw. wird für den jeweiligen Messkanal eine informative Statistik zu den aktuellen Ablesungen ausgegeben. Darin gibt **n** die Anzahl der Mittelwertsmessungen und mit **s(MW)** den Mittelwert der **n** Standardabweichungen. In der zweiten Zeile wird mit **s(s)** die *Standardabweichung der Standardabweichungen* - als Streuungsmaß der Standardabweichungen - als Absolutwert und als relative Standardabweichung ausgegeben.

Die statistischen Angaben sind eine Zusammenfassung dessen, was in der Listenausgabe präsentiert wird (vgl. Abb. 13).

297,556[K], 75,931[°F]

n=182: s(MW) = 0,000201 [°C]
s(s) 0,000070 / 35%

172.	24,33989	± 0,00012	[°C]	8,1ppm	(7)
173.	24,34031	± 0,00022	[°C]	8,9ppm	(7)
174.	24,34031	± 0,00018	[°C]	7,4ppm	(7)
175.	24,34056	± 0,00018	[°C]	7,2ppm	(7)
176.	24,34086	± 0,00023	[°C]	9,3ppm	(7)
177.	24,34121	± 0,00022	[°C]	8,9ppm	(7)
178.	24,34157	± 0,00027	[°C]	11ppm	(7)
179.	24,34171	± 0,00020	[°C]	8,3ppm	(7)
180.	24,34197	± 0,00018	[°C]	7,5ppm	(7)
181.	24,34234	± 0,00021	[°C]	8,5ppm	(7)

Abb. 13: Listenausgabe der Ablesungen

➤ >Fühlerwechsel<

Bei einem Austausch ist zu beachten: die bisherigen Kalibrierdaten der Fühler verlieren ihre Gültigkeit und müssen für neue Fühler neu bestimmt werden. Die Kalibrierdaten sind im EEPROM des ISIF-Gerätes und in einer lokalen Textdatei am PC gespeichert.

Pt100-Temperaturfühler: Im Prinzip kann jedweder Pt100 verwendet werden. Im EEPROM sind die z.B. die sogenannten R°-Werte der Pt100 Sensoren und der Name des Fühlers zu aktualisieren; in „i-SIF_C*.txt“ sind die Messbereiche und Korrekturen hinterlegt („*“ steht für die Typ-Bezeichnung des I-SIF-Moduls). Die Datei ist im Root-Verzeichnis der IMETER-Installation ...SubSys\Cfg\ zu finden. Falls Sie den Wechsel selbst durchführen sind die Luftsensoren durch Abgleich mit geeigneten Referenzgeräten



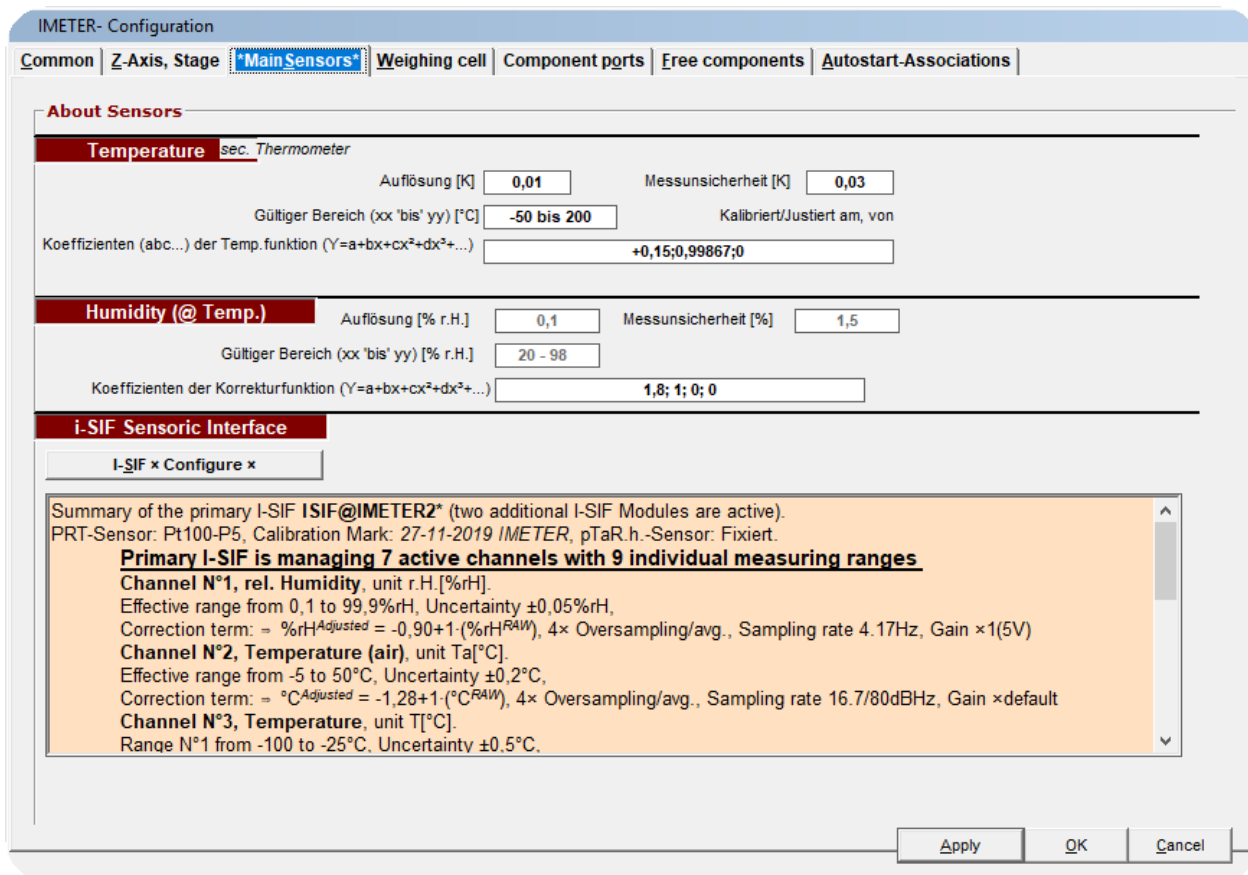
Abb. 14 Die Luft-Sensoren (p, Ta, rH) sind bei den meisten ISIFs in ein Steckergehäuse eingebaut..

⁹ $p_{rel} = p \cdot \left(\frac{288}{288 + 0,0065 \cdot h} \right)^{-5,255}$ (p Stations-Luftdruck, p_{rel} relativer Luftdruck [kPa], h Stationshöhe ü.NN [m], t Temperatur [°C])

zu kalibrieren. Für die Justierung der Temperaturmessung ist vor allem wichtig den R° -Wert des Pt100 zu bestimmen und über das EEPROM-Formular einzutragen. Einzelheiten finden Sie bitte im Kapitel Kalibrierung / Justierung ab S.23.

Ausgabe/Ansicht der relevanten Einstellungen

Die bedeutenden Angaben sind **Bereichseinstellungen** und **Korrekturwerte** des jeweiligen Sensors, wie im Abschnitt *Messkanal und Bereichseinstellung* (S.11) beschrieben. Die Daten können im Konfigurationsformular (vgl. Abb. 15) gefunden werden. Diese Informationen können automatisch in Reports ausgegeben werden, um Messungen diesbezüglich zu dokumentieren.



IMETER- Configuration

Common | Z-Axis, Stage | **Main Sensors** | Weighing cell | Component ports | Free components | Autostart-Associations

About Sensors

Temperature Sec. Thermometer

Auflösung [K] Messunsicherheit [K]

Gültiger Bereich (xx 'bis' yy) [°C] Kalibriert/Justiert am, von

Koeffizienten (abc...) der Temp.funktion ($Y=a+bx+cx^2+dx^3+\dots$)

Humidity (@ Temp.)

Auflösung [% r.H.] Messunsicherheit [%]

Gültiger Bereich (xx 'bis' yy) [% r.H.]

Koeffizienten der Korrekturfunktion ($Y=a+bx+cx^2+dx^3+\dots$)

i-SIF Sensoric Interface

Summary of the primary I-SIF ISIF@IMETER2* (two additional I-SIF Modules are active).
 PRT-Sensor: Pt100-P5. Calibration Mark: 27-11-2019 IMETER, pTaR.h.-Sensor: Fixiert.

Primary I-SIF is managing 7 active channels with 9 individual measuring ranges

Channel N°1, rel. Humidity, unit r.H. [%rH].
 Effective range from 0,1 to 99,9%rH, Uncertainty $\pm 0,05\%rH$,
 Correction term: $\%rH^{Adjusted} = -0,90 + 1 \cdot (\%rH^{RAW})$, 4× Oversampling/avg., Sampling rate 4.17Hz, Gain $\times 1(5V)$

Channel N°2, Temperature (air), unit Ta[°C].
 Effective range from -5 to 50°C, Uncertainty $\pm 0,2^{\circ}C$,
 Correction term: $^{\circ}C^{Adjusted} = -1,28 + 1 \cdot (^{\circ}C^{RAW})$, 4× Oversampling/avg., Sampling rate 16.7/80dMHz, Gain $\times default$

Channel N°3, Temperature, unit T[°C].
 Range N°1 from -100 to -25°C. Uncertainty $\pm 0,5^{\circ}C$.

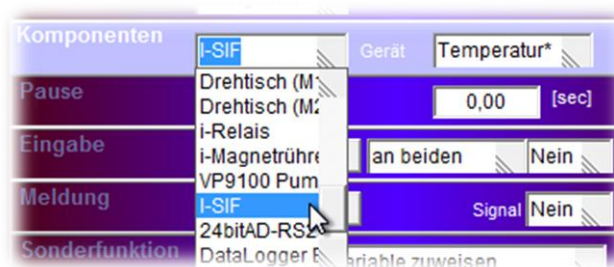
Abb. 15: Formular Konfiguration, Registerkarte „Sensorik“.

Über die Konfigurationsseite (Abb. 15) kann per Schaltfläche ebenfalls das I-SIF-Formular aufgerufen werden.

Programmierung

Im IMPro-Editor: Die Anweisungen für I-SIF finden sich in der Gruppe „Komponenten“. Klappen Sie unter Komponenten das erste Kombinationsfeld aus und suchen „I-SIF“. Klicken Sie auf den Eintrag **I-SIF**. Dann findet sich im abhängigen Listefeld, rechts, die Zusammenstellung der Befehle und Funktionen. Die I-SIF Befehle und Funktionen können größtenteils im Editor ausgeführt werden.

Nach Vorstellung der direkten Programmierbefehle folgt weiter unten die Beschreibung zur Verwendung der verfügbaren Eigenschaften und Methoden zur Modellierung in Ausdrücken und zur Ablaufsteuerung.



➤ Die Programmierbefehle

Die nachfolgende Tabelle listet die Programmierbefehle auf. Unterhalb von Befehl und Erklärung sind beispielhafte Berichtsausgaben abgedruckt, die durch die jeweilige Befehlsausführung im IMPro für den Report erzeugt werden¹⁰.

Befehle, Bedeutung, Beispiel							
Temperatur*	Ablesung eines Mittelwerts vom Temperatursensor wie im I-SIF Formular eingestellt. Ausgabe im Bericht mit Zeitpunkt, Dauer, Anzahl gemessener Einzelwerte und absoluter und relativer Standardabweichung.						
	N°	t	$\bar{X}([^{\circ}\text{C}])$	$\pm\sigma_{\text{abs.}}[^{\circ}\text{C}]$	$\pm\sigma_{\text{rel.}}$	n	Δt
	1.	0,66	-0,0048	0,00076	16%	7	1,68
	2.	1,91	-0,0048	0,00048	10%	7	1,68
LuftTemperatur*	~ vom Lufttemperatursensor (Ta).						
-- Wie bei Temperatur* --							
LuftDruck*	~ vom Drucksensor (p).						
	N°	t	$\bar{X}(\text{[kPa]})$	$\pm\sigma_{\text{abs.}}[\text{kPa}]$	$\pm\sigma_{\text{rel.}}$	n	Δt
	1.	0,07	95,00148	0,000059	0,62ppm	10	1,92
	2.	24,34	94,9956	0,00014	1,5ppm	10	1,92

¹⁰Die Daten der Sensorfunktionen werden in Berichten durch Tab-Zeichen getrennt. So können Tabellen über die Zwischenablage z.B. nach Excel transferiert werden und fügen sich dort in Spalten ein. Während die dezidierten Methoden (Dichte, Viskosität ...) zur Gewinnung relevanter Sensordaten die Standardfunktionen verwenden, erlauben die I-SIF-Befehle die Ausstattung von Anwendermethoden und auch sensorische Ergänzungen in dezidierten Methoden nach eigenen Vorstellungen.

LuftFeuchte*		~ vom Luftfeuchtesensor (rH).										
		N°	t	$\bar{X}([\%])$	$\pm\sigma_{abs.}[kPa]$	$\pm\sigma_{rel.}$	n	Δt				
		1.	2,60	55,667		0,0013	23ppm	18	2,66			
		2.	4,65	55,6282		0,00075	13ppm	18	2,66			
LuftDichte		Ablesungen von Ta, p, und rH und entsprechende Ausgabe der Luftdichte.										
		N°	t	$\bar{X}([kg/m^3])$	$\pm\sigma_{abs.}[kg/m^3]$	$\pm\sigma_{rel.}$	n	Δt				
		1.	0,12	1,12472		0,000017	15ppm	-	5,20			
		2.	24,38	1,12417		0,000015	13ppm	-	6,60			
Alle Kanäle auslesen		Ablesung aller Kanäle des I-SIF inklusive der internen Temperatur und Spannungswerte. Sofern vorhanden wird der sekundäre Temperatursensor ebenfalls ausgelesen.										
		N°	t	T _{prim.}	$\pm\sigma_{abs.}$	T _{secund.}	T _{Lufttemp.}	r.H.	p _{abs.}	T _{ADC}	U _{ADC}	Δt
		1.	0,21	-0,0058	0,00051	0,02	19,8966	48,181	95,0014	18,323	4,93752	13,03
		2.	0,47	-0,005	0,0012	0,02	19,8927	48,1974	95,0014	18,322	4,93751	11,02
Infoausgabe		Gibt die Einstellungen eines Sensors hinsichtlich der Messbereiche und Korrekturfunktionen im Bericht aus.										
		I-SIF Einstellungen: Kanal N°6, LuftDruck (p[kPa]). Messbereich von 30 bis 110kPa, Messunsicherheit ±0,003kPa, Korrekturfunktion: kPa => -0,0065+1·kPa, 7 Samples bei Abtaststufe 'Standard'										
Kalibrierung		Kalibriert den ausgewählten Sensorkanal sofort (keine Berichtsausgabe).										
Stream		Liest eine Anzahl von Werten vom Sensor aus. Dabei können andere Datenraten vorgegeben werden, als die, die im ISIF-Formular vereinbart sind.										
		Sensor: Symbol T Einheit °C', 1234 Einzelwerte. Start: 0,17min, 193,60 Ablesungen pro Sekunde, mittl. Zeitabstand 5,2ms, Gesamtdauer 6,4sec.										
		21,523 21,531 21,523 21,519 21,520 21,518 21,525 21,516 21,519 21,512 21,528 21,515 21,510 21,527 21,518 21,530 21,518 21,510 21,530 21,517 21,523 21,520 21,522 21,519 21,521 21,524 21,528 21,516 21,519 21,516 21,529 21,526 21,515 21,508 21,523 21,521 21,523 21,515 21,515 21,517 21,514 21,518 21,523 21,537 21,511 21,518 21,537 21,524 21,518 21,516 21,515 21,538 21,522 21,515 21,509										

Tabelle 2: I-SIF Programmierbefehle und Beispiele für die durch die Ausführung erzeugten Ausgaben im Bericht.

Mit der Auswahl der Befehle **Infoausgabe**, **Kalibrierung** und **Stream** öffnet sich ein Assistenzdialog, damit die jeweiligen Einstellungen vorgenommen werden können.

Die *Infoausgabe* und die *Kalibrierung* erfordern lediglich die Angabe des Symbols, um den Sensorkanal zu identifizieren (Abb. 16).

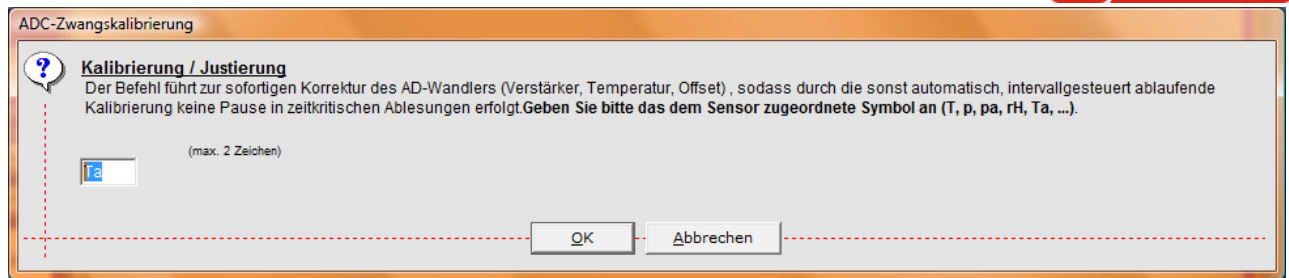


Abb. 16 Dialog zur Auswahl des zu kalibrierenden Sensorkanals.

Die *Streaming*-Funktion verlangt vier Parameter (Abb. 17) ...

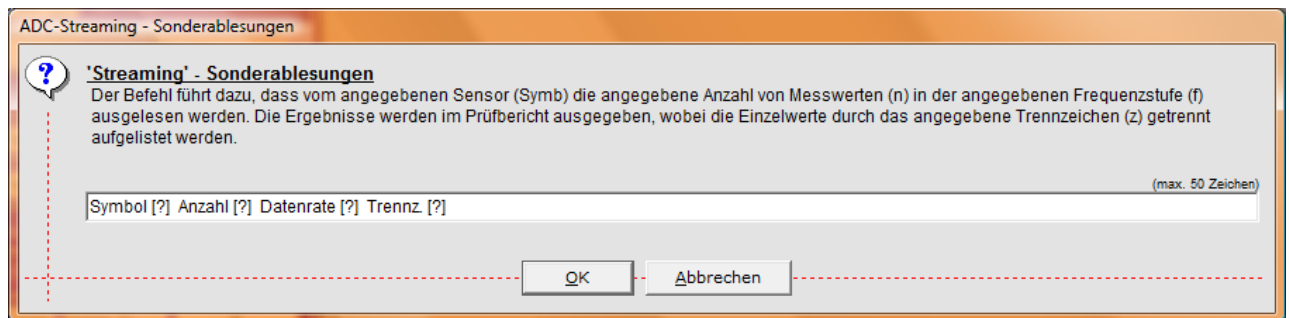


Abb. 17 Dialog zur Einstellung der kontinuierlichen Ablesung <Streaming>.

➤ I-SIF in der Ablauflogik

Für Bestimmungen physikalischer Größen – bzw. *der Eigenschaften, die man vergleichen können will* - ist es erforderlich, dass definierte Zustände vorliegen, bevor eine Messung erfolgt. Man wird beispielsweise die Dichte durch Auftriebskräfte nicht sinnvoll messen können, wenn durch Strömungen zusätzliche Kräfte auf den Auftriebskörper wirken oder die Temperatur sich noch ändert. Während immer gleiche Aufgaben, Proben und Messumstände ein fixes Schema erlauben, wird der Aufwand, um ein Verfahren jeweils auf andere Umstände einzustellen schnell erheblich. Besser ist es, wenn Messverfahren selbst mit der Intelligenz ausgestattet werden (z.B. mit *Ihrer* Intelligenz, Erfahrung, Sachkunde), die Gegebenheiten soweit zu klären oder beeinflussen zu können, dass die Messbedingungen korrekt erfüllt sind. Für die Dichtemessung bedeutet so eine Automation, „*warte bis die Kraft sich hinreichend wenig ändert und die Temperatur konstant ist, tritt dies nicht so ein, dann tu' dieses oder jenes ...*“. Also das, was ein guter Experimentator selbst an Geräten stellend tun würde, kann per IMPro, Ihr IMETER automatisch tun. Die Daten der I-SIF-Sensoren sind dazu in die Ablaufsteuerung integriert und erlauben die Selbststeuerung der Abläufe unter Beachtung entsprechender gemessener Umgebungsbedingungen. Bei der Erstellung von IMPros helfen Assistenten, entsprechende Ausdrücke für Berichtselemente, Informationsanzeigen oder die Definition von Variablen zu erstellen.

Neben den Komponentenbefehlen, die oberhalb erklärt sind, können die Messdaten von I-SIF auch direkt in Ausdrücken in IMPros verwendet werden. Ab S.18 ist eine Übersicht zur Adressierung der Sensordaten aufgeführt.

Um exemplarische IMETER-Aufgaben im Zusammenhang darzustellen, finden sich einige

Anwendungsbeispiele zur Illustration ab S.33. Dort wird der Einsatz der spezifischen Befehle im IMPro-Kontext vorgeführt. Es mag erkennbar sein, dass mit einem Mindestmaß an evtl. zusätzlich notwendigen Hilfsmitteln sehr viele klassische Messgeräte aber auch sehr spezifische *Messautomaten* darstellbar sind. Besonders mit der >Create Report<-Funktion lassen sich dezidierte Messmethoden durch I-SIF Daten per IMPro ergänzen oder auch völlig neue *Kombinationsmessgeräte* (er)finden.

➤ Übersicht zur Adressierung der Sensordaten in IMPros

Zur Gestaltung von IMPros und Reportausgaben können die vom IMETER-MessSystem geführten Sensoren unmittelbar über zugeordnete Symbole angesprochen werden, um die zugehörigen Zahlenwerte in Ausdrücken für Ablaufsteuerung (Wenn-Dann-, Schleifenabbruch-Bedingungen), Berechnungen (Variablen) und Ergebnisausgaben (Berichte, Meldungen) zu verwenden. Die Daten kommen in der angegebenen Standardeinheit; jede Sensoransprache führt zur Ablesung. Die Auswertung von Ausdrücken erfolgt **von links nach rechts** und ungeachtet irgendwelcher Klammerregeln! Das einfache Symbol (z.B. T, p, rH) wird als sofortige Ablesung eines Einzelwertes ausgeführt. Mit einem Hochkomma („ ‘ “ z.B. T’) wird der Mittelwert adressiert, mit zwei Hochkommata („ “ “ z.B. T”) die Standardabweichung bei Messung des letzten Mittelwertes und mit drei („ “ “ z.B. T”) ist die eingetragene Messunsicherheit des Fühlers referenziert. Nur dann, wenn unmittelbar auf einen Mittelwert (‘) die Standardabweichung (”) abgefragt wird, ist sie die Standardabweichung die aus der Mittelwertbildung stammt, sonst wird ein Streuungsmaß neu ermittelt.

Zusammenfassung der Sensor-Variablen:

I-SIF Sensor-Daten	Symbol	Einheit	Hinweise, Beispiel
Temperatur	T	°C	„IF T > 25,0°C THEN: ...“ „Wenn die Temperatur größer als 25°C beträgt, dann ...“ ist ein einfaches Beispiel für eine Bedingung. „IF @ T“ - 3* T” “ #°C@ < 0°C THEN ...“ Bedeutet: „Wenn die momentane Standardabweichung der Temperaturmessung kleiner als die dreifache Messunsicherheit ist, dann ...“ was eine einfache Möglichkeit ist, sicherzustellen, dass keine bedeutende Temperaturbewegung vorliegt.
LuftTemperatur	Ta	°C	Luftdichte = $0,001 * (p * 3,48444 - rH * (0,00252 * Ta - 0,020582)) / (273,15 + Ta)$ „Die Variable ‚Luftdichte‘ erhält einen Wert aus der Ablesung von Luftdruck (p), Lufttemperatur (Ta) und Feuchte (rH)¹¹. Doch Vorsicht, die Lufttemperatur Ta wird nach dieser Formel zweimal nach Kanalschaltungen eingelesen! Schneller ist es die Rechnung folgendermaßen zu formulieren:

¹¹ Die Formel ist die vereinfachte NIST-Formel für die Bestimmung der Luftdichte aus Atmosphärendaten (vgl. S.29).

LuftDruck	p	kPa	$T_{\text{Luft}} = T_a$ $\text{Luftdichte} = 0,001 * (p * 3,48444 - rH * (0,00252 * T_{\text{Luft}} - 0,020582)) / (273,15 + T_{\text{Luft}})$ Die Bestimmung der wahren Masse aus dem Wägewert (W) mit Korrektur durch die Luftdichte, die Dichte des Materials (Stoffdichte, Luftdichte sind Variable) und der Dichte des Justiergewichts (ρ_C):
LuftFeuchte	rH	% rel.	$\text{Masse} = W * (1 - (\text{Luftdichte} / \rho_C)) / (1 - (\text{Luftdichte} / \text{StoffDichte}))$ Für Ausgabetexte sind Ausdrücke in „@“-Zeichen einzufassen. Z.B. Ausgabe einer genauen Druckmessung mit Wert, Standardabweichung und Messunsicherheit zur Ausgabe in (Dialog-)Meldungen oder Berichtsbeiträgen: Druckmessung: @ p'@ ±@p"@, u=@p'"@.

Laufzeitverhalten: Die Auswertung von Ausdrücken die verschiedene Kanäle ansprechen, kann wenn verschiedene Kanäle abgefragt werden, einige Sekunden benötigen, da für die Kanalschaltung und die ggf. erfolgende Kalibrierung Zeit benötigt wird.

			<eine kurze Auswahl>
Andere Daten (kleine Auswahl)	Tb	°C	Falls bisherige Temperatur- (und Luftfeuchte)-Messung weiter betrieben wird, können die Sensordaten als „Tb“ für die Temperatur- und „rHa“ für die Luftfeuchtemessstelle verwendet werden. Tb', Tb'', rH', rH''' stehen hier nicht zur Verfügung. Die zugewiesene Messunsicherheiten (rH''', Tb''') sind jedoch adressierbar.
	rHa	%	
	W	g	Die Symbole W (Wägewert) und F (Kraft) können in üblicher Art verwendet werden. Einzelwerte (W, F), Mittelwerte (W', F'), Standardabweichungen (W'', F'') und die Messunsicherheit (W''', F''') stehen zur Verfügung.
	F	mN	
	H	mm	H ist die absolute Position des Paralleltischs, Z die relative Position – relativ zum Bezugsniveau (Nullniveau, Oberfläche). t ist die Zeit seit das IMPro gestartet wurde. t1, t2, t3 und t4 sind die Variablen zu den programmierbaren Stoppuhren (mit Millisekunden-Präzision). Der jeweilig momentane Zählerstand kann abgefragt werden.
	Z	mm	
	t, t0 ... t4	s	
Systemvariable (Beispiele)			Der Zugriff auf Systemvariable in Bedingungen, Schleifen-Abbruchkriterien, Textvariablen, freien Berichtsausgaben mit: „ rhoL “ Wert der aktuellen Luftdichte [kg/m³], „ rhoC “ Dichte des Justiergewichts [g/cm³], „ g “ Fallbeschleunigung [m/s²], „ NN “ Meereshöhe [m], „ USER “ Name des Anwenders, „ TIME “ aktuelle Zeit [hh:mm:ss], „ TIMR “ Zeit seit Start einer Messung [s], „ Hmax “ die maximale Höhe des Z-Lineartischs [mm] (...).
Formatierungen, Rechenregeln, was passiert bei Fehlern?			Um Ergebnisse Berichtsausgaben mit Einheit und Format zu versehen – Zahlen werden sonst mit 16 Stellen ohne Einheit ausgegeben - können ein oder zwei #-Zeichen angehängt werden: „ <i>Ausdruck # Einheitenzeichen # Formatierung</i> “. Beispiele mit der Kreiszahl π (Pi): „PI“ → 3,14159265358979, „PI ##3“ → 3,142, „PI ## -3“ → 3,14, „PI#Y#2“ → 3,14[Y] --- Die einzige Abweichung von der normalen, mathematischen Notation ist lediglich, dass IMPro-Variable durch Leerzeichen von allen Operatoren getrennt werden müssen. --- Bei Fehlerhaften Ausdrücken z.B. Teilung durch Null, Klammerfehler, Wurzel aus negativen Zahlen etc. erfolgt bei Textausgaben „nichts“, bei anderen Rechnungen, z.B. bei Variablenrechnungen, kommt es zu einem Dialog ggf. mit der Möglichkeit den Ausdruck zu korrigieren.

Tabelle 3: Adressierung von Messgrößen und Variablen; Berechnungen und Formate

Im Zuge der Weiterentwicklung von I-SIF wurde ein erweiterter Funktionsumfang geschaffen, weil mehrere I-SIFs nun eingesetzt werden können. Damit diese seitens der Programmierung einfach bedient werden können, wurden dafür zusätzliche Symbole erforderlich:

I-SIF

Es können mehrere I-SIF-Module am IMETER-Gerät angeschlossen werden (Multi-ISIF, vgl. nächstes Kapitel). - Die Sensorabfrage erfolgt nach dem Muster "ISIF(n).a". Dabei ist "n" die Nummer des Instruments und "a" das Symbol der Messgröße. Z.B. "@ISIF(3).T@" liefert die Temperaturablesung am Pt100 vom I-SIF-Gerät N°3.

- Wenn nur ein I-SIF-Modul angeschlossen ist, ist dieses über n=1 zu adressieren.
- Bei Adressierung eines nicht-vorhandenen I-SIFs liefert der Funktionsaufruf den Wert "1E-23".

ISIF(n).	Sensorabfragen:	
T, T', T'', T'''	Temperatur, Mittelwert, Standardabweichung, Messunsicherheit.	°C
p, p', p'', p'''	Druck, ~	kPa
rH, rH', rH'', rH'''	Luftfeuchte, ~	%
Ta, Ta', Ta'', Ta'''	Lufttemperatur, ~	°C

Eigenschaftsabfragen:

ISIF(n).DeviceName	Name des I-SIF Gerätemoduls mit der Nummer <i>n</i> .	Text
ISIF(n).TypeNr	Typ Nummer des ISIF- Gerätemoduls.	Text
ISIF(n).AdjustDate	Justierdatum/Prüfer.	Text
ISIF(n).Pt100Name	Name des Temperaturfühlers.	Text
ISIF(n).Pt100R°	R°-Wert des Pt100.	Ohm
ISIF(n).Pt100RRef	Widerstandswert des Referenzwiderstands.	Ohm

Generelle Abfragen:

ISIF(0).count	Anzahl aktiver I-SIF-Module	n
ISIF(0).std	Nummer des Standard-Moduls (=das im IMETER-Gerät normalerweise eingebaute Modul).	n

SET ISIF_std = n **Methode** um ein Modul temporär zum Standard-Modul ('Leading Device') zu machen, wird die Funktion zur Variablendefinition mit der Einheit „SET“ verwendet.

Beispiel:

Standardmodul ändern (damit z.B. die ISIF-Funktionen aus dem Komponentenmenü angewendet werden können):

[SET] "ISIF_std" = 2

Das richtige Modul wieder als Standard setzen:

[SET] "ISIF_std" = @ISIF(0).std@

Bitte beachten: Die Umschaltung hält den IMPro-Ablauf für ca. 1,5 Sekunden an.

Simultaneinsatz mehrerer I-SIF Module

Multi-parallele I-SIFs: Das IMETER-Framework kann mit bis zu acht I-SIF Modulen arbeiten. Damit stehen im Framework ggf. mehrere sehr genaue Messstellen zur Verfügung – und das System verfügt über Komparatorfunktionen. Für den Anwender ist nichts weiter zu beachten. Das IMETER-Framework reagiert automatisch, wenn ein oder mehrere I-SIFs verfügbar sind.

Das Konfigurationsfenster verändert sein Aussehen nur geringfügig:

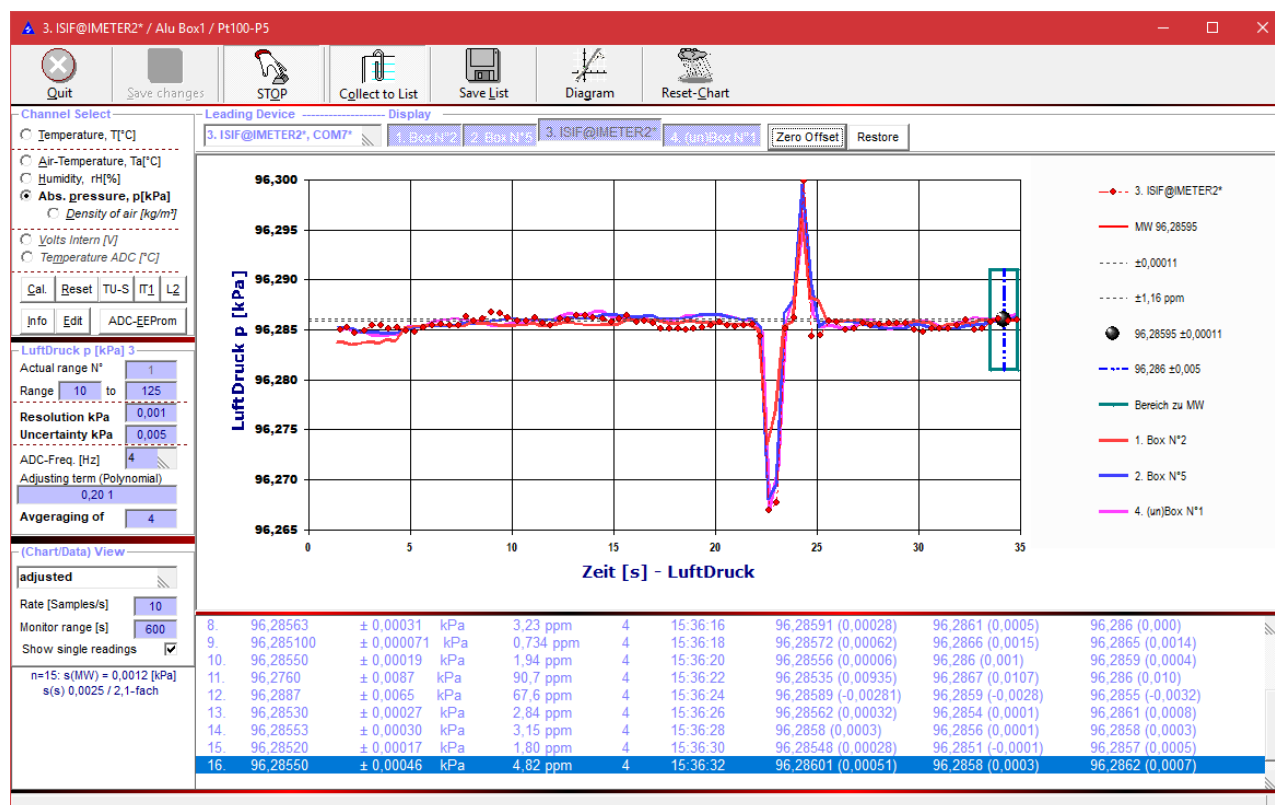


Abb. 18 Konfigurationsfenster bei vier parallel messenden I-SIF-Modulen (Druckmessung zum Beispiel; bei Sekunde 23 wurde eine Zimmertür geöffnet und geschlossen – alle Module zeigen die dadurch verursachte Druckschwankung).

Das Fenster zeigt, wie IMETER mit mehreren I-SIF-Modulen umgeht: Oberhalb des Diagramms wird ein DropDown-Listefeld angezeigt und daneben nummerierte Umschaltflächen mit dem Namen des jeweiligen I-SIF-Moduls. Und es sind zwei weitere Befehlsschaltflächen vorhanden **Zero Offset** und **Restore**.

Durch Klicken auf die einem I-SIF zugeordnete Umschaltfläche wird der Datenstrom des jeweiligen Moduls dazu oder abgeschaltet und in Diagramm und Listenausgabe aktiviert bzw. deaktiviert. In der Listenausgabe wird der numerische

Ein I-SIF-Modul, dessen Umschaltfläche nach oben abgesetzt dargestellt wird (hier ist das die Nr.3), ist das **Leading Device**, dessen Daten werden im Konfigurationsbereich links angezeigt und die jeweiligen Funktionen dort beziehen sich ebenso auf dieses Modul. Wechselt man den Messkanal so folgen dem Kanalwechsel auch die anderen Module. Mit dem Befehl **Zero Offset** wird bei allen Modulen der Offset der Kalibrierung temporär so angepasst, dass die Signale den gleichen Wert anzeigen. Mit **Restore** kann man die Offset-Anpassung rückgängig machen. Will man den Offset dauerhaft eintragen (*Kalibrieren*) muss das

jeweils zu kalibrierende Modul zum Leading Device gemacht werden, dann kann die veränderte Einstellung gesichert werden¹².

Das Leading Device wird im DropDown-Listenfeld oder mit einem Maus-Rechtsklick auf die jeweilige Umschaltfläche angewählt¹³.

➤ Verwendung in IMPros / Programmierung

Aus den IMPros sind die Funktionen zur Messung der Größen T (Temperatur), T_a (Lufttemperatur), p (Druck), rH (Luftfeuchte), ρ_{aL} (Luftdichte) stets den Werten des Leading device zugeordnet. In berechneten Ausdrücken der IMPros beziehen sich die Größensymbole z.B. T , T' , T'' , T''' stets auf das *leading Device*. Die angeschlossenen I-SIFs werden in Ausdrücken allgemein so adressiert:

„ISIF(n).x“

Dabei ist n die Nummer auf der Umschaltfläche und x das Größensymbol (T , T_a , p , rH) - entsprechend Tabelle 3: Adressierung von Messgrößen und Variablen; Berechnungen und Formate auf S. 19.

Die Nummerierung der I-SIFs erfolgt alphabetisch. Wenn Sie IMPros mit Multi-I-SIF Aufbau erstellen und anwenden, beachten Sie bitte, dass die Nummerierung der Module – das n – sich dann ändern kann, wenn die Namen der Module geändert werden (EEPROM-Funktion).

Allgemein ist zu empfehlen, dass bei der IMPro-Entwicklung berechnete Ausdrücke und Ausgaben für die ‚Create-Report‘-Funktion vorab getestet werden. Das geht am einfachsten per „User-Dialog“, wo man beliebig komplexe Ausdrücke in einer Textumgebung prüfen kann. Wenn Sie also beispielsweise in einem User Dialog das folgende eingeben:

**„Der aktuelle Luftdruck ist @ISIF(1).p'@ ±@ISIF(1).p"@
Druckdifferenz zwischen p1 und p2 beträgt: @ISIF(1).p - ISIF(2).p#kP#4@“**

erhalten Sie die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Messstellen. Die beiden Abb. unten zeigen die entsprechenden Fenster:

Druckdifferenz zwischen p1 und p2 beträgt: @ISIF(1).p - ISIF(2).p#kP#4@'. A small note '(max. 250 letters)' is at the top right of the field. At the bottom are three buttons: 'OK', 'Add a Picture', and 'Cancel'." data-bbox="121 571 786 735"/>

¹² Beim Verlassen des Konfigurationsfensters und zum Start von Messungen erscheint ein Hinweis, wenn ein Offset gesetzt wurde (→ob dieser entfernt werden soll). Wenn ein Sensorabgleich etwa in Differenzmessungen benötigt wird, kann aus dem laufenden IMPro das I-SIF Konfigurationsfensters aufgerufen werden um evtl. einen Abgleich zeitnah zu setzen.

¹³ Verlässt man das Formular während das *Leading Device* bei einem Modul, das nicht als Standardmodul gekennzeichnet ist, macht die Software auf diesen Umstand aufmerksam. - Ein Modul ist durch eine Namenskonvention als Leading-Device markiert (Bezeichnung mit ‚*‘; die Einstellung ist über die EEPROM-Funktion erreichbar).



(,kP' falsch! ,kPa'!)

Sie würden dann ggf. gleich merken, dass anstelle von „... @ISIF(1).p - ISIF(2).p#kPa#4@“ in diesem Zusammenhang korrekter „...@ Abs(ISIF(1).p - ISIF(2).p) #kPa#4@“ zu schreiben ist.

➤ Latenzzeit

Die Kanalschaltung benötigt Zeit, ~1.2 Sekunden mindestens, weil der AD-Wandler bei der Aktivierung eines anderen Messkanals, diesen erst einpegelt und ggf. kalibriert. Mit mehreren ISIF-Modulen dauert die Erstaktivierung je Modul ca. 3 Sekunden. Bei mehreren Modulen summieren sich diese Zeiten. Im Einsatz kann die Latenzzeit dadurch wegfallen, einfach indem (etwa zur gesonderten Luftdichtebestimmung¹⁴) für p , T_a und rH verschiedene Module verwendet werden.

In IMPros ist es generell sinnvoll, vor zeitkritischen Messungen den jeweiligen Messkanal vor der ersten echten Verwendung in einer ‚Dummyabfrage‘ (etwa in einer dialogfreien Meldung) zu initialisieren.

Die I-SIF-Module laufen seitens Windows als eigenständige Programme und funktionieren quasi in Echtzeit parallel. Simultane Multi-I-SIF Mehrkanalmessungen sind in der Größenordnung weniger Millisekunden synchron.

Kalibrierung / Justierung

Zur Sicherstellung korrekter Fühlerablesungen ist die Messkette in definierten Zeitabständen zu kalibrieren. Wenn ein Verlängerungskabel für die Luftsensoren eingesetzt wird oder die Lage des Kabels verändert wird, sind die Sensoren auf jeden Fall neu zu kalibrieren, da hier die Leitungslänge und die Kabelschirmung eingeht. Eine Kabelverlängerung des Temperaturfühlers von bis zu 100 cm bedarf keiner Rekalibrierung. Die Für genaue Messungen und noch mehr, wenn Fühler justiert/kalibriert werden sollen, ist es wichtig, dass das Gerät über mindestens eine Stunde am Netz ist:

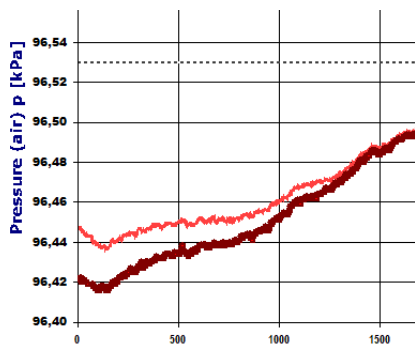


Abb. 19: Druckmesswerteverlauf zweier I-SIF-Module nach dem Einschalten.

Eine zu kurze Anwärmphase führte bereits häufiger zu Kalibrierfehlern. Darum erhält der Operator eine Meldung, bevor an der Sensorkonfiguration Änderungen gespeichert werden sollen:

¹⁴ Bei Multi-I-SIF im Konfigurationsfenster bitte nicht den Messkanal Luftdichte zur Parallelanzeige wählen - die vielfach automatische Kanalschaltung hält das System ausgelastet und kann weitere Bedienungen über das Formular erschweren.

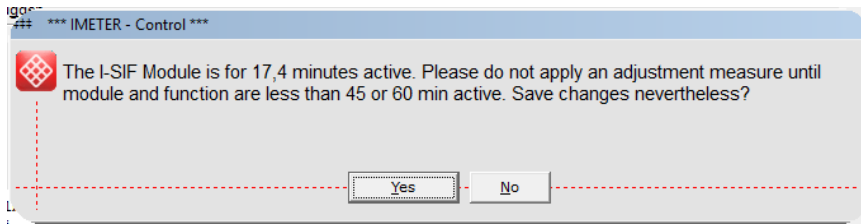


Abb. 20: Meldung beim Speichern geänderter Sensoreinstellungen. - Warnung, wenn Gerät noch nicht lange genug aktiv ist.

➤ Justierung der Temperaturmessung

Die fundamentale Justierung besteht hier in der Einstellung der Referenzwiderstände; sie findet normalerweise vor der Auslieferung statt, doch kann sie von versierten Anwendern selbst vorgenommen werden. Sie können die dafür zusätzlich zu IMETER-Thermostat, Temperiergefäß, Fühlerhalter, I-Magnetrührer erforderlichen Mittel ebenfalls von uns beziehen: Einen kalibrierten Referenzwiderstand (Nennwert 100 Ohm, mit DAkKS-Zertifikat, Genauigkeit 10 ppm) mit Adapter (8-poligen DIN-Rundstecker).

(1) Einstellung des Referenzwiderstands REF2, wie im EEPROM-Formular angezeigt:

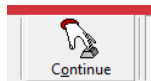
Referenzwiderstand REF2	[3600.000] Ohm	3601.0707
Temperaturkoeffizient REF2	[25] ppm	1.228 -0.0201

- Öffnen Sie das I-SIF-Konfigurationsfenster
- Wählen Sie den Kanal ‚Temperature‘
- Stellen Sie im Feld ‚Adjusting term (Polynomial)‘ den Eintrag auf „0 1“.
- Wählen im Bereich ‚(Chart/Data) View‘ die Anzeige „Original“



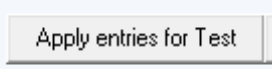
Damit wird statt °C die Einheit Ohm in Diagramm und Tabelle ausgegeben¹⁵.

- Stecken Sie den *8-poligen 100-Ohm-Adapter* an Stelle des Temperaturfühlers am I-SIF (bzw. am 8-poligen Anschluß am Plattformpanel) an.



- Starten Sie die Messung
- Die Diagrammanzeige zeigt jetzt den Verlauf der gemessenen Widerstandswerte. Aus der Tabelle unter dem Diagramm können Sie die genauen Werte der Ablesungen entnehmen.
- I-SIF soll den genauen Wert des Referenzwiderstands anzeigen! Sie erreichen dies durch die Anpassung des Widerstandswertes von „REF2“ im EEPROM-Formular.

Apply entries for Test

- Mit  aktivieren Sie Änderungen unmittelbar. Sie sehen sofort die geänderte Signallage in Diagramm und Tabelle.
- Sobald der Wert des Referenzwiderstands dadurch genau erreicht wird (8 Stellen!), verfolgen Sie den Signalverlauf noch über eine Minute und führen dann den Befehl „Burn to EEPROM“ aus - und der Wert ist fixiert.

¹⁵ I-SIF funktioniert in dieser Einstellung als Milliohmometer -- und kann damit als genaues Widerstandsmessgerät eingesetzt werden.

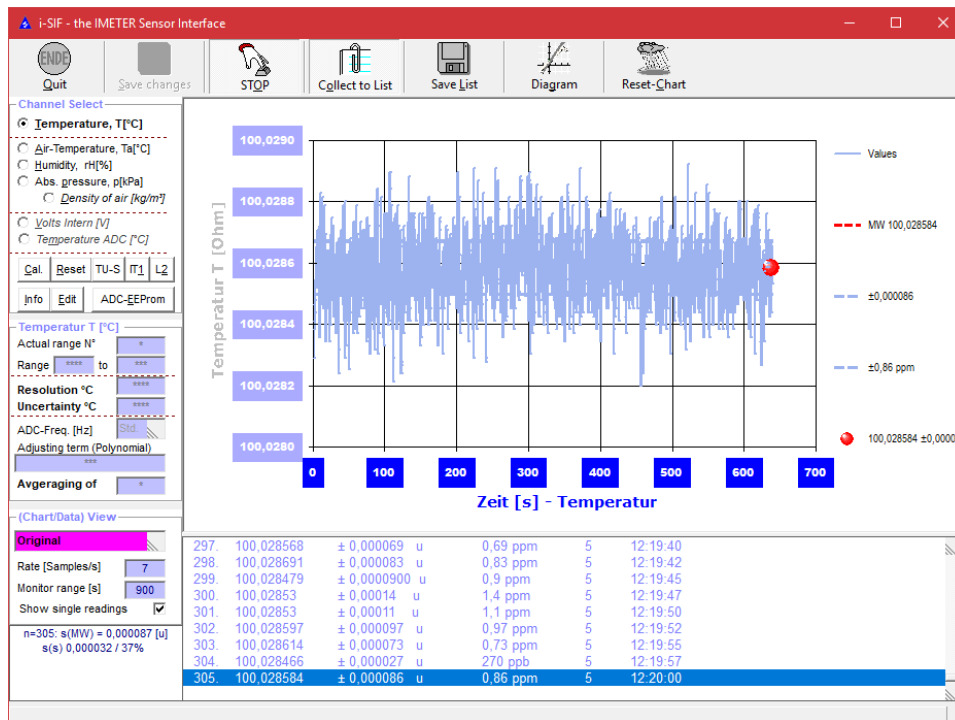


Abb. 21: Zehnminütige Beobachtung des Widerstandswertes (→ Rauschen bei 10 $\mu\Omega$).

- Die Linearität der Messkette bzw. des AD-Wandlers kann durch den Einsatz weiterer Referenzwiderstände¹⁶ überprüft werden.

Unter Umständen ist die Temperatur des I-SIF in Betracht zu ziehen, um den Temperaturkoeffizienten der Signalkette zu ermitteln. Dazu kann das gesamte I-SIF Gehäuse entsprechend temperiert werden – es ist bis auf die Frontseite mit den Anschlüssen wasserdicht. Die Temperatur entnimmt man in diesem Fall der Anzeige der internen I-SIF-Temperaturmessung (Die interne Temperatur wird ja stets zur Korrektur des Signals angewendet). Die Qualität der verwendeten Referenzwiderstände und Anwendung der Module im Bereich der Raumtemperatur dürften diesen Aufwand im Normalfall jedoch obsolet machen.

(2) Bestimmung des R^0 -Wertes

- Der genaue Widerstandswert bei 0°C des Pt100-Fühlers kann mit dem Aufbau entsprechend der Kalibriermethoden für die Temperaturmessung (S.44) bestimmt werden.
- Das IMPro wird unterbrochen, nachdem über einige Minuten die Eistemperatur dargestellt ist.
- Das I-SIF Formular öffnen, den Sensorkanal „Temperature“ wählen.
- Das EEPROM-Fenster öffnen (Button **ADC-EEProm**).
- Genau wie im vorigen Abschnitt beschrieben, wird die Feineinstellung des R^0 -Widerstandswertes so vorgenommen, dass die parallel aktualisierte Ausgabe in Diagramm und Tabelle zu 0.000°C kommt.

¹⁶ Widerstände im Bereich 80 bis 250 Ohm können für einen Linearitätsnachweis verwendet werden. Ggf. können dann Abweichungen durch die Polynomkorrektur über einen weiten Messbereich ausgeglichen werden. So kann I-SIF für Temperaturen jenseits der Spezifikationsgrenzen (-50 bis 200°C) verwendet werden, sofern der jeweilige Pt100-Fühler ebenfalls für den Temperaturbereich spezifiziert ist.

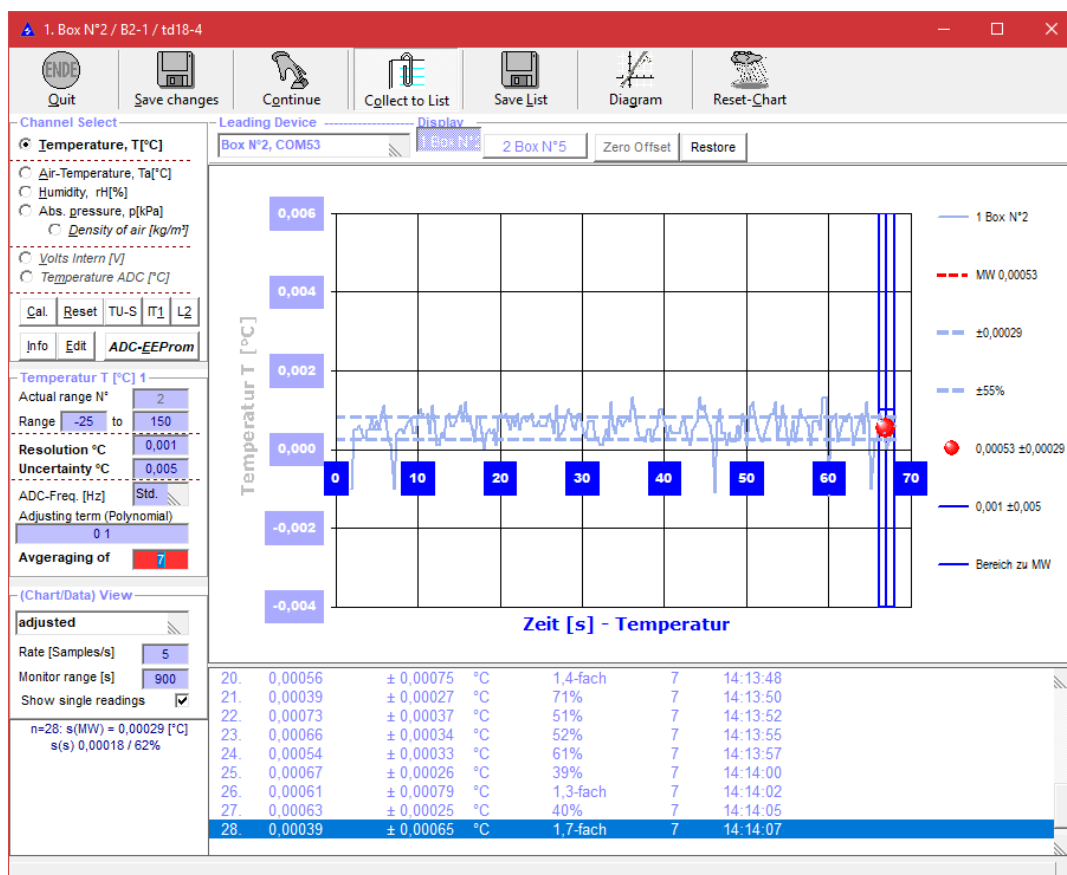


Abb. 22: Beobachtung von R° bei 0°C. Der hier angegebene Widerstandswert ist im $\mu\Omega$ -Bereich noch etwas zu groß (die Signalschwankung bei 0.3 mK ist in akzeptabel).

- Geben Sie im EEPROM-Fenster das aktuelle Datum im dafür vorgesehenen Feld ein, damit die IMPro Variable für dieses Modul das Justierdatum liefert („ISIF(n).AdjustDate“)
- Dann den Befehl „**Burn to EEPROM**“ ausführen.

Bei normaler Benutzung, d.h. keine extremen Temperaturen, keine extremen Temperatursprünge, erschütterungsfreie Handtierung, beträgt die zeitliche Drift des Nullpunktes erfahrungsgemäß ca. 0.002 K pro Monat.

(3) Gebrauch und Mehrpunktkalibrierung

Industriell gefertigte Pt100-Sensoren sind in Genauigkeitsklassen eingeordnet (AA, A, B, C). Dabei werden zur Angabe der *Grenzabweichung* (Fehlergrenze) der Offset (Abweichung R° bei 0°C in Temperaturgraden) und die Steigung (Abweichung R° in Temperaturgraden pro Grad) berücksichtigt.

Das Standardmäßig mit I-SIF (2.1) gelieferte Mantel-Widerstandsthermometer ist mit einem Schichtwiderstand ausgerüstet und gehört zur Klasse B. Der spezifizierte Einsatztemperaturbereich ist -50 bis 450°C. Die Grenzabweichung in Temperaturgraden wird dafür berechnet nach „ $0.3 + 0.005 \cdot T[^\circ\text{C}]$ “. D.h. bei 0°C kann die native absolute Maximalabweichung 0.3°C betragen, bei 100°C bereits 0.8°C. Durch die Justierung wird die Konstante der Fehlergrenze (0.3 K) *entfernt*. Um die Grenzabweichung in Folge des temperaturproportionalen Fehlers zu korrigieren, ist mindestens ein weiterer Temperaturfixpunkt zur

Kalibrierung erforderlich. Hierfür könnte eine Indium-Fixpunktzelle (156.5985°C) oder evtl. der Wassersiedepunkt verwendet werden.

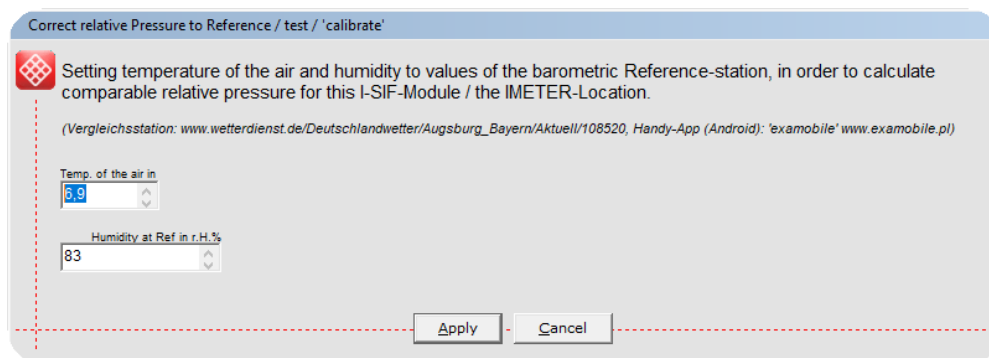
Das IMPro, welches bei der Wasser-Siedepunktskalibrierung assistiert und dokumentiert ist in der Anlage abgedruckt: Unter

Kalibriermethoden für die Temperaturmessung, Tabelle 10 Listing des IMpros „TemperaturDruckKalibrierung_100°C.prG“.51) finden Sie dazu auch eine Anleitung. Daran angeschlossen ist ein einfach ausführbares Multi-I-SIF-Verfahren besprochen.

Die Datentechnische Verarbeitungsfunktion von I-SIF approximiert die Pt100-Grundwertetabelle (DIN EN 60751, ITS90) mit endlicher Genauigkeit¹⁷. Generell ist dadurch ein Beitrag zur Messunsicherheit von 0.002 K anzusetzen.

➤ Druckmessung - Justierung / Kalibrierung / Test

Sofern zum Abgleich der ISIF-Druckmessung ein Referenzbarometer nicht zur Verfügung steht, können dafür z.B. die Daten einer nahegelegenen *Flughafen-Wetterstation* oder auch eine Handy-App genutzt werden. Um die Druckmessung über den relativen Luftdruck abzugleichen gehen Sie bitte folgendermaßen vor: (1) Ermitteln Sie eine geeignete Referenzstation (ggf. über www.wetterdienst.de), (2) Wählen Sie im ISIF-Formular den Druck-kanal, (3) un-checken Sie die Option „Show single reading“, (4) Doppelklicken Sie in das darunter befindliche Ausgabefeld ... das folgende Formular wird angezeigt:



Correct relative Pressure to Reference / test / 'calibrate'

Setting temperature of the air and humidity to values of the barometric Reference-station, in order to calculate comparable relative pressure for this I-SIF-Module / the IMETER-Location.

(Vergleichsstation: www.wetterdienst.de/Deutschlandwetter/Augsburg_Bayern/Aktuell/108520, Handy-App (Android): 'exaMobile' www.exaMobile.pl)

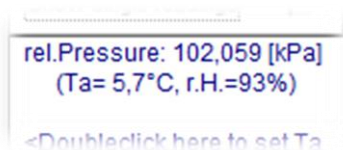
Temp. of the air in
5.9

Humidity at Ref in r.H. %
83

Apply Cancel

(5) geben Sie hier die Luft-Temperaturangabe der Referenzstation und die relative Luftfeuchte an. (6) Schließen Sie das Formular per *Apply*.

Im Ausgabefeld wird nun der relative Luftdruck ausgegeben – berechnet aus dem lokalen, absoluten Luftdruck und der Temperatur- und Feuchteangabe der Referenzstation. Sie können nun am *Adjusting term* den Offset (=die erste Stelle des Korrekturpolynoms) entsprechend verändern, so dass der relative Luftdruck abgeglichen ist.



Tun Sie dies an einem windarmen, ruhigen Tag – an dem sich der Luftdruck nicht zu rasch ändert.

➤ Allgemeine Kalibrierung

Die Kalibrierung besteht für die Luftsensoren (p , T_a , rH) lediglich in der Anpassung des Korrekturpolynoms (Abb. 11). Die Zahlenwerte sind so zu bestimmen, dass die angezeigten Messwerte mit denen der Referenz

¹⁷ Die Missweisung beträgt bei -200°C → -0.4 mK, bei -100°C → -0.4 mK, bei -20°C → -0.8 mK, bei -2°C → -1.2 mK, bei 4°C → -1.0 mK, bei 50°C → -0.3 mK, bei 100°C → +1.3 mK, bei 200°C → 0 mK, bei 300°C → +1.4 mK, bei 400°C → 0 mK und bei 500°C → +1.5 mK.

übereinstimmen. Die anzugebende Messunsicherheit hat mindestens den Betrag des Vergleichsnormals. Diese Kalibrierung ist für jeden Sensor möglich.

Für I-SIF werden in der vorliegenden Version industriell gefertigte Standardsensoren für T , p und rH verwendet. Immer vorhandene Fertigungstoleranzen und die Veränderungen, die die Alterung mit sich bringt, sind bei p und rH durch Kalibrationen zu korrigieren. In Intervallen sind Nachkalibrierungen vorzusehen. Die Zeitspanne ist mit drei Monaten anzusetzen – bzw. bei hohen Anforderungen der Druck und Feuchtemessung noch kürzer zu wählen.

Zur Kalibrierung bedient man sich der *Maßverkörperung* durch ein anderes Messgerät bzw. durch ein Normal (... *das über eine ununterbrochene Kette von Kalibrierungen eine Beziehung zu den Definitionen der SI-Einheiten hat*). Die Sensorik kann vom Anwender im Laborumfeld mit IMETER selbst überprüft und eingestellt werden. Dafür stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung. Zur Kalibrierung können stoffliche Standards und physikalisch definierte Zusammenhänge zwischen den Messgrößen verwendet werden. Dieser Punkt wird zu den Beispiel-IMPros und im Anhang aufgegriffen und ist Gegenstand gesonderter Abhandlungen¹⁸.

➤ Autokalibrierung

Neben der Kalibrierung der jeweiligen Messkette, wie oberhalb besprochen, wird der AD-Wandler in kurzen Zeitintervallen automatisch kalibriert. Dies erfolgt sowohl zeitgesteuert als auch durch Spannungs- oder Temperaturänderungen am ADWandler, entsprechend jeweiliger Einträge in den EEPROM-Daten.

...	
Kalibrierung bei Temperaturänderung des Wandlers von	[0,1] °C
Kalibrierung bei Spannungsänderung am Board von	[0,0001] V
Allg. Kalibrierung nach Zeitintervall von	[100] Minuten
T-Kalibrierung nach Zeitintervall von	[30] Minuten
...	

Tabelle 4 Ausschnitt aus „EEProm Daten“

Die Intervalle und Kriterien können angepasst werden.

Bei der internen Kalibrierung des AD-Wandlers werden die Verhältnisse korrigiert, indem der AD-Wandler sein Offset und die Verstärkungsverhältnisse ausgleicht, die besonders auf Temperaturänderungen empfindlich sind. Im Übrigen kann aus dem I-SIF-Formular und innerhalb der IMPros der Kalibrierbefehl ausgeführt werden. Dadurch würde die Initiierung der nächsten Autokalibrierung entsprechend später erfolgen. Es gibt zwei Situationen, in welchen diese Kalibrierung per Befehl sinnvoll eingesetzt wird: 1. Wenn Messdaten im Stream (z.B. zu einem ganz bestimmten Ereignis) aufgezeichnet werden sollen und deshalb die Selbstkalibrierung vorwegzunehmen ist, da sie eine zeitliche Unterbrechung des Streams bedeuten könnte. 2., wenn beim Kontakt mit dem Messnormal die durch die Kalibrierung verursachte Streuung bei der Bestimmung der Messunsicherheit bestimmt werden soll.

18

Allgemeine Angaben

➤ Angaben zur Konformitätserklärung

Das Gerät I-SIF entspricht den grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen der nachfolgend aufgeführten europäischen Richtlinien

- EMV -Richtlinie 2014/30/EU

Die Risikobeurteilung erfolgt gemäß EN ISO 12100:2010.

➤ Allgemeine Verwendung

I-SIF ist eine teilweise autonome Komponente des computergesteuerten IMETER-MessSystems (unter Microsoft Windows 7, 8, 10) zur Messung von Temperatur, Druck, Luftfeuchte und anderer elektronischer Potentiale bis +5V. I-SIF ist ein Instrument für Fachleute.

➤ Gefahrenhinweise

Von I-SIF gehen bei bestimmungsgemäßer Verwendung keine spezifischen Gefahren aus. Allgemeine Laborrichtlinien sind stets zu beachten.

I-SIF darf im laufenden Betrieb nicht ausgesteckt werden, da dies zu *blue-screen*-Abstürzen führen kann, wodurch der Computer keine Steuerungs/Überwachungsfunktionen mehr wahrnehmen kann.

➤ Bestimmungsgemäße Verwendungen

I-SIF ist eine Komponente des IMETER MessSystems. IMETER und seine Komponenten sind für den Einsatz im Labor- und Forschungsumfeld konzipiert. Das IMETER-MessSystem und seine Komponenten dürfen nur vom Hersteller geschulten Personen bedient werden und dürfen ausschließlich in den Ländern der EU und der Schweiz verwendet werden, sie dürfen nicht im medizinischen Umfeld etwa zur Überwachung lebenserhaltender Maßnahmen eingesetzt werden.

➤ Technische Daten / Spezifikationen (Typ 2.1)

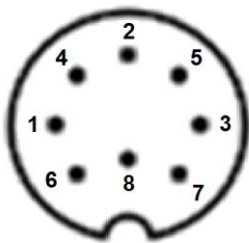
Betriebsbedingungen	Raumtemperatur (10-40°C), normale Luftfeuchte (<i>r.H.</i> 20-85%)
Leistungsaufnahme	max. 0.2 VA; Spannungsversorgung über USB-Schnittstelle.
Gewicht (Typ. 2.1)	0.5 kg (Gehäuseabhängig).
Anschlüsse:	USB 2.0; Sensoranschlüsse 2x 8-pol. DIN Rundstecker; Vertauschungssicher.
Aufwärmzeit	45-60 Minuten (=Zeit nach dem Anschalten von I-SIF / IMETER bis Spezifikationswerte erreicht werden)
Temperaturmessung primären Sensor	Messbereich -50 bis 200°C Auflösung 1 / 0.1 mK Messunsicherheit <5 mK (bei Kalibrierung unter Testbedingungen und im 6-Wochen-Kalibrier-Zyklus) Typ Pt100 Widerstandsthermometer, 4-Drahtanschluss, 0.6mA Messstrom
Temperaturmessung Luft Sensor	Messbereich 10 bis 40°C Auflösung 10 mK Messunsicherheit 0,1 K Typ Pt100 Widerstandsthermometer, 4-Drahtanschluss Konstant-Spannungsbetrieb
Luftdrucksensor	Messbereich 20 bis 115 kPa Auflösung 0.1 Pa, Relative Messunsicherheit 1.5% (unkalibriert) Typ Piezoresistiver monolithischer Siliziumsensor mit interner Temperaturkompensation (-20 bis 125°C).
Luftfeuchtesensor	Messbereich 0 bis 100% (nicht kondensierend) Auflösung 0.001% , Relative Messunsicherheit 3% (unkalibriert) Stabilität ca. 1% pro Jahr

➤ Sensor Anschlüsse (für Typ 2.1/V3)

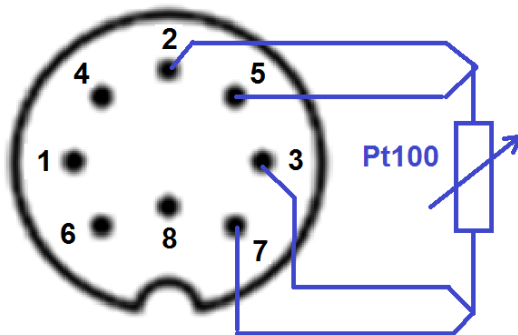


Abb. 23: I-SIF V3, Typ 2.1. von links: USB-Mini-Anschluß, LED-Signalleuchten, T -Sensor-, p, Ta, rH -Sensor-Anschluß (8 polige DIN) .

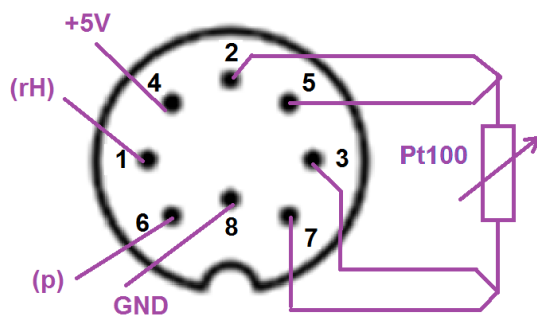
8-pol. DIN-Stecker
Stecker - Lötseite



Verbindungsplan / Anschluß des Temperaturfühlers (T):



Anschluss des Atmosphärensensoren (p, Ta, rH):



➤ **Lieferumfang (Typ 2.1 / V3)**

- I-SIF (Gerät), Pt100-Temperaturfühler (Mantelthermometer, Edelstahl, L=100m, D=2mm), Kombinationsfühler für Luftdruck, -Feuchte und –Temperatur. USB-Kabel.

I-SIF ist kein Serienprodukt. Zu einer Bestellung sind Typ und Ausstattungsmerkmale zu spezifizieren. Für jedes I-SIF werden individuelle Kennwerte bestimmt (Widerstände, Fühler R°-Werte) und in Form zugänglicher Konfigurationsdaten auf dem Modul elektronisch gespeichert.

➤ **Herstellerangaben Bezugsquellen**

Hersteller von I-SIF ist IMETER / MSB Breitwieser,
Morellstrasse 4, D-86159 Augsburg, Tel.: (++49) 821 706450,
Mail: info@imeter.de, Web: www.imeter.de

Aktualisierungen & Updates werden Anwendern zugeführt bzw. über die IMETER-Website zur Verfügung gestellt.

➤ **Entsorgung**

Was ist mit defekten, zerstörten oder nicht mehr gebrauchten Teilen von IMETER zu tun?

- Senden Sie die Gegenstände an uns zurück; Porto auf unsere Kosten.
- Geben Sie sie bei einem IMETER-Service Besuch einfach mit.
- Wenn es nicht anders geht:* i-SIF besteht aus elektronischen Bauteilen (Platine und Bauteile <weitgehend> mit RoHS-Zertifikat der Hersteller, Verwendung bleifreier Lote). Die spezifisch für Elektroartikel vorgesehenen Entsorgungswege können nach dem einfachen Zerlegen (Abtrennung der Metallgehäuse) auf die ca. 100g Elektronikanteile beschränkt werden.

➤ **Haftung**

IMETER/MSB Breitwieser übernimmt keine Haftung oder Garantie für die Aktualität, Vollständigkeit und Richtigkeit der in dieser Schrift bereitgestellten Informationen.

Wir behalten uns das Recht vor, ohne vorherige Ankündigung Änderungen oder Ergänzungen der bereitgestellten Informationen vorzunehmen oder an künftigen Versionen der IMETER-Soft- und Hardware durchzuführen.

Die Gegenstände sind freibleibend und unverbindlich. Wir behalten uns ausdrücklich vor, Teile der Funktion oder das gesamte Angebot ohne gesonderte Ankündigung zu verändern, zu ergänzen, zu entfernen oder zeitweise oder endgültig einzustellen.

Hinweise zur Umrüstung

I-SIF wird als interne Komponente vom IMETER-Service im IMETER V6 Gehäuse eingebaut oder – als externes Gerät an einer USB-Schnittstelle (am PC oder am IMETER) angeschlossen. Für die Ausführung von Messungen ergeben sich durch das I-SIF keine prinzipiellen Änderungen. I-SIF fügt sich ohne weiteres ein, bisherige IMPro laufen also wie gewohnt.

Mit I-SIF verlaufen die *normalen Temperaturmessungen* mit höherer Auflösung über den I-SIF Temperatursensor. Die bisherige Temperaturmesseinrichtung kann weiterbetrieben werden; sie fügt sich in den Ablauf bisheriger IMPro insofern von selbst und mit Vorteil ein, dass z.B. die Temperaturmessung bei **volumetrischen Dosierungen** über diesen dann sekundären Sensor abläuft¹⁹. Nützlich ist die zweite Temperaturmessstelle z.B. bei **Präzisionsdichtemessungen**, um sicherzustellen, dass eine einheitliche Temperatur im Messraum oder Medium vorliegt. In der Programmierung wird der alte Temperatursensor mit >Tb< adressiert. Die Verwendung von >Tb'< (Mittelwert) oder >Tb''< (Standardabweichung) ist jedoch nicht verfügbar.

IMETER mit **Luftfeuchte** Messeinrichtung: (a) Ist bereits ein elektronisches Hygrometer im IMETER-MessSystem integriert, wird dieses nicht mehr automatisch verwendet. Die Ablesung der Feuchte erfolgt über den I-SIF- Sensor. In der Programmierung kann mit beiden Feuchtesensoren weitergearbeitet werden der nicht-I-SIF-Sensor wird mit >rHa< angesprochen, die Verwendung von >rHa'< (Mittelwert) oder >rHa''< (Standardabweichung) ist ebenfalls nicht verfügbar.

(b) War keine Luftfeuchtemessung installiert, dann erfolgt, wo bisher die Luftfeuchte vom Anwender manuell über die Tastatur anzugeben war, die Ablesung fortan automatisch über I-SIF.

Luftdichteangaben: An Stellen im Ablauf einer Messung, an welchen die Luftdichte durch Eingabe der meteorologischen Daten anzugeben war (Dichtemessungen, hochpräzise Wägungen) erfolgt dies fortan automatisch und ohne Anwenderdialog.

¹⁹ Hintergrund: Damit bei den voll- oder teilautomatischen volumetrischen Dosierungen (per Kolben- oder Schlauchpumpen) die Dosiermenge genauestens bemessen werden kann, kann zur Bestimmung der Temperatur des dosierten Stoffes die bisherige Temperaturmessung verwendet werden. Bei der Messprogrammerstellung - im *Pumpendialog* („Temperaturangabe: *auto*“) – ist für den Fall der automatischen Temperaturangabe des Dosierstoffes, nun das bisherige Temperaturmessgerät zuständig. Dessen Temperatursensor soll also im thermischen Kontakt mit der dosierten Flüssigkeit stehen. (Bei Entnahmen aus einer Messzelle wird für die Mengen-Volumenumrechnung der Temperaturfühler des I-SIF ausgelesen).

Anwendungsbeispiele / Anhang

Mit IMETER Version 6 kommen neben den Funktionen für I-SIF weitere Möglichkeiten für die Modellierung von Messabläufen bzw. Programmierung hinzu. Die folgenden IMPro transportieren dazu anwendbare Beispiele. Ein besonderes Augenmerk liegt auf *In-Line-Berechnungen* und der direkten Verwendung von Sensordaten in physikalischen Formulierungen. Zunächst ein Beispiel, wie man das Konfigurationsfenster direkt nutzen kann.

➤ Temperatur-Feineinstellung eines Badthermostaten

I-SIF als Werkzeug im Werkzeug:

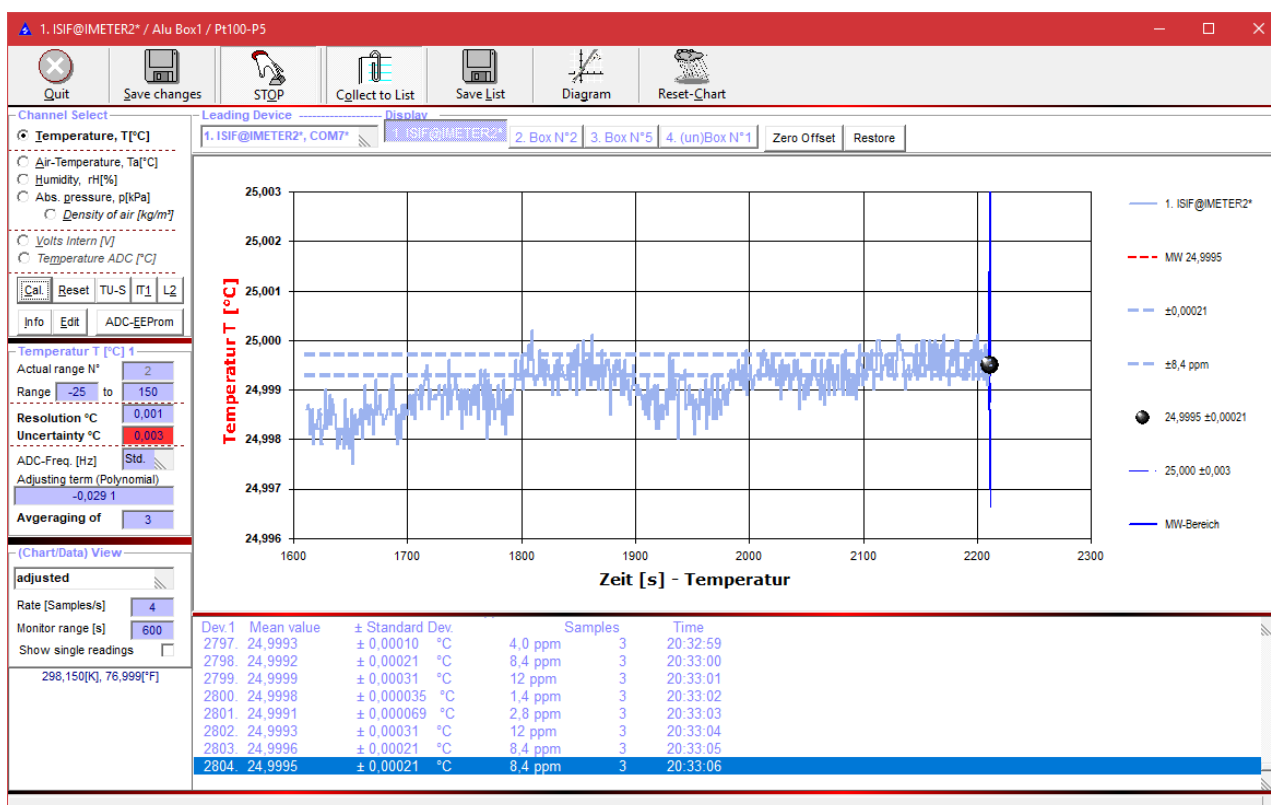


Abb. 24 Konfigurationsfenster: Die Anzeige des Temperaturverlaufs erlaubt Feineinstellungen am Thermostaten.

z.B. für die Feineinstellung der Temperatur eines gerührten Badthermostaten: Der Temperaturfühler wird in das Bad eingeführt und am Diagramm im Konfigurationsfenster wird der Temperaturverlauf betrachtet. – Weil übliche Thermostaten nicht im mK Bereich eingestellt werden können, die Regeltemperatur jedoch (oft) recht stabil halten, kann immerhin die *Umgebung* des Temperierbades so manipuliert werden, dass eine bestimmte Temperatur genau erreicht wird. Die Manipulation kann durch Variation der thermischen Isolation erfolgen (mehr oder weniger Dämmung) oder – wie wir das bisweilen machen – durch die Steuerung eines Lüfters, der über das Bad mehr oder weniger sachte bläst. Die *Wunschtemperatur* wird so über den Abstand und die Drehzahl des Ventilators feingestellt. Dazu wird ein PWM-Ausgang am IMETER-Gerät (→ 12-Polige C-Anschlüsse) verwendet um die Drehzahl des Lüfters anzupassen.

➤ Die richtige Waage – die „Wahre Masse Waage“

Beim anspruchsvollen Wiegen, wenn es um die ganz genauen Stoffmengen geht, ist eine Korrektur des von der Waage ausgegebenen Wägewertes durch den Luftauftrieb notwendig. Diese Korrekturen jeweils zu berechnen ist mühsam. Es geht einfach und automatisch: das Beispiel stellt eine z.B. eine Goldwaage dar.

Tabelle 5: Listing des IMPro „GoldWaage.prG“.

GoldWaage (M12)

Description given with the Program:

Einfaches Testprogramm zur Bestimmung der wahren Masse. Zur direkten Ausführung im Editor.

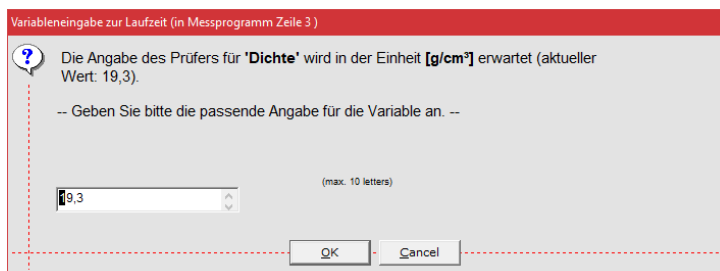
General hints: The Source Code of an IMETER measurement program (IMPro) consists of a sequence of statements that are executed line by line. To make the IMPro easier to understand, different elements are highlighted in the source code below:

Commands, IF-Conditions, Loops and Line-Jumps, Defining Variables, Calculations, Variables that create a Menu item at Start-up (or latent menu items), External Component Action (accessory, closer and farther devices), Comments and Hints, Info Messages, User Interaction or Input (). - Titles of Sub-Programs: SUB Program MENU-COMMAND - accessible by Toolbar/Menu during execution, AUTO-SUB - as periodic self-calling program part. The ' or #SubProgramName' means call of the SubProgram; Appearances of '@' denoting inline evaluations within a Text fragment. Some of the statements are pre-evaluated by the interpreter and can modify the representations in the data form, request additional information (for configuration) as well as the menu of the toolbar and the user interface during the run.

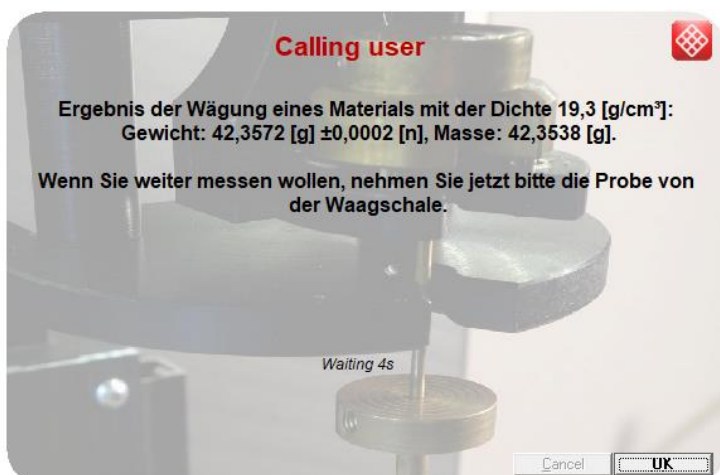
MAIN PROGRAM - GoldWaage

1. ——— 'Massebestimmung durch Wägung - in Einzelschritten' ———
2. Record density of Air
3. [9] [Density *] "Dichte" (19,3)
4. WEIGHING CELL: Tare
5. DIALOG: 'Jetzt bitte die Probe auflegen '
6. Wägewert [g] = W' eingelesener Wäge-Mittelwert
7. Masse [g] = Wägewert * (1 - (rhoL * 0,001 / (rhoC))) / (1 - (rhoL * 0,001 / Dichte)) ⇒ wahre Masse Formel
8. DIALOG: 'Ergebnis der Wägung eines Materials mit der Dichte @Dichte@:
Gewicht: @Wägewert@ ± @SQR(W' ^2 + W' ^2)@, Masse: @Masse#g#4@.
Wenn Sie weiter messen wollen, nehmen Sie jetzt bitte die Probe von der
Waagschale.;...\\Media\\DichteFK\\SomethingOnTheWeighingCell.JPG '
9. IF "W=0 g" THEN: 6 Lines backward

In Zeile 2. Wird die Luftdichte durch I-SIF bestimmt; wenn ein I-SIF nicht angeschlossen ist, erscheint ein



aufzulegen (5.). Ein Gleichgewichtswert (W') wird von der Wägezelle eingelesen und dabei der Variablen



Dialog zur Eingabe. Die Eigenschaft bzw. Variable „rhoL“ für die Luftdichte wird so neu gesetzt. In Zeile 3 wird die Dichte des Stoffes als im Ablauf änderbare Variable im Dialog angegeben (19,3 ist dabei ein Defaultwert). Die Waage wird dann tariert (4.) und der Anwender wird aufgefordert die Probe aufzulegen (5.). Es folgt die Berechnung der Masse (7.), dann die Ausgabe des Ergebnisses im Dialog (8.). Die Massebestimmung wiederholt sich automatisch, bis man das IMPro beendet oder die Probe auf der Waagschale belässt.

➤ Altimeter – Druckmessung zur Bestimmung der Meereshöhe

Die Luftdichte ist besonders vom Luftdruck abhängig. Wie grundsätzlich sollen Methoden zur Überprüfung der Sensoren verfügbar sein. Eine vergleichsweise einfache Methode die Luftdruckmessung zu prüfen besteht im Vergleich mit den Angaben einer Wetterstation. Dabei wird die relative Druckangabe mit dem Absolutwert, die I-SIF liefert, verglichen. Dies erlaubt auch ggf. die in der IMETER-Konfiguration angegebene Meereshöhe zu verifizieren.

Grundlage ist die folgende Beziehung²⁰:

$$h = \frac{p_0}{\rho_0 \cdot g} \cdot \ln \frac{p_0}{p}$$

Die Stationshöhe h ergibt sich aus den Verhältnissen des Luftdrucks auf Meereshöhe (p_0) – was gleichbedeutend mit dem relativen Luftdruck ist – zur Luftdichte und Fallbeschleunigung und des Logarithmus' der Druckverhältnisse zwischen Null (p_0) und dem lokal gemessenen Luftdruck (p) in der Höhe h .

Eine solche Applikation zur Höhenmessung wurde per IMPro so eingestellt, dass sie die folgende Ausgabe in einem Bericht ausgibt.

...

ALTIMETRIE mit IMETER

Check der Druckmessung durch Vergleich mit dem rel. Luftdruck der Wetterstation "www.meteo24.de": Angabe:103,00[kPa] zur Angebezeit 11:19:18.

Daten vom IMETER-System: Stationshöhe 498[m], Fallbeschleunigung 9,80769[m/s²] sowie momentaner Luftdichte 1,135231[kg/m³] (bzw. 1,20233) und Luftdruck 97,2522[kPa].

Die Höhenmessung mit I-SIF(p) ergibt sich zu **501,56[m]**. Der Unterschied zur angegebenen IMETER Stationshöhe beträgt **3,56[m]**.

Damit die Anzeigen von I-SIF(p) und www.meteo24.de konsistent werden, müsste nach der vorläufigen Einschätzung, beim I-SIF(p) eine Korrektur von 0,040[kPa] eingegeben werden.

(D.h. I-SIF(p) müsste 97,292[kPa] anzeigen.)

PS: Die Altimeter-Präzision, die mit einer Ablesbarkeit von 0.01kPa (=0.1mbar) korrespondiert, entspricht einem Höhenunsicherheit von 90[cm]. -- Die Formel erlaubt jedoch generell keine allzu hohe Exaktheit

Messung einiger Werte ...

Verfolgung der Druckmessung und deren Ableitungen:

Zeit[min]	Druck[kPa]	berechnete Stationshöhe[m]	Änderung zum Startwert [cm]
1,01	97,25259	501,52	-4
1,15	97,252	501,58	2
1,30	97,252	501,58	2
1,44	97,25071	501,69	13
1,57	97,2494	501,81	25

Zusammenfassung

Ergebnisse aus 5 Messungen.

- Mittelwert der Druckmessung: 97,251[kPa].
- Mittelwert der Höhenberechnung: 501,64[m].
- Mittlere Änderung während der Beobachtung: 8[cm].

Zur Richtigstellung der I-SIF(p) Anzeige wäre der 'Offset' um **0,041 kPa** zu ändern.

• Allgemeine Informationsausgabe(n)

1.: I-SIF Einstellungen: Kanal N°6, LuftDruck (p[kPa]).

Messbereich von 30 bis 110kPa, Messunsicherheit ±0,003kPa, Korrekturfunktion: kPa => -0,0065+1·kPa, 7 Samples bei Abtaststufe 'Standard' ...

²⁰Seite „Barometrische Höhenmessung“. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 13. November 2010, 16:52 UTC. URL: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Barometrische_H%C3%B6henmessung&oldid=81467615

Das nachfolgende Programmlisting ist der Ausdruck des Messprogramms, das diesen Berichtsbeitrag erzeugt.

Tabelle 6: Listing des IMpros „Altimeter.prG“.

Altimeter-Test (M12)

Description given with the Program:

Einfach ausführbares Lehr- und Testprogramm für die I-SIF Druckmessung. Es wird nur das I-SIF gebraucht.

General hints: The **Source Code** of an IMETER measurement program (IMPro) consists of a sequence of statements that are executed line by line. To make the IMPro easier to understand, different elements are highlighted in the source code below:

Commands, IF-Conditions, Loops and Line-Jumps, Defining Variables, Calculations, Variables that create a Menu item at Start-up (☞ or latent menu items), External Component Action (☞ accessory, ☞ closer and ☞ farther devices), Comments and Hints, Info Messages, User Interaction or Input (☞). - Titles of Sub-Programs: **SUB Program** **MENU-COMMAND** - accessible by Toolbar/Menu during execution, **AUTO-SUB** - as periodic self-calling program part. The '!' or '#SubProgramName' means call of the SubProgram; Appearances of '@' denoting inline evaluations within a Text fragment. Some of the statements are pre-evaluated by the interpreter and can modify the representations in the data form, request additional information (for configuration) as well as the menu of the toolbar and the user interface during the run.

MAIN PROGRAM - Altimeter-Test - V.7.1.27

[illegible]

1a	x SUB x	Mittelwerte berechnen
2a	MW_p_ = Sum_p_ / Zähler_MW	
3a	MW_h_ = Sum_h_ / Zähler_MW	
4a	MW_korr_pISIF = Sum_korr_pISIF / Zähler_MW	
5a	MW_Änderung_h_ = Sum_Änderung_h_ / Zähler_MW	Berechnung der Meereshöhendifferenz
6		#Mittelwerte berechnen

Der Ablauf: Der Anwender wird nach dem Namen der Wetterstation gefragt (Zeile 2.) und dem angegebenen Luftdruck (Zeile 3.). I-SIF wird Kalibriert (5.), der genaue Druckwert wird eingelesen (6.), die Luftdichte in Höhe Null wird berechnet (8.), dann werden die anderen Ausgabegrößen für den ersten Teil des Berichts (16.) kalkuliert. – Die folgende Abbildung zeigt den Assistenten für *solche* Programmzeilen mit dem Inhalt der Zeile 16. - Die notwendigen Programmierhinweise werden jeweils angezeigt, und zur Verfügung stehende Variable.

?
--- Assistent für freie Berichtsausgaben ---
^

Diese Funktion erzeugt für Prüfberichte Ausgabertexte und *Tabellen*. Es gelten folgende Regelungen:

1. Bei einmaligem Aufruf im Messprogramm wird der Text beider Felder in den Bericht der Messung gesetzt.
2. Wenn die Zeile mit dieser Funktion mehrfach aufgerufen wird, wird mit der Wiederholung nur noch der Text des unteren Feldes ('Detail') in den Bericht gesetzt.
3. Für alle Schlüsselzeichen (aktuelle Messeinheiten, definierte Variable und Ergebnisse) in beiden Eingabefeldern, die in '@' eingefasst sind, wird der jeweilige Wert eingetragen (im 'Kopf' automatisch mit '[Einheit]'). Für die zweite Zeile eignen sich daher besonders variable Ausdrücke und ggf. Ergebnisse spezieller Berechnungen ('SOLV') - speziell für eigene Tabellen.
4. Ein '?' als erstes Zeichen im unteren Feld führt zu einem Dialog im Messablauf. Damit können freie Berichtsbeiträge zur Laufzeit erstellt/geändert/angepasst werden.

*Sie können RTF-Formatierungen für die Verschönerung der Berichtsausgabe anwenden z.B. für **Fett** {\b Fett}, für unterstrichen {\u\u unterstrichen}, **fett unterstrichen** {\u\b\u unterstrichen} ... vgl. RTF-Formatierungen links über WIKIPEDIA*

vorhandene Variable mit Einheiten und Namen: zum Einfügen in '@'-Zeichen eingefaßt:

m: Initiale_Meereshöhe, Höhenunterschied, Initiale_Meereshöhe_F+, berechnete_Meereshöhe, MW_h_kPa: p_Ref, p_Start, rho_L², Soll_Druck_bei_korrektur_Ref, Abweichung_I-SIF_Druckmsg, aktueller_Luftdruck, MW_p, MW_korr_pI-SIF

SOLV: Zähler_MW, Sum_p, Sum_h, Sum_korr_pI-SIF, Sum_Änderung_h

TEXT: Name_der_Wetterstation, Zeit_der_Ref.Ablesung

.....

Kopfbereich des Beitrags (max. 1172 letters)

{\FS22 ALTIMETRIE mit IMETER}\partab {\b Check der Druckmessung durch Vergleich mit dem rel. Luftdruck der Wetterstation "{i @Name_der_Wetterstation@}": Angabe:@p_Ref" zur Angabezeit @Zeit_der_Ref.Ablesung@}.

Daten vom IMETER-System: Stationshöhe @NN@, Fallbeschleunigung @g@ sowie momentaner Luftdruck @rhoL@ und Luftdruck @p_Start@

Die Höhenmessung mit I-SIF(p) ergibt sich zu {\blu\u @Initiale_Meereshöhe@}. Der Unterschied zur angegebenen IMETER Stationshöhe beträgt {\blu\u @Höhenunterschied@}.

Damit die Anzeigen von I-SIF(p) und @Name_der_Wetterstation@ konsistent werden, müsste nach der vorläufigen Einschätzung, beim I-SIF (p) eine Korrektur von @Abweichung_I-SIF_Druckmsg@ eingegeben werden.

{i (D.h.I-SIF(p) müsste @Soll_Druck_bei_korrektur_Ref@ anzeigen.)}

Detailbereich - wiederkehrende Ausgaben (max. 398 letters)

{\FS14{i PS: Die Altimeter-Präzision, die mit einer Ablesbarkeit von 0.01kPa (=0.1mbar) korrespondiert, entspricht einem Höhenunsicherheit

Übernehmen
Abbrechen

Abb. 25: Assistent für „freie Berichtsbeiträge“ (Funktion ‚Create Report‘)

➤ Luftdichtemessung –Methodenvergleich

Die folgende Beispielanwendung vergleicht drei Methoden zur Bestimmung der Luftdichte. Es stellt die Möglichkeit der gegenseitigen Prüfung der Luftsensoren und der Waage dar. Verglichen wird die integrierte IMETER-Berechnung, die Berechnung nach der vereinfachten NIST²¹-Formel und die Bestimmung der Luftdichte durch Wägung eines Artefakts dessen Masse und Volumen bekannt ist.²²

Das Programm dient speziell zur Verifikation von Artefakten zur Luftdichtemessung. Dabei wird über eine Zeit hinweg immer wieder die Luftdichte nach den drei Methoden bestimmt. Da sich diese eigentlich



²¹ NIST: *National Institute of Standards and Technology*, eine US-amerikanische Bundesbehörde; bis 1988 NBS. Das deutsche Pendant ist die PTB, das englische die NPL.

²² Ergänzende Informationen s. Literatur (4).

immer ändert, kann über die Extremwerte die Dichte des Artefakts ungefähr bestätigt werden. Wenn man das Programm mit IMETER in einer Druckkammer (oder Glovebox mit Luftpumpe) ablaufen ließe, lieferte es automatisch brauchbare Dichtewerte des Artefakts.

Abb. 26: Artefakt zur Luftdichtemessung auf der Plattform im Messraum eines IMETER (es wird zur Wägung jeweils am Lastträger der Wägezelle eingehängt - und zum Justieren/Tarieren ausgehoben).

Luftdichte-Messung - Vergleich dreier Methoden

... (M1) interne Luftdichtemessung IMETER, (M2) die vereinfachten Formel vom NIST (*NPL: Good Practice Guidance Note: **Buoyancy Correction and Air Density Measurement**, <http://www.npl.co.uk/upload/pdf/buoycornote.pdf>. " ... There is a typical uncertainty of 4 parts in 10E4 on this equation over the range of air density of 1.2 kg/m³ ±10%"*) und (M3) Bestimmung der Luftdichte durch Wägung eines Artefakts (Bezeichnung: **Hohlkörper B1000** mit der Masse 118,5354[g] und der Dichte 110,80[kg/m³] angegeben).

Tabelle 1

Nr.	Zeit	T[°C]	p[kPa]	rH[%]	W[g]	ρ _{IMETER}	ρ _{NIST}	ρ _{Artef.}
1	22:38:19	25,15	97,155	39,99	117,3436	1,12935	1,12913	1,12954
2	22:39:35	25,14	97,156	39,98	117,3432	1,12935	1,12918	1,12992
3	22:41:14	25,15	97,155	39,97	117,3434	1,12931	1,12913	1,12973
4	22:44:23	25,15	97,151	39,97	117,3436	1,12926	1,12909	1,12954
5	22:45:25	25,16	97,151	39,98	117,3438	1,12917	1,12904	1,12935
6	22:47:49	25,16	97,146	39,99	117,3439	1,12920	1,12898	1,12925
7	22:49:30	25,16	97,148	40,01	117,3438	1,12916	1,12900	1,12935
8	22:51:14	25,17	97,144	40,02	117,3440	1,12908	1,12891	1,12916
9	22:53:40	25,17	97,137	40,03	117,3440	1,12899	1,12883	1,12916
10	22:55:28	25,17	97,130	40,03	117,3442	1,12894	1,12875	1,12897
11	22:57:37	25,17	97,129	40,03	117,3439	1,12893	1,12874	1,12925
12	22:59:21	25,17	97,130	40,04	117,3439	1,12895	1,12875	1,12925
13	23:03:01	25,17	97,127	40,04	117,3440	1,12885	1,12871	1,12916
14	23:03:58	25,18	97,121	40,03	117,3442	1,12881	1,12860	1,12897
15	23:05:57	25,18	97,124	40,04	117,3441	1,12883	1,12864	1,12906
16	23:08:18	25,18	97,119	40,08	117,3443	1,12873	1,12857	1,12887
17	23:10:41	25,19	97,114	40,08	117,3443	1,12866	1,12847	1,12887
18	23:11:59	25,19	97,115	40,04	117,3441	1,12865	1,12849	1,12906
19	23:14:10	25,19	97,108	40,02	117,3443	1,12862	1,12841	1,12887

Massebestimmungen durch Wägung - verschiedene Luftdichtekorrekturen

Eine Massebestimmung unter Verwendung von rArtef. (M3) ergibt im Zirkelschluss jeweils die angegebene Masse (118,5354[g]), die beiden anderen Luftdichteangaben liefern leicht abweichende Werte und jeweils typische Schwankungen.

Die nachfolgende Tabelle 2 listet Ergebnisse der fortlaufenden Bestimmung auf:

m(IMETER) ist die mittels (M1), der internen Luftdichtemessung, bestimmte wahre Masse: **D(I-m)** gibt die Abweichung zum "wahren Wert" wieder. **m(NIST)** steht für die Masseberechnung auf Basis der 'NIST'-Luftdichtebestimmung (M2) und **D(N-m)** für deren Abweichung.

Mit **Abw p** wird der Druckunterschied in kPa angegeben, der sich aus Differenz des gemessenen Drucks zu einem mit M3 (und M2) berechneten Druck ergibt,

n.d.Gl.: " $p - (rArtef. \cdot (273,15+T) + rH \cdot (0,00252 \cdot T - 0,020582)) / 3,48444$ "

Tabelle 2

Nr.	m(IMETER)	D(I-m)	m(NIST)	D(N-m)	Abw p
1	118,5352	-0,0002	118,5350	-0,0004	-0,035
2	118,5348	-0,0006	118,5346	-0,0008	-0,063
3	118,5350	-0,0004	118,5348	-0,0006	-0,051
4	118,5351	-0,0003	118,5349	-0,0005	-0,039
5	118,5352	-0,0002	118,5351	-0,0003	-0,026
6	118,5353	-0,0001	118,5351	-0,0003	-0,023
7	118,5352	-0,0002	118,5350	-0,0004	-0,030
8	118,5353	-0,0001	118,5351	-0,0003	-0,021
9	118,5352	-0,0002	118,5351	-0,0003	-0,028
10	118,5354	0,0000	118,5352	-0,0002	-0,019
11	118,5351	-0,0003	118,5349	-0,0005	-0,044
12	118,5351	-0,0003	118,5349	-0,0005	-0,043

13	118,5351	-0,0003	118,5349	-0,0005	-0,038
14	118,5352	-0,0002	118,5350	-0,0004	-0,031
15	118,5352	-0,0002	118,5349	-0,0005	-0,036
16	118,5352	-0,0002	118,5351	-0,0003	-0,025
17	118,5352	-0,0002	118,5350	-0,0004	-0,034
18	118,5350	-0,0004	118,5348	-0,0006	-0,049
19	118,5351	-0,0003	118,5349	-0,0005	-0,039

Mittelwerte der Massebestimmungen:

Aus 19 Messzyklen über 0,64[h] ergibt die Massebestimmung auf Basis M1:

Mittelwert: 118,5352[g], Standardabweichung: 0,00013[g],

die mittlere Abweichung zum Sollwert beträgt 0,0002[g].

Die vereinfachte NIST-Formel ergibt entsprechend M2:

Mittelwert: 118,5350[g], Standardabweichung: 0,00014[g],

die mittlere Abweichung zum Sollwert ist hier 0,0004[g].

Der mittlere Druckunterschied zwischen gemessenem und berechnetem Druck **abw p** beträgt -0,035[kPa].

Korrektur der Artefaktdaten von "Hohlkörper B1000":

-- Sofern eine hinreichend große Luftdichteänderung vorlag, können daraus die Daten (m, V) des Artefakts bestimmt werden! --

Der 1. Listeneintrag lieferte den Maximalen Luftdichtewert (1,12935kg/m³), der 19. den Minimalwert (1,12862kg/m³).

Korrektur der angegebenen Masse um -0,2616[g]! Damit betrüge die korrekte Masse des Artefakts: 118,2738[g] -- Die

Volumenbestimmungen führt zu Vmin 838,20[cm³] bis Vmax 838,29[cm³] (Unterschied: 0,087[cm³]). Eine weitere, unabhängige

Volumenberechnung aus den Wägedaten ergibt 973,4368[cm³]

Die Dichte des Körpers ergäbe sich zwischen 0,1411[g] und 0,1215[g].

...

Die nachfolgende Programmliste ist der Ausdruck zum IMPro, das diesen Bericht erzeugt.

Tabelle 7 Listing des IMPro's „LuftDichte-Meter.prG“.

LuftDichte-Meter (M12)

Description given with the Program:
IMPro zur Messung der Luftdichte nach zwei Methoden (Gravimetrisch und per Atmosphärendaten) Es wird ein großvolumiges, inkompressibles Artefakt mit Aufhänger für die Wägezelle benötigt + ein I-SIF.

General hints: The Source Code of an IMETER measurement program (IMPro) consists of a sequence of statements that are executed line by line. To make the IMPro easier to understand, different elements are highlighted in the source code below:

Commands, IF-Conditions, Loops and Line-Jumps, Defining Variables, Calculations, Variables that create a Menu item at Start-up (or latent menu items), External Component Action (accessory, closer and farther devices), Comments and Hints, Info Messages, User Interaction or Input (). - Titles of Sub-Programs: **SUB Program** **MENU-COMMAND** - accessible by Toolbar/Menu during execution, **AUTO-SUB** - as periodic self-calling program part. The '!' or '#SubProgramName' means call of the SubProgram; Appearances of '@' denoting inline evaluations within a Text fragment. Some of the statements are pre-evaluated by the interpreter and can modify the representations in the data form, request additional information (for configuration) as well as the menu of the toolbar and the user interface during the run.

MAIN PROGRAM - LuftDichte-Meter - V.

1. _____ ' - Definition der Variablen - ' _____
2. [TEXT] "Artefakt_Name" = Hohlkörper B1000 Geben Sie bitte den Name des Artefakts an!
3. [Volume] "Artefakt_Vol" = 1069,791 [cm³] ... "Volumen" des Körpers
4. [Mass/Weight] "Artefakt_Masse" = 118,5354 [g] ... "Masse" des Körpers
5. Artefakt_Dichte [kg/m³] = 1000* Artefakt_Masse / Artefakt_Vol ... "Masse pro Volumen" des Körpers
6. [Density] "rL_min" = 10000 [g/cm³]
7. [Density] "rL_max" = 0 [g/cm³]
8. _____ ' Anlernen der Positionen zur Wägung des Artefakts - ' _____
9. Stage light: active
10. [Absolute height] "JustierPosition" = 55 [mm] Die Lifthöhe, in der der Laträger ausgehängt ist
11. Z-MOVE: ⚙ "JustierPosition" v= 5,00 mm/s
12. DIALOG: ' Setzen Sie bitte den Messkörper '@Artefakt_Name@' so ein, dass der Haltekonus sich frei über dem Lastträger erhebt. (Benutzen Sie die Bewegungstasten!) '
13. JustierPosition [mm] = H Die Lifthöhe, in der der Laträger tatsächlich ausgehängt ist

14. Z-MOVE: 5,000 mm DOWN v= 2,50 mm/s
15. DIALOG: 'Bewegen Sie bitte den Tisch, damit '@Artefakt_Name@' am Lastträger einhängt. (Benutzen Sie die Bewegungstasten!)
16. MessPosition [mm] = H Die Lifthöhe, in der der Lastträger das Artefakt trägt
17. Stage light: off
18. Z-MOVE: ⌘ "JustierPosition" v= 5,00 mm/s
19. ——— 'Wie lange soll die Bestimmung laufen? und in welchen Zeitabständen soll gemessen werden?' —
20. GesamtDauer [min] = 20 * 24 * 60 maximale Laufzeit des Programms in Tagen
21. [Time] "MessIntervall" = 120 [s] Zeitabstand zwischen den Messungen
22. JustierIntervall_der_Waage [h] = 3 Zeitabstand in Stunden zwischen den Justierungen der WZ
23. Justierzeit_der_Waage [h] = 0 Nächster Zeitpunkt zur Justierungen der WZ in Stunden
24. Justierung_der_Waage_bei_DT [°C] = 1 ... Justierung wenn die Temperatur sich ändert
25. JustierTemperatur_der_Waage [°C] = 0 Lufttemperatur bei der Justierungen der WZ
26. -a- ——— 'Bestimmung der Messgrößen' —
27. -f- Disable Menu
28. -f- f t1 starten
29. -f- lfnmr = lfnmr +1 zähler
30. -f- #SichereWägung W' (ggf. Justierung)
31. -f- [TEXT] "Zeit_der_Ablesungen" = @TIME@
32. -f- p_(ISIF) [kPa] = p'
33. -f- rh_(ISIF) [%] = rH'
34. -f- T_(ISIF) [°C] = Ta'
35. -f- Record density of Air
36. -f- rhoL_IMETER [kg/m³] = rhoL (Die Funktion 'Luftdichte angeben' setzt die Variable rhoL automatisch und erzeugt eine Berichtsausgabe)
37. -f- rhoL_NIST [kg/m³] = (p_(ISIF) * 3,48444 - rh_(ISIF) * (0,00252 * T_(ISIF) - 0,020582)) / (273,15 + T_(ISIF)) ...
38. -f- rhoL_Artefakt [kg/m³] = 1000 * (Artefakt_Masse - xWägewert) / ((Artefakt_Masse / (0,001 * Artefakt_Dichte)) - (xWägewert / rhoC)) ...
39. -f- m_NIST [g] = xWägewert * (1 - (rhoL_NIST / (rhoC * 1000))) / (1 - (rhoL_NIST / Artefakt_Dichte)) wahre Masse NIST
40. -f- m_IMETER [g] = xWägewert * (1 - (rhoL_IMETER / (rhoC * 1000))) / (1 - (rhoL_IMETER / Artefakt_Dichte)) wahre Masse mit Artefakt
41. -f- m_Artefakt [g] = xWägewert * (1 - (rhoL_Artefakt / (rhoC * 1000))) / (1 - (rhoL_Artefakt / Artefakt_Dichte)) ...
42. -f- Dp_ac_Arte [kPa] = p_(ISIF) - (rhoL_Artefakt * (273,15 + T_(ISIF)) + rh_(ISIF) * (0,00252 * T_(ISIF) - 0,020582)) / 3,48444
- Berechnung des Druckunterschieds zw. Druckmessung / Luftdichtemessung per Artefakt
43. -f- ——— 'Werte für Endkorrekturen aus Extremwerten der Luftdichte' —
44. -f- IF "rL_max < rhoL_IMETER [kg/m³]" DEFINE: 'ii_max = lfnmr [n]'
45. -f- IF "rL_max < rhoL_IMETER [kg/m³]" DEFINE: 'W_max = xWägewert [g]'
46. -f- IF "rL_max < rhoL_IMETER [kg/m³]" DEFINE: 'rL_max = rhoL_IMETER [kg/m³]'
47. -f- IF "rL_min > rhoL_IMETER [kg/m³]" DEFINE: 'ii_min = lfnmr [n]'
48. -f- IF "rL_min > rhoL_IMETER [kg/m³]" DEFINE: 'W_min = xWägewert [g]'
49. -f- IF "rL_min > rhoL_IMETER [kg/m³]" DEFINE: 'rL_min = rhoL_IMETER [kg/m³]'
50. -f- ——— 'Summationen zur Statistik' —
51. -f- sum_im = sum_im + m_IMETER summation
52. -f- ^2sum_im = ^2sum_im + (m_IMETER)^2 summation
53. -f- [TEXT] "Statistik_IMETER" = Mittelwert: @ sum_im / lfnmr #g#4@, Standardabweichung: @SQR(1/(lfnmr - 1) * (^2sum_im - (sum_im ^2 / lfnmr)))#g#5@ summation und Formatierung
54. -f- sum_NIST = sum_NIST + m_NIST summation
55. -f- ^2sum_NIST = ^2sum_NIST + (m_NIST)^2 summation und Formatierung
56. -f- [TEXT] "Statistik_NIST" = Mittelwert: @ sum_NIST / lfnmr #g#4@, Standardabweichung: @SQR(1/(lfnmr - 1) * (^2sum_NIST - (sum_NIST ^2 / lfnmr)))#g#5@ summation
57. -f- sDp_ac_Arte = sDp_ac_Arte + Dp_ac_Arte Summation
58. -f- Enable Menu
59. -f- f Create Report: - generates each time a new line of entries to the table -

Luftdichte-Messung - Vergleich dreier Methoden

... (M1) interne Luftdichtemessung IMETER, (M2) die vereinfachten Formel vom NIST (NPL: Good Practice Guidance Note: *Buoyancy Correction and Air Density Measurement*, <http://www.npl.co.uk/upload/pdf/buoycornote.pdf>. " ... There is a typical uncertainty of 4 parts in 10E4 on this equation over the range of air density of 1.2 kg/m³ ± 10%". – Die Formel ebenfalls in METTLER TOLEDO's 'Wägefibel' zu finden.) und (M3) Bestimmung der Luftdichte durch Wägung eines Artefakts (Bezeichnung: @Artefakt_Name@ mit der Masse @Artefakt_Masse@ und der Dichte @Artefakt_Dichte#kg/m³#-5@ angegeben).

Tabelle 1

Nr.	Zeit	T[°C]	p[kPa]	rH[%]	W[g]	rIMETER	rNIST	rArtef.
@lfnmr@	@Zeit_der_Ablesungen@	@T_(ISIF)@	@p_(ISIF)@	@rh_(ISIF)@	@W@	@rhoL_IMETER@	@rhoL_NIST@	@rhoL_Artefakt@
@xWägewert@	@rhoL_IMETER@							

60. -f- f Create Report: - generates each time a new line of entries to the table -

Massebestimmungen durch Wägung - verschiedene Luftdichtekorrekturen

Eine Massebestimmung unter Verwendung von rArtef. (M3) ergibt im Zirkelschluss jeweils die angegebene Masse (@Artefakt_Masse@), die beiden anderen Luftdichteangaben liefern leicht abweichende Werte und jeweils typische Schwankungen.


```

6c LOOP: one comand back, max.10-times or "|dW|<=0,1 mg" is/becomes the case
7c [2] WEIGHING CELL: Tare
8c [17] Wait: 0,250 s
9c LOOP: one comand back, max.10-times or "|dW|<=0,3 mg" is/becomes the case
10c ——— 'ggf muss Messkörper abgesetzt und wiederaufgenommen werden' ———
11c IF "last loop regular finished" THEN: 8 Lines backward
12c ——— 'ggf muss nochmals auf Null gestellt werden - Sichere Wägung!' ———
13c IF "|W|>=0,1 mg" THEN: 10 Lines backward
14c ——— 'ggf. muss Waage nach Zeit und Temperaturänderung justiert werden' ———
15c #ggf Justierung der Waage
16c ——— 'Nochmals den Nullpunkt absichern' ———
17c IF "|W|>=0,1 mg" THEN: 9 Lines backward
18c ——— 'Messposition einnehmen und Stillstand abwarten' ———
19c Z-MOVE: ↻ "MessPosition" v= 2,50 mm/s
20c Wait: 1 s
21c LOOP: one comand back, max.20-times or "dW=0 mg" is/becomes the case
22c IF "W < Artefakt_Masse / 2 [g]" THEN: 20 Lines backward
23c ——— 'Mittelwert wiegen' ———
24c xWägewert [g] = W'
25c ——— 'Zurück zur Entlastungslage' ———
26c Z-MOVE: ↻ "JustierPosition" v= 5,00 mm/s
27. ————— #SichereWägung W' (ggf. Justierung).

1d — x— SUB —x— ————— ggf Justierung der Waage —————
2d ——— '<automatische Justierung 1. am Anfang sowiso, 2. nach Intervall und 3.bei Temperaturänderung>' —
3d IF "Justierzeit_der_Waage < t / 3600 [h]" THEN: 3 Lines forward
4d IF "abs( JustierTemperatur_der_Waage - Ta ) - Justierung_der_Waage_bei_DT >0 [°C]" THEN: 2 Lines forward
5d JUMP 6 Lines forward
6d [3] [4] ——— '<Die Justierung erzeugt automatisch eine Berichtsausgabe>' ———
7d WEIGHING CELL: Adjust
8d ——— '<Setzen der Bedingungen zur nächsten Justierung>' ———
9d Justierzeit_der_Waage [h] = t / 3600 + JustierIntervall_der_Waage relative Zeit der Justierungen der WZ
10d JustierTemperatur_der_Waage [°C] = Ta Lufttemperatur bei der Justierungen der WZ
11. [5] ————— #ggf Justierung der Waage*.

1e —÷— MENU-COMMAND —÷— ————— | Messintervall ändern | —————
2e [Time *] "MessIntervall" Geben Sie den Zeitabstand zwischen den Messungen an.
3. ————— Messintervall ändern.

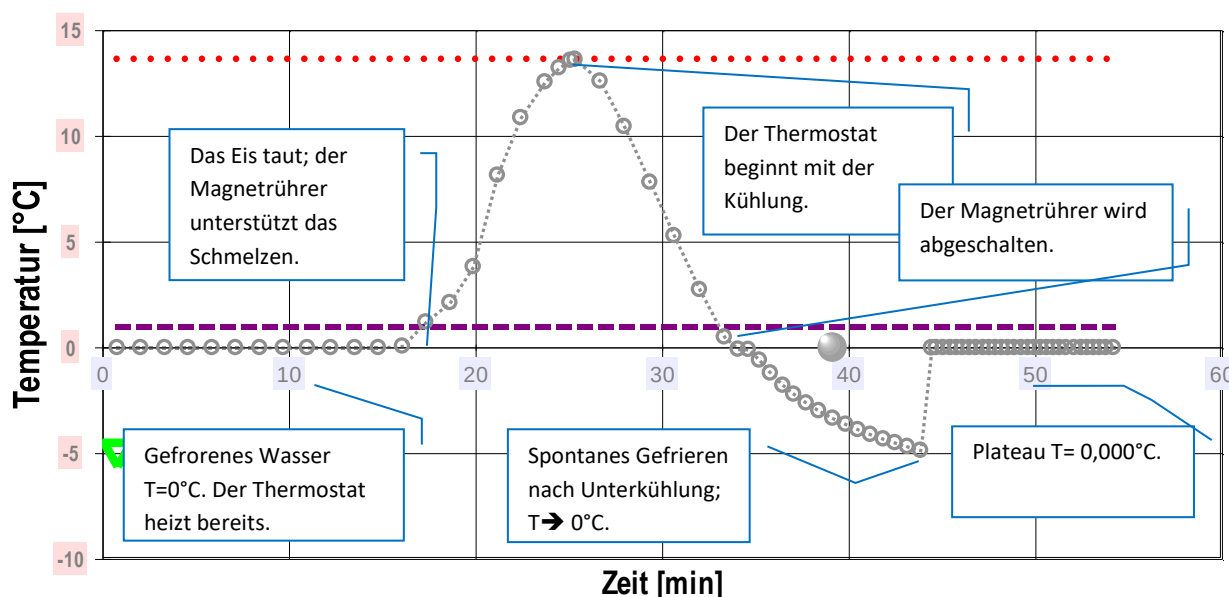
```

➤ Kalibriermethoden für die Temperaturmessung

Die Kalibrierung der Temperaturmessung ist häufiger durchzuführen, wenn im mK-Bereich korrekt gemessen werden soll.

(1) Wassergefrierpunkt

Für den einfachen Temperaturbereich genügt der Eispunkt des Wassers als Fixpunkt vielen Anforderungen. Das IMPro >TemperaturKalibrierung_0°C.prG< stellt dazu ein Verfahren zur Verfügung²³ - Reines Wasser wird in einem Temperiergefäß vorgelegt. Die Temperaturfühler werden mindestens 60mm tief in das Wasser eingeführt und dort mittig fixiert. Der Thermostat kühlt das Wasser herunter. Ab -5°C kann mit dem spontanen Gefrieren gerechnet werden. Tritt dies ein, gefriert fast die Hälfte der Wassermenge und die Temperatur schießt augenblicklich zum Eispunkt ($0,000 \pm 0,002 \text{ °C}$)²⁴. Sie bleibt bei dieser Temperatur konstant, bis fast alles flüssige Wasser gefroren ist²⁵. Das Diagramm unten zeigt ein Messdatendiagramm, das entsprechend dem IMPro erzeugt wurde und zur Erläuterung mit Kommentierungen versehen ist.



Das steuernde IMPro ist ein *Auto-Repeat-Programm*, es wiederholt den Prozess ständig. D.h. das Wasser wird gefroren, danach aufgetaut und wieder gefroren – so können z.B. Aussagen über die Stabilität und Wiederholbarkeit der Kalibrierung gewonnen werden und Hystereseeffekte können betrachtet werden. In der sich sehr stabil gerierenden Plateauphase kann bequem studiert werden, ob etwa mechanische oder durch Felder bedingte Einflüsse z.B. auf die Messleitungen wirken. -- Das Programm kann so eingestellt werden, dass das völlige Durchfrieren abgewartet wird. Die Temperatur fällt dann nach dem 0°C-Plateau langsam ab. „Langsam“ wegen der schlechteren Wärmeleitfähigkeit des festen Eises. Wenn ein

²³ Alle angesprochenen IMPro können einfach von der IMETER Kundenseite, aus AIM-IMPros oder von der IMETER/I-SIF-Homepage heruntergeladen werden.

²⁴ “The ice point can be used as a ‘poor man’s triple point’ to achieve uncertainties of the order of $\pm 2\text{mK}$ ” (Traceable Temperatures, J. V. Nicholas, D. R. White, JOHN WILEY & SONS, LTD., 2001 by John Wiley & Sons Ltd)

²⁵ Der Justier-oder Kalibrierzustand gilt erst einige Minuten nach dem Gefrierbeginn als verwendbar, da – Trägheit – der Mantel des Messwiderstands noch unterkühlt sein kann.

Temperaturunterschied von mehr als einem mK zwischen der Erstarrungs- und Schmelztemperatur auftritt, ist das Wasser nicht in Ordnung.

Tabelle 8 Listing des IMPro „TemperaturKalibrierung_0°C.prG“.

TemperaturKalibrierung_0°C (M12)

Description given with the Program:

"TemperaturKalibrierung_0°C" : Programm zur Offset-Justierung der Temperaturfühler.

Kann Allgemein für die Bestimmung von Gefrierpunkten von Flüssigkeiten und zur Kryoskopie von Lösungen verwendet werden. ** Der Anwender gibt bei Beginn die Gefriertemperatur vor **

Konfigurationen für den Ablauf - bei Programmstart: Das Programm läuft automatisch im 'Slavemode', wenn der Huber Ministat (Heiz/Kühlthermostat) nicht aktiviert ist - ein anderes IMETER kann parallel ablaufen und die Steuerungsfunktionen des Programmes wahrnehmen **

Prinzip des Verfahrens: Die Flüssigkeit (Wasser) wird vorgelegt, mittig in großer voll gefüllter Messzelle sind der/die Temperaturfühler so tief wie möglich in der 145mm hohen Messzelle. Die Flüssigkeit wird automatisch so weit Unterkühlt, bis sie gefriert. Hier erfolgt die Justierung - bis die Flüssigkeit ggf. völlig durchgefriert.

<Standard => Justierung des Temperatur-Offsets bei 0.000°C bei der Gefriertemperatur von reinem Wasser (luftgesättigt).>

Es können vier Temperaturfühler/Geräte zusammen eingesetzt werden:

- das Standardthermometer
- die i-SIF Temperaturmessung.
- Das Fluke 8846A (mit angeschlossenem 4-Draht-Widerstandstemperaturfühler. Konfiguration R0 und Alpha werden zur Dokumentation ausgelesen).
- Die beiden Temperaturfühler von Huber-CC-Thermostaten.

Das Führungsthermometer (I-SIF, wenn vorhanden) muß zu Beginn bereits auf +/-0.2K genau sein.

Benötigt: Huber Ministat, Standardmesszelle (DK-Gefäß, mit Alufolie ummantelt oder mit Strahlungslackierung) - sie benötigt: ~165mL reines Wasser, Magnetrührhalterung und Magnetrührfisch.

Optional: Huber Ministat-Prozesstemperaturfühler, I-SIF, Fluke Multimeter.

Der Ministat kann über i-Schaltbox(3) angesteckt werden (wird so an/aus-geschalten).

General hints: The Source Code of an IMETER measurement program (IMPro) consists of a sequence of statements that are executed line by line. To make the IMPro easier to understand, different elements are highlighted in the source code below:

Commands, IF-Conditions, **Loops** and **Line-Jumps**, **Defining Variables**, **Calculations**, **Variables that create a Menu item at Start-up** (☞ or latent menu items), **External Component Action** (🔌 accessory, 🔄 closer and 📶 farther devices), **Comments** and **Hints**, **Info Messages**, **User Interaction or Input** (👉). - Titles of Sub-Programs: **SUB Program** **MENU-COMMAND** - accessible by Toolbar/Menu during execution, **AUTO-SUB** - as periodic self-calling program part. The '#' or '#SubProgramName' means call of the SubProgram; Appearances of '@' denoting inline evaluations within a Text fragment. Some of the statements are pre-evaluated by the interpreter and can modify the representations in the data form, request additional information (for configuration) as well as the menu of the toolbar and the user interface during the run.

MAIN PROGRAM - TemperaturKalibrierung_0°C

1. —(M)— 'Justierung des Temperatur-Offsets durch die Gefriertemperatur einer Referenzflüssigkeit! ...' —
2. [y/n] **"SlaveMode"** Wenn aktiviert (oder Huber-Thermostat nicht aktiv) verfolgt das Messprogramm nur das Geschehen über die Sensoren - NUR AKTIVIEREN, wenn ein anderes IMETER (mit Rührwerk und Thermostat) den Prozess steuert!
3. [y/n] **"Durchfrieren"** Ob solange weitergekühlt werden soll, bis alle Flüssigkeit durchgefroren ist und also die Temperatur nach dem Gefrierplateau weiter absinkt?
4. [y/n] **"Autorepeat"** Ob der gesamte Prozess solange automatisch wiederholt ausgeführt wird, bis der Anwender "Beenden" wählt? (d.h. immer wieder aufschmelzen, umwälzen und aus flüssiger Phase gefrieren, ggf. durchfrieren - mit je Zyklus neuer Dokumentation.
5. [y/n] **"ThermostatTempAufzeichnen"** Ob die Temperaturen des Thermostaten mitaufgezeichnet werden sollen?
6. [y/n] **"AutoThermostatOff"** Ob nach der Messung und dem Stopp des Thermostaten dieser dann den Netzanschluß (IMETER-Schaltbox an Kanal 3) ganz ausgeschalten werden soll?
7. **rescan serial Connections**
8. [y/n] **"Fluke_aktiv" = 'No/off'** Initialangabe
9. [y/n] **"ISIF_aktiv" = 'No/off'** Initialangabe
10. IF "Fluke 8846A: <active>" DEFINE: **'Fluke_aktiv = 1 [j/n]'**

```

11. IF "Huber cc3-Thermostat: <not active>" DEFINE: 'SlaveMode = 1 [j/n]'
12. IF "i-SIF primary Temp. 'available' " DEFINE: 'ISIF_aktiv = 1 [j/n]'
13. IF "SlaveMode" DEFINE: 'ThermostatTempAufzeichnen = 0 [j/n]'
14. IF "SlaveMode" DEFINE: 'AutoThermostatOff = 0 [j/n]'
15. —(M)— 'Justierung des Temperatur-Offsets durch die Gefriertemperatur einer Referenzflüssigkeit! ...
(SlaveMode=@SlaveMode@ Fluke_aktiv=@Fluke_aktiv@, ISIF_aktiv= @ISIF_aktiv@ )'
17. IF "NOT ISIF_aktiv" THEN: 2 Lines forward
18. ⓘ I-SIF: Info T
19. [17]

21. IMPRO-Repetition _ Startpoint
22. —————
23. #Konfiguration ausführen
24. f² Reporting: Close MsgBox
25. #Temperaturaufzeichnung während Abkühlung
26. #Unterkühlung: auf Temperatursprung warten
27. #Temperaturaufzeichnung am Fixpunkt
28. #Durchfrieren verfolgen
29. #Ende des Verfahrens
30. IF "NOT Autorepeat" THEN: 3 Lines forward
31. ————— 'Selbstwiederholung des Programms bis es der Anwender beendet!'
32. IMPRO Repetition (Dlg.)
33. [30] —————

35. END PROGRAMM !!!
36. f Sprungziel bei Abbruch - ggf. erfolgt Ausführung ohne Rückfrage!
37. IF "SlaveMode" THEN: 4 Lines forward
38. ————— 'Abschalten und Allgemeine Hinweise zum Schluss'
39. ⓘ Huber cc3-Thermostat: Turn off
40. • i-Magnetrührer Aus
41. [37] • Aufzeichnung Luftdruck und -Dichte
42. IF "NOT AutoThermostatOff" THEN: 4 Lines forward
43. ————— 'Thermostat über i-Schaltbox3 (ggf.) vom Netz trennen'
44. WITH Yes to "Thermostat ganz ausschalten?" ⇒ 2 Lines forward
45. IDA-Out 3: off
46. [42] [44] ————— 'Ende des Messprogramms.'

```

```

1a —x— SUB —x— Konfiguration ausführen
2a ————— 'Allgemeine Hinweise zur Ausführung'
3a ————— 'Einstellung des Datenblattes auf die Methode'
4a f Edit Control data: Method = Temperatur: Fühler-Justierung : 60/18/0// 9/0// 12/0// 13/0// 14/0// 15/0// 18/2/Verwenden Sie homogene
    Lösungen. Der Temperaturfühler muss möglichst tief eintauchen! Setting Evaluation method and changing visibility or entries in
    the selected data field(s).
5a ⓘ [Temperature *] "SollGefriertemp" Die erwartete Gefriertemperatur auf +/- 1K der Flüssigkeit. Zentraler Wert! Thermostat
    unterkühlt anfangs um 5K (und zunehmend). Beim Start ggf. geht Thermostat auf +15K über diesen Wert.
6a B_Temp = SollGefriertemp
7a [Time] "TempMessZeitabstand" = 60 [s] ... Wartezeit zwischen Temperaturmessungen. Auch damit die Warteschleife sinnvoll
    abgebrochen werden kann!
8a IF "NOT AutoThermostatOff" THEN: 3 Lines forward
9a ————— 'Thermostat (ggf.) über i-Schaltbox3 anschalten!'
10a IDA-Out: active
11a [8] • Aufzeichnung Luftdruck und -Dichte
12a IF "SlaveMode" THEN: 8 Lines forward
13a rescan serial Connections
14a #Start bei oberhalb Gefriertemp sicherstellen
15a ————— 'Thermostat auf 5K unter erwartete Temperatur setzen'
16a Regeltemp [°C] = SollGefriertemp -5
17a ⓘ Huber cc3-Thermostat: int. setpoint! ⇒Regeltemp
18a #-Magnetrührer Konfigurieren
19a • i-Magnetrührer starten
20a [12] IF "NOT Fluke_aktiv" THEN: 13 Lines forward
21a ————— 'Auslesen der Einstellungen vom Fluke'
22a ⓘ Fluke 8846A: com'Fluke 8846A' TEMP:FRTD:TYP?
23a [TEXT] "TextVar" = FühlerTyp = @DMM0@ Beitrag zur Dokumentation.
24a ⓘ Fluke 8846A: com'Fluke 8846A' TEMP:FRTD:ALPH?
25a Wait: 0,100 s
26a [TEXT] "TextVar" = Angeschlossener Fühler: @TextVar@, Alpha = @DMM0#1/K#-4@ Beitrag zur Dokumentation.
27a ⓘ Fluke 8846A: com'Fluke 8846A' TEMP:FRTD:R0?

```


[illegible]


```

6e  ——— 'Minimaltemperaturwert nachführen' —————
7e  IF "minTemp > B_Temp [°C]" DEFINE: 'minTemp = B_Temp [°C]'
8e  ——— 'Falls doch der Sprung schon eingetreten ist' —————
9e  IF "B_Temp - minTemp>2 [°C]" THEN: 7 Lines forward
10e ——— 'Mindestens 2K Unterkühlung abwarten' —————
11e IF "minTemp - SollGefriertemp>-2 [°C]" THEN: 14 Lines forward
12e ——— 'A_Temp und t2 können (z.B.) bis 60 Sekunden alt sein!' —————
13e DT/Dt [K/min] = ( B_Temp - A_Temp ) *60/ t2  Temperaturgradient
14e ——— 'Auslösung bei ausreichend positivem Temperaturgradient' —————
15e IF "DT/Dt <0,5 [K/min]" THEN: 9 Lines forward
16e [9] Stage light: active
17e IF "NOT ISIF_aktiv" THEN: 2 Lines forward
18e  ⚡ I-SIF: Stream Symb. [T] Anzahl [400] Rate [13] Trennz. [      ]
19e [17] Stage light: off
20e Accustic signal: ⚡
21e B_Temp [°C] = T
22e Mode 10: ON
23e Stop thread Processes
24e [3] [15]
25. [11] =====#Temperatursprung Abpassen•.

```

```

1f  —x— SUB —x— —————Temperaturaufzeichnung am Fixpunkt—————
2f  ——— 'Temperatur-Sprung erfolgte!' —————
3f  Stage light: active
4f  • Aufzeichnung der Temperatur(en)
5f  IF "NOT SlaveMode" THEN: • i-Magnetrührer Aus
6f  Accustic signal: Sound 1
7f  B_Temp [°C] = T
8f  Stage light: off
9f  ——— '... über einige Zeit Aufzeichnen' —————
10f [Time] "TempMessZeitabstand" = 5 [s]
11f • Temperaturen 1x Messen
12f LOOP: one comand back, max.50-times or "T - B_Temp<-0,75 [°C]" is/becomes the case
13. =====#Temperaturaufzeichnung am Fixpunkt.

```

```

1g  —x— SUB —x— —————Durchfrieren verfolgen—————
2g  Enable Menu
3g  IF "NOT Durchfrieren" THEN: 21 Lines forward
4g  ——— '... ggf. Durchfrieren bis Temp um -1K abgefallen - Weiterverfolgung!' —————
5g  A_Temp = T  aktuelle Temperatur
6g  [Time] "TempMessZeitabstand" = 40 [s] ... damit die Warteschleife sinnvoll abgebrochen werden kann!
7g  Sum_Temp = T
8g  [Number] "MW_zlr" = 1 [n]
9g  -b- • Temperaturen 1x Messen
10g -[-[20] IF "NOT Durchfrieren" THEN: 11 Lines forward
11g -[- MW_zlr = MW_zlr + 1
12g -[- Sum_Temp = Sum_Temp + T
13g -[- MW_Temp [°C] = Sum_Temp / MW_zlr
14g -[- ——— 'Mittlere Temp.: @MW_Temp@ - ggf. Temp.-Änderung vor dem Durchfrieren?' —————
15g -[- IF "Abs( T - MW_Temp )<0,0025 [°C]" THEN: 4 Lines forward
16g -[- IF "NOT ISIF_aktiv" THEN: 2 Lines forward
17g -[- ⚡ I-SIF: Temperature*
18g -[-[16] JUMP 2 Lines forward
19g -[-[15] Wait: 5 s
20g -[-[18] IF "TempMessZeitabstand - t0>5 [s]" THEN: 10 Lines backward
21g -[-[10] ——— '.. "Durchfrieren abwarten" (=\'Durchfrieren\') kann im Menü on-the-run abgeschaltet werden.' —
22g -[- IF "NOT Durchfrieren" DEFINE: 'A_Temp = T + 10 [°C]'
23g -b- LOOP: to row 9 back, max.500-times or "T - A_Temp<-1 °C" is/becomes the case
24g [3]
25. =====#Durchfrieren verfolgen.

```

```

1h  —÷— MENU-COMMAND —÷— —————| Temperaturen 1x Messen |—————
2h  ——— 'Für T-Messungen in einem Bestimmten Zeitabstand mit Pause = @TempMessZeitabstand@ ('TempMessZeitabstand')' —
3h  Enable Menu
4h  IF "t0=0 s" THEN: 4 Lines forward
5h  warten [s] = TempMessZeitabstand - t0
6h  ——— 'Pause = @TempMessZeitabstand - t0 #s#0@' —————
7h  Wait: ⌚ "warten"

```

8h [4] f t0 starten
 9h • Aufzeichnung der Temperatur(en)
 10h Recalc Results/Diagrams
 11. ===== • Temperaturen 1x Messen.

1i **—÷— MENU-COMMAND —÷—** | Aufzeichnung der Temperatur(en) |
 2i *— 'ggf. Messung an mehreren Sensoren ...' —*
 3i Enable Menu
 4i IF "B_Temp - SollGefriertemp<-2,5 [°C]" THEN: 4 Lines forward
 5i IF "NOT ISIF_aktiv" THEN: 3 Lines forward
 6i *🔗 I-SIF: Read all channels*
 7i *🔗 I-SIF: Temperature**
 8i [4] [5] Record Temperature
 9i IF "NOT ThermostatTempAufzeichnen" THEN: 2 Lines forward
 10i *🔗 Huber cc3-Thermostat: Temperatures?*
 11i [9] IF "NOT Fluke_aktiv" THEN: 8 Lines forward
 12i *🔗 Fluke 8846A: 4Draht-Widerstand*
 13i Wait: 0,100 s
 14i *🔗 Fluke 8846A: MESSUNG (x±s) n = 5*
 15i Wait: 0,100 s
 16i *🔗 Fluke 8846A: 4Draht-Temperatur*
 17i Wait: 0,100 s
 18i *🔗 Fluke 8846A: MESSUNG (x±s) n = 5*
 19. [11] ===== • Aufzeichnung der Temperatur(en).

1j **—÷— MENU-COMMAND —÷—** | Aufzeichnung Luftdruck und -Dichte |
 2j IF "NOT ISIF_aktiv" THEN: 4 Lines forward
 3j *— 'ggf. Messung an mehreren Sensoren ...' —*
 4j *🔗 I-SIF: Pressure**
 5j *🔗 I-SIF: Density air*
 6. [2] ===== • Aufzeichnung Luftdruck und -Dichte•.

1k **—x— SUB —x—** | Gefrieren Auslösen |
 2k *— 'wenn <z.B.> Wasser bei -7,5°C noch nicht gefroren - Rührer einschalten zur Auslösung!' —*
 3k Accoustic signal: 🎵
 4k • RührerEin
 5. ===== #Gefrieren Auslösen.

1l **—x— SUB —x—** | Ende des Verfahrens |
 2l *— '?irgendwelche Aufgaben zum Schluss?' —*
 3l • Aufzeichnung Luftdruck und -Dichte ↵
 4. ===== #Ende des Verfahrens.

1m **—÷— MENU-COMMAND —÷—** | Durchfrieren Abwarten an/aus |
 2m IF "NOT Durchfrieren" THEN: 4 Lines forward
 3m [y/n] ""Durchfrieren" = 'No/off'
 4m DIALOG: ' Verfolgung bis zum Durchfrieren der Probe ist ausgeschalten! '
 5m JUMP 3 Lines forward
 6m [2] [y/n] ""Durchfrieren" = 'Yes/on'
 7m DIALOG: ' Verfolgung bis zum Durchfrieren der Probe jetzt AKTIVIERT!! '
 8. [5] ===== • Durchfrieren Abwarten an/aus.

1n **—÷— MENU-COMMAND —÷—** | Selbstwiederholung an/aus |
 2n IF "NOT Autorepeat" THEN: 4 Lines forward
 3n [y/n] ""Autorepeat" = 'No/off'
 4n DIALOG: ' Automatische Wiederholung ist jetzt ausgeschalten! '
 5n JUMP 3 Lines forward
 6n [2] [y/n] ""Autorepeat" = 'Yes/on'
 7n DIALOG: ' Automatische Wiederholung ist jetzt aktiv! '
 8. [5] ===== • Selbstwiederholung an/aus.

1o **—x— SUB —x—** | i-Magnetrührer Konfigurieren |
 2o *🔗 [Number *] "Rührer-Drehzahl" Die Drehzahl, auf die der i-Magnetrührer eingestellt wird.*
 3. ===== #i-Magnetrührer Konfigurieren.

1p **—÷— MENU-COMMAND —÷—** | i-Magnetrührer starten |
 2p *🔗 i-Stirrer: Speed: "Rührer-Speed"*
 3p *🔗 i-Stirrer: Diagnosis*

4p		
5.		• i-Magnetrührer starten•.
	65. Wait: 0,250 s	
1q	 Rühr-Richtung Wechseln 	
2q		
3.		• Rühr-Richtung Wechseln•.
1r	 i-Magnetrührer Ein 	
2r		
3.		• i-Magnetrührer Ein•.
1s	 i-Magnetrührer Aus 	
2s		
3.		• i-Magnetrührer Aus•.
1t	 langsamer Rühren 	
2t	Rührer-Drehzahl = Rührer-Drehzahl -1,5	
3t		
4.		• langsamer Rühren•.
1u	 schneller Rühren 	
2u	Rührer-Drehzahl = Rührer-Drehzahl +1,5	
3u		
4.		• schneller Rühren•.
1v	 AusführungsPause (Selbsterminierend) 	
2v	 [Time *] "gewünschte_Pausenzeit_" Zeitangabe in Sekunden - wie lange das Programm zur weiteren Ausführung hinwarten soll	
3v	Enable Menu	
4v	"Die Unterbrechung kann jederzeit per Menübefehl "Pause überspringen" beendet werden"	
5v	Wait:  "gewünschte_Pausenzeit_"	
6.		• AusführungsPause (Selbsterminierend)•.

(2) Wassersiedepunkt

Ein weiterer Fixpunkt kann für die Temperaturkalibrierung bei 100°C benutzt werden, wenngleich ein deutlich größerer Realisierungsaufwand zu betreiben ist: Der Siedepunkt. Bis 1954 war die Celsius-Temperaturskala durch die zwei Temperaturen Wassergefrier- und Siedepunkt bei Normalbedingung definiert.

Anhand des Luftdrucks beim Wasser-Siedepunkt kann – bei korrekter Temperaturbestimmung - die Druckmessung kalibriert werden (Vgl. Tabelle 9).

P [kPa]	t ₆₈ [°C]
101,0	99,9100
101,1	99,9377
101,2	99,9654
101,3	99,9931
101,4	100,0207
101,5	100,0484
101,6	100,0760

Tabelle 9: Luftdruck und zugehöriger Wassersiedepunkt / Lit. (1), S.299.

Weitere Information und Daten zum Dampfdruck in Abhängigkeit von der Temperatur finden sich unter https://en.wikipedia.org/wiki/Vapour_pressure_of_water.

Tabelle 10 Listing des IMpros „TemperaturDruckKalibrierung 100°C.prG“.

TemperaturDruckKalibrierung_100°C (M12)

Description given with the Program:

Kalibrierung von Temperatur-(und Druck)Fühler im Siededampf - Ausgelegt für WASSER.

--- ISIF-Kalibration und Abgleich II. ---

Prinzip: Über der siedenden Flüssigkeit in einem druckoffenen „Kochgerät“ (ggf. DK2-Messzelle, Wasserkocher) ragen Temperaturfühler leicht schräg nach unten und möglichst weit in den Dampfraum (sie tragen eine PTFE Manschette gegen Kondensatrückfluß, der Boden des Heizers ist mit einer Cu-Blechhaube überspannt wg. Strahlungswärme, der 'Kocher' ist ummantelt - allseits gleiche Temperatur, keine Temperaturstrahlquellen!). Drucksensor und Wasserlinie befinden sich in gleicher Höhe.

Am Luftdruckabhängigen Siedepunkt kann am stabilen Temperaturmesswert (Messfunktion zeigt dies an), über die Druck-Siedetemperaturentsprechung der Luftdruck oder der Temperaturfühler 'kalibriert' werden.

Anwendung: Programm kann automatisch mit und ohne I-SIF und mit und ohne Fluke-Temperaturmessung arbeiten. Mit i-SIF stehen zwei Menübefehle zur Verfügung um die Druck- und Temperatursensordaten im Datenstream aufzuzeichnen (hilfreich zur Einschätzung der Stabilität). Ebenso kann für das evtl vorhandene FLUKE-Messgerät per Menübefehl der R0-Wert und Alpha für den angeschlossenen Temperaturfühler angegeben/geändert werden (Fühler am Fluke im 4-Leiter Anschluss kontaktieren!).

Das Programm ist zu starten, sobald der Aufbau bereit ist oder schon arbeitet.

General hints: The **Source Code** of an IMETER measurement program (IMPro) consists of a sequence of statements that are executed line by line. To make the IMPro easier to understand, different elements are highlighted in the source code below:

Commands, IF-Conditions, **Loops** and Line-**Jumps**, **Defining Variables**, Calculations,  **Variables that create a Menu item at Start-up** ( or latent menu items), **External Component Action** (,  closer and  farther devices), *Comments* and *Hints*, **Info Messages**, **User Interaction or Input**(). - Titles of Sub-Programs: **SUB Program** **MENU-COMMAND** - accessible by Toolbar/Menu during execution, **AUTO-SUB** - as periodic self-calling program part. The '!' or '#SubProgramName' means call of the *SubProgram*; Appearances of '@' denoting inline evaluations within a Text fragment. Some of the statements are pre-evaluated by the interpreter and can modify the representations in the data form. request additional information (for configuration) as well as the menu of the toolbar and the user interface during the run.

MAIN PROGRAM - TemperaturDruckKalibrierung 100°C

- [illegible]

27. *f* On User ends IMPro: Jump here _ - (without query!)

28. Record Temperature

29. IF "NOT ISIF_Tp_aktiv" THEN: 2 Lines forward

30. *U* I-SIF: *Density air*

31. [29] ——— 'Ende des Messprogramms.' ———

1a **x— SUB —x—** **FLUKE: R0 & Alpha auslesen**

2a IF "NOT FLUKE_T_aktiv" THEN: 11 Lines forward

3a *U* Fluke 8846A: com'Fluke 8846A' TEMP:FRTD:TYP?

4a Wait: 0,300 s

5a [TEXT] "TextVar" = FühlerTyp = @DMM0@ Beitrag zur Dokumentation.

6a *U* Fluke 8846A: com'Fluke 8846A' TEMP:FRTD:ALPH?

7a Wait: 0,200 s

8a [TEXT] "TextVar" = Angeschlossener Fühler: @TextVar@, Alpha = @DMM0#1/K#-5@ Beitrag zur Dokumentation.

9a *U* Fluke 8846A: com'Fluke 8846A' TEMP:FRTD:R0?

10a Wait: 0,100 s

11a [TEXT] "TextVar" = @TextVar@, R0 = @DMM0#Ohm#4@ Beitrag zur Dokumentation.

12a [TEXT] "FlukeEinstellungen" = Zur Temperaturmessung mit FLUKE 8846A: @TextVar@. Beitrag zur Dokumentation.

13. [2] ——— #FLUKE:_R0 & Alpha auslesen*.

1b **x— SUB —x—** **Aufzeichnung der Kanäle**

2b ——— 'ggf. Messung an mehreren Sensoren ...' ———

3b Enable Menu

4b IF "NOT ISIF_Tp_aktiv" THEN: 23 Lines forward

5b *f* t0 starten

6b Startzeit [min] = t

7b Druck [kPa] = p' "" ⇒ Mittelwert

8b DruckStabw [kPa] = p" Standardabweichung der letzten Druckmessung

9b Temperatur [°C] = T'

10b TempStabw [°C] = T" Standardabweichung

11b Temp2 [°C] = Tb Temperatur am SekundärThermometer

12b IF "NOT FLUKE_T_aktiv" THEN: 11 Lines forward

13b ——— '(Kommunikation mit FLUKE braucht kleine Wartezeiten, weil das Gerät eine Verarbeitungszeit benötigt)' —

14b *U* Fluke 8846A: 4Draht-Widerstand

15b Wait: 0,250 s

16b *U* Fluke 8846A: MESSUNG (x±s) n = 5

17b Wait: 0,100 s

18b *U* Fluke 8846A: 4Draht-Temperatur

19b Wait: 0,250 s

20b *U* Fluke 8846A: MESSUNG (x±s) n = 5

21b *f* t0 anhalten

22b Temp3 [°C] = DMM0 Temperatur von Fluke

23b [12]

24b #pT-Reporting

25b JUMP 12 Lines forward

27b [4] ——— 'Wenn kein i-SIF, dann werden einfach die übrigen Sensoren abgefragt, dann jedoch nur auf einfache Weise protokolliert.' —

28b Record Temperature

29b IF "NOT FLUKE_T_aktiv" THEN: 8 Lines forward

30b *U* Fluke 8846A: 4Draht-Widerstand

31b Wait: 0,250 s

32b *U* Fluke 8846A: MESSUNG (x±s) n = 5

33b Wait: 0,100 s

34b *U* Fluke 8846A: 4Draht-Temperatur

35b Wait: 0,250 s

36b *U* Fluke 8846A: MESSUNG (x±s) n = 5

37. [25] [29] ——— #Aufzeichnung der Kanäle*.

1c **x— SUB —x—** **pT-Reporting**

2c IF "Temperatur < 95 [°C]" AND/OR:"101- Temperatur <0 [°C]" THEN: 12 Lines forward

3c IF "Druck < 84,531 [kPa]" AND/OR:"104,995- Druck <0 [kPa]" THEN: 11 Lines forward

4c [Number] "LFNr." = LFNr. + 1 [n] Standardabweichung

5c T_aus_p [°C] = 8,410508E-06* Druck ^3 - 3,676178E-03* Druck ^2 + 0,7624779* Druck + 51,735 ... Herkunft D.Sonntag (19...

6c ——— 'Allgemein: 0,001* exp(-6094,4642/ Temperatur + 21,1249952 - 2,7245552E-2* Temperatur + 1,6853396E-5 * Temperatur ^2 + 2,4575506*Ln(Temperatur))' —

7c p_aus_T [kPa] = 3,937390E-04* Temperatur ^3 - 0,06469525* Temperatur ^2 + 4,742895* Temperatur - 119,7510 ...

9c *f* Create Report: - generates each time a new line of entries to the table -

i-SIF Temperatur- und Druckmessung am Wassersiedepunkt

Auflistung der Temperatur- und Druckmessdaten mit Standardabweichung und Berechnung des jeweils äquivalenten Wertes von Druck bzw. Temperatur. Erklärung der Symbole in der Tabelle unterhalb:

$T \pm \sigma$ Mittelwert der Temperaturmessung mit StdAbw., i-SIF [°C].

$p \pm \sigma$ Mittelwert der Luftdruckmessung mit StdAbw., i-SIF [kPa].

--- (Einstellungen der Mittelwertbildung und Sensor-Auflösung entsprechend der i-SIF Konfiguration) ---

$T_{sf}(p)$ Siedetemperatur von Wasser, die dem gemessenen Druck entsprechen würde.

ΔT_s Unterschied $T - T_{sf}(p)$ von gemessener und aus dem Druck berechneter Siedetemperatur [K].

$p_{sf}(T)$ Dampfdruck bzw. Atmosphärendruck, der zur gemessenen Siedetemperatur gehören würde.

Δp_s Unterschied $p - p_{sf}(T)$ zwischen gemessenem Siededampfdruck und dem Druck, der der Siedetemperatur zugeordnet ist [kPa].

Nr.	$T \pm \sigma$	$p \pm \sigma$	$T_{sf}(p)$	ΔT_s	$p_{sf}(T)$	Δp_s
@LFNr.@	@Temperatur@	±@TempStabw@	@Druck@	±@DruckStabw@	@T_aus_p@	@Temperatur -
T_aus_p##3@	@p_aus_T@	@Druck - p_aus_T##3@				

10c IF "FLUKE_T_aktiv" THEN: 3 Lines forward

11c f Create Report: - generates each time a new line of entries to the table -

Ergänzungstabelle

Die Tabelle unterhalb gibt den relativen Minuten-Zeitpunkt zu Beginn der jeweiligen Ablesung und die gesamte Dauer für die Ablesesequenz wieder. Die Messergebnisse der Fühlertemperaturen sind in den folgenden Spalten zusammengestellt: Die Messung über i-SIF T_{i-SIF} und die Sekundärtemperaturmessung $T_{sec.}$.

Nr.	Zeit	Dauer	T_{i-SIF}	$T_{sec.}$
@LFNr.@	@t/60##2@	@t0/60##2@	@Temperatur@	@Temp2@

12c JUMP 2 Lines forward

13c [10] f Create Report: - generates each time a new line of entries to the table -

Ergänzungstabelle

Die Tabelle unterhalb gibt den relativen Minuten-Zeitpunkt zu Beginn der jeweiligen Ablesung und die gesamte Dauer für die Ablesesequenz wieder. Die Messergebnisse der Fühlertemperaturen sind in den folgenden Spalten zusammengestellt: Die Messung über i-SIF T_{i-SIF} , die Sekundärtemperaturmessung $T_{sec.}$ und die Messung über das Fluke Multimeter T_{Fluke} .

@FlukeEinstellungen@

Nr.	Zeit	Dauer	T_{i-SIF}	$T_{sec.}$	T_{Fluke}
@LFNr.@	@t/60##2@	@t0/60##2@	@Temperatur@	@Temp2@	@Temp3@

14. [2] [3] [12] ===== #pT-Reporting.

1d --- MENU-COMMAND --- | ISIF: Stream Druck |

2d --- 'Wahlfrei einsetzbarer Menü-Befehl ⇒ Im Report Verlaufsdaten aufzeichnen' ---

3d IF "NOT ISIF_Tp_aktiv" THEN: 4 Lines forward

4d Stage light: active

5d ∪ I-SIF: Stream Symb. [p] Anzahl [100] Rate [13] Trennz. []

6d Stage light: off

7. [3] ===== • ISIF: Stream Druck•.

1e --- MENU-COMMAND --- | ISIF: Stream Temperatur |

2e IF "NOT ISIF_Tp_aktiv" THEN: 4 Lines forward

3e Stage light: active

4e ∪ I-SIF: Stream Symb. [T] Anzahl [100] Rate [13] Trennz. []

5e Stage light: off

6. [2] ===== • ISIF: Stream Temperatur•.

1f --- MENU-COMMAND --- | FLUKE: R0 und Alpha angeben |

2f IF "NOT FLUKE_T_aktiv" THEN: 9 Lines forward

3f #FLUKE: R0 & Alpha auslesen

4f [10] [TEXT *] "R0-Wert" Aktuelle Einstellungen am FLUKE: @TextVar@. Bitte geben Sie hier zuerst den R0-Wert des Fühlers in der Einheit Ohm an.

5f [TEXT *] "Alpha-Wert" Bitte geben Sie jetzt den Alpha-Wert des Fühlers in der Einheit 1/K an. Bisherige Einstellungen am FLUKE: @TextVar@.

6f ∪ Fluke 8846A: com'Fluke 8846A' TEMP:FRTD:ALPH @Alpha-Wert#@

7f Wait: 0,200 s

8f ∪ Fluke 8846A: com'Fluke 8846A' TEMP:FRTD:R0 @R0-Wert#@

9f #FLUKE: R0 & Alpha auslesen

10f WITH No to "Die Einstellungen am FLUKE sind nun @TextVar@. Sind die Angaben OK?" ⇒ 6 Lines backward

11. [2] ===== • FLUKE: R0 und Alpha angeben.

(3) Direkter Abgleich (Multi-I-SIF)

Mit einem korrekt justierten I-SIF können andere angeschlossenen Geräte eingestellt werden. Eine Gebrauchskalibrierung z.B. für selbst angeschlossene spezial-Pt100er mit Multi-I-SIF kann mit sehr wenig Aufwand erreicht werden: Die Temperaturfühler sind zusammen in einen Raum einzubringen in dem sichergestellt ist, dass an allen Fühlern dieselbe Temperatur herrscht. Z.B. In einem Temperiergefäß mit Wasser und einem auf kräftig Rühren eingestellten I-Magnetrührer. Die nachfolgende Abb. Zeigt, wie gut die Fühler über eine Temperaturänderung hinweg abgeglichen sind, nachdem die Befehlsschaltfläche „Zero Offset“ angeklickt wurde.

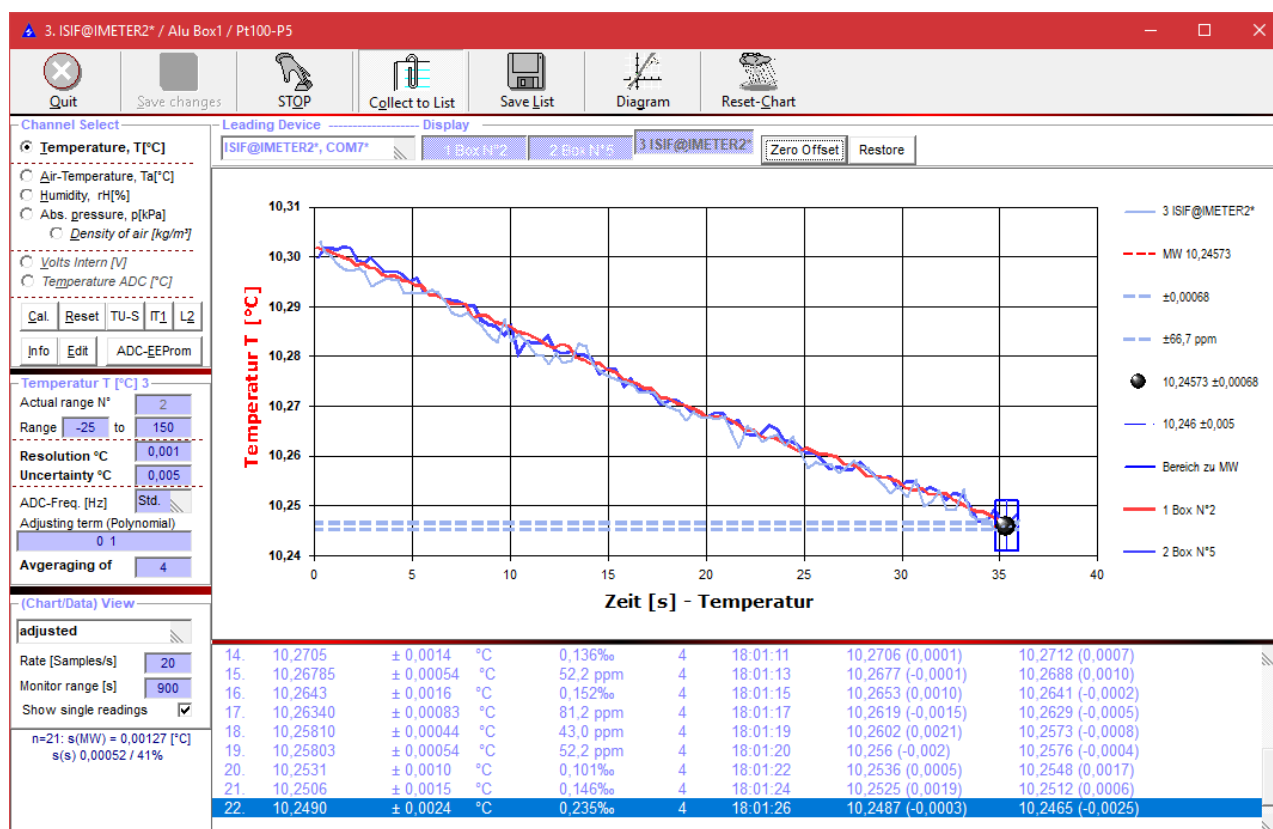


Abb. 27 Drei Temperaturfühler: Abgleich in kräftig gerührtem Wasserbad (Temperatur Komparator).

Um die automatisch bestimmte Korrektur in der Konfigurationsdatei zu sichern, sind die jeweiligen I-SIFs als „Leading Device“ aufzurufen, so dass das der „Adjusting term“ gespeichert werden kann.

(4) Dichtemessung

Und noch ein anderes Verfahren, um mit IMETER eine Temperaturkalibrierung bzw. Prüfung durchzuführen, beruht auf der Dichtemessung einer Referenz. Das Verfahren „Messung der Dichte zur Kalibrierung der Temperaturmessung“ verwendet die sehr genaue IMETER-Dichtemessung (die Messung ohne systematische Fehler). Das Diagramm Abb. 28 zeigt das Ergebnis einer solchen Dichtemessung zur Prüfung der Temperaturmessung.

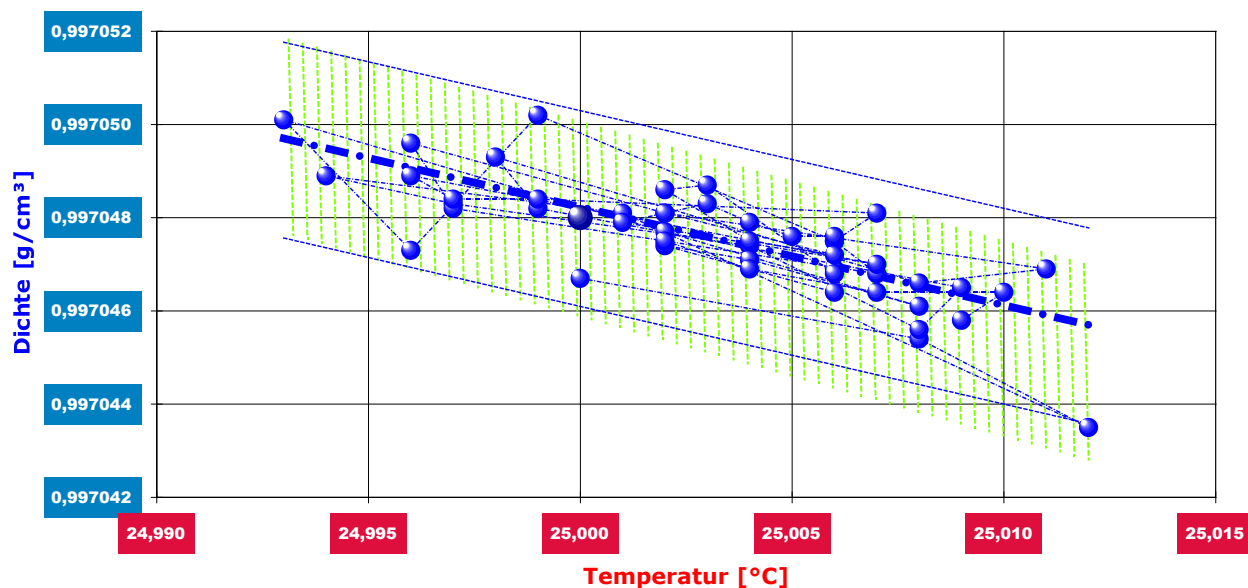


Abb. 28: Genaue Dichtemessung an reinem Wasser bei 25°C über 5 Stunden hinweg. Die blauen Symbole markieren Dichtemesswerte, das grün schraffierte Areal gibt den Erwartungsbereich der Werte von reinem Wasser an (ID9875).

Die gemessenen Werte bei 25°C stimmen mit den Referenzwerten gut überein. So kann im Prinzip die Dichte von Wasser zwischen 0 und 40°C zur Kalibrierung verwendet werden²⁶ oder für eine gelegentliche Überprüfung der Dichtemessung selbst angewendet werden. Für eine Kalibration sollten mehrere Temperaturbereiche angesteuert werden. Statt einer Einpunkt-Kalibrierung am Eispunkt kann damit eine Mehrpunktkalibrierung durchgeführt werden, die den zu kalibrierenden Messbereich überstreicht²⁷. Zur Gegenprüfung (→ des Messkörpers!) kann die Messung weiterer Referenzflüssigkeiten erfolgen. Für den Zirkelschluss - zur Sicherstellung der Konsistenz der Methodik - kann nun noch die Referenzflüssigkeiten selbst betrachtet werden, indem sie in einer Festkörperdichtemessung zum Einsatz kommt. Durch die Festkörperdichtebestimmung mittels eines Dichtenormals (z.B. eines Kristallstückes aus Reinst-Silizium) muss sich die zugehörige Materialkonstante innerhalb der Grenzen des Erwartungswertes zeigen.

➤ Kalibriermethode für die Luftfeuchtemessung

Die Kalibrierung der Sensoren zur Messung der relativen Luftfeuchte ist mit üblichen Labormitteln durchführbar. In einem Temperiergefäß wird das entsprechende Salz vorgelegt und Wasser zugegeben. Es wird eine völlig gesättigte Lösung mit reichlich überschüssigem Salz am Gefäßboden hergestellt. Die Sensoren werden im Gefäß knapp über der Lösung platziert; die Lösungen sollten gerührt werden (i-Magnetrührer) und ein zusätzlich eingesetzter Ventilator kann im *Hygrostaten* für eine schnellere Gleichgewichtseinstellung sorgen. Das Gefäß wird mit einem Deckel abgeschlossen. Die innere Oberfläche der freien Glaswand soll etwa das Dreifache der Lösungsoberfläche betragen.

Die folgende Tabelle gibt bei Luftdrücken um Normalwerte (101,3 kPa) für verschiedene Salze bei den jeweiligen Temperaturen ($\pm 0,1$ K) die sich einstellenden relativen Luftfeuchten zwischen rund 10 und 90% mit typischen Unsicherheiten um absolut 0,3 bis maximal 0,8% an.

²⁶ Zur Abhängigkeit der Wasserdichte von Temperatur, Druck, gelöster Luft, Isotopenzusammensetzung vgl. Literatur (6) und (7).

²⁷ Die Methode ist im Vergleich zur üblichen Prozedur der Thermometerkalibrierung relativ einfach. Die in der Regel zu beachtende Berücksichtigung von (Wärme-)Strahlung, Eigenerwärmung, Eintauchtiefe des Fühlers etc.. kann teilweise unbedeutend werden, sofern Kalibrierung wie Einsatz unter den gleichen Bedingungen erfolgen.

Reinheitsanforderungen: Salze analytischer Qualität (Lithium-, Magnesium-, Kalium- und Natriumchlorid sowie Magnesiumnitrat) und destilliertes Wasser.

T [°C]	LiCl	MgCl ₂	MgNO ₃	NaCl	KCl
0		33,66	60,35	75,51	88,61
5		33,60	58,86	75,65	87,67
10		33,47	57,36	75,67	86,77
15		33,30	55,87	75,61	85,92
20	11,31	33,07	54,38	75,47	85,11
25	11,30	32,78	52,89	75,29	84,34
30	11,28	32,44	51,40	75,09	83,62
35	11,25	32,05	49,91	74,87	82,95
40	11,21	31,60	48,42		82,32
45	11,16	31,10	46,93		81,74
50	11,10	30,54	45,44		81,20
55	11,03	29,93			80,70
60	10,95	29,26			80,25
65	10,86	28,54			79,85
70	10,75	27,77			79,49
75	10,64	26,94			79,17
80	10,51	26,05			78,90

Tabelle 11: Salzlösungen und Temperaturen zur Einstellung von relativen Luftfeuchten in Prozent / Lit. (2) S.160.

Für vergleichende Messungen mit zwei Feuchtesensoren – etwa für Permeationsmessungen - ist der Aufwand einer Kalibrierung kaum notwendig. Es genügt in solchen Fällen, die beiden Sensoren gegeneinander abzugleichen.

➤ Allgemeine Mess- und Steuerungsmöglichkeiten mit IMETER

Zusammenfassung der *adressierbaren Möglichkeiten* im IMETER-MessSystem. -- Komponenten und Funktionselemente, die in IMPros angesprochen werden können und ziemlich frei zu Verfahrensautomatisierungen verwendet werden können:

- i. Wägezelle (Sartorius, 220g/0.1mg mit eingebautem Justiergewicht) für Kraft-, Wägewert- und Massenbestimmungen – sie realisiert die *fundamentale* Messgröße. Es können andere und zusätzliche Waagen angeschlossen werden.
- ii. Positioniereinrichtung (Präzisionsspindeltrieb Bosch Rexroth, 130mm/0,001mm) für Weg, Position, Geschwindigkeit (30 bis 0,001 mm/sec) und Beschleunigung.
- iii. Fünf Schrittmotor-Stelltriebanschlüsse für exakte Positionierungen von XY-Tischen, Probenwechslern, Betrieb spezieller Pumpen, Reinigungseinrichtungen etc.. Vollständig konfigurierbare lineare und radiale Achsen mit Endpunktgebern.
- iv. Fünfzehn Schaltkanäle / Relaischalter für Gerätebetätigungen; darunter 6 PWM (Pulsweitenmodulierte) mit 0.5 bis 1A Schaltstrom, 5 – 12 V. Sechs frei verwendbare Analogeingänge.
- v. I-Schaltboxen: 250V~/14A-Relaischalter für Betätigungen netzgebundener Geräte.
- vi. I-Magnetrührer: geregeltes und steuerbares Rührwerk (Umwälzung, Mischung, Schaumerzeugung, Viskositäts-checks).
- vii. Bis zu acht parallel arbeitende I-SIF Sensorinterfaces (*T, p, rH* - Sensoranschlüsse).
- viii. Temperatur- und Luftfeuchtemessgeräte (Dostmann P795, P600, ...).
- ix. pH-Meter und Leitfähigkeitsmessgeräte (WTW): Zur Beimessungen weiterer Größen.
- x. Präzisions-Multimeter (Fluke z.B. N°8846): Messungen elektrischer Größen, Widerstand, Gleich- und Wechselspannung/Strom, Frequenz, Kapazität.
- xi. Huber Thermostate mit Pilot-One®-Interface: Integration der Heiz/Kühl-Thermostatenfunktionen.
- xii. Vakuumcontroller VACUUBRAND-SELECT®: Integration von Unterdruckmessung und Regelung.
- xiii. Verdrängerpumpen: Vollsteuerung von Präzisionskolbenpumpen (VP9100) und deren drei-Wege-Ventile für genaue Dosierungsaufgaben bis in den µL-Bereich; 16 Pumpen können parallel betrieben werden.
- xiv. I-FG: *IMETER Freie Gerätesteuerung* zur Integration verschiedenster Geräte, die über serielle/USB-Schnittstellen verfügen, steuerbar sind und/oder Daten liefern und irgendein COM-Protokoll verstehen. Steuerdateien z.B. für verschiedene Mettler- und Sartorius-waagen auch Mikrowaagen, Netzgeräte, Multimeter, Arduino-Projekte sind verfügbar.

Dezidierte IMETER-Methoden/Module:

- i. *Oberflächenspannung (M1), Grenzflächenspannung (M2) mit der Ringmethode: Temperatur- und Konzentrationsabhängigkeiten, CMC-Automatik. Messung auch höherviskoser Fluide.
- ii. *Flüssigkeitsdichte (M8): Auftriebsmethode; Temperatur- und Konzentrationsabhängigkeiten.
- iii. *Feststoffdichte (M9): Auftriebsmethode; mit Ausdehnungskoeffizienten, auch ggf. für Pulver, Pasten und Fluide.
- iv. *Viskositätsmessung, simultan mit Dichte (DiVA, M5): Rheometrie für mittelviskose, tropfbare Fluide; Scherraten- und Temperaturabhängigkeiten.
- v. Viskositäts- und Härtemessung (M20): Rheometrie für hohe und sehr hohe Viskositäten. Scherraten- und Temperaturabhängigkeiten; Konsistenzmessung, Messungen von Aushärtezeiten, Erweichungstemperaturen etc.
- vi. Kontaktwinkel, Sorptivität, Oberflächenenergie an poröser Materie(M7 ,PUK'); Kontaktwinkel, Oberflächenenergie an soliden Körpern (M4).

*patentierte Methoden – mit, von und für IMETER entwickelt - Literatur(8).

➤ Literatur

- (1) Henning, F., Moser, H., Temperaturmessung, 3. Auflage, Verlag Joh. Ambrosius Barth (1977).
- (2) Marsh, K.N., Recommended Reference Materials for the Realization of Physicochemical Properties, IUPAC, Blackwell Scientific Publications, Oxford (1987).
- (3) GUM - „*Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*“:
http://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf
- (4) Meas. Sci. Technol. 17 (2006) 2545–2550:
http://www.cenam.mx/myd/Evaluation%20of%20the%20air%20density%20uncertainty_the%20effect%20of%20the%20correlation%20of%20input%20quantities%20and%20higher%20order%20terms%20in%20the%20Taylor%20series%20expansion.pdf.
- (5) BIPM Veröffentlichung “Density of moist air” (http://www.bipm.org/utis/en/pdf/Density_of_moist_air.pdf).
- (6) Gupta, C., W., Practical Density Measurement and Hydrometry, Institute of Physics Publishing, Bristol, (2002)
- (7) O Becerra, “Luis, Water density and its uncertainty” (2006)
(http://www.cenam.mx/myd/SIM/02%20Water%20density%20and%20its%20uncertainty_Luis%20O%20Becerra.pdf)
- (8) DE 19963686, DE 4412405, DE 10326469, DE 10340555, DE 10341707, DE 10357088

Schlussbemerkungen

I-SIF / IMETER, universell und speziell: Die transparente Handhabung von Sensordaten und Steuerungen, Selbstautomation, Ablaufmodellierungen, *In-Line*-Berechnungen und vielgestaltige Datenverbindungen stellen ein breites Instrumentarium zur Verfügung, Mess-/Prüf-/Steuer-/Produktions-Methoden maßzuschneidern. Für viele mögliche Anwendungen sind nur wenig zusätzliche materielle Mittel nötig, z.B. um mit den Temperatursensoren Wärmeleitfähigkeiten und kalorimetrische Messungen durchführen. I-SIF mit IMETER kann auch dabei helfen, ASTM- und DIN-Methoden in eine zeitgemäß instrumentierte und exaktere Fassung zu bringen („*Die Digitalisierung*“). Insbesondere durch die zunehmende Verbreitung und Vereinfachung des 3D-Drucks bietet es sich an, Geräteteile und Gehäuse nach eigenen Vorstellungen für individuelle Aufgaben zu bauen und das funktionale Innenleben von solchen *Geräten* durch die frei transponierbare IMETER Sensorik/Aktorik, Steuerung, Auswertung und Reportgeneration zu *beseelen*. Nach unserer Kenntnis ist kein anderes wissenschaftlich-technische Mittel in der Lage, anspruchsvolle Automationen auf dermaßen radikal kurzen Wegen zu realisieren. Die Stringenz der Konzeption von I-SIF / IMETER erfordert vom Anwender nur wenig spezifische Kenntnisse vom Bedienen einer Maschine. Die zum Verständnis und im Umgang mit dem Instrument erforderlichen Kenntnisse sind universeller Natur, das Begreifen ist dadurch nachhaltig.